



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

”Dirty pack” for ROV for kjøring av hydrauliske verktøy

Bacheloroppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, Energi- og Prosessteknikk

Av: Sigurd Årland

Kand.nr.

6

Haugesund

Våren 2008

BACHELOROPPGAVE

Studentens navn: Sigurd Årland

Linje & studieretning Maskin, Energi- og Prosessteknikk

Oppgavens tittel:

"Dirty pack" for ROV for kjøring av hydrauliske verktøy

Oppgavetekst:

Mange av de hydrauliske verktøyene som blir brukt i undervannsoperasjoner får supplert hydraulisk kraft via ROVens hydraulikksystem. En "dirty pack" er et separat hydraulisk system som kan benyttes dersom det er spesiell fare for forurensing av hydraulikkvæsken. Det skal undersøkes hvilket behov DeepOcean har for "dirty pack" på sine ROVer, og hva som finnes på markedet av slike systemer. Et nytt system skal spesifiseres, og det skal gjøres økonomiske betraktninger.

Endelig oppgave gitt: 3. mars 2008

Innleveringsfrist: Fredag 2.mai 2008 kl. 12.00

Intern veileder Ståle Pettersen, HSH

Ekstern veileder Øyvind Aksland, DeepOcean

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel "Dirty pack" for ROV for kjøring av hydrauliske verktøy		Rapportnummer
Utført av Sigurd Årland		
Linje Maskin	Studieretning Energi- og Prosessteknikk	
Gradering Åpen	Innlevert dato 2. mai 2008	Veiledere Ståle Pettersen, HSH Øyvind Aksland, DeepOcean

Ekstrakt

DeepOcean bruker arbeids-ROV med hydraulisk drift. Hydrauliske verktøy koples normalt direkte til ROV, men verktøyet kan også isoleres fra ROV vha en "dirty pack" f.eks. dersom det er spesiell fare for vanninntrenging.

Det er relativt store forskjeller på verktøyene som brukes sammen med ROV, og for å dekke de fleste behov må derfor en "dirty pack" ha stor kapasitet og en viss fleksibilitet. Det finnes ingen komplette produkter på markedet, men flere firmaer på Vestlandet har kompetanse til å levere komplett produkt.

En "dirty pack" med ønskelige spesifikasjoner vil bli relativt kostbar, og det er vanskelig å tallfeste hvilken nytteverdi den vil ha for DeepOcean.

Sammendrag

DeepOcean bruker bl.a. ROV av typen Kystdesign Supporter til å utføre sine oppdrag. Supporter er en kompakt arbeids-ROV som benytter hydraulikk til å levere kraft både til farkostens fremdrift og til eksterne verktøy.

Det finnes et stort antall forskjellige hydrauliske verktøy som brukes til oppdrag på undervannsinstallasjoner, og variasjonene er store hva gjelder størrelse, utforming og kraftbehov. Noen av de største verktøyene har egen kraftforsyning direkte fra skipet, men langt de fleste koples direkte til ROVens hydraulikksystem.

Dersom sjøvann kommer inn i hydraulikkvæsken, kan det bl.a. føre til økt slitasje og korrosjon. ROVen er utstyrt med vannfilter, men f.eks. kan feil på verktøyet potensielt føre til større vanninntrenging enn systemet er ment å tåle.

En såkalt "dirty pack" (DWP) brukes for å slippe å sirkulere ROVens hydraulikk gjennom verktøyet. DWP er et separat hydraulikksystem, som kan få kraft fra egen elektromotor eller kan drives via ROVens hydraulikk. Sistnevnte mulighet er enklest, billigst og vanligst.

DeepOcean har ikke benyttet DWP på sine Supporter ROV til dags dato. De har ikke hatt noen spesielle problemer som tilsier at DWP er nødvendig, men det kan være ønskelig å ha DWP tilgjengelig for å slippe å bruke samme type hydraulikkvæske i ROV og verktøy.

DWP fremstilles oftest på bestilling, og det er flere firmaer på Vestlandet som er i stand til å sette sammen et slikt produkt. De få DWP som serieproduseres, vil kreve mer eller mindre tilpassing og utbygging for å dekke DeepOceans behov. For å få den fleksibiliteten operatørene av Supporter er vant med, må en eventuell DWP utstyres med ventiler som kan styres fra skipet. En slik ventilpakke vil være den dyreste enheten i det nye systemet, mens de mest kritiske komponentene er relativt billige. Det finnes flere ferdige ventilpakker å få kjøpt, i tillegg til at de også kan spesialbestilles med ønskede spesifikasjoner.

En komplett DWP vil måtte plasseres utenfor ROVens ramme. En mulig plassering er på akterenden – lavt nok til ikke å påvirke thrusterens arbeid. Det komplette systemet vil dog ha så stor vekt, også i vann, at ekstra oppdriftselementer kan bli nødvendig for å stabilisere farkosten.

Å utvikle en DWP for Supporter, vil i stor grad være å prøve å gjenskape ROVens hydraulikksystem i et mindre format. Derfor blir det nye systemet kostbart og vil kreve vedlikehold omtrent på linje med det eksisterende systemet.

Seriekopling av systemer vil teoretisk føre til lavere pålitelighet, derfor bør det vises varsomhet med å kople på mer utstyr enn nødvendig.

Forord

Dette prosjektet er et obligatorisk arbeid for ingeniørutdanningen ved Høgskolen Stord/Haugesund. Rapporten er vektet som 10 studiepoeng, hvilket utgjør et tredjedels semester, og skal vise om studenten kan nytte seg av kunnskapen ervervet gjennom to og et halvt år på skolebenken.

Arbeidet ble påbegynt ved årsskiftet 07/08. Underveis har det vært flere kontrollposter: Jevnlige møter med veiledere, innlevering av endelig oppgavetekst 6. mars og av utkast til rapport 10. april. DeepOcean var svært hjelpsomme og stilte bl.a. en kontorplass til disposisjon.

Rapporten er delt opp i to hoveddeler. I de første kapitlene formidles bakgrunnsinformasjon og teori, i siste halvdel presenteres det matnyttige stoffet. Lesere med kunnskaper om hydraulikk og ROV, kan hoppe til kapittel 6, side 19.

SI-enheter er forsøkt brukt i utregninger, til tross for at det er vanlig å benytte andre størrelser ved dimensjonering av hydrauliske maskiner.

Spesiell takk til:

Øyvind Aksland, DeepOcean
Ståle Pettersen, HSH
Tore Gard, DeepOcean
Alf-Kristian Aadland, Oceaneering
Erik Kold Bakkevig, Kystdesign

Haugesund, 2. mai 2008

Sigurd Årland

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	DeepOcean.....	1
1.2	Problemstilling.....	1
1.3	Dirty pack.....	1
1.4	Undervannsoperasjoner	2
1.5	Kystdesign Supporter.....	3
2	Hydraulikkteori.....	5
2.1	Design av hydraulikkssystem for bruk under vann	5
2.2	Pumper og motorer	5
2.3	Proporsjonalhydraulikk.....	8
2.4	Elektroproporsjonale ventiler	8
2.5	Trykkreguleringsventil	9
2.6	Ventilstørrelser	9
2.7	Fjernstyrte ventilpakker	9
2.8	Filter	12
3	Undervannsverktøy.....	14
4	Vanninntrenging	15
4.1	Tetting vha trykkkompensering.....	15
4.2	Kontrollert vanninntrenging.....	16
4.3	Ukontrollert vanninntrenging.....	17
5	Korrosjonsvern	18
6	Eksempler på vanninntrenging.....	19
7	Dirty pack på markedet	20
7.1	Markedet for dirty pack.....	20
7.2	DWP med hydraulisk drift.....	20
7.3	DWP med elektrisk drift.....	21
8	Sette sammen nytt system.....	22
8.1	Drift: Elektrisk eller hydraulisk.....	22
8.2	Krav som stilles til en dirty pack.....	22
8.3	Valg av pumpe	24
8.4	Valg av motor.....	26
8.5	Kopling mellom motor og pumpe.....	27
8.6	Design av koplingshus	28
8.7	Kompensatorer	28
8.8	Filter	29
8.9	Ventilpakke	29
8.10	Hydraulikkskjema.....	30
8.11	Plassering.....	30
8.12	Hydraulikkvæske.....	31
8.13	Kontrollerende beregninger	32
8.14	Komponentliste	36
9	Diskusjon.....	37
9.1	Oppetid.....	37
9.2	Pålitelighet.....	37
9.3	Bruk av ukurant utstyr	38
9.4	Design og innkjøp av DWP.....	38
9.5	Økonomi	39
10	Konklusjon.....	40
11	Referanser	I
12	Vedlegg.....	II

Figurliste

Figur 1.1	Supporter ROV, flankert av TMS [11].....	3
Figur 1.2	Skjerm bilde fra Supporters programvare [4].....	4
Figur 1.3	Ventilpakke [4].....	4
Figur 1.4	Elektronikk tanken (foto S. Årland).....	4
Figur 1.5	Nærbilde av strøm-/signalkopling (foto S. Årland).....	4
Figur 2.1	Skråblokk maskin, prinsippskisse.....	6
Figur 2.2	Skråskivemaskin, prinsippskisse.....	6
Figur 2.3	Ytelseskurver for en pumpe [1].....	7
Figur 2.4	Elektrostyrt retningsventilsleide [1].....	8
Figur 2.5	Oceaneering RCU [23].....	10
Figur 2.6	Ifokus CRC [5].....	10
Figur 2.7	Innova Quattro [6].....	11
Figur 2.8	Innova Cute PWM 16 [7].....	11
Figur 2.9	Parker partikkelfilter [8].....	13
Figur 2.10	Cardev subsea vannfilter [9].....	13
Figur 3.1	FKS ROV Override Jack [10].....	14
Figur 3.2	FKS FCMRT [10].....	14
Figur 4.1	Oceaneering TT, skisse (fra Oceaneering).....	15
Figur 4.2	Oceaneering TT, utsnitt (fra Oceaneering).....	16
Figur 4.3	Oceaneering 4L Hot Stab (fra Oceaneering).....	17
Figur 6.1	Oceaneering Hot Stab i bruk på et "ROV-panel" [11].....	19
Figur 6.2	Boring av hull [11].....	19
Figur 7.1	Bennex DWP standard [12].....	20
Figur 7.2	Bennex DWP med ventiler, kompensator og filtre [13].....	20
Figur 7.3	Sub-Atlantic Dirty Oil Pack [14].....	21
Figur 7.4	Innova Powermaster [15].....	21
Figur 7.5	Perry Slingsby Systems 5 kW hydraulic power pack [16].....	21
Figur 7.6	Curvetech power pack [17].....	21
Figur 8.1	Stempelarealer [1].....	23
Figur 8.2	Bosch Rexroth A10VSO18DR [18].....	25
Figur 8.3	Parker F1-25M [19].....	26
Figur 8.4	Lovejoy kopling [20].....	27
Figur 8.5	Lovejoy kopling, målskisse [20].....	27
Figur 8.6	Skisse av koplingshus (S. Årland).....	28
Figur 8.7	Kystdesign 10 liters kompensator [4].....	28
Figur 8.8	Kystdesign 1,2 liters kompensator (fra Kystdesign).....	28
Figur 8.9	Skjerm bilde fra programvaren som leveres med RCU [21].....	29
Figur 8.10	RCU med egen kompensator montert [21].....	29
Figur 8.11	Uttak for høye volumstrømmer fra Supporter auxiliary (foto S. Årland).....	30
Figur 8.12	Plassering av DWP på Supporter (S. Årland).....	30
Figur 8.13	Volumstrømsdiagram for DWP.....	32
Figur 8.14	Differansetrykk vs. virkningsgrader (illustrasjon) [1].....	33
Figur 8.15	Supporter: Avstand mellom DWP og auxiliary-uttak (S. Årland).....	35
Figur 9.1	System pålitelighet. Komponenter i seriestruktur [3].....	37

Ordliste

AKS	Aker Kværner Subsea
DWP	Dirty Work Pack
CMRT	Choke Module Running Tool
FCMRT	Flow Control Module Running Tool
FKS	FMC Kongsberg Subsea
HPU	Hydraulic Power Unit
IMR	Inspection, Maintenance & Repair
Lpm	Liter per minutt
NDT	Non Destructive Testing
RCU	Remote Control Unit
ROV	Remotely Operated Vehicle
Rpm	Omdreininger per minutt
SCMRT	Subsea Control Module Running Tool
TMS	Tether Management System
TT	Torque Tool

1 Innledning

1.1 DeepOcean

DeepOcean ble startet i 1999, og har hovedkvarter i Smedasundet Maritime Senter på Risøy i Haugesund.

Selskapet er en betydelig aktør innen inspeksjons, vedlikehold og reparasjon av undervannsinnstallasjoner på norsk sokkel. Selskapet har også aktiviteter i andre farvann, bl.a. gjennom datterselskapet CTC.

DeepOcean har kontrakt med flere skip som er utleid på fulltid til StatoilHydro, bl.a. de nye "Edda Fauna" og "Edda Flora".

1.2 Problemstilling

DeepOcean ønsker å kartlegge behovet for bruk av "dirty pack" (DWP) i IMR-kontrakten med StatoilHydro på norsk sokkel. De fleste av DeepOceans arbeids-ROV er av typen **Kystdesign Supporter**, og oppgaven tar derfor utgangspunkt i denne farkosten både hva gjelder behovsvurdering og tilpassing av et eventuelt DWP-system.

1.3 Dirty pack

"Dirty work pack" og "dirty oil pack" er andre betegnelser for et slikt system.

Dette er en hydraulisk krets som brukes dersom operatørene antar at det kan bli problemer med kontaminasjon av hydraulikkvæsken.

For bruk på ROV, for kjøring av mindre verktøy som for eksempel vinkelkuttere eller TT, er det vanligst at en DWP drives hydraulisk. Dette vil si at hydraulikksystemet på ROV driver en hydraulisk motor som igjen driver pumpen i DWP-kretsen.

En DWP kan også få kraft fra en egen elektromotor. Dette er mest brukt for større systemer. Flere av de største verktøyene og operasjonene krever faktisk større hydraulisk kapasitet enn hva ROV kan levere. Oftest betyr dette at utstysproduzenten, for eksempel FKS, også har lagd og levert et dedikert hydraulisk system nettopp for den jobben.

Denne oppgaven tar ikke for seg DWP som er designet for å levere mer kraft enn hva ROV kan, men DWP som er ment å isolere ROV fra verktøyet som brukes.

I denne betydningen er DWP et lite og relativt enkelt hydraulisk system, som bør være kompakt og robust.

1.4 Undervannsoperasjoner

Norsk oljeutvinning skjøt skikkelig fart på begynnelsen av 1980-tallet, bl.a. med utbyggingen av store felt som Statfjord og Gullfaks.

På Gullfaks ble det utvunnet olje før betongplattformene hadde boret egne brønner. Dette var mulig ved bruk av satelittbrønner og havbunnsbrønnehoder.

Siden den gang er undervannsinstallasjoner blitt mye vanligere, noe som kan tilskrives bl.a. teknologisk utvikling. På norsk sokkel er normen at felt består av installasjoner både over og under vann. Den siste tiden er det derimot kommet flere nye felt som kun benytter undervannsinstallasjoner: Snøhvit og Ormen Lange.

En annen trend er at undervannsutstyret blir mer avansert. Hydro startet undervannsprosessering med Troll Pilot allerede ved årtusenskiftet. I fjor installerte StatoilHydros prestisjeprosjektet Tordis IOR, der undervannsseparator og pumper skal sørge for å skille ut og reinjisere vann og sand før brønnstrømmen pumpes videre.

Ifølge gjeldende norske regler, kan ikke dykkere operere dypere enn 180 muh., med unntak av såkalt en-atmosfære dykking. De fleste undervannsbrønnene ligger derimot dypere enn dette: typisk 130-280 m i Tampen-området, via 250-380 m på Haltenbanken, til 850 muh. på Ormen Lange.

Undervannsinstallasjoner ville ikke vært mulig dersom det ikke fantes noen metode for inspeksjon, vedlikehold og reparasjon. Løsningen er fjernstyrte farkoster, såkalt "ROV".

ROVer har vært i bruk siden tidlig på 80-tallet, men det var først fra midten av 90-tallet de ble fikk funksjonalitet og driftssikkerhet på linje med de farkostene som brukes i dag. Det er ikke overraskende at det også var i perioden etter midten av 90-tallet at utbyggingen av undervannsbrønner virkelig skjøt fart.

ROVens oppgaver kan være mange, og farkostens utforming henspeiler på bruksområdet. Det skilles mellom arbeids-ROV og observasjons-ROV. Denne oppgaven tar for seg arbeids-ROV. Oppdragene skilles ofte i to hovedgrupper:

Survey

Dette er rene dokumentasjonsoppdrag, der ROV brukes til å inspisere rørgater, plattformunderstell, undervannsinstallasjoner, osv. Primært benyttes visuell inspeksjon, men ved mistanke om uregelmessigheter har ROV også mulighet til å gjøre grundigere undersøkelser vha NDT-metoder (røntgen, ultralyd, magnetpulver, osv).

IMR

Inspeksjon, vedlikehold og reparasjon. Her kommer arbeids-ROVen til sin rett. Oppdragene kan variere fra inspeksjon og visuell dokumentasjon, til installasjon av nye moduler på brønnrammene, kutting, montering, manipulering av ventiler, osv. Listen over mulige jobber er lang.

1.5 Kystdesign Supporter

Kystdesign er et Haugesundsfirma med 15 ansatte. Deres viktigste produkt er arbeids-ROVen Supporter, som per dags dato opereres av firmaene DeepOcean og RUE.



Figur 1.1 Supporter ROV, flankert av TMS [11]

Supporter er en kompakt ROV. Den er kjent for sine manøvreringsegenskaper, og får gode skussmål både fra operatører og StatoilHydro (som kjøper tjenester hos DeepOcean).

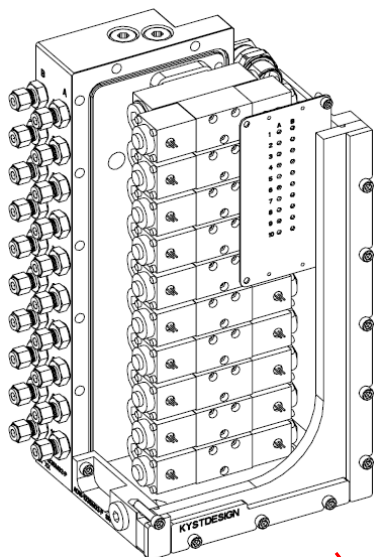
Farkosten får elektrisk kraft og signaler gjennom kabel fra skipet. Transformatoren på skipet er dimensjonert i forhold til ROVens 95 kW elektromotor, med en sikkerhetsfaktor på 1,15. En transformator på farkosten sørger for å levere riktig spenning til elektronikk og elektrostyrte hydraulikkventiler.

Den elektriske motoren er koblet til to hydrauliske pumper. Hovedsystemet, med den største pumpen, leverer kraft til farkostens fremdriftssystem og til 7-funksjons-manipulatoren. Auxillary-systemet driver den andre manipulatoren og eventuelle andre verktøy som koples til ROVen.

Det er belastningen av auxillary-systemet som er bakgrunn for dette prosjektet, derfor er det nyttig å beskrive det litt grundigere:

I likhet med hovedpumpen, er også auxillary-pumpen levert av Bosch Rexroth. Det er en pumpe med variabel fortregning. Dette betyr at pumpen har tilnærmet null fortreningsvolum ved tomgang (dog er der en liten sirkulasjon innad i pumpen). Idet operatøren etterspør kraft, øker fortreningsvolumet og pumpen leverer høytrykks hydraulikkvæske til ønsket funksjon. Volumstrøm og trykk kan reguleres trinnløst gjennom uttakene for eksternt utstyr. Systemet er tilkople et 10 liters reservoar med nivåmåler.

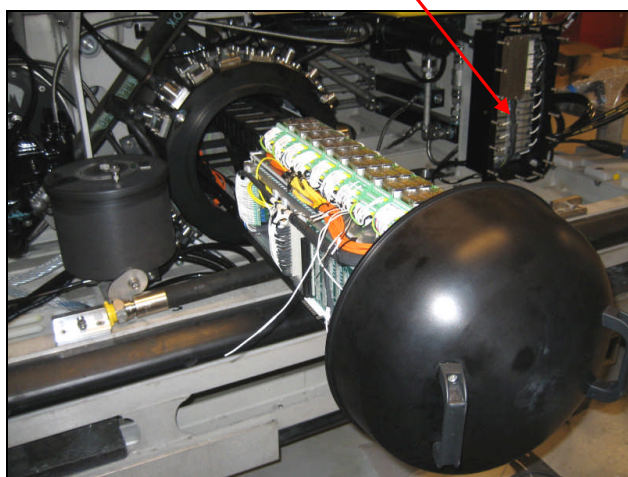
Signaler overføres via en fiberoptisk kabel. I hver ende av den fiberoptiske lenken konverteres signalet til kommunikasjonsstandardene RS 232 eller RS 485. RS 232 har begrenset overføringskapasitet og maksimal overføringsdistanse er kun et fåtall meter dersom konvensjonelle ledere benyttes, men ved bruk av fiberoptikk er distanseproblemet eliminert. RS 485 har langt større overføringskapasitet – derfor brukes denne til overføring av data fra de opptil 8 kameraene som kan koples til Supporter. RS 232-signaler kan overføres rett til datamaskin via en com-port, mens RS 485-signaler overføres via en spesiell konverteringsenhet.



Figur 1.3 Ventilpakke [4]



Figur 1.2 Skjerm bilde fra Supporters programvare [4]



Figur 1.4 Elektronikktanken (foto S. Årland)



Figur 1.5 Nærbilde av strøm-/signalkopling (foto S. Årland)

Figur 1.3 viser skisse av ventilpakke for auxillary-kretsen, med NG3-ventiler (lave volumstrømmer). Boksen er koplet til strøm, signal og hydraulikk, og er trykkkompensert vha samme mineralske hydraulikkolje som brukes farkostens hydraulikksystemer.

Elektronikktanken er en trykktank av aluminium. Utvendig har den en rekke forskjellige koplinger for signal og strøm.

2 Hydraulikkteori

2.1 Design av hydraulikksystem for bruk under vann

ROVer som opererer på flere tusen meters dyp, er bestykket med de samme hydrauliske komponenter som anlegg på landjorden. Dette kan virke underlig – i utgangspunktet ville nok mange tenkt at disse motorene, rørene, reservoarene og ventilene må ha en enorm godstykkelse for å tåle en ytre trykkpåkjenning på opptil flere hundre bar.

Hemmeligheten er "trykkkompensering", dvs. at minimumstrykket i systemet er likt (eller marginalt høyere enn) trykket på havdypet. I praksis oppnås dette ved å koble utstyret til en "kompensator". Kompensatoren er et hydraulikkvæskereservoar som blir påvirket av omliggende trykk. I tillegg er kompensatoren helst utstyrt med en fjær som gjør at det oppstår et lite overtrykk i systemet. I tilfellet en lekkasje skulle oppstå, vil dermed hydraulikkvæsken sive ut i havet i stedet for at sjøvann kommer inn i systemet. Sjøvann kan raskt føre til elektriske kortslutninger, som kan lamme ROVen.

Trykkkompenseringen brukes på det meste av utstyret på Kystdesign Supporter ROV, med unntak av elektronikk tanken (farkostens hjerne).

For **effekten** av hydraulikksystemet spiller ikke trykkkompenseringen noen rolle. Effekten en hydraulisk motor avgir, er en funksjon av **differansetrykket**, volumstrømmen og motorens totale virkningsgrad:

$$P = Q \cdot \Delta p \cdot \eta_{total} \quad \text{hvor:}$$

P er effekt, Q er volumstrøm, Δp er differansetrykk og η_{total} er total virkningsgrad (nær 1,0 for en lineær motor, og omtrent 0,85 for en roterende).

Dersom et undervannsverktøy som skal brukes i Nordsjøen oppgis å yte maksimalt ved "200 bar", er dette dermed differansetrykket, mens det faktiske maksimale trykket er typisk 20-30 bar høyere.

2.2 Pumper og motorer

*En pumpe gjør mekanisk energi om til hydraulisk energi
En motor omformer hydraulisk energi til mekanisk energi.*

[1]

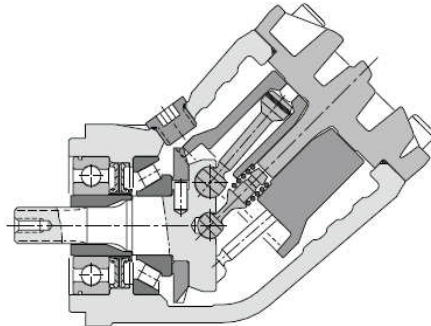
Med andre ord kan én og samme maskin brukes både som motor og pumpe – det er bruksområdet som definerer dens status. Det bør noteres at en hydraulisk sylinder også faller inn under begrepene "motor" og "pumpe", selv om det er vanligst å bruke begrepene om roterende maskiner.

Motorer og pumper kommer i en rekke utforminger og størrelser. Stempelmaskiner, tannhjulsmaskiner og vingemaskiner er vanlige former for roterende fortrenningsmotorer og –pumper.

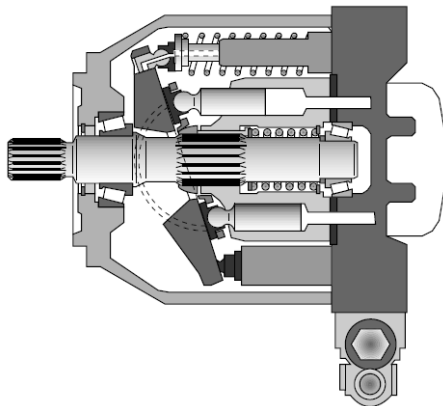
Aksialstempelmaskiner er den vanligste typen roterende maskineri i undervannsapplikasjoner. Det finnes to hovedtyper av disse: Skråskivemaskin og skråblokkmaskin.

Skråblokkmaskinene har en karakteristisk fasong pga. vinkelen mellom drivaksel og stemplene.

Begge pumpene på Supporter er av typen **skråskivemaskin**. Det er denne typen konstruksjon som ofte velges dersom man ønsker å kunne variere maskinens fortrenningsvolum. Kompakt design og gode virkningsgrader er noen av fordelene.



Figur 2.1 Skråblokkmaskin, prinsippskisse



Figur 2.2 viser en skråskivemaskin der fortrenningen varierer ved å endre skråskivens vinkel relativt til sylinderblokken. Fortrenningsvolumet er null når skråskiven står normalt på sylinderblokken. I praksis er det ønskelig å beholde en viss fortrenning også ved tomgang, bl.a. for å smøre maskinen.

Figur 2.2 Skråskivemaskin, prinsippskisse

Dersom det benyttes en pumpe med fast fortrenning, vil anlegget levere en kontinuerlig effekt. Overskuddseffekten (når verktøyet ikke utfører arbeid) må frigjøres et sted, og dette skjer enklest vha at hydraulikkvæske med høyt trykk føres tilbake til reservoaret via en trykkreduksjonsventil. I denne ventilen går trykkenergien over til varme. En slik løsning fører til store energitap og unødig slitasje på hele systemet. For en ROV – der det er begrenset kapasitet på energitilførsel – er det uaktuelt å sløse med energi på den måten.

I et avansert hydraulisk anlegg er det derfor ønskelig å kunne variere pumpens fortrenningsvolum. Supporter har et slikt anlegg, der operatøren har kontroll med styringen av pumpens skråskive.

2.2.1 Virkningsgrad for en pumpe

Volumetrisk virkningsgrad [1]:

$$\eta_{vol} = \frac{Q}{V \cdot \omega}$$

Mekanisk-hydraulisk virkningsgrad [1]:

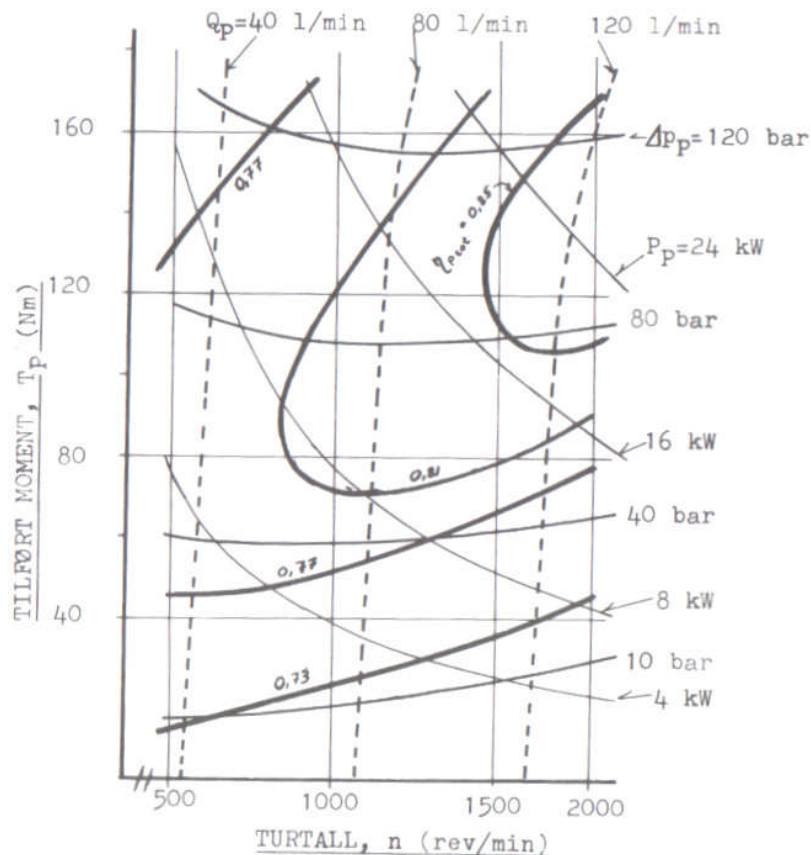
$$\eta_{m-h} = \frac{V \cdot \Delta p}{T}$$

Totalvirkningsgrad [1]:

$$\eta_{tot} = \frac{Q \cdot \Delta p}{P}$$

Hvor: Q er volumstrøm
 Δp er trykkdifferanse over maskinen
P er effekt
 η er virkningsgrad
V er fortrenningsvolum
T er moment
 ω er vinkelhastighet

Total virkningsgrad er produktet av volumetrisk virkningsgrad og mekanisk-hydraulisk virkningsgrad. Volumetriske tap skyldes stort sett lekkasjer i maskinens tettpalter. Det må regnes med høyere volumetrisk tap ved bruk av hydraulikkvæske med lavere viskositet. De mekanisk-hydrauliske tapene er forbundet med viskøse skjærkrefter, mekanisk friksjon, m.m. Det er ønskelig at en pumpe skal ha høy virkningsgrad i et vidt turtallsspekter. Figur 2.3 viser f.eks. at total virkningsgrad for en gitt maskin er 0,81 ved turtall 1000 rpm og 70 Nm tilført moment.



Figur 2.3 Ytelseskurver for en pumpe [1]

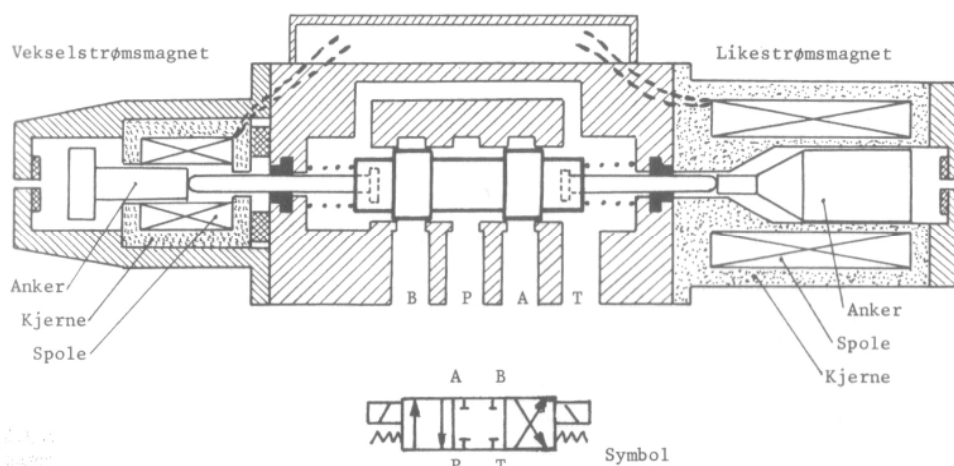
2.3 Proporsjonalhydraulikk

En proporsjonalventil er en komponent som stiller om proporsjonalt med et styresignal [2]. Dette står i kontrast til ventiler som kun kan være helt åpne eller lukket. Uten proporsjonalhydraulikk ville det være vanskelig å styre f.eks. manipulatorne på en ROV.

Styresignalet kan komme fra forskjellige kilder: mekanisk (f.eks. en spak), hydraulisk, pneumatisk eller elektrisk. De avanserte hydraulikksystemene som brukes på ROV i dag, er mulige pga. elektrisk styring og utvikling av elektronikken som kontrollerer den elektriske strømmen.

2.4 Elektroproporsjonale ventiler

Ofte er betegnelsen *proporsjonalventiler* brukt for retningsventiler. Den såkalte 4/3-ventilen er den mest kjente retningsventilen. En slik sleideventil har 4 porter og 3 mulige posisjoner. Fra figur 2.4 fremkommer det at sleiden står i midtstilling dersom intet styresignal gis. Ved å manipulere sleiden til ene eller andre siden, settes henholdsvis ene eller andre utgangsporten i kontakt med trykksiden i hydraulikksystemet. For å endre ventilens stilling, endres strømstyrken til magneten. Det er verdt å merke seg at elektromagnetene fremstilles i forskjellige utgaver – avhengig av om de skal brukes med vekselstrøm eller likestrøm.



Figur 2.4 Elektrostyrt retningsventilsleide [1]

Det kreves relativt mye kraft for å åpne en sleideventil dersom det er høyt trykk i hydraulikksystemet. Derfor går det er grense for hvor store ventiler som kan styres direkte elektrisk. Ventiler for volumstrøm over 100 lpm må styres indirekte, f.eks. via en "pilotventil". Dette betyr at det elektriske styresignalet brukes til å åpne en mindre ventil, som deretter leverer hydraulisk kraft til å åpne den større ventilen.

Proporsjonalventiler kan også ha posisjonsgivere som gir operatørene tilbakemelding om ventilens stilling.

2.5 Trykkreguleringsventil

Tradisjonelle trykkreguleringsventiler har en mekanisk innstillbar motstand (les: fjær) som regulerer når ventilen skifter posisjon. Ved å i stedet benytte en proporsjonalmagnet, eller "forstyring", kan ventilen fjernstyres, og trykket i hele eller deler av systemet kan reguleres trinnløst.

2.6 Ventilstørrelser

Størrelsen på en ventil oppgis gjerne vha. betegnelsene NG6, NG10, osv. Tallet henspiller på ventilportenes størrelse, dvs. at mindre tall betyr mindre ventil/volumstrøm. Supporter har bl.a. flere ventilpakker med NG3-ventiler for styring av f.eks. manipulatorer.

2.7 Fjernstyrte ventilpakker

Remote Control Unit (RCU) er samlebetegnelse på frittstående, fjernstyrbare ventilpakker. En RCU koples til ROVens elektronikk tank/hjerne og signalene formidles via fiberkabelen i farkostens navlestreng. Operatøren kan dermed sitte på skipet og bestemme f.eks. strømningsraten ut av de forskjellige retningsventilene.

Ofte er en slik enhet utstyrt med trykkreguleringsventiler, og sensorer som gir tilbakemelding om trykk og oljetemperatur.

Fremstillingen av mindre og smartere RCU er en naturlig utvikling. Mens ROV-utviklerne har økt funksjonaliteten av farkostens egne hydraulikk-systemer, har mindre DWP vært brukt med faste innstillingen, dvs. at verktøyet har vært (direkte) koplet til DWP-kretsen og effekten fra DWP er blitt justert til å passe verktøyet og den forestående jobben. Etter hvert har det imidlertid vært mulig å tilby mer fleksible løsninger, som gjør at DWP nå kan brukes på samme måte som ROVens eget system.

Ventilpakkene koples til hydraulikkretsen (tur/retur), elektrisk strøm og signalkabler.

Nedenfor følger en kort oppstilling av noen RCU-produkter som kan "kjøpes over disk" på Vestlandet. I likhet med markedet for DWP, finnes der flere bedrifter som kan levere spesialtilpassede produkter.

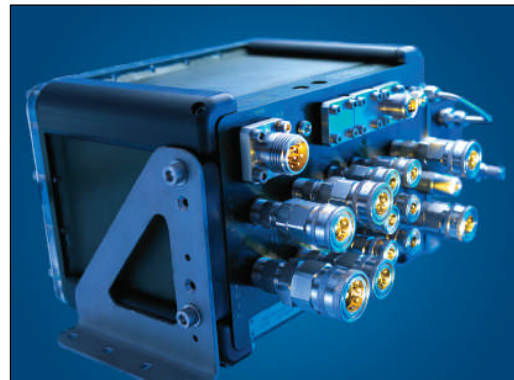
2.7.1 Oceaneering Remote Control Unit

Dette er nyeste versjon RCU fra Oceaneering. En tidligere modell har vært brukt i Statoil Tool Pool (se f.eks. felthåndbok for Heidrun Nordflanken).

Enheten er fleksibel og avansert. Den inneholder fire proporsjonalventiler i størrelse 5-100 lpm (maksimalt), og det kan leveres to uavhengige trykk til ventilene. Via programvaren kan trykk og ventilåpning kontrolleres trinnløst. Oceaneering RCU kan også kobles til en rekke sensorer. Ved tilkopling av TT, videresendes informasjon om torsjonsmoment og omdreiningsantall til operatørens datamaskin.

Ventilpakken kobles til 110/230 VAC eller 24 VDC og kommuniserer via RS 232 eller RS 485. Den er trykkkompensert vha egen kompensator (som følger med).

Oceaneering RCU brukes bl.a. på arbeids-ROVer fra Oceaneering. Dette medfører et visst produksjonsvolum, hvilket kan være medvirkende årsak til den relativt gunstige prisen på omlag NOK 250 000.



Figur 2.5 Oceaneering RCU [23]

2.7.2 Ifokus Compact Remote Controller

Denne ventilpakken ble utviklet av Ifokus i 2001. I ettertid har Oceaneering fått kontroll over selskapet, og dette produktet er delvis en konkurrent til Oceaneerings RCU.

Produktets fortrinn er at det er svært kompakt, med sin sylindriske kropp med diameter 17 cm. Den inneholder to proporsjonalventiler i størrelse NG3 og NG6. I tillegg er det montert en trykkreguleringsventil, slik at trykk og strømningsrate kan reguleres trinnløst 20-250 bar og 0-50 lpm.

Ventilpakken kobles til 24 VDC og kommuniserer via RS 232 og RS 485.

Denne ventilpakken produseres kun på bestilling. Dette gir rom for valg av ventilstørrelser m.m. Prisantydning er NOK 250 000.



Figur 2.6 Ifokus CRC [5]

2.7.3 Innova Quattro – compact valve control module

Quattro er en kompakt RCU med fire like proporsjonale retningsventiler. Maksimal strømningsrate fra hver ventil er 22 lpm. Trykk kan reguleres, slik at man får to linjer med proporsjonalstyrt trykk og strømning, og to linjer med fullt systemtrykk og proporsjonalstyrt strømning.

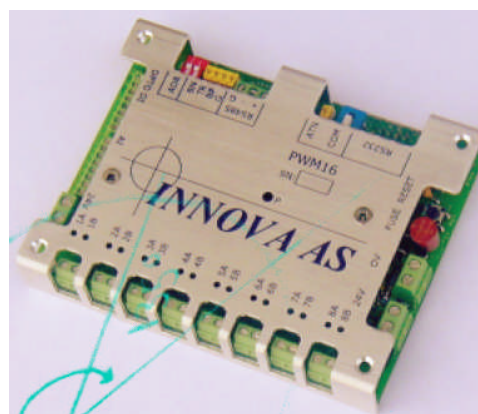
Det er ekstra kapasitet for tilkopling av signaler fra eksterne sensorer, samt ekstra kapasitet for styring av flere ventiler. Pris ikke oppgitt.



Figur 2.7 Innova Quattro [6]

2.7.4 Innova Cute PWM 16

"Compact Intelligent Valve Control" – styringskort . PWM står for "Pulse Width Modulation", og brukes i denne sammenhengen til å kontrollere styrestrømmen som sendes til ventilenes magneter. Styringskortet er tilsvarende det som brukes i Innova Quattro. Pris ikke oppgitt.



Figur 2.8 Innova Cute PWM 16 [7]

Kortet kan styre opptil 16 proporsjonalventiler (24 VDC, 2 A) og ta imot en rekke sensordata. Et slikt kort er hjernen i enhver intelligent ventilpakke. For å kunne sette sammen et komplett system etter eget ønske, må det skaffes:

- Ventiler (med elektromagneter som kan opereres med 24 VDC og maks. 2 A)
- Ventilpakkens "kropp" – ta hensyn til galvaniske spenningsforskjeller og eventuell isolering mellom f.eks. stål og aluminium.
- Koplinger for hydraulikk, og strøm/signal
- Eventuelle hydraulikkslanger og –rør
- Trykkkompensator som sørger for å holde ventilboksen fylt med isolerende væske med trykk lik omgivelsene.

2.8 Filter

Forurensinger i hydraulikkvæsken er vanligste grunn til svikt i en hydraulikkrets [1], derfor har alle seriøse anlegg en eller annen form for filtrering av væsken som sirkulerer i systemet.

Vanligst er partikkelfiltre på retursiden av kretsen, altså umiddelbart før væsken kommer tilbake til reservoaret. Et slikt filter er ofte ment å fjerne partikler ned til størrelse 10 mikrometer.

På systemer som er spesielt ømtålige for forurensinger, f.eks. der det er brukt pilotventiler og servoventiler med trange passasjer, benyttes ofte partikkelfilter også på trykksiden av systemet. Et slikt filter er montert rett etter pumpen, og fjerner partikler med størrelse ned mot 3 mikrometer.

Det sies at en hydraulikkvæske aldri kan bli for ren, likevel betyr ikke dette at flere filtre enn nødvendig bør monteres ukritisk; et filter er også en komponent som kan svikte. Bruk av uforholdsmessig finmasket filterelement kan føre til tetting av filteret, noe som reduserer effekten av anlegget eller også betyr at hydraulikkvæsken går utenom filteret dersom en bypass-ventil er installert.

For landbaserte systemer kan reservoaret fungere som grovfilter både for partikler og vann, i tillegg til at det brukes til å skille ut innblandet luft. Undervannssystemer har trykkompenserte reservoar som ikke nødvendigvis innehar noen filtrerings- eller utskillingsfunksjon, noe som gjør bruken av riktige filtre desto viktigere.

Siden vanninntrenging er en konstant og reell trussel for hydraulikkretser under vann, benyttes gjerne et dedikert vannfilter. Kystdesign Supporter har et slikt filter montert i auxiliary-kretsen. Se omtale av Cardev vannfilter under.

Ønskelige kvaliteter for et partikkelfilter:

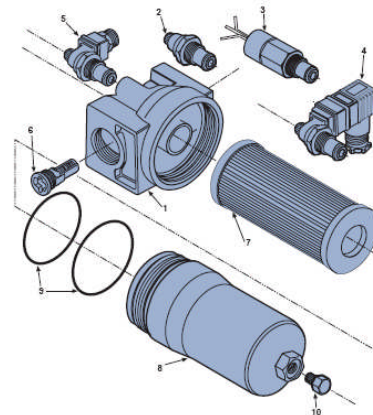
- Stor filteroverflate
- Lite trykktap over filteret
- Kontrollert oppbygging av utfiltrert materie
- Høy driftssikkerhet
- Lange serviceintervall
- Enkelt vedlikehold

2.8.1 Parker Filtration

Amerikanske Parker er en betydelig produsent av hydraulikkomponenter. Flere versjoner av deres partikkelfiltre finnes på Kystdesign Supporter.

Det skilles mellom filtre til bruk på trykkside og returside av anlegget, i tillegg til at de forskjellige typene selvsagt finnes i en rekke størrelser og utføringer.

Figur 2.9 viser delene i et partikkelfilter for moderate trykk, med innebygd bypass-ventil.



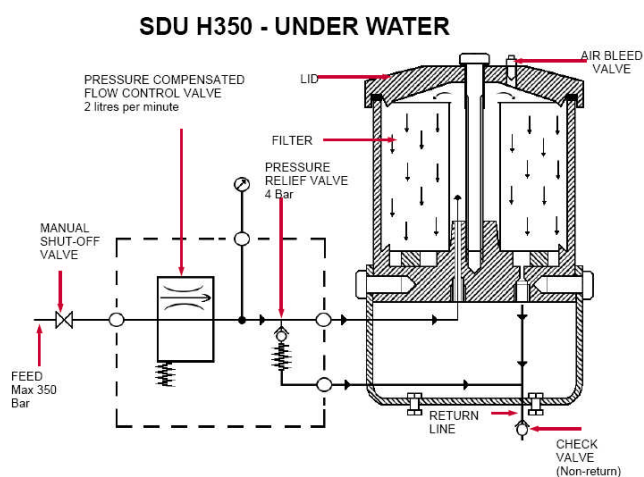
Figur 2.9 Parker partikkelfilter [8]

2.8.2 Cardev SDU H350 Subsea

Den engelske produsenten Cardev leverer dette filteret som fjerner både partikler og vann fra hydraulikkvæsken. Tradisjonelle filtre baserer seg på at hele systemets volumstrøm eksponeres, mens Cardev SDU350 kun tar imot 2-4 lpm.

Lav gjennomstrømning betyr at hver volumenhet av væsken får lang nok oppholdstid i filteret til at vann kan skilles ut. Ustabile vann-/oljemulsjoner vil som kjent skilles ved tilstrekkelig stagnasjon.

Filteret koster NOK 13 500, og nye filterelementer fås for NOK 450.



Figur 2.10 Cardev subsea vannfilter [9]

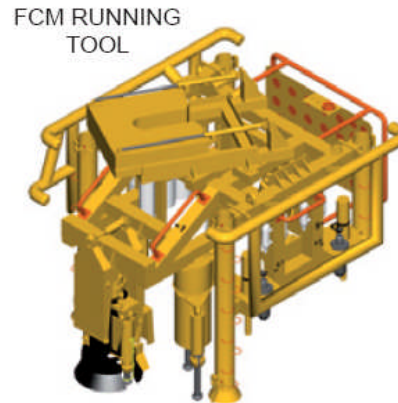
3 Undervannsverktøy

Utstyret som ROV jobber med, kalles for verktøy (eng: tools). Begrepet omfatter svært forskjellig utstyr – fra små hydrauliske motorer til de store modulhånderingsverktøyene som har flere meters utstrekning i alle akseretninger og veier mange tonn.



ROV
OVERRIDE
JACK

Figur 3.1 FKS ROV Override Jack [10]



Figur 3.2 FKS FCMRT [10]

Modulhånderingsverktøyene (eng: running tools) er designet av de respektive produsentene av undervannsinstallasjonene. For StatoilHydros felt på norsk sokkel er der tre store aktører: FMC Kongsberg Subsea, Vetco Gray og Aker Kværner Subsea. Mindre verktøy, som også er spesiallaget for de enkelte typer installasjoner, produseres gjerne av andre firmaer. Oceaneering i Stavanger er største produsent av slike verktøy for StatoilHydros felt.

I denne sammenhengen diskuteres kun verktøy som har hydrauliske funksjoner som opereres via ROV. Dette ekskluderer enkelte av de største running tools, som har kraftforsyning direkte fra overflaten, og diverse små verktøy som ikke har hydrauliske funksjoner.

Det er naturlig nok forskjeller i hvilke kraftbehov verktøyene har, men fellestrekk finnes. Maksimalt tilført trykk er oftest oppgitt å være 207 bar (tilsvarende 3000 psi), mens nødvendig trykk for operasjon gjerne er noe lavere.

I mange tilfeller legges det opp til at operatøren skal tilføre hydraulisk kraft med maksimalt tillatt trykk, mens trykkreduksjonsventiler på verktøyet justerer trykket til nødvendig nivå. Dette medfører en viss sløsing med energi, men gjør selvsagt jobben enklere for de som må forholde seg til et stort antall forskjellige verktøy.

Utstyr laget for standardoperasjoner på undervannsinstallasjonene utgjør bare én del av verktøyene som DeepOcean og lignende firmaer benytter seg av. Stadig utvikles det nytt utstyr – ofte i forbindelse med konkrete nye oppdrag der eksisterende verktøy er utilstrekkelige. Det finnes mange firmaer på Vestlandet som tar på seg å designe slike spesialverktøy.

Design av nytt utstyr behøver ikke innebære lange perioder med forskning og utvikling. Ofte handler det om å kunne levere en brukbar løsning innen en kort tidsfrist. Et typisk eksempel på dette er kutteverktøy som utvikles for konkrete jobber – gjerne fordi det stilles spesielle krav til tilkomst, størrelse, osv. I slike tilfeller er metode/prinsipp allerede utviklet eller kjent, og utfordringen blir å sette det sammen i ønsket geometri.

4 Vanninntrenging

Ethvert hydraulisk system er usatt for forurensinger fra omgivelsene. Ørsmå partikler blir dratt med når en hydraulisk sylinder kjøres inn, luft suges inn rundt akslingen på en motor, osv. For å minimere disse problemene, finner konstruktøren frem til tetninger med riktig utforming og materialer.

Dersom et hydraulisk anlegg skal være omgitt av vann, og særlig sjøvann, er tetning mot omgivelsene enda viktigere enn vanlig. Vanninntrenging i systemet kan ha flere negative effekter:

- Økt korrosjon med påfølgende funksjonssvikt eller nedsatt virkningsgrad
- Nedsatt smøreevne med påfølgende komponenthavari
- Mulig vekst av organismer i systemet, med påfølgende blokkering av ventiler m.m.

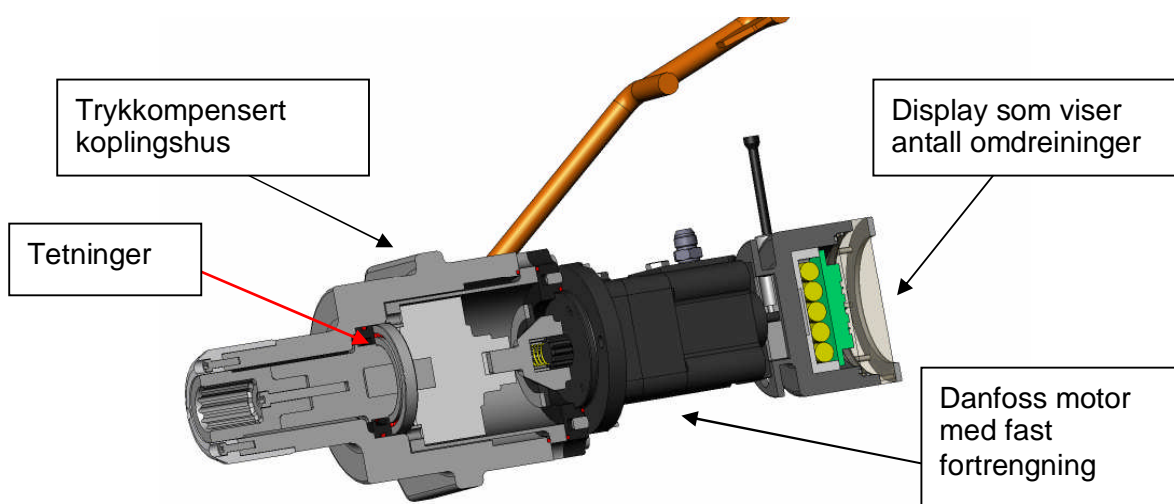
Vann i mineralolje kan oppdages ved visuell sjekk, da oljen blir ”blakk” allerede når den inneholder 0,05-0,1 % vann. En huskeregel sier at oljen bør skiftes dersom vanninnholdet overstiger 0,1-0,15 %. [1]

Stabiliteten til eventuelle olje-/vannemulsjoner vil avhenge av temperatur og trykk.

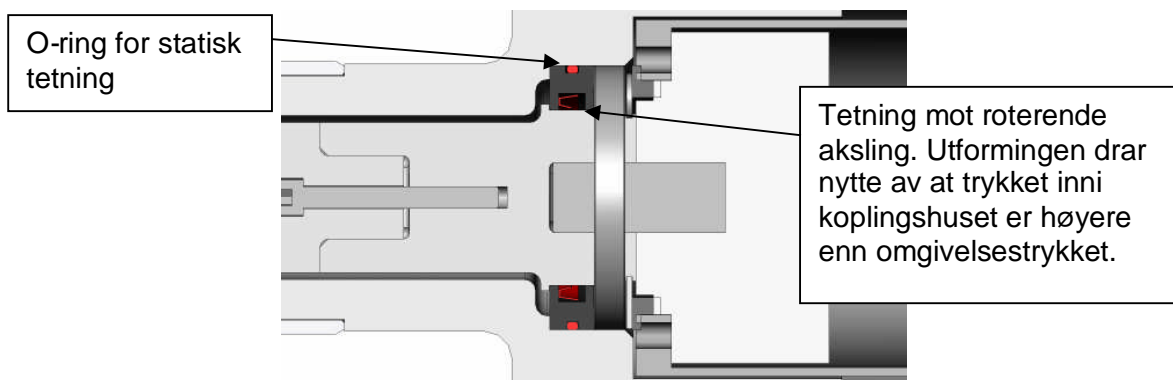
4.1 Tetting vha trykkompensering

Ved trykkompensering skal der i teorien alltid være et visst overtrykk på innsiden av komponenten. Overtrykket er oftest mindre enn 1 bar, men kan også være opp mot 5 bar i f.eks. et TT.

I tilfellet utilstrekkelig tetning, skal overtrykket føre til utslipp av olje til sjø – ikke at sjøvann kommer inn i verktøyet. Oljeutslippet i et slikt scenario er **svært** begrenset. (Eventuelle ”større” utslipp av hydraulikkvæske ved bruk av ROV, skjer helst pga. plutselig fysisk skade på hydraulikkslanger).



Figur 4.1 Oceaneering TT, skisse (fra Oceaneering)



Figur 4.2 Oceanering TT, utsnitt (fra Oceanering)

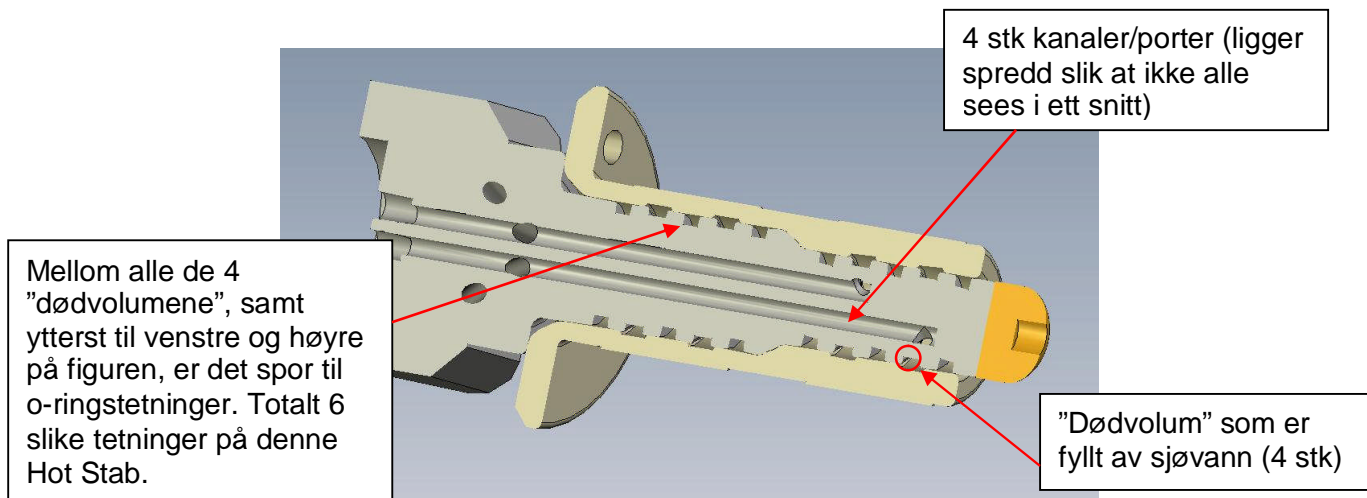
4.2 Kontrollert vanninntrenging

Ved hydraulisk oppkopling med verktøyet under vann, benyttes en såkalt "hot stab". Dette er en hurtigkopling som er enkel for ROV å bruke. I motsetning til en tradisjonell hydraulikkopling, prøver ikke en hot stab å komprimere mediet som er mellom han- og hundel av koplingen. Portene er plasserte radielt langs delenes lengdeakse.

Bruken av hot stab vil alltid føre til en viss inntrenging av sjøvann i hydraulikkretsen. Spørsmålet er om mengden er forutsigbar.

Nye varianter av hot stab har tilbakeslagsventiler montert ved alle portene. Målet er å redusere "dødvolumet" mellom hydraulikkvæsken i de to koplingsdelene. Uten slike ventiler vil selve hot stab være åpen mot sjøvannet.

Med mindre utstyret er defekt vil der ikke være ytterligere vanninntrenging etter at skikkelig kopling er oppnådd. Dersom hot stab har de riktige ventilene montert, er det derfor enkelt å fastslå hvor stor mengde sjøvann som blandes inn i hydraulikkvæsken ved hver oppkopling. Som figur 4.3 antyder er mengden beskjeden. Supporter er utstyrt med et vannfilter. Dette filteret er rikelig dimensjonert til å håndtere vanninntrengingen som bruken av hot stab fører med seg. Det kan gjøres et stort antall oppkoblinger før filterelementet må byttes – så mange at en god hot stab ikke skal kunne utgjøre et problem for ROV-systemets pålitelighet. (Oceanering antyder at et hundretalls oppkoblinger kan utføres uten at vannfilteret må vedlikeholdes).



Figur 4.3 Oceaneering 4L Hot Stab (fra Oceaneering)

4.3 Ukontrollert vanninntrenging

Det finnes beklageligvis et utall grunner til at større vannmengder kan trenge inn i systemet. Fellesnevneren er at trykkompenseringen ikke er god nok, eller at det aktuelle verktøyet ikke er ment å brukes under vann.

Et mulig scenario er at en aksialstempelmotor (f.eks. på et kutteverktøy) fortsetter, pga massetregghet, å roterer en stund etter at operatøren har stengt tilførselen av hydraulikkvæske. I dette øyeblikket er motoren blitt en pumpe. Etersom de stengte ventilene (som leverte hydraulikkvæske til motoren) hindrer strømming, kan der oppstå et undertrykk inni maskinhuset. Dette undertrykket kan potensielt føre til at sjøvann dras inn via akslingstetningene. Den eventuelle vanninntrengingen, og graden av problemer den fører med seg, vil nødvendigvis stå i forhold til størrelsen på den aktuelle maskinen og start-/stopfrekvensen under operasjonen.

For å hindre en slik inntrenging av vann, bør selve maskinhuset trykkompenseres. Da kan hydraulikkvæske fra kompensatoren dras inn i maskinen i stedet for vann. Spørsmålet her er forholdet mellom undertrykket fra den uønskede rotasjonen og overtrykket som kompensatoren leverer.

Det synes klart at roterende maskiner er spesielt utsatte for vanninntrenging pga variasjonene i indre trykk ettersom rotasjonshastigheten øker eller avtar.

Dersom akslingen på et roterende verktøy blir utsatt for store radielle belastninger, vil det føre til skjev belastning på tetningene. Vanlige akseltetninger kan da komme til kort.

5 Korrosjonsvern

ROVer jobber i et svært korrosivt miljø. Konstruktørene er spesielt opptatte av å unngå galvaniske spenningsforskjeller som kan føre til at et materiale tæres opp raskere enn normalt. Aller helst er det kun offeranoden – det materialet som er tiltenkt å oksidere til fordel for de andre materialene det har elektrisk kontakt med – som skal forbrukes.

Utstyr som står permanent installert offshore/subsea er underlagt regler for korrosjonsbeskyttelse (jmfør NORSOK). Det samme gjelder ikke for ROV og verktøyene som brukes sammen med den. ROV bør selvsagt likevel beskyttes godt, fordi den er et komplekst, viktig og dyrt system som stadig utsettes for det våte element. Saken er til dels annerledes for enklere og mindre verktøy som blir brukt sjeldnere. Her kan det holde å unngå de aller verste fellene: Som å kople aluminium direkte sammen med stål. En solid overflatebehandling – i form av maling eller eloksering – er dog en selvfølge. Bolter og andre ubehandlede komponenter bør være laget av ekstra bestandig materiale. Såkalt rustfritt stål, kan benyttes til å kople sammen stålkomponenter.

Indre korrosjon er også en aktuell problemstilling, jmfør forrige kapittel om vanninntrenging. Det bør være en selvfølge å ha et skikkelig vedlikeholdsregime for et så komplekst system som en arbeids-ROV. Jevnlig rensing av olje og bytting av olje og filtre skal være nok til å hindre store korrosjonsangrep og sikre adekvate levetider for komponentene.

6 Eksempler på vanninntrenging

Det følgende er eksempler på tilfeller DeepOcean har erfart relatert til kontaminering av ROVs hydraulikksystem. Tekniske problem av denne arten er ikke en naturlig del av prosjektingeniørens sluttrapporter – med mindre ROVs driftsproblemer ble så store at de førte til betydelig forsinkelse eller vanskeliggjøring av operasjonen. Eksemplene som presenteres her, er fremkommet i samtaler med personell som var med på operasjonene.

Tilfelle 1

Ekstra hydrauliske ventiler ble bestilt til **hot stab** før en jobb med SCMR, i et forsøk på hindre vanninntrenging i ROVs auxillary-system. Ventilleveransen skjedde ikke i tide. Operasjonen ble utført med noen andre ventiler i hot stab. Disse fungerte ikke slik ønsket, og resultatet ble at noe sjøvann kom inn i systemet.

Tilfelle 2

Ingeniørene ombord på et av skipene hadde kommentarer til bruk av 4L hot stab på en jobb. Hot stab var i utgangspunktet ikke utstyrt med tilbakeslagsventiler. Det betyr at indre volum av hot stab og volumet av hydraulikkslangene (frem til nærmeste ventiler – som antas å ha vært de proporsjonale retningsventilene på auxillary-kretsen) stod åpent mot sjøvannet. Scenarioet betyr to ting:

- Et visst mulig oljeutslipp til sjø
- En viss vanninntrenging i hydraulikkretsen



Figur 6.1 Oceaneering Hot Stab i bruk på et "ROV-panel" [11]

Tilfelle 3

En annen jobb gikk ut på å sikre paneler i lukene på beskyttelsesstruktur. En hydraulikkmotor ble utstyrt med "bits" fra vanlig drill, for å bore hull i glassfiberpanelene.

Bruken av denne motoren førte til vanninntrenging. Etter operasjonen ble det observert at hydraulikkvæsken i auxillary-kretsen var melkehvit/matt på farge – et tegn på vann i mineraloljen.



Figur 6.2 Boring av hull [11]

7 Dirty pack på markedet

7.1 Markedet for dirty pack

Vestlandet bugner av større og mindre bedrifter som konstruerer utstyr for offshore- og undervannsbransjen. Oceaneering, Imenco, Kurt Wiig (se vedlegg 8) og Kystdesign er eksempler på firmaer som har levert, eller er i stand til å levere, DWP etter ønske/spesifisering fra kunde.

Det er verdt å merke seg at DWP er et nisjeprodukt, og det er svært få som serieproduserer slikt utstyr.

Utstyr som produseres på bestilling blir sjelden presentert som kommersielle produkter via produsentenes internettsider o.l., fordi produktet og utviklingen av det betraktes som kundens eiendom.

Det følgende er en kort presentasjon av noen kommersielle produkter:

7.2 DWP med hydraulisk drift

7.2.1 Bennex Aberdeen Dirty Work Pack

Bennex Aberdeen leverer sin DWP i flere versjoner. I standardutgaven er dette en motor (med fast fortregning) koplet sammen med pumpe med variabel, trykkstyrt fortregning. I standardutgave er produktet uten både filter, ventiler og eventuelt reservoar som skal til for å kunne kalle det et komplett system.



I tillegg leverer de en versjon med enkle ventiler og en "komplett" DWP med reservoar, filtre og strømningsventiler som kan pilotstyres via ROVs hydraulikk.

Maksimal tilført volumstrøm er 57 lpm og det resulterer i omlag 40 lpm fra DWP. (Se vedlegg 9).

Figur 7.1 Bennex DWP standard [12]

Figur 7.2 Bennex DWP med ventiler, kompensator og filtre [13]

Priser:	
Standard DWP:	GBP 3 250
DWP med tilkopplingsventiler:	GBP 5 225
DWP, komplett system:	GBP 16 540



7.2.2 Sub-Atlantic Dirty Oil Pack

Motor med fast fortregning driver pumpe med variabel fortregning. Produktet har trykkompensert koplingshus, 2,7 liters kompensator og partikkelfiltre både på trykk- og returside.

Produktet er kompakt, og har et gunstig effektområde som gjør det aktuelt for de fleste jobbene der verktøy kjøres via ROV. Andre kompensatorstørrelser leveres på forespørsel. Pris ikke oppgitt.

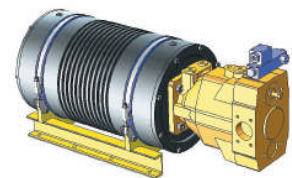


Figur 7.3 Sub-Atlantic Dirty Oil Pack [14]

7.3 DWP med elektrisk drift

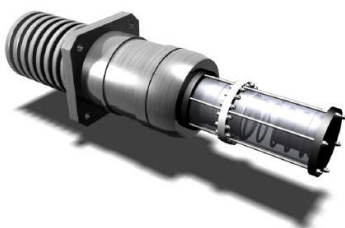
7.3.1 Innova Powermaster

Tilgjengelig i mange forskjellige effektstørrelser, fra 18 kW til 200 kW. Motorene er av type 4-poler 3-fase, og kan benyttes med 1-3,3 kV vekselstrøm. Dette er en sammenstilling av motor og pumpe. Øvrige komponenter må skaffes separat: filtre, ventiler, reservoar, kompensatorer, slanger, etc. Prisen for et 18 kW system er NOK 150 000.



Figur 7.4 Innova Powermaster [15]

7.3.2 Perry Slingsby Systems 5 kW hydraulic power pack



Et lite og kompakt system som består av elektromotor (3-fase, 2 kV), pumpe og 1,75 liters kompensator. Maksimalt uttak er 12 lpm ved 200 bar. Prisen er GBP 13 920

Perry Slingsby Systems leverer også tilsvarende løsninger i størrelse 55-180 kW.

Figur 7.5 Perry Slingsby Systems 5 kW hydraulic power pack [16]

7.3.3 SMD Curvetech Submersible Power Packs

Curvetech kan levere forskjellige sammenstillingen av motorer og pumper, basert på kundens krav. Motorene er 4-pols 3-fase og skal tilføres 1-3 kV vekselstrøm. De leverer effekt i området 8-300 kW. Pris ikke oppgitt.



Figur 7.6 Curvetech power pack [17]

8 Sette sammen nytt system

8.1 Drift: Elektrisk eller hydraulisk

Det mest fundamentale spørsmålet ved design av en DWP er hvordan den skal tilføres energi. Her finnes, som tidligere nevnt, to alternativer:

1. DWP-pumpen drives vha egen elektromotor.
2. DWP-pumpen drives vha en hydraulisk motor som får kraft fra et eksisterende hydraulikksystem.

Bruk av dedikert elektromotor kalles i det følgende *elektrisk drift*. Som alltid må positive og negative sider veies opp mot hverandre, og der finnes flere lodd på begge sider av vektstangen. De største fordelene med elektrisk drift er knyttet til driftssikkerhet og forutsigbart designresultat som krever mindre testing enn tilsvarende med hydraulisk drift. Dessuten gjør elektrisk drift det mulig å lage en krets med større hydraulisk kapasitet enn ROVens eget system, mens den andre metoden nødvendigvis gir en krets med *mindre* kapasitet enn ROVens, pga diverse tap.

Ulempene med elektrisk drift er først og fremst vekt, størrelse og mer krevende installasjonsarbeid. Selv elektromotorer med moderat effekt har så stor fysisk størrelse at de må monteres utenfor Supporters strukturelle ramme, og så stor masse at de krever bruk av oppdriftselementer for å nøytralisere og stabilisere farkosten.

Elektrisk drift av DWP vil også være en noe dyrere løsning enn å bruke hydraulisk motor. For det aktuelle effektområdet vil hydraulisk drift gi en besparelse i området kr 60 000 - 110 000 bare for pumpe-/motorsammenstillingen.

Et argument for å bruke elektrisk drift er, som nevnt over, å kunne lage en svært kraftig DWP. Problemet er imidlertid at energitilførselen til ROV er begrenset, og det er derfor ikke tilrådelig å montere utstyr som har større effekt enn den avlastningen som bruken av det nye utstyret fører til for Supporters egen elektromotor. Det er ikke tilrådelig å overføre kontinuerlig effekt på over 95 kW gjennom Supporters navlestreng. Dersom montert utstyr totalt sett har større maksimal effekt enn 95 kW, må operatørene være klar over dette og sørge for at ikke alt utstyr belastes maksimalt samtidig.

Det konkluderes at DWP til kjøring av små og mellomstore verktøy, som denne rapporten omhandler, bør drives vha hydraulisk motor og via et hydraulisk system.

8.2 Krav som stilles til en dirty pack

Verktøyene som drives via ROV har svært forskjellige oppgaver og stiller forskjellige krav til hydraulikksystemet. Operasjonstiden for å aktivere en sylinder i f.eks. AKS CMRT kan være ett minutt, mens det kan ta et halvt døgn å gjennomføre en vanskelig jobb med et kutteverktøy.

Dersom ROV-operatørene må gjøre en kort stopp i arbeidet, er det ikke ønskelig at de skal være nødt til å skru av DWP, fordi det gjerne tar en stund å kjøre den i gang igjen og sjekke at trykk o.l. er riktig. For at DWP skal kunne være operativ kontinuerlig, må den være i stand til å kjøre på tomgang deler av tiden - uten å sløse med energi. Med andre

ord må den ha en tomgangsmodus, og dette betyr i praksis at det må brukes en pumpe med variabel fortregning.

Pumpe med variabel fortregning gjør det mulig å kontinuerlig tilføre volumstrøm til DWP-motoren, mens det faktiske effektforbruket er minimalt dersom DWP ikke leverer kraft til verktøyet. Der vil likevel være et visst forbruk av energi, pga diverse mekaniske og hydrauliske tap, og fordi fortregningsvolumet i praksis ikke er null selv når en variabel pumpe går i hvilestilling.

8.2.1 Fleksibelt system

Ventilpakke

Det er ønskelig å kunne justere trykk og volumstrøm mens operasjonen pågår. Oceaneering TT, som f.eks. brukes til å sette en ventil med et bestemt dreiemoment, er et av verktøyene som krever slike kontrollmuligheter.

Full kontroll over volumstrøm krever bruk av proporsjonalstyrte ventiler. Trykkjustering kan gjøres ved å kontrollere maksimaltrykket levert fra pumpen, eller ved forskjellige typer ventiler i andre deler av kretsen. Som tidligere nevnt er det lite ønskelig å sende store mengder høytrykks hydraulikkvæske gjennom en trykkreduksjonsventil, da dette er et rent energitap, men løsningen kan være tilfredsstillende dersom det kun kreves lavere trykk i korte perioder.

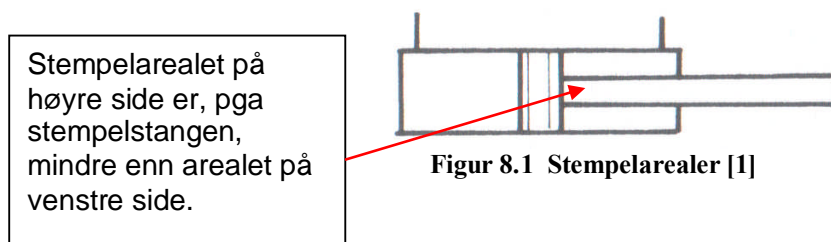
For å få et system med funksjonalitet lignende Supporter auxillary, anbefales det å bruke en ventilpakke med både proporsjonalventiler av forskjellige størrelser og mulighet for tilkopling av signalkabel fra f.eks. TT. Et utvalg av slike ventilpakker er presentert tidligere i rapporten.

Reservoar

Små trykkompenserte reservoarer benyttes for å kompensere for endring i oljevolum som følge av trykkendringene (større endringen i oljens volum skyldes iblandet luft, eller forekomst av luft et sted i kretsen/enheten).

Ved undervannsoperasjoner gjøres det ofte et antall av-/påkoplinger med utstyr mens operasjonen pågår, og disse har potensial til å føre til små lekkasjer av olje. Oljereservoarer i størrelsesorden 1-3 liter er nok til å kompensere for disse eventuelle lekkasjene og for eventuelle luftlommer eller manglende trykk i verktøyet som tilknyttes.

Behovet for virkelig store reservoarer dukker først opp når det tilknyttede verktøyet innehar hydrauliske sylindre med betydelig forskjell i arbeidsarealet for henholdsvis utover- og innoverbevegelsen.



Det trengs tilførsel av 7 liter olje for å kjøre sylindrene på AKS CMRT – dette utgjør ytterpunktet for verktøy som opereres direkte fra ROV (se vedlegg 2). Et 10 liters reservoar med nyttevolumet i overkant av 9 liter væske, er dermed tilstrekkelig for det aller meste av arbeidet en ROV kan forventes å bli pålagt.

De fleste verktøy har derimot et meget lavere krav til tilført oljemengde, og et reservoar på 2-3 liter vil fremdeles være nok i mange tilfeller. En 10 liters kompensator vil være den største komponenten i DWPen, og størrelsen kan i seg selv være grunn til å revurdere oljebehovet.

8.2.2 Effekt

En DWP bør kunne kjøre de fleste verktøy som Supporter jobber med. Brorparten av disse klarer seg med mindre enn 30 lpm. Selv Vetco Grays oppkoplingsverktøy "Icarus" krever ikke mer enn 45 lpm (se vedlegg 2). Hvis DWP har en maksimal kapasitet på 50 lpm skulle den derfor være i stand til å kjøre det som finnes av verktøy (innen tidligere diskuterte rammer).

Det vil likevel alltid finnes verktøy som krever mer, og som ligger i grenseland til å ha behov for egen kraftforsyning.

Nødvendig arbeidstrykk er ofte i området 120-170 bar. Supporter auxiliary kan teknisk sett levere minst 280 bar, men i praksis blir maksimaltrykket satt til 200-210 bar. Det er fordi produsentene har satt dette til å være grensen for hvor høyt trykk som kan tilføres uten at verktøyet tar skade. Følgelig er det naturlig at også DWP skal kunne produsere maksimaltrykk i området 200-210 bar.

8.3 Valg av pumpe

Bosch Rexroth sin A10VSO-serie pumper anbefales og benyttes av flere produsenter av HPU for undervannsbruk. Serien er av typen skråskive aksialstempelpumpe, og finnes i flere størrelser med utallige valgmuligheter for styring av skråskiven, m.m. Begge pumpene på Supporter er A10VSO.

Det tas utgangspunkt i den minste pumpen i serien: A10VSO18. Tekniske data:

Maksimalt fortreningsvolum:	$18\text{ cm}^3 / \text{rev}$
Maksimalt omdreiningstall:	3000 rpm
Volumetrisk virkningsgrad:	$\eta_{\text{volumetrisk}} = 0,95$
Mekanisk-hydraulisk virkn.gr:	$\eta_{\text{mek.hydr}} = 0,89$
Total virkningsgrad:	$\eta_{\text{total}} = 0,85$
Maksimalt levert trykk:	280 bar kontinuerlig, 350 bar "peak"

Maksimalt turtall for kontinuerlig drift er 3000 rpm (tilsvarer ca. 314 rad/s). Med dette som utgangspunkt, kan maksimal volumstrøm fra pumpen beregnes:

Formel for volumetrisk virkningsgrad [1] :
$$\eta_{volumetrisk} = \frac{Q_p}{V_{g\max} \cdot \omega}$$

→
$$Q_p = \omega \cdot V_{g\max} \cdot \eta_{volumetrisk}$$

$$Q_p = 314 \text{ rad/s} \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{2\pi} \text{ m}^3/\text{rad} \cdot 0,95$$

$$Q_p \approx 8,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Dette tilsvarer 51 lpm. Selv om pumpen tåler å kjøre med kontinuerlig turtall opp mot 3000 rpm, er det enda gunstigere å la den rotere saktere. Bosch Rexroth velger å dimensjonere pumper til å holde et turtall på ca 1500 rpm. Tatt i betraktning at DWP skal levere betraktelig mindre enn 51 lpm i de fleste tilfeller, må det sies at denne pumpestørrelsen er bortimot optimal for formålet.



Det velges å bruke pumpe Bosch Rexroth A10VSO18.

Figur 8.2 Bosch Rexroth A10VSO18DR [18]

Foreløpig antas det at 205 bar trykk fra pumpe tilsvarer de nødvendige 200 bar trykk i verktøyene som skal drives (mye tyder på at trykktapet i praksis er lavere, men antagelsen er brukbar for å illustrere problemstillingen). Dermed kan det gjøres en overslagsberegning av effekt levert fra pumpen:

Formel for effekt fra pumpen [1] :
$$P_p = \frac{Q_p \cdot \Delta p_p}{\eta_{total}}$$

→
$$P_p = \frac{51 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{60} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 205 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{0,85}$$

$$P_p \approx 20,5 \text{ kW}$$

Hvor P_p er pumpens effekt og Δp_p er differansetrykk over pumpen.

8.4 Valg av motor

Pumpen skal drives av en hydraulisk motor med fast fortregning. Motorer fra Danfoss er svært populære til bruk i undervannsverktøy – bl.a. bruker Oceaneering dem på sine TT. Parker har noen interessante serier av skråblokkmotorer. Det kan nevnes at thrusterne fra Sub-Atlantic (som brukes på Supporter og mange andre ROVER) består av Parker-motorer.

Motoren må ha større effekt enn pumpen, grunnet uunngåelig effekttap mellom komponentene. Det velges å bruke en direkte kopling mellom motor og pumpe, slik at motoren vil måtte holde samme turtall som pumpen. Med andre ord må motoren ha størst fortregningsvolum.

Parker F1 er en serie aksialstempelmotorer av skråblokkdesign. Disse er spesielt egnet pga en enkel og solid konstruksjon. Parker F1-25M er en motor med fast fortregning på $25,6 \text{ cm}^3/\text{rev}$.

Når maksimalt driftsturtall allerede er gitt, blir det interessant å beregne nødvendig tilført volumstrøm fra auxillary-kretsen (volumetrisk virkningsgrad for motoren antas å være 0,95):

Formel for vol. virkningsgrad [1] :

$$\eta_{\text{volumetrisk}} = \frac{V_M \cdot \omega}{Q_M}$$

$$\rightarrow Q_M = \frac{V_M \cdot \omega}{\eta_{\text{volumetrisk}}}$$

$$Q_M = \frac{25,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{2\pi} \text{ m}^3 / \text{rad} \cdot 314 \text{ rad} / \text{s}}{0,95}$$

$$Q_M = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Dette tilsvarer 80 lpm, og er i overkant av kapasiteten for Supporter auxillary. Resultatet er likevel akseptabelt (mer om dette siden). Det velges å bruke motor Parker F1-25M.



Figur 8.3 Parker F1-25M [19]

8.5 Kopling mellom motor og pumpe

Det er tidligere valgt at pumpe og motor skal jobbe med samme turtall. For å overføre effekten fra motoren trengs derfor kun en relativt enkel direkte kopling, men den må likevel:

- Være dimensjonert tilstrekkelig for turtall og moment ved vanlig drift
- Være en sikkerhet mot overbelastning av motor/pumpe, dvs. at den må bryte ved et bestemt dreiemoment
- Tåle å jobbe neddykket i mineralolje
- Være kompakt nok til å få plass i et relativt slankt koplingshus

Ved utvelgelse av kopling må det derfor først gjøres en beregning av overført moment ved vanlige driftsbetingelser:

Formel for moment på pumpeaksling [1] :

$$\eta_{mek.hydr} = \frac{V_p \cdot \Delta p_p}{T_p}$$

$$\rightarrow T_p = \frac{V_p \cdot \Delta p_p}{\eta_{mek.hydr}}$$

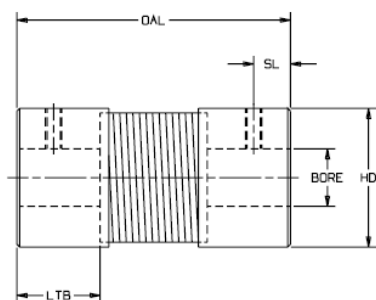
$$T_p = \frac{18 \cdot 10^{-6} \frac{1}{2\pi} m^3 / rad \cdot 205 \cdot 10^5 Pa}{0,89}$$

$$T_p \approx 66 Nm$$

NHS Transmisjoner AS leverer det meste innen koplinger. De foreslår bruk av Lovejoy Uniflex U-Type U-137 for dette tilfellet. NHS borer opp koplingen til å passe akslingene fra motor og pumpe. Pris: kr 3985 eks.mva.



Figur 8.4 Lovejoy kopling [20]



Figur 8.5 Lovejoy kopling, målskisse [20]

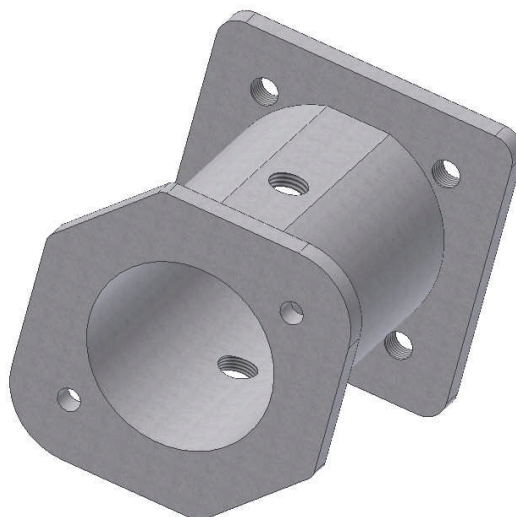
OAL [mm]	105 – 133
HD [mm]	65
Vekt [kg]	1,8

8.6 Design av koplingshus

Mellom pumpe og motor må det lages en tett kopling. Dette koplingshuset bør være trykkkompensert, for å slippe å dimensjonere godset for trykket på havbunnen og for å slippe å konstruere tetninger som tåler et stort differansetrykk. I og med at det er snakk om relativt små dimensjoner, som derfor bidrar med lite av totalvekt av DWP, foreslås det å konstruere koplingshuset av stål. Siden både motor og pumpe også er av stål, kan det sees bort fra galvaniske spenningsforskjeller.

Differansetrykket mellom innside og utside av et trykkkompensert koplingshus er som kjent lavt, men for å holde tett må det uansett benyttes et eller annet innlegg mellom kontaktflatene av stål. Det foreslås å dreie inn spor for bruk av O-tetninger av nitrilgummi (som bl.a. brukes i Oceaneerings TT), eller bruke flate pakninger lik dem som finnes f.eks. mellom gir og motor på Sub-Atlantics thrustere. Figur 8.6 viser hull for tilkopling av trykkkompensator og for utlufting ved fylling av koplingshus. (Se vedlegg 4)

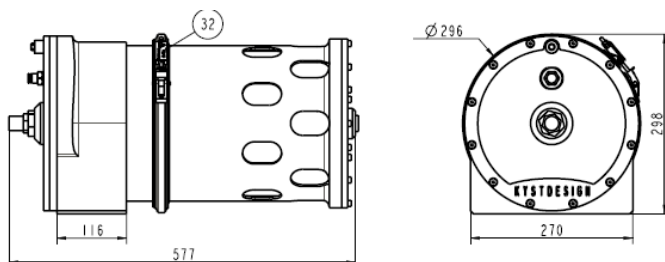
For å hindre uønsket tæring av bolter, skiver og muttere er det viktig at også disse er av stål (eller edlere materialer).



Figur 8.6 Skisse av koplingshus (S. Årland)

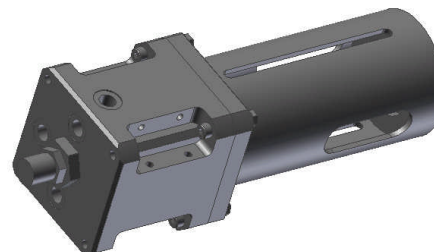
8.7 Kompensatorer

For å kunne kjøre "alle" verktøy, velges et 10 liters reservoar. Det foreslås derfor bruk av Kystdesigns 10 liter kompensator som reservoar. Begge reservoarene på Supporter er av denne typen, hvilket betyr at mekanikerne er kjente med dem og bruken fører ikke til behov for flere reservedeler ombord.



Figur 8.7 Kystdesign 10 liters kompensator [4]

Kystdesigns 1,2 liter kompensator velges for trykkkompensering av koplingshus mellom pumpe og motor. RCU leveres med egen kompensator, og det er viktig fordi enhver form for kontaminering (f.eks. metallspen – som kan tenkes å skilles ut fra koplingshus ved et havari) er uakseptabel sammen med elektronikkort og elektrisk strøm.



Figur 8.8 Kystdesign 1,2 liters kompensator (fra Kystdesign)

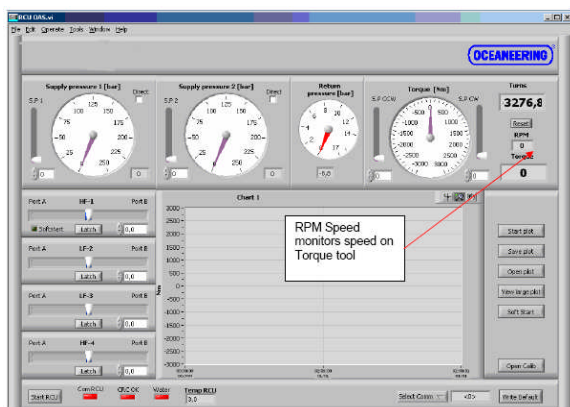
8.8 Filter

DWP inneholder ingen komponenter med spesielt strenge krav til renslighet i oljen – det ville gått på tvers av grunnkonseptet. I fravær av servoventiler og andre ømtålige komponenter, må pumpen sies å være kretsens mest kritiske enhet med tanke på partikkelfiltrering. Bosch Rexroth oppgir minimums renhet til NAS 1638 klasse 9 [18]. Skalaen har 14 klasser hvorav klasse 9 er den fjerde ”skitneste”.

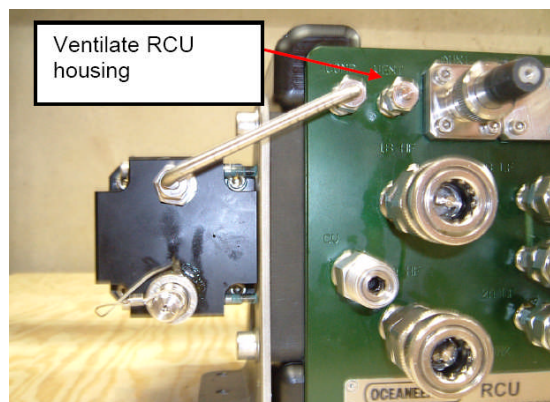
Det velges å bruke et enkelt partikkelfilter med bypass-ventil (tilbakeslagsventil) på retursiden i kretsen. Filteret monteres umiddelbart før reservoaret. Det er standard i industrien å bruke filterelementer med maskeåpning 10 mikrometer på retursiden, og det er et godt valg også i dette tilfellet siden der ikke brukes høytrykksfilter. Av bekvemlighetsgrunner faller valget på Parker 15CN (tilsvarende er i bruk på Supporter).

8.9 Ventilpakke

Det anbefales å bruke Oceaneering RCU som en del av DWP. Gjennom kontrakten med StatoilHydro er DeepOcean kjent med dette produktet. Ventilpakken gir DWP funksjonalitet lignende Supporter auxillary-kretsen. Via den medfølgende programvaren styres ventiler og trykk, og det kan leses av sensordata fra tilkoplede utstyr.



Figur 8.9 Skjerm bilde fra programvaren som leveres med RCU [21]



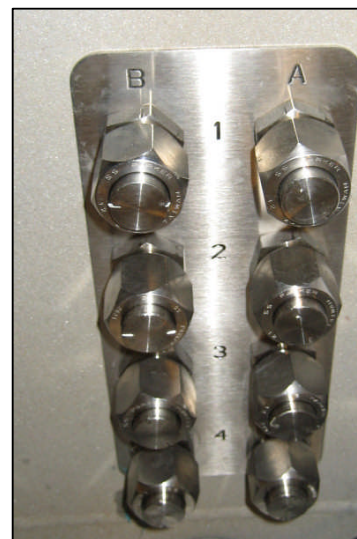
Figur 8.10 RCU med egen kompensator montert [21]

8.10 Hydraulikkskjema

Motoren på DWP koples til auxillary-uttakene i front av ROV. "Case drain" fra motoren kobles til reservoaret (10 liters kompensator) i auxillary-kretsen. Dette kan kreve en grenkopling på reservoaret dersom det ikke er flere ledige porter.

DWP-pumpen koples til eget reservoar via sugeporten og en av dreneringsportene. Trykkporten på pumpen koples til RCU, via tilbakeslagsventil. Returen fra RCU går innom partikkelfilteret på veg tilbake til reservoaret. Koplingshuset mellom pumpe og motor koples til egen kompensator, og har en ekstra port for utlufting m.m. ved fylling. Fra uttak på RCU føres slanger frem til baugen av ROV.

Se vedlegg 1: Hydraulikkskjema

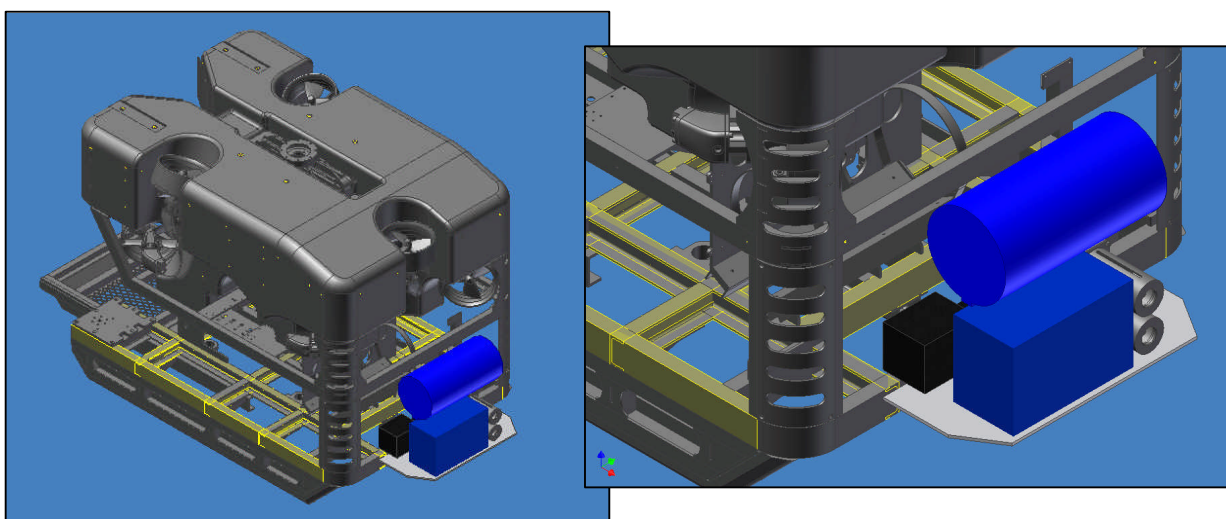


Figur 8.11 Uttak for høye volumstrømmer fra Supporter auxillary (foto S. Årland)

8.11 Plassering

Supporter er en kompakt ROV med lite "tomrom" innenfor sine sideflater. Det vil være komplisert å montere en DWP innimellom ROVens øvrige komponenter. Spesielt må et eventuelt 10 liters reservoar plasseres utenfor ROVens flater.

Ut fra DeepOceans gode erfaringer med Kystdesign Supporter, kan det fastslås at en eventuell DWP sjelden vil være i bruk. Derfor konkluderes det at DWP bør designes som én enhet som relativt hurtig kan monteres og demonteres. DeepOcean har erfaring med å feste diverse utstyr på ROV. Bl.a. er det populært å bruke farkostens akterende som et slags bagasjebrett. DeepOcean har en slik innretning - utviklet av mannskapet på Normand Flower.



Figur 8.12 Plassering av DWP på Supporter (S. Årland)

Figur 8.12 illustrerer mulig plassering, basert på bruk av "bagasjebrettet" fra Normand Flower (vedlegg 5). Utstyret blokkerer ikke for strømmingen fra de tre propellene på akterenden av ROV.

8.11.1 Relativ plassering

Med relativ plassering menes komponentenes plassering i forhold til hverandre. Mest kritisk er hvordan reservoar står i forhold til pumpen. I likhet med tverrsnittet av slangen mellom pumpe og reservoar, skal selve plasseringen sørge for å minimere trykkreduksjon på sugesiden av pumpen. Et for lavt trykk, som lett kan oppstå dersom reservoaret står betydelig lavere enn pumpen, kan føre til kavitasjon. Kavitasjon er et fenomen der det oppstår bobler i væsken fordi trykket kommer under damptrykket for den gjeldende temperaturen. Når boblene kollapser som følge av kompresjon inne i pumpen, frigis det store krefter som fører til erosjon.

I dette tilfellet passer det bra å plassere reservoaret rett overfor pumpen – det gir et smidig design. Det fører også til at sugeslangen blir meget kort, og dermed minskes faren for stor trykkreduksjon ytterligere.

8.12 Hydraulikkvæske

Det er i praksis ikke noe spørsmål om hvilken hydraulikkvæske som bør være standard på DWP, da omtrent alle verktøy i bransjen kjøres på Shell Tellus 22S. Dette er en mineralisk olje ment for oppstart/bruk ved lave temperaturer. Selvfølgelig er det denne oljen som brukes på Kystdesign Supporter.

Den valgte pumpen, Bosch Rexroth A10SVO18, har oppgitt 16-32 cSt som ideell driftviskositet, mens minimum og maksimum er henholdsvis 10 cSt og 1000 cSt.

Betegnelsen "22S" henviser til at kinematisk viskositet er 22 cSt ved 40°C. For undervannsoperasjoner i norske farvann er det vanlig med oppstartstemperatur 5-10°C og driftstemperatur på Supporter kan komme opp mot 40°C ved hard belastning. Tellus 22S har ikke høyere viskositet enn 180 cSt ved 0°C. (Se vedlegg 10)

De relativt gunstige omgivelsestemperaturene og lave variasjon i driftstemperatur (grunnet svært effektiv kjøling i sjøvann), gjør det mulig å finne alternative hydraulikkvæsker dersom dette er ønskelig.

I enkelte tilfeller kan motivasjonen for å benytte DWP være å kunne bruke en annen hydraulikkvæske i verktøyet enn den som brukes i ROV. Det er imidlertid verdt å tenke på at DeepOcean har operert ROV/verktøy i flere år – tilsynelatende uten at fraværet av DWP har vært et problem.

8.13 Kontrollerende beregninger

8.13.1 Volumstrøm fra pumpe

For å regne ut forventet volumstrøm fra DWP, tas det utgangspunkt i maksimal volumstrøm tilført motoren: 75 lpm.

$$\omega_M = \frac{Q_M \cdot \eta_{\text{volumetrisk}}}{V_M} \quad [1]$$

$$\omega_M = \frac{75 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{60} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 0,95}{25,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{2\pi} \text{ m}^3 / \text{rad}}$$

$$\omega_M = 291,5 \text{ rad} / \text{s}$$

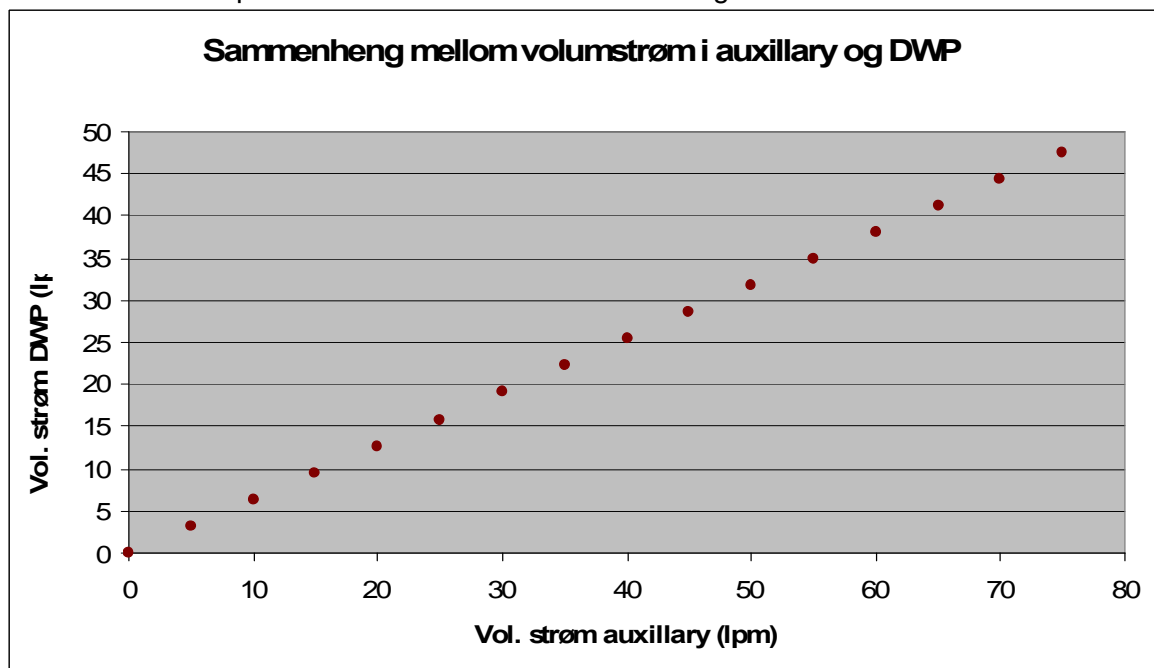
Motoren kan altså oppnå et turtall på ca. 2800 rpm, og gir følgende volumstrøm fra DWP-pumpen:

$$Q_p = V_p \cdot \omega_p \cdot \eta_{\text{volumetrisk}} \quad [1]$$

$$Q_p = 18 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{2\pi} \text{ m}^3 / \text{rad} \cdot 291,5 \text{ rad} / \text{s} \cdot 0,95$$

$$Q_p = 7,933 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

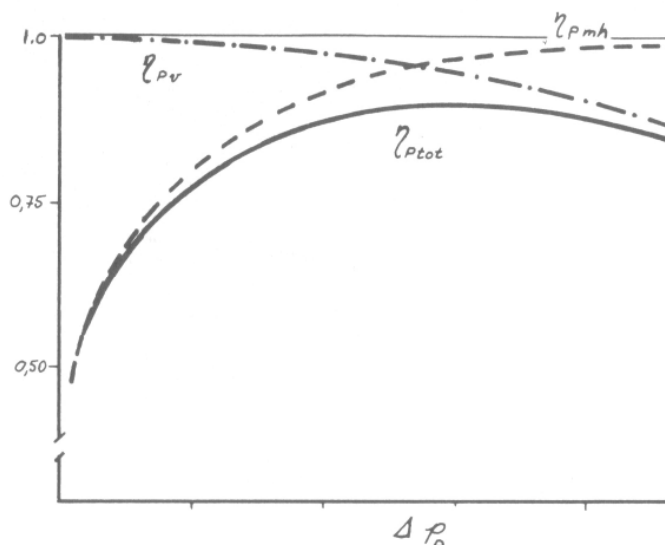
Dette tilsvarer 48 lpm – et resultat i tråd med forventningene.



Figur 8.13 Volumstrømsdiagram for DWP

Figur 8.13 antyder hvilke volumstrømmer som kan forventes fra DWP ut ifra tilførsel fra auxillary-kretsen. I virkeligheten vil ikke sammenhengen være perfekt lineær.

Figur 8.14 illustrerer at virkningsgraden varierer med belastningen av maskinen. Verdier for denne sammenhengen er ikke kjent for de valgte komponentene, derfor må målinger foretas av ferdig anlegg for å lage en fullgod kurve over volumstrøm fra auxillary og tilhørende volumstrøm fra DWP.



Figur 8.14 Differansetrykk vs. virkningsgrader (illustrasjon) [1]

8.13.2 Trykk fra auxillary

Den hydrauliske motoren i DWP har større fortrenningsvolum enn pumpen. Differansen i fortrenningsvolum er såpass stor at hydraulikkvæsken levert til motoren fra auxillary-kretsen vil ha lavere trykk enn det som oppnås fra DWP-pumpen. Det følgende er et overslag av nødvendig trykk tilført motoren (forutsatt full drift av DWP, slik tidligere beskrevet). Aktuelle formler [1]:

$$\eta_{Ptotal} = \frac{Q_P \cdot \Delta p_P}{P_P} \quad , \quad \eta_{Mtotal} = \frac{P_M}{Q_M \cdot \Delta p_M}$$

Der Q er volumstrøm, Δp er differansetrykk over maskinen og P er effekt. P_p er effekt tilført pumpens aksling, mens P_M er effekt avgitt motoren aksling. Størrelsene er like fordi akslingene er koplet sammen i DWP.

$$\rightarrow \Delta p_M = \frac{Q_P \cdot \Delta p_P}{Q_M \cdot \eta_{Ptotal} \cdot \eta_{Mtotal}}$$

Det antas at totalvirkningsgrad for motoren er 0,90. De øvrige størrelsene er fastsatt tidligere, og det tas fremdeles utgangspunkt i at DWP skal levere 205 bar.

$$\rightarrow \Delta p_M = \frac{48 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{60} m^3 / s \cdot 205 \cdot 10^5 Pa}{75 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{60} m^3 / s \cdot 0,89 \cdot 0,90} \quad \rightarrow \quad \Delta p_M = 164 bar$$

Motoren må få tilført hydraulikkvæske med 164 bar trykk for at DWP skal levere 205 bar. Dette gjør at auxillary-kretsen har god margin opp til sine standardinnstillinger for maksimalt trykk.

8.13.3 Dimensjonering av slanger og rør

Produsert kraft må overføres via de forskjellige komponentene, og til slutt til verktøyet som trenger den. Til dette brukes slanger eller rør. Hydraulikkør er en god løsning dersom det er snakk om en permanent installasjon, men fordi rørene krever skikkelig tilpassing og innfesting, foreslås det å bruke slanger på de lengste strekkene mellom DWP og hydraulikkutgangene på auxiliary. I første omgang er det også enklest å bruke slanger til å kople komponentene i DWP sammen, men det kan være aktuelt å tilpasse rør noen steder når sammenstillingen av DWP antas å være endelig.

Det kreves ca. 2,5 m slange mellom DWP-motoren og auxiliary-utgangene (forutsatt plassering av DWP slik tidligere beskrevet). Deretter må det dras slange mellom RCU og verktøyet som skal tilkoples i front. Det antas at det er ønskelig å benytte eksisterende slanger (med kjente lengder) på verktøyene.

Slangene sikres med sterke strips, som ikke strammes helt (pga fare for pulsering).

Koplingshull på pumpe, motor, kompensatorer og RCU er ferdig boret og oppgjenget. Det er likevel interessant å gjøre et overslag hva angår dimensjon av slanger og rør.

Dimensjoneringen tar utgangspunkt i strømningshastighet, og normene er [1]:

Sugeslange til pumpe:	0,5 – 1,2	m/s
Trykkslange:	4 – 5	m/s
Returslange:	< 3	m/s

Hydraulikkslangene på Supporter er levert av Maskinforretningen. De leverer ferdige sammenstillinger av slanger og koplinger, basert på komponenter fra flere underleverandører. Bruk i sjøvann stiller ikke spesiell krav til selve slangene, men koplingene er av rustfritt, syrefast stål (kvalitet 3-16).

Sugeslange

Pumpens sugeport er av størrelse SAE 1" – et faktum som ei kan forandres. Betegnelsen betyr at sugeslangens indre diameter er 1 tomme, og dersom hydraulikkvæskens viskositet er gunstig skal dette være tilstrekkelig dimensjon for de turtall pumpen kan kjøres på. Et overslag av strømningshastighet ved full utnyttelse av DWP:

$$v = \frac{Q_p}{A_{slange}}$$

Der v er strømningshastighet og A_{slange} er slangens tverrsnittsareal.

$$v_{sug} = \frac{48 \cdot 10^{-3} \frac{1}{60} m^3 / s}{\frac{\pi}{4} \cdot (25,4 \cdot 10^{-3})^2 m^2}$$

$$v_{sug} \approx 1,6 m / s$$

Tallet er noe i overkant av normen, men ikke faretruende i og med reservoarets gunstige plassering.

Trykkslange

Pumpens trykkport har dimensjon SAE ¾". Det gir følgende strømningshastighet i trykkslangen:

$$v_{\text{trykk}} = \frac{48 \cdot 10^{-3} \frac{1}{60} m^3 / s}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{3}{4} 25,4 \cdot 10^{-3}\right)^2 m^2}$$

$$v_{\text{trykk}} \approx 2,8 m / s$$

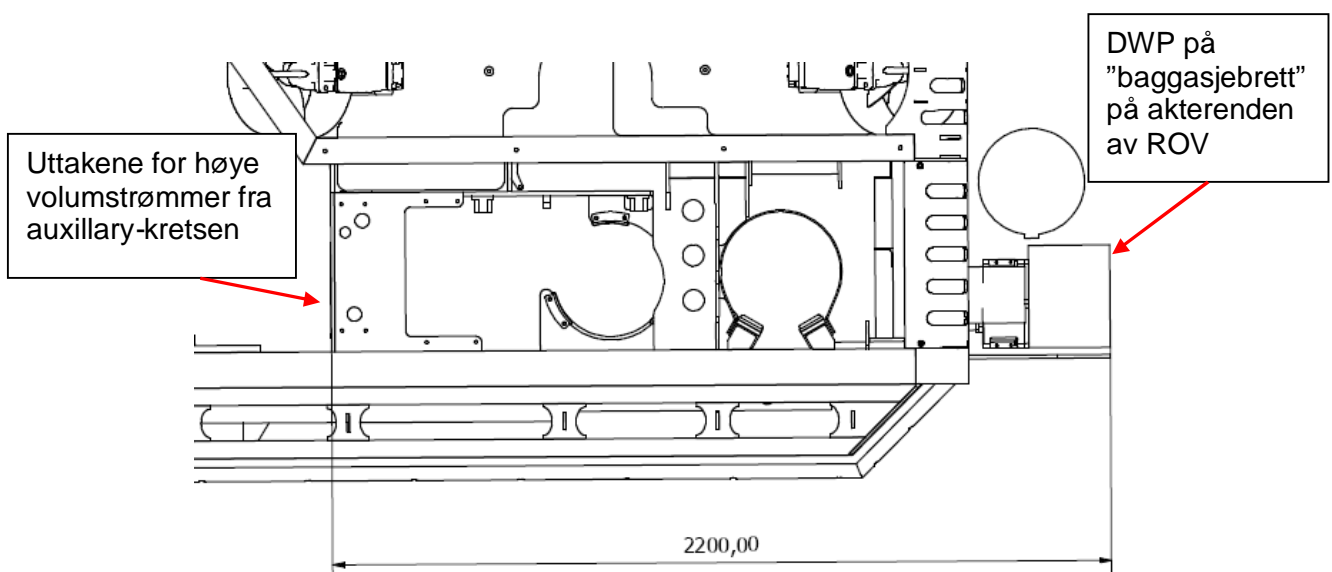
Strømningshastigheten i trykksiden av systemet er altså nokså lav. Derimot passer hastigheten perfekt med kravene til strømning på retursiden, og eksempelvis inngangsporten på valgte partikkelfilter har også dimensjon SAE ¾".

Fabrikantene har standardisert mange løsninger – i dette tilfellet dimensjonene på porter. Beregninger av typen som gjøres her, er med andre ord ikke nødvendige for å velge ut riktige komponenter.

8.13.4 Effekttap

Flere maskiner, koplinger og slanger vil ubønhørlig føre til større effekttap på ROV. Verken Maskinforretningen eller koplingsprodusenten har noen data på hvilke trykktap hver enkelt komponent fører til. Deres fokus er materialkvalitet og hvilket trykk komponenten utsettes for. Bosch Rexroth har heller ikke noen tall på pumpens energiforbruk ved tomgang, men effekttapet ved full drift vil stort sett være gitt av enhetens virkningsgrader.

Tapene er derimot enkle å teste ut i praksis, ved å måle differansen mellom effekten tilført fra auxillary og effekten levert til verktøyet.



Figur 8.15 Supporter: Avstand mellom DWP og auxillary-uttak (S. Årland)

Tapene er resultat av viskøse skjærkrefter (spesielt tydelig i lange slanger) og turbulenser (spesielt tydelig i koplinger, ventiler, osv). Selve hydraulikkslangene på Supporter er produsert av Hydroscand, som er en stor leverandør på det skandinaviske markedet. De bruker tabeller for å gjøre overslag på trykktap i slangene (data om overflateruhet er ikke tilgjengelig).

En strømning på 50 lpm gjennom en slange med indre diameter $\frac{3}{4}$ " , skal gi et trykktap på ca. 80 millibar pr meter (når hydraulikkvæskens kinematiske viskositet er 20 cSt). [23]

På bakgrunn av figur 8.15 anslås nødvendig slangelengde til å være 2,6 meter dersom det skal strekkes slange fra RCU til det området der auxillary-uttakene er (hvor verktøyene vanligvis koples på). Ifølge tabellen fra Hydroscand vil trykktapet gjennom selve **slangen** bli omtrent 0,2 bar. I tillegg kommer trykktap gjennom alle de andre komponentene i kretsen: ventiler, koplinger, filter, og gjennom slangene som tilhører selve det hydrauliske verktøyet som tilkoples.

8.14 Komponentliste

Totalpris for komponentene er ca NOK 345 000. I tillegg må det tas høyde for ytterligere utgifter til reservedeler og design av DWPs innfesting/struktur. Ekstra motor og pumpe bør til enhver tid være tilgjengelig, mens nødvendigheten av andre komponenter kommer an på det øvrige reservedelslageret på det aktuelle skipet (ekstra filter, kompensatorer og slanger vil sannsynligvis allerede være ombord) . Tilbakeslagsventil på trykksiden, og eventuelt andre små ventiler som trengs til koplingshus eller kompensatorer, er ikke tatt med i regnestykket fordi de er hyllevarer og valg av typer vil avhenge av mekanikernes erfaring og ønsker.

Komponentlisten viser at antatt vekt av komponentene i vann tilsvarer ca 70 kg. Supporter har opptil 200 kg ballast (i form av blylodd) i rammen. Når utstyr legges til ROV – enten det er i utstyrsskuffen i baugen, eller på "bagasjebrett" på akterenden – må blylodd fjernes for å justere totalvekt og balanse. Vekten av DWP vil være relativt mye å ha hengende på utsiden av Supporter, og det foreslås derfor at en DWP bør konstrueres med oppdriftselementer som kan redusere vekt i vann til f.eks. 40 kg. Dette vil gi et kompenserbart moment om farkostens gravitasjonssenter.

Komponentlisten viser også tydelig at pumper, motorer, filtre og andre hyllevarer er billige i innkjøp. Det er de spesiallagde komponentene – kompensatorer og ventilpakker – som er kostbare (mer om det i kapittel 9.5).

For ytterligere informasjon, se vedlegg 3: Komponentliste

9 Diskusjon

9.1 Oppetid

DeepOcean har i skrivende stund 8 ROV av typen Kystdesign Supporter. Leveringstidspunkt, fartøy og oppdrag kan kort listes opp som følger:

Dato	Ant. mottatt	Skip	Oppdragsgiver
Feb. 06	2	Normand Flower	TS Marine
Mars 06	1	Edda Fonn	StatoilHydro
Mars 07	1	Edda Freya	Misc
Okt. 07	2	Edda Fauna	StatoilHydro
Mai 08	2	Edda Flora	StatoilHydro

I tillegg eier DeepOcean flere ROV av typen Kystdesign Installer, samt ROV av andre fabrikater.

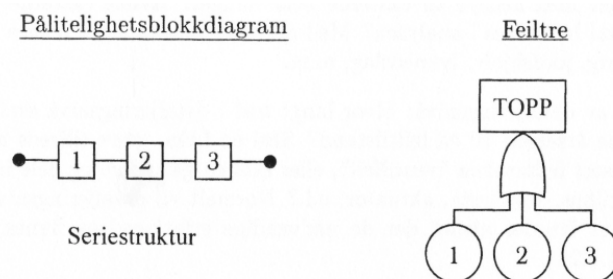
Både DeepOcean og StatoilHydro (i rolle som DeepOceans oppdragsgivere) har uttalt seg positivt om oppetiden for Supporter ROV. På nåværende tidspunkt er ikke disse ROVene et svakt ledd i DeepOcean sine operasjoner.

Enhver komponent har potensial for å svikte. ROVens totale pålitelighet er avhengig av et stort antall undersystemer og funksjoner, og det er ingen grunn til å påstå at hydraulikksvikt som følge av vanninntrenging utgjør en uforholdsmessig stor del av sviktilfellene.

En ROV-supervisor uttaler til og med at han ikke kan huske sist han måtte utføre reparasjon på sin Supporter. [23]

9.2 Pålitelighet

Det å kople en DWP til Supporters auxillary-krets, er å seriekople systemer og komponenter. Figur 9.1 illustrerer at systemets pålitelighet er produktet av påliteligheten av de seriekoplede komponentene. Systemets pålitelighet er følgelig lavere enn påliteligheten for hver enkelt komponent eller undersystem, og svikt i auxillary **eller** DWP fører til systemsvikt.



Figur 9.1 Systempålitelighet. Komponenter i seriestructur [3]

I det operasjonelle øyeblikk vil bruken av DWP føre til lavere driftssikkerhet. I tillegg til teoretisk lavere pålitelighet, er det velkjent at seriekopling av hydrauliske kretser kan være problematisk i praksis. Uønskede trykkpulser i en av kretsene kan forplantes inn i neste krets og bl.a. føre til reaksjoner fra trykkstyrte ventiler (herunder pumpens skråskive) med resultat at det oppnås en skadelig oscillerende virkning. Noen grep kan gjøres designmessig for å hindre dette, slik det er forsøkt i kapittel 8 ved å overdimensjonere den hydrauliske motoren. Til syvende og sist er dette noe som må sjekkes ved testkjøring av anlegget.

Generelle problemer med å forutsi påliteligheten eller ytelsen til et hydraulisk anlegg, tilsier at det bør satses på innkjøp av ferdig testede systemer dersom slikt er tilgjengelig.

9.3 Bruk av ukurant utstyr

DeepOcean er et firma som etter hvert har svært mye erfaring med å utføre undervannsoperasjoner, men der finnes fremdeles upløyd mark innen bruk av ROV. De kommende årene vil utviklingen fortsette - fordi alle involverte parter ønsker stadig bedre driftssikkerhet, brukervennlighet og kostnadseffektive løsninger.

En del av denne utviklingen vil være å fremstille stadig flere og bedre spesialverktøy. Økte kostnader til utstyr tjenes inn gjennom mer effektive operasjoner og økt oppetid.

Det bør kun brukes verktøy som er spesielt designet for å driftes i sjøvann og høye trykk. Dersom det er vanskelig å få tak i ønsket utstyr på utleiemarkedet, finnes der flere firmaer i Haugesundsområdet (Kystdesign, Imenco, osv) som i løpet av kort tid kan modifisere eksisterende verktøy eller også designe helt nye.

Dersom vanninntrenging likevel forekommer, bør hydraulikkoljen etterses umiddelbart og om nødvendig skiftes. Oljen i auxillary-kretsen koster ikke mer enn NOK 3-400, altså en beskjeden kostnad for en offshore-operasjon. Dersom service kan gjennomføres mens skipet er i transitt, vil det ikke ha noen innvirkning på DeepOceans effektivitet.

Det bør til enhver tid benyttes **hot stab** som har montert nødvendige ventiler for å minimere vanninntrenging.

9.4 Design og innkjøp av DWP

Dersom rammene fra oppdragsgiver gjør det nødvendig å bruke verktøy med feil og mangler, bør oppdragsgiver inviteres til dialog om de ekstra kostnadene dette medfører for DeepOcean – herunder utvikling av DWP.

Oceaneerings RCU utgjør ca. 70 % av prisen av komponentene. DeepOcean disponerer allerede minst én RCU av denne typen gjennom kontrakten med StatoilHydro. Det økonomiske regnestykket vil bli helt annerledes dersom denne ventilpakken kan benyttes til den DWP som her diskuteres.

Dersom DeepOcean velger å utvikle en DWP, vil det sannsynligvis være snakk om mer enn 1 stk. Det er fordelaktig om kostnadene til design kan deles på flere enheter.

9.5 Økonomi

Med utgangspunkt i at DeepOcean selv skal dekke en delekostnad i rundt NOK 345 000, ikke innregnet kostnader til nødvendig delelager, innfesting på ROV, vedlikehold eller kostnader knyttet til testing og opplæring, utgjør DWP en relativt stor investering. For å kunne forsvare investeringen, bør den føre til betydelige besparelser.

Pumpen er den av komponentene i auxillary-kretsen som er mest utsatt for havari som følge av forurensing av hydraulikkvæsken. (Ekstra pumpe er standard i lagerne av reservedeler på skipene som DeepOcean har utstyrt med Supporter ROV). Likevel er det svært sjelden at pumpehavari forekommer. Pumpene er hyllevare, og det kan derfor byttes mange pumper før summen blir like stor som innkjøpskostnadene til en DWP.

Kystdesign selger aux-pumpene for ca NOK 11 000.

Komponentene i en DWP er tilsvarende som for auxillary-kretsen, og av dette følger at sjansen for svikt også (i best fall) er tilsvarende. Angående kostnader til vedlikehold er det dermed ikke betydelige forskjeller mellom de to systemene.

Det stilles spørsmålsteget ved om DWP fører til noen besparelser for DeepOcean. Tvert imot er det sannsynlig at større pålitelighetsgevinst oppnås ved å bruke midler på utvikling av bedre verktøy i de tilfeller det ikke finnes egnet utstyr å få tak i på utleiemarkedet, samt å satse mer på vedlikehold av ROV.

DWP har ikke vært brukt på Supporter til dags dato. Denne studien har ikke avdekket noe konkret behov for produktet, og det er derfor ikke mulig å tallfeste bruksraten eller potensialet for reduserte total kostnader av operasjonene. Uten et konkret inntekspotensial, faller grunnlaget for ytterligere økonomiske beregninger bort på nåværende tidspunkt.

10 Konklusjon

DeepOcean har gode erfaringer med ROV av typen Kystdesign Supporter, som de har brukt siden første kvartal 2006. Det har ikke vært noen alvorlige problemer knyttet til forurensing av hydraulikkoljen, til tross for at det ikke har vært brukt DWP for å skåne disse ROVene.

Supporter har to hydraulikk-kretser, der den såkalte auxillary-kretsen er reservert for kjøring av eksternt utstyr og drift av den robuste 5F-manipulatoren. Kretsen har utstyr for å fjerne moderate mengder sjøvann fra hydraulikkvæsken. DWP er mer aktuelt for ROVer som kun har én hydraulisk krets.

I fremtiden vil det formodentlig bli enda mindre aktuelt å benytte DWP på Kystdesign Supporter, fordi den naturlige utviklingen er å produsere stadig bedre hydrauliske verktøy for bruk under vann.

Dersom påliteligheten til DeepOceans Supporter ROVer blir lavere ettersom hver ROV blir eldre, bør det legges ekstra vekt på vedlikehold i stedet for å montere mer utstyr på hver ROV.

Undersøkelsene i forbindelse med denne rapporten, har ikke avdekket noe behov for DWP til bruk på DeepOcean sine ROV av typen Kystdesign Supporter.

11 Referanser

- [1] Knut Brautaset, Innføring i oljehydraulikk, 1. utgave opplag 2004, Gyldendal Norsk Forlag AS, 1987
- [2] Steinar Haugnes, Oljehydraulikk proporsjonal- og reguleringsteknikk, 1. utgave 1. opplag, Yrkesopplæringen ans, 1994
- [3] Terje Aven, Pålitelighets- og risikoanalyse, 3. utgave 2005, Universitetsforlaget, 1994
- [4] Kystdesign Supporter manual
- [5] Ifokus (22.4.2008):
http://www.ifokus.no/index.cfm?tmpl=butikk&a=product_inline&b_id=89631&b_kid=94175
internett
- [6] Innova Quattro datablad (22.4.2008):
http://www.innova.no/site/maler/x/?case_vis=artikkel&HmenyID=2&artikkelid=11
- [7] Innova Cute PWM 16 datablad (22.4.2008):
http://www.innova.no/site/maler/x/?case_vis=artikkel&HmenyID=2&artikkelid=11
- [8] Parker 15/40/80CN manual (fra Kurt Wiig, april 2008)
- [9] Cardev SDU H350 Subsea manual (fra Kurt Wiig, mars 2008)
- [10] FMC Kongsberg Subsea, Heidrun Nordflanken Personal Handbook, 2007
- [11] DeepOcean
- [12] Bennex Aberdeen, DWP standard datablad (fra Bennex Abeerden, februar 2008)
- [13] Bennex Aberdeen, DWP PIS datablad (fra Bennex Abeerden, februar 2008)
- [14] Sub-Atlantic (22.4.2008): http://www.sub-atlantic.co.uk/Dirty_Oil_Pack_-_IHPU.html
- [15] Innova Powermaster datablad (22.4.2008):
http://www.innova.no/site/maler/x/?case_vis=artikkel&HmenyID=2&artikkelid=11
- [16] Perry Slingsby 5 kW Power Pack datablad(22.4.08):
<http://www.perryslingsbysystems.com/index.cgi/931>
- [17] SMD Curvetech Power Pack datablad (22.4.2008):
<http://www.smd.co.uk/products/powerpacks.php> (vedlegg 17)
- [18] Bosch Rexroth A10VSO18 manual (22.4.2008): <http://www.boschrexroth.com/Rexroth-IHD/?Page=RDSearch&Filter=re92712>
- [19] Parker Catalogue HY30-8200/UK April 2007 (22.4.2008):
- [20] Lovejoy Specialty Couplings katalog (fra NHS Transmisjoner AS, mars 2008)
- [21] Kystdesign Supporter brosjyre (april 2008)
- [22] Hydroscand prisbok 2006, teknisk informasjon, kap 10 s. 374:
<http://www.hydroscand.no/norway/catalogue/catalogues.htm>
- [23] Oceaneering RCU datablad (25.04.2008):
<http://www.oceaneering.com/locations/stavanger/hpu.html>
- [24] Oceaneering Torque Tool datablad (25.04.2008):
http://www.oceaneering.com/locations/stavanger/images/FLYERS_PDF/TorqueTool.pdf

12 Vedlegg

1. Hydraulikkskjema
2. Verktøysliste
3. Komponentliste
4. Koplingshus (teknisk tegning)
5. Normand Flower bagasjebrett (teknisk tegning)
6. Kystdesign Supporter Auxillary hydraulikkskjema
7. Oceaneering RCU hydraulikkskjema
8. Tilbud på DWP fra Kurt Wiig
9. Bennex DWP datablad
10. Shell Tellus data