



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTETET
BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/studieretning: Maskin	Vår semesteret, 2023 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Gjermund Erevik	
Fagansvarlig ved UiS: Ove Mikkelsen	
Tittel på oppgaven: Design av ROV tilpasset drift og residens på havbunn Engelsk tittel: Design of ROV adapted to operation and residence on the seabed	
Studiepoeng: 20	
Emneord: <ul style="list-style-type: none">• ROV• Manipulator• Hydraulikk• Resident ROV• Forstudierapport	Sidetall: 53 + vedlegg/annet: 21 Stavanger, 14.05.2023

Design av ROV tilpasset drift og residens på havbunn



Figur 1: Resident ROV [1]

Forord

I avsluttende del av maskiningeniørstudiet innebærer å skrive en bachelor oppgave. Denne oppgaven ble skrevet i vårsemesteret 2023 og er vektet med 20 studiepoeng.

Formålet med oppgaven er å benytte opparbeidet kompetanse innenfor maskinfaget ved å håndtere en realistisk ingeniør oppgave for å være best mulig skikket for en videre arbeidskarriere som maskiningeniør. Oppgaven kan også kreve at studentene må oppsøke ytterligere fagstoff for å kunne løse problemstillinger.

Denne spesifikke oppgaven er selvvalgt ettersom studenten har arbeidserfaring innen ROV-faget og hadde derfor kjennskap til en problemstilling innenfor dette faget som kunne passe fagområdet.

Gruppen vil rette en stor takk til følgende personer:

- Ove Mikkelsen ved Universitetet i Stavanger, som har gitt gode råd og veiledning underveis
- Roar Paulsen, ingeniør ved IKM Subsea, som har bistått med gode tekniske innspill og veiledning

Sammendrag

Oppgavens hensikt var å finne løsninger knyttet til ubemannede undervannsfarkoster som er permanent stasjonært på havbunn – såkalt resident ROV. Det er mange tekniske utfordringer rundt resident ROV - denne oppgaven har fokusert på to utfordringer knyttet til manipulator armer. Manipulatorarmen er festet på ROV og kontrolleres av operatøren som sitter i et kontrollrom. Armen er produsert av et anerkjent selskap, og er designet for å ha ukentlig vedlikehold (ref. Vedlegg B). Det vil si at den ikke er konstruert for å kunne stå på havbunn over lang tid.

Den ene utfordringen er at armen har en sikkerhetsmekanisme som krever fysisk vedlikehold for å kunne være videre operasjonell. En aksling festet med to bolter i hver side er designet til å knekke ved en gitt belastning for å unngå betydelig skade på arm. Når boltene er knekt kreves det at man monterer et nytt sett. Oppgaven har satt sammen et hydraulisk system som medfører at den hydrauliske løftesynderen vil slippe ut oljen via en avlastningsventil når den overbelastes og vil derfor redusere belastning på den mekaniske sikkerhetsmekanismen.

Den andre utfordringen er at oljen i manipulatorarmen kan innta vann inn i hydraulikksystemet som igjen vil forårsake skader på det elektroniske og hydrauliske systemet. Oppgaven har designet et system som tillater at en annen undervannsfarkost kan filtrere oljen på manipulatorarmen samtidig som de er i havet. På denne måten kan man redusere behov for at farkosten må trekkes på dekk for vedlikehold og samtidig effektivisere operasjon på havbunnen.

Begge løsningene består i stor grad av mekaniske og hydrauliske standardkomponenter som allerede finnes i markedet. Det er foretatt styrkeberegninger på mekaniske komponenter som kan bli utsatt for belastning. Dimensjoneringen tar hensyn til estimerte påkjenninger. Materialvalg er vurdert for å kunne håndtere miljøet. Modelleringsprogrammet Autodesk Inventor er blitt benyttet for modellering, maskintegning og stressanalyser. Autocad Electrical ble brukt for hydraulisk og elektrisk skjematikk.

Løsning knyttet til sikkerhetsmekanismen kan ha en umiddelbar kostnadsreducerende effekt ved å redusere forbruket av deler knyttet til den originale sikkerhetsmekanismen, men bygging og testing av prototyper er en forutsetning for at systemet kan tas i bruk.

Innhold

Innhold	1
Figurliste.....	3
Nomenklatur.....	4
1. Innledning.....	5
1.1 Hva er en ROV og hva brukes det til.....	5
1.2 Resident ROV.....	7
1.3 Manipulatorer	8
1.4 Operasjon av T4 manipulator	9
1.5 Presentasjon av IKM Subsea	9
1.6 Bakgrunn for oppgaven	10
1.7 Målsetting	10
1.8 Avgrensning av oppgave	10
1.9 3D modellering	11
1.10 Miljø.....	11
2. Teknisk introduksjon.....	12
2.1 Hydraulikk	12
2.2 Sylinder.....	12
2.3 Subsea kompensator	13
2.4 Avlastningsventil.....	14
2.5 Oversikt over hydraulikk systemet til en T4	14
3. Problemstillinger	17
3.1 Informasjon fra oppdragsgiver	17
3.2 Problemstilling 1: Filtrering	18
3.3 Problemstilling 2: Shear-pin.....	19
4. Problemløsning 1: Filtrering	20
4.1 Konsept.....	20
4.2 Mekanisk og hydraulisk oppbygning	20
4.3 Valg av standardkomponenter	21
4.4 Spesialdeler.....	22
4.5 Volumstrøm	22
4.6 Beregninger	23
4.6.1 Mekanisk.....	23
4.6.1 Volumstrøm	26
4.7 Begrensninger.....	27
4.8 Endelig løsning	28
4.9 Diskusjon.....	30

5.	Problemløsning 2: Shear-pin.....	31
5.1	Konsept.....	31
5.2	Mekanisk oppbygning	32
5.3	Elektronikk	33
5.4	Skjematikk	34
5.4.1	Hydraulisk.....	34
5.4.2	Elektrisk	36
5.5	Valg av komponenter.....	37
5.6	Begrensninger i oppgave	37
5.7	Beregninger	38
5.8	Diskusjon	40
5.9	Konklusjon.....	42
6.	Materialvalg	44
7.	Kostnader	46
7.1	Løsning 1: Filtrering.....	46
7.2	Løsning 2: Shear-pin	47
8.	Diskusjon.....	49
9.	Konklusjon	50
10.	Bibliografi	51
11.	Vedlegg	53

Figurliste

Figur 1: Resident ROV [1]	2
Figur 2: ROV system på installasjon med WROV og OROV [1]	5
Figur 3: WROV [19]	6
Figur 4: OROV [20]	6
Figur 5: Resident ROV og ramme med trommel [1]	7
Figur 6: Resident ROV system [1]	7
Figur 7: ROV med rigmaster og T4. [2].....	8
Figur 8: Master-kontroller. [3]	9
Figur 9: Sylinder [6]	12
Figur 10: Schilling kompensator [7]	13
Figur 11: Avlastningsventil skjematisk.....	14
Figur 12: Hydraulikk T4 [3]	14
Figur 13: Hydraulikkventiler internt i T4 arm [3].....	15
Figur 14: Spesialdel med oljekanaler [3]	15
Figur 15: Oversikt over lavtrykkssiden. Det gule representerer hvor oljen befinner seg. [3]..	16
Figur 16: T4 oljestrøm på lavtrykkssiden frem til "luft" plugg [3]	16
Figur 17: Illustrasjon av shear pin mekanikk. [3]	19
Figur 18: Forenklet layout av system	20
Figur 19: Blue Logic hotstab [9]	21
Figur 20: Blue Logic receptacle [9]	21
Figur 21: Brakett for receptacle	22
Figur 22: Illustrasjon av kraft på receptacle	23
Figur 23: CAD layout av plassering av receptacle.....	23
Figur 24: Fixed constraints. Analysen er gjort ved å låse av hele gjengepartiet til boltene mot innfestningsplate.....	24
Figur 25: Stressanalyse, Von Mises	25
Figur 26: Stressanalyse, Safety factor	25
Figur 27: Illustrasjon rør passasje [3].....	26
Figur 28: CAD layout - WROV OG RROV med hotstab og receptacle.....	28
Figur 29: CAD modell som viser hvordan WROV entrer hotstab i RROV receptacle.....	29
Figur 30: CAD modell med forenklet forklaring av system	29
Figur 31: CAD layout av konsept	31
Figur 32: CAD layout av konsept med komponenter	32
Figur 33: T4 kontakt [12]	33
Figur 34: Hydraulisk skjematikk av løsning. Skjematikk er påbygd fra original skjematikk fra Schilling manual.....	34
Figur 35: Avlastningsventil ved overbelastning.....	35
Figur 36: Avlastningsventil ved normal belastning	35
Figur 37: Elektrisk skjematikk med forklaringer	36
Figur 38: MSP 300	37
Figur 39: Bosch avlastningsventil	37
Figur 40: CAD layout - retning av belastning.....	41
Figur 41: CAD layout - plassering av løsning.....	42
Figur 42: CAD layout som viser godkjent belastning.....	43
Figur 43: CAD layout som viser overbelastning.....	43
Figur 44: Trekant som illustrer forutsetning for dannelse av rust [15]	44
Figur 45: Illustrasjon av katodisk beskyttelse med overflatebehandling [17].....	44
Figur 46: Skip med offeranoder for beskyttelse mot korrosjon [18].....	45

Tabell liste

Tabell 1: Løftkraft sylinder	12
Tabell 2: Utregning hydrostatisk trykk	13
Tabell 3: Styrkeberegning	24
Tabell 4: Beregning av filtreringstid	26
Tabell 5: Beregning av antall liter i sylinder	38
Tabell 6: Omgjøre vekt til kraft.....	38
Tabell 7: Beregning av areal	39
Tabell 8: Beregne hydraulisk trykk.....	39
Tabell 9: Kostnad ved kjøp av nytt kretskort	46
Tabell 10: Kostnader ved ettermontering	46
Tabell 11: Kostnad av shear pin	47
Tabell 12: Oversikt over tidsforbruk ved bytte av shear pin.....	47
Tabell 13: Estimerte rater på personell og system	47
Tabell 14: Kostnader ifm utbedring av shear pin	47
Tabell 15: Forbruk av shear pin de siste årene hos IKM Subsea	47
Tabell 16: Kostnader ved ettermontering av løsning	48

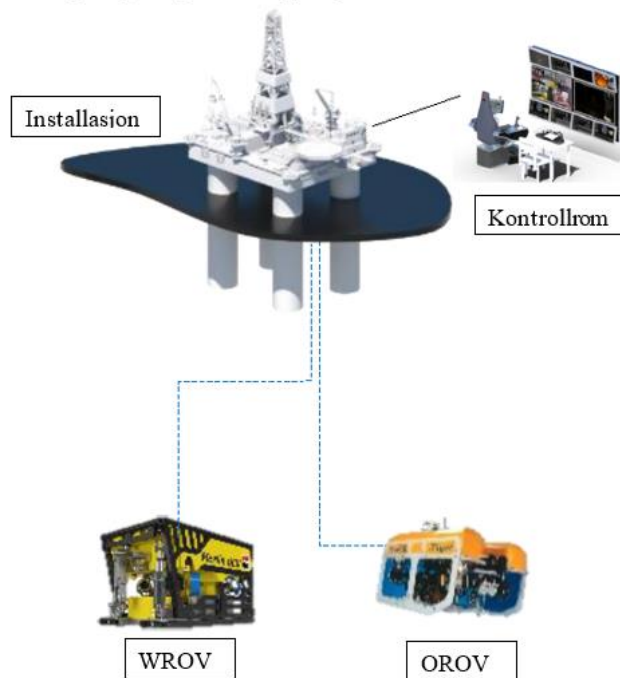
Nomenklatur

UiS	-	Universitetet i Stavanger
ROV	-	Remotely Operated Vehicle
WROV	-	Workclass Remotely Operated Vehicle
OROV	-	Observation Remotely Operated Vehicle
RROV	-	Residential Remotely Operated Vehicle
TMS	-	Tether Management System
T4	-	Titan 4 – Schilling manipulator
DAK	-	Dataassistert konstruksjon
CSP	-	Clevis Shear Pin
SCADA	-	Supervisory Control and Data Acquisition
HPU	-	Hydraulic power unit

1. Innledning

1.1 Hva er en ROV og hva brukes det til

ROV er forkortet fra Remotely Operated Vehicle. En ROV er en ubemannet undervannsfarkost som operatører fjernstyrer fra et kontrollrom. Tradisjonelt sett har man kontrollrommet på samme installasjon/fartøy som selve ROV-systemet men i nyere tid har det blitt gjort store fremskritt med å fjernstyre ROV-operasjoner fra land.



Figur 2: ROV system på installasjon med WROV og OROV [1]

Winch brukes til å låre ROV-systemet ut/inn av vannet etter behov – men er da avhengig av værforhold for å kunne utføre løfteoperasjon. Kriterier for å kunne sjøsette system blir definert i kontrakt mellom leverandør og klient. Mellom installasjon og ROV har man en såkalt TMS som er en trommel med kabel (tether). Dette tillater for mer mobilitet for ROV.

Man benytter en ROV som et verktøy til eksempelvis olje- og gassnæringen men det er også utbredt innen oppdretts- og fornybar næring.

Innen olje- og gass benytter man ROV til blant annet oppgaver som:

- Posisjonering av ulike konstruksjoner med ROV-instrumenter som gir nøyaktige data
 - Eksempelvis: lokalisere riktige koordinater for boring etter gass/olje.
- Installasjon av konstruksjoner
 - Eksempelvis: ulike undervannskonstruksjoner blir låret ned med hjelp av kran/winch. Krokene som benyttes må kobles fra med hjelp av ROV.
- Ventiloperasjoner
 - Eksempelvis: Konstruksjoner som overvåker, kontrollerer og sikrer olje-/gassbrønner har flere ventiler som må opereres etter behov ved hjelp av ROV.

Det finnes flere typer og størrelser av ROV som defineres i ulike klasser. De klassifiseres bl.a. etter størrelse, krefter og elektroniske instrumenter. I hovedtrekk er dette:

- WROV (Workclass Remotely Operated Vehicle.)
 - En stor ROV som er utstyrt med to manipulatorarmer og flere sensorer.
 - Anvendes til tyngre oppgaver som krever armer, nøyaktighet og krefter.



Figur 3: WROV [19]

- OROV (Observation Remotely Operated Vehicle.)
 - En mindre ROV som normalt sett ikke har manipulatorarmer og er begrenset med sensorer.
 - Anvendes til mindre krevende oppgaver som inspeksjon.



Figur 4: OROV [20]

1.2

Resident ROV

En tradisjonell ROV blir låret ut/inn av vann etter behov – er resident ROV et system som er stasjonært nede på havbunn i 3 måneder om gangen. Fordelen med et slik resident system er at man ikke er avhengig av værforhold for å utføre operasjoner.

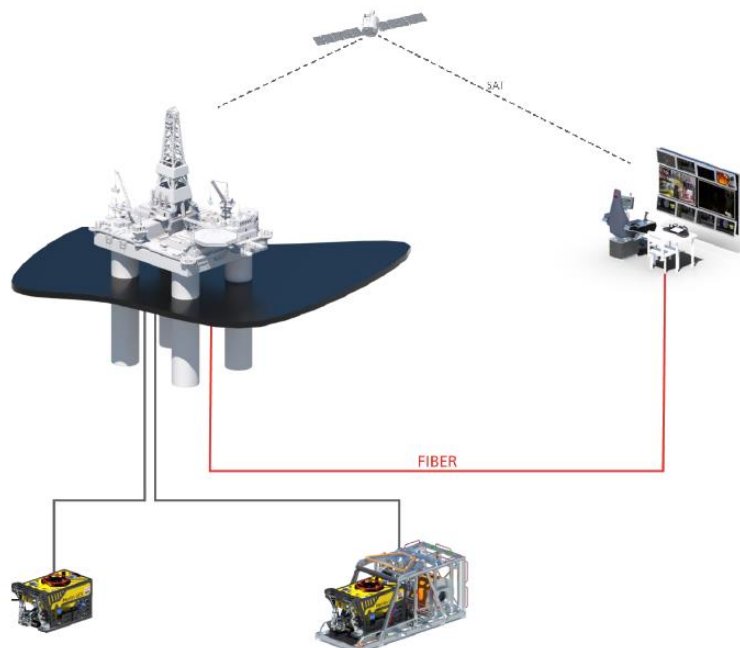


Figur 5: Resident ROV og ramme med trommel [1]

Hvis man i tillegg har mulighet til fjernstyring fra land, vil man kunne redusere bemanning offshore. Dette er noe olje- og gassbransjen vektlegger sterkt om dagen. Fjernstyring fra land gjøres via fiber eller satellitt.

Resident systemet består av en ROV og en ramme som inneholder trommel med kabel. Systemet løftes ned på sjøbunn hvor den står stasjonært i eksempelvis 3 måneder.

En konstruksjon som befinner seg under vann over tid er spesielt utsatt for vanninntrenging som igjen kan føre til jordfeil eller forurensning av hydraulikkolje. ROV-systemet blir tradisjonelt sett vedlikeholdt etter faste tidsintervall eks hver uke. Derfor vil et resident system som befinner seg under vann overtid måtte tilpasses slik at man sikrer lengre tidsintervall mellom vedlikeholdsoppgavene.



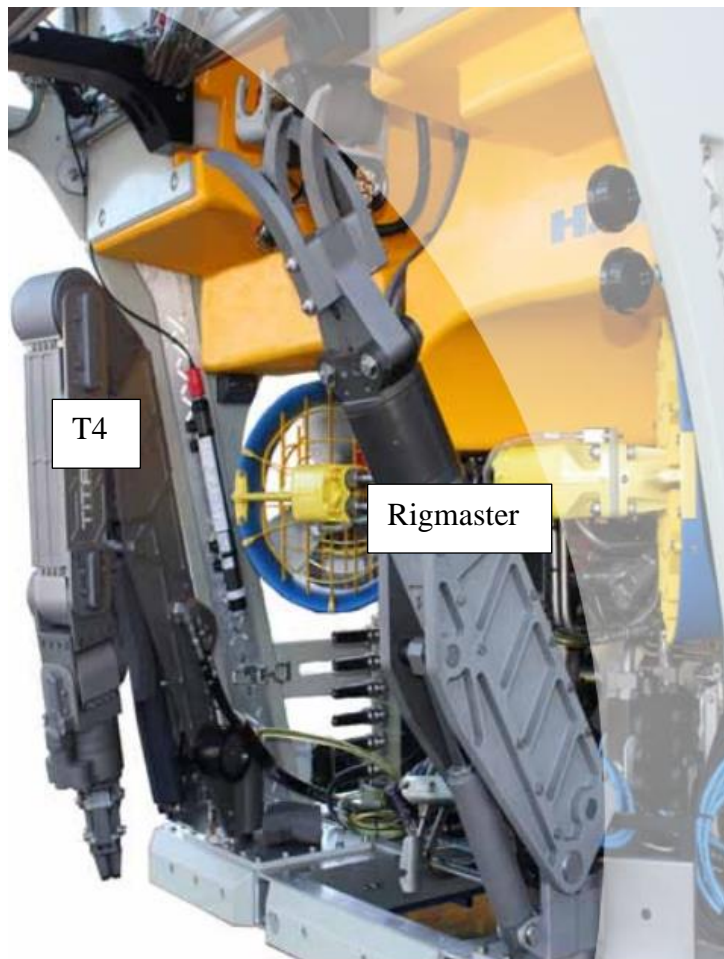
Figur 6: Resident ROV system [1]

1.3 Manipulatorer

Det finnes flere leverandører av manipulatorarmer til ROV. De armene som er mest brukt er laget av den amerikanske leverandøren Schilling som er heleid av det internasjonale oljeselskapet TechnipFMC. Armene kontrolleres med bruk av joystick fra et kontrollrom.

En WROV har tradisjonelt to manipulatorarmer bestående av en rigmaster og en T4.

- **Rigmaster** er kraftigere og brukes eksempelvis til å holde ROV i ro når man benytter T4 til mer delikate operasjoner. Man bruker også rigmaster til tyngre løft o.l. Den er oppgitt med en løftekraft på 270kg og 5 funksjoner.
- **Titan 4 (T4)** er langt mer presis enn Rigmaster. Den har innvendig elektronikk i flere ledd som tillater nøyaktige bevegelser. Armen har 7 funksjoner. En T4 benyttes eksempelvis under operasjon av ventiler på undervannsinstallasjoner.



Figur 7: ROV med rigmaster og T4. [2]

1.4 Operasjon av T4 manipulator

For å bruke armen i operasjon benytter man en master-kontroller. Den utførende manipulatorarm refereres som slave-arm da den har som oppgave om å imitere bevegelsene til master-kontroller.

Master-kontrolleren er bygget opp med samme antall ledd og funksjoner som slave-arm. Den er presis og benyttes til operasjoner som krever høy nøyaktighet. Man kan endre på armen innstillinger som for eksempel endre armen hastigheter fra kontrolleren.

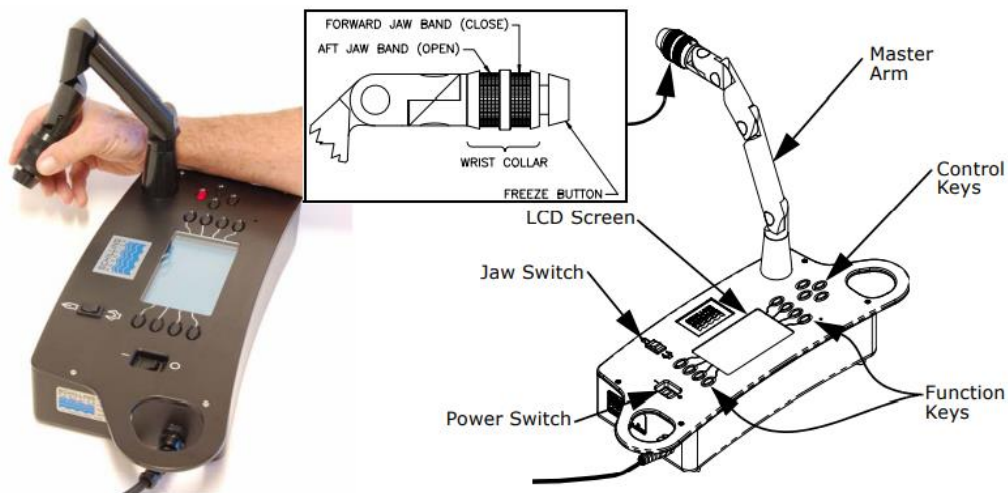


Figure 1 Master controller features

Figur 8: Master-kontroller. [3]

1.5 Presentasjon av IKM Subsea

IKM Subsea er et selskap som leverer ROV tjenester. De har hovedkontoret sitt på Bryne, men de har også kontorer i England, Brasil, Ghana, Midtøsten, Malaysia og Singapore. Selskapet ble opprettet i 2007.

Det jobber om lag 250 personer hos IKM Subsea fordelt mellom nevnte kontorer. De har 25 ROV-system som brukes til oppdrag. Flesteparten av disse systemene er utviklet og sammenstilt på Bryne. IKM Subsea skiller seg fra konkurrentene med at dem benytter elektriske ROVer – dette blir lagt godt merke til av markedet som stadig etterspør grønne løsninger for å redusere klimaavtrykk. [4]

1.6 Bakgrunn for oppgaven

I avsluttende semester av maskiningeniørutdanning ved Universitet i Stavanger har studentene som oppgave å skrive en bacheloroppgave som inneholder de relevante fagfelt som studentene har studert under utdanningsløpet sitt. Studentene kan selv velge oppgave og hvem de ønsker å samarbeide med.

Denne oppgaven er egendefinert i samråd med IKM Subsea da studenten ønsket å utforske relevante utfordringer knyttet til resident drift av ROV. Bransjen etterspør klimavennlig teknologi som sikrer videre olje-/gassproduksjon med lavest mulig klimaavtrykk. Bruk av resident ROV vil bidra positivt til grønn utvikling ved at man reduserer personell på installasjonen som følge av mindre personellbehov ved økte tidsintervaller på vedlikehold samt redusert behov for sjøsetting av ROV-system.

1.7 Målsetting

Målet med oppgaven er finne løsninger som håndterer nevnte utfordringer med søkelys på å redusere oljeutslipp, funksjonssvikt og nedetid på resident-ROV.

Det skal utarbeides løsninger og design som er ettermonterbare på eksisterende ROV system hos IKM Subsea. Det skal i hovedsak benyttes standardkomponenter der hvor det er mulig for å holde kostnadene nede. Spesialdeler som krever eget design, vil modelleres i Inventor og dimensjoneres for å tåle påkjenningene dem blir utsatt for.

Da utfordringene er knyttet opp til oljehydraulikk vil løsningene inneholde skjematiske tegninger av hydraulikksystemet samt informasjon om enkeltkomponenter

1.8 Avgrensning av oppgave

Det finnes flere ulike manipulatorarmer i bransjen. Denne oppgaven vil begrenses til Schilling Titan 4 – heretter omtalt som T4. Oppgaven vil derimot omtale andre manipulator typer der hvor det er relevant.

ROV benyttes i flere bransjer i ulike størrelser og formål, men denne oppgaven vil være spesielt knyttet opp mot arbeidsklasse ROV i olje- og gassbransjen.

Oppgaven vil ikke gå i dybden på elektronikk der under programmering o.l. som skal benyttes til hydrauliske løsninger. Disse blir omtalt med funksjon og virkemåte, men ingen detaljer utover dette da dette befinner seg utover oppgavens fagområde.

1.9 3D modellering

Modellering av 3D løsninger vil utføres i Autodesk Inventor 2023. Dette er en programvare som er blitt brukt under utdanningsløpet ved UiS. Dette er en DAK (dataassistert konstruksjon) programvare for modellering. Autodesk Inventor ble først utgitt i 1999 og er laget av den USA-baserte programvareprodusenten Autodesk. [5]

Til å lage skjematiske tegninger av hydrauliske- og elektroniske kretser ble Autodesk Autocad Electrical benyttet.

Studenten har fått tilgang til 3D modeller fra oppdragsgiver deriblant ROV og manipulator modeller. Det vil komme frem av oppgaven hvilke modeller som er utviklet av gruppen.

1.10 Miljø

Ombord installasjoner er det stort søkelys på å redusere oljeutslipp. All utslipp til sjø skal rapporteres hos operatøren på den aktuelle installasjonen. Installasjoner og fartøy som jobber på olje-/gassbrønner vil være under Petroleumstilsynet sitt tilsyn med formål om å redusere oljeutslipp til sjø.

Hydraulikkolje er brukt til mye på et fartøy/installasjon. Oljen skal fortrinnsvis filtreres om bord – og dermed gjenbrukes. Om man tar utgangspunkt i at all olje blir filtrert skal man teoretisk sett ikke miste olje – og dermed ikke være behov for å bestille ny olje. Noe olje vil trolig gå til spille ved enkelte vedlikeholdsoppgaver o.l., eller ved at man blander eksempelvis gir- og hydraulikkolje – dette bør man ikke forsøke å filtrere.

Det som gjør miljøaspektet relevant til denne oppgaven er at oppgaven fokuserer på tekniske løsninger som omhandler å bevare utstyr for å redusere behov for å skifte ut deler. Det er og også fokus på at oljen skal filtreres istedenfor å skiftes ut – eller i verste fall forårsaker ytterligere skade på utstyr. Og som målsetting til oppgaven nevner omhandler rapporten resident ROV som er et miljøtiltak i seg selv da man kan redusere bemanning offshore og dermed redusere behov for helikoptertrafikk og alt som dette medfølger.

2. Teknisk introduksjon

2.1 Hydraulikk

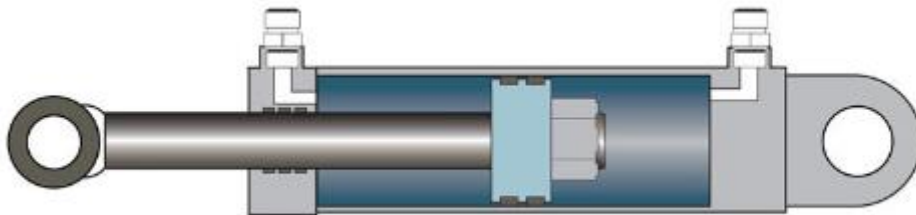
Hydraulikk benyttes til å overføre krefter fra væske- til mekanisk form. Det benyttes pumper til å sette oljen i bevegelse og gi nødvendig trykk. I pumpedrift vil oljen sirkulere gjennom en hel krets hvor den starter og slutter samme sted; tanken. Pumpen kan drives av en elektrisk motor.

Sammensetningen av pumpe, filter motor og tank kalles ofte en HPU (hydraulic power unit)

Man benytter filter til å filtrere oljen. Det er ikke ønskelig med eksempelvis partikler og vann i oljen. Det finnes filter til bruk på både lav- og høytrykk.

2.2 Sylinder

En hydraulisk sylinder består av et stempel som blir skyvet til en av sidene alt etter hvilken port man supplerer oljen inn på. Dette skaper en skyvekraft på stempel- og stempelstang som kan brukes til å utføre et arbeid. Arealet – sammen med trykket utgjør kraften i sylindren.



Figur 9: Sylinder [6]

Tabell 1: Løftekraft sylinder

Beregning av løftekraft av hydraulisk sylinder på T4 (Ø45mm og 207 bar)		
Formel	Enheter	Utregning
$F = P * A$	$F = \text{kraft [Newton]}$ $P = \text{trykk [bar]}$ $A = \text{areal [cm}^2\text{]}$	$F = P * A$ $F = 207\text{bar} * \pi * \frac{4,5^2}{4} \text{ cm}^2$ $F = 3292,2 \text{ Newton}$ $F = 32,92 \text{ kN}$
$F = m * g$	$F = \text{kraft [Newton]}$ $m = \text{masse [kg]}$ $g = \text{tyngdekraft [\frac{m}{s^2}]}$	$m = \frac{F}{g}$ $m = \frac{3292,2 \text{ N}}{9,81 \frac{m}{s^2}}$ $m = 335,6 \text{ kg}$
Utregningen viser at sylinder til skulderfunksjon på T4 har en kapasitet på 3292,2 N. Dette gir en teoretisk løftekraft på 335 kg.		

2.3 Subsea kompensator

En ROV hos IKM Subsea kan dykke ned til 3000 m dybde. På en slik dybde vil det innebære et betydelig hydrostatisk trykk. En tommelfingerregel er at trykket øker med 1 bar hver 10 m dybde. Dette bekreftes av formelen for hydrostatisk trykk:

Tabell 2: Utregning hydrostatisk trykk

Beregning av hydrostatisk trykk ved 3000 m dybde		
Formel	Enheter	Utregning
$P = \rho * h * g$	$P = \text{trykk [pascal]}$ $\rho = \text{massetetthet } [\frac{kg}{m^3}]$ $h = \text{dybde [meter]}$ $g = \text{tyngdekraft } [\frac{m}{s^2}]$	$P = \rho * h * g$ $P = 1000 \frac{kg}{m^3} * 3000m * 9,81 \frac{m}{s^2}$ $P = 29\,430\,00 \text{ pascal}$ $P = 294,3 \text{ bar}$
Det hydrostatisk trykket på 3000 m dybde utgjør 294,3 bar		

Ved å kompensere armens tomrom hindrer man at veggene imploderer siden trykket øker i takt med dybden. For å kompensere armens tomrom benytter man en såkalt kompensator.

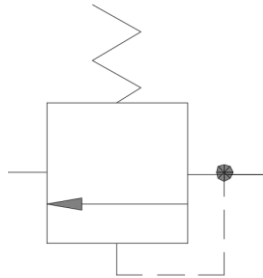


Figur 10: Schilling kompensator [7]

Kompensatoren har et stempel som blir påvirket av det hydrostatiske trykket og vil dermed komprimere hydraulikkoljen på den andre siden frem til at trykket på begge sider av stempelet er utlignet. Det er en mekanisk fjær for å skape et lite overtrykk på innsiden av kompensatoren som utgjør marginalt trykk. Stempelets posisjon vises ved gjennomsiktig hus eller egen indikator – dette for at operatøren skal kunne se hvor mye olje som er igjen i kompensatoren.

2.4 Avlastningsventil

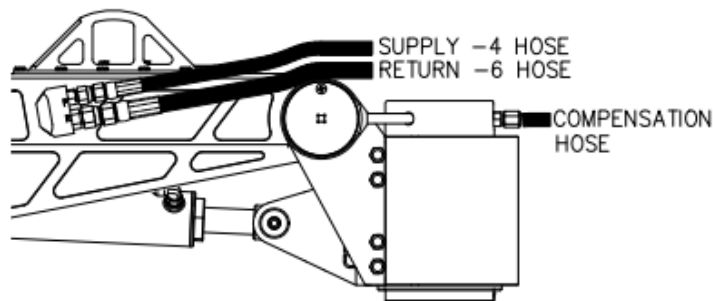
En avlastningsventil brukes for å sørge for at oljen ikke strømmer gjennom kretsen før et gitt trykk er oppnådd. På denne måten kan man kontrollere andre funksjoner. Ventilen kan derfor brukes som en sikkerhetsventil. Eksempelvis om man vil sørge for at trykket holder seg under 50 bar kan man stille inn fjærbelastningen slik at all trykk utover 50 bar vil returneres til tank.



Figur 11: Avlastningsventil skjematisk

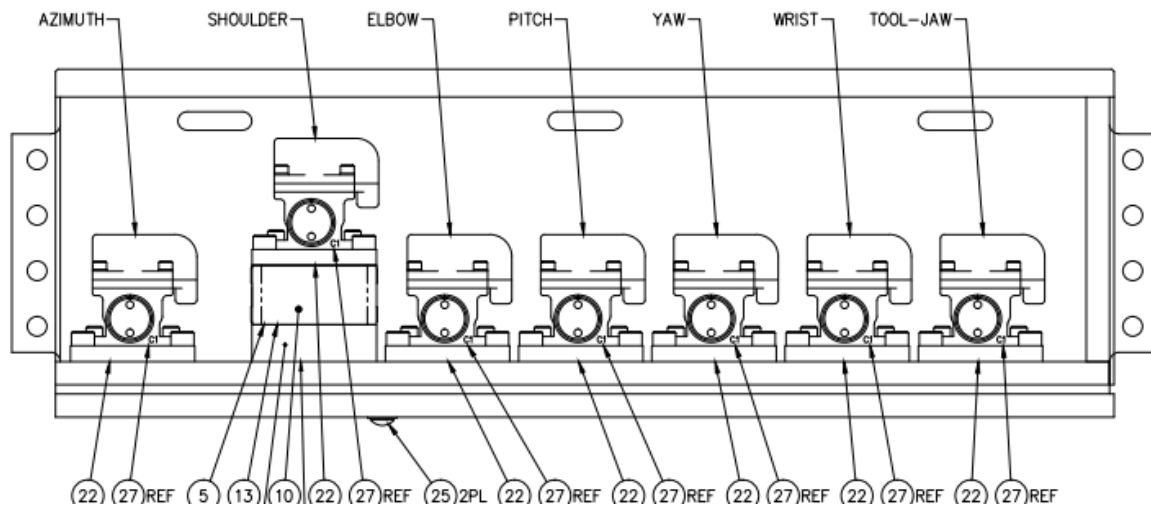
2.5 Oversikt over hydraulikk systemet til en T4

En manipulatorarm består av to separate hydraulikkretser hvor den ene, høytrykkssiden, utfører bevegelsene til funksjonene, og den andre, lavtrykkssiden, har som funksjon å kompensere for det hydrostatiske trykket som oppstår under dykk.



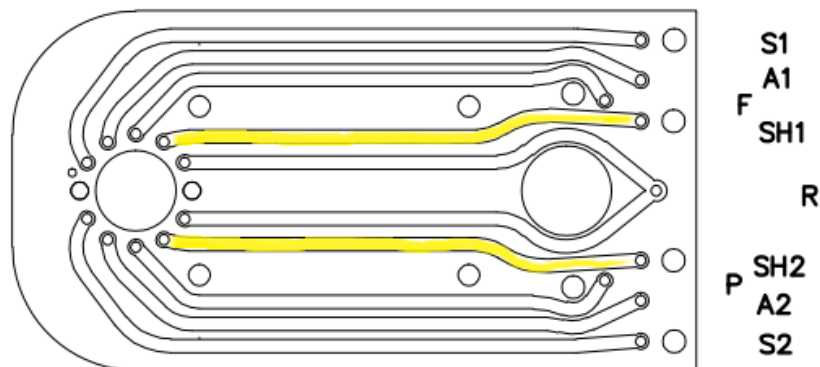
Figur 12: Hydraulikk T4 [3]

Høytrykkssiden opererer med et trykk på 207 bar og en returlinje. Oljetrykket til de ulike funksjonene på armen blir fordelt ut via retningsventiler som befinner seg i albue-leddet på armen.



Figur 13: Hydraulikkventiler internt i T4 arm [3]

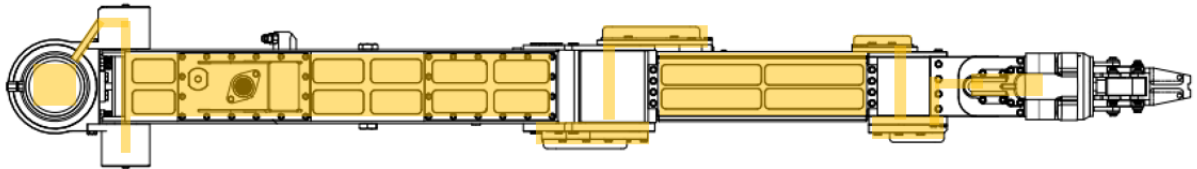
Oljen i denne kretsen beveger seg deretter langs armen blant annet gjennom maskinerte spesialkomponenter som er boret med kanaler for oljegenomstrømning som bildet under illustrerer. Det er fine toleranser og flere tetninger som sikrer at oljen strømmer stabilt gjennom leddene samtidig som er i bruk.



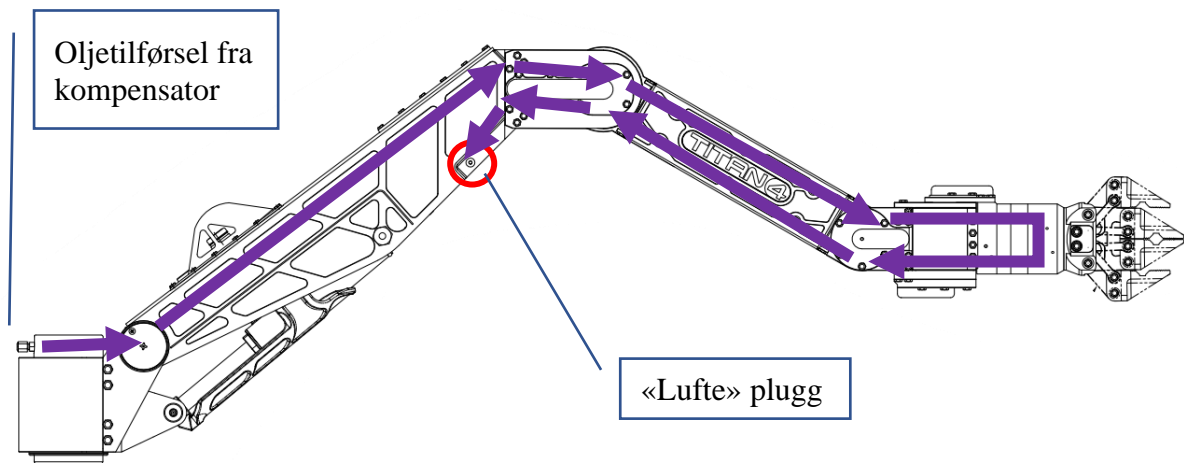
Figur 14: Spesialdel med oljekanaler [3]

Lavtrykksiden er koblet til en subsea kompensator med funksjon å kompensere alle tomrom i armen. I enden av armen, helt ute ved gripefunksjonen, går det derimot en dedikert kanal ut til en «lufte» plugg. Denne porten har som funksjon til å sirkulere oljen for å minimere vann, luft og annen forurensning i oljen.

Denne oljekretsen følger i hovedsak de elektriske kablene frem til de elektroniske komponentene. Det fargede merkingen under illustrerer hvor lavtrykksoljen befinner seg.



Figur 15: Oversikt over lavtrykksiden. Det gule representerer hvor oljen befinner seg. [3]



Figur 16: T4 oljestrøm på lavtrykksiden frem til "lufte" plugg [3]

3. Problemstillinger

Den overordnede problemstilling er at Schilling T4 ikke er designet for å stå under vann i 3 måneder uten vedlikehold. Det er flere elementer som tilsier at T4 ikke er egnet for resident bruk - denne oppgaven skal undersøke to av disse problemstillingene og se om det finnes løsninger for å redusere sannsynlighet for feil.

3.1 Informasjon fra oppdragsgiver

Oppdragsgiver IKM Subsea har i dag en ROV-kontrakt med Equinor hvor de benytter resident ROV. I denne kontrakten benytter de ikke T4 manipulator da de vurderte denne manipulatoren som uegnet til resident system. Istedenfor T4 har de benyttet en grovere manipulator som ikke har samme nøyaktigheten som T4 og vil derfor ha begrensninger i forhold til hvilke oppgaver den kan utføre. Grovere manipulatorer er bestående av enkel mekanikk som krever langt mindre vedlikehold. De er også mindre utsatt for overbelastningskader da de er konstruert til å håndtere røffere behandling.

Fra ROV-operatørens standpunkt er det ønskelig å benytte T4 da den gir trygghet i operasjoner med tanke på presisjon og nøyaktighet. Årsaken til at T4 gir høyere presisjon er i korte trekk at den benytter såkalte elektroniske resolvere som registrerer svært nøyaktig posisjon i alle ledd – sammen med høykvalitets solenoid ventiler gir dette presis bevegelse ved operasjon av T4. Armen har store innstillingsmuligheter da den har avansert maskinvare og programvare som tillater operatøren til å gjøre endringer i innstillingene for å optimalisere armen for det gitt oppgaven. Grovere manipulatorer som rigmaster har ingen elektroniske posisjonssensorer og baseres kun på solenoid ventiler. Disse har svært begrensede innstillingsmuligheter.

Det er derfor ønskelig fra oppdragsgivers side å finne løsninger som bidrar til T4 blir mer egnet for resident bruk.

3.2 Problemstilling 1: Filtrering

Forurensning av olje på lavtrykksside i manipulatorarm grunnet vanninntrenging.

Lavtrykksside har som formål å kompensere oljetrykket på innsiden der hvor det er elektroniske- og/eller hydrauliske komponenter. Under kan man se et bilde av et ledd som inneholder kretskort sammen med flere hydrauliske ventiler. Om man skulle få vanninntrengning vil dette muligens medføre jordfeil og i verste fall kortslutning av kretskortet. Armen kan ikke brukes om kortet er defekt.

Det er kostbart å kjøpe inn et nytt kretskort. De fleste ROV-systemene til IKM Subsea har ikke slike kort på lager ved offshore lokasjon. Det er derfor svært viktig at man forebygger vann i hydraulikkolja.

Ettersom det går ledninger langs alle ledd i armen, vil det være mange mulige kilder til vanninntrengning. Det er ikke uvanlig at manglende vedlikehold eller slitte o-ringer kan forårsake lekkasjer som tillater vann inn i armen.

Schilling sin manual [3] anbefaler å sjekke oljen hver 100 operasjonstime etter partikler og oljeforurensning – for deretter å filtrere/bytte oljen om nødvendig. Dette får man ikke til på en tradisjonell måte når man benytter T4 manipulator på en resident ROV som er planlagt på være på sjøbunn i 3 måneder.

Mekanisk svikt i løftesynderen sin innfestning til manipulatorarm.

Løftesynderen sin innfestning er designet slik at ved en gitt kraft så vil boltene svikte og da er man avhengig av fysisk utbedring på dekk for å kunne fortsette å bruke armen. Dette er en sikkerhetsmekanisme for å ivareta armens integritet over tid ved å unngå skader på større (og kostbare) deler.

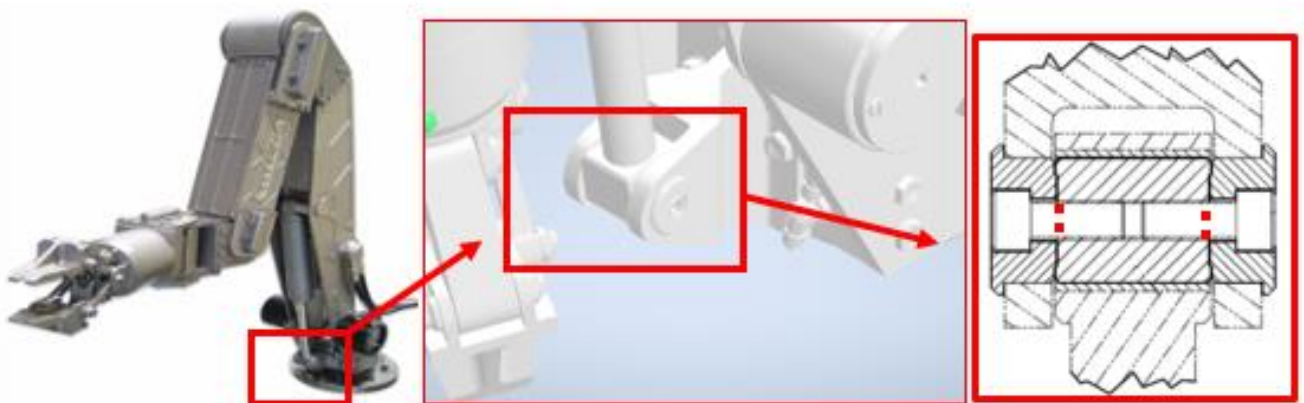
Det som fører til at boltene bryter er overbelastning under bruk. Dette kan være brukerfeil ved at man benytter armen til tyngre oppgaver enn hva den er designet for. Det kan være utfordrende å vite hvilken belastning man påfører armen under operasjon. Det er i dag ingen overvåking på dette – derfor blir det opp til operatørens skjønn å vurdere hvor mye belastning armen blir utsatt for. Ofte vil overbelastning oppdages først etter skaden har skjedd.

Armen er ikke i stand til å ødelegge seg selv under normalt bruk når det tekniske er i orden. Det er ofte i kombinasjon med rigmaster eller ROV bevegelse som kan medføre at man påfører for mye kraft på T4. Rigmaster og ROV er langt sterkere enn T4, og vil derfor ha kapasitet til å overbelaste T4 til brudd på «shear pin».

Det er kun løftesynderen på T4 som har hydraulikkventiler som låser oljen i systemet. De resterende ledd i armen vil kunne beveges med makt uten at dette utgjør noen stor risiko for utstyret.

Innfestningen kalles ‘Clevis Shear Pin’ (CSP) i Schillings manual. Denne innfestningen utgjør en risiko for operasjonell drift når resident system er beregnet å stå på sjøbunn i 3 måneder. Om det skulle være behov for utføre vedlikehold på dekk tettere enn 3 måneder intervall er det ikke nødvendigvis anledning for dette grunnet riggposisjon og andre aktiviteter om bord. Derfor vil det være fordelaktig å finne alternative metoder for å ivareta denne sikkerhetsmekanismen, men samtidig ikke være avhengig av å ta systemet på dekk for utbedring.

Som bildet under illustrerer, vil boltene bryte ved overbelastning der hvor de stiplede linjene er.



Figur 17: Illustrasjon av shear pin mekanikk. [3]

4. Problemløsning 1: Filtrering

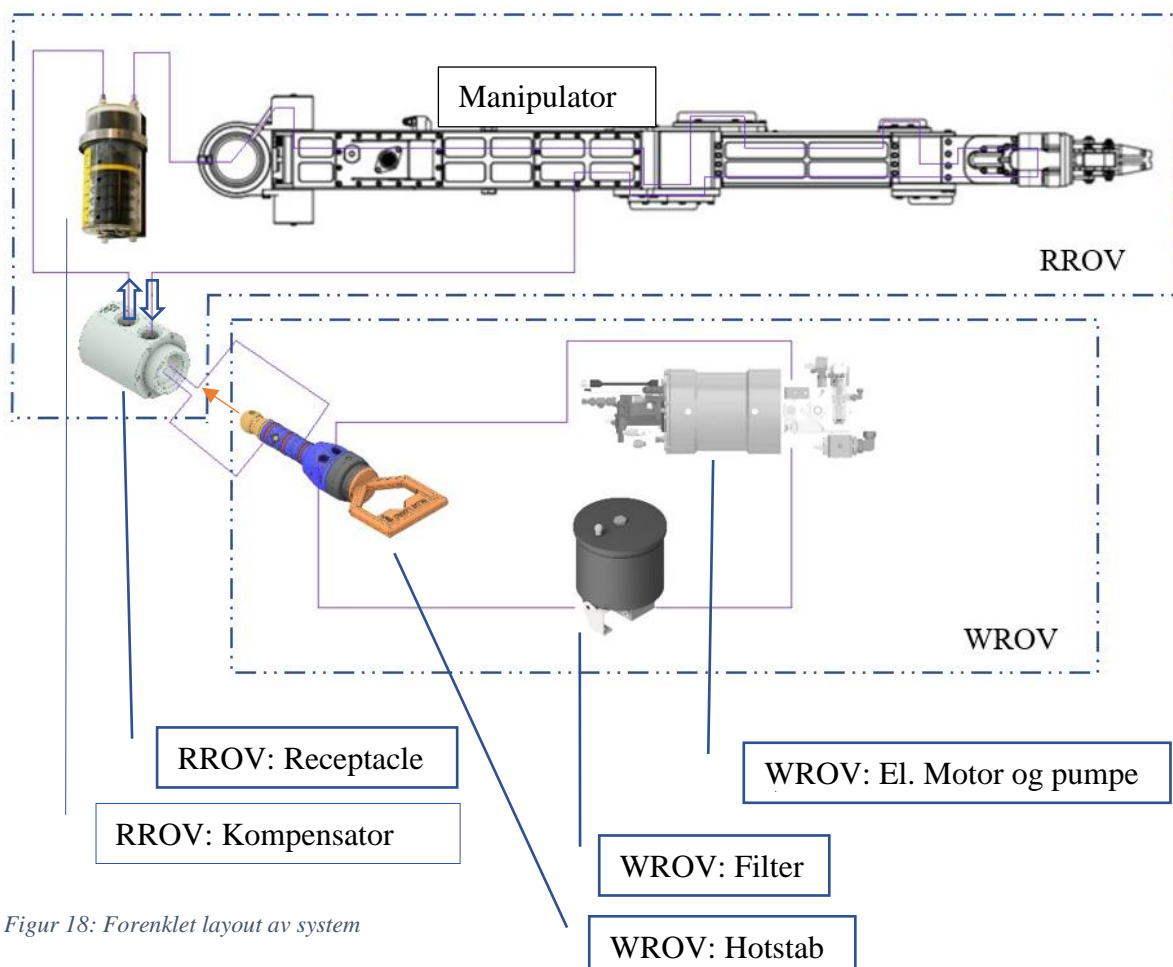
4.1 Konsept

Man tar utgangspunkt i at lavtrykk-oljen i en manipulatorarm på en resident ROV (RROV) blir forurenset av vann i løpet av en 3 måneders periode. Oljen skal filtreres med bruk av en tradisjonell WROV. WROV benytter sin interne HPU med tilhørende filter til å filtrere oljen på RROV. Om det er nødvendig med ytterlig filtrering av olje kan WROV erstatte filtrene sine for å gjennomføre nye runder med filtrering av RROV sin olje.

For å få til dette skal det skal lages et hydraulisk og mekanisk system hovedsakelig bestående av standardkomponenter som allerede finnes i markedet. For at WROV skal kunne koble seg på RROV sitt hydrauliske system benyttes et «hotstab-system» som består av en tilførsel-stav som plugges inn i en mottaker heretter kalt hotstab (stav) og receptacle (mottaker).

4.2 Mekanisk og hydraulisk oppbygning

I bildet under kan man se en forenklet illustrasjon av konseptet og selve oppbygningen av løsningen. Ved å følge de lilla linjene vil man se den fullstendige kretsen som hydraulikken oljen vil sirkulere gjennom. Det er WROV sitt filter som vil stå for selve filtreringen av oljen i manipulator på RROV. Illustrasjonen viser, blant annet, ikke høytrykksfilter eller ventilen som regulerer trykk og volumstrøm for å gi en forenklet beskrivelse av konseptet.



Figur 18: Forenklet layout av system

4.3 Valg av standardkomponenter

1. Hotstab

- Navn: Ø35 DP Stab 10k Interv wCV BSP 3/8" ID6mm
Produsent: Blue Logic
Formål: Tillater at ROV kan koble seg på RROV sitt hydrauliske system for å filtrere olje med en løsning kan monteres/fjernes etter behov
Kommentar: Denne spesifikke hotstaben har 2 porter som passer utmerket til vårt formål. Vi har kun behov for 2 porter da vi ønsker å skape sirkulasjon. En linje ut, og en linje inn.
Hotstaben har da to separate porter som tillater oljestrøm. Disse er adskilt ved hjelp av røde o-ringer som hindrer utslipp til sjø og mellom linjene.
Referanse: [8]



Figur 19: Blue Logic hotstab [9]

2. Receptacle

- Navn: Ø35 DP Rec 10k Long-term MP 3/8"
Produsent: Blue Logic
Formål: Tillater at WROV kan koble seg på RROV sitt hydrauliske system for å filtrere olje via en løsning kan monteres/fjernes etter behov
Kommentar: Denne receptacelen er designet for å passe sammen med hotstab ovenfor.
Referanse: [10]

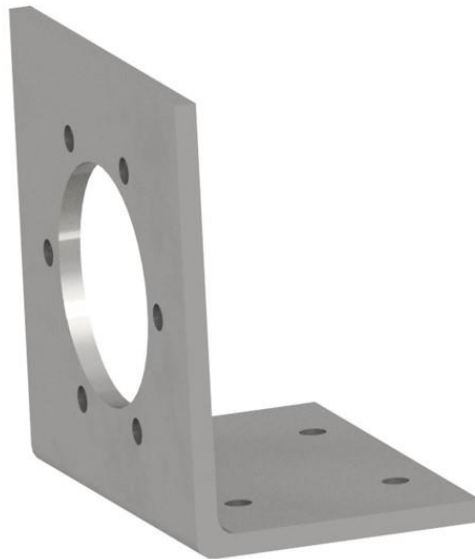


Figur 20: Blue Logic receptacle [9]

4.4 Spesialdeler

3. Brakett til å holde receptacle

Navn: Brakett for receptacle på RROV
Produsent: Egenprodusert



Figur 21: Brakett for receptacle

4.5 Volumstrøm

Hydraulikksystemet til WROV som regulerer hastigheten av filtrering benytter såkalte proporsjonalventiler. Proporsjonalventiler kan i motsetning til en tradisjonell magnetventil åpne/lukke delvis slik at man kan regulere hastigheten av oljen med høy nøyaktighet.

Det er ønskelig at det er kompensatoren som sørger for trykk og volumstrømkontroll av gjennomstrømningen under filtrering. Derfor blir oppgaven å sørge for at kompensatoren har tilstrekkelig oljenivå under enhver tid. Kompensatoren er levert av samme leverandør som armen – altså FMC Schilling. Denne har ingen sensorer/elektronikk o.l.

I løsningen ønsker man kontinuerlig gjennomstrømning for å filtrere effektivt. Om man tilfører for mye volumstrøm av olje vil dette medføre at kompensatoren vil overstige sin kapasitet som igjen vil medføre at overflødig olje vil bli slippet til sjø som en nød mekanisme – som naturligvis ikke er ønskelig.

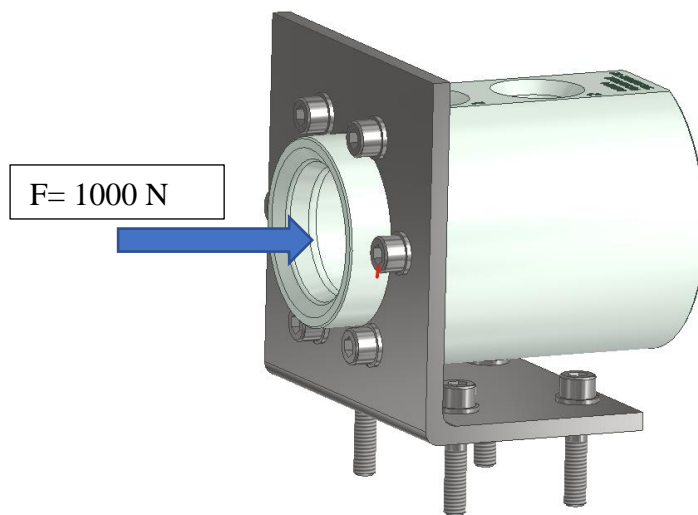
Under filtrering kan WROV ha visuelt bilde av kompensator å forsøke å finne en balanse med tilførsel av oljen ved å justere proporsjonalventil til riktig nivå. Dette kan utgjøre en risiko da det krever finjustering i forkant og kontinuerlig overvåking under filtrering.

For at filtrering skal gå helautomatisk uten behov for manuell justering og overvåking vil en kompensator med nivåsensor være ideelt. Med en slik løsning vil man kunne programmere en samhandling mellom kompensator-nivå og regulering av proporsjonalventil slik at dette balanseres automatisk.

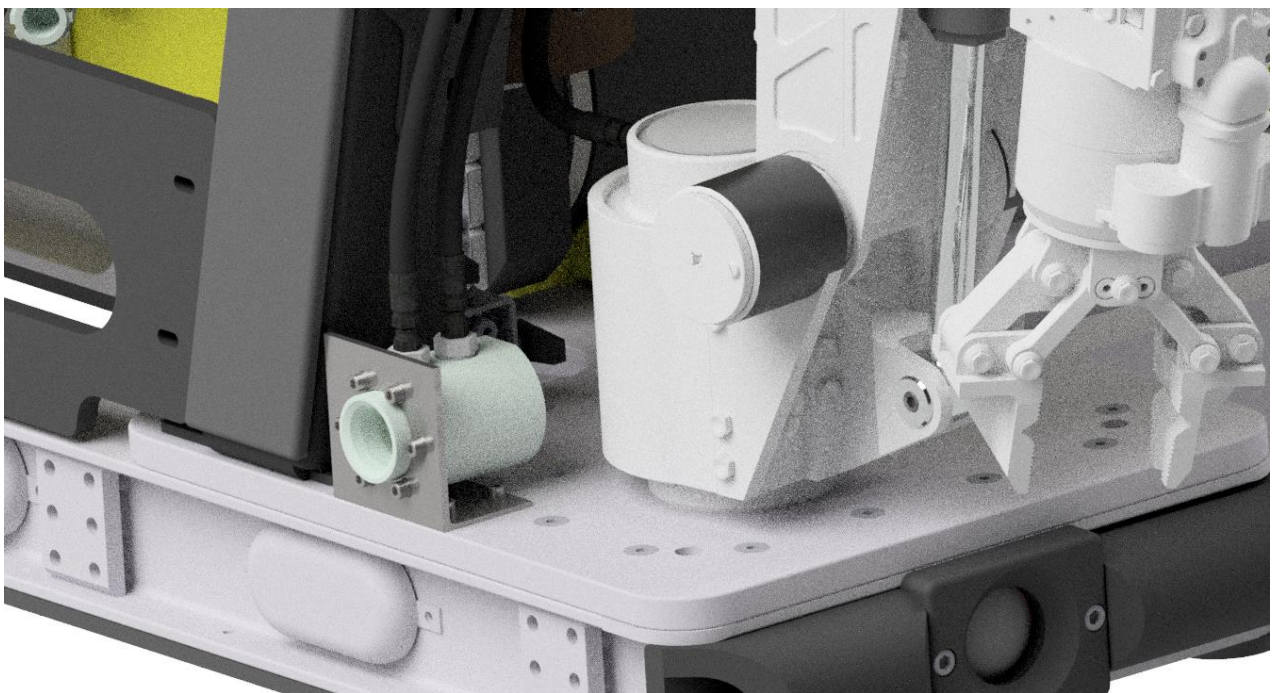
4.6 Beregninger

4.6.1 Mekanisk

Det er forholdsvis enkelt å montere en hotstab inn i receptacle for hånd for et voksent menneske. Om man tar høyde for noe brukerfeil eller at man entrer noe skjevt under montering kan man anta en mulig kraft på 1000 N i horisontal retning. Til sammenligning utgjør dette om lag 100kg i løft. Det er boltene som er valgt som «fixed constraint» - dvs det er boltene som holder braketten igjen for å bevege seg. Boltene er festet i en tykk rustfri plate. Det er ønskelig å beregne om braketten vil tåle en slik påkjenning uten å bøye seg. Det gjøres derfor beregninger av receptacle sin brakett:



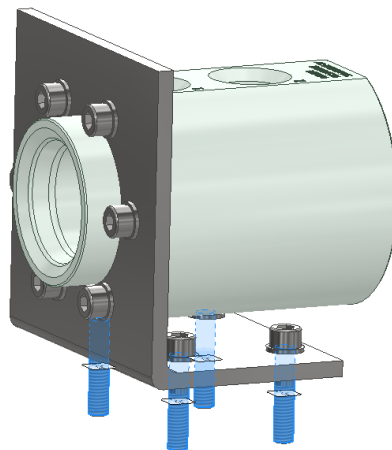
Figur 22: Illustrasjon av kraft på receptacle



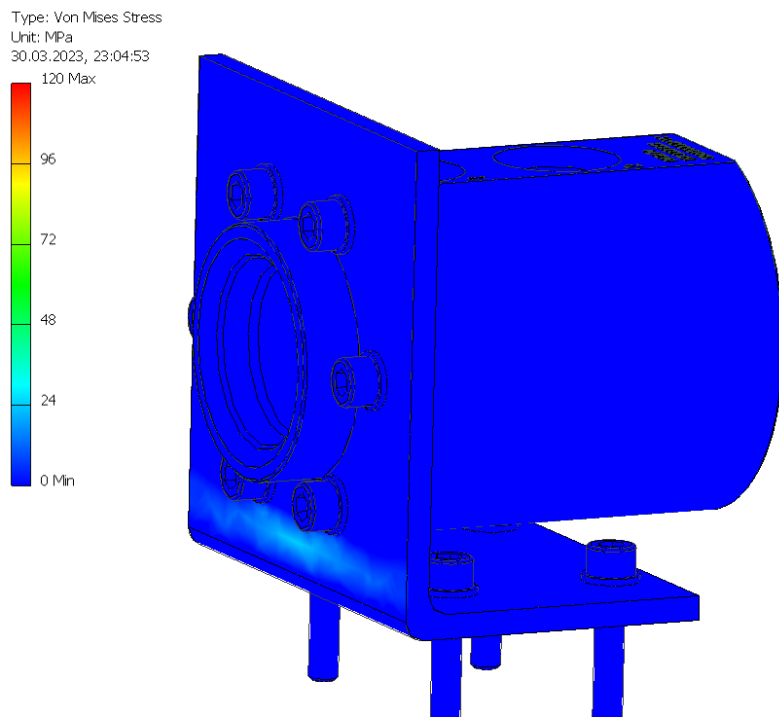
Figur 23: CAD layout av plassering av receptacle

Tabell 3: Styrkeberegning

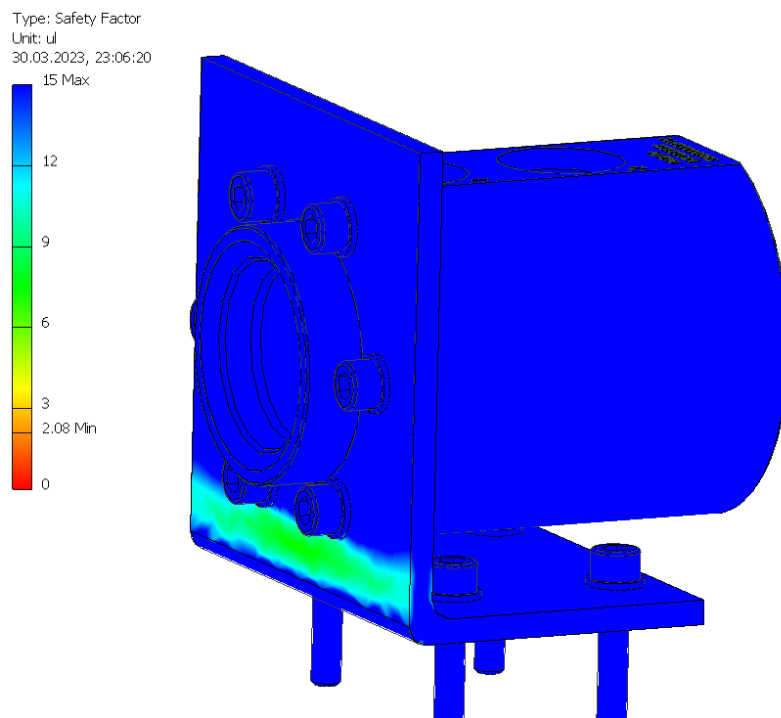
Beregninger på egenprodusert brakett		
Formel	Enheter	Utregning
$M_b = F * L$	$M_b = \text{bøyemoment [Nmm]}$ $F = \text{kraft [Newton]}$ $L = \text{lengde [mm]}$	$M_b = F * L$ $M_b = 1000N * 50mm$ $M_b = 50\ 000\ Nmm$
$W_b = \frac{bh^2}{6}$	$W_b = \text{motstandsmoment [mm}^3\text{]}$ $b = \text{bredde [mm]}$ $h = \text{høyde [mm]}$	$W_b = \frac{bh^2}{6}$ $W_b = \frac{100 * 5^2}{6}$ $W_b = 416\ mm^3$
$\sigma_1 = \frac{M_b}{W_b}$	$\sigma_1 = \text{bøyespennning [Mpa]}$ $M_b = \text{bøyemoment [Nmm]}$ $W_b = \text{motstandsmoment [mm}^3\text{]}$	$\sigma_1 = \frac{M_b}{W_b}$ $\sigma_1 = \frac{50\ 000\ Nmm}{416\ mm^3}$ $\sigma_1 = 120\ Mpa$
$n = \frac{R_m}{\sigma_1}$	$n = \text{sikkerhetsfaktor}$ $R_m = \text{flytegrense [Mpa]}$ $\sigma_1 = \text{bøyespennning [Mpa]}$	$n = \frac{R_m}{\sigma_1}$ $n = \frac{220\ Mpa\ (\text{rustfritt})}{120\ Mpa}$ $n = 1,83$
<p>Materialet som benyttes er rustfritt stål (316) som har en flytegrense på 220 Mpa. De manuelle beregningene korresponderer med stress analyser gjennomført i Autodesk Inventor. Manuell beregning anslår en sikkerhetsfaktor på 1,83. Programvaren anslår en minste sikkerhetsfaktor på 2.08 som skal være tilstrekkelig for slikt brukt – den anslår i tillegg at det maksimale nedbøyningen platen vil være 0,127mm som man kan si er neglisjerbart.</p>		



Figur 24: Fixed constraints. Analysen er gjort ved å låse av hele gjengepartiet til boltene mot innfestningsplate



Figur 25: Stressanalyse, Von Mises



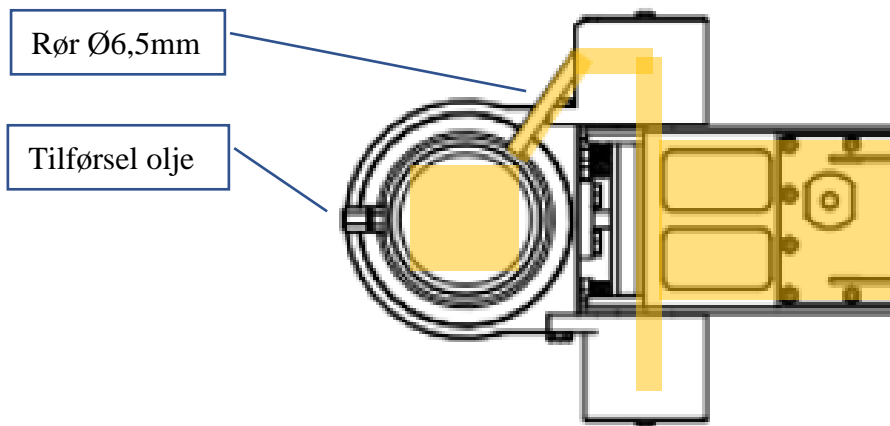
Figur 26: Stressanalyse, Safety factor

4.6.1 Volumstrøm

Det er ønskelig at det er kompensatoren som sørger for det lave trykket som presser oljen gjennom armen. Kompensatoren har et oppgitt trykk mellom 0.5 og 0.7 bar og har en sikkerhetsmekanisme som slipper oljen til sjø ved 1.4 bar for å unngå skader på armen. Ventilpakken som skal sirkulere oljen har en kapasitet på 15 liter pr minutt, og vil dermed ha som formål å holde kompensatoren med tilstrekkelig olje til enhver tid etter hvert som kompensatoren presser oljen gjennom manipulatorene. Det vil altså ikke være en begrensning i ventilpakken da grunnet trange passasjer vil forårsake at sirkulasjon er tidkrevende.

Schilling manual oppgir at armens volum er 9,6 liter og tilhørende kompensator er 2,2 liter. Til sammen utgjør dette 11,8 liter – om vi legger på slanger og rør ifm. denne løsningen kan vi anslå 12 liter

Man tar utgangspunkt i et kjent areal som befinner seg en kort avstand etter tilførselen av olje.



Figur 27: Illustrasjon rør passasje [3]

Det benyttes en tabell [11] levert av Hydros cand for approksimasjon av flow (liter/min). Tabellen anslår 2 liter pr minutt for et rør med id 6,5 mm.

Tabell 4: Beregning av filtreringstid

Hvor lang tid tar det å filtrere oljen?		
Formel	Enheter	Utrekning
$t = \frac{V}{Q}$	$t = \text{tid [minutt]}$ $V = \text{volum [liter]}$ $Q = \text{flow } \left[\frac{\text{liter}}{\text{min}} \right]$	$t = \frac{V}{Q}$ $t = \frac{12}{2}$ $t = 6 \text{ minutt}$
Det vil ta om lag 6 minutter å bytte ut volumet av 22 liter med en volumstrøm på 2 l/min.		

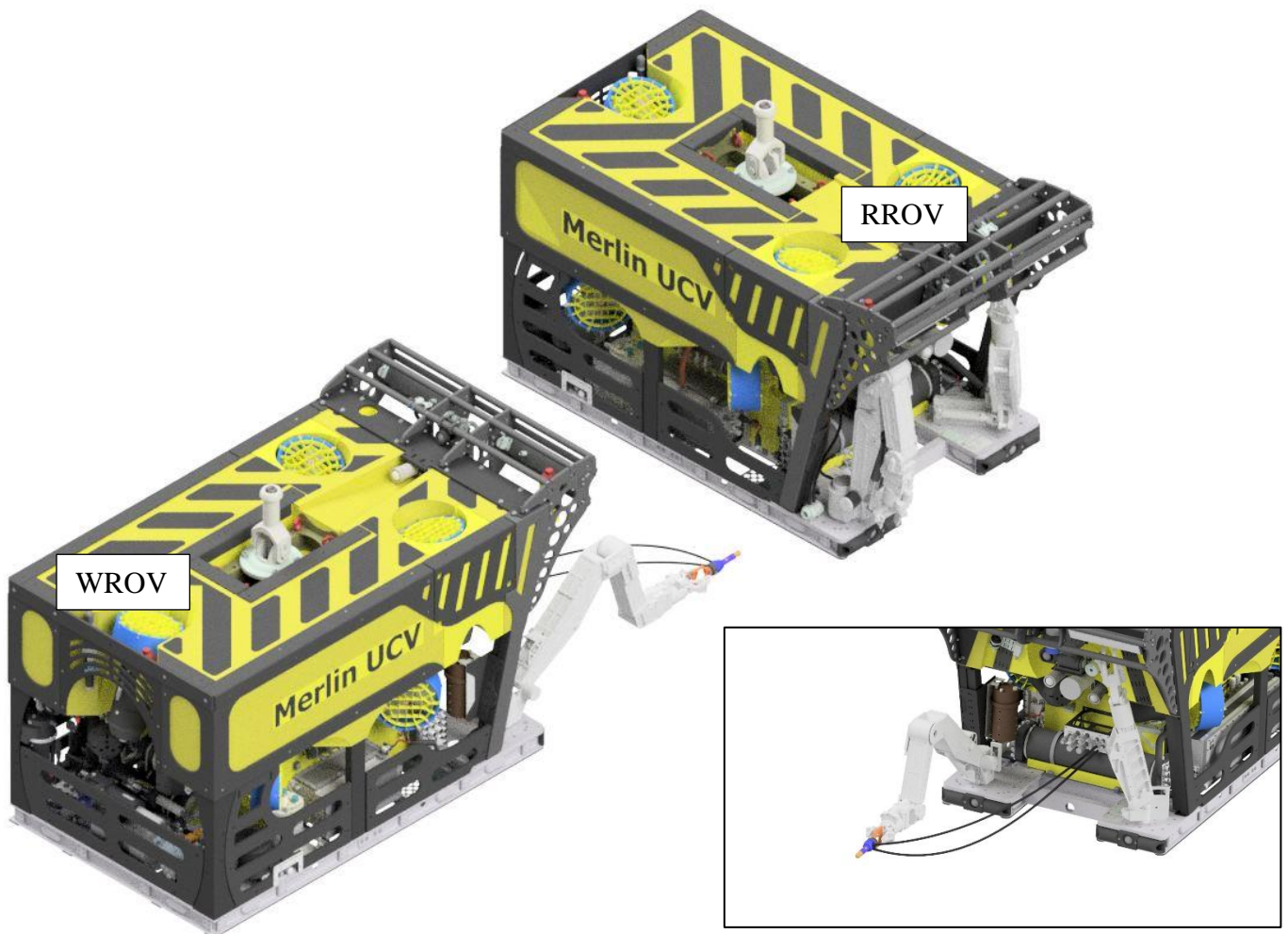
4.7 Begrensninger

For å utføre filtrering mest mulig effektivt er det nødvendig å programmere en samhandling mellom kompensatornivå og ventilen som supplerer oljesirkulasjon. Denne oppgaven vil ikke omfatte programmering eller gå i detaljer rundt denne type løsninger.

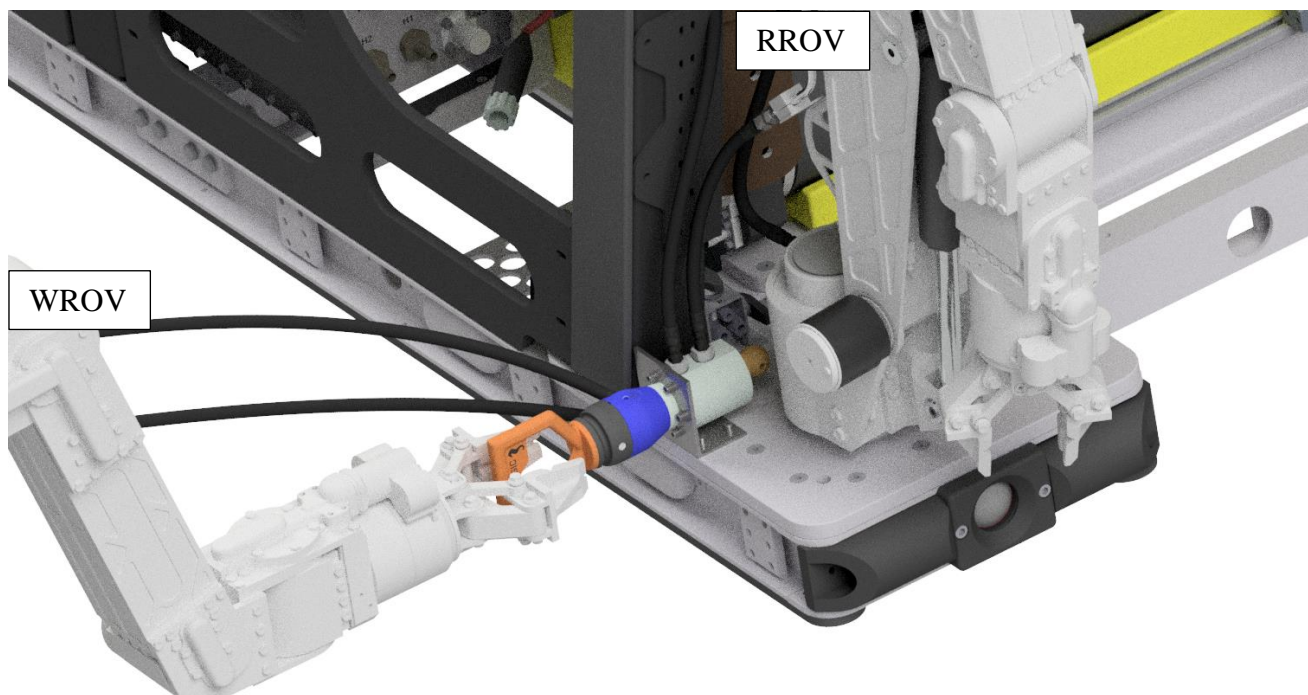
Under kan man se endelig løsning. Løsningen viser at WROV vil manøvrere farkosten til RROV og dermed plugge inn «hotstab» i «receptacle» til RROV for derved å filtrere oljen i manipulatoren til RROV.

WROV justerer oljemengde etter nivået på kompensator til RROV. På denne måten vil operatøren ha kontroll over trykk og mengde til enhver tid under filtrering. For å slippe å ha manuell kontroll over volumstrømmen er det ønskelig med programmering mellom pumpe og kompensator slik at dette automatiseres. På denne måten slipper operatøren å følge med under filtreringsprosessen.

Begge ROV må være plassert stødig under filtreringen slik at man ikke risikerer at hotstab frakobles fra receptacle og dermed slipper vann inn i systemet. Filteret til WROV kan ved behov byttes ut med nye filter frem til man oppnår ønsket renhet i RROV olje. Oljeprøve kan tas av olje når WROV er på dekk og eventuelt bytter filter – dette vil da være den samme oljen som RROV har og på denne måten kan man ha kontroll over renheten til oljen på RROV

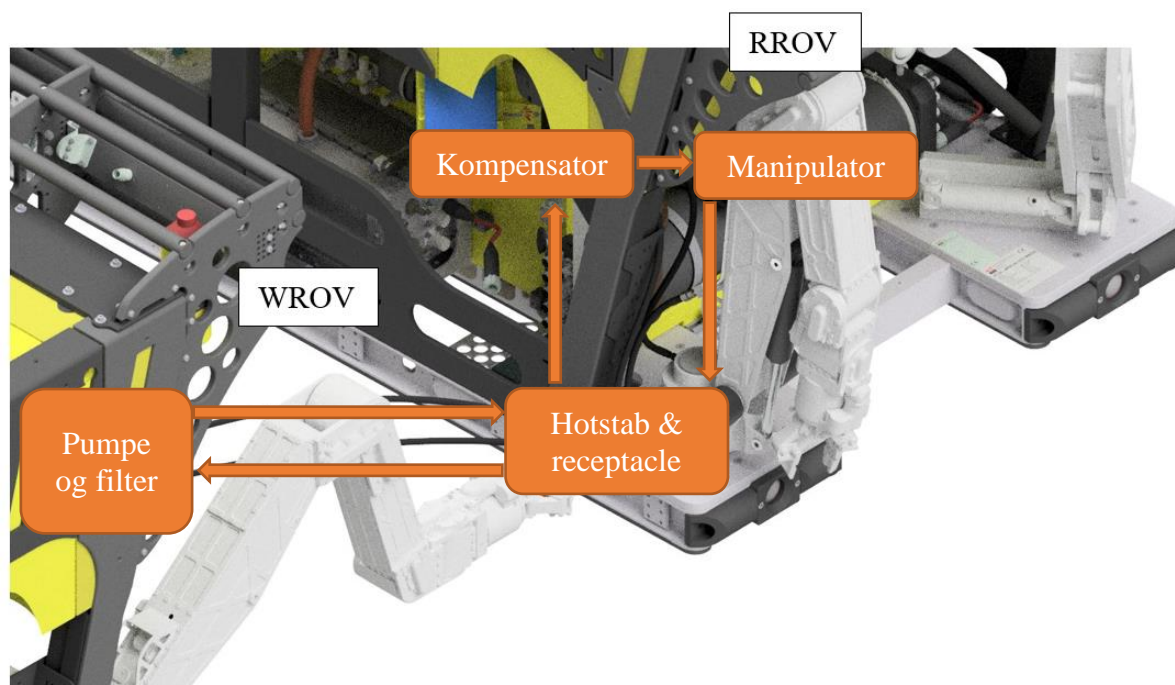


Figur 28: CAD layout - WROV OG RROV med hotstab og receptacle



Figur 29: CAD modell som viser hvordan WROV entrer hotstab i RROV receptacle

For å belyse sammensetningen av komponenter som skaper sirkulasjon av olje er dette vist i bildet under. Det må utføres en programmeringsjobb med å balansere volumstrøm og nivå på kompensator for å sikre stabil sirkulasjon.



Figur 30: CAD modell med forenklet forklaring av system

I et realistisk tilfelle hvor man skulle benyttet denne løsningen ville det vært ønskelig å vite hvor lenge man må filtrere for å få olje tilstrekkelig ren. Beregningene ovenfor er basert på gitte forutsetninger og en syklus med filtrering. Det er sannsynlig at det behøver et visst antall sykluser for å få tilstrekkelig renhet. For å kunne konkretisere dette nøyere er det nødvendig å foreta oljeprøver før- og etter filtrering.

Da vann er en tyngre væske enn olje vil vannet befinne seg i nedre del av komponentene. Dette vil også si at noe av vannet kan være utfordrende å filtrere ut. Det vil da være hensiktsmessig å plassere armen i gitte posisjoner for å øke sjansene for å filtrere bort vannet i oljen. Her må også tester til for å kunne konkretisere en prosedyre for filtrering.

Ved å la kompensatoren står for trykket som presser oljen gjennom armen frem til returlinje vil man sikre at det ikke er noe oljeutslipp til sjø. Det er eksisterende sikkerhetsventil montert på kompensatorene som slipper ut olje til sjø ved 1,4 bar. Trykket inne i kompensatoren vil være likt det hydrostatiske trykket utenfor. Det vil være et lite overtrykk på innsiden forårsaket av fjæren, men dette utgjør naturligvis mindre enn 1,4 bar. Dette vil si at så lenge man ikke fyller oljenivået i kompensatoren til 100% vil dette være en trygg metode for filtrering både med tanke på miljø og sikkerhet for utstyr.

Det vil være fordelaktig å benytte en olje med lav viskositet slik at oljen lettere vil kunne passere intern motstand i armen som trange passasjer med ledninger o.l. Ved høyere hastighet vil oljen filtreres raskere og man vil dermed oppnå et bedre resultat på kortere tid. Lavere viskositet kan igjen medføre at man får hyppigere lekkasjer så man må balansere ønsket volumstrøm med erfaringer knytte til lekkasjer.

Det ble underveis vurdert hvorvidt den RROV (resident ROV) skulle kunne filtrere egen olje i manipulator. Det er fordeler og ulemper med dette. Fordelene vil være at man ikke er avhengig av en annen WROV til å filtrere – en WROV er avhengig av været for å kunne dykke og vil derfor kunne ha begrensninger i forhold til dette. En annen fordel er at WROV kan utføre filtrering og dermed trekke systemet på dekk for å erstatte filter med nye for deretter å fortsette filtrering frem til ønsket resultat. Ulempen er at man er begrenset med filter som kan håndtere forurenset olje, og man har ikke mulighet for utskiftning av filter før de faste 3 måneders intervallene med mindre man lager en løsning for dette.

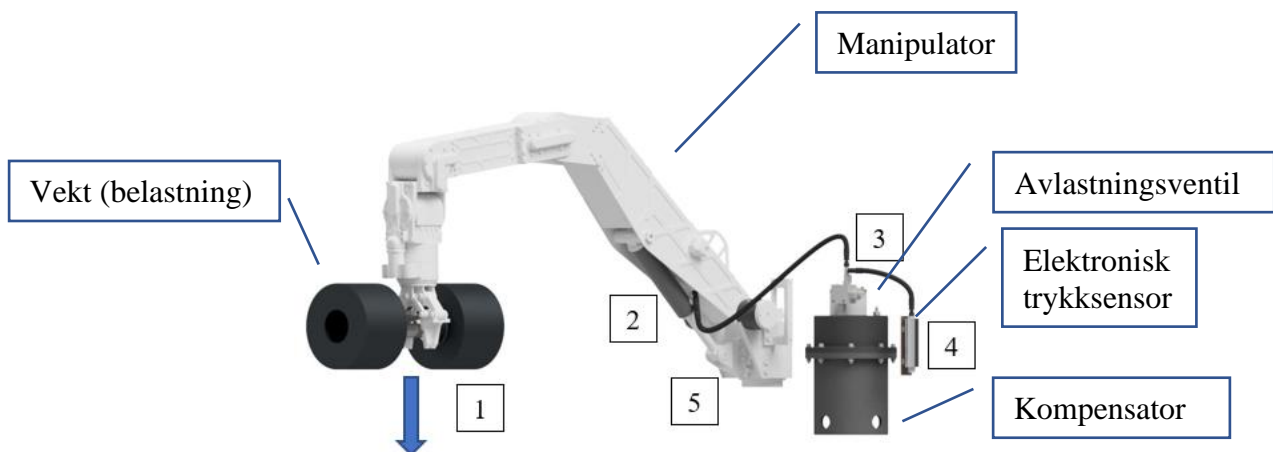
5. Problemløsning 2: Shear-pin

5.1 Konsept

Konseptet til løsning for denne problemstillingen er at det skal lages et hydraulisk system som skal forebygge at den originale mekaniske «shear-pin» bryter. Dette skal gjøres ved å montere en avlastningsventil som skal slippe hydraulikkoljen gjennom ved et gitt trykk. Trykket skal justeres til et nivå slik at oljen går til tank før «shear-pin» bryter.

I tillegg skal det installeres trykkovervåking slik at operatøren kan ha kontroll over belastningen på armen til enhver tid. Trykkovervåkingen skal overføres digitalt til operatørens eksisterende SCADA. SCADA er en skjerm som overvåker sensorer, ventiler og annen relevant data. Trykket skal vises både som trykkenheten bar og som prosent – hvor 100% er hvor avlastningsventilen vil slippe olje til tank (kompensator). Da har operatøren fullstendig kontroll over belastning på arm.

Bildet under illustrerer layout av løsningen. Merk at bildet kun skal illustrere konseptet av løsningen og er ikke tiltenkt som endelig løsning selv om det er et fungerende design er det ikke gunstig med tanke på at slangen som er tilkoblet sylinder utgjør en risiko med tanke på skader og oljelekkasje.



Figur 31: CAD layout av konsept

Sekvens forklaring:

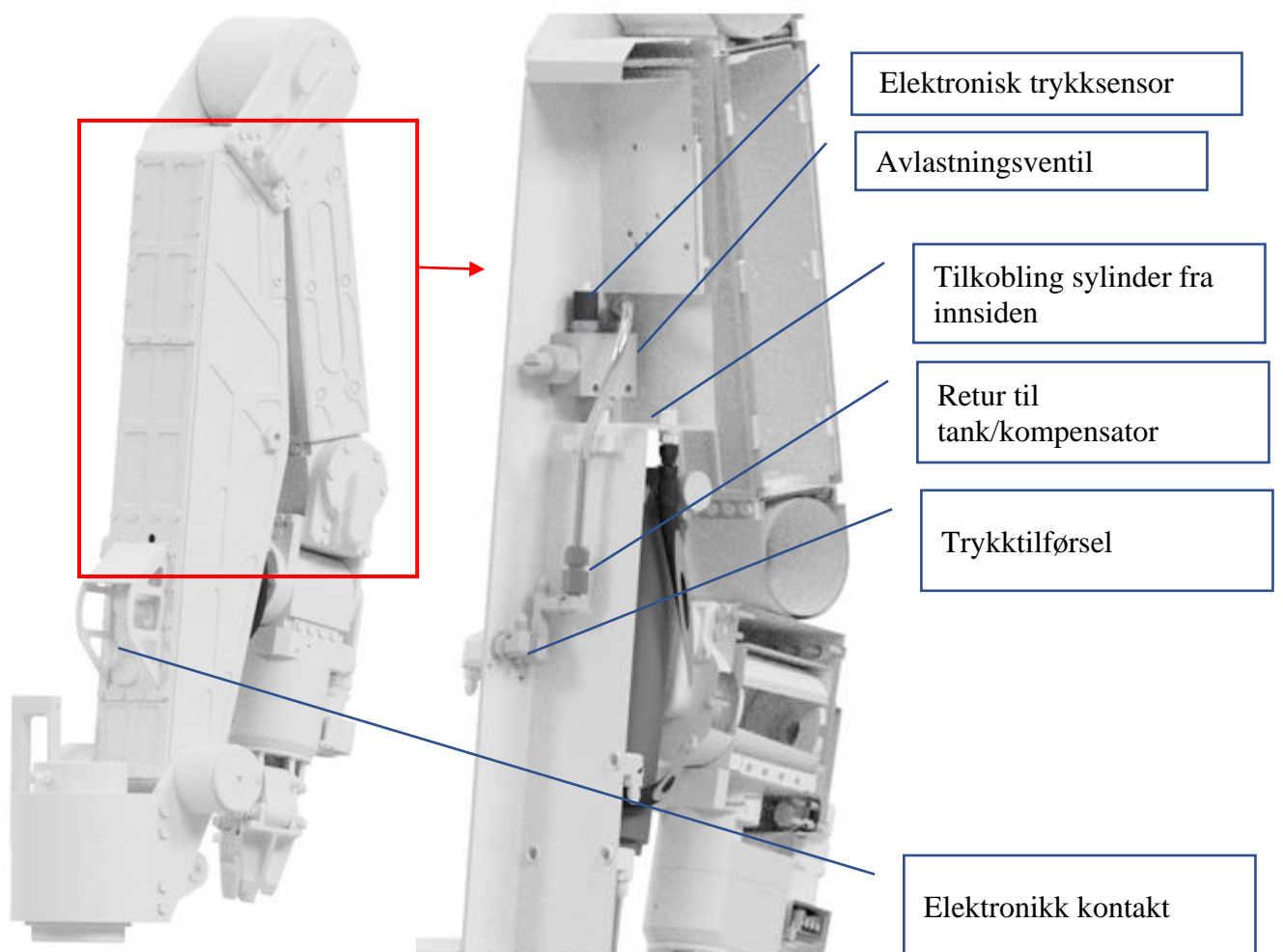
- Steg 1:** Det påføres krefter utover kapasitet til manipulatorarm
- Steg 2:** Oljetrykket vil overstige løftekapasitet til manipulator grunnet overbelastning
- Steg 3:** Avlastningsventil vil slippe trykk til tank til innstilt tryknivå. Dette vil medføre at sylindren vil «gi etter» frem til belastning ikke er over løftekapasitet.
- Punkt 4:** Trykksensor gir elektronisk trykkovervåking. Operatøren vil ha kontinuerlig overvåking over belastning på arm. Det sendes alarm til operatør før/ved kritisk belastning.
- Punkt 5:** Shear-pin blir dermed ikke knekt grunnet hydraulisk løsning

5.2 Mekanisk oppbygning

I figur 14 kan man se at denne løsningen er noe utsatt i forhold til skader på hydraulikkslange som kobler seg på via et T-stykke direkte på sylindere. Løsningen fremstår noe «klumpete». Man ønsker derfor en løsning som baseres på samme konsept, men forsøker å utnytte tomrommet på innsiden av armen på en effektiv måte.

Layout under illustrerer hvordan endelig løsning vil bli seende ut på innsiden med lokasjon hvor hver enkelt komponent vil bli montert.

Merk at dette blir estimert da gruppen ikke hadde tilgang til CAD tegninger som hadde modeller av faktisk innhold i arm. Ved montering må det gjøres tilpasninger.



Figur 32: CAD layout av konsept med komponenter

Trykksensoren har som formål å lese av det hydrauliske trykket. Trykket omgjøres til prosent for operatøren slik at det blir mest mulig intuitivt. Dette gjøres i programvare. Trykksensoren bruker analog kommunikasjon til å angi hydraulikktrykket til enhver tid. Signalet vil gå via en kontrollflaske, fiber og opp til operatøren sin SCADA skjerm der han har oversikten over sensorene sine.

Det benyttes 24 VDC spenning til trykksensoren. Dette er samme spenning som T4 benytter og vil derfor forenkle installasjon. Kontakten til T4 har i dag åtte ledere som benyttes til kommunikasjon og strømtilførsel, men kun fem av disse er i bruk. Dette gir oss mulighet til å benytte ledige ledere til kommunikasjon for trykksensor uten at det vil gå på bekostning av noe annet. Strømtilførsel hentes ut fra eksisterende kontakt.



Figur 33: T4 kontakt [12]

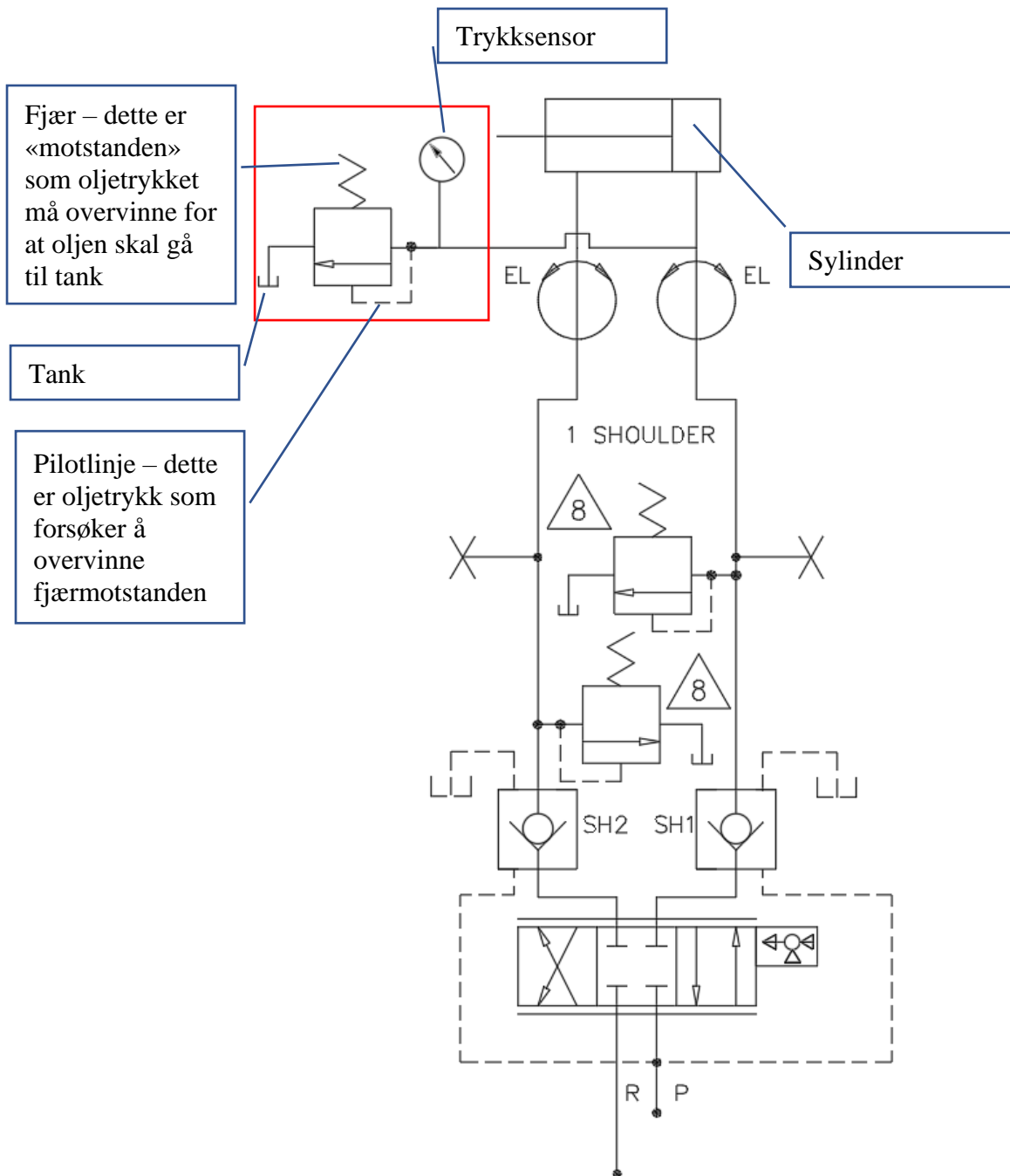
Strømforsyningen til 24 VDC som allerede eksisterer i kontrollflasken idag har en kapasitet på 150 W. Trykksensoren som er tiltenkt i denne løsningen bruker ubetydelige mengder strøm og blir neglisjerbart i denne sammenheng.

Det skal benyttes en trykksensor som skal lese av hydraulikktrykket. Det benyttes en trykksensor som allerede brukes andre steder på eksisterende ROV system. Dette er en enkel og stabil sensor som kommuniserer med analoge signal. ROV systemet sin kontrollflaske har flere ledige innganger til å ta imot analogt signal og dermed omgjør disse verdiene til digitalt. På denne måten kan man da omgjør rådata til logikk som sikrer kontinuerlig overvåking av belastning og alarmer som gis ved gitte nivå.

Sensoren som benyttes er en MSP 300 [13]. Dette er designet for å brukes i oljefylte komponenter og vil derfor være en passende sensor for dette bruket.

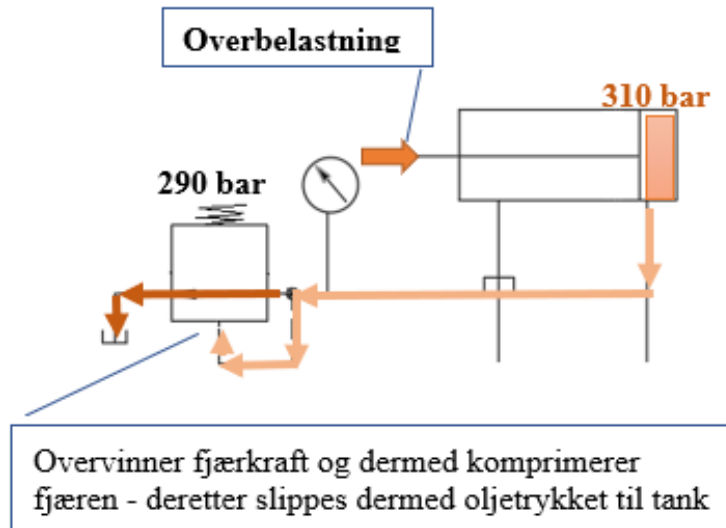
5.4 Skjematikk
5.4.1 Hydraulisk

Hydraulisk skjematisk tegning av løsning. Det røde feltet illustrerer hva som er tilført det eksisterende systemet. Resterende skjematikk er originalt fra leverandør. For å se original skjematikk henvises det til vedlegg A.



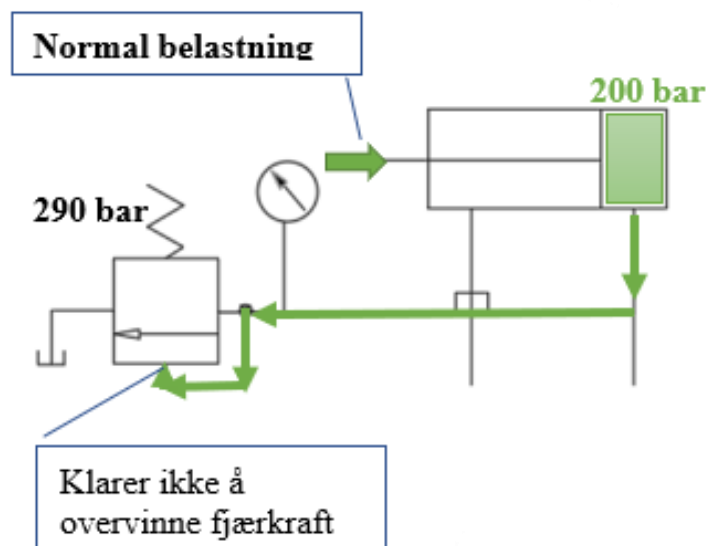
Figur 34: Hydraulisk skjematikk av løsning. Skjematikk er påbygd fra original skjematikk fra Schilling manual

Man ser av skjematikken at når sylinderen oppnår et gitt trykk vil denne kraften komprimere fjæren som holder avlastningsventilen i lukket posisjon, dermed vil oljestrømmen slippes gjennom til tank. Avlastningsventilen vil slippe olje til tank frem til at trykket reduseres til angitt trykknivå. Under kan man se de to ulike scenarioene under normal drift og ved overbelastning.



Figur 35: Avlastningsventil ved overbelastning

Under normal belastning vil derimot oljetrykket fra sylinderen ikke være sterkt nok til å komprimere fjæren i avlastningsventilen, og vil derfor forhindre avlastningsventilen i å endre posisjon slik at oljen ville kunne returnert til tank.

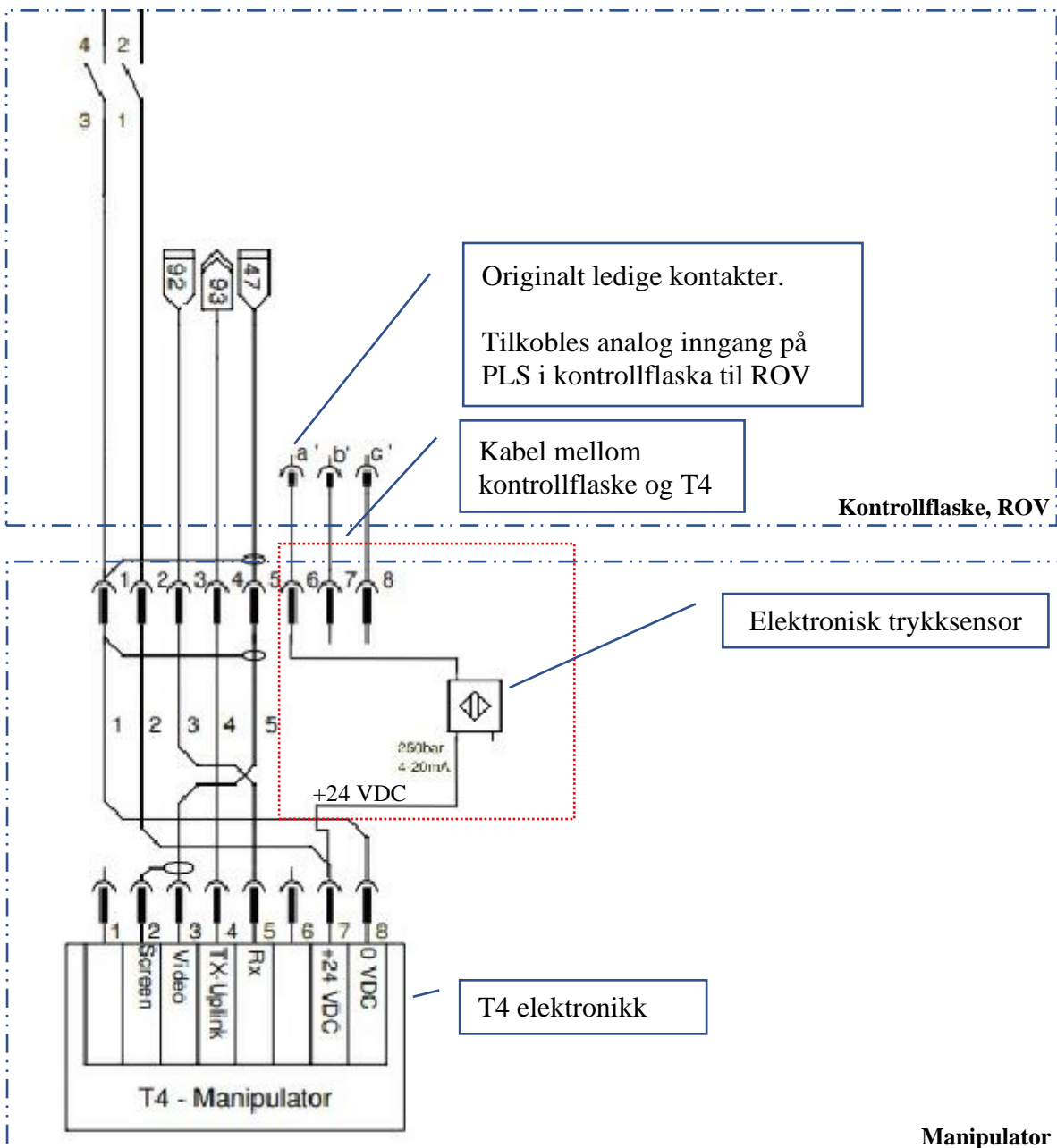


Figur 36: Avlastningsventil ved normal belastning

5.4.2 Elektrisk

Igjen er det røde feltet som illustrerer ny løsning. Som skjematikken viser benytter manipulatoren allerede 24 VDC som spenningstilførsel. Dette vil si at man allerede har tilgang til spenning på innsiden av armen til å gi spenning til den elektroniske trykksensoren. Ved å benytte eksisterende strømforsyning innebærer dette naturligvis at man må benytte en trykksensor som opererer med 24 VDC i likhet med armens elektroniske komponenter.

Den valgte trykksensoren krever ubetydelig lave verdier i form av strømforbruk. Derfor vil eksisterende strømforsyning være tilstrekkelig for å tilføre trykksensoren i eksisterende krets.



Figur 37: Elektrisk skjematikk med forklaringer

5.5 Valg av komponenter

Elektronisk trykksensor

Navn: MSP 300 Pressure Transducer
Formål: Trykkavlesning for å vite belastning på manipulator
Referanse: [13]



Figur 38: MSP 300

Avlastningsventil

Navn: Bosch Rexroth Hydraulic Relief Valve
Formål: Justerbar avlastningsventil for å ventilere trykk til tank ved gitt trykk
Referanse: [14]



Figur 39: Bosch avlastningsventil

5.6 Begrensninger i oppgave

Programmeringsjobb i programvare for å omgjøre trykk til prosent for operatør samt integrere data i eksisterende HMI/software

Begrenses til den ene siden på skulder sylinder da denne er mest aktuell. Men man kan også få uforutsette krefter i motsatt retning på skulderen.

Detaljer i elektronikk begrenses.

5.7 Beregninger

For at løsningen skal fungere må kompensatoren (tanken) ha kapasitet til å motta olje fra hydraulikk sylinder ved overbelastning. Det gjøres beregning for hvor stort volum det er snakk om.

Tabell 5: Beregning av antall liter i sylinder

Hvor stort volum er det i hydraulikksylinder?		
Formel	Enheter	Utregning
$V = \pi * r^2 * h$	$V = \text{Volum [mm}^3\text{)] [liter]}$ $r = \text{radius [mm]}$ $h = \text{høyde [mm]}$	$V = \pi * r^2 * h$ $V = \pi * 22^2 * 220$ $V = 334516 \text{ mm}^3$ $V = 0,33 \text{ liter}$
Det er 0,33 liter olje i hydraulikksylinderen		

Volumet fra sylindere går til en tank med kapasitet på 3 liter. Beregninger tilsa at man trenger 0,33 liter ledig kapasitet på kompensator for at løsningen skal fungere optimalt uten utslipp til sjø.

I manualen til Schilling T4 oppgir produsent at maksimalt løft er 454 kg. Det sies ikke noe mer om kapasitet eller bruddstyrken til clevis shear pin i dokumentet. En av leverandørene for Schilling deler, Innova AS, oppga at shear-pin har en kapasitet på 3000 kg. Man tar derfor utgangspunkt i dette for videre beregninger: Det utføres beregninger på ventilen som skal slippe oljen fra sylinder til kompensator på et gitt trykk – før shear-pin bryter. Først finner man hvilken kraft denne belastningen utgjør i newton.

Tabell 6: Omgjøre vekt til kraft

Omgjøre vekt til kraft		
Formel	Enheter	Utregning
$F = m * g$	$F = \text{kraft [Newton]}$ $m = \text{masse [kg]}$ $g = \text{tyngdekraft } \left[\frac{m}{s^2}\right]$	$F = m * g$ $F = 3000 * 9,81$ $F = 29430 \text{ N}$
3000 kg utgjør om lag 29 kN		

Videre må man da beregne hvilket trykk i sylindere som vil oppnå en slik kraft. For å beregne dette trenger man først å vite areal av stempelet. Man tar høyde for at den ene siden av stempel vil sylindrestangen oppta deler av arealet som medfører at den ene siden har mer kraft enn den andre.

Tabell 7: Beregning av areal

Beregne areal i sylindere		
Formel	Enheter	Utregning
$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	$A = \text{areal [mm}^2\text{]}$ $D = \text{diameter stempel [mm]}$	$A_{\text{stempel}} = \frac{\pi * D^2}{4}$ $A_{\text{stempel}} = \frac{\pi * 44^2}{4}$ $A_{\text{stempel}} = 1520 \text{ mm}^2$
$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	$A = \text{areal [mm}^2\text{]}$ $D = \text{diameter stempel [mm]}$	$A_{\text{stang}} = \frac{\pi * D^2}{4}$ $A_{\text{stang}} = \frac{\pi * 25,4^2}{4}$ $A_{\text{stang}} = 506 \text{ mm}^2$
$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	$A = \text{areal [mm}^2\text{]}$ $D = \text{diameter stempel [mm]}$	$A_{\text{total}} = A_{\text{stempel}} - A_{\text{stang}}$ $A_{\text{total}} = 1520 - 506$ $A_{\text{total}} = 1014 \text{ mm}^2$
Arealet av stempelet er 1014 mm^2		

Deretter kan man finne trykket for ventilen

Tabell 8: Beregne hydraulisk trykk

Beregning av hydraulisk trykk		
Formel	Enheter	Finne trykk til ventil
$P = \frac{F}{A}$	$F = \text{kraft [Newton]}$ $P = \text{trykk [Pa][bar]}$ $A = \text{areal [m}^2\text{]}$	$P = \frac{F}{A}$ $P = \frac{29430}{0,001014}$ $P = 29023668 \text{ Pa}$ $P = 290 \text{ bar}$
Basert på utregningene oppnår man maksimal kapasitet av shear-pin når oljen i sylindere oppnår 290 bar.		

Som tidligere nevnt er det viktig å poengtere at prosjektets løsning vil forhindre belastninger på shear-pin utover det som armen selv klarer å belaste. Det vil si belastningen som typisk påføres ved hjelp av ROV eller rigmaster (som er langt sterkere enn T4). Det er normal praksis at operatørene holder tak i objekter ved hjelp av T4 samtidig som de manøvrerer ROV oppover som derfor kan utgjøre belastning utover kapasitet til armen. Årsaken til at dette er normal praksis kommer av T4 er svært nøyaktig og anvendelig i motsetning til den kraftigere rigmaster. En annen grunn er at operatøren ikke kjenner til belastningen som påføres T4 da det ikke finnes noe belastning-/trykkovervåking i dag.

Underveis i prosjektet ble det også diskutert hvor vidt man skulle fjerne eksisterende shear-pin for å eliminere denne problemstillingen for resident ROV. Shear-pin kunne da i så fall blitt erstattet med en aksling som målte mekanisk belastning. I så tilfelle ville man vært helt avhengig av at prosjektets løsning vil fungere optimalt for å ivareta integritet av armens resterende komponenter fordi man da ikke har en shear-pin som knekker ved overbelastning.

Gruppen konkluderte med at man ønsket å beholde eksisterende shear-pin som en nødløsning om man skulle få en rask belastning som avlastningsventilen ikke klarer å håndtere grunnet begrensninger volumstrøm ved forflytning av olje fra sylinder til tank via avlastningsventil.

For den oppmerksomme leser kan man lese av den hydrauliske skjematikken (Vedlegg A: Hydraulisk skjematikk fra Schilling T4 manual) til manipulatoren at den allerede har en avlastningsventil innlemmet i armen. Denne har som funksjon til å slippe ekstraordinært høyt trykk forårsaket av dype dykk til tank. Det er ikke ønskelig at man «låser inne» eksempelvis 500bar i hydraulikksystemet når man har dykket på 5000m dybde. Dette kan utgjøre en sikkerhetsrisiko eksempelvis ved vedlikehold. Denne avlastningsventilen er da justert til en høyere trykknivå enn hva prosjektets avlastningsventil er.

Når stempelet er i bunn av sylindren vil ikke denne oppgavens løsning har noe funksjon da det ikke er mer olje å «tømme», og armen vil da være mer utsatt for skader i denne posisjonen. For å redusere dette faremomentet kan man sette såkalte grenseverdier på manipulator som medfører at man ikke får bevege sylindren mer enn hva begrensningen tilsier – med dette vil man sikre at det alltid skal være olje på begge sider av stempelet som sikrer integritet av shear-pin.

Det var en utfordring å kunne designe komponentene på innsiden av manipulatorarm da gruppen ikke hadde 3D-tegninger av komponentene på innsiden. Basert på tilbakemeldinger fra oppdragsgiver skal det være plass til å integrere løsning på innsiden, men plassering vil trolig avvike noe fra modeller som tidligere avbildet.

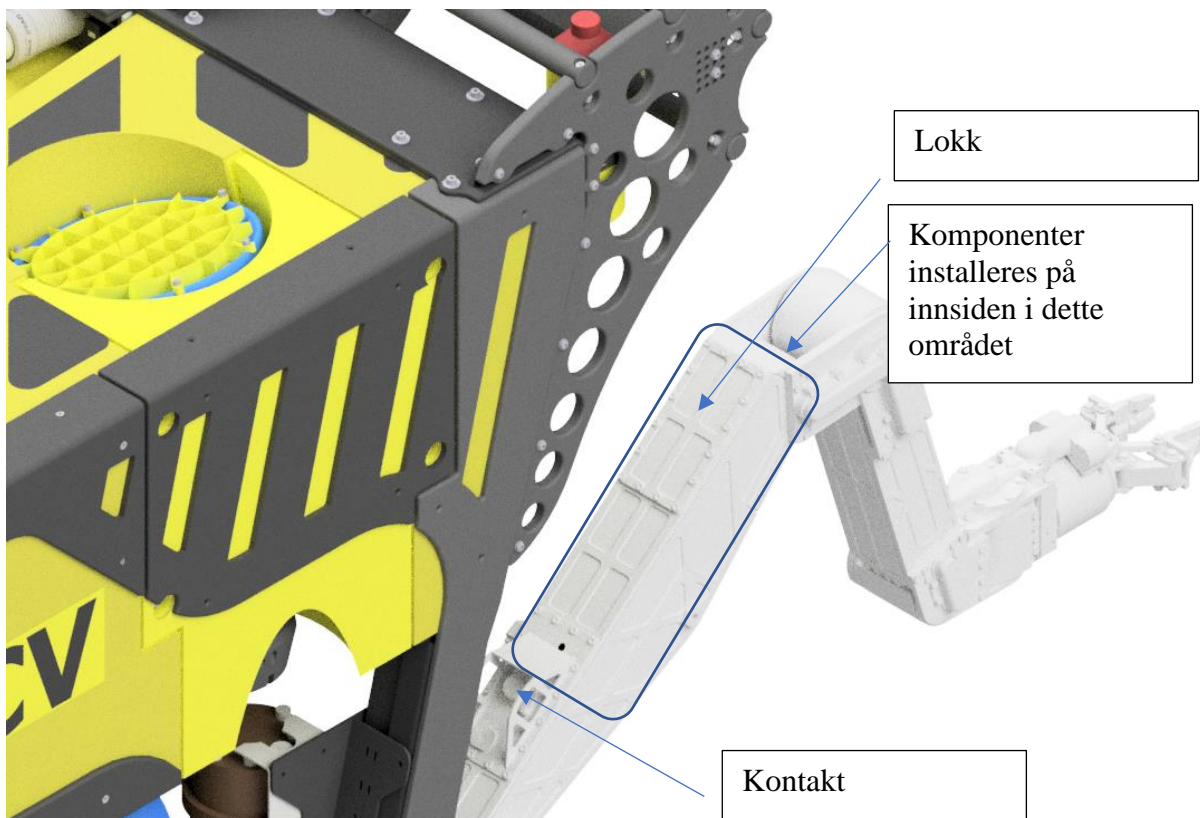
I tillegg til denne løsningen er det også mulighet for å installere løsning (avlastningsventil) på begge sidene av stempelet til sylinderen slik at man har en sikkerhetsmekanisme som forhindrer slitasje på shear-pin ved belastning i begge retninger. Slitasje og overbelastning foregår som regel i form av overbelastning iht retning B som illustrert i bildet under, men det kan også oppstå overbelastning i retning A eksempelvis forårsaket av en kran-wire som blir påvirket av en båt som blir påvirket av bølger. Gruppen valgte kun å ha fokus på retningen som er mest skadeutsatt.



Figur 40: CAD layout - retning av belastning

Det er designet et hydraulisk system som tilrettelegger for at T4 manipulator er mer egnet til å kunne fungere på resident ROV system. Løsningen er ettermonterbar på eksisterende ROV system. Komponentene er i stor grad basert på standardkomponenter for å holde kostnadene nede samtidig som det forenkler prosessen med ettermontering. Nødvendige komponenter vil ikke være synlig på utsiden av armen da komponentene vil integreres på innsiden av armens struktur, og vil derfor være beskyttet mot ytre mekaniske skader - dette er essensielt for at armen ikke skal redusere bruksområder ved å måtte hensynta utsatte komponenter. Det er god tilkomst da det er montert lokk som kan åpnes/lukkes ved hjelp av bolter.

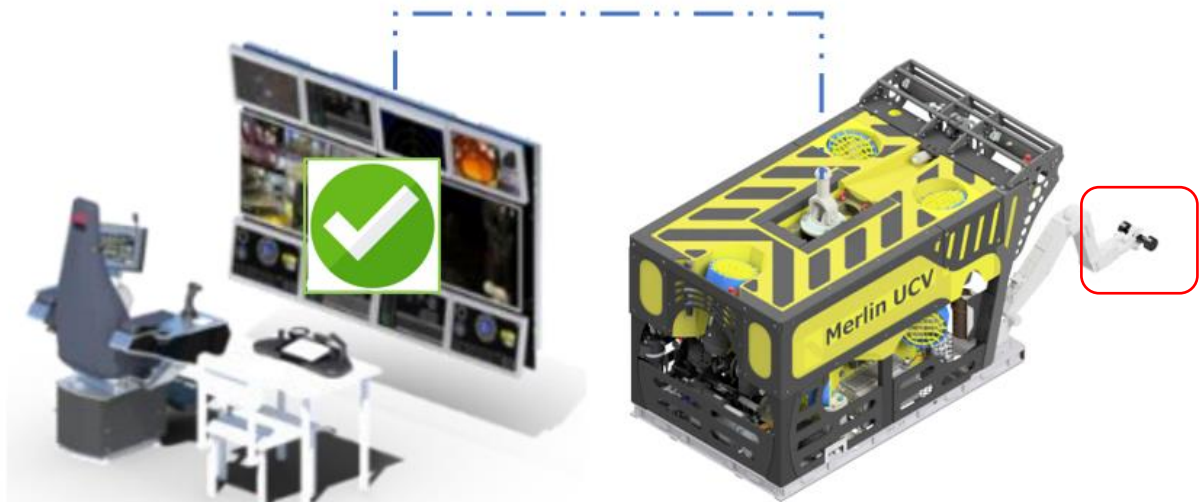
På innsiden av lokket har man tilgang til sylindrens hydrauliske porter. Dette tillater at man kan gjøre nødvendige koblinger mot avlastningsventilen internt. Fra innsiden har man også tilgang til elektronikk ved å bruke ubenyttede ledere i kabel og kontakt – dette tillater at man kan ha sensor som måler trykk (belastning).



Figur 41: CAD layout - plassering av løsning

Systemet vil kunne hjelpe operatøren med å kontrollere belastninger som armen utsettes under enhver tid. Dette vil resultere i redusert forbruk av shear-pin som dermed også vil ha en kostnadsreducerende effekt.

Ved å ha et design som måler faktisk belastning på arm vil operatøren/selskapet kunne sikre at ROV-systemet ikke arbeider utover armens begrensninger. Operatøren vil bli gjort oppmerksom på overbelastning med advarsler på HMI-skjerm.



Figur 42: CAD layout som viser godkjent belastning

Et gitt eksempel kan være at man forsøker å bevege et tungt objekt på havbunn – ved overvåking av belastning vil operatøren tidligere kunne fastslå at man må bruke alternative metoder/verktøy for å løse oppgaver uten «slite» ut armen til den bryter. Man vil også ha data som man kan bevise ovenfor klienter og oppdragsgivere at man bruker tilgjengelig krefter som utstyret er designet for, men ikke utover dette.



Figur 43: CAD layout som viser overbelastning

Den viktigste funksjonen til løsningen vil være nettopp det å ha kontroll over belastning på armen. Avlastningsventil vil være til hjelp under normal operasjon, men vil trolig reagere noe (grunnet begrensninger i oljens volumstrøm) sent om det skulle være overbelastning som oppstår svært raskt – da vil den originale shear-pin være ideell.

6. Materialvalg

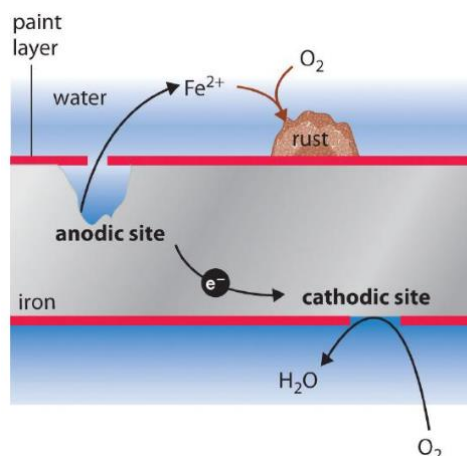
Det må tas hensyn til materialvalg ved valg av komponenter og egenutviklede maskindeler – spesielt når det omhandler deler som skal benyttes under vann. En ROV vil tas ut og inn av vannet ved jevne mellomrom og vil dermed bli eksponert for fukt og oksygen. Dette legger til rette for dannelse av rust. For at rust skal oppstå behøves det oksygen, fukt og jern.



Figur 44: Trekant som illustrer forutsetning for dannelse av rust [15]

I offshoreindustrien er særlig rustfritt- og aluminiumslegeringer svært utbredt da disse har gode korrosjonsegenskaper. Når man lager en gitt legering har man gjerne spesifikke ønsker når det kommer til styrke, sprøhet og korrosjonsbestandighet. Materialer som rustfritt (AISI316) og aluminium har eksempelvis gode korrosjonsegenskaper sammenlignet med ordinært karbonstål (ST52) – men ST52 har langt høyere bruddstyrke.

Ved materialvalg til utstyr som skal benyttes i det maritime miljø må man også ta hensyn til sammensetningen av ulike material. Velger man eksempelvis å montere en rustfri komponent sammen med en aluminiums del vil aluminiumet opptre som en offeranode for den rustfrie komponenten. Dette kommer av at aluminiumet befinner seg lavere på den elektrokjemiske spenningsrekken enn rustfritt, og vil derfor korrodere lettere. Det må være metallisk kontakt mellom de to materiale. [16] Ønsker man å unngå en slik problematikk monterer man ofte et metallisk skille mellom de to materiale slik at denne kjemiske prosessen ikke kan oppstå. Om man ønsker å beskytte et materiale benytter man gjerne materialer som ligger lavest i spenningsrekken, eksempelvis sink, aluminium eller magnesium.



Figur 45: Illustrasjon av katodisk beskyttelse med overflatebehandling [17]

Offshoreinstallasjon, skip og ROV benytter blant annet offeranode som beskyttelse mot korrosjon. Enkelte strukturer har man anoder som er utskiftbare som tillater at dykkere eller ROV kan bytte ut disse ved behov. Noen plattformskrog og oljebrønner (undervannsinstallasjoner) har en begrenset tiltenkt levetid og vil derfor ha en kalkulert mengde anoder montert ved installasjon som skal sikre beskyttelse i denne kalkulerte levetiden. Man vil kunne visuelt se at offeranoden er oppbrukt ved at den blir mindre. Man kan foreta målinger med instrumenter som kan sjekke om materialet er beskyttet av anoder.

Som barrierer mot korrosjon er ofte overflatebehandling (maling) hoved barrieren, og dermed vil anoden være reserveløsningen. Overflatebehandling vil isolere materialet fra oksygen, og vil derfor være et effektivt virkemiddel mot korrosjon – så lenge malingen er intakt.



Figur 46: Skip med offeranoder for beskyttelse mot korrosjon [18]

Løsningene i denne rapporten har ingen egenutviklede komponenter som krever høy styrke, men må kunne håndtere et maritimt miljø. I braketten som er designet benyttet man AISI316 da denne hadde tilstrekkelig styrke til formålet. Braketten er montert mot annet rustfritt materiale som derfor ikke vil skape en anodeeffekt.

7. Kostnader

7.1 Løsning 1: Filtrering

Det er vanskeligere å anslå kostnader knyttet til manglende filtrering på manipulatorarm da dette blant annet er avhengig av hvor mye utstyret brukes.

Som tidligere nevnt vil kretskortet være utsatt for kortslutning dersom det kommer i kontakt med vann. Vi tar derfor med kostnaden av dette kretskortet med i beregningene:

Tabell 9: Kostnad ved kjøp av nytt kretskort

Kostnad ved kjøp av nytt kretskort		
Produkt	Leverandør	Pris pr enhet (kr)
T4 - kretskort	Innova	67 900

Under kan man se kostanden ved ettermontering av et slikt system. Flere av summene er estimert da det var utfordrende å innhente reelle kostnadspriser på dette.

Tabell 10: Kostnader ved ettermontering

Kostnader ved ettermontering		
Beskrivelse	Antall	Pris pr enhet (kr)
Hotstab	1	23 237
Receptacle	1	17 688
Egenprodusert brakett (estimert)	1	10 000
Kompensator med sensor (estimert)	1	10 000
Slanger, rør og fittings (estimert)	3	10 000
Arbeidstimer v/montering (estimert)	12	8 000
Sum		78 925

7.2 Løsning 2: Shear-pin

Oversikt over kostnadsbilde av dagens løsning:

Tabell 11: Kostnad av shear pin

Kostnad ved kjøp av shear pin		
Produkt	Leverandør	Pris pr enhet (kr)
T4 - clevis shear pin	Innova	8 042

Tabell 12: Oversikt over tidsforbruk ved bytte av shear pin

Tidsforbruk ved bytte av shear pin når brudd oppstår under operasjon i kronologisk rekkefølge			
1. Trekke system på dekk		1	time
2. Bytte Clevis shear pin		1,5	time
3. Sjøsette system		1	time
Totalt		3,5	timer

Tabell 13: Estimerte rater på personell og system

Estimerte rater på system og personell ifm. nedetid*			
Systemrate		1500	pr time
Personellrate pr person (3stk pr skift)		900	pr time

*Nedetid er timer som ikke kan faktureres til klient grunnet uforutsette situasjoner som gjør at system ikke er operativt

Tabell 14: Kostnader ifm utbedring av shear pin

Kostnader når shear-pin bryter under operasjon medfølgende utbedring og nedetid (kr)	
Kostnad shear pin	8 042
Nedetid ((3,5 time * 1500 NOK) +(3 personer * 3,5 time *900 NOK)	14 700
Totalt	22 742

IKM har oppgitt at de hadde et forbruk på 19stk i 2021 og 18stk i 2022. Om man tar utgangspunkt i at det var nedetid forbundet med hvert skifte av shear pin vil man ende med en kostnad estimert mellom 430 000 – 530 000 NOK hvert år.

Tabell 15: Forbruk av shear pin de siste årene hos IKM Subsea

Forbruk av T4 - clevis shear pin				
Årstall	Antall forbruk	Kostnad shear pin (kr)	Kostnader med nedetid (kr)	Total kostnad (kr)
2021	19	152 798	279 300	432 098
2022	18	144 756	264 600	529 200

Kostnader forbundet ved innkjøp og montering av prosjektets løsning

Tabell 16: Kostnader ved ettermontering av løsning

Kostnader ved ettermontering		
Beskrivelse	Antall	Pris pr enhet (kr)
Avlastningsventil	1	2 818
Trykksensor m/kabel	1	1 870
Hydrauliske rør/slanger (estimert)	3	3 000
Arbeidstimer v/montering (estimert)	12	10 800
Sum		18 488

8. Diskusjon

Bakgrunnen for de selvvalgte oppgavene var basert på egne erfaringer fra ROV-yrket. Det var kjent for studenten at det var et stort forbruk av såkalte shear-pins som forårsaket hyppige skader og betydelige kostnader for bedriften. IKM Subsea har valgt bort bruken av T4 på resident ROV grunnet vedlikeholdsbehovet denne armen har – derfor var det interessant å håndtere en (av flere) problemstilling som var en faktor i dette valget. Fra en operatørs ståsted er det ønskelig å bruke en T4 manipulator istedenfor andre manipulatorer som ikke er like brukervennlige når det kommer til presisjonsarbeid.

Sammen med oppdragsgiver ble det derfor komponert oppgaver som kunne håndtere reelle problemstillinger som eksisterer hos ROV-bedrifter. Felles for de begge problemstillingene er at de er knyttet opp til residens ROV. Dette er moderne teknologi og er fortsatt relativt nytt i industrien. Problemstilling og løsning knyttet til shear-pin er også svært relevant utover residens ROV – det vil si at den trolig vil være nyttig for en tradisjonell ROV også. Gruppen har stor tro på denne løsningen for å redusere kostnader og bevisstgjøre operatører over belastning.

En del av formålet med løsningene var at de var relevante for bedriften og operatøren. Løsningene tar for seg optimalisering av en eksisterende teknologi (resident ROV) samtidig som det optimaliserer for operatøren som kan overvåke belastning under bruk.

Gjennomføringen av prosjektet har i stor grad bestått av jevn arbeidsmengde med en økning spesielt mot slutten da andre eksamener opptok en god del tid. Gruppen har hatt jevne møter med veileder Ove hvor det er kommet konstruktive tilbakemeldinger. Samtaler med bedrift er blitt initiert ved behov av studenten.

Da gruppen består av en student med bakgrunn for ROV-yrket var problemstilling og problemløsningen allerede påtenkt i tidlig fase, men det viste seg likevel at nye utfordringer oppsto som man kanskje ikke hadde forestilt seg på forhånd. Det ble brukt langt mer tid på modellering enn hva som først var budsjettert. Løsningene har under hele prosessen blitt videreutviklet og forbedret basert på egne studier og tilbakemeldinger fra oppdragsgiver og kollegaer.

Studenten anser begge problemløsningene som realistisk gjennomførbare, men har spesielt tro på løsningen som omhandler shear-pin. Det er ikke nødvendigvis avlastningsventilen som gjør at det er en god løsning, men det at operatøren kan ha kontinuerlig oversikt over belastning på arm vil kunne forhindre slitasje. Et slikt kostbart utstyr burde ha en slik sensor som standardutstyr – det er tilnærmet underlig at dette ikke er utviklet tidligere. Løsningen er ikke kostbart når man ser dette i sammenheng med årlige kostnader som forbrukes.

9. Konklusjon

Forstudierapporten la til grunn en oppgave om å løse to ulike utfordringer knyttet til manipulatorer til ROV som er stasjonært på havbunn i 3 måneders intervall, heretter kalt residens ROV (RROV). Da ROV ikke er like kjent for alle er det derfor blitt gitt introduksjoner innledningsvis i rapporten.

Utfordringene var kort fortalt:

- **Shear-pin**
Lage en hydraulisk løsning for trykk- og belastningsovervåking hvor formålet var å redusere slitasje og kostnader på eksisterende sikkerhetsmekanisme på manipulatorarm.
- **Filtrering**
Design av en mekanisk og hydraulisk løsning som tillater at en tradisjonell ROV kan filtrere oljen i manipulator på en resident RROV (en ROV som er stasjonært på bunn i lengre tidsperioder). Formålet var her å håndtere en (av flere) utfordringer knyttet til bruk av denne typen manipulator-armer på residens ROV er grunnet vedlikeholdsbehovet.

Rapporten har beskrevet bakgrunnen for utfordringene og kommet frem til løsninger som håndterer problemstillingene. Utfordringene er i stor grad knyttet opp til hydraulikk – det er derfor blitt gitt introduksjoner til hydraulikkkomponenter og skjematikk for å lettere kunne forstå metodikken.

Det kommer frem løsningsforslag på begge utfordringene i rapporten. Løsningene omhandler i stor del om bruk av standardkomponenter som blir implementert i eksisterende hydraulikksystem. Skjematikk er hyppig brukt som å illustrere løsningene i sin helhet. Flere utklipp fra CAD-modellering er lagt inn i rapporten for å vise hvor komponentene skal monteres – rent mekanisk.

Da løsningsforslagene er i stor grad bygget med standardkomponenter som finnes tilgjengelig på markedet vil man kunne installere et slikt utstyr uten større utfordringer. Før man skulle startet bestilling av deler ville det likevel være nødvendig å verifisere valg av komponentene til løsning. Det finnes flere ulike leverandører av standardkomponentene som kan være bedre egnet enn hva som kommer frem av denne rapporten – også i form av fysisk størrelse da dette utgjør en faktor - spesielt ved shear-pin løsning.

Rent økonomisk vil shear-pin løsning være en fornuftig investering basert på innhentet informasjon i denne rapporten. Løsningen har potensiale til å spare inn kostnaden av deler- og ettermonteringskostnaden rimelig kjapt. Filtreringsløsning vil kun være fornuftig dersom IKM Subsea (eller andre aktører) ville satset på bruk av T4 på sine RROV.

Løsningen til shear-pin utfordring vil også kunne bedre hverdagen til operatørene som bruker utstyret ved at man har kontroll over belastning på manipulatorarm. Operatører kan bli utsatt for press og forventinger om å utføre visse oppgaver med manipulator som muligens medfører slitasje (og dermed kostnader) på utstyr som ROV-selskapet selv må betale for. Arbeid utover designkapasitet vil også medføre en fare for oljeutslipp til sjø. Løsningen gir operatøren oversikt over belastning og vil derfor være avgjørende om det er behov for andre verktøy til å utføre aktuell arbeidsoppgave.

10. Bibliografi

- [1] IKM Subsea, «GCEocean,» [Internett]. Available: <https://www.gceocean.no/media/1441/180531-offshore-wind-subsea-ikm-subsea.pdf>. [Funnet 15 April 2023].
- [2] Kystdesign, «Kystdesign.no,» Kystdesign, [Internett]. Available: <https://kystdesign.no/rovs/supporter-work-class-rov/>. [Funnet 22 Mars 2023].
- [3] FMC Schilling, «FMC Schilling T4 manual,» FMC, 2023 (Merk: denne er overlevert veileder Ove Mikkelsen).
- [4] IKM Subsea, «IKM Subsea - about,» [Internett]. Available: <https://www.ikm.com/ikm-subsea/about/>. [Funnet 13 Februar 2023].
- [5] «Autodesk Inventor,» Wikipedia, [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor. [Funnet 14 Februar 2023].
- [6] MobileHydraulicTips, «MobileHydraulicTips.com,» [Internett]. Available: <https://www.mobilehydraulictips.com/business-end-hydraulics-cylinder/>. [Funnet 22 Mars 2023].
- [7] Innova, «Innova.no,» Schilling, [Internett]. Available: <https://www.innova.no/e/products/rov-equipment/schilling-robotics-titan-4-manipulator/>. [Funnet 27 Mars 2023].
- [8] BlueLogic, «e-sea.bluelogic,» BlueLogic, [Internett]. Available: <https://e-sea.bluelogic.no/main.aspx?page=article&artno=PA0270>. [Funnet 16 April 2023].
- [9] BlueLogic, «Bluelogic.no,» Bluelogic, [Internett]. Available: <https://www.bluelogic.no/products/fluid-control/hot-stab>. [Funnet 12 Mars 2023].
- [10] BlueLogic, «e-sea.bluelogic,» BlueLogic, [Internett]. Available: <https://e-sea.bluelogic.no/main.aspx?page=article&artno=BA5903>. [Funnet 16 April 2023].
- [11] «Hydroscand,» Hydroscand, [Internett]. Available: <https://capellamedia.ipapercms.dk/Hydroscand/HydroscandAS/produktkatalog-2023/?page=690>. [Funnet 16 April 2023].
- [12] Seascapesubsea, «Seascapesubsea.com,» [Internett]. Available: <https://www.seascapesubsea.com/product/5500-series/>. [Funnet 10 Mai 2023].
- [13] «RS-online,» MSP, [Internett]. Available: <https://us.rs-online.com/product/te-connectivity/m3041-000006-250pg/71023693/>. [Funnet 16 April 2023].
- [14] «RS-online,» Bosch, [Internett]. Available: <https://no.rs-online.com/web/p/hydraulic-pressure-relief-valves/0807823>. [Funnet 16 April 2023].
- [15] Unitedfiresystem, «Unitedfiresystem.com,» [Internett]. Available: <https://unitedfiresystems.com/about/corrosion>. [Funnet 11 Mai 2023].
- [16] Wikipedia, «Offeranode,» [Internett]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/Offeranode>. [Funnet 10 Mai 2023].
- [17] LibreTexts, «chem.libretexts.org,» [Internett]. Available: https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Map%3A_Chemistry_-_The_Central_Science_%28Brown_et_al.%29/20%3A_Electrochemistry/20.08%3A_Corrosion. [Funnet 10 Mai 2023].
- [18] MarineInSight, «MarineInSight,» [Internett]. Available: <https://www.marineinsight.com/tech/understanding-sacrificial-anodes-on-ships/>. [Funnet 10 Mai 2023].

- [19 IKM Subsea, «GCEocean,» [Internett]. Available:
] <https://www.gceocean.no/media/1441/180531-offshore-wind-subsea-ikm-subsea.pdf>.
[Funnet 15 April 2023].
- [20 Saab Seaeye, «UniqueGroup,» Saab, Seaeye, [Internett]. Available:
] <https://www.gceocean.no/media/1441/180531-offshore-wind-subsea-ikm-subsea.pdf>.
[Funnet 11 Mars 2023].
- [21 Hydroscand, «Hydroscand.no,» Hydroscand, [Internett]. Available:
] <https://capellamedia.ipapercms.dk/Hydroscand/HydroscandAS/produktkatalog-2023/?page=690>. [Funnet 03 April 2023].

11. Vedlegg

Vedlegg A: Hydraulisk skjematikk fra Schilling T4 manual

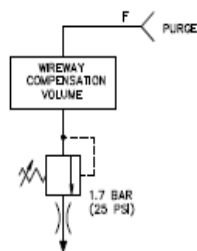
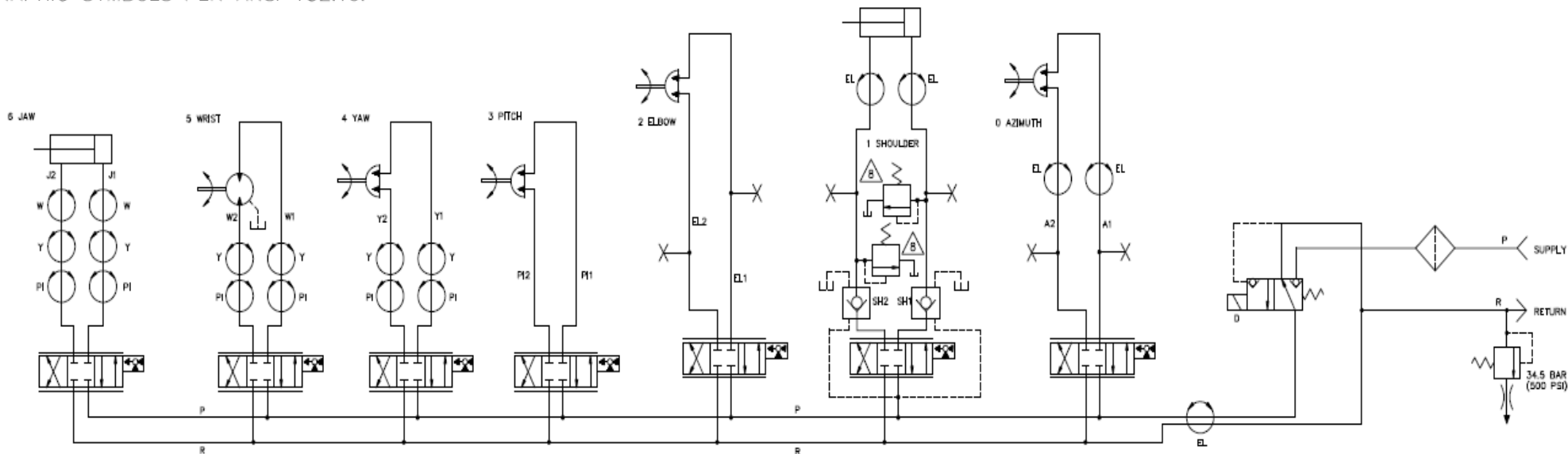
NOTES:

- SUPPLY PRESSURE 3000 PSI. [207 Bar]
- PROOF PRESSURE:
 SUPPLY 4500 PSI [310 Bar]
 RETURN 1000 PSI (R ≤ S) [31 Bar]
 WIREWAY COMPENSATION 38 PSI [2.6 Bar]
- BURST PRESSURE:
 SUPPLY 9000 PSI [621 Bar]
 RETURN 3000 PSI (R ≤ S) [207 Bar]
 WIREWAY COMPENSATION 200 PSI [14 Bar]
- FILTRATION:
 10 MICRON NOMINAL
 25 MICRON ABSOLUTE
- VISCOSITY RANGE 10 CS TO 110 CS.
- GRAPHIC SYMBOLS PER ANSI Y32.10.
- ALL OVERALL DRAWING DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE ONLY. METRIC EQUIVALENTS SHOWN IN BRACKETS [].



RELIEF VALVE SETPOINT IS 3600 ±500 PSI.

REV	SHT	ZONE	DESCRIPTION	DATE	BY	APPR
A	-	-	RELEASED FOR PRODUCTION	7/23/07	CRL	SLW
B	1	B1	1000 PSI WAS 450 PSI	11/21/07	NLH	SLW
C	-	-	UPDATED DRAWING WITH PROPER SYMBOLS, CHANGED SHT SIZE FROM "c" TO "B" ON ALL SHTS.	10/17/08	NLH	AH
D	2	A2	REVISED UPPER ARM HYDRAULIC DETAIL	5/5/09	RDJ	WK



GENERAL NOTES		NEXT ASSEMBLY	
INTERPRET DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994. IN ADDITION, (S) DENOTES REGARDLESS OF FEATURE SIZE. REMOVE ALL BURRS AND BREAK ALL SHARP EDGES. ALL MACHINED SURFACES TO BE 6.3 RMS FINISH UNLESS OTHERWISE NOTED. DIMENSIONS ARE IN INCHES UNLESS OTHERWISE NOTED.		101-2250	101-3126
		101-2920	101-3136
		101-2926	101-3171
		101-3109	101-3214
		SIGNATURE	DATE
		DRAWN CRL	7/23/07
		DESIGNED TL	7/16/07
		CHECKED	
		LEAD SLW	
TOLERANCES			
DECIMALS	FRACTIONS	ANGLES	
.X ±.1		.X ±.30°	
.XX ±.02	±1/16	.XX ±15°	
.XXX ±.005			

SCHILLING ROBOTICS		PROJECT TITAN 4		
		TITLE HYDRAULIC SCHEMATIC & MAP, TITAN 4, HAWE		
SCALE:	DRAWING NUMBER:	SIZE:	SHEET:	REV:
1=2.50	025-0102	B	1 OF 3	D

PROPRIETARY

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION PROPRIETARY TO SCHILLING ROBOTICS. ANY REPRODUCTION, DISCLOSURE, OR USE OF THIS DOCUMENT IS EXPRESSLY PROHIBITED EXCEPT AS SCHILLING ROBOTICS MAY OTHERWISE AGREE TO IN WRITING.

RELEASED FOR PRODUCTION

Vedlegg B: Vedlikeholdsprogram for T4

Table 1 contains a minimum schedule for performing regular long-term maintenance.

Table 1

Long Term Maintenance Schedule	
Period	Task
Every 100 operating hours	Tighten all external slave arm fasteners to the specified torque.
	Test a sample of the hydraulic fluid for water and particulates. Replace the fluid if it is contaminated.
Every 500 operating hours	Drain Azimuth return circuit.
Every 2000 operating hours	Replace worn or damaged actuator pins and bushings.
Every 2000 operating hours or every 3 years (whichever comes first)	Replace all actuator o-rings and seals. Replace all slave arm o-rings and seals. Clean all o-ring grooves and surfaces.

Vedlegg C: Forstudierapport

Forstudierapport
Bacheloroppgave
Vår 2023



Design av ROV tilpasset drift og
residens på havbunn

Gjermund Erevik

Innhold

1.	Introduksjon av problemstilling og oppdragsgiver	3
2.	Bakgrunn for oppgaven og begrensning	4
2.1	Løftesyliner (Shear-pin)	5
2.2	Flushing av T4 subsea	5
3.	Målsetting	6
4.	Prosjektstyring – gantt-diagram	6

1. Introduksjon av problemstilling og oppdragsgiver

IKM Subsea er et uavhengig selskap som leverer ROV tjenester. I hovedsak benyttes egenutviklede ROVer som er designet og sammenstilt på Bryne hvor hovedkontoret ligger. Selskapet var den første ROV leverandøren som sikret seg kontrakt med resident ROV.

ROV er kort for Remotely Operated Vehicle og er en undervannsrobot som benyttes til arbeidsoppgaver under vann.

En resident ROV betyr at ROV-farkosten er stasjonært på havbunn over lengre perioder. Et tradisjonelt ROV-system blir løftet ut/inn av sjøen avhengig av aktivitetsnivå.

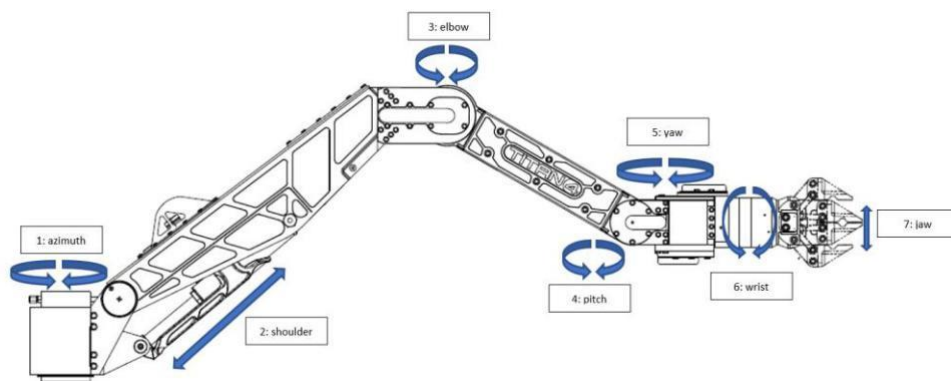
ROV-systemer behøver vedlikehold. Vedlikeholdet utføres med faste tidsintervaller. Utfordringen med resident system er da at vedlikeholds intervallene ikke kan overholdes på samme måte som et tradisjonelt system som er på dekk med jevne mellomrom. Konsekvensen av manglende vedlikehold er bl.a. oljeutslipp, funksjonssvikt og nedetid.

Formålet til bacheloroppgaven vil være å finne løsninger som reduserer risikoen for at disse konsekvensene skal oppstå – spesielt knyttet til manipulatorarmene.

2. Bakgrunn for oppgaven og begrensning

Oppgaven ble valgt ettersom det er svært aktuelt å finne løsninger som kan optimalisere resident drift av ROV. Det er fremdeles en relativ ny teknologi som er under vekst – og har trolig mye forbedringspotensial for å sikre opptid og redusere nedetid. IKM Subsea sin resident ROV skal være subsea i 3 måneder om gangen og det krever god planlegging for å løfte systemet på dekk.

Fokuset i oppgaven blir på manipulatorarmen til ROV – heretter kalt T4. En T4 er en 7-funksjons manipulator arm som benyttes til oppgaver under vann. Manipulatoren har syv bevegelige ledd derav begrepet 7-funksjon. Den er produsert av det amerikanske selskapet Schilling Robotics som er heleid av det internasjonale oljeselskapet TechnipFMC. Armen har høy nøyaktighet og relativ god styrke.



Figur 1: Manipulator funksjoner

Armen blir hyppig brukt under ROV operasjoner og vil derfor være utsatt for lekkasjer og funksjonssvikt. Schilling har tydelige vedlikeholdsoppgaver som skal utføres med faste tidsintervall.

Da hovedmålet i oppgaven har vært å redusere oljeutslipp, funksjonssvikt og nedetid er oppgaven begrenset til to deloppgaver:

2.1 Løftesylinger (Shear-pin)

Løftesylinger er en hydraulisk sylinder som står for hovedkraften av løftekapasiteten av armen. En hydraulisk sylinder overfører hydraulisk (olje) energi til mekanisk energi.

Nedre innfestning av sylinder har en konstruert mekanisme som gjør at det skal mekanisk svikte ved en gitt belastning – heretter kalt shear-pin. Når shear-pin først har sviktet må dette utbedres på dekk. Dette kan være kritisk ift.

operasjon og nedetid. Shear-pin er nødvendig da dette forhindrer skader på andre essensielle deler.



Dette blir spesielt kritisk når denne svikter på en resident ROV da man er «låst» subsea i 3 måneder.

Det er ingen overvåking per dags dato på belastning på armen. Det er operatøren som benytter en joystick for å styre armen som etter skjønn må vurdere belastning. Slike subjektive vurderinger kan være utfordrende når man jobber med tunge objekter.

Oppgaven skal lage en hydraulisk løsning for overvåking av trykk og belastning på løftesylinger. Dette vil ha følgende effekter:

- Operatøren har økt kontroll over belastning
- Redusere unødvendig slitasje og dermed redusere oljeutslipp
- Redusere behovet for å erstatte shear-pin
- Redusere kostnader knyttet til shear-pins
- Redusere nedetid

2.2 Flushing av T4 subsea

Som følge av en resident ROV må være subsea i lange perioder kan det oppstå små lekkasjer på hydraulisk systemet på T4. I første omgang vil dette bety vanninntrengning. Sjøvann i armen over tid vil forårsake store og kostbare skader. Derfor er det ønskelig å bytte ut forurenset olje med frisk olje – heretter kalt flushing. Mister man nok olje som benyttes til kompensasjon kan dette medføre omfattende skader på armen da den kan implodere grunnet høyt trykk som oppstår under vann.

IKM Subsea sin resident ROV er stasjonært på en Equinor installasjon som har to ROVer – en resident og en tradisjonell. Dette gir mulighet for at den tradisjonelle ROV kan gjøre enkle vedlikeholdsoppgaver med resident-ROV for å sikre drift i lengre perioder.

Manipulator består av to ulike hydraulisk kretser:

1. Høytrykksside:

Benyttes til å bevege armen. Opereres med 200bar. Denne siden har filter på både trykk- og returside og vil kunne håndtere mindre vanninntrengninger på egen hånd.

2. Lavtrykksside:

Benyttes til å kompensere armens volum som benyttes til elektriske komponenter o.l. Denne kretsen er ikke i bevegelse da dens eneste formål er å kompensere armen.

Denne deloppgaven har som formål om å designe en mekanisk konstruksjon som tillater den tradisjonelle ROV til å «flushe» olje i resident ROV på lavtrykkssiden. Konstruksjonen vil inneholde

standardkomponenter som allerede benyttes i subsea bransjen. Oppgaven vil også inneholde hydraulikk.

3. Målsetting

Målet med bacheloroppgaven er å finne løsninger som reduserer oljeutslipp, funksjonssvikt og nedetid på resident ROVer basert på de to deloppgavene:

1. Løftesylinger: Hydraulisk løsning for trykk overvåking
2. Flushing av T4: Mekanisk og hydraulisk løsning for flushing av olje

Løsningene skal være ettermonterbare på eksisterende ROV system. Der hvor det må lages en konstruksjon skal det foretas beregninger og stressanalyser for å sikre integritet over tid.

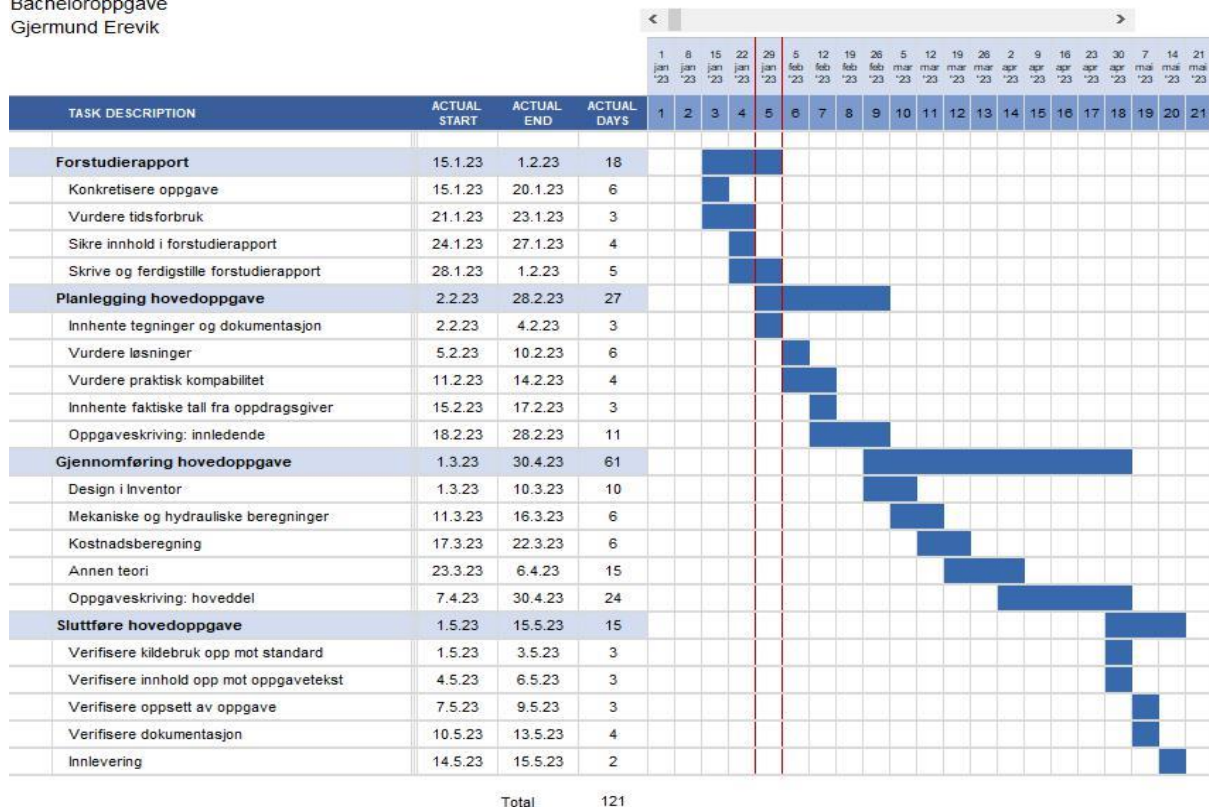
Da problemstillingene er knyttet opp til hydraulikk vil oppgaven ta for seg en god del hydraulisk teori i form av skjematikk og enkeltkomponenter.

Det skal benyttes standarddeler der hvor det er mulighet for å holde kostnadsnivået på et lavest mulig nivå. Kostnaden av løsningene skal kartlegges så langt det lar seg gjøre.

4. Prosjektstyring – gantt diagram

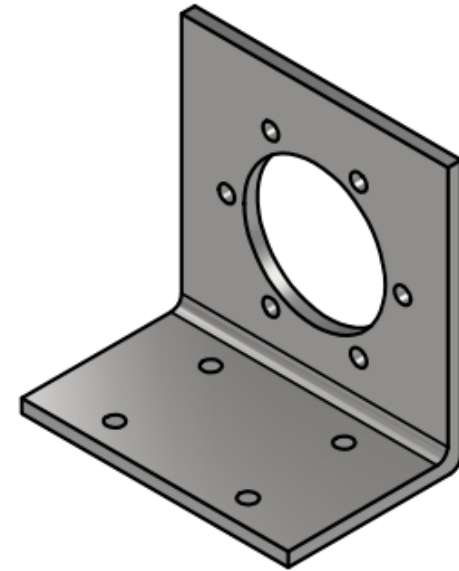
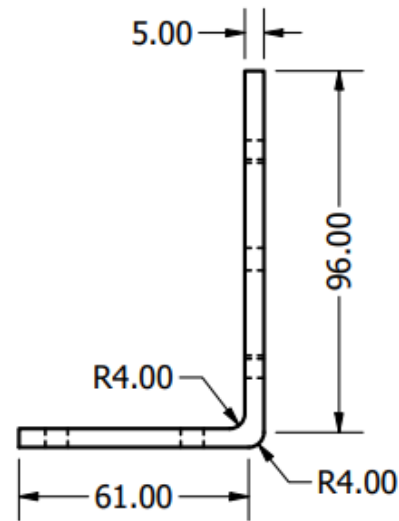
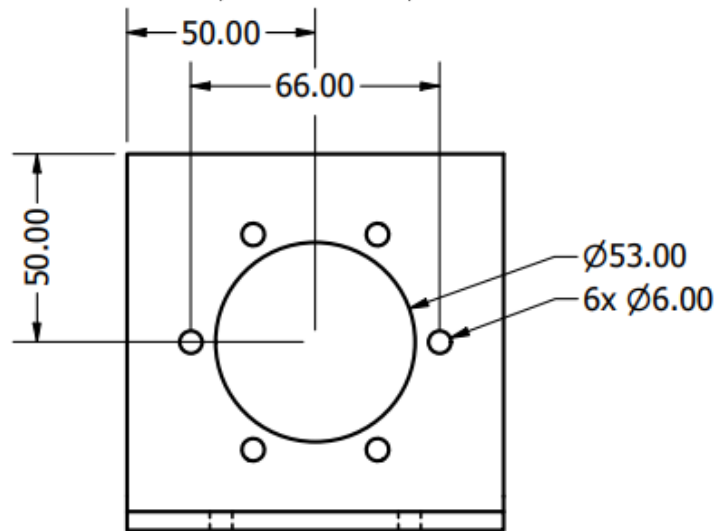
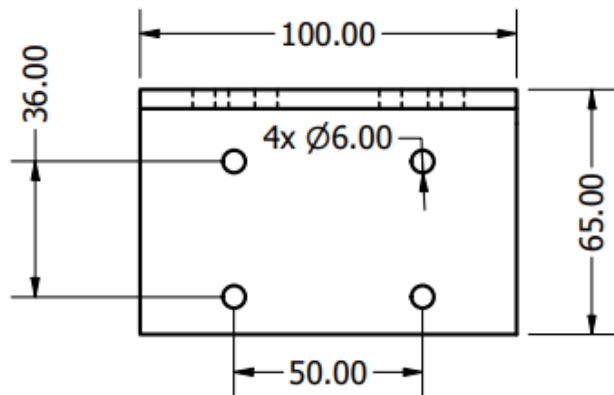
Design av ROV tilpasset drift og residens på havbunn


Bacheloroppgave
Gjermund Erevik



Figur 3: Gantt diagram

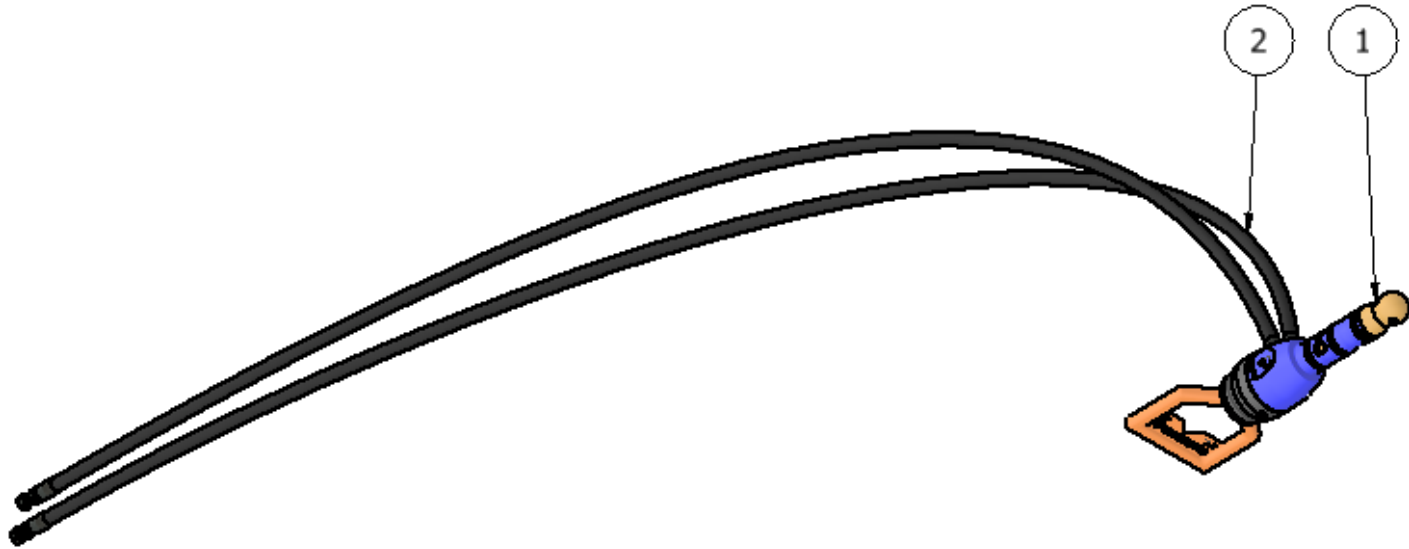
Vedlegg D: Maskin- og sammenstillingstegninger modellert i Inventor




1	1	Brakett til receptacle	AISI 316L		
Pos.nr	Ant.	Tittel	Material		Art.nr/Ref
Konstruktør		Gjermund Erevik	Generell toleranse	Generell overflateruhet	Projeksjonsmetode Skala
			NS-ISO 2768 m	N9	1 : 1
			Tittel		
			Brakett til receptacle		
			Tegning nummer	Utgave	Side
			1.0	1	1/1

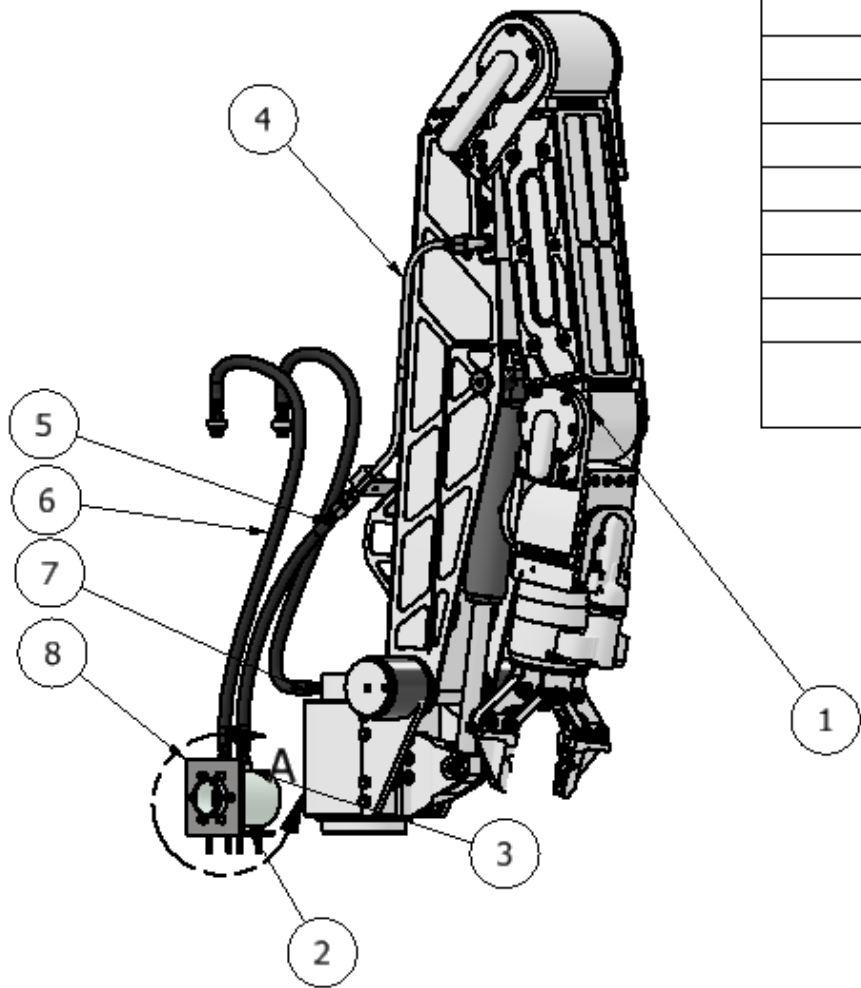


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	IKM-1043367	Ø35 DP Stab 10k Interv wCV BSP 3/8" ID6mm
2	2	Hydraulic hoses	




Konstruktør	Gjermund Erevik	Generell toleranse	NS-ISO 2768 m	Generell overflateruhet	N9	Prosjeksjonsmetode	1 2 3	Skala	1/8	
		Tittel								
		Sammenstilling hotstab								
		Tegning nummer			1.0	Utgave		1	Side	1/1





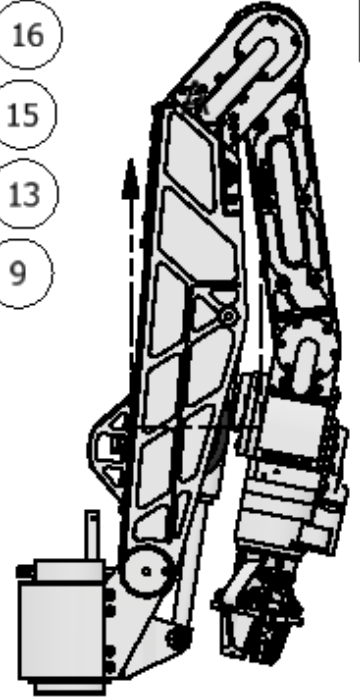
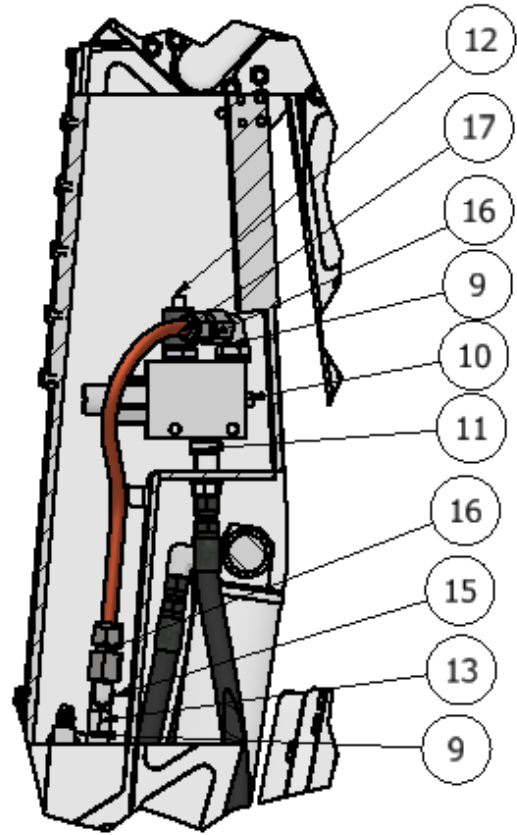
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	T4 assy - flush rev - KUN T4	TITAN 4 Manipulator assembly
2	1	IKM-1081924	Ø35 DP Rec 10k Interv BSP 1/2" ID8mm
3	4	Hydraulikk fittings	7613-07-06-hydroscand
4	1	Piping	
5	1	Hose 02	
6	1	Hose 03	
7	1	Hose 04	
8	1	Recept holder	
9	10	DIN 128 - A6	Spring Washer
10	10	AS 1420 - 1973 - M6 x 30	ISO metric hexagon socket head cap screws

DETAIL A
SCALE 1 / 5


Konstruktør	Gjermund Erevik	Generell toleranse	NS-ISO 2768 m	Generell overflateruhet	N9	Prosjeksjonsmetode	Skala	1/10
		Tittel					Sammenstilling receptacle	
		Tegning nummer			1.0		Utgave	1
							Side	1/1



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
9	3	Hydraulikk fitting	7622-07-04-SE-hydroscand
10	1	Avlastningsventil	b6mc0m
11	1	Hydraulikk fitting	7002-04-04-hydroscand
12	1	Pressure transmitter	Pressure Transmitter MSP-300-350-B-5-B-1 1/4BSP 0-350bar
13	1	Hydraulikk fitting	7663-07-07-SE-hydroscand
15	1	Hydraulikk fitting	7660-07-07-hydroscand
16	2	Hydraulikk fitting til rør	Parker A-Lok Female Taper Thread - Fractional Tube 3/8 x 1/4
17	1	Hydraulikk rør	



DETAIL A
SCALE 1 / 5

Konstruktør	Gjermund Erevik	Generell toleranse	NS-ISO 2768 m	Generell overflateruhet	N9	Projeksjonsmetode	c1 ©	Skala	1/10		
		Tittel							Sammenstilling integrert shearpin løsning		
		Tegning nummer					1.0		Utgave		1



Vedlegg E: Skjematikk modellert i Autocad

