

Johanns Lia

Fleksibel integrering av ROV til vannveier i vassdragsanlegg

En konseptutviklingsoppgave skrevet for Hafslund Eco

Bacheloroppgave i Industriell Design

Veileder: Per Harald Ninive

Mai 2021



Kammer og ROV-system

Johanns Lia

Fleksibel integrering av ROV til vannveier i vassdragsanlegg

En konseptutviklingsoppgave skrevet for Hafslund Eco

Bacheloroppgave i Industriell Design
Veileder: Per Harald Ninive
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Selv om vannkraft står sterkt i Norge er det kontinuerlig et press for å forbedre økonomiske marginer i bransjen. En måte å oppnå forbedrede marginer på er ved reduksjon av nedetiden på produksjonen.

I forbindelse med blant annet myndighetsgitte inspeksjonskrav for vassdragsanlegg, oppstår tradisjonelt sett et behov for nedtapping av vannfylte tunneler og andre vannveier. I praksis betyr dette produksjonsstans for kraftstasjonen.

For å redusere nedetiden blir det i dag brukt ROV (undervannsdrone) for å gjøre endel av de samme inspeksjonene uten nedtapping. ROV må da entre vannveiene via åpne vannspeil, som oftest ved damkonstruksjonen. Avstanden herfra til inspeksjonsstedet kan bli for lang, eller det kan være andre grunner til at en igjen må ty til tradisjonell manuell inspeksjon med nedtapping.

I oppgaven arbeides det frem en alternativ måte å gjøre tilkobling av ROV rett inn i vannveiene. Dette er en ny innovativ måte å bruke ROV på, som gir kort avstand til inspeksjonsstedet uten tapt produksjonstid ved nedtapping.

Det ble i idémyldringsprosessen til oppgaven brukt TRIZ-verktøyet Ideal Outcome i kombinasjon med brainstorming. TRIZ oppmuntrer til å søke erfaringer hos andre bransjer og faggrupper når et problem skal løses. Det ble derfor mye ringing og søking på nett. Flere alternativer ble vurdert før den beste ble funnet, beregnet, bygget og testet i felt.

Etter felttesten ble det slått fast at prototypen fungerer og virker lovende for videre forskning og utvikling.

Abstract

Although hydropower is strong in Norway, there is continuous pressure to improve economic margins in the industry. One way to achieve improved margins is by reducing downtime in production.

In connection with, among other things, government inspection requirements for watercourse facilities, there is traditionally a need for drainage of water-filled tunnels and other waterways. In practice, this means a production shutdown for the power station.

To reduce downtime, ROV (underwater drone) is currently used to perform some of the same inspections without draining. ROV must then enter the waterways via open water, most often at the dam construction. The distance from dam to the inspection site may be too long, or there may be other reasons why one must again resort to traditional manual inspection with draining.

In the thesis, an alternative way is developed to connect ROV directly into the waterways. This is a new innovative way of using ROV, which provides a short distance to the inspection site without losing production time when draining.

The TRIZ tool Ideal Outcome was used in combination with brainstorming in the process to find the best solution in this thesis. TRIZ encourages people to seek experience from other industries and professional groups when solving a problem. There was therefore a lot of calling and searching online. Several alternatives were considered before the best was found, calculated, built and tested in the field.

After the field test, it was established that the prototype works and looks promising for further research and development.

Forord

Denne oppgaven er resultatet av mitt siste semester med deltidsbachelor i Industriell Design ved Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) på Gjøvik. Arbeidet har blitt gjort under fakultetet for Ingeniørvitenskap, Institutt for Vareproduksjon og Byggeteknikk og under veiledning fra Per Harald Ninive.

Reisen har vært spennende og jeg har fått lære mye nytt om en, etter min oppfatning, fremoverlent bransje. Muligheten til å trekke inn 10 års arbeidserfaring med ROV, kunnskaper fra studiet og nyervervet kunnskap fra vannkraftbransjen, har vært særlig kjekt.

Det innovative aspektet ved bacheloroppgaven har blitt en større og større motivasjonsfaktor ettersom arbeidet har gått fremover. I oppgaven er det dette jeg er mest stolt av - at jeg har vært med på å bidra med noe nytt.

En spesiell takk rettes til Hafslund Eco og Vidar Haugeplass (leder maskin – forretningsområde teknisk) som fant dette problemet ved hjelp av Ådne Einemo (maskiningeniør, Aurland). Sistnevnte og Oddmund Brevik (vassdragteknisk ansvarlig, Hallingdal) har også vært til stor hjelp som sparringspartnere og givere av bakgrunnsinformasjon til oppgaven.

Johannes Lia

Oslo, mai 2021

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG	ii
ABSTRACT	iv
FORORD	vi
INNHOLDSFORTEGNELSE	viii
FIGUROVERSIKT	xiii
TABELLOVERSIKT	xv
FORKLARINGER	xvi
FORKORTELSER:	xvi
UTTRYKK:	xvii
SYMBOLER:	xviii
1 INNLEDNING	1
1.1 OM HAFSLUND ECO	1
1.2 VASSDRAGSANLEGG	2
1.2.1 Definisjoner:	2
1.2.2 Kort innføring	2
1.3 ROV.....	4
1.3.1 Kort innføring	4
1.3.2 AUV, ROV uten tether	6
1.3.3 Dagens bruk i vassdragsanlegg	6
1.4 PROBLEMDEFINERING	8
1.4.1 Definisjoner	8
1.4.2 Overordnet problembeskrivelse	9
1.4.3 Mulig løsning som likevel bruker ROV	10
1.4.4 Den konkrete case	10
1.4.5 Problemstilling.....	13
1.5 RAMMER	13
1.5.1 Definisjoner	13
1.5.2 Begrensninger og betingelser.....	14
1.6 DELMÅL	16
1.7 OPPGAVENS STRUKTUR	16
2 TEORI	17
2.1 UTARBEIDING AV EN IDÉ	17

2.1.1	Problemløsning med TRIZ	17
2.1.2	Idéskaping med Brainstorming	19
2.1.3	Rangering av flere prosjektidéer	20
2.1.4	Design FMEA	20
2.2	BEREGNINGSTEORI	22
2.2.1	Von Mises Spenning	22
2.2.2	Factor Of Safety	23
2.2.3	Bruddgrensetilstand	23
2.2.4	Spenningsberegninger i SolidWorks	24
2.3	KORROSJON	25
2.3.1	Allmenn korrosjon	25
2.3.2	Galvanisk korrosjon	25
2.3.3	Beskyttelse mot korrosjon	26
3	METODE	27
3.1	ARBEIDETS HOVEDFASER	27
3.1.1	Forarbeidsfase	27
3.1.2	Konseptfasen	28
3.1.3	Beregningsfasen	31
3.1.4	Testfasen	32
3.1.5	Konklusjonsfasen	32
3.2	ETIKK	33
3.3	SOFTWARE SOM ER BRUKT I OPPGAVEN	33
3.3.1	SolidWorks	33
3.3.2	Andre programmer	33
4	RESULTAT	35
4.1	ROV-SYSTEM	35
4.1.1	Valg av aktuelle ROV-systemer	35
4.1.2	Valget av ROV-system	36
4.1.3	ROV-systemet Gladius mini V4, fra Chasing	37
4.2	VALGET AV TOTALSYSTEM	39
4.2.1	Felles for totalsystemalternativene	39
4.2.2	Totalsystem #1	41
4.2.3	Totalsystem #2/#3	43
4.2.4	Totalsystem #11/#12	45
4.2.5	Score de tre valgte totalsystemene	47
4.2.6	Valget av totalsystem, med begrunnelse	48
4.3	ENDELIG DESIGN, TOTALSYSTEM #3	49
4.3.1	Design FMEA	49

4.3.2	Beskrivelse av endelig design	50
4.3.3	Innkjøpte komponenter	51
4.3.4	Kostnadsoversikt	55
4.3.5	Sammenstillings beskrivelse	56
4.4	FELTTEST	59
4.4.1	Testlokasjonen	59
4.4.2	Risikovurdering	60
4.4.3	Arbeidsplan	61
4.4.4	Gjennomføring	62
5	DRØFTING	66
5.1	ANALYSE	66
5.1.1	Endelig design på totalsystemet	66
5.1.2	Felttesten	67
5.1.3	Løsning målt mot miljø	68
5.1.4	Gjennomføringen totalt	69
5.2	VIDERE ARBEID	70
5.3	KONKLUSJON	71
	LITTERATURLISTE	74
	VEDLEGG A: BEREGNINGER	I
A.1	LENGDEN PÅ FLENSERØR	I
A.2	BOLTER I FLENSER	I
A.2.1	Antagelser	II
A.2.2	Overskuddskraften	II
A.2.3	Annet arealmoment	IV
A.2.4	Resultat	V
A.3	AKSLINGEN	VII
A.3.1	Maksimalt moment	VII
A.3.2	Referansespenning	VII
A.3.3	Beregninger i SW, valg av hullprofil	VIII
A.3.4	Beregninger i SW, resultat av endelig hullprofil	X
A.4	MINSTE MOMENT TETHER TÅLER	XI
	VEDLEGG B: BEARBEIDING	XII
B.1	ENDEVEGG/BLINDFLENS	XII
B.2	AKSLING PÅ SPJELDVENTIL	XIII
	VEDLEGG C: ROV LAUNCH OG RECOVERY	XV
C.1	FREMANGSMETODE FOR LAUNCH AV ROV	XV
C.2	FREMANGSMETODE FOR RECOVERY AV ROV	XVI

VEDLEGG D: DOKUMENTER FRA HAFSLUND ECO	XVII
D.1 TAUSHETSERKLÆRING	XVIII
D.2 TEGNING TVERRSLAGSPROPP (IKKE I MÅLESTOKK PÅ A4 FORMAT).....	XXI
D.3 TEGNING TØMMERØR (IKKE I MÅLESTOKK PÅ A4 FORMAT)	XXII
D.4 SJA FOR FELTTEST	XXIII
VEDLEGG E: DOKUMENTASJON PÅ ARBEID.....	XXV
E.1 GANTT-SKJEMA.....	XXVI
E.2 ROV-SYSTEMER.....	XXVII
E.3 TANKEKART PÅ BENEFITS	XXVIII
E.4 BRAINSTORMING	XXIX
E.5 TOTALSYSTEMER	XXX
E.6 TOTALSYSTEM EVALUERING	XXXI
VEDLEGG F: DOKUMENTASJON FRA AVK.....	XXXII
F.1 DATAARK SLUSEVENTIL DN300 PN25 (AVK, U.Å.-A).....	XXXIII
F.2 DATAARK SPJELDVENTIL DN300 PN16 (AVK, U.Å.-B)	XXXV
F.3 TILTREKKINGSMOMENT PÅ FLENSBOLTER.....	XXXVII
VEDLEGG G: STØTTETEGNINGER.....	XXXIX
G.1 ARBEIDSTEGNING PÅ MODIFISERING AV BLINDFLENS	XL
G.2 ARBEIDSTEGNING PÅ MODIFISERING AV AKSLING	XLI
G.3 MÅL PÅ 4 TOMMERS DOM FRA 3D MODELL (BLUEROBOTICS, U.Å.-A)	XLII

Figuroversikt

Figur 1.1: Vassdragsanlegg med kraftstasjon sett ovenfra	2
Figur 1.2: Vasskraftanlegg med kraftstasjon sett i profil.....	3
Figur 1.3: Ulike undervannsfarkoster (Christ and Wernli, 2007, s. 2)	4
Figur 1.4: Komponenter på en ROV (Christ and Wernli, 2007, s. 46).....	5
Figur 1.5: OCROV-system komponenter (Christ and Wernli, 2007, s. 2)	6
Figur 1.6: Sperre 10K (venstre) (Norconsult, u.å.-c). VideoRay Pro 4 med kontrollboks (høyre) (Norconsult, u.å.-a)	7
Figur 1.7: Sluseventil i tømmerør (venstre). Tverrslagspropp med port (høyre). Foto: Ådne Einemo.....	11
Figur 1.8: Tømmerør med mål i millimeter	12
Figur 1.9: Historisk vannstand.....	12
Figur 1.10: Tetthet for vann ved temperaturendring (Varsom, u.å.).....	15
Figur 2.1: Prizm of TRIZ (Haines-Gadd, 2016, s. 56).....	18
Figur 2.2: Ideality i TRIZ (Haines-Gadd, 2016, s. 134 og 245)	18
Figur 2.3: Dekomponerte krefter (Kurowski, 2019, s. 23)	22
Figur 4.1: Ytre dimensjoner på ROV.....	35
Figur 4.2: Gladius mini V4, det du får ved kjøp (Elefun, u.å., Chasing, u.å.-a).....	38
Figur 4.3: Mål på tether (venstre). Mål på ledere i tether (høyre). Foto: Elefun verkstedarbeider.....	38
Figur 4.4: Kammer som kobles til sluseventilen	40
Figur 4.5: Totalsystem #1	42
Figur 4.6: Totalsystem #2/#3	44
Figur 4.7: Totalsystem #11/#12	46
Figur 4.8: Sammenstillingstegning	50
Figur 4.9: 4 tommers dom (Bluerobotics, u.å.-a).....	52

Figur 4.10: Cable Gland (RS, 2020)	53
Figur 4.11: Lightstick (Cyalume, u.å.)	53
Figur 4.12: Fluid Film fett, konsistens liquid AR (OJTorheim, u.å.)	54
Figur 4.13: Kammer i moduler og klart for transport	56
Figur 4.14: Sammenstilling av dom og blindflens	56
Figur 4.15: Installasjon av kraner	57
Figur 4.16: Installasjon av Cable Gland	57
Figur 4.17: Kabelskjøt	58
Figur 4.18: Stripsing av tether	58
Figur 4.19: Plassering av rist nummer 2	60
Figur 4.20: Sammenstilling av totalsystem	62
Figur 4.21: Sikring av kammeret på lastebil	63
Figur 4.22: Løfte av kammer fra lastebil på testlokasjon	63
Figur 4.23: Montering av kammeret til sluseventil	64
Figur 4.24: Bilde gjennom dom til vannfylt kammer (venstre). Lightstick som sitter fast i lukket sluseventil (høyre)	64
Figur 4.25: Controller viser bilde fra ROV når sluseventilen er i ferd med å åpnes	65
Figur A.1: Forenklet hullbilde på PN16-flens (venstre). Kontaktpunkter i tverrsnitt (høyre).IV	
Figur A.2: SW rammebetingelser for test	IX
Figur A.3: Polt av spenninger på aksling	X
Figur B.1: Blindflens etter dreining	XIII
Figur B.2: Avrundet utgangshull midt på akslingen	XIV
Figur B.3: Overgang fra M12 til M12x1,5	XIV

Tabelloversikt

Tabell 1.1: Karakteristikker ved ROV-klasser (Christ and Wernli, 2014, s. 8).....	5
Tabell 2.1: Rangeringstabell eksempel (Westerhagen, 2018, s. 50).....	20
Tabell 2.2: Design FMEA.....	21
Tabell 2.3: Risikonivå.....	21
Tabell 2.4: Spenningsrekke (Johansen, 2012a).....	26
Tabell 4.1: Sammenligning av tre ROV-systemer.....	37
Tabell 4.2: Rangering av totalsystemene.....	47
Tabell 4.3: Design FMEA.....	50
Tabell 4.4: Kostnadsoversikt.....	55
Tabell A.1: Samlet moment på PN16-flens.....	VI
Tabell A.2: Test resultater fra SW.....	IX

Forklaringer

Forkortelser:

AUV -	Autonomous Underwater Vehicle.
AVK -	Astronomische Vereinigung Kärntens, Tysk bedrift.
CAD-program -	Computer-Aided Design program.
DN -	Diameter Nominal.
Eco -	Valgt navn på Oslo Energi Holding, som ikke har noen spesiell betydning utover at det kan assosieres med fornybar energi.
FEA -	Finite Element Analysis. En metode for databeregninger.
FMEA -	Failure Mode and Effects Analysis.
FOS -	Factor Of Safety.
FoU -	Forskning og Utvikling.
HRV -	Høyeste regulerte vannstand.
IMRoD -	Introduksjon, Materiale/Metode, Resultat og Diskusjon.
LFAV -	Leder for arbeid vannvei.
LFSV -	Leder for sikkerhet vannvei.
LRV -	Laveste regulerte vannstand.
MSROV -	Mid-Sized ROV.
mVS -	Meter vannsøyle. Vannsøyle er trykket som oppstår under en gitt meter med vann, med standard-dag barometrisk trykk på toppen.
NTNU -	Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet.
NVE -	Norges Vassdrag- og Energidirektorat.
OCROV -	Observation Class ROV.
PN -	Pressure Nominale.

POM -	Polyoxymetylen. Plastmaterialet brukt til maskinerte komponenter (Vink, u.å.).
ROV -	Remote-Operated Vehicle.
SW -	Programvaren SolidWorks. Et 3D-modelleringsprogram.
SJA -	Sikker Jobb Analyse.
Totalsystem -	Praktiske løsninger som til sammen utgjør en mulig helhetlig løsning på problemstillingen.
TMS -	Tether Management System. Systemet som organiserer tether til ROV-en.
TRIZ -	Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch, russisk for teori om oppfinnsom problemløsning.
UAV -	Unmanned Aerial Vehicle.
VR-briller-	Virtual Reality briller. Bildet fra ROV kommer i brillene.
WCROV -	Work Class ROV.

Uttrykk:

Bulkhead Connector -	En kabelgjennomføring i form av en kobling i selve gjennomføringen.
Cable Gland -	En måte å tette rundt en kabel i en gjennomføring.
Duktilt -	Et materiales evne til å deformeres uten at det oppstår brudd (Lohne, 2020).
Heng -	Taket i en tunnel.
Launch -	Sette ut ROV i vannet.
Mobilisert -	Arbeid som skal til for å gjøre utstyret klart til bruk.
Nedetid -	Tid det ikke produseres noe elektrisk energi i kraftstasjonen.
Oppetid -	Tid det produseres elektrisk energi i kraftstasjonen.
Pitchlås -	Pitch er rotasjon om horisontalaksen til ROV-en som gir kamera opp eller ned funksjon. Pitchlås er egenskapen å beholde en gitt pitchvinkel over tid.
Recovery -	Ta ROV ut av vannet.

Såle -	Gulvet i en tunnel.
Tether -	Signalkabelen for ROV-systemet.
Vannveier -	Det som leder vannet fra magasin til kraftstasjon (Vogt-Svendsen, 1998, s. 204).
Ventil -	En sirkulær åpne- og lukkemekanisme for vann i rør (Vogt-Svendsen, 1998, s. 129).

Symboler:

A -	Areal.
a -	Arm.
B -	Bøying.
d -	Diameter.
F -	Kraft.
g -	Gravitasjon.
h -	Høyde.
I -	Annet arealmoment.
I_p -	Polart annet arealmoment.
M -	Bøyemoment.
p -	Trykk.
r_0 -	Avstand fra omdreiningssakse.
T -	Torsjons-/vridningsmoment.
v -	Hastighet.
ρ -	Massetetthet.
σ -	Spenning.
σ_F -	Dimensjonerende flytespenning.
σ_{flyt} -	Flytespenning.
σ_{vm} -	Von Mises Spenning.

τ -	Skjærspenning.
γ_f -	Lastfaktor.
γ_M -	Materialfaktor.
\varnothing -	Tegn for diameter.

1 Innledning

Om oljen er Norges sorte gull, så kan vannkraften sies å være vårt blå gull. Selv om 88% av all kraftproduksjon i Norge i dag kommer fra vannkraftverk (EnergifaktaNorge, 2021), som også omtales som vår mest lønnsomme fornybare ressurs (SSB, 2016), kan produksjonen stadig forbedres og kostnader kuttes. Denne oppgaven skal se på muligheten for eiere av vannkraftverk til selv å gjøre enkle inspeksjoner i vassdragsanlegg, dette ved en ny måte å bruke ROV (en undervannsdroner) på.

Oppgaven skrives om, og er betalt av, Hafslund Eco med veiledning fra Ådne Einemo (maskiningeniør, Aurland) og Oddmund Brevik (vassdragteknisk ansvarlig, Hallingdal). Innledningen starter derfor med en kort introduksjon av selskapet (kapittel 1.1) før bakgrunnsinformasjon om vassdrag (kapittel 1.2) og ROV blir presentert (kapittel 1.3). Etter dette kommer problemdefinerings (kapittel 1.4), rammer for oppgaven (kapittel 1.5), delmål (kapittel 1.6) og til slutt oppgavens struktur i kapittel 1.7.

1.1 Om Hafslund Eco

Konsernet Hafslund Eco er eier av 57,2 prosent av Hafslund Eco Vannkraft som er de tidligere virksomhetene til ECO energi og Eidsiva Vannkraft. Vannkraftverkene er lokalisert i Innlandet, Viken og Vestland med en samlet produksjon på over 21 TWh. (Eco, u.å.-a, avsnitt 5)

Det etablerte samfunnsoppdraget til Hafslund Eco er: *«Skape langsiktige verdier gjennom fornybar energi, sikker kraftforsyning og utvikling av et smart og fullelektrifisert nullutslippssamfunn»*. Som en følge av dette vil det i konsernet utelukkende bli satset på fornybar energi fremfor fossilt. Det blir også presisert på deres nettsider at oppdraget *«innebærer en forpliktelse til høy tilgjengelighet og oppetid innen kraftproduksjonen»*. (Eco, u.å.-b, første og siste avsnitt)

Videre i oppgaven vil Hafslund Eco bli brukt som navn på Hafslund Eco Vannkraft.

1.2 Vassdragsanlegg

1.2.1 Definisjoner:

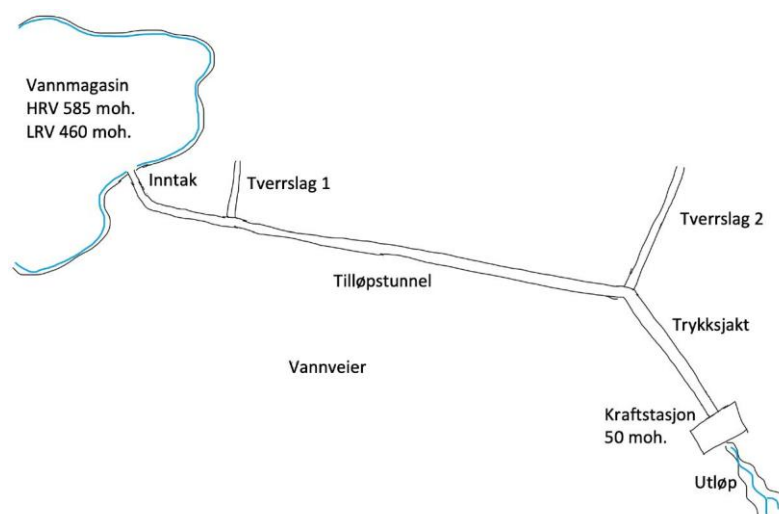
Dam - *«En dam er et byggverk som demmer opp vann i en innsjø eller elv. Dammens eksistens fører til at vann kan lagres i magasin.»* Norges Vassdrag- og Energidirektorat (NVE) (NVE, 2015).

Vannvei - *«Flomløp, kanal og sluseanlegg med tilhørende konstruksjoner samt tunnel, sjakt, rør, ledning og øvrige systemer med tilhørende konstruksjoner som leder vann i tilknytning til kraftproduksjon»* Damsikkerhetsforskriften (energidepartementet, 2009, § 1-3)

Vassdragsanlegg - *«Dammer og vannveier med tilhørende konstruksjoner»* Damsikkerhetsforskriften (energidepartementet, 2009, § 1-3)

1.2.2 Kort innføring

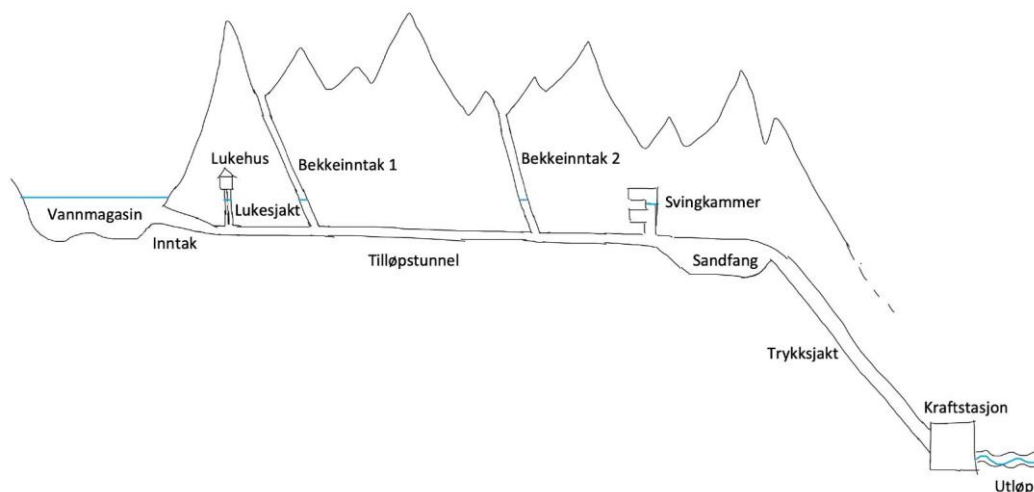
Et vassdragsanlegg legger til rette for utnytting av potensiell energi i vann. Vannet er oppdemmet i vannmagasin og brukes til produksjon av elektrisk energi i kraftstasjon. For å få til den nødvendige logistikken er det laget vannveier som leder vannet fra magasin og bekker ned til stasjonen. Figur 1.1 og figur 1.2 (neste side) viser det samme tenkte vassdragsanlegget



Figur 1.1: Vassdragsanlegg med kraftstasjon sett ovenfra

med kraftstasjon, sett fra oven og i profil. (Eie, 2000, s. 53-74, Vogt-Svendsen, 1998, s. 7, 21-24)

I lukehuset på figur 1.2 kan en via lukesjakten stenge av vanntilførselen fra magasinet. Den samme figuren viser et svingkammer som skal ta av for, og virke dempende på, svingninger. Svingninger oppstår etter gjenåpning i lukehuset eller raske endringer i den elektriske produksjonen. En trykkbølge vil gå frem og tilbake i vann som er i vannveiene, helt ned til kraftstasjonen, dersom ikke vannivået kan skulpe litt i svingkammeret. Denne «bølgen» ville vært uheldig for komponenter i kraftstasjonen og vannveiene generelt. (Eie, 2000, s. 70-72, Vogt-Svendsen, 1998, s. 37-40)



Figur 1.2: Vasskraftanlegg med kraftstasjon sett i profil

Sandfang er en utvidelse av vannveien hvor vannet får mindre hastighet, som beskrevet ved kontinuitetsligningen [1.1] (Haugan, 2017, s. 109), og vil da avgi sedimenter. I ligningen er p trykk, v hastighet og A areal. Avgivelsen er nødvendig så ikke kraftstasjonen får unødvendig slitasje. (Eie, 2000, s. 69, Vogt-Svendsen, 1998, s. 35)

$$p_1 v_1 A_1 = p_2 v_2 A_2 \quad [1.1]$$

På figur 1.1 vises tverrslag 1 og tverrslag 2. Vi kan se for oss at tverrslag 1 er en tunnel som ble brukt for å hente ut masser fra vannveiene under konstruksjonen av disse. Da ville en kunne jobbe uten å få vann fra magasinet inn i tunnelene. Tverrslag 2 kan vi tenke oss hadde en lignende funksjon under utgraving, men i tillegg skal den gi adkomst til sandfang (figur 1.2) etter driftstart. Denne adkomsten skjer gjennom en metallport installert i en betongvegg som

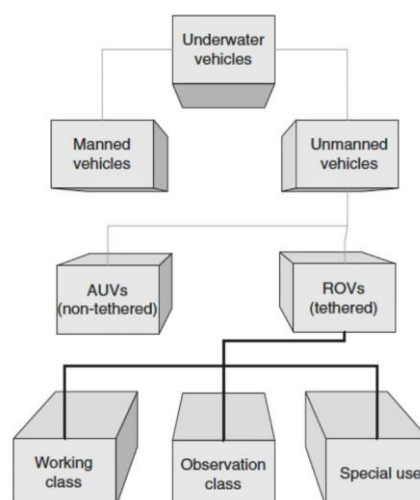
til sammen går under navnet tverrslagspropp, se figur 1.7 på side 11. Under normal drift vil porten være stengt og lede alt vannet fra magasinet til trykksjakten.

Om vi ser bort fra bekkeinntakene på figur 1.2, vil en tømning av sandfang skje på følgende måte: tilførselen fra vannmagasinet blir stengt i lukehuset og kraftproduksjonen blir stanset med en liten forsinkelse, deretter blir det resterende vannet i tilløpstunnelen tappet ut gjennom et tømmerør. Denne er støpt inn i tverrslagsproppen med en ventil. Nå vil det stå vann i trykksjakt, samtidig som tilløpstunnelen, med sandfang, vil være tømt. Porten i tverrslag 2 blir så åpnet inn mot tilløpstunnelen, for å gi gravemaskin tilkomst på sandfang. (Eie, 2000, s. 53-74, Vogt-Svendsen, 1998, s. 21)

1.3 ROV

1.3.1 Kort innføring

Fjernstyrt undervannsfarkost eller Remote-Operated Vehicle (ROV) er, som navnet tilsier, en farkost som blir fjernstyrt under vann. ROV er definert som en underkategori av undervannsfartøyer og da som en ubemannet, kabelstyrt farkost. Denne kabelen blir kalt tether. figur 1.3 viser hierarkiet av undervannsfartøy. (Christ and Wernli, 2014, s. 3-4)



Figur 1.3: Ulike undervannsfarkoster (Christ and Wernli, 2007, s. 2)

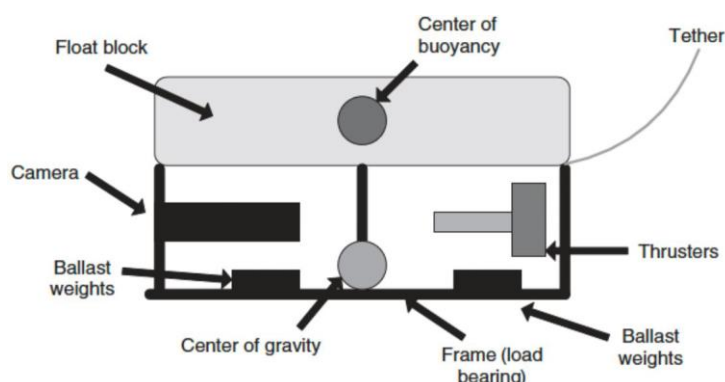
ROV-en har tatt over mange av de tradisjonelle dykkerjobbene (Fenstad, 2019). På tross av dagens teknologiske utvikling, er fremdeles dykkeren mer fleksibel på arbeidsoppgaver sammenlignet med en ROV. Det er likevel tilknyttet stor risiko og høye kostnader med å ha en person i omgivelser med stort trykk, derfor faser flere bransjer over til undervannsfarkoster. (Christ and Wernli, 2014, s. 9, 11)

Det er i hovedsak fire ulike ROV-klasser. Disse er: observasjonsklasse (OCROV), mellomstørrelseklasse (MSROV), arbeidsklasse (WCROV) og spesialarbeidsklasse. Sistnevnte faller utenom de andre klassene grunnet «ikke-svømme»-egenskaper. Disse bruker heller eksempelvis belter til å gå langs havbunnen. En OCROV veier opp til 100 kg mens en MSROV veier fra 100 kg til 1000 kg. De andre klassene veier som regel mer en 1000 kg. Andre typiske ulikheter er listet opp i tabell 1.1. Her er TMS (Tether Management System) nevnt. Denne organiserer og lagrer tether, oftest på en trommel. (Christ and Wernli, 2014, s. 5-7)

Size Category	Input Power	Vehicle Power	Telemetry Type	Depth Rating	Launch Method	TMS	Thruster/ Tooling	Tooling Fluid Flow
OCROV	110/220 VAC 1 Φ	Low-voltage DC	Copper only	+/- 300 m (1000 ft)	Hand deploy	No	Electric/ electric	Electric only
MSROV	440/480 VAC 3 Φ	Medium-voltage DC or AC	Copper or fiber	>1000 m (3000 ft)	Crane or A-frame	Optional	Electric/ hydraulic	15 lpm (4 gpm)
WCROV	440/480 VAC 3 Φ	High-voltage AC	Fiber only	>3000 m (10,000 ft.)	A-frame	Yes	Hydraulic/ hydraulic	70 lpm (18 gpm)

Tabell 1.1: Karakteristikk ved ROV-klasser (Christ and Wernli, 2014, s. 8)

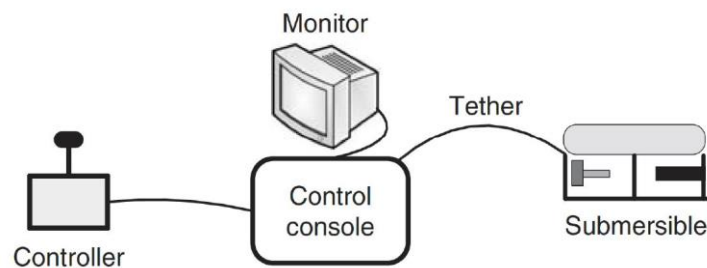
ROV-ens komponenter består av kamera og andre sensorer, flyteelement (Buoyancy), ramme, ballast, propeller (Thrusters) og signalkabel (Tether). En oversikt er vist på figur 1.4. I tillegg kan det nevnes at påmonterte armer eller klør blir kalt «manipulator». Dypet en ROV kan gå



Figur 1.4: Komponenter på en ROV (Christ and Wernli, 2007, s. 46)

til, avhenger av dybden som gir vanninntrenging på komponenter, eller hvilket vanntrykk som knuser disse. Sistnevnte bekrefter ROV-pilot teknikker for Oceanering, Peter Baastad.

Systemkomponentene til et OCROV er vist på figur 1.5. Control console er her den sentrale enheten, som bearbeider alle innputt og videreformidler til rett sted. Dette er hjernen i systemet. Controller er giver av styresignal til ROV-en, monitor viser sensordata fra ROV-en og tether overfører signaler opp og ned til ROV-en. (Christ and Wernli, 2014, s. 5) Det å sette en ROV ut i vannet kalles en launch, å ta den opp kalles en recovery.



Figur 1.5: OCROV-system komponenter (Christ and Wernli, 2007, s. 2)

1.3.2 AUV, ROV uten tether

Tether overfører signaler til ROV-en, men er også begrensende for bevegeligheten. En Autonomous Underwater Vehicle (AUV) har, som nevnt i figur 1.3, ikke denne hemningen.

En AUV kan operere fritt, uten menneskelig kontroll. Det eneste som kreves er en forhåndsprogrammert oppgave. Det blir ikke sendt kontinuerlig informasjon til og fra en AUV, informasjonsflyten må derfor skje på bestemte lokasjoner hvor dette er muligjort. Til sammenligning vil en ROV ha en kontinuerlig informasjonsutveksling med menneskelig kontroll. (Huvenne et al., 2017)

1.3.3 Dagens bruk i vassdragsanlegg

ROV blir i dag brukt til å løse flere ulike typer oppdrag for vannkraftbransjen. Særlig er de brukt til å gjøre inspeksjonsjobber, både av selve dammen og ulike typer vannveier. Entning inn i vannveier skjer via vannspeil. Ofte er dette ved inntak eller svingkammer om vannkraftanlegget er som i kapittel 1.2.2. Det er i dag flere tilbydere av disse ROV-tjenestene,

BK marine (Marine, 2015), Deep Blue Solutions (Solutions, u.å.) og Norconsult i samarbeid med OE-Hagen AS (Norconsult, u.å.-b), for å nevne noen. Sistnevnte har blitt brukt av Hafslund Eco ved flere anledninger og vil være utgangspunktet for videre eksemplifisering.

ROV-en som Norconsult benytter er en MSROV av typen Sperre 10K som er spesialtilpasset og har opp til 6 km med tether, se figur 1.6 venstre. Tyngden på farkosten er 450 kg og blir, sammen med control consol og TMS, mobilisert i en 13 fots konteiner. Denne vil ha kapasitet til å frakte flere sensorer og gjøre enkelt mekanisk arbeid med manipulatorer. (Norconsult, u.å.-c)



Figur 1.6: Sperre 10K (venstre) (Norconsult, u.å.-c). VideoRay Pro 4 med kontrollboks (høyre) (Norconsult, u.å.-a)

Norconsult ved seniorrådgiver Theo Lindholm informerer 2. februar om at det vil være mulig å øke rekkevidden på Sperre 10K, men at ROV-systemet da må bygges om med en dertil betydelig investering, hvilket vil øke kostnaden av inspeksjonen. Kostnadene for å mobilisere en MSROV, slik den er i dag, avhenger helt av tilkomst og rigging. Er det bare å heise systemet ut med kran direkte fra lastebil, er det en enkel jobb. I kroner og øre vil det generelt dreie seg om kr 500.000 – kr 2.000.000. Lindholm sier inspeksjonsjobber kan komme opp i kr 5.000.000, men de har også levert inspeksjon på 700 m tether for kr 50.000 som en kontrast.

Et alternativ er en OCROV. Den er kategorisert som micro-ROV, type VideoRay Pro 4, med en 300 m tether. Figur 1.6 høyre viser denne. Pro 4 veier 6,1 kg (vedlegg E.2) og kan i sin helhet mobiliseres i en Caddy eller lignende. Ulike sensorer kan påmonteres, men ikke i samme mengde som overnevnte MSROV (Norconsult, u.å.-a). John Ivar Valsnes, på support hos VideoRay Norway, opplyser på e-post datert 12. januar at ved Standard og Plus Basestasjon

kan systemet ha opp til 400 m tether, men at det er en fordel med så lite kabel som mulig. Lang kabel vil gi trekk i tether-feste på ROV-en og hemme bevegelsen.

Et tenkt alternativ til å leie inn ROV-tjenester er at kraftselskapene har dette selv, men som regel er det avansert utstyr som krever kompetanse og vedlikehold for å drifte. Veiledere fra Hafslund Eco opplyser at det da ikke blir lønnsomt.

1.4 Problemdefinering

1.4.1 Definisjoner

- Drift - Etter byggefasen av et anlegg kommer driftsfasen. Her skjer det daglige arbeidet frem til anlegget legges ned.
- Konsekvensklasse - En 0 til 4 inndeling *«basert på en vurdering av hvilke konsekvenser brudd, svikt eller feilfunksjon vil ha for mennesker, miljø og eiendom.»* Klasse 4 gir de mest alvorlige konsekvensene. (Lovdata, 2009)
- Vannside - Innsiden av en vannvei hvor det normalt er vann. Dette i motsetning til den andre siden av vannveien, hvor det er jord fjell eller luft.

1.4.2 Overordnet problembeskrivelse

For å opprettholde sikkerheten i et vassdragsanlegg har myndighetene, ved Norges Vassdrag- og Energidirektorat (NVE), gitt krav i Damsikkerhetsforskriften som alle vassdragsanlegg må følge (energidepartementet, 2009). Av disse skal §7 utføres i drift. Av veileder til forskriften (NVE, 2018), kapittel 8, er det i forbindelse med revurdering nødvendig med vannsideinspeksjon. Herunder, blant annet, tilstand på tverrslagsporter. Revurdering skal, i følge Damsikkerhetsforskriften §7-5, utføres hvert 15. år ved konsekvensklasse 2, 3 eller 4 og hvert 20. år ved klasse 1.

Hafslund Eco opplyser at de i noen tilfeller har ønske om inspeksjon av vannveiene hyppigere enn det myndighetene setter krav til. Eksempelvis oppsyn med sandfang og å utføre nødvendige tiltak for å rette opp i mangler avdekket i fullført revurderingsrapport.

De ovennevnte oppgavene (revurdering, inspeksjon ...) er under normal drift i vannfylte vannveier. Dersom forhold og prosedyrer tillater det, kan en bruke ROV som beskrevet i kapittel 1.3.3, dette ved en enkel driftsstans eller -reduksjon. Er derimot eksempelvis avstanden for lang, tunnelen for liten, eller adkomst for dårlig, sier Hafslund Eco at tunnelene i dag må tappes for å gjøre inspeksjonen manuelt med personellentring. Eksempel på nedtapping er beskrevet i kapittel 1.2.2.

For å gi et inntrykk av lengden på vannveier i Norge ble NVE kontaktet, men det lot seg ikke lett ordne en statistikk over enkelttunnelers lengde. Skau Seming, senioringeniør for NVE, kunne imidlertid informere på e-post datert 1. februar at det i Norge finnes over 3800 km registrerte vannveier i fjell. Hafslund Eco informerer at de har flere på over 6 km.

Nedtapping av vannveier fører for Hafslund Eco til:

- a. Større interne kostnader på kr 1 million og oppover. Det meste av kostnadene dreier seg om tapte inntekter ved nedetid, men også arbeidstimer tilknyttet planlegging og utføring av påkrevd arbeid. De tapte inntektene avhenger av nedetid, strømprisen og kapasitet på det aktuelle kraftverket. Nedetiden er ofte på en måned.

- b. utfordringer knyttet til HMS ved personellentrering. Vannveiene kan være gamle og ikke konstruert etter dagens sikkerhetsstandard. Ras i tunnelene kan forekomme (Vogt-Svendsen, 1998, s. 34), samt ugunstig arbeidsmiljø som glatt underlag, mørke og kulde.
- c. Ulemper for tredjepart. Ved tømning av vannreservoarer kan det bli vannføring i tørre bekker og kulverter. I kombinasjon med vårflokk blir denne effekten sterkere og vil typisk kunne gå utover infrastruktur. Det vil også være en fare for at brønner blir tomme.

1.4.3 Mulig løsning som likevel bruker ROV

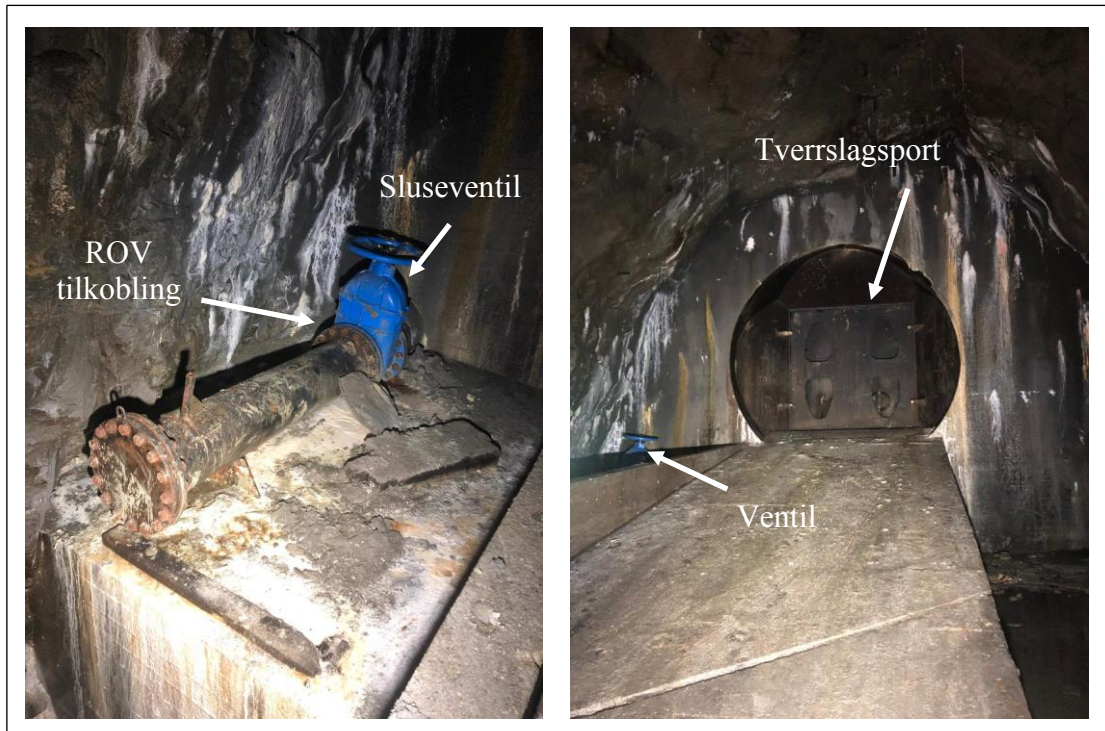
En intern konkurranse hos Hafslund Eco, innen Forskning og Utvikling (FoU), antydte en mulig løsning på inspeksjon i vannveiene uten nedtapping selv om det ikke er mulig å bruke ROV slik kapittel 1.3.3 beskriver. Tanken er å introdusere en ROV rett inn i de trykksatte vannveiene gjennom ventiler på størrelse Ø250 mm – Ø600 mm. Gjennom denne løsningen vil en slippe nedtapping, unngå unødvendig risiko for ansatte, redusere inspeksjonstiden og dertil tilknyttede kostnader.

Det er i tillegg et uttalt ønske fra Hafslund Eco å selv ha muligheten til å gjøre inspeksjonene med lett håndterbart utstyr. Det vil antagelig spare utgifter i forhold til å leie tjenesten samt gi en raskere mobiliseringstid.

1.4.4 Den konkrete case

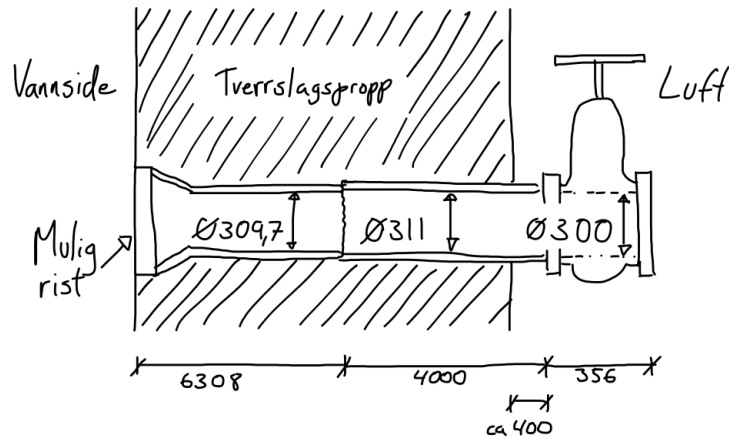
Denne bacheloroppgaven tar utgangspunkt i et konkret vassdragsanlegg i Norge som av sikkerhetsmessige hensyn ikke blir navngitt, se vedlagt taushetserklæring (vedlegg D.1). Tegningene av tverrslagsproppen ligger ved som vedlegg D.2 og er skaffet til veie av veiledere fra Hafslund Eco.

Anlegget har konsekvensklasse 2 og har en tverrslagspropp på høydekvote 1314. En Ø300 mm gummisluseventil (blå på figur 1.7) er montert i et rør som er sementert i tverrslagsproppen. Røret skal tømme vannveiene opp mot dammen etter behov. Avstanden fra daminntaket er 4 km, det er dermed mulig å bruke innleid ROV-tjeneste for inspeksjon som beskrevet i kapittel 1.3.3.



Figur 1.7: Sluseventil i tømmerør (venstre). Tverrslagspropp med port (høyre). Foto: Ådne Einemo.

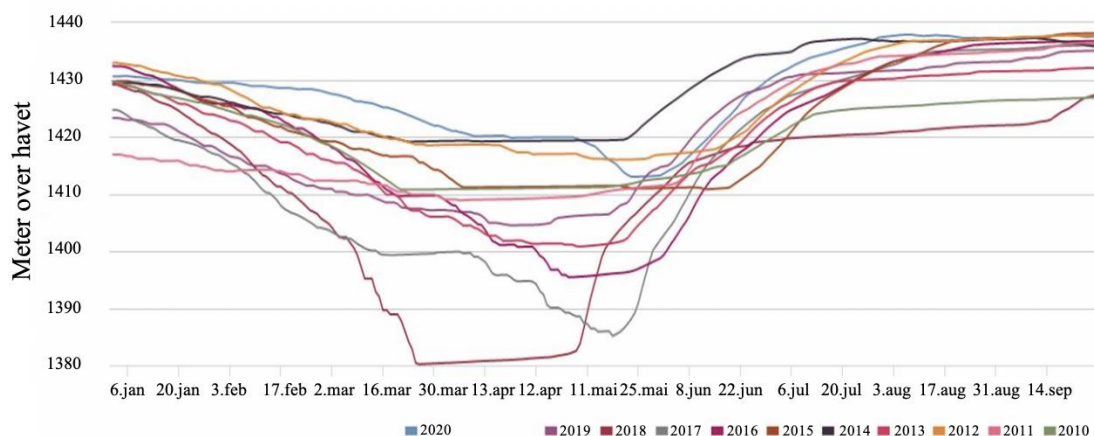
Det som skal inspiseres i vannveiene er tilstand på tverrslagsport ved revurdering. Når Hafslund Eco selv ønsker det blir nedfall foran tverrslagsport samt fyllingsgrad av sandfang inspisert. Sandfanget er omtrent 50 m fra sluseventilen (øverste høyre hjørnet på vedlegg D.2). Tilkoblingen av ROV vil skje rett på sluseventilen, se figur 1.7. Forlengelsesrøret som vises til venstre i samme figur, vil bli fjernet. Figur 1.8 (neste side) viser innerdiameter og lengde på tømmerøret som går gjennom tverrslagsproppen og inn i vannveien (målene på figuren er ikke proporsjonale). Av figur 1.8 går det frem at sluseventilen har den minste diameteren på Ø300 mm. Målene på tegningen er hentet fra originaltegningene fra Hafslund Eco på tømmerøret (vedlegg D.3) og fra dataarket på den aktuelle sluseventilen (vedlegg F.1).



Figur 1.8: Tømmerør med mål i millimeter

Utfordringer med aktuell lokasjon:

- Det er antagelig fremdeles montert en rist på vannsiden av røret ventilen er tilkoblet, helt til venstre på figur 1.8. Dette for å hindre store legemer å komme til selve sluseventilen. Denne risten vil hindrer ROV-tilkomst, men vil kunne fjernes ved en planlagt nedtapping rett etter påske (antagelig uke 16).
- I tilhørende vannmagasin er høyeste regulerte vannstand (HRV) 1438 moh. og laveste regulerte vannstand (LRV) 1364 moh. Dette gir et vanntrykk bak sluseventilen tilsvarende 50 til 124 meter vannsøyle (mVS). Figur 1.9 viser historisk vannstand i det aktuelle vannmagasinet. Med bakgrunn i denne er det opp til 106 mVS ved testtidspunktet, midten av april til midten av mai. 124 mVS er blant det høyest HRV nivået som finnes i Hafslund Eco sine lignende ventiler.



Figur 1.9: Historisk vannstand

- Det er ikke belysning ved tverrslagsproppen.

Det er ikke et reelt behov for å inspisere denne lokasjonen nå. Dette med bakgrunn i at lokasjonen allerede er planlagt nedtappet. Lokasjonen er likevel valgt grunnet: muligheten til å fjerne eventuell rist, sluseventilens Ø300 mm (som er blant de minste ventildimensjonene til Hafslund Eco) og høyt vanntrykk. De to sistnevnte vil muliggjøre test av prototypen på det som er ytterpunktene ved aktuelle anlegg hos Hafslund Eco. Altså, fungerer prototypen her, fungerer den også på mange andre lokasjoner hos Hafslund Eco.

Skulle den aktuelle lokasjonen være nedtappet i testperioden, er det et anlegg i nærheten med lignende ventil som kan fungere som substitutt. Denne har et vanntrykk på 10 mVS.

1.4.5 Problemstilling

Problemstillingen er som følger: «Finnes det en funksjonell tilkobling av ROV til vannveier i vassdragsanlegg via en Ø300 mm sluseventil, når vanntrykket på lokasjonen tilsvarer 100 mVS?».

1.5 Rammer

1.5.1 Definisjoner

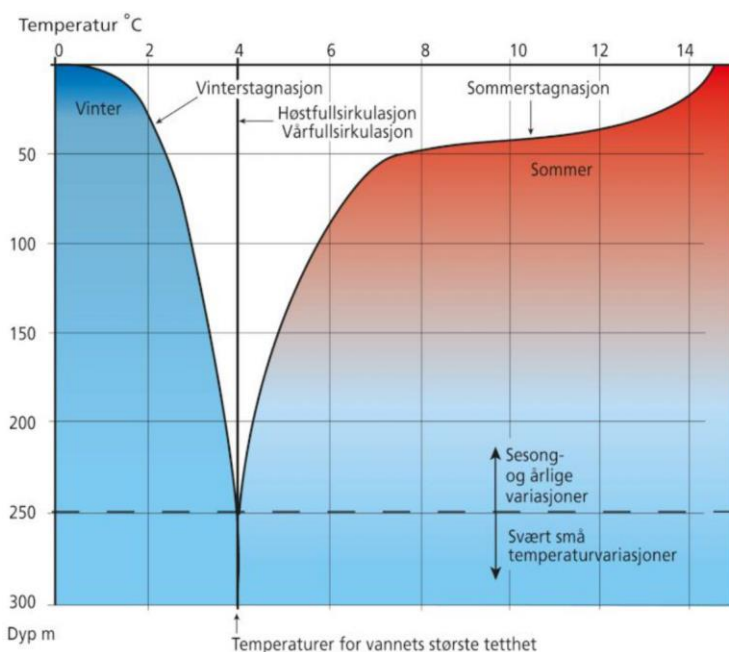
- PN - Pressure Nominale. Er en standard for hvordan flensen skal designes dersom det skal tåle gitt antall bar. Dette antallet står etter PN. (Mart, 2020)
- DN - Diameter Nominal. Sammen med PN-nummeret gir dette grunnlaget for dimensjonene på røret. Her blant annet hvor tykke veggene skal være. Tallet som følger etter DN er innerdiameter angitt i millimeter. (Mart, 2020)

1.5.2 Begrensninger og betingelser

Alle rammene er satt i fellesskap med Hafslund Eco. Prosjektet er også definert som en prototype.

- a. ROV-systemet skal ha en tether lengde på minst 50 m. Dette vil være den lengste avstanden en ROV trenger å kjøre fra en ventil.
- b. ROV-systemet må være enkelt å operere og koble opp.
- c. Det er ikke tilgang på strøm, utover fra bilbatteri eller annet medbrakt batteri. Aggregat kan ikke plasseres i tunnel grunnet dårlig ventilasjon.
- d. Ventilen som skal forseres er en av AVK (Astronomische Vereinigung Kärntens, tysk bedrift) sine GATE VALVE, FLANGED, DN300 PN25 (Ø300 mm), en sluseventil som gir tilgang til hele innerdiameteren i åpen posisjon. Se vedlegg F.1. Det vil bli brukt tegninger fra en nyere versjon da det ikke lot seg gjøre å skaffe fra den gamle.
- e. Installasjon og operasjon av anordning skal kunne utføres av to personer, på en forsvarlig måte. Arbeidstilsynet anbefaler at en mann maksimalt bærer 25 kg, dette skal prototypen strekke seg mot (Arbeidstilsynet, u.å.). Størrelses på prototypen skal kunne gå inn i eksempelvis en VW Caddy varebil og kunne bæres inntil 500 m.
- f. Kostnadsrammer. Det er budsjettert kr 100.000 – kr 150.000, kan økes noe ved behov. Hafslund Eco vil stå for dette, men ønsker innkjøp fra bedrifter i Norge.
- g. Bruke mest mulig standardkomponenter for å redusere kostnader og bedre tilgang på reservedeler.

- h. Temperaturen på vannet er antatt å være 4 °C eller varmere. Dette siden inntaket fra dammen er på et lavtliggende punkt og vann er tyngst ved 4 °C, se figur 1.10.



Figur 1.10: Tetthet for vann ved temperaturendring (Varsom, u.å.)

- i. Trykket som finnes på baksiden av ventilen skal tilsvarende 100 mVS eller mer. Hafslund Eco sier dette er det ønskede kravet til ROV-systemet på tross av noe høyere trykk på den aktuelle lokasjonen. Dette gjør det lettere å finne et passende ROV-system. Forutsatt standard atmosfæretrykk $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ (Haugan, 2017, s. 140) og massetetthet (ρ) på vannet tilsvarende 1000 kg/m^3 (USGS, u.å.), blir trykket 1,1 MPa som vist i [1.2] (Haugan, 2017, s. 75). Her er g gravitasjonen og h høyden på vannsøylen.

$$p_{100} = p_0 + \rho gh = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 100 \text{ m} \approx 1,09 \text{ MPa} \quad [1.2]$$

1.6 Delmål

Dette er mål som ble satt for å strukturere oppgaven slik at den kunne gi svar på problemstillingen. Med totalsystem menes de praktiske løsningene som til sammen utgjør et mulig svar på problemstillingen.

- a. I samarbeid med Hafslund Eco definere problemet.
- b. Finne alternative totalsystemer.
- c. Ta en avgjørelse på hvilket totalsystem som er best.
- d. Kalkulere usikkerheter i design.
- e. Felttest av totalsystem.

1.7 Oppgavens struktur

Oppgaven er skrevet etter Introduksjon, Materiale/Metode, Resultat og Diskusjon (IMRoD), men med et eget kapittel for teori etter innledning- og før metodekapittelet. Resultatkapittelet tar for seg alt fra resultat av idemyldringsprosesser, systemvalgalternativer funnet til sammenstilling og felttest av endelig system. Vedlegg A og B er henholdsvis beregninger og bearbeiding av komponenter beskrevet i resultatkapittelet. Vedlegg C er prosedyre for ROV launch og recovery som blir fulgt på felttesten. De resterende vedleggene er PDF-dokumentasjon.

2 Teori

Her er den viktigste teorien som er brukt i oppgaven samlet: Utarbeiding av en idé (kapittel 2.1), beregningsteori (kapittel 2.2) og til slutt kapittel 2.3 om korrosjon.

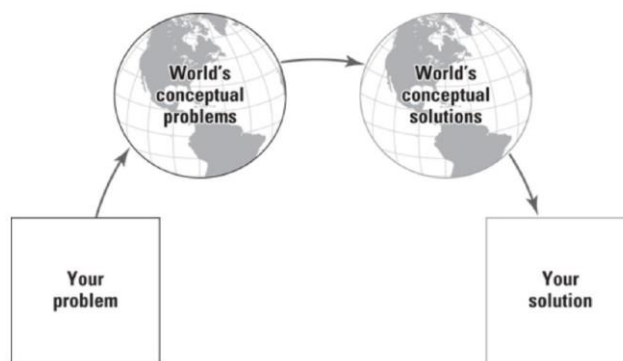
2.1 Utarbeiding av en idé

I dette kapitlet gjennomgås teorien brukt i utarbeidingen av totalsystemet. Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (TRIZ) (kapittel 2.1.1) og brainstorming (kapittel 2.1.2) går på idéutvikling, mens design Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) (kapittel 2.1.4) handler mer om å påpeke risiko og å få en best mulig prototype. Kapitlet 2.1.3 om «rangering av prosjektidéer», trenger ingen nærmere forklaring.

2.1.1 Problemløsning med TRIZ

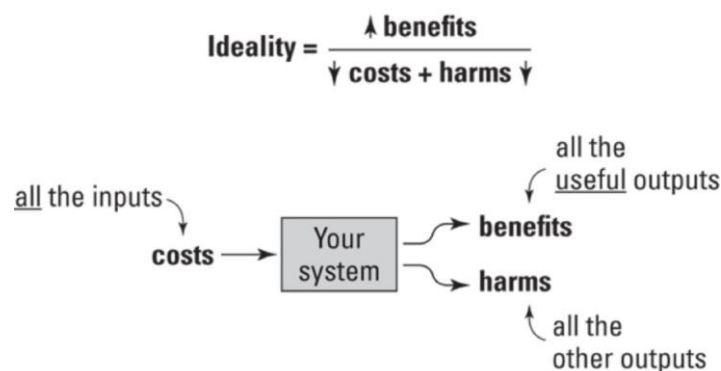
Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (TRIZ) ble laget som en standardisering av problemløsning med utgangspunkt i tidligere ingeniørfaglige og vitenskapelige bragder. Direkte oversatt «teori om oppfinnsom problemløsning». Skaperen Genrich Altshuller (1926-96), født i tidligere Sovjetunionen, begynte sitt arbeid med TRIZ mens han jobbet på patentkontoret til den Sovjetiske marinen i 1946. Her oppdaget han at lignende konseptuelle løsninger ble brukt på ulike typer patenter, i ulike fagfelt. Etter å ha falt i unåde hos Stalin ble han sendt til Sibir i 25 år. Her møtte han flere ingeniører og vitenskapsmenn som han diskuterte og videreutviklet tankene sine med. Etter Stalins død i 1953, ble det analysert 50.000 patenter som ble grunnlaget for flere verktøy i TRIZverktøykassen. (Haines-Gadd, 2016, s. 46-48)

Generelt kan det sies at filosofien bak TRIZverktøyene og -prosessene hjelper til med å få oversikten, finne nye muligheter og gjøre en til en bedre og raskere problemløser. I stor grad skjer dette ved å tenke abstrakt og konseptuelt på et problem. Når problemet er beskrevet konseptuelt, kan en finne konseptuelle løsninger. Disse blir så utgangspunktet for idémyldring på faktiske løsninger. Denne runddansen kalles Prism of TRIZ, se figur 2.1. Å gjøre problemene konseptuelle skal frigjøre flere idéer. Ved hjelp av noen TRIZverktøy vil en i tillegg kunne nytte seg av andre fagfelts konseptuelle løsninger på konseptuelle problem, muliggjort gjennom patentanalysene. Dette er særlig gunstig om en sitter fast eller trenger inspirasjon. (Haines-Gadd, 2016, s. 51-66)



Figur 2.1: Prizm of TRIZ (Haines-Gadd, 2016, s. 56)

Helt sentralt i TRIZ er å øke «Ideality», idealitet. Alle innputt til et system er å anse som «Cost» (kostnader) og resulterer i funksjoner som i sin tur gir to typer utputt: «Benefits» (det du vil ha) og «Harms» (det du ikke vil ha). Funksjonene det her er snakk om er de til «your system», se nedre del av figur 2.2 (Haines-Gadd, 2016, s. 141). Ideality blir definert som Benefits delt på Cost pluss Harms hvor det da søkes flere Benefits og færre Cost og Harms. Dette er måten TRIZ gir verdi til et system eller en idé, øvre del av figur 2.2.



Figur 2.2: Ideality i TRIZ (Haines-Gadd, 2016, s. 134 og 245)

Et av TRIZ verktøyene heter Ideal Outcome. Her ser man for seg alt ønskelig fra et system eller en idé når det ikke finnes noen Cost eller Harms, bare Benefits. Dette skal være Nordstjernen under videre idémyldring og sørge for at en ikke roter seg bort i en god idé, som ikke er den beste idéen. Gangen i prosessen er å først lage en Benefit-ønskeliste og etableres et ultimatum for systemet, før de neste stegene fører en nærmere og nærmere den virkelige verden. Først til funksjoner som gir de ønskede Benefits, så de praktiske løsningene som skaper disse funksjonene. Til slutt den beste kombinasjonen praktiske løsninger, som blir vårt nye system. (Haines-Gadd, 2016, s. 34, 245-267)

2.1.2 Idéskaping med Brainstorming

Den mest kjente teknikken for idéskaping er Brainstorming. Her er en gruppe på fem til åtte personer samlet med en leder for å skape så mange idéer som mulig. Har man mulighet til å sette sammen folk med ulik kompetanse, som i tillegg kan skape et artig miljø sammen, er dette et veldig godt utgangspunkt. Det anbefales å ha en oppvarming hvor møtet blir satt i «frigid». Dette gjøres i stor grad ved å forklare reglene ved Brainstorming nøye og hva man håper å oppnå. (Westerhagen, 2018, s. 161-164)

Reglene for Brainstorming er:

- a. All vurdering og kritikk er forbudt. Av alle reglene er denne den viktigste samtidig som den kan være vanskeligst å overholde.
- b. Enhver idé som dukker opp i hode må slippes løs. Fantasien må få spinne fritt. Idéer som skaper en god latter er et pluss da humor er et godt virkemiddel for å komme ut av gamle spor.
- c. Flest mulig idéer. Jo flere idéer i fellesskapet, jo større sjans for at en finner den beste idéen. Kvantitet avler kvalitet i denne sammenhengen.
- d. Bygg gjerne videre på andres idéer. Kombiner gjerne tidligere uttalte idéer eller se om de kan trigge nye.

2.1.3 Rangering av flere prosjektidéer

I en situasjon med flere løsninger på et problem, er det ikke alltid mulig å gjennomføre alle. Da må noen eller en av løsningene velges, det vil si at en må veie de mot hverandre.

Noen ganger er dette så enkelt som å måle investeringskalkyler mot hverandre, men ofte vil det være flere viktige faktorer å ta hensyn til utover det økonomiske. Utfordringen ligger altså i rangering av løsninger med flere kvalitative og kvantitative faktorer.

En skal aldri undervurdere intuisjon og godt skjønn i slike valg. Men for å hjelpe til med å gi en oversikt, og slik virke klargjørende, kan man sette opp en rangeringstabell. Se eksempel i tabell 2.1. Her listes vurderingsfaktorene opp etterfulgt av et tilhørende vektall. Dette er et tall fra 1-5 som angir hvor høyt faktoren skal vektlegges. Deretter følger en verdi (score), også et tall fra 1-5, som sier hvor bra en gitt løsning gjør det i hver faktor. Hver løsning får da et rangtall innen hver faktor. Nederst summeres alle rangtallene og en får en rangordning av løsningene. (Westerhagen, 2018, s. 49-51)

VURDERINGSFAKTORER	VEKT	LØSNINGER			
		A		B	
		VERDI	RANGT.	VERDI	RANGT.
Konkurransforhold	5	4	20	3	15
Forhold til kundene	5	4	20	4	20
Aksept fra ansatte	3	2	9	3	9
Utviklingskostnad	5	2	10	4	20
Lønnsomhet	5	5	25	4	20
Risiko	3	1	3	2	6
SUM RANGTALL			87		90
RANGORDNING			2		1

Tabell 2.1: Rangeringstabell eksempel (Westerhagen, 2018, s. 50)

2.1.4 Design FMEA

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) er en strukturert måte å søke og finne potensielle feil og feilkilder i en prosess eller et produkt. Med Failure Mode menes, måter det kan gå galt på og Effects er effekten av disse funnene. Resultatet av en FMEA er en prioritert rekkefølge på feil og feilkilder. (Quality-One, u.å.)

Design FMEA er en FMEA som blir gjort på et tidlig stadium. Denne vil ha til hensikt å identifisere behovet for endring i design mens prosessen eller produktet fremdeles er på tegnebrettet. Fokus er på det som hindrer funksjonell operasjon, levetid og sikkerhet. Typisk vil materialegenskaper, geometri, toleranser, overgang til andre systemer og produkter være eksempler på konkretisering. (Quality-One, u.å.)

Referanse nr.	Navn på del/funksjon	Hva kan gå feil	Arsak til feil	Effekt på produkt	Sannsynlighet	Alvorlighetsgrad	Risiko nivå	Tiltak	Sannsynlighet	Alvorlighetsgrad	Risiko nivå
a	Over- og under-plate	Leder ikke termisk energi	Lav termisk konduktivitet.	Før lik temperatur over og under luftfortrenger	A	VI	H	Velge materiale med høy termisk konduktivitet	A	II	L
b	O-ring tilknyttet over- og under-plate	Tåler ikke varmen	Feil kvalitet på gummi	O-ring går i stykker og det oppstår luft lekkasje. Redusert effekt på motoren.	C	VI	U	Sjekk spesifikasjonene på o-ring.	A	I	L

Tabell 2.2: Design FMEA

Skjemaet som er brukt i denne oppgaven er likt det i tabell 2.2 og er inspirert av Internettsiden til Docplayer (Docplayer, u.å., side 5 av 7). Den første vurderingen av sannsynlighet, alvorlighetsgrad og risikonivå er før tiltak settes inn. Den siste vurderingen er etter tiltak. Risikonivå finnes ved bruk av tabell 2.3.

Sannsynlighet:	Alvorlighetsgrad:					
	I	II	III	IV	V	VI
A	Lav	Lav	Lav	Lav	Moderat	Høy
B	Lav	Lav	Lav	Moderat	Høy	Uakseptabel
C	Lav	Lav	Moderat	Moderat	Høy	Uakseptabel
D	Lav	Moderat	Moderat	Høy	Uakseptabel	Uakseptabel
E	Moderat	Moderat	Høy	Uakseptabel	Uakseptabel	Uakseptabel

Tabell 2.3: Risikonivå

2.2 Beregningsteori

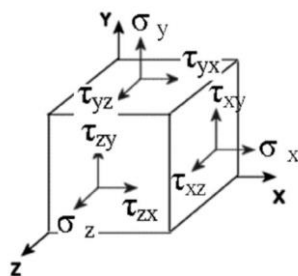
Her er beregningsteori brukt i oppgaven beskrevet: Von Mises Spenning (kapittel 2.2.1), Factor Of Safety (FOS) (kapittel 2.2.2), bruddgrensetilstand (kapittel 2.2.3) før en innføring hvordan programmet SolidWorks (SW) bruker mesh i spenningsberegningene sine i kapittel 2.2.4.

2.2.1 Von Mises Spenning

Når styrken til et produkt skal beregnes handler det ofte om spenningene i et gitt punkt overstiger materialets flytegrense (σ_{flyt}). Når flytegrensen overstiges blir materialet permanent endret i fasongen, dette etter at belastning først er påført og så fjernet igjen.

Når det er ulike belastninger som angriper fra ulike posisjoner trengs en metode for å samle disse til en total spenning som kan måles opp mot spenningen som tilsvarer flytegrensen. SW bruker her ofte Von Mises Spenning (σ_{vm}) i de tredimensjonale problemene. De ulike spenningene som oppstår kan dekomponeres til normalspenninger (σ) og skjærspenninger (τ) som vist i figur 2.3. Ligningen [2.1] viser hvordan Von Mises Spenningen finnes. (Kurowski, 2019, s. 23-24)

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2}{2} + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad [2.1]$$



Figur 2.3: Dekomponerte krefter (Kurowski, 2019, s. 23)

2.2.2 Factor Of Safety

For å angi hvor nær en komponent eller del er flytegrensen (σ_{flyt}), er begrepet Factor Of Safety (FOS) etablert. Dette er sikkerhetsfaktoren mot permanent deformasjon og finnes ved bruk av ligning [2.2]. Som et eksempel vil et FOS-mål satt til verdien 2 tilsi at Von Mises Spenningen (σ_{vm}) skal være minst dobbelt så stor som flytegrensen. Dersom FOS er mindre enn 2 er ikke påtenkt sikkerhetsmargin nådd. Hva som er ett godt FOS-mål avhenger av hvor pålitelige tallene brukt i beregningen av σ_{vm} er. (Kurowski, 2019, s. 24)

$$FOS = \frac{\sigma_{flyt}}{\sigma_{vm}} \quad [2.2]$$

2.2.3 Bruddgrensetilstand

Denne teorien er hentet fra kompendiet til Henning Johansen om beregning av statiske sveiseforbindelser (Johansen, 2012b, s. 20). Den blir brukt som inspirasjon til beregninger gjort i denne oppgaven. Tanken er at spenning i metallet ikke skal oversige en gitt grense. Dette for ikke å gå i brudd, få store elastiske forskyvninger eller tøyninger som kan sammenlignes med brudd. Matematisk går metoden ut på å måle dimensjonerendespenning mot dimensjonerendeflytegrense.

For å finne dimensjonerendespenning må først dimensjonerendelast finnes. Dette gjøres ved å ta maksimal nyttelast ganget med en lastfaktor γ_f . Faktoren er avhengig av nyttelasttypen og skal ta hensyn til usikkerhet vedrørende nyttelastens faktiske størrelse. Henning Johansen fastsetter noen av disse til:

- a. 1,5 for dominerende nyttelast
- b. 1,05 for andre nyttelaster
- c. 1,2 for egenlast

Ved å regne ut σ_{vm} med bruk av de dimensjonerendelastene, finnes den dimensjonerendespenningen. I ligning [2.3] vises denne spenningen målt opp mot dimensjonerendeflytegrense (σ_F). σ_F er oppgitt flytegrense (σ_{flyt}) til materialet delt på en materialfaktor γ_M .

$$\sigma_{vm} \leq \sigma_F = \frac{\sigma_{flyt}}{\gamma_M} \quad [2.3]$$

Materialfaktoren settes til 1,1 og skal ta hensyn til en deviering mellom faktisk og oppgitt flytegrense i materialet.

2.2.4 Spenningsberegninger i SolidWorks

Først tegnes det en 3D-tegning av komponenten som skal styrkeberegnes. Videre deler programmet komponenten inn i tetraeder også kalt et mesh. I hvert hjørne av tetraedrene etableres en node. Utreget forskyvninger mellom disse nodene utgjør spenningsberegningen. (Kurowski, 2019, s. 13-15)

Det kan tenkes at om meshet gjøres fint nok, vil det ha samme mengde tetraeder som atomer i det faktiske objektet, og da være en god tilnærming på den virkelige verden. Dette vil kreve en enorm mengde utregninger av programmet, som dermed også vil bruke lang tid og stor prosessorkraft. Et veldig grovt mesh gi raskt, men unøyaktig resultat.

Løsningen er å starte med et grovt mesh og gjøre det finere. For hver beregning kan en eksempelvis notere seg den høyeste spenningen som oppstår. Ved grovt mesh vil denne være lav, men jo finere mesh, jo høyere maksimal spenning. På ett tidspunkt vil maksimal spenning øke minimalt på tross av finere mesh, eller økt antall noder. Da er det konvergens i resultatene og dermed validitet. Denne funksjonen er innebygd i SW og kalles h-adaptiv (Kurowski, 2019, s. 581). Ved å sette denne til 99% i programmet vil spenningsendringen ikke være større enn 1% mellom hver forfining av mesh.

2.3 Korrosjon

Korrosjon kan skje på flere måter og er oppløsningen av metalliske materialer. Eksempelvis er rust det folkelige begrepet på jern som korroderer. Grunnen til at dette skjer er at metallgrunnstoffene ofte ønsker seg til en annen kjemisk forbindelse, som er mer stabil, enn den de er i. Ofte er dette en forbindelse lik den som finnes i naturen. (Haaberg, 2019)

I denne oppgaven er korrosjon relevant da miljøet det arbeides i er fuktig og muligheten for at metaller med ulikt spenningspotensiale er tilstede. Dette blir gjennomgått i kapittel om henholdsvis allmenn korrosjon (kapittel 2.3.1) og galvanisk korrosjon (kapittel 2.3.2). Underkapittel 2.3.3 omhandler beskyttelse mot korrosjon.

2.3.1 Allmenn korrosjon

Når noen metaller kommer i kontakt vann vil det skje en kjemisk reaksjon som fører til at metallet løser seg opp og binder seg til oksygen. Dette gjelder eksempelvis for jern hvor jernoksidene løsner og blottlegger nytt jern. Prosessen skjer tilnærmet jevnt over hele flaten som er i kontakt med vann og vil til slutt omgjøre alt jern til jernoksid. For andre typer metaller vil bindingen mot oksygen danne et beskyttende lag mot videre korrosjon. Her løsner ikke oksidene. Dette gjelder eksempelvis i høy grad for aluminium. (Haaberg, 2019)

2.3.2 Galvanisk korrosjon

Galvanisk korrosjon skjer dersom ulike elektrisk ledende metaller er i kontakt med hverandre og i tillegg en væske med elektrolytiske egenskaper. Dersom dette skjer vil det mest anodiske materialet løse seg opp i elektrolytten. Det vil si at det ene materialet korroderer bort mens det andre forblir urørt. I spenningsrekken på tabell 2.4 (neste side) er det listet opp metaller fra mest katodisk i toppen, til mest anodisk i bunnen, dette med saltvann som elektrolytt. Listen kan brukes som en grov bedømmelse av faren for galvanisk korrosjon. Er differansen mellom gruppen på de sammenkoblede metallene 4 eller mer, er det økt fare. (Johansen, 2012a)

Passiv, edel og katodisk ende	
Gruppe 1	Gull, platina
Gruppe 2	Grafitt
Gruppe 3	Titan og titanlegeringer
Gruppe 4	Sølv
Gruppe 5	Nikkellegeringer med 13 - 20% Cr (Inconel, Hastelloy)
Gruppe 6	Rustfne stål (passive)
Gruppe 7	Nikkel og nikkelbelegg (passive)
Gruppe 8	Kobber, messing (Cu-Zn-legering), silisiumbronse, timbronse, aluminiumbronse og kobber-nikkellegering.
Gruppe 9	Nikkel og nikkelbelegg (aktive)
Gruppe 10	Blybronse, manganbronser og Cu- Zn- Sn-bronser
Gruppe 11	Bly og tinn
Gruppe 12	Rustfrie stål (aktive)
Gruppe 13	Lodde tinn
Gruppe 14	Støpt stål med høyt nikkelinnhold
Gruppe 15	Stål, støpejern og støpt stål
Gruppe 16	Ren aluminium og aluminiumlegeringer med Mg (sjøvannsbestandige)
Gruppe 17	Kadmiumbelegg
Gruppe 18	Ren aluminium og aluminiumlegeringer med Mg, Si eller Mn (herdbare og ikke herdbare)
Gruppe 19	Sink og sinkbaserte stål
Gruppe 20	Magnesium og magnesiumbelegg
Korrosiv, uedel og anodisk ende	

Tabell 2.4: Spenningsrekke (Johansen, 2012a)

Rustfritt stål er stål levert med blant annet krom. Dette vil gi en hinne på utsiden av metallet som er sterkt korrosjonsbeskyttende. Så lenge denne hinnen er til stede betegnes det rustfrie stålet som passivt. Ved sammensetting med et mer katodisk metall, vil denne hinnen forsvinne, det rustfrie stålet bli aktivt, og raskere korrodere. Se tabell 2.4 for gruppeplassering av aktivt og passivt rustfritt stål. (Tallemecco, 2019)

2.3.3 Beskyttelse mot korrosjon

Det er flere måter å beskytte mot korrosjon på. De som blir brukt i denne oppgaven er:

- Forholde seg til spenningsrekken og velge mest gunstig materialkombinasjoner.
- Forhindre kontakt med elektrolytt, i de fleste tilfeller vann. Dette gjøres ved maling, belegning med annet metall, lakk eller annen behandling av overflaten.
- Beskyttelse mot oksygen er viktig. Viser seg at beskyttelse av katodematerialet er særlig effektivt i å forhindre galvanisk korrosjon (Haaberg, 2020).

3 Metode

Det vil i dette kapitlet først bli beskrevet arbeids metoden i hovedfasene av oppgaven (kapittel 3.1), før det i kapittel 3.2 blir sagt noen ord om etikken under gjennomføringen. Til slutt listes det opp hvilke programvarer som er benyttet (kapittel 3.3).

3.1 Arbeidets hovedfaser

Her følger en gjennomgang av alle hovedaktivitetene med tilhørende forklaring på hvorfor og hvordan de ble utført, samt dokumentasjon i den grad det finnes. Studenten har vært ansvarlig for gjennomføringen av arbeidet og det har blitt avholdt møter med både Hafslund Eco og veileder fra NTNU underveis. Tidfesting og avhengigheter er beskrevet i vedlagt gantt-skjema (vedlegg E.1), hvor forklaringene på milepelene finnes på side XXV.

3.1.1 Forarbeidsfase

Forarbeidsfasen la fundamentet for resten av oppgaven. Her ble rammene for oppgaven definert, bakgrunnen utforsket og innholdsfortegnelsen satt. I tillegg ble en liste med alternative ROV-systemer (vedlegg E.2) utarbeidet og som beskrevet i kapittel 4.1.1.

Bakgrunn og rammer for oppgaven ble funnet i samråd med Hafslund Eco. Noe av bakgrunnsinformasjonen er også hentet fra aktuelle nettsider. Når det gjelder ROV-systemene ble dette i sin helhet funnet Internett, på leverandørenes hjemmesider.

Mandag 1. februar ble det gjennomført besiktigelse av aktuell case og tilhørende vassdragsanlegg, men med noen begrensninger da det var ekstra strenge koronatiltak. Lokasjonen til sluseventilen, vannmagasinet og tilstøtende tunneler ble imidlertid observert, altså det i vassdragsanlegget som var viktigste for oppgaven. Guidet tur i kraftstasjonen, for å få det totale bildet av kraftproduksjonen, ble ikke mulig.

3.1.2 Konseptfasen

Denne fasen er i stor grad inspirert av TRIZ, gjennom boka «TRIZ For Dummies» (Haines-Gadd, 2016), men også Brainstorming. Målet er å finne de beste praktiske løsningene på det ferdige systemet. I «TRIZ For Dummies» er det lagt opp til fysisk oppmøte og bruk av post-it lapper, men grunnet pandemien og geografisk avstand ble det gjennomført digitalt. Avtale om møter i Teams blir gjort på forhånd og gjennomføringen ble gjort i henhold til planen under. De som deltok var Ådne Einemo, Oddmund Brevik og studenten. Ideelt sett burde det vært flere, se kapittel 2.1.2, men det ble vurdert som tilstrekkelig for å få inn nok forslag til denne bacheloroppgaven.

«Første møte» ble grunnet tidsbruk fordelt over to dager, hvor første dag dekket punktene (a.) – (d.), mens det den andre dagen dekket (e.) – (f.).

Første møte:

- a. Oppvarming. Det ble gjort en kort introduksjon til: TRIZ-metodikken, gangen i prosessen fra «første møte» til og med «andre møte», reglene for idémyldring, og bakgrunnen for at prosessen ble satt i gang. Det ble også kjørt en oppvarmingsrunde med idémyldring på Benefit-ønskeliste til den optimale gensenen. (Westerhagen, 2018, s. 163)
- b. Idémyldring på den ideelle løsningen. Her ble det kjørt en Ideal Outcome-prosess. For å tydeliggjøre hva som menes er noen punkter konkretisert i et gjennomgående eksempel med en vannflaske. (Haines-Gadd, 2016, s. 34 og 245-252)
 - Alle utførte divergerende tenkning på Benefits i en ideell verden. Dette kan ansees som en ønskeliste for produktet. Den enkelte skrev ned ønskede egenskaper for seg selv, uten å tenke på rangering eller kategorisering av disse. I eksempelet med vannflasken kunne dette vært: holde på varmen, romme uendelig mye væske, alltid ren både på innsiden og utsiden, veier ingen ting, tar ingen plass.
 - I fellesskap gjennomgå de nedskrevne Benefits og gruppere de som ligner under ett felles gruppenavn. Dette ble gjort som et tankekart i programmet

MindManager (vedlegg E.3). Under oppføringen ble det kjørt en fortløpende Brainstorming hvor nye Benefits ble tilføyd i hver gruppe.

Eksempel: «Veier ingenting» og «Liten egenvekt» kan gå i samme gruppe med navn «Lav vekt».

- Søkte enda flere Benefits ved å spørre «hvorfor?». Det ble gjennomført en runde i gruppen hvor det ble spurt om begrunnelsen for valget av den enkelte Benefit.
- Til slutt satt vi igjen med vår ønskeliste over Benefits. Denne ble ført over i en tabell hvor det ble skilt mellom må-ha og kjekt-å-ha Benefits (vedlegg E.4).
- En hoved Benefit ble identifisert. Behøvde ikke være fra vår ønskeliste over Benefits.

Eksempel: Flyttbar beholder for vann.

- Fastsatte det ultimate målet.

Eksempel: Tilgang på rent drikkevann når jeg trenger det.

- c. En kontroll opp mot rammene. Dette ble gjort for å ta det første skrittet fra den ideelle mot den virkelige verden, ved å konkretisere hvilke begrensinger man må forholde seg til. Rammer, som ikke var absolutte krav, ble endret på. (Haines-Gadd, 2016, s. 253)
- d. Idémyldring på ulike funksjoner. I dette steget ble en felles Brainstorming gjennomført. Dette er et viktig mellomsteg som er ment å bidra til identifisering av enda flere praktiske løsninger. Det tas her nok et skritt nærmere den virkelige verden ved å søke hvilke funksjoner som gir Benefits til vår ønskeliste. (Haines-Gadd, 2016, s. 259-260)
 - Tok utgangspunkt i en enkelt Benefit, for å identifisere alle funksjonene som ledet til denne, før neste Benefit ble gjennomgått.
 - Kom vi på noe som passet inn et annet sted, ble dette registrert med en gang. Vi jobbet systematisk, men samtidig var det rom for impulser.
- e. Idémyldring på ulike praktiske løsninger. Det ble gjennomført felles Brainstorming på praktiske løsninger til hver funksjon. Nå bevegde vi oss helt over i den virkelige verdenen. (Haines-Gadd, 2016, s. 182 og 259).

- Om det var funksjoner vi ikke hadde praktiske løsninger på, noterte vi personer, eventuelt fagmiljøer, som antagelig har en løsning på dette (Haines-Gadd, 2016, s. 177).
- f. Skrive ned Harms. Det ble gjennomført en Brainstorming på Harms tilknyttet hver praktisk løsning. Formålet med øvelsen er at dette kan utløse idéer til nye praktiske løsninger. Det gir også et bilde av risiko for den enkelte praktiske løsning, som igjen kan bidra til at riktig løsning velges.

Forberedelser til andre møte:

- a. Sette sammen mulige fullverdige totalsystemer av de praktiske løsningene funnet, se vedlegg E.5.
- b. Det ble i utgangspunktet antatt at ulike totalsystem ville favorisere ulike ROV-system. Gjennom en prosess hvor ulike ROV-systemer (vedlegg E.2) først ble målt mot dybdebegrensningen på å tåle minst 100 mVS (kapittel 1.5.2i), så fysisk størrelsesbegrensning gitt av ventilstørrelsen (figur 1.8), og til slutt betingelsen om «ikke tilgang på strøm nær arbeidsstedet» (kapittel 1.5.2c), var det tre aktuelle ROV-system (tabell 4.1). Av disse var det ett som skilte seg ut i så stor grad at alle totalsystemene ble satt opp med dette. Kapittel 4.1 omhandler prosessen i sin helhet.
- c. Det ble innhentet nødvendig informasjon og bakgrunnsstoff til praktiske løsninger for å kunne ta en felles kvalifisert avgjørelse på hvilke totalsystemer som lar seg gjennomføre. Dette kunne innebære: design, komponentleverandører, kvalitet på komponentene, pris og leveringstid.
- d. En sjekk ble gjort på hvorvidt totalsystemene var innenfor rammevilkårene.
- e. En prioritering ble så gjort av hvilke totalsystemer som skal vurderes videre, se vedlegg E.6.
- f. Bestilling av relevant del ble gjennomført. Ideelt sett skulle komponentene blitt bestilt etter punkt (b.) under «andre møte», men grunnet korona og usikker leveringstid ble det holdt et telefonmøte mellom studenten og Ådne Einemo hvor det ble enighet om hvilket totalsystem det burde satses på. I den forbindelse ble det gitt grønt lys for bestilling av en spjeldventil som trengte modifisering og dermed var ønsket så fort som mulig. Andre møte ble da mer en formalitet, men likevel gjennomført.

Andre møte:

- a. Det var egentlig meningen å måle hvert totalsystem etter Ideality (Haines-Gadd, 2016, s. 261). For denne oppgaven ble det heller valgt å ta utgangspunkt i boka Prosjektarbeid (Westerhagen, 2018), se kapittel 2.1.3, da fremgangsmåten der er bedre beskrevet. Rangeringen ble gjort i fellesskap og kan i sin helhet observeres på vedlegg E.6.
- b. En begrunnet avgjørelse for hvorfor det ene totalsystemet ble valgt ble påbegynt, men gjort ferdig i etterkant av møte. I begrunnelsen hadde rangeringen fra punktet over mye å si, men det ble også foretatt en kvalitativ vurdering.

Bestilling av komponenter ble nå iverksatt. Det var flere leverandører som bare fikk bestilling på en komponent, men av AVK trengtes flere. Sistnevnte var i forbindelse med et kammer, hvor hovedkomponentene var bestemt, men sammenstillingen ukjent. AVK ble konsultert og flensbolter med tilhørende muttere, skiver og armerte pakninger til sammenstillingen ble bestilt.

Komponentene ble enten bestilt til Hafslund Eco sitt verksted eller studenten sin hjemstedsadresse i Oslo. Av de som ble sendt til Oslo nevnes spesielt spjeldventilen (fra punkt (f.) under «forberedelser til andre møte») og en blindflens.

3.1.3 Beregningsfasen

Først ble det laget en design FMEA (Quality-One, u.å.) for å hindre enkle feil og svakheter. Videre var opprinnelig tanken at materialet og endelig design på kammeret skulle bestemmes ved beregninger. Dette ble ikke nødvendig da kammeret ble satt sammen av modifiserte standardkomponenter fra AVK.

Det det ble behov for var beregning av flenseboltene. Disse ble forsøk beregnet i SW, uten å få valide resultater. Løsningen ble håndberegninger hvor belastning fra ekstra bøyemoment ble målt mot overdimensjonert kammer, se vedlegg A.2. Arbeidet i SW var ikke helt forgjeves siden endel av 3D-modellene fra boltberegningen kunne brukes i fremstillingen av sammenstillingstegninger (kapittel 4.3 og 4.3.5).

Det ble også behov for beregning av en aksling som fra AVK var en del av spjeldventilen. Grunnen var en modifikasjon som gjorde den svakere. Beregningen ble i sin helhet utført i SW og funnet valid opp mot håndberegning, se vedlegg A.3.

Dreierverkstedet Strømmen Dreieverksted A/S (Dreieverksted, u.å.), ble kontaktet og nødvendig modifisering av aksling fra spjeldventil og blindflens utført. Dette utfra tegninger laget i SW (vedlegg G). Tidspunktet for modifiseringen ble noe forskjøvet da forsendelsen fra AVK tok lengre tid enn planlagt.

ROV-system var egentlig tenkt bestilt etter modifiseringen av spjeldventil og blindflens, dette for å unngå et kjøp dersom modifiseringen mislyktes. Grunnet dårlig tid og et ønske om mulig ettersending av feilvare, ble ROV-system likevel kjøpt inn før ferdig modifisering. Kjøpet skjedde i samråd med Hafslund Eco.

3.1.4 Testfasen

I testfasen ble det gjennomført en felttest av ferdig design for å kunne evaluere funksjonaliteten. Som en forberedelse ble sammenstillingen av komponentene gjort på Hafslund Eco sitt verksted. Før testen, ble det også utført en sikker jobb analyse (SJA, vedlegg D.4), for å avdekke risiko. Dette med bakgrunn i Hafslund Eco sitt dokument «Instruks for sikkerhet i vannvei» og studenten sitt eget ønske.

3.1.5 Konklusjonsfasen

Her ble det først skrevet en analyse av endelig design, felttest, løsning målt mot miljø og gjennomføringen totalt. Deretter ble det skrevet en liste over mulig videre FoU-arbeid før endelig konklusjon.

3.2 Etikk

I løpet av arbeidet med oppgaven har det etiske perspektivet blitt ivaretatt gjennom fokus på håndtering av sensitiv informasjon i henhold til undertegnet taushetserklæring, samt respektfull kommunikasjon og transparens overfor aktører involvert.

Ved møter med NTNU-veileder og Hafslund Eco har det blitt laget referat for å synliggjøre hva de har svart.

Ved e-postkorrespondanse med andre, har det blitt innhentet bekreftelse på at det er greit å referere til disse. Om det er etterspurt tekst for å se sitater, har dette blitt oversendt.

3.3 Software som er brukt i oppgaven

3.3.1 SolidWorks

SolidWorks (SW) versjon: student edition 2020-2021, er et kraftig Computer-Aided Design program (CAD-program) som muliggjør tegning i 3D. Det kan også gjøres Finite Element Analysis (FEA) i dette programmet, som vil si at den kan beregne hvorvidt en komponent tåler gitte konstruerte belastninger (det er i stor grad fremgangsmetoden for FEA som er beskrevet i kapittel 2.2.4). Fordelen med dette er at design og materialvalg kan utforskes på ett tidlig stadium, uten å bruke tid på en prototype. En annen fordel SW gir, er muligheten til å lage arbeidstegninger. I denne oppgaven er programmet brukt på alle de overnevnte måtene.

3.3.2 Andre programmer

Her er det ramset opp de andre programmene som er benyttet under arbeidet med oppgaven:

- a. MindManager versjon: 13.0.181, er brukt i forbindelse med idémyldringsprosess. Det gis i programmet lett mulighet for å lage tankekart.

- b. Microsoft Word versjon: 16.42, er brukt som skriveprogram.
- c. Microsoft ExCel versjon: 16.42, er brukt til å lage tabeller.
- d. Microsoft Teams versjon: 1.2.00.33671
- e. EndNote X9 er brukt som referanse program.

4 Resultat

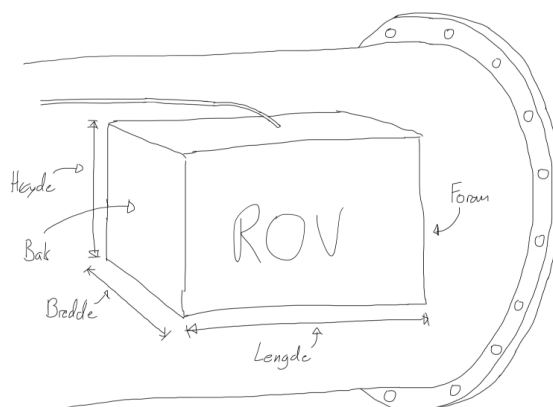
I denne delen av oppgaven vil vurderingsgrunnlaget og vurderingene gjort i forbindelse med valg av ROV beskrives initialt (kapittel 4.1), før tilsvarende beskrivelse for valg av totalsystemet følger (kapittel 4.2). Videre vil valgt totalsystem beskrives mer detaljert (kapittel 4.3) før felttesten av det samme totalsystemet (kapittel 4.4).

4.1 ROV-system

4.1.1 Valg av aktuelle ROV-systemer

22 aktuelle ROV-systemer ble funnet på nett, se vedlegg E.2. Det er i vedlegget ikke fullstendig informasjon om alle systemene, ettersom noen viste seg raskt ikke å være innenfor kriteriene beskrevet under. De ble da markert med rødt.

Det første kriteriet systemene ble målt mot var maksimal dybde eller mVS. Kriteriet her er 100 m, kapittel 1.5.2i.



Figur 4.1: Ytre dimensjoner på ROV

Det neste kriteriet gikk på ROV-ens ytre dimensjoner (figur 4.1) målt mot minste diameter i tømmerøret, $\varnothing 300$ mm (figur 1.8). Her ble Pytagoras' setning benyttet. Katetene blir byttet ut

med den største høyden og lengste bredden på ROV-en. Dersom roten av hypotenusen er over 300, blir systemet rødmerket. Om svaret er rett over 300, blir designet på ROV-en studert nøyere. Dette siden estimeringen antar et helt firkantet ROV-design, uten avrundede hjørner. Systemer som består «Mål mot Ø300» kriteriet, merkes grønt.

Det siste kriteriet for ROV-systemet er satt i forbindelse med betingelsen om «ikke tilgang på strøm nær arbeidsstedet», nevnt i kapittel 1.5.2c. ROV-systemer som ikke går på batteri, velges derfor bort. Det ville latt seg ordne med aggregat på utsiden av tunnelen eller muligens en omformer fra bilbatteri, men ROV-systemet skal også være lett å koble opp (kapittel 1.5.2b).

De alternative ROV-systemene vi da sitter igjen med fra vedlegg E.2 er system #1, #12 og #22

4.1.2 Valget av ROV-system

De tre ROV-systemene som besto kriteriene i kapittel 4.1.1 er beskrevet i tabell 4.1 (neste side). Her er utvalgte egenskaper hentet ut fra vedlegg E.2 og det foretrukne alternativet for den enkelte egenskap merket grønt. Egenskapene uten merking er enten: ikke relevant i forhold til hva ROV-en skal brukes til, forskjellene mellom systemene er uvesentlige, eller informasjonen er noe usikker. Nettsidene informasjonen er hentet fra er listet opp i vedlegg E.2 og prisene på ROV-systemene, fra samme vedlegg, er gjort om til norske kroner med utgangspunkt i en dollarkurs på 8,5 kroner og pundkurs på 11,5 kroner.

Gladius mini V4 fra Chasing skiller seg ut som det beste alternativet. Her er det flere ting å trekke frem fra tabell 4.1. Den største fordelen er antallet og plasseringen av Truster som muliggjør pitchlås. Dette betyr at Gladius mini kan vinkle seg slik at den ser 45° oppover eller nedover, se øverst i høyre hjørne av tabell 4.1. En stor fordel ved inspeksjon av heng (tak) eller såle (gulv) i vannveiene. Ellers kan både sterke lys, dimbare lys, lav pris og lavest vekt nevnes. De eneste egenskapene som er noe å utsette på ROV-en fra Chasing opp mot de andre to i tabell 4.1 er: tilgjengelig kjøretid, at Wifi-overføring må kjøpes ekstra, og fysisk lengde. Sistnevnte vil gi behov for mer plass i det endelige totalsystemet.

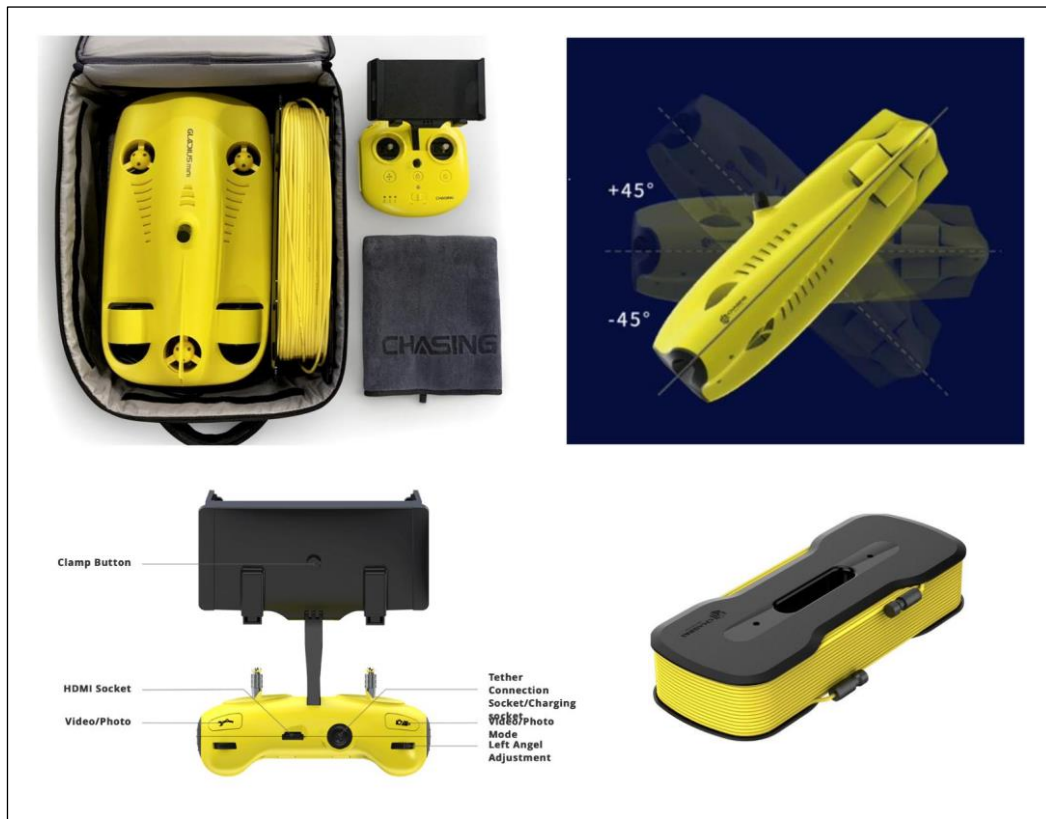
ROV-system nummer	#1	#12	#22
Produsent	Chasing (Kina)	Sofar (USA)	SVIIT (kina)
Navn på ROV-system	Gladius mini	Trident	CCROV
Pris	14.190 kr	12.707 kr*	51.750 kr*
Kamera	4K	HD low light	4K
VR-brille kompatibel	ja		ja
Dybdelås	ja		ja
Sensorer	3 akse gyro og akselerometer	3 gyro, 3 akselerometer, 3 akse magnometer, dybdesensor	Dybde og temperatur
Pitchlås	+/- 45grader	Pitcher ikke	Pitcher ikke
Se live-bilde på flere enheter	ja		
Lengde (mm)	385	410	208
Bredde (mm)	226	205	204
Høyde (mm)	112,5	86	158
Tether montert	Topp	Topp	Bak
Mål mot Ø300	252,46	222,31	258,04
Max dybde	100m	100m	100m
Batteri	5000mAh		2850mAh
Gjennomsnittlig kjøretid	1,5-2 timer	3-4 timer	1 time
Vekt i luft	2,3 kg	3,4 kg	5,5kg
Signaloverføring til controller	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Wifi	Wifi
Basestasjon vekt	685 g		Mobiltelefon
Max hastighet	7,24 km/t	7,2 km/t	3,6 km/t
Thrusterer	3 vertikal, 2 fwd	En vertikal, 2 fwd	2 vertikaler, 4 fwd/lateral
Lys	2x 1200 lumen	360 lumen	4x350 lumen
Dimbare lys	Ja		
Max tether lengde	100m	100m	95m
Tetherbruddstyrke	980N	980N	?

*Uten frakt og toll

Tabell 4.1: Sammenligning av tre ROV-systemer

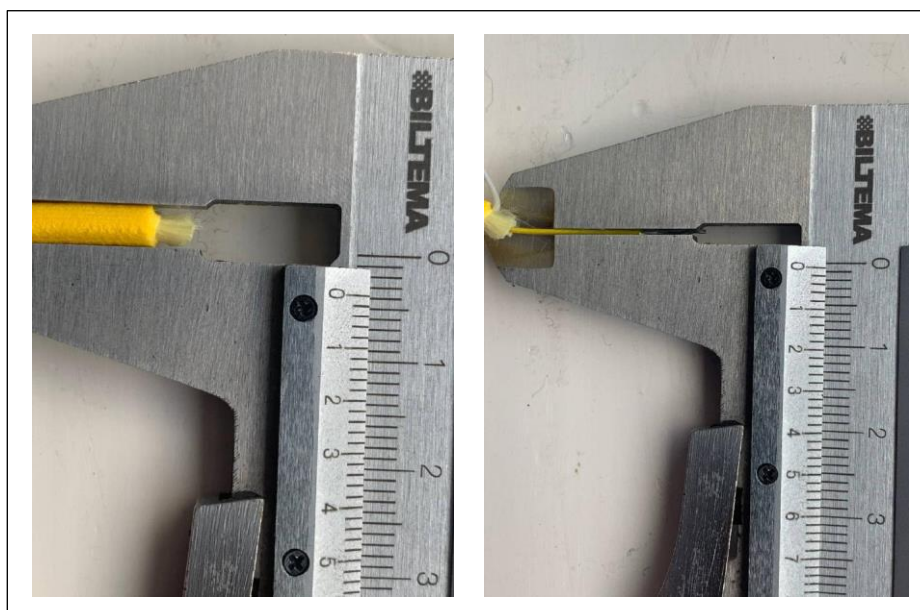
4.1.3 ROV-systemet Gladius mini V4, fra Chasing

Forhandleren av Gladius mini i Norge er det Grimstadbaserte selskapet EleFun. De tilbyr en versjon med innhold likt det som er øverst til venstre av figur 4.2 (neste side). De selger kun systemer med 100 m tether. Denne kommer, som vist nede til høyre, i samme figur. For å få systemet til å fungere må tether kobles i toppen av ROV-en og på baksiden av controlleren, tilkoblingspunkt på sistnevnte er vist nede til venstre på figur 4.2.



Figur 4.2: Gladius mini V4, det du får ved kjøp (Elefun, u.å., Chasing, u.å.-a)

Tether-dimensjonene er som vist på figur 4.3 hvor det påvises at diameteren hele tether er $\varnothing 4$ mm (til venstre på figuren). I denne går det to ledere på $\varnothing 0,6$ mm hver (til høyre på figuren).



Figur 4.3: Mål på tether (venstre). Mål på ledere i tether (høyre). Foto: Elefun verkstedarbeider.

4.2 Valget av totalsystem

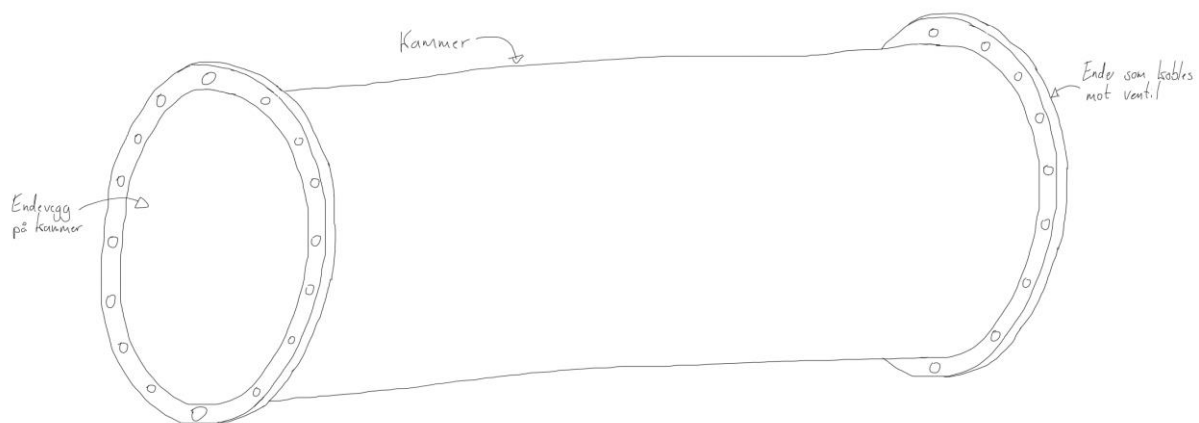
Dette er et resultat av konseptfasen beskrevet i kapittel 3.1.2. I idémyldringsprosessen ble det etablert at hoved Benefit, eller den overordnede fordelten med systemet, er å «muliggjøre inspeksjon av vannside i tunneler». Det ble også etablert at det høyeste målet til systemet er «enkel og rimelig metode for inspeksjon». En oversikt over funnene i idémyldringsprosessen finnes på vedlegg E.4. Her er de ønskede Benefits listet opp i kolonne én, funksjonene til hver Benefit listet i kolonne to, praktiske løsninger til hver funksjon i kolonne tre, Harms til hver praktisk løsning i kolonne fire og henvisninger til reelle praktiske løsninger i kolonne fem. De reelle praktiske løsningene var ikke en del av idémyldringsprosessen, men er funnet i ettertid som del av møteforberedelsene beskrevet i kapittel 3.1.2.

Under møteforberedelsene ble det også laget en matrise på tolv ulike totalsystemer basert på de reelle praktiske løsningene, se vedlegg E.5. Av disse ble det valgt ut tre totalsystemene tilknyttet mest tiltro: #1, #2/#3 og #11/#12. Grønne felt indikerer at alle alternativene har samme valgte løsning.

4.2.1 Felles for totalsystemalternativene

Totalsystemoversikten i vedlegg E.5 viser at det er flere praktiske løsninger som er like for alle alternativene. Det går her gjennom det som er felles i de aktuelle totalsystemalternativene.

- a. Kammeret (figur 4.4 neste side), som skal kobles til sluseventilen, er for alle totalsystemene valgt å være sirkulær, og med samme dimensjon som sluseventilen. Valget ble først og fremst tatt med bakgrunn i tilgang på råmaterialer, hvor Hafslund Eco informerer om en lettere tilgang på rør enn firkantede profiler. I tillegg tåler firkantede profiler trykk dårligere, og må derfor forsterkes, noe som igjen fører til ekstra vekt. Videre vil det potensielt bli mer arbeid med firkantet profil, da denne må påberegnes ekstra sveisejobb for overgang til den sirkulære sluseventilen.



Figur 4.4: Kammer som kobles til sluseventilen

- b. Alle totalsystemalternativene vil søke å ha kortest mulig total kammerlengde. Grunnen er fleksibilitet til bruk på andre lokasjoner enn denne oppgaven tar for seg.
- c. Det er besluttet at alt utstyr vil være batteridrevet, da det er viktig at systemet ikke slipper ut CO² på arbeidstedet. Se rammebetingelser i kapittel 1.5.2c. Det valgte ROV-systemet går på batteri, se kapittel 4.1.2. Som arbeidslys i tverrslaget vil det bli brukt hodelykter, eventuelt flyttbart arbeidslys som også går batteri.
- d. Det er kabeloverføring fra kammeret til controller. Figur 4.5, figur 4.6 og figur 4.7 viser dette for det enkelte totalsystem. Bakgrunnen for dette er knyttet til valget av Gladius mini som ROV. Det er mulig å kjøpe en tilleggs pakke for trådløs overføring av signaler (Chasing, u.å.-b). Da kobles kabelen ut fra kammeret inn i en spesiallaget ruter som kommuniserer med medfølgende ny controller. Det er valgt å ikke kjøpe inn dette, tross økt komfort, for å holde kostnadene minimale på dette prototype prosjektet.
- e. Små kuleventiler er installert i øvre og nedre ende av endeplaten på kammeret. Disse er markert som kran og gulfarget i figur 4.5, figur 4.6 og figur 4.7. Ved å ha en kran oppe for luftinntak, vil hele arealet av kranen nede kan benyttes til dreneringen. Ved en slik bruk at to kraner vil en oppnå raskere tømning av kammer for vann en ved bruken av bare en kran.
- f. Bolter er brukt i sammenføyningen av kammer og sluseventil samt de andre komponentene kammeret eventuelt består av. Det er ikke brukt ressurser på å finne alternative løsninger.

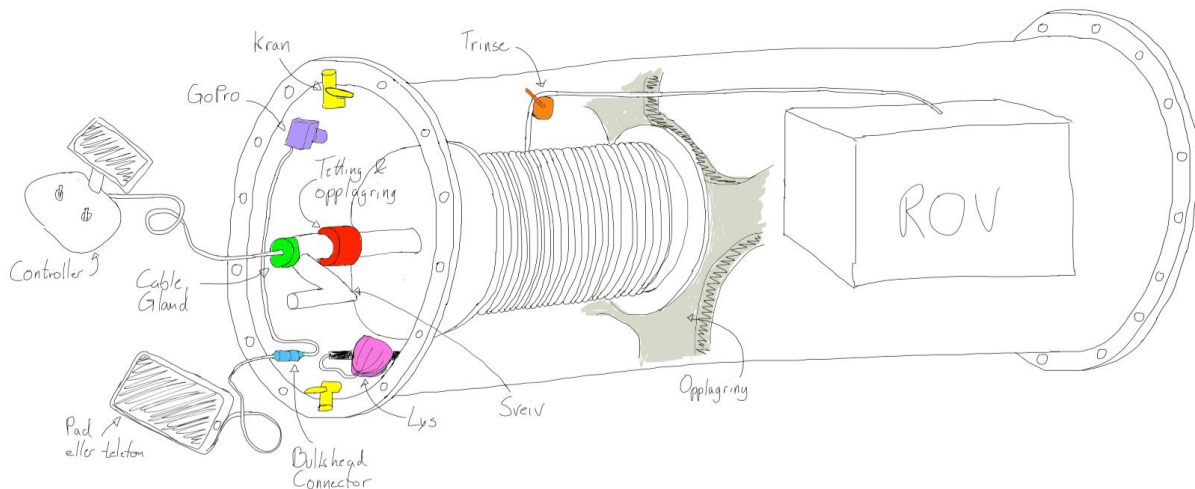
- g. Det er for alle systemene en redundancy plan under ROV-operasjoner for å unngå at ROV forsvinner ned i trykksjakta dersom noe skulle gå galt. Ved å legge på ekstra ballast (figur 1.4), på bekostning av motorkapasitet, vil ROV synke ned og bli liggende i vanntunnelen.
- h. Lagring av tether vil skje på trommel. Den enden av tether som er koblet til controller går inn gjennom et hull midt på trommelen/akslingen, før den ligger spunnet på akslingen og er koblet til ROV-en.
- i. Tether-spolingen på trommelen er overvåket for å unngå kiling. Dette blir gjort på to måter. Den ene måten er å ha en GoPro med kabel (Haines, 2020) til ekstern skjerm, og en hodelykt, originalt ment for dykkere, som belysning i kammeret. Den andre måten er en transparent endevegg som muliggjør direkte innsyn på spolingen hvorpå det ikke trengs lys i kammer.
- j. Bulkhead Connector er brukt i kammergjennomføringene. Dette er en type tetning hvor det blir en kobling i overgangen mellom vann- og luftside av kammeret (TeledyneMarine, u.å.). ROV-pilot tekniker Peter Baastad kan opplyse om at dette er en metode brukt på ROV offshore og som tåler 3000 meters dyp. Fordelen med denne metoden er muligheten til frakobling av utstyr som ønskes liggende igjen i kammeret dersom endeveggen skal av. Dette lar seg ikke gjøre på samme vis med tetningsmetoder hvor kablen er hel i gjennomføringen. I tillegg knyttes det tillit til metoden da den er brukt med suksess på store vanddyp i offshore industrien.

4.2.2 Totalsystem #1

Figur 4.5 (neste side) illustrer systemet i sin helhet. Systemet er operert ved en manuell sveiv som gir tether til ROV-en via en trinse i kammertaket. Den andre enden av tether går gjennom akslingen til Controlleren som i sin tur gir styresignaler til ROV-en.

En sentral utfordring med designet som må løses er hvordan Polyoxymetylenopplagringen (POM-opplagringen, grå på figuren) skal lages og festes. Andre utfordringer er trommelen med aksling som må konstrueres, og det må antakeligvis være mulig å ta av sveiv for å muliggjøre

montering og demontering av endeveggen. Samspillet mellom tetning (rød) og aksling for å få det tett, vil også være utfordrende.



Figur 4.5: Totalsystem #1

- a. Trommelen med tether er plassert parallelt med kammeret. Det antas at dette er den enkleste måten å få til en god opplagring av trommelen og samtidig få god tetting rundt akselen i kammergjennomføringen. Alternativ montering er nitti grader på kammerretningen, med påfølgende utfordringer knyttet til opplagring og tetting i den buede kammerveggen. Etter en telefonsamtale med bedriften Castro Autogen 15. februar, ble det klart at det da antagelig ville blitt nødvendig å sveise på ekstra materiale eller lignende i gjennomføringen.

Mulig blir volumet rundt trommelen bedre utnyttet med den parallelle trommelen, da hele trommelbredden kan ha mer tether på. Ulempene med parallell trommel er å finne lager som kan stå i vann og tetning rundt akslingen (rød på figur 4.5) som tåler vanntrykket i kammeret. Sistnevnte vil kreve et samspill med utførelsen av overflaten på akslingen.

- b. Som inn- og utspoling benyttes en manuell sveiv i forlengelsen av akslingen. Løsningen blir vurdert som driftssikker da den er manuell og med enkle mekaniske komponenter. Den gir også totalsystemet en økt redundancy ved at ROV-en kan spoles inn manuelt dersom all strømtilførsel skulle forsvinne. Økningen kommer i tillegg til det nevnt i kapittel 4.2.1g.
- c. Tetningen rundt tether ut fra akslingen skjer ved bruk av Cable Gland (lysegrønn på figur 4.5). Anordningen skrues inn i akslingen og tetter ved å klemme en gummipakning

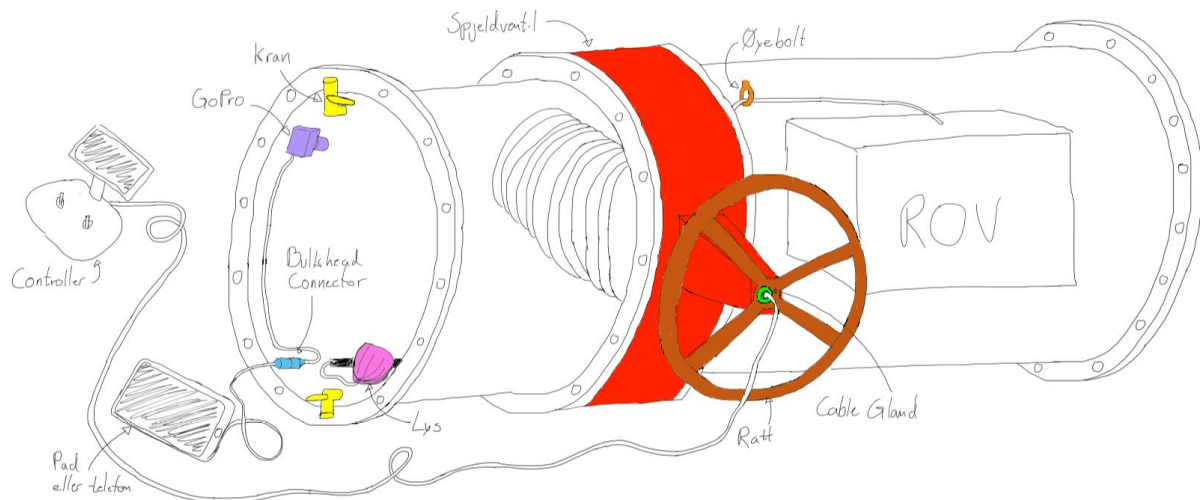
mot tether, bedre beskrevet i kapittel 4.3.3g. Metoden gir en ubrutt kabel i gjennomføringen og krever ikke en tilkobling på vannsiden, slik som med Bulkhead Connector, kapittel 4.2.1j. Grunnet dette ville ikke vært plass til en Bulkhead Connector i akslingen, noe som favoriserer valget av Cable Gland.

- d. Guiding av tether på trommelen skjer ved en trinse (oransje på figur 4.5). Trinsene er valgt for å minimere friksjon da vinkelendringen på tether er forholdsvis stor. Ulempen er behovet for å finne en trinse som tåler vann.
- e. Kammeret er et flenserør i metall av standard DN300 PN16 og med en flens i PN25. Ved å bestille dette fra AVK blir det brukt mindre tid på beregninger og praktisk arbeid med konstruksjon. Ulempen er at vekten antagelig blir høyere enn om en hadde benyttet et spesialtilpasset flenserør. Antagelig vil et flenserør med lengde 1000 mm bli benyttet. Et slikt veier 84 kg (AVK, u.å.-c).
- f. Endeveggen tar utgangspunkt i en blindflens i metall fra AVK, med standard DN300 PN16. Hull blir laget for gjennomføringer og opplagring. Opplagringen og tetningen rundt akslingen bygger antagelig mer enn tykkelsen på blindflensen. Det blir i så fall nødvendig å sveise på mer gods. På grunn av belastningene i forbindelse med opplagring er det valgt å benytte metall i endeveggen.
- g. Totalsystemet er mulig å separere. ROV-en kan frakobles med skrukobling til tether. Antagelig vil sveiv måtte demonteres før først endeveggen og så trommelen vil kunne tas ut. Om kammeret veier 80 kg vil det bli behov for en løfteanordning ved tilkobling og transport, kapittel 1.5.2e. Hvis det først skal brukes en løfteanordning er det ikke noe poeng i å separere kammeret for å gjøre det lettere i vekt.

4.2.3 Totalsystem #2/#3

Totalsystemet er vist på figur 4.6 (neste side). Dette er to totalsystemer som er like bortsett fra endeveggen, som er transparent i system #3, og i metall for system #2. Utdyping av endeveggens ulikhetsbetydning er beskrevet i kapittel 4.2.1i.

Sentralt i denne løsningen er spjeldventilen til AVK vedlegg F.2, hvor selve spjeldet på akslingen fjernes og erstattes med tether. Den største utfordringen blir å bore hull i akslingen på spjeldventilen for gjennomføring av tether.



Figur 4.6: Totalsystem #2/#3

- a. Trommelen er plassert 90 grader på kammeret. Dette som et resultat av utformingen på spjeldventilen. Det medfører også at det ikke er behov for å lage noen trommel, da tether spoles rett på akslingen. Utfordringen ligger i å bore hull i akslingen slik at tether kan tres gjennom denne.
- b. Inn- og utspoling skjer med et ratt (brunt figur 4.6) montert på enden av spjeldventilen. Størrelsen på rattet må beregnes slik at tether-trommelen lett kan opereres, men samtidig være følsom for bruddstyrken til tether. Konstruksjon av rattet vil kreve ressurser, noe som er en ulempe. Fordelen med ratt er redundancy ved at ROV manuelt kan dras inn i kammeret om strømtilførselen forsvinner. Dette i tillegg til kapittel 4.2.1g.
- c. Tetningen rundt tether skjer på samme måte som for totalsystem #1, se kapittel 4.2.2c.
- d. Som guiding på trommelen er det brukt en øyebolt. Løsningen er vedlikeholdsfri og lett anskaffet. Det vil kunne oppstå friksjon mellom tether og øyebolt, men en eventuell friksjon antas å være lav. Det blir likevel lagt vekt på å anskaffe en øyebolt med glatt overflate.
- e. Kammeret er i metall da det er satt sammen av flenserør fra AVK. Nærmest sluseventilen er det et spesiallaget 600 mm DN300 PN16 plassert med en PN25-flens

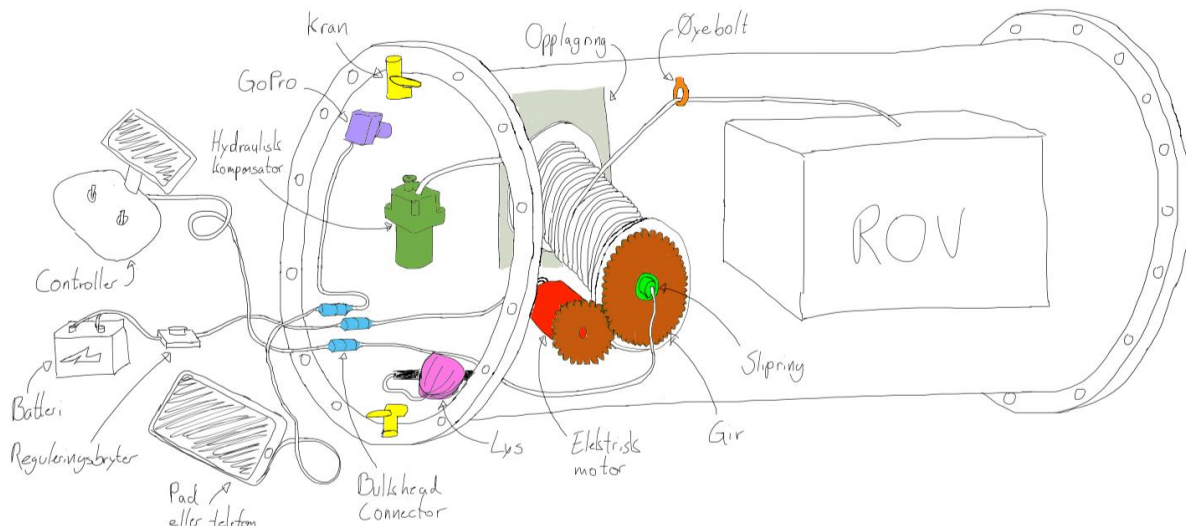
mot sluseventilen. Vekt på flenserøret har en antatt vekt på 65 kg utfra vekt på andre flenserør lengder (AVK, u.å.-c). Så kommer en spjeldventil på 32 kg, med spjeld, og til slutt et 200 mm DN300 PN16-flenserør på 20 kg. De to siste finnes på AVK sine sider (AVK, u.å.-c). Totalvekten av kammeret er høyere enn for totalsystem #1 og #11/#12, og flere sammenkoblinger gir flere mulige punkter for lekkasje. Begge deler er ulemper.

- f. Endeveggen for system #2 er en blindflens i metall med standard DN300 PN16 fra AVK, og for system #3 i transparent materiale. Transparent materialet vil gi mindre vekt og en slipper gjennomføringer i endeveggen til GoPro, se kapittel 4.2.1i. Ulempene med den transparente løsningen er å finne et egnet materialet som tåler det aktuelle trykket (kapittel 1.5.2i) ved åpen sluseventil.
- g. Både totalsystem #2 og #3 er mulig å ha oppdelt i tre lett sammensatte moduler: 600 mm flenserør som en del; spjeldventil med tether (se punkt (e.) over), 200mm flenserør og endevegg som en annen; ROV som den siste modulen. Antagelig vil vekten på de to kammermodulene være på rundt 65 kg noe som er 15 kg mer enn det er anbefalt å løfte for to personer, kapittel 1.5.2e.

4.2.4 Totalsystem #11/#12

Totalsystemene, #11 og #12, vises i figur 4.7 (neste side). Dette er to totalsystemer som er like med unntak av endeveggen og observasjonsmetode. System #11 har endevegg av metall og system #12 har i transparent materiale. Utdyping av endeveggens ulikhetsbetydning er beskrevet i kapittel 4.2.1i.

Reguleringsbryteren gir spenning fra batteriet til den elektriske motoren, som via et gir driver trommelen rundt. For at tether ikke skal floke seg til mellom aksling og endevegg benyttes det en slistring (lysegrønn på figuren), se punkt (b.) under. Denne er fylt med olje for å tåle vanntrykket, derav den hydrauliske kompensatoren (mørkegrønn på figuren). Den største utfordringen blir antagelig å finne en god elektrisk motor, riktig giring og strømkilde til det valgte systemet. Andre utfordringer er: opplagringsplate (grå på figuren) av POM i hver ende av trommelen, trommelen skal lages med slistring i senter, og alle kabelgjennomføringene. Overganger og slanger i forbindelse med olje kompenseringssystemet må også finnes ut av.



Figur 4.7: Totalsystem #11/#12

- a. Trommelen er 90 grader på kammeret, for å lettere få til giring (brunt på figur 4.7). En POM-plate i hver ende (grå på figur 4.7) sørger for opplagring ettersom akslingen ikke går gjennom kammeret. Kvaliteten på overflaten til akslingen må være slik at den gir lite friksjon mot POM i opplagringen. Lagrene blir å regne som glidelager. Ulempene med løsningen er arbeidet med konstrueringen og installasjon av POM-platene, samt at trommelen må konstrueres og tilpasses slipring. Sistnevnte blir beskrevet i neste underpunkt.
- b. For å spole ut og inn tether opereres en reguleringsbryter som igjen gir spenning til en elektrisk motor. Ocean Robotics, som mellom annet leverer motorer til Kystdesign, ble kontaktet. CEO Niklas Wänström informerte på e-post datert 9. februar at de kun hadde aktuelle motorer av typen børsteløs, som har et høyt turtall med lavt start dreiemoment. Det ville vært behov for nedgiring og hastighetstyring via en data dersom disse skulle blitt brukt. Bare motoren koster kr 30.000.

I senter av trommelen er det montert en slipring. Dette for å unngå at tether, mellom trommel og Bulkhead Connector, skal floke seg i takt med trommelen. Technical Sales Engineer Paul Økland hos MacArtney sier på e-post datert 28. januar at slipring Model 180 (MOOG, u.å.) kunne passe. Prisen på denne vil komme på over kr 28.000. For at Model 180 skal kunne brukes på den aktuelle vanddybden, må den oljefylles og kompenseres (mørkegrønn på figur 4.7). Kystdesign har en 0,25 liter som skal passe

(Kystdesign, u.å.). I tillegg kommer overganger og slanger for å koble slipring til kompensator.

Ulempene er først og fremst at alle komponentene må bestilles og tilpasses hverandre. Prisen er også høyere enn totalsystemalternativene #1 og #2/#3. Antagelig vil det være mulig å bruke bilen som strømkilde til den elektriske motoren, men dette må forskes på.

- c. Tetting rundt tether skjer ved bruk av Bulkhead Connector, som beskrevet i kapittel 4.2.1j.
- d. Guiding av tether på trommelen skjer med øyebolt som for totalsystem #2/#3, se kapittel 4.2.3d.
- e. Kammeret er likt som for totalsystem #1 i en del, se kapittel 4.2.2e.
- f. Endeveggen er lik som for totalsystem #2/#3, se kapittel 4.2.3f, bortsett fra at både metall blindflens og det transparente materialet vil ha flere hull for Bulkhead Connectorer. Dette er det usikkerhet vedrørende om det transparente alternativet tåler, ekstra ressurser må påregnes for å finne riktig materiale.
- g. Separasjon av totalsystem #11 og #12 vil måtte skje på samme måte som for totalsystem #1, se kapittel 4.2.2g.

4.2.5 Score de tre valgte totalsystemene

Evalueringen av totalsystemene er beskrevet i vedlegg E.6, som bygger på vedlegg E.5. I vedlegg E.6 er rangtallet vekting ganget med verdi, hvor vekting og verdi er scoret fra 0-5. Høy score er ønskelig. Mer inngående forklaring er beskrevet i kapittel 2.1.3. Tabell 4.2 viser summen av rangtallene til hvert totalsystem samt rangeringen av disse.

Totalsystem:	#1	#2	#3	#11	#12
Sum rangtall:	157/235	180/235	186/235	131/235	137/235
Rangordning:	3	2	1	5	4

Tabell 4.2: Rangering av totalsystemene

Praktiske løsninger som er like for alle totalsystemene, er ikke blitt vurdert. I tillegg er det lagt til prisvurdering og skjønnsmessige vurderinger av driftssikkerhet. Driftssikkerhet er her en totalvurdering av sannsynligheten for feil under drift og behovet for vedlikehold. Høy score gir antatt lite sannsynlighet.

Det presiseres at linje 17 i vedlegg E.6 er en vurdering av hvor mye plass totalsystemet tar. Her er systemer med ratt og sveiv negativt.

4.2.6 Valget av totalsystem, med begrunnelse

Det valgte totalsystemet er system #3, altså det av totalsystem #2 og #3 som har en transparent endevegg. Valget kommer først og fremst som følge av resultatet fra kapittel 4.2.5 i kombinasjon med en god ROV fra kapittel 4.1.3. Resultatet av rangeringen (kapittel 4.2.5) støttes også av det høyeste målet for systemet som er: «enkel og rimelig metode for inspeksjon» (kapittel 4.2). Totalsystem #3 er det som treffer dette målet best med sine få komponenter og rimelige anskaffelse.

For alternativ #3 er det færre komponenter som må tilpasses og settes sammen i forhold til de andre alternativene, samt at komponentene som brukes gjør det til et vedlikeholdsvennlig system. Det passer også godt med mindre tilpassing med tanke på tiden til rådighet for å få til en ferdig prototype.

At kammeret er mulig å dele opp i moduler, og at de to tyngste antagelig veier under 65 kg, gjør vekten lavere å håndtere enn for de andre vurderte totalsystemene. Vekten er likevel høyere enn 50 kg som er den anbefalte vekten for to personer (Arbeidstilsynet, u.å.).

4.3 Endelig design, totalsystem #3

For å få kontroll på usikkerheter ved det endelige designet på totalsystemet, ble det laget en design FMEA. Denne er beskrevet i underkapittel 4.3.1 og er mye av grunnlaget for det endelige designet som er beskrevet i underkapittelet 4.3.2. Videre er de innkjøpte komponentene beskrevet nøyere (kapittel 4.3.3), før en kort kostnadsversikt (kapittel 4.3.4), og sammenstillingen beskrives til slutt (kapittel 4.3.5).

4.3.1 Design FMEA

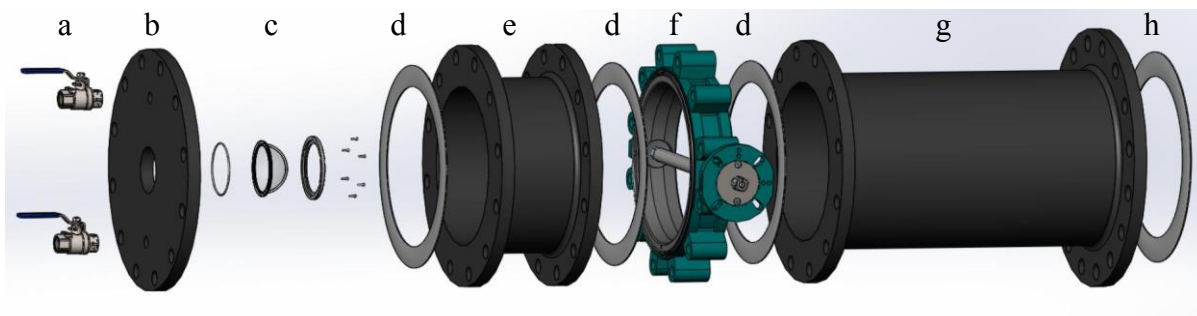
På tabell 4.3 er design FMEA for totalsystemet. Her er usikkerhetsmomenter ved designet tatt opp før endelig design ble spikret.

Referanse nr.	Navn på del/funksjon	Hva kan gå feil	Årsak til feil	Effekt på produkt	Sannsynlighet	Avorlighetsgrad	Risiko nivå	Tiltak	Sannsynlighet	Avorlighetsgrad	Risiko nivå
a	Bolter til flensene i kammeret	Bolt går i stykker og kammeret går fra hverandre	Bolt er feildimensjonert	Lekkasje eller at kammeret går fra hverandre	A	VI	H	Beregne disse boltene	A	II	L
b	— —	Hullbildet stemmer ikke mellom rørlens og sluseventil	Observert feil hullbilde	Kan ikke kobles til og dermed ikke brukbar	C	VI	U	Dobbeltsjekk flenstypen på sluseventilen	A	I	L
c	Flenserør lengder	Unødvendig vekt på kammeret	Det mer plass rundt tether trommelen enn nødvendig	Kammeret blir tyngre og ekstra hjelpemidler må tas i bruk	C	IV	H	Gjøre beregninger av hvilke lengder flensrørene må ha	A	II	L
d	— —	For liten plass til Tether	Flenserør er for korte så Tether går i ROV eller dom	Må ha kortere tether en betingelsene tilsier (kapittel 1.5.2a)	C	VI	U	———— —————	A	I	L
e	Tether	Ved på spoling kiler Tether seg	Tetheren ligger for tykt på inn mot den ene innerveggen til kammeret	Trommelen stopper og ROV må dytte resterende tether inn i kammeret før sluseventilen lukkes og kammeret kobles av	B	IV	M	Verifisere god spoling før praktisk test og bruk. Følge med på hvordan spoling går ved bruk. Eventuelt installere øyebolt som guiding på trommelen.	A	IV	L
f	— —	Tether må dyttes inn i kammer med ROV uten at den spoles på trommel	Trommelen har stanset	Det er ikke plass til tether i kammeret. Noe kabel vill bli kuttet bort i sluseventilen ved stenging av denne. Tether må erstattes før nytt oppdrag.	B	V	H	———— —————	A	V	M
g	— —	Tether trekkes ut av Cable Gland	Det er tilnærmet bare Cable Gland som holder igjen tether om all tether er kjørt ut	Cable Gland kan gå i stykker og vanntrykk kommer ut av enden på akslingen	B	V	H	Feste tether til aksling med strips slik at stripsen tar kreftene ved fullstendig utspoling	A	II	L
h	Øyebolt	Skaper problemer ved lagring av tether	Gir for mye friksjon mot tether på ved utkjøring av ROV	ROV klarer ikke kjøre ut tether og mister rekkevidde	C	V	H	Øyebolten må være stor nok slik at koblingen til ROV lett kan trekkes igjennom og øyeboten fjernes dersom den virker mot sin hensikt. Mister da guiding av tether på trommelen.	A	III	M
i	Aksling i spjeldventil	Skade på tether der den går ut midt på akslingen	Skarp kant ut av hullet	Skade som over tid fører til brudd av signal mellom controller og ROV	D	III	H	Lage en avrunding på utgangshullet.	B	II	L

j	— —	Feil boring av akslingen	Dårlig kommunikasjon med dreierverksted	Feil type bor blir brukt eller hullet kommer ikke på riktig plass	D	VI	U	Komme med dataark på spjeldventil og lage tegning i SW på hva som ønskes gjort	B	IV	M
k	Kran	Galvanisk korrosjon	Ulike materialer mellom kran, koblinger og endevegg.	Vil over tid raskere oppstå lekkasje rund kranene	C	IV	M	Velge materiale på koblinger og kran som står i stil med spenningsrekke, se kapittel 2.3.2. Bruke Fluidfilm som beskyttelse mot fukt.	A	II	L
l	Lys	Det er ikke mulig å se hva som skjer i kammeret	Lyset er for svakt eller for sterkt	Det er ikke mulig å kontrollere god spoling av tether på trommelen. Trommelen kan kile seg.	C	IV	M	Gjøre en test på hvor strekt lyset er før kammeret testes for første gang	A	III	L
m	— —	Kommer i veien for ROV eller tether	Plassert på et dårlig sted i kammeret	Kluss med tether	C	IV	M	Teste plasseringen av lysene før kammeret testes for første gang	B	III	L

Tabell 4.3: Design FMEA

4.3.2 Beskrivelse av endelig design



Figur 4.8: Sammenstillingstegning

Totalsystem #3 er, grunnet status som prototype, forenklet i forhold til beskrivelsen i kapittel 4.2.3. Rattet er erstattet med en skiftenøkkel, som ikke kan påføres mer enn 12,7 Nm foruten moment for å overvinne friksjon. Dette gjelder ved ett lag med tether på trommelen og kan ved overskridelse ryke tether (vedlegg A.4). Øyebolten for guiding er droppet initialt, men behovet for montering blir revurdert under felttesten. Det er heller ikke kjøpt inn nye kraner, men gjenbrukt noen som Hafslund Eco har fra et annet prosjekt. Totalsystemet vises i figur 4.8, her uten flensbolter, ROV-system, lightstick, Cable Gland og øyebolt.

I tillegg til forenklingene nevnt over er endeveggen i dels transparent, dels metallisk materialet. En blindflens (figur 4.8b) fra AVK er laget til med ett hull i senter og to ett-tommers hull for kraner. I senterhullet er det påskrudd en transparent dom (figur 4.8c), som skal tåle 500 mV (kapittel 4.3.3c). Blindflensen er modifisert på Strømmen dreierverksted A/S (Dreierverksted, u.å.), beskrevet i vedlegg B.1, basert på arbeidstegningen (vedlegg G.1). Fordelen med den ovenfor beskrevne løsningen er å beholde funksjonaliteten med transparent materiale, samtidig

som tilkobling av kraner er uproblematisk. Sistnevnte grunnet innskruing i duktilt metall fremfor sprø plast.

Vekten til de to kammermodulene (kapittel 4.2.3g) er begge antatt å veie omtrent 65 kg utfra informasjon om innkjøpte deler i kapittel 4.3.3. Det må utvises forsiktighet ved behandling av disse da vekten overstiger den anbefalt løftmengde fra Arbeidstilsynet på 50 kg for to menn (Arbeidstilsynet, u.å.). Det bør vurderes om det er behov for tilrettelegging med oppbygging av planker eller paller ved montering til sluseventilen.

Siden domene ikke har så stor diameter, og dermed hindrer muligheten til både å se og lyse inn i kammeret samtidig, er det lagt inn lightstick i kammeret. Lightstick tar mindre plass enn en hodelykt (som skissert brukt i kapittel 4.2.1i), de lyser i alle retninger i motsetning til en hodelykt, men lyser svakere. Sistnevnte er uviktig da lysfølsom GoPro ikke skal brukes.

PN16-kvalitet er brukt på kammer da disse gir en ekstra sikkerhet sammenlignet med å velge PN10, som skulle holdt med tanke på rammebetingelsen i kapittel 1.5.2i. I tillegg viser det seg at PN16-komponentene har samme eller litt lavere vekt enn PN10 (AVK, u.å.-c).

Det forutsettes at AVK har boltene som det svakeste leddet i sine flenskoblinger, noe salgavdelingen ved Hanne Holla kan bekrefte. Det vil si at boltene vil gi seg før sveiser og material i flenserør eller spjeldventil, og at det da vil være overflødig å beregne sveiser og material dersom boltene holder. Det forutsettes da også at flensekoblingene, fra AVK sin side, ikke er beregnet for å tåle ekstra påført bøyemoment som fritthengende horisontale flenserør. Boltene i totalsystemet er derfor beregnet (FMEA tabell 4.3a) og funnet godkjent i vedlegg A.2.

4.3.3 Innkjøpte komponenter

Her følger en liste med de innkjøpte komponentene. Prisene på AVK-komponenter og kvalitet på bolter ble gitt per e-post fra salgavdelingen til AVK ved Hanne Holla.

- a. Kranene blir tatt fra verkstedet til Hafslund Eco, figur 4.8a. Gjengene på kranene er én tomme. Det spares investeringskostnader på prototypen ved å gjøre det på denne måten.

- b. Blindflens av type DN300 PN16, figur 4.8b. Kjøpt av AVK for kr 876 og veier 24 kg (AVK, u.å.-c). Denne blir modifisert for sammenkobling med dom samt to kraner. Beskrivelse av modifiseringen er å finne i vedlegg B.1.
- c. Dome End Cap (4 tommers serien) kjøpt fra BlueRobotics, figur 4.8c. Figur 4.9 viser et bilde av komponenten. Domen er ratet til 500 mVS og består av: transparent dom i et Acryl materiale (vedlegg G.3), en festering (sort på figur 4.9) i polykarbonat og 6 stykker M3 bolter i 12 mm lengde. Sistnevnte i rustfritt 316 (Bluerobotics, 2020). I tillegg er det kjøpt inn et o-ringsett til en verdi av 3 dollar (Bluerobotics, u.å.-c), som skal tette mot blindflensen. Totalpris med frakt: 67 dollar.

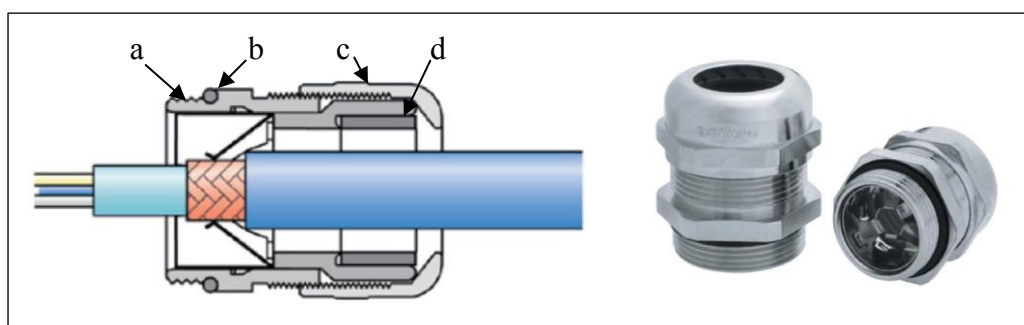


Figur 4.9: 4 tommers dom (Bluerobotics, u.å.-a)

- d. Flensrør med lengde 200 mm, DN300 PN16, se figur 4.8e. Denne er kjøpt av AVK for kr 5.823 og veier 20 kg (AVK, u.å.-c). Også her er lengden begrunnet i vedlegg A.1.
- e. Spjeldventil DN300 PN16 fra AVK, figur 4.8f. Denne er konstruert for 16 bars trykk og veier 32 kg med spjeld (vedlegg F.2). AVK sponset bacheloroppgaven med denne, men originalpris er i underkant av kr 10.000.
Selve spjeldet blir tatt bort og akslingen blir modifisert slik at tether kan tres ut gjennom denne. Modifiseringen er beskrevet på vedlegg B.2. Siden det fjernes materiale i akslingen blir den styrkeberegnet og funnet godkjent i vedlegg A.3.
- f. Flensrør av lengde 600 mm med kvalitet DN300 PN16, figur 4.8g. I den ene enden av røret er det en PN16-flens og i den andre en PN25. Flenserøret er kjøpt av AVK for kr 10.853.
Dette er ikke hylleware, men noe som ble spesialbestilt da tilkoblingsflensen mot sluseventilen er en PN25-flens med et avvikende hullbilde fra den for PN16 (ISO, 1988). Vekten er antatt til 65 kg ut ifra gitt vekt og lengde på andre flenserør hos AVK (AVK, u.å.-c)). Bakgrunnen for lengden finnes i vedlegg A.1.

- g. Cable Gland i messing av typen SKINTOP® MS-CS-M fra RS, pris kr 233. Denne er ratet til 10 bar (RS, 2020), noe som er i henhold til rammebetingelsene (kapittel 1.5.2i og f), men under maksimalnivået på testtidspunktet. Sistnevnte er opp mot 106 mVS, se kapittel 1.4.4. Siden differansen er liten blir aktuell Cable Gland likevel brukt. Avgjørelsen er tatt i samråd med Hafslund Eco.

Tetningen fungerer ved at del a, på figur 4.10, skrues inn i akslingen hvorpå o-ring b tetter. Tether tres igjennom og del c skrues ned på del a. Dette tvinger gummien (d) til å tette mot tether.



Figur 4.10: Cable Gland (RS, 2020)

- h. En pakke med 10 Snaplight lightstick fra Cyalume, pris: 30,17 dollar med avgifter og frakt. Lengde på hver lightstick er 6 tommer og skal lyse grønt i 12 timer. Produktet er kjemisk, men uten miljøgifter. Det står ikke noe om dybderate på nettsiden til produsenten (Cyalume, u.å.), men ROV-pilot tekniker Peter Baastad kan bekrefte at denne typen lighthstick blir brukt offshore av ROV på dypere enn 100 mVS. Figur 4.11 viser en lightstick.



Figur 4.11: Lightstick (Cyalume, u.å.)

- i. Armert pakning til DN300 PN16-flenskobling, fra Klinger, kjøpt av AVK, pris kr 130 per stykke. Pakningene skal brukes mellom flenserør og spjeldventil, samt blindflens (figur 4.8d). Vedlegg F.3 (tilsendt på e-post fra AVK sin salgsavdeling ved Hanne Holla 17. mars) viser tiltrekningsmoment på 220 Nm over de 12 boltene på flensen hvor pakningen blir brukt.
- j. Armert pakning til DN300 PN25-flenskobling, fra Klinger, kjøpt av AVK, pris kr 166. Denne skal brukes mellom tilkoblingen på sluseventilen og 600 mm flensrøret, se Figur 4.8h. Tiltrekningsmoment på de 16 aktuelle boltene finnes på vedlegg F.3 og leses til 275 Nm.
- k. Bolter, skiver og mutter til PN16-flens. Kjøpt hos AVK, på deres anbefaling, til totalt kr 963 for alle de aktuelle flensene. Boltene er M24x90 og etter standard ISO 4014 med en fasthetsklasse 8.8. Hanne Holla fra AVK informerer om at vekt på M24-bolt med tilhørende skiver og mutter er omtrent 0,5 kg.
- l. Bolter, skiver og mutter til PN25-flens. Kjøpt hos AVK, på deres anbefaling, til kr 941. Boltene er M27x100 etter ISO 4014 med en fasthetsklasse 8.8.
- m. Fluid Film fett (liquid AR) mot korrosjon, figur 4.12. Påsmøres på og rundt områder hvor overflatebehandling er fjernet på støpejernet og der det kan oppstå galvanisk korrosjon, gjelder både på innsiden og utsiden av kammeret. Den vil også bli brukt til smøring av o-ringer. Dataark finnes på Fluid Film sine nettsider (Film, u.å.). Pris med frakt kr 288.



Figur 4.12: Fluid Film fett, konsistens liquid AR (OJTorheim, u.å.)

- n. Elektrikertape til skjøting av tether, se kapittel 4.3.5f. Det ble brukt noe Hafslund Eco hadde liggende på verkstedet.

- o. En pakke med 100 strips til kr 60 fra Clas Ohlson (Ohlson, u.å.). Skal settes to strips rundt akslingen og tether, se kapittel 4.3.5g.

4.3.4 Kostnadsoversikt

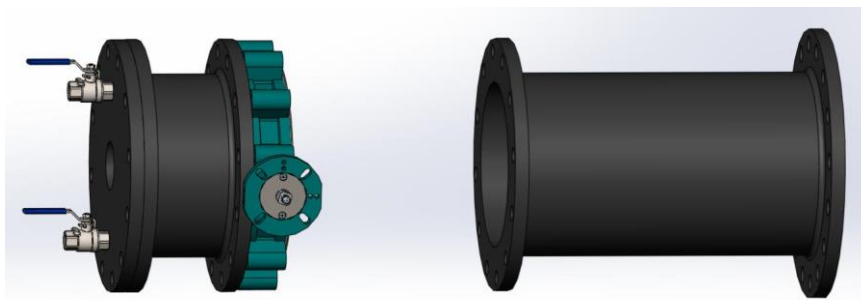
Tabell 4.4 tar utgangspunkt i en dollarkurs på 8,5 norske kroner.

Varer:	Pris:
Spjeldventil	kr 9 000
Flenserør 600 mm	kr 10 853
Flenserør 200 mm	kr 5 825
Blindflens	kr 876
Armert pakning PN16, 3 stykker	kr 390
Armert pakning PN25	kr 166
Bolter, mutter og skiver for alle PN16 flenser	kr 964
Bolter, mutter og skiver PN25	kr 941
Cable Gland	kr 233
Lightstick 10 pakk	kr 256
Fluid film	kr 288
Strips	kr 60
Dome og O-ringsett	kr 570
ROV Gladius mini	kr 14 190
Sekk til Gladius mini	kr 1 199
SUM:	kr 45 811
Tjenester:	
Modifisering av aksling og blindflens	kr 18 750
Total SUM:	kr 64 561

Tabell 4.4: Kostnadsoversikt

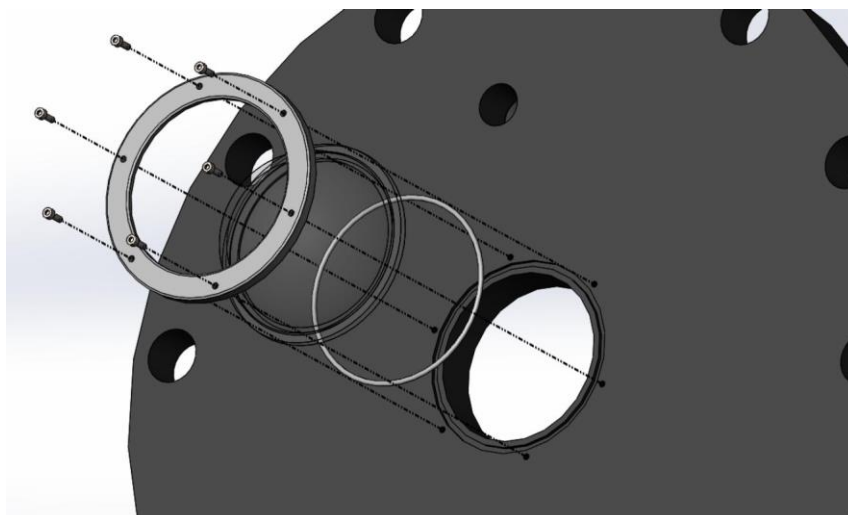
4.3.5 Sammenstillings beskrivelse

Her gjennomgås det en beskrivelse av hvordan totalsystemet skal settes sammen. Når alle punktene er fulgt vil en til slutt sitte med moduler klart for frakt. Modulene er disse tre: ROV og to kammermodulene (se figur 4.13). I tillegg kommer pakninger, bolter, muttere og skiver til en PN16- og en PN25-flens, samt en controller til ROV.



Figur 4.13: Kammer i moduler og klart for transport

- a. Smøre inn alle o-ringer med Fluid Film.
- b. Sette sammen blindflens og dom. Dette som vist på figur 4.14. Siden boltene er i rustfrittstål og blindflensen i duktilt støpejern, vil det over tid kunne oppstå galvanisk korrosjon. Boltene settes derfor inn med Fluid Film og bør sjekkes og ettersmøres etter en tid. Områder med bart metall skal også påsmøres Fluid Film. Boltene skal ikke dras til noe ekstra, da det er vanntrykket mot domens som sørger for nødvendig tetningstrykk.

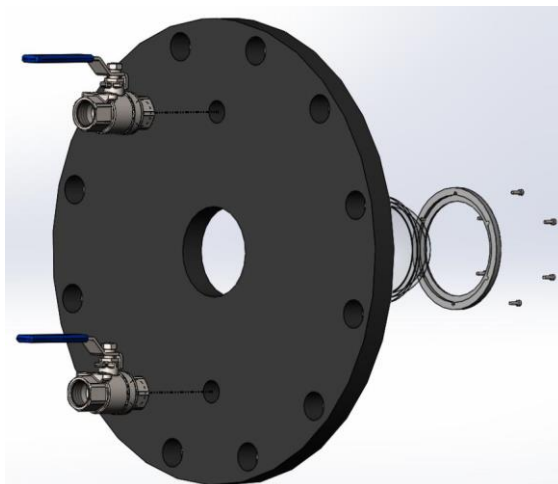


Figur 4.14: Sammenstilling av dom og blindflens

- c. Skru kranene inn i de to ett-tommers hullene laget i blindflensen, se figur 4.15. Smøres inn med Fluid Film fett på begge sider av kobling og særlig på de områdene som er av

krom. Dette med bakgrunn i galvanisk korrosjon (kapittel 2.3.2) og beskyttelse mot dette (kapittel 2.3.3).

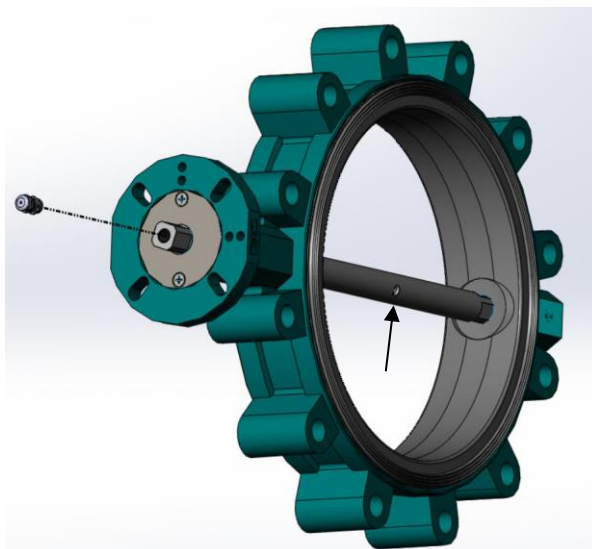
- d. Skru sammen blindflens og 200 mm flenserør med PN16-armertpakning mellom. M24-



Figur 4.15: Installasjon av kraner

boltene skal dras til med 220 Nm, vedlegg F.3.

- e. Skru Cabel Gland fast i enden på akslingen til spjeldventilen (ikke pil), se figur 4.16.
f. Klippe over tether 30 cm fra tilkoblingen til controlleren. Den avklippede enden føres



Figur 4.16: Installasjon av Cable Gland

igjennom hullet midt på akslingen (se pil på figur 4.16) og ut gjennom enden på akslingen og Cabel Gland. Trekk igjennom 2 meter og stram Cabel Gland, se kapittel 4.3.3g. Skjøt kablene sammen igjen med å vikle de to lederne hver for seg, gul med gul og hvit med hvit (figur 4.17). Teipe de så individuelt før en til slutt teiper begge

sammen. Lederne er nå adskilt fra hverandre og koblingen er sprutsikker. Dette er en veldig enkel måte å gjøre en kobling på og bør utbedres dersom prototypen blir en satsning videre. Ikke spol på tether enda.



Figur 4.17: Kabelskjøt

- g. Sett tether fast til akslingen med to plaststrips, se FMEA (tabell 4.3g). Stripsen festes slik at tether sentreres tilnærmet midt i kammeret, se figur 4.18.



Figur 4.18: Stripsing av tether

- h. Smør Fluid Film på Cable Gland. Siden Cable Gland er i messing og akslingen i rustfritt stål er det ikke stor fare for galvanisk korrosjon, se tabell 2.4. Vi smører likevel inn overgangsområdet med Fluid Film.
- i. Skru sammen 200 mm flenserør og spjeldventil med PN16-armertpakning mellom. M24-bolter skal trekkes til med 220 Nm, vedlegg F.3.

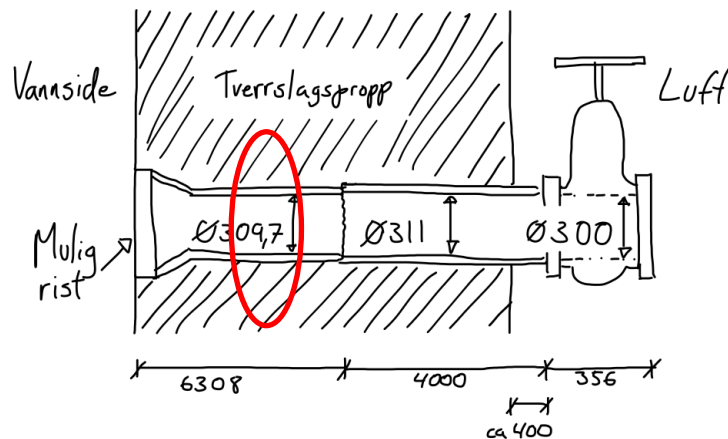
- j. Skru sammen 600 mm flenserør og spjeldventil slik som i punkt (i.).
- k. Spol så opp tether på akslingen.
- l. Koble til ROV og controller og test ROV-funksjoner.
- m. Legg inn lightstick og gjør en estimering på hvor mange som kan brukes uten at det forhindrer ROV eller trommel (FMEA tabell 4.3m), samt at det gir nok lys. Husk å teste med tilnærmet mørke lokaler.
- n. Koble fra ROV og controller.
- o. Separer kammeret mellom 600 mm flenserør og spjeldventil, se figur 4.13.

4.4 Felttest

Kammeret ble satt sammen 10. mai og testen utført 11. mai. Den noe sene testen kom av at Hafslund Eco hadde vedlikeholdsarbeid på testlokasjonen. I de neste underkapitlene beskrives testlokasjonen i kapittel 4.4.1, risikovurderingen tatt i forkant av testen i kapittel 4.4.2, arbeidsplanen på utførelsen av felttesten i kapittel 4.4.3, og til slutt gjennomføringen og funn i kapittel 4.4.4.

4.4.1 Testlokasjonen

Testlokasjonen ble den beskrevet i kapittel 1.4.4 med et vanntrykk på 77 mVS. Vannveiene ved lokasjonen ble tømt rett etter påske og en rist ble fjernet. Denne var plassert som antatt på figur 4.19 (neste side). Uheldigvis viste det seg å være en rist til som var støpt inn i tømmerøret litt lenger inn (i området med rød ring på figur 4.19). Denne lot seg ikke fjerne og skapte en begrensning på hvor langt inn ROV-en kunne komme.



Figur 4.19: Plassering av rist nummer 2

4.4.2 Risikovurdering

Det ble her tatt utgangspunkt i Hafslund Eco's dokument med nummer 1087713 revisjon 8, «Instruks for sikkerhet i vannvei». Kapittel 2.2 i denne instruksen omhandler arbeid i vannveier hvor det eksemplifiseres at kapittelet gjelder: «Når det skal gjøres ubemannede inspeksjoner av vannvei eller komponenter i vannvei med f.eks. ROV eller UAV». UAV står for Unmanned Aerial Vehicle og betegnelsen på en flygende drone.

I instruksen var det beskrevet at vedlikeholdsavdelingen til anlegget står ansvarlig for felttesten, og at vedlikeholdsleder utnevner Leder for arbeid i vannvei (LFAV). På felttesten ble dette Ådne Einemo (maskiningeniør). LFAV skal så utpeke Leder for sikkerhet i vannvei (LFSV), som ble Frode Bekkedal (industrimekaniker på reguleringsanlegg). Bekkedal var altså ansvarlig for sikkerheten under felttesten.

Med bakgrunn i at felttesten var arbeid som ikke tidligere er blitt utført, og at det da ikke finnes prosedyrer eller instruks fra tidligere, ble det i henhold til instruks for sikkerhet i vannvei laget en SJA (vedlegg D.4). Dette for å kartlegge mulig risiko ved utførelsen. Hafslund Eco supplerte og godkjente SJA-en og den ble gjennomgått av de involverte før felttest.

4.4.3 Arbeidsplan

Arbeidet starter med å montere sammen alle delene slik det er beskrevet i kapittel 4.3.5. Deretter gjelder det å sørge for at alt som skal til lokasjonen er med i bilen. Her er det viktig å blant annet få med seg verneutstyr, førstehjelpsutstyr og aktuelt verktøy. Det fokuseres også på å ha nok drivstoff på bilen slik at en ikke blir stående langt inne i fjellet uten mobildekning. I tillegg skal det være nok drivstoff slik at det er mulig å varme seg i bilen ved behov (SJA vedlegg D.4).

For å tilrettelegge for at ROV-en ikke skal sette seg fast i tømmerøret, skal sluseventilen åpnes for å skylle ut sedimenter og andre fremmedlegemer som kan forårsake dette. En god utskylning vil også gi bedre sjanse for god sikt i kammeret.

Deretter følges prosedyren for Launch (vedlegg C.1), hvor bruken av vernebriller presiseres, da det er i denne delen av arbeidsplanen det er størst sjanse for lekkasje av vann med høyt trykk.

Totalsystemet testes så gjennom enkle ROV-operasjoner, samt at kammeret inspiseres for lekkasje og tilfredsstillende ytelse. Dette innbefatter blant annet repeterte inn- og utspolinger for undersøkelse av behovet for en eventuell guiding med øyebolt (FMEA tabell 4.3e).

Avslutningsvis skal prosedyren for Recovery gjennomføres (vedlegg C.2), før lokasjonen til slutt sjekkes for gjenglemt utstyr (SJA vedlegg D.4).

4.4.4 Gjennomføring

Monteringen av kammeret gikk greit, men det viste seg at AVK hadde sendt feil lengde på boltene som skulle feste 600 mm og 200 mm flenserør til spjeldventilen. Dette ble løst med ekstra skiver fra Hafslund Eco sitt lager. Riktig M24-bolter er 24 av M24x70 og 12 av M24x90. Det trengs bare muttere til M24x90 boltene. Figur 4.20 viser montering av bolter til venstre og systemet ferdigmontert, med ROV i kammeret, til høyre.

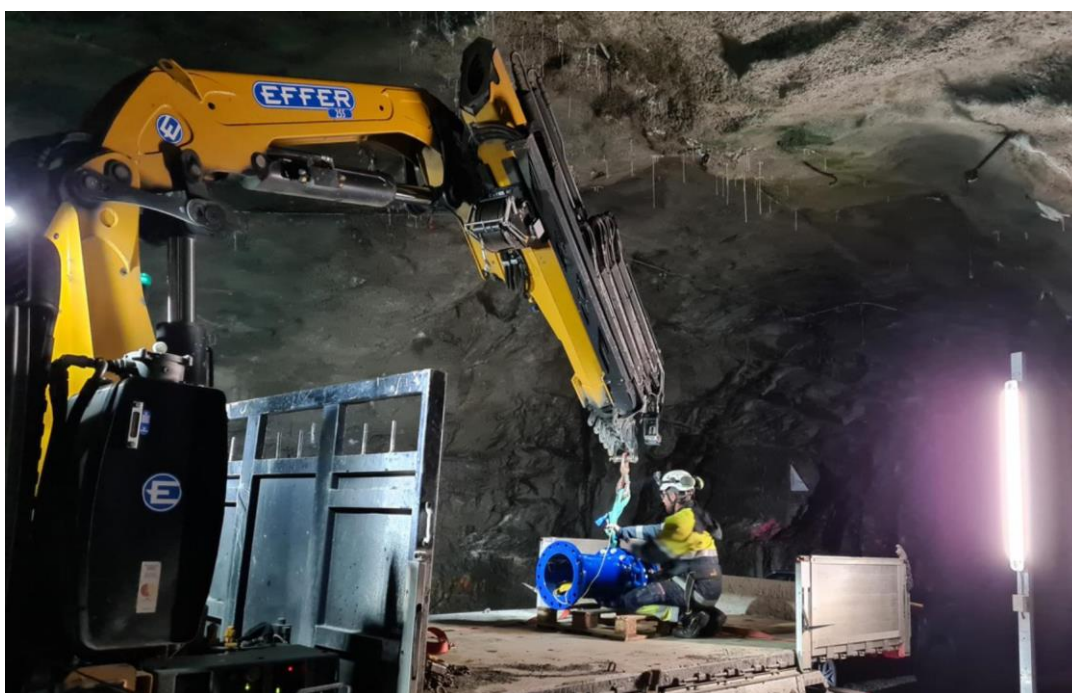


Figur 4.20: Sammenstilling av totalsystem

Før montering ble 600 mm flenserør veid til 67,7 kg, som er nær antatt vekt på 65 kg (kapittel 4.3.3f). Når begge kammermodulene var montert sammen veide hele kammeret 130 kg. Det vil si at begge modulene veide omtrent 65 kg. For å spare tid på felttesten forble de to modulene sammenkoblet. Kammeret ble derfor løftet på en lastebil og installert på lokasjon med lastebilens kran (figur 4.21, figur 4.22 og figur 4.23).



Figur 4.21: Sikring av kammeret på lastebil

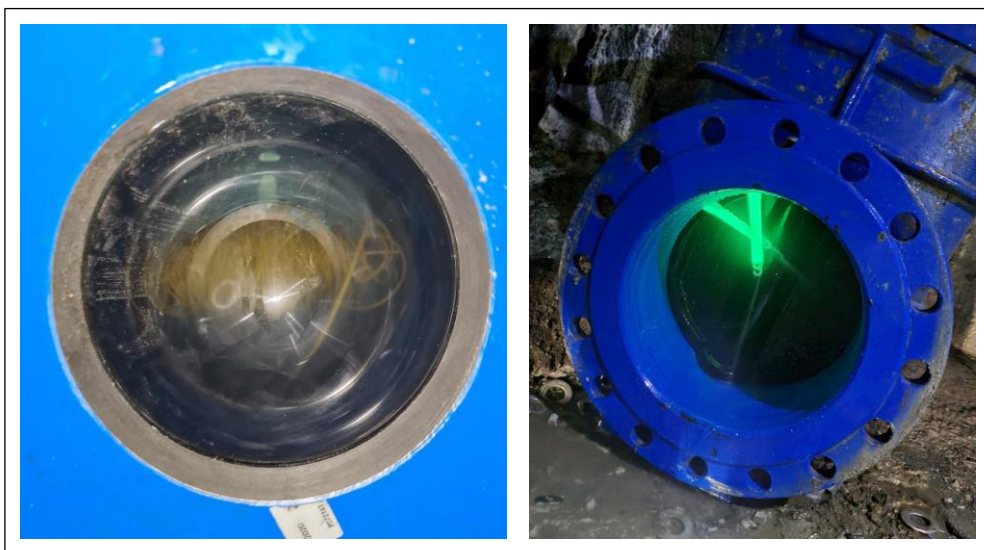


Figur 4.22: Løfte av kammer fra lastebil på testlokasjon



Figur 4.23: Montering av kammeret til sluseventil

Etter at kammeret var montert ble sluseventilen åpnet og vann tilført kammeret med ROV i. Alt var tett og ingen lekkasje var å finne. Den gjennomsiktige domen gav godt innsyn og oversikt over tether på akslingen. Bilde til venstre på figur 4.24 er tatt med mobillys uten at lightstick i kammeret var i nærheten for å lyse opp tether. De to lightstickene fløt nemlig opp og ble liggende i toppen av kammeret. Det som var mer uheldig var at de satt seg fast i sluseventilen når denne ble åpnet og ble sittende fast etter at testen var over (figur 4.24 høyre). Det lyktes å få fjernet disse.



Figur 4.24: Bilde gjennom dom til vannfylt kammer (venstre). Lightstick som sitter fast i lukket sluseventil (høyre)

Operasjonen av ROV gikk bra. Det vil si, ROV-en oppfører seg litt merkelig så fort den var borti kammeret eller tømmerøret, da den har autofunksjoner som blir forhindre i å gjøre endringer på ROV-ens holdning. Eksempelvis er det autofunksjoner som skal sørge for at kameraet alltid er i vater. Løsningen er å utføre stikkeutslag for å sentrere ROV-en i kammeret eller tømmerør.

Det var noe dårlig sikt i tømmerøret som kunne vært løst ved å slippe igjennom mer vann før påmontering av kammeret. Figur 4.25 viser controlleren med et bilde fra ROV-en som ser på åpningen av sluseventilen.



Figur 4.25: Controller viser bilde fra ROV når sluseventilen er i ferd med å åpnes

Inn- og utspoling av tether lot seg ikke teste fullstendig grunnet risten i tømmerøret, men den spoling som ble gjort fungerte som planlagt. Det kan ikke konkluderes hvorvidt det er behov for guiding med øyebolt eller ikke. Operasjonen av akslingen var tungvinn å utføre med skiftenøkkel, men var endel av forenklingene valgt (kapittel 4.3.2 første avsnitt). Det gikk også ganske tregt i starten frem til opplagringen av akslingen var blitt våt. Som forutsett ble det noe tvinning av kablen mellom controller og Cable Gland.

5 Drøfting

Her følger en analyse i kapittel 5.1 før mulig videre arbeid beskrives i kapittel 5.2 og konklusjon i kapittel 5.3.

5.1 Analyse

De ulike underkapitlene er analysert utfra begrensninger og betingelser som oppgitt i kapittel 1.5.2. I tillegg er viktige momenter oppdaget underveis i oppgaven inkludert.

5.1.1 Endelig design på totalsystemet

Det endelige designet har få komponenter og krevde lite tilpasning sammenlignet med de andre alternativene funnet i idémyldringsprosessen. Designet lar seg dele opp i moduler, noe som gjør det mulig å montere i felt for to personer, tross noe tung vekt. Sammenkoblingen av modulene skjer ved bruk av flere bolter, skiver, muttere og pakninger, men designet blir alt i alt vurdert som lett monterbart.

Vekten av de to kammermodulene er, som nevnt over, litt høyere enn ønsket. De veier henholdsvis 67,7 kg og 62,3 kg. Dette er 17,7 kg og 12,3 kg mer enn Arbeidstilsynet anbefaler og som rammebetingelsene for oppgaven satte som mål å jobbe mot, se kapittel 1.5.2e. Vekten er likevel ikke vesentlig høyere enn Arbeidstilsynets anbefaling, så ved oppmerksomhet rundt denne utfordringen, og tilrettelegging med oppbygging av kammeret ved oppkobling til sluseventilen, er prototypen vurdert mulig å koble til for to personer. Dette på tross av at oppbygging ikke ble testet på felttesten. Den tyngste av modulene ble løftet rundt i verkstedet og antyder at fremgangsmåten er mulig.

Rammebetingelsen i kapittel 1.5.2e går også på å få kammermodulene inn i en VW Caddy eller lignende. Dette skal være mulig, tross at det ikke ble testet på felttesten. Å manuelt løfte

modulene inntil 500 m anses som ugunstig og kun gjennomførbart i nøden. Dette ble heller ikke testet, men er begrunnet med vekten på den enkelte modul.

Kammeret på designet virker robust og solid ifølge kalkulasjonene av boltene i vedlegg A.2. Mulig det er noe overdimensjonert og kunne vært lettere i vekt. Samtidig ville antagelig reduksjon i vekt betyde et selvkonstruert kammer, som igjen ville gitt økt arbeidsmengden i for av flere beregninger og sveisearbeid ved produksjon.

Akslingen er sterk nok til å tåle de maksimale kreftene tether kan gi før den ryker, se vedlegg A.3. På den andre siden må en være oppmerksom på at tether kan ryke ved å påføre for mye moment på samme aksling. Om det skal lages et ratt på et senere tidspunkt, må det tas hensyn til at tether kan ryke allerede ved moment funnet på ligning [A.20] foruten momentet som skal til for å overvinne friksjonen som virker på akslingen.

Totalsystemet er i sin helhet manuelt mekanisk operert sett bort fra ROV-systemet som går på batteri. Betingelsen om et system som er uavhengig av aggregat er derfor møtt, se kapittel 1.5.2c. Kostnadsrammene for prosjektet er også møtt (kapittel 1.5.2f) ved at total pris for komponenter og bearbeiding kom på omtrent kr 65.000 mot avsatt kr 100.000 – kr 150.000.

vedlegg E.2-6 er det omfattende grunnlaget for det endelig designet. På tross av mengden informasjon innsamlet, utelukkes det ikke at det finnes andre like gode eller bedre løsninger på endelig design.

5.1.2 Feltesten

Her følger en oppsummering av de viktigste funnene fra feltesten. For mer utfyllende informasjon, se kapittel 4.4.4.

Montering gikk bra foruten at AVK hadde sendt feil bolter. Studenten ante på et tidlig tidspunkt mistanke, men fikk forsikringer om at alt var riktig bestilt. Siden noen deler var i Oslo og andre på Hafslund Eco sitt verksted, lot det seg vanskelig å verifisere hvorvidt rette bolter var ankommet før sammenstillingen ble utført.

På feltesten ble det benyttet lastebil med kran for å spare tid i forbindelse med tilkobling. Tidsbesparelsen skjer ved at modulene da kan være sammenkoblet og at det kun er bolter på

tilkoblingen ved sluseventilen som må monteres. Å bruke kran var en veldig gunstig metode som også fremmet HMS og dermed anbefales hvis mulig.

Systemet ble testet på 77 mVS, alt var tett og ROV-system fungerte godt. Det eneste å bemerke var at ROV-en kan oppføre seg litt merkelig dersom den kommer borti noe. Dette siden autofunksjonene da blir forhindret i å gjøre sin jobb.

Som lys i kammeret ble lightstick benyttet. Dette fungerte dårlig da de fløt opp og ikke forble der de var påtenkt å skulle gi belysning. Lightstick må enten festes godt eller så må en annen løsning finnes. Lys i kammeret vil antagelig gi bedre oversikt over tether, men som bilde til venstre på figur 4.24 viser, kan man klare seg uten. Generelt bør løse gjenstander i kammeret unngås da vannstrålen ved åpning av sluseventil er sterk.

Inn- og utspoling av tether fungerte godt i den grad det ble testet. Det ville antagelig vært mer gunstig med en jevnere påføring av tether på akslingen enn den vist til høyre på figur 4.20. Dette da det ville blitt mindre løs tether på akslingen, som igjen ville minsket sjansen for at noe skulle gå galt.

5.1.3 Løsning målt mot miljø

Totalsystemet gir Hafslund Eco muligheten til å produsere strøm rimeligere gjennom sparte kostnader i forbindelse med vedlikehold og ettersyn av vassdragsanleggene. Generelt er det bra for miljøet at miljøvennlige strømalternativer blir billigere og mer konkurransedyktige da dette øker bruken av disse.

Som nevnt i kapittel 1.1 har Hafslund Eco forpliktet seg til å tilby fornybar energi med høy tilgjengelighet og oppetid. Totalsystemet vil kunne bidra til både mer oppetid samt forutsigbarhet i strømleveransen. Bruken av fossil- eller atomkraftprodusert strøm i Norge, vil potensielt kunne bli redusert.

Ved at Hafslund Eco i en del tilfeller selv kan ta inspeksjoner av vassdragsanleggene, vil lengre transport for eksterne konsulenter, byttes ut med kortere transport fra Hafslund Eco selv. Dette har en miljøgevinst.

Prototypen benytter standardkomponenter, hvor kun to komponenter blir modifisert på et dreieverksted. Bruken av standardkomponenter betyr at det ikke kreves ressurser på å utvikle og å teste noe nytt. Mindre ressursbruk er bra for miljøet. På den andre siden kan det tenkes at produksjonsmetoden på alternative ikke-standardkomponenter ville hatt en grønnere profil.

Det ble forsøkt å finne produsenter til alle komponentene brukt på prototypen i Norge, med dertil kort frakt, noe som lyktes med alt utenom dom og lightstick. Disse ble begge kjøpt i USA. Et design kan fort bli begrenset om alt skal produseres i Norge, men det er likevel uheldig at to komponenter måtte fraktes fra USA.

5.1.4 Gjennomføringen totalt

Det krevde forberedelser å bruke TRIZ som idémyldringskonsept. Det ble også noen få situasjoner med usikkerhet under prosessen når ingen tidligere hadde gjort det i praksis. Likevel gav metoden resultater i form av mange alternative totalsystemer. Ut av idémyldringsprosessen ble det etablert at hoved Benefit til totalsystemet er å «muliggjøre inspeksjon av vannside i tunneler». Det ble også etablert at det høyeste målet til systemet er «enkel og rimelig metode for inspeksjon» (kapittel 4.2). Særlig sistnevnte, i kombinasjon med totalsystemevalueringen på vedlegg E.6, var styrende for valget av endelig design.

Metoden som ble brukt på oppsettet av evalueringsskjemaet for totalsystemet er sensitiv for at teamet som setter vektningen setter en vektning som favoriserer en løsning de på forhånd har lagt sin elsk på. I det aktuelle evalueringsskjemaet for totalsystem antas denne effekten for minimal.

Veileder fra NTNU nevnte tidlig viktigheten av å komme raskt i gang med å bestille komponenter. Rådet ble fulgt og medførte tidlig start på idémyldringsprosessen. Særlig søking etter praktiske løsninger tok lengre tid enn antatt, men inspirerte til nye idéer som igjen gav mange alternative løsninger. Endelig design endte opp med løsninger ikke påtenkt på forhånd.

På gantt-skjema vises det at fremdriften har ligget i forkant av det som har vært planlagt helt frem til testfasen. De stedene forspranget har blitt mindre er: søking etter praktiske løsninger i idéfasen, beregningene av bolter og aksling, senere levering av spjeldventil og blindflens, og forsinket felttest grunnet vedlikeholdsarbeid fra Hafslund Eco sin side. Når det gjelder beregningen av bolter og aksling er grunnen til forsinkelsen prøving og feiling. Her burde

studenten vært raskere ute med å lufte metode for en fagmann og slik hindret dobbeltarbeid. På den andre siden ble det mye god læring og mestringsfølelse.

Oppgaven ble utført i en periode med koronapandemi i landet. Bortsett fra at besiktigelsen ble halvveis gjennomført i første omgang, hadde dette ingen kjent betydning for gjennomføringen av oppgaven.

5.2 Videre arbeid

Her er en oversikt over videre FoU-arbeid som kan gjøres i forbindelse med denne bacheloroppgaven. De er skrevet ned i det som kan være en prioriteringsrekkefølge:

- a. Lage til en mer permanent løsning med en koblingsboks til tether ved controller, se kapittel 4.3.5f.
- b. Vekten på kammeret er noe høy og en reduksjon av denne er ønskelig.
- c. Design av et ratt som tar hensyn til det minste momentet som kan ryke tether, se kapittel A.4. Det presiseres at kapittel A.4 er ved bare ett lag med tether på trommelen. Som et alternativ til å lage et ratt kan det sees på muligheten for å gjøre inn- og utspoling av tether pneumatisk eller elektrisk drevet.
- d. Hafslund Eco har andre lokasjoner hvor det er interessant å gjøre inspeksjoner. Noen av disse har ikke en DN300 PN25-tilkobling slik som i caset for denne oppgaven. Så lenge det er Ø300mm eller større hele veien inn til inspeksjonsstedet, er det mulig for ROV å komme inn og da ønskelig med en overgang fra DN300 PN25 til den aktuelle tilkoblingsstandard.
- e. Vurdere om diameteren på spjeldventilakslingen kan økes slik at inn- og utspoling av tether kan gå raskere, samt at minste moment tether ryker på øker. Betyr at forutsetningene for punkt (c.) over endres. En forøkning av diameter må beregnes opp mot hvor mye plass tether trenger på trommelen og hvor mye moment som da skal til for å ryke denne.

- f. Kjøpe inn og installere trådløs controller. Med løsningen som er nå må controller roteres rundt i takt med utspoling av tether, det slipper man med trådløs overføring av styresignal. Boksen, som lager trådløst signal av det som er i kabelen, foreslås montert i forbindelse med rattet som spoler inn og ut tether.
- g. Anordning for å løfte hele totalsystemet på plass uten behovet for å ha det i moduler. Dette vil antagelig være både tidsbesparende og positivt for HMS.
- h. Er trommelen driftssikker, og over tid ikke kiler seg, kan det på sikt vurderes å korte ned 600 mm flenserøret med 100 mm. Dette vil gjøre totalsystemet lettere ved å redusere vekten på den tyngste komponenten. Må veies opp mot faren for å måtte kappe noe tether dersom trommelen likevel skulle stå fast. Se FMEA (tabell 4.3f).

5.3 Konklusjon

Problemstillingen (kapittel 1.4.5) var å søke etter en «funksjonell tilkobling av ROV til vannveier i vassdragsanlegg via en Ø300 mm sluseventil, når vanntrykket på lokasjonen tilsvarer 100 mVS». Dette viser mulig gjennom prototypen utarbeidet i denne oppgaven som beviselig fungerer på 77 mVS, antagelig ned til 100 mVS.

Prototypen er tett og både styring av ROV-systemet og den manuelle inn- og utspoling av tether fungerer. Prototypen kan med fordel gjennomgå mer FoU-arbeid, men er også funksjonell slik den er nå. Dersom prototypen skal brukes videre anbefales bruk av lastebil med kran ved tilkobling, og hodelykt for dykkere, eller annen portabel lyskilde, til fordel for lightstick som belysning i kammeret. Eventuelt ikke ha lys i kammeret i det hele tatt.

Oppgaven leder til en ny måte å bruke ROV på i vassdragsanlegg som vil kunne spare penger i millionklassen. Prisen på komponentene til prototypen og bearbeiding av disse kom på kr 65.000. Miljømessig er det også gevinst å hente på denne nye metoden. Her er reduksjon av transport og en mer konkurransedyktig pris på miljøvennlig strøm det mest håndfaste.

Gjennomføringen av oppgaven har totalt sett gått etter planen, med noen mindre forsinkelser. Studenten har gjennom bacheloroppgaven tilegnet seg god erfaring med både idémyldringsteknikker, designtenkning og prosjektarbeid.

Litteraturliste

ARBEIDSTILSYNET. u.å. *Tungt arbeid* [Online]. www.arbeidstilsynet.no. Available: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/ergonomi/manuelt-arbeid/tungt-arbeid/#Vurderingsmodellerfortungtarbeid> [Accessed 16.april 2021].

AVK. u.å.-a. *AVK GATE VALVE, FLANGED, PN25* [Online]. avkvalves.eu: AVK International A/S. Available: <https://www.avkvalves.eu/en/product-finder/gate-valves/resilient-seated-gate-valves/21-60-004> [Accessed 6. januar 2021].

AVK. u.å.-b. *AVK SENTRISK LUG SPJELDVENTIL, PN10/16* [Online]. avkvalves.eu: AVK International A/S. Available: <https://www.avk.no/nb-no/produksoker/dreiespjeldventiler/sentriske-dreiespjeldventiler-med-loes-spindel/820-10-029> [Accessed 16. februar 2021].

AVK. u.å.-c. *Produktsøker, PN16 DN300 produkter* [Online]. www.avk.no. Available: <https://www.avk.no/nb-no/produksoker?page=4&viewAll=true&ProductPnClass=PN+10%2f16&NominalDiameter=DN300+-+12> [Accessed 16. februar 2021].

BLUEROBOTICS. 2020. *Finding Replacement Screws for Blue Robotics Products* [Online]. <https://bluerobotics.com>: Bluerobotics. Available: <https://bluerobotics.com/learn/screws/> [Accessed 30. mars 2021].

BLUEROBOTICS. u.å.-a. *Dome End Cap (4" Series)* [Online]. <https://bluerobotics.com>. Available: <https://bluerobotics.com/store/watertight-enclosures/4-series/wte4-p-dome-r4-rp/> [Accessed 30. mars 2021].

BLUEROBOTICS. u.å.-b. *O-Ring Flange (4" Series)* [Online]. <https://bluerobotics.com>. Available: <https://bluerobotics.com/store/watertight-enclosures/4-series/wte4-m-flange-seal-r3/> [Accessed 20. mars 2021].

BLUEROBOTICS. u.å.-c. *Spare O-Ring Set (4" Series)* [Online]. <https://bluerobotics.com>: Bluerobotics. Available: <https://bluerobotics.com/store/watertight-enclosures/4-series/wte4-o-ring-set-r1/> [Accessed 30. mars 2021].

CHASING. u.å.-a. *GLADIUS MINI Underwater Drone* [Online]. www.chasing.com. Available: <https://www.chasing.com/gladius-mini.html> [Accessed 22. februar 2021].

CHASING. u.å.-b. *Remote Controller for Use with CHASING DORY / GLADIUS MINI Underwater Drone* [Online]. www.chasing.com. Available: <https://www.chasing.com/remote-controller.html> [Accessed 15. februar 2021].

CHRIST, R. D. & WERNLI, R. L. 2007. *The ROV manual : a user guide to observation-class remotely operated vehicles*, Amsterdam ;, Boston, Butterworth-Heinemann.

CHRIST, R. D. & WERNLI, R. L. 2014. *The ROV manual: a user guide for remotely operated vehicles, second edition*, Waltham, Mass, Waltham, Mass: Butterworth-Heinemann.

- CYALUME. u.å. *6" SNAPLIGHT 15CM GREEN LIGHTSTICK 12 HOURS* [Online]. <https://www.cyalume.shop>. Available: https://www.cyalume.shop/en/lightsticks/92-634-6-snaplight-15cm-green-lightstick-12-hours.html#/60-packaging-x_10 [Accessed 30. mars 2021].
- DOCPLAYER. u.å. *FMEA / FMECA* [Online]. <https://docplayer.me>. Available: <https://docplayer.me/8737139-Fmea-fmeca-hensikt-metodebeskrivelse.html> [Accessed 25. februar 2021].
- DREIEVERKSTED, S. u.å. *Dreining og fresing med CNC* [Online]. <https://dreie.no>. Available: <https://dreie.no> [Accessed 16. april 2021].
- ECO, H. u.å.-a. *Om oss* [Online]. <https://hafslundeco.no>. Available: <https://hafslundeco.no/om-hafslund-eco/om-oss> [Accessed 2. januar 2021].
- ECO, H. u.å.-b. *Visjon og verdier* [Online]. <https://hafslundeco.no>. Available: <https://hafslundeco.no/om-hafslund-eco/visjon-og-verdier> [Accessed 2. januar 2020].
- EIE, J. 2000. *Dammer og kraftverk*, Bekkestua, NKI forl.
- ELEFUN. u.å. *Informasjon om Gladius mini* [Online]. www.elefun.no. Available: <https://www.elefun.no/asp/sokeresultater.aspx?sokeord=gladius+mini> [Accessed 16. februar 2021].
- ENERGIDEPARTEMENTET, O.-O. 2009. *Damsikkerhetsforskriften* [Online]. <https://lovdata.no>. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-12-18-1600> [Accessed 2. februar 2021].
- ENERGIFAKTANORGE. 2021. *Kraftproduksjon* [Online]. <https://energifaktanorge.no>. Available: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/> [Accessed 10. april 2021].
- FENSTAD, A. 2019. ROV overtar for dykkere: -Tilnærmet null dykk om tre til fem år. *Teknisk Ukeblad*.
- FILM, F. u.å. *Fluid Film Dataark* [Online]. <https://www.fluidfilm.no>. Available: <https://www.fluidfilm.no/Bilder/Produktbilder/Datablad/Fluid%20Film%20Liquid%20A.pdf> [Accessed 30. mars 2021].
- HAINES-GADD, L. 2016. *TRIZ For Dummies*, John Wiley & Sons Inc.
- HAINES, B. 2020. *How to Use GoPro WiFi Underwater* [Online]. <https://clicklikethis.com>. Available: <https://clicklikethis.com/gopro-wifi-underwater/> [Accessed 24. mars 2021].
- HAUGAN, J. 2017. *Formler og tabeller*, Fagbokforlaget.
- HUVENNE, V. A. I., ROBERT, K., MARSH, L., LO IACONO, C., LE BAS, T. & WYNN, R. B. 2017. *ROVs and AUVs*. Cham: Cham: Springer International Publishing.
- HAABERG, G. M. 2019. Korrosjon. snl.no: Store Norske Leksikon.
- HAABERG, G. M. 2020. Galvanisk korrosjon. snl.no: Store Norske Leksikon.

- ISO 1988. Metallic flanges — Part 2: Cast iron flanges. <https://www.standard.no>.
- ISO 2011. Sekskantbolter - Utførelsesklasse A og B. <https://www.standard.no>.
- JOHANSEN, H. 2012a. *Korrosjonsbestandige stål* [Online]. ntnu.no. Available: <http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiellaere-korrosjonsbestandige%20stal-kompendium-05.06.2012.pdf> [Accessed 24. februar 2021].
- JOHANSEN, H. 2012b. *Styrkeberegninger, Sveiseforbindelser statistisk* [Online]. <https://folk.ntnu.no>: NTNU. Available: <https://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/sb-Sveiseforbindelser-statisk-2016.pdf> [Accessed 7. april 2021].
- KUROWSKI, P. M. 2019. *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2019*. Stephen Schroff.
- KYSTDESIGN. u.å. *HYDRAULIC COMPENSATORS* [Online]. <https://kystdesign.no>. Available: <https://kystdesign.no/hydraulics/compensators/> [Accessed 31. mars 2021].
- LOHNE, O. 2020. Duktilitet. *Store Norske Leksikon*. <https://snl.no>.
- LOVDATA 2009. Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften). In: ENERGI-DEPARTEMENTET, O.-O. (ed.). <https://lovdata.no>: Lovdata.
- MARINE, B. 2015. *Damanlegg* [Online]. www.bkmarine.no. Available: <http://www.bkmarine.no/subsea-damanlegg.htm> [Accessed 8. februar 2021].
- MART, P. 2020. *What do DN and PN mean on Flanges?* [Online]. www.pipingmart.com. Available: <https://www.pipingmart.com/blog/metals/dn-and-pn-mean-on-flanges/> [Accessed 13. februar 2021].
- MOOG. u.å. *Dataark Model 180* [Online]. <https://www.moog.com>. Available: <https://www.moog.com/products/fiber-optic-rotary-joints/hybrid-forj/180.html> [Accessed 31. mars 2021].
- NORCONSULT. u.å.-a. *Beskrivelse av utstyr for inspeksjon med mikro-ROV* [Online]. www.norconsult.no. Available: https://www.norconsult.no/globalassets/norconsult/our-expertise/beskrivelse_av_utstyr_for_inspeksjon_med_mikro-rov.pdf. [Accessed 8. februar 2021].
- NORCONSULT. u.å.-b. *Inspeksjon av vannfylte tunneler* [Online]. www.norconsult.no: Norconsult. Available: <https://www.norconsult.no/globalassets/norconsult/our-expertise/energy/vannfylt-tunnelinspeksjon.pdf> [Accessed 6. januar 2021].
- NORCONSULT. u.å.-c. *Method for inspection of water filled tunnels* [Online]. www.norconsult.no. Available: https://www.norconsult.no/globalassets/norconsult/our-expertise/method_for_inpection_of_water_filled_tunnels.pdf. [Accessed 8. februar 2021].
- NVE. 2015. *Dammer og vassdragsanlegg - definisjoner* [Online]. <https://www.nve.no>. Available: <https://www.nve.no/damsikkerhet-og->

kraftforsyningsberedskap/damsikkerhet/dammer-og-vassdragsanlegg-definisjoner/?ref=mainmenu [Accessed 14. januar 2021].

NVE. 2018. *Revurdering av vassdragsanlegg. Veileder til damsikkerhetsforskriften*. [Online]. <http://publikasjoner.nve.no>: NVE. Available: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2018/veileder2018_01.pdf [Accessed].

OHLSON, C. u.å. *Buntebånd svarte, 100-pack* [Online]. <https://www.clasohlson.com>. Available: <https://www.clasohlson.com/no/Buntebånd-svarte,-100-pack/p/36-7897> [Accessed 1. april 2021].

OJTORHEIM. u.å. *Fluid Film AR 1kg* [Online]. <https://www.ojtorheim.no>. Available: <https://www.ojtorheim.no/products/fluid-film-ar> [Accessed 31. mars 2021].

QUALITY-ONE. u.å. *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* [Online]. <https://quality-one.com>: Quality-One. Available: <https://quality-one.com/fmea/> [Accessed 19. oktober 2020].

RS. 2020. *SKINTOP® MS-SC-M, Cable Gland* [Online]. <https://docs.rs-online.com>: RS. Available: <https://docs.rs-online.com/9151/A700000007078583.pdf> [Accessed 30. mars 2021].

SOLUTIONS, D. B. u.å. *Om* [Online]. www.deepbluesolutions.no. Available: <https://www.deepbluesolutions.no/about/> [Accessed 8. februa 2021].

SSB. 2016. *Vannkraften – vår mest lønnsomme fornybare naturressurs* [Online]. <https://www.ssb.no>. Available: <https://www.ssb.no/forskning/energi-og-miljookonomi/kraftmarkeder/vannkraften-var-mest-lonnsomme-fornybare-naturressurs> [Accessed 10. april 2021].

TALLEMENCO. 2019. *Stainless Steels* [Online]. www.talle.biz. Available: <https://www.talle.biz/stainless.html> [Accessed 2. mars 2021].

TELEDYNEMARINE. u.å. *SPLASH MATE SERIES* [Online]. teledynemarine.com: TeledyneMarine. Available: <http://www.teledynemarine.com/wet-pluggable-connectors?ProductLineID=40> [Accessed 24. mars 2021].

USGS. u.å. *Water Density* [Online]. www.usgs.gov: USGS. Available: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-density?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects [Accessed 28. desember 2020].

VAR SOM. u.å. *Hva må til for at isen kan legge seg?* [Online]. <https://www.varsom.no>. Available: <https://www.varsom.no/isskolen/istyper/hva-ma-til-for-at-isen-kan-legge-seg/?ref=mainmenu> [Accessed 28. desember 2020].

VINK. u.å. *POM* [Online]. <https://vink.no>. Available: <https://vink.no/produkter/industri/konstruksjonsplast/pom> [Accessed 16. februar 2021].

VOGT-SVENDSEN, C. 1998. *Vannveien : fra dam til energiverk*, Oslo, Elforlaget.

WESTERHAGEN, H. 2018. *Prosjektarbeid utviklings- og endringskompetanse*, Gyldendal.

Vedlegg A: Beregninger

A.1 Lengden på flenserør

For å finne ut hvilke lengder som skal bestilles på flenserørene, gjøres noen beregninger. FMEA (tabell 4.3c) henviser også til behovet for dette.

- a. Lengden på ROV er 385 mm, se tabell 4.1.
- b. Tether kan gå 112 mm inn i flenserørene, se mål L_1 på vedlegg F.2.
- c. Dybden på dom er 49,3 mm, se vedlegg G.3.

Ut ifra punkt (a.) og (b.) går det frem at flenserøret mot sluseventilen må minimum være 497 mm. Det legges på en buffer på 103 mm slik at tether kan stues sammen av ROV ved trommelstans, se kapittel FMEA (tabell 4.3f). Flenserør mot sluseventil bestilles til 600 mm lengde.

Av punkt (b.) og (c.) fremgår det at flenserøret mot blindflensen må være 161,3 mm. Derfor blir det bestilt ett standard lengde flenserør på 200 mm.

A.2 Bolter i flenser

Det er brukt flensekoblinger på PN16 og PN25, som overstiger maksimaltrykket under drift (kapittel 1.4.4b). Beregningene her går derfor ut på å se hvorvidt kraften på ekstra bøyemoment, fra frispenn, overstiger differansekraften mellom driftstrykk og PN-trykk kalt overskuddskraften.

600 mm flenserøret er av PN16-kvalitet med en PN25-flens i enden mot sluseventilen (figur 4.8h). For å være sikker på at sveis og materialet tett opptil PN25-flensen holder, beregnes det som egentlig er en PN25-flens, som en PN16-flens. Siden PN25-flensen er kraftigere bygd enn

PN16, vil en med godt resultat konstatere at alle flenser, sveiser og generelt materialet i flenserøret, holder.

Det følger her et kapittel med antagelser før beregning av overskuddskraften, annet arealmoment, og til slutt resultatet.

A.2.1 Antagelser

- a. Trykket fra vannet settes likt med det som maksimalt kan forekomme på lokasjonen, 106 mVS (kapittel 1.4.4b). Fra ligning [1.2] tilsvarer det at $P_{106} = 1,15 \text{ MPa}$.
- b. PN16-koblinger antas å tåle tykk tilsvarende 160 mVS. Med samme utgangspunkt som i punkt (a.), tilsier dette $P_{160} = 1,67 \text{ MPa}$.
- c. Pakningen mellom flensene gir ikke lenger arm på momentene.
- d. Vannet har en massetetthet som i kapittel 1.5.2i tilsvarende 1 kg/liter.
- e. Siden det kun er vanntrykk og vekt som påvirker kammeret, er det de øvre boltene i flensen som vil få mest belastning.
- f. Spenningsarealet under bolthode og mutterhode er det samme. Det vil si at de to blå arealene på venstre figur på figur A.1 er like.
- g. Det spesiallagde 600 mm flenserøret antas å veie 65 kg ut ifra vekten på andre standardstørrelser på flenserør som AVK tilbyr (AVK, u.å.-c).

B.2.2 Overskuddskraften

For å finne kreftene fra vanntrykket i en bolt på flensen ($F_{PN16,i}$), må vanntrykket (P_i) fra kapittel A.2.1a og b, fordeles over alle de 12 boltene i flensen, ISO 5007-2 (ISO, 1988, s. 19). d_{DN300} er innvendig diameteren på kammeret. For $i=160$ mVS fremkommer ligning [A.1] (neste side).

$$F_{PN16_{160}} = \frac{P_{106} \cdot A_{DN300}^2}{12} = \frac{P_{160} \cdot \frac{\pi \cdot d_{DN300}^2}{4}}{12} = \frac{1,67MPa \cdot \frac{\pi \cdot (300mm)^2}{4}}{12}$$

$$\approx \underline{9\,837,1N} \quad [A.1]$$

For $i=106$ mVS fremkommer [A.2].

$$F_{PN16_{106}} = \frac{P_{106} \cdot A_{DN300}^2}{12} = \frac{P_{106} \cdot \frac{\pi \cdot d_{DN300}^2}{4}}{12} = \frac{1,15MPa \cdot \frac{\pi \cdot (300mm)^2}{4}}{12}$$

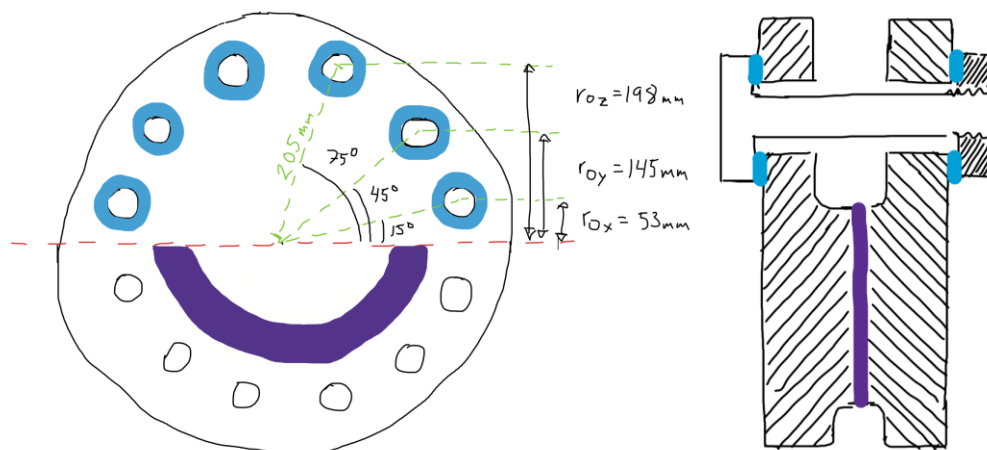
$$\approx \underline{6\,774,1N} \quad [A.2]$$

Differansen mellom $F_{PN16_{160}}$ og $F_{PN16_{106}}$ er de kreftene som kan påføres boltene uten å endre forutsetningene fra AVK. Denne kraften blir kalt overskuddskraften ($F_{PN16_{overskudd}}$) og er beskrevet i [A.3]

$$F_{PN16_{overskudd}} = F_{PN16_{160}} - F_{PN16_{106}} = 9\,837,1N - 6\,774,1N = \underline{\underline{3\,063,0N}} \quad [A.3]$$

A.2.3 Annet arealmoment

For å finne kreftene fra kammerets frispenn, gjøres en konservativ forenkling: det er bare arealet av de seks boltene (blå på figur A.1), over senterlinjen (stiplet rød), som tar imot bøyekreftene. Altså blir ikke arealet av selve flensen (lilla) medregnet, dette på tross av at denne også tar opp bøyekrefter. Informasjonen på figur A.1 (venstre) er fra ISO 5007-2 (ISO, 1988, s. 19).



Figur A.1: Forenklet hullbilde på PN16-flens (venstre). Kontakt punkter i tverrsnitt (høyre)

[A.4] viser utregning av annet arealmoment for to bolter med samme avstand r_{0i} fra senteraksen, det vil si annet arealmoment for kontaktflaten ($A_{k_{PN16}}$) mellom bolthode og flens (blått til høyre figur A.1). Steiners setning (Haugan, 2017, s. 99, 107) blir brukt. d_y (ytre diameter) er nøkkelvidden på bolten (ISO, 2011, s. 5). d_l (indre diameter) er hulldiameteren i flensen (ISO, 1988, s. 19). r_{0i} finnes på figur A.1.

$$I_{x_{PN16_i}} = 2 \left(\frac{\pi \cdot (d_{y_{M24}}^4 - d_{l_{PN16}}^4)}{64} + A_{k_{PN16}} \cdot r_{0i}^2 \right)$$

$$= 2 \left(\frac{\pi \cdot ((35,38\text{mm})^4 - (28\text{mm})^4)}{64} + \frac{\pi \cdot ((35,38\text{mm})^2 - (28\text{mm})^2)}{4} \cdot (r_{0i})^2 \right) \quad [A.4]$$

For boltene med r_{0x} avstand finnes annet arealmoment i ligning [A.5], for r_{0y} i [A.6] og for r_{0z} i [A.7].

$$I_{x_{PN16x}} \approx \underline{2\,157\,342,7\text{mm}^4} \quad [\text{A. 5}]$$

$$I_{x_{PN16y}} \approx \underline{15\,541\,206,0\text{mm}^4} \quad [\text{A. 6}]$$

$$I_{x_{PN16z}} \approx \underline{28\,897\,884,2\text{mm}^4} \quad [\text{A. 7}]$$

Samlet annet arealmoment ($I_{x_{PN16}}$) er summen av $I_{x_{PN16i}}$, se ligning [A.8].

$$I_{x_{PN16}} = \sum I_{x_{PN16i}} = \underline{\underline{46\,596\,432,9\text{mm}^4}} \quad [\text{A. 8}]$$

A.2.4 Resultat

Samlet moment på PN16-flensen ($M_{PN16_{total}}$) står i tabell A.1 (neste side). Dette er summen av antatt egenvekt til 600 mm flenserør (ut ifra vekt og lengde på andre flenserør hos AVK (AVK, u.å.-c)), egenvekt på spjeldventil (vedlegg F.2), egenvekt på 200 mm flenserør (AVK, u.å.-c), egenvekt på blindflens (AVK, u.å.-c), vannfylling av de tre førstnevnte, egenvekt av M24 bolter med mutter som kobler disse sammen (kapittel 4.3.3k), og ROV-systemet (tabell 4.1), alle ganget med tilhørende arm. I dette tilfelle antas det at tether og spjeld (som skal fjernes) har samme egenvekt.

Det gjøres en konservativ tilnærming ved at både full vannfylling av 600 mm flenserør og vekt av ROV tas med. I tillegg ganges det inn en lastfaktor (kapittel 2.2.3) for å kompensere for usikkerhet i armlengde og vekt. Egenvekten anses som den dominerende nyttelasten.

Navn:	Type:	Masse [kg]:	Kraft [N]:	Arm [mm]:	γ :	Moment [Nmm]:
Flenserør 600 mm						
	Egenvekt	65,0	637,7	300,0	1,50	286942,5
	Vann	42,5	416,9	300,0	1,05	131331,4
	ROV	2,3	22,6	300,0	1,05	7107,3
	Bolter	6,0	58,9	600,0	1,50	52974,0
Spjeldventil						
	Egenvekt	32,0	313,9	639,0	1,50	300892,3
	Vann	6,0	58,9	639,0	1,05	39492,1
	Bolter	6,0	58,9	678,0	1,50	59860,6
Flenserør 200 mm						
	Egenvekt	20,0	196,2	778,0	1,50	228965,4
	Vann	14,5	142,2	778,0	1,05	116199,9
	Bolter	6,0	58,9	878,0	1,50	77518,6
Blindflens						
	Egenvekt	24,0	235,4	890,5	1,50	314489,0
SUM		224,3				1615773,2

Tabell A.1: Samlet moment på PN16-flens

De største kreftene oppstår i de to boltene med r_{0Z} avstand fra senterlinjen, se figur A.1. Kraften finnes ved å ta spenningene fra bøyemomentet (Haugan, 2017, s. 101) ganget med arealet til kontaktflaten mellom bolthode og flens, se ligning [A.9]. På grunn av symmetri på kontaktflaten antas det at spenningene i senteravstanden (r_{0Z}) er et snitt for hele flaten.

$$\begin{aligned}
 F_{bM24} &= \sigma_{bP16} \cdot A_{kPN16} = \frac{M_{PN16total} \cdot r_{0Z}}{I_{xPN16}} \cdot A_{kPN16} \\
 &= \frac{1\,615\,773,2\text{Nmm} \cdot 198\text{mm}}{46\,596\,432,9\text{mm}^4} \cdot \frac{\pi \cdot ((35,38\text{mm})^2 - (28\text{mm})^2)}{4} = \underline{\underline{2\,522,3\text{N}}} \quad [\text{A. 9}]
 \end{aligned}$$

Ligning [A.10] viser at $F_{PN16Diff}$ er større enn F_{bM24} og at det er en FOS på 1,2 mellom disse.

$$FOS_{PN16} = \frac{F_{PN16overskudd}}{F_{bM24}} = \frac{3\,063,0\text{N}}{2\,522,3\text{N}} = \underline{\underline{1,2}} \quad [\text{A. 10}]$$

Boltene godkjennes med FOS på 1,2. Godkjennelsen valideres ved at arealet av selve flensen (lilla på figur A.1) ikke er tatt med, det er tatt med lastfaktorer mot usikkerhet i påført moment, og det er rimelig å tro at PN16-flensen originalt har gode sikkerhetsmarginer.

A.3 Akslingen

Her er målet å beregne hvorvidt akslingen tåler belastningen som oppstår rett før tether ryker, når det er boret ett hull til tether i akslingen, se vedlegg G.2. Det svakeste punktet på akslingen antas å være der hullet går ut, midt på akslingen. Partallet med beregningene blir det vurdert hvilken type hullprofil som er best for utgangshullet. Sistnevnte gjøres for å få tredd tether på best måte.

I første kapittel utregnes det maksimale momentet i akslingen, i det tether ryker. Deretter blir det utregnet en referansespenning for beregninger i SW, for at resultatene i programmet kan valideres. Det neste kapittelet tar for seg vurderingen av ulike hullprofiler, og til slutt gjennomgås resultatet av den valgte hullprofilen.

A.3.1 Maksimalt moment

Det maksimale moment som ryker tether (T_{Bmaks}) finnes ved kraft ganget med arm, se [A.11]. Tether bruddstyrke (F_B) er hentet fra tabell 4.1 og største mulige arm (a_{maks}) for tether på trommelen er halve DN300målet. Lastfaktor γ_f er satt til 1,5, som dominerende last.

$$T_{Bmaks} = F_B \cdot \gamma_f \cdot a_{maks} = 980N \cdot 1,5 \cdot 150mm = \underline{\underline{220\,500,0Nmm}} \quad [A.11]$$

A.3.2 Referansespenning

Referansespenningen regnes ut der akslingen har en ytterdiameter på $\varnothing 25,9$ mm og det er ett hull i senter. Senterhullet blir testet både som $\varnothing 4,5$ mm og $\varnothing 10,0$ mm i SW, så det blir i dette kapittelet funnet maks Von Mises Spenning ved begge tilfellene.

Polart annet arealmoment (I_{p_i}) finnes ved formel [A.12] for $i = 4,5$ og [A.13] (neste side) for $i = 10,0$ (Haugan, 2017, s. 107). d er diametermål nevnt over.

$$I_{p_{4,5}} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot ((25,9mm)^4 - (4,5mm)^4)}{32} \approx \underline{\underline{44\,137,0mm^4}} \quad [A.12]$$

$$I_{p_{10,0}} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot ((25,9\text{mm})^4 - (10,0\text{mm})^4)}{32} \approx \underline{43\,195,5\text{mm}^4} \quad [\text{A. 13}]$$

Maksimal skjærspenning (τ_{maks_i}) finnes ved formel [A.14] og [A.15] (Haugan, 2017, s. 100). d_{maks_i} er største diameter momentet T_B [A.11] virker på.

$$\tau_{maks_{4,5}} = \frac{T_{B_{maks}} \cdot d_{maks}}{I_{p_{4,5}} \cdot 2} = \frac{220\,500,0\text{Nmm} \cdot 25,9\text{mm}}{44\,137,0\text{mm}^4 \cdot 2} \approx \underline{64,7\text{N/mm}^2} \quad [\text{A. 14}]$$

$$\tau_{maks_{10,0}} = \frac{T_{B_{maks}} \cdot d_{maks}}{I_{p_{10,0}} \cdot 2} = \frac{220\,500,0\text{Nmm} \cdot 25,9\text{mm}}{43\,195,5\text{mm}^4 \cdot 2} \approx \underline{66,2\text{N/mm}^2} \quad [\text{A. 15}]$$

Maks Von Mises Spenning (σ_{vm_i}) av ligning [2.1] og er vist i [A.16] for $\varnothing 4,5$ mm og [A.17] for $\varnothing 6,0$ mm.

$$\sigma_{vm_{4,5}} = \sqrt{3 \cdot \tau_{maks_{4,5}}^2} = \sqrt{3 \cdot (64,7\text{N/mm}^2)^2} \approx \underline{112,1\text{N/mm}^2} \quad [\text{A. 16}]$$

$$\sigma_{vm_{10,0}} = \sqrt{3 \cdot \tau_{maks_{10,0}}^2} = \sqrt{3 \cdot (66,2\text{N/mm}^2)^2} \approx \underline{114,7\text{N/mm}^2} \quad [\text{A. 17}]$$

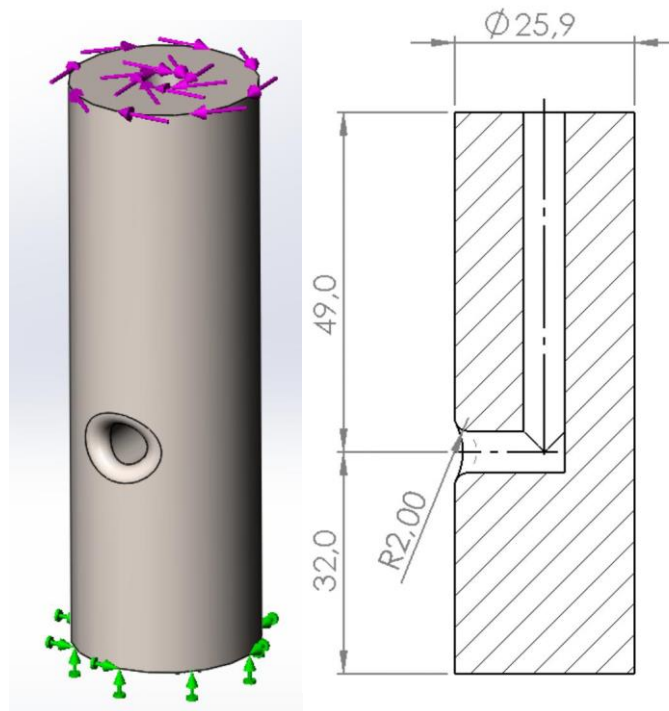
A.3.3 Beregninger i SW, valg av hullprofil

Det ble laget en forenklet modell av akslingen med fokus på området rundt utgangen av tether, midt på akslingen. Se figur A.2, neste side.

Rammebetingelsene for beregningene i SW er:

- Målene gitt på figur A.2.
- Utgangspunktet for mesh innstillingen er satt til midt mellom «corse» og «fine» samt curvature-based.
- H-adaptiv (se kapittel 2.2.4) er satt til 99% med inntil 5 beregninger. Dette sørger for konvergens og validitet i spenningsresultatene.

- d. Fastholdinger på hele den ene enden som vis på figur A.2, grønt.
- e. Moment påført på hele den andre enden som vist på figur A.2, lilla.



Figur A.2: SW rammebetingelser for test

Det blir så eksperimentert med hvilken type hullprofil som gir minst spenninger i akslingen. De to hovedalternativene er større hull eller større vinkel på utgangshullet. I tillegg er det testet med og uten avrunding i utgangshullet. Sistnevnte er på 2 mm i radius, se figur A.2, og i henhold til FMEA (tabell 4.3i). For hver test blir overflatespenningen, nær momentpåføringssiden, kontrollmålt mot ligning [A.16] eller [A.17].

Resultatet av testene er beskrevet i største Von Mises Spenning funnet og står i tabell A.2. Tabellen viser at det er bedre å gå opp i hullstørrelse enn å øke vinkelen. Det kommer også frem at avrundingen av utgangshullet ikke har nevneverdig påvirkning. Det blir derfor konkludert med å bruke $\varnothing 10,0$ mm hull i akslingen med 90 graders utgangshull.

Diameter:	Avrundet:	90 grader:	110 grader:
4,5 mm	Nei	243,4 N/mm ²	265,3 N/mm ²
	Ja	245,5 N/mm ²	263,6 N/mm ²
10,0 mm	Nei	288,6 N/mm ²	318,4 N/mm ²
	Ja	295,6 N/mm ²	326,9 N/mm ²

Tabell A.2: Test resultater fra SW

A.3.4 Beregninger i SW, resultat av endelig hullprofil

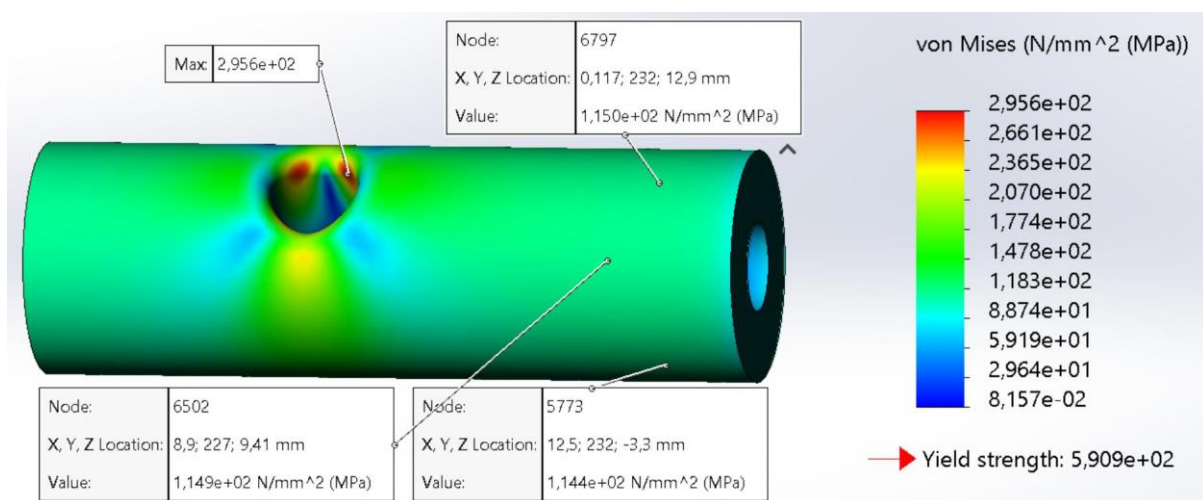
Salgsavdelingen til AVK ved Hanne Holla informerte 13. april om at flytespenningen for deres rustfrittstål 420 er 650 N/mm^2 . Dette gir en dimensjonerende flytespenning (σ_F) som vist i ligning [A.18], av ligning [2.3] og med materialfaktor (γ_M) lik 1,1. Sistnevnte fra kapittel 2.2.3.

$$\sigma_F = \frac{\sigma_{flyt}}{\gamma_M} = \frac{650 \text{ N/mm}^2}{1,1} \approx \underline{\underline{590,9 \text{ N/mm}^2}} \quad [\text{A. 18}]$$

Med utgangspunkt i maks Von Mises Spenning ($\sigma_{vm_{ak}}$) for hullbilde med $\varnothing 10,0 \text{ mm}$ hull, 90 grader og avrundet utgangshull i tabell A.2, finnes en FOS_{ak} mot bruddgrensetilstandteorien i kapittel 2.2.3 vist i ligning [A.19], av ligning [2.2].

$$FOS_{ak} = \frac{\sigma_F}{\sigma_{vm_{ak}}} = \frac{590,9 \text{ N/mm}^2}{295,6 \text{ N/mm}^2} \approx \underline{\underline{2,0}} \quad [\text{A. 19}]$$

Med bakgrunn i at bruddgrensetilstandteorien er fulgt og med en FOS_{ak} på 2,0 antas det at tether vil ryke før akslingen. Et plot av maks Von Mises Spenning for det aktuelle hullbildet er vist i figur A.3. Her vises også lokasjonen for største spenning og valideringsmålinger mot ligning [A.17].



Figur A.3: Plot av spenninger på aksling

A.4 Minste moment tether tåler

Det minste moment som kan ryke tether (T_{Bmin}) finnes ved [A.20], som er tether bruddstyrke (F_B) ganget med den minste mulige armen (a_{min}) for tether på trommelen. Med en konservativ tilnærming er minste arm halve diameteren på akslingen (figur A.2), uten å legge til halve diameteren på tether. Bruddstyrken til tether finnes i tabell 4.1.

$$T_{Bmin} = F_B \cdot a_{min} = 980N \cdot \frac{25,9mm}{2} = \underline{12691,0Nmm} \quad [A.20]$$

Vedlegg B: Bearbeiding

Både blindflens og aksling ble modifisert på Strømmen dreieverksted (Dreieverksted, u.å.). Komponentene og arbeidstegninger (vedlegg G.1 og G.2) ble overlevert uken i forveien slik at forberedelser på maskinene kunne utføres. Innleveringer av tegninger samsvarer med FMEA (tabell 4.3j).

For både blindflens og aksling ble det valgt å bruke sponfraskjærende bearbeiding som produksjonsmetode. Dette er naturlig når vi her snakker om modifisering av allerede produserte komponenter i metall.

Videre følger en mer inngående forklaring på hva som ble gjort med henholdsvis blindflens og aksling. Arbeidet kom på totalt kr 18.750 inklusive moms.

B.1 Endevegg/blindflens

Til blindflensen ble det brukt en CNC-styrt (Computer Numerical Control), 3-akset fresemaskin. CNC-styrt betyr at man må programmere et dataprogram med det ønskede resultatet før programmet med minimal menneskelig interaksjon utfører arbeidet. 3-akset er i dette tilfelle at dataprogrammet både flytter på emnet i planet og justerer frese-, bore- og gjengedybde.

Strømmen dreieverksted tok utgangspunkt i en tidligere versjon av vedlegg G.1, men gjorde to mindre endringer. De gjorde Ra0,8-overflaten 1,00 mm dypere grunnet ujevnheter i platen og M3-gjengene bare 6 mm dype. Sistnevnte siden dette var tilstrekkelig i forhold til skruene som skulle brukes og av faren for å knekke gjengetappen dersom gjengene ble utført dypere. Både flaten og gjengene er vist på figur B.1, neste side.



Figur B.1: Blindflens etter dreining

De to ett-tommers hullene ble gjenget opp på Hafslund Eco sitt verksted for å være sikker på å få tillaget riktige gjenger til kranene som skal inn i disse.

Vedlegg G.1 er oppdatert i forhold til det som ble gjort av dreierverkstedet og tar ellers utgangspunkt i informasjon på AVK sine hjemmesider (AVK, u.å.-c) samt 3D tegninger av Bluerobotic sitt motstykke til 4 tommers dom, «o-ring flange (4 inch series)» (Bluerobotics, u.å.-b).

B.2 Aksling på spjeldventil

Akslingen ble bearbeidet i en 3-akset CNC-styrt dreiebenk med utgangspunkt i en tidligere versjon av vedlegg G.2. Det vil si, produksjonen av hullene og oppgjenging skjer med bruk av kun en akse - boreddybde. For avrundingen av utgangen midt på akslingen (figur B.2 neste side) styres tre akser med dataprogram - rotasjon av emnet, boreddybde og aksialforflytting av emnet.



Figur B.2: Avrundet utgangshull midt på akslingen

Til det dypeste hullet i senter av akslingen var det nødvendig å kjøpe inn et spesialbor med to dagers leveringstid. Det ble også formidlet, fra Strømmen dreieverksted, en fare for at boret kunne knekke i emnet når borelengden var så lang. Endelig dybde på dette hullet ble 295 mm fra enden.

Ved en feil ble det angitt at gjengene i enden på akslingen skulle være av typen M12 og ikke M12x1,5. Strømmen dreierverksted var behjelpelige med å lage en overgang i messing slik at innkjøpt Cable Gland likevel kunne brukes. Overgangen er vist på figur B.3 og tetter mot akslingen med en o-ring på samme måte som for Cable Gland (figur 4.10b). Innkjøpt Cable Gland skrues inn i denne og fungerer på samme måte som om innskrudd direkte i akslingen. Siden overgangen er i messing, slik som Cable Gland, blir det ikke galvanisk korrosjon mellom disse.



Figur B.3: Overgang fra M12 til M12x1,5

Vedlegg G.2 er oppdatert med korrekte gjenger og er ellers laget med bakgrunn i 3D tegning fra AVK sine hjemmesider (AVK, u.å.-b).

Vedlegg C: ROV Launch og Recovery

C.1 Fremgangsmetode for Launch av ROV

- a. Lad opp ROV-system.
- b. Koble til ROV.
- c. Koble controller til andre enden av tether og teste ROV-systemet.
- d. Bygg opp med planker eller pall, ved sluseventil, slik at kammermodulene kun trengs å trekkes inntil sluseventilen før de skal boltes sammen.
- e. Legg ROV inn i 600 mm flenserør og plasser de to kammermodulene på oppbygningen foran sluseventilen.
- f. Knekk og legg inn det antall lightstick som skal brukes.
- g. Koble 600 mm flenserør til sluseventil med PN25-armertpakning imellom og skru boltene til med 275 Nm (vedlegg F.3).
- h. Skru sammen kammermodulene med PN16-armertpakning mellom og dra til boltene med 220 Nm (vedlegg F.3).
- i. Åpne sluseventil litt for så å stenge den igjen. Repeter dette slik at det ikke er fullt trykk på en eventuell lekkasje.
- j. Åpne sluseventilen helt.
- k. Kjør ROV litt inn i tømmerøret og sjekk at den synker når det ikke gis noen stikkeutslag på controller. Om ikke, legg litt mer vekt på ROV, se kapittel 4.2.1g.
- l. Gi etter med tether og følg med på når det nærmer seg tom trommel. Unngå sistnevnte.

C.2 Fremgangsmetode for Recovery av ROV

- a. Spol inn tether på trommelen, ettersom ROV kommer nærmere.
- b. Rygge inn i tømmerøret. Dette for å kunne se at sluseventil ikke går i ROV ved stenging når ROV er tilbake i kammeret.
- c. Steng sluseventil forsiktig mens det observeres om ROV eller tether er borti sluseventilen.
- d. Åpne begge kranene for rask tømning av kammeret.
- e. Koble totalsystemet fra sluseventilen.
- f. Separer totalsystemet i moduler for transport.
- g. Kjør ROV-funksjoner for å se at alt virker til neste gang.
- h. Koble fra ROV-system og controller.
- i. Rydd opp planker eller pall foran sluseventilen.

Vedlegg D: Dokumenter fra Hafslund Eco

D.1 Taushetserklæring



Postboks 990 Skøyen
0247 Oslo
Org. nr: NO 976 894 677 MVA
www.hafslundeco.no

Taushetserklæring – [oppdragsgiver]

Personopplysninger og identifikasjon		
Fødselsdato	Etternavn (Blokkbokstaver)	Fornavn (Blokkbokstaver)
7. desember 1985	LIA	JOHANNES
For eksterne		
Virksomhet/firma	Type oppdrag	
Student ved NTNU Gjøvik	Bacheloroppgave	

Erklæring	
<p>Jeg forstår</p> <ul style="list-style-type: none">– at mitt oppdrag/mine arbeidsoppgaver innebærer tilgang og/eller kjennskap til kraftsensitive opplysninger– at håndtering og oppbevaring av kraftsensitive opplysninger er ledsaget av taushetsplikt– at overholdelse av taushetsplikt krever ansvarsfølelse og lojalitet <p>Jeg har satt meg inn i</p> <ul style="list-style-type: none">– Energiloven § 9-3– Kraftberedskapsforskriften § 6-2– Damsikkerhetsforskriften § 7-8– Hvis relevant: Informasjonssikkerhetsavtale– Offentleglova § 13 <p>Jeg forplikter meg til</p> <ul style="list-style-type: none">– å overholde gjeldende bestemmelser og informasjonssikkerhetsavtale– å utvise stor aktsomhet ved håndtering av alle taushetsbelagte dokumenter, slik at de ikke kommer uvedkommende i hende– ikke å omtale taushetsbelagte opplysninger for uvedkommende– ikke å utnytte taushetsbelagte opplysninger til uberettiget vinning til meg selv eller andre <p>Jeg er klar over</p> <ul style="list-style-type: none">– at brudd på taushetsplikten kan få følger for ansettelses – eller oppdragsforholdet og medføre straffeansvar– at taushetsplikten også gjelder etter at ansettelses– eller oppdragsforholdet er avsluttet	
Sted og dato Oslo 6/1-21	Underskrift



Utdrag fra de mest relevante bestemmelsene i lov og forskrift

Energiloven

§ 9-3, andre ledd (Informasjonssikkerhet)

Enhver plikter å hindre at andre enn rettmessige brukere får adgang eller kjennskap til sensitiv informasjon om kraftforsyningen.

Kraftberedskapsforskriften

§ 6-2. Kraftsensitiv informasjon

Kraftsensitiv informasjon er underlagt taushetsplikt etter § 9-3 i energiloven.

Med kraftsensitiv informasjon menes spesifikk og inngående opplysninger om energiforsyningen som kan brukes til å skade anlegg eller påvirke funksjoner som har betydning for energiforsyningen, herunder:

- a. Alle system som ivaretar viktige driftskontrollfunksjoner, herunder også nødvendig hjelpeutstyr som samband.*
- b. Detaljert informasjon om energisystemet, herunder enlinjeskjema, med unntak av enlinjeskjema for mindre viktige produksjonsanlegg.*
- c. Detaljert informasjon om klassifiserte transformatorstasjoner med tilhørende koblingsanlegg, herunder anleggets oppbygning og drift.*
- d. Oversikt over fordelingsnett til samfunnskritiske funksjoner. Oversikt over rørmnett for fjernvarme til samfunnsviktige funksjoner.*
- e. Nøyaktig kartfesting av jordkabler. Nøyaktig kartfesting av rørmnett i fjernvarmeanlegg med varmesentraler i klasse 2.*
- f. Forebyggende sikkerhetstiltak mot bevisst skadeverk.*
- g. Lokalisering av reserve driftssentraler og andre særskilte beredskapsanlegg for ledelse og drift.*
- h. Detaljerte analyser av sårbarhet som kan brukes til bevisst skadeverk.*
- i. Beredkapsplaner for å håndtere bevisst skadeverk.*
- j. Samlet oversikt over reservemateriell, reserveløsninger eller reparasjonsberedskap av betydning for håndtering av bevisst skadeverk.*

Damsikkerhetsforskriften

§ 7-8. Informasjonssikkerhet

For vassdragsanlegg i konsekvensklasse 2, 3 og 4 skal det foretas en helhetlig risikovurdering knyttet til all behandling av informasjon om vassdragsanlegget. Som sensitiv informasjon regnes spesifikk informasjon og inngående kjennskap om vassdragsanlegget som kan brukes til å skade anlegget eller påvirke funksjoner som har betydning for sikkerheten. Det skal identifiseres hvilken informasjon som er sensitiv, hvor den befinner seg og hvem som har tilgang til den. Det skal etableres effektiv avskjerming av sensitiv informasjon og gjennomføres tilgangskontroll slik at kun rettmessige brukere får tilgang. Enhver som omfattes av forskriften her plikter å hindre at andre enn rettmessige brukere får adgang eller kjennskap til sensitiv informasjon om vassdragsanlegget. Slik informasjon er å anse som taushetsbelagt informasjon unntatt fra innsyn etter offentleglova § 13. All kommunikasjon og behandling av sensitiv informasjon skal beskyttes mot avlytting og manipulering fra uvedkommende

En sikkerhetsinstruks for å ivareta informasjonssikkerheten skal utarbeides. Det skal gjennomføres tiltak for å ivareta krav etter instruksen.



NVE kan treffe vedtak om at informasjon om vassdragsanlegg skal behandles i henhold til bestemmelsene i lov 20. mars 1998 nr. 10 om forebyggende sikkerhetstjeneste (sikkerhetsloven).

Offentleglova

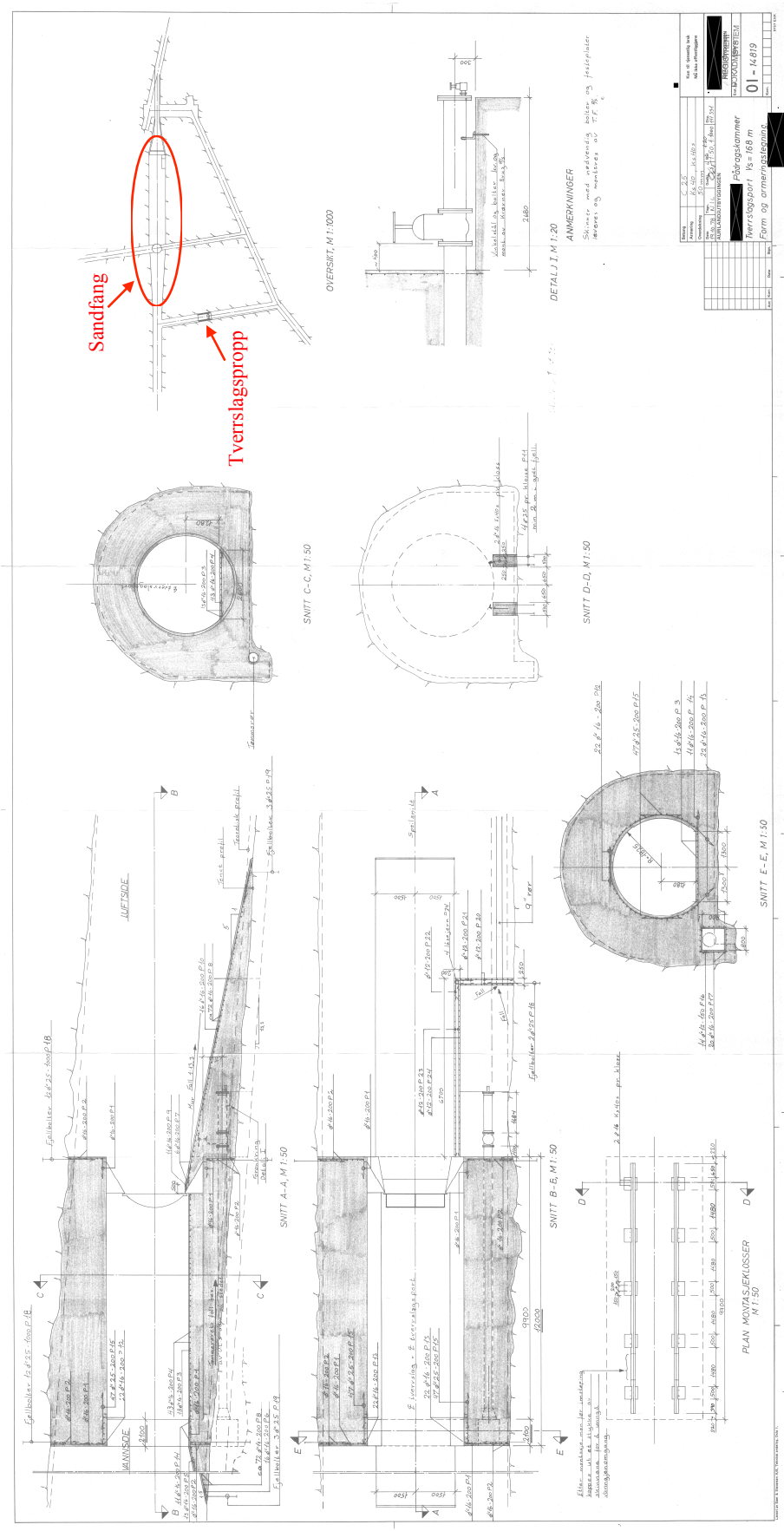
§ 13. Opplysningar som er underlagde teieplikt

Opplysningar som er underlagde teieplikt i lov eller i medhald av lov, er unnatekne frå innsyn.

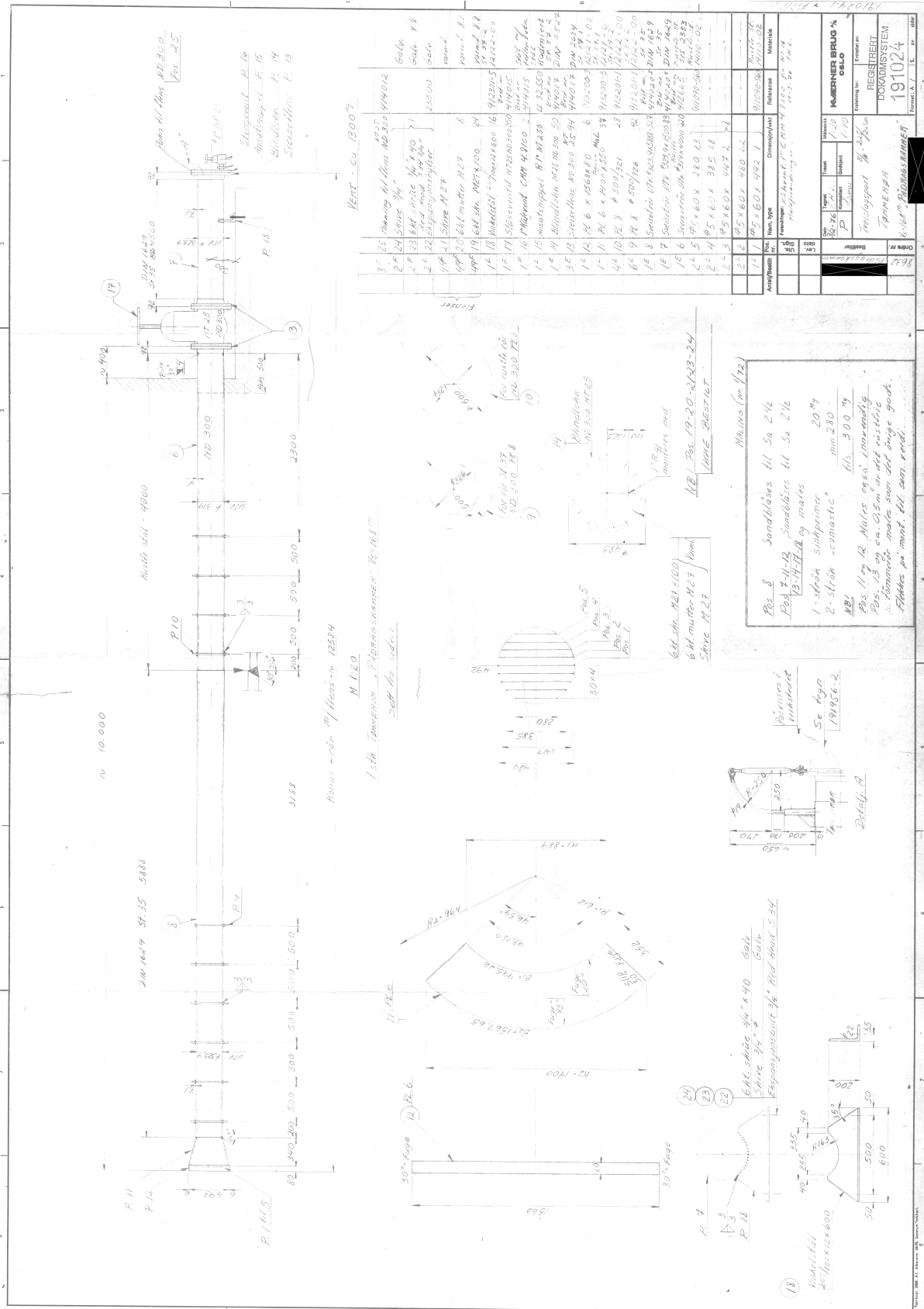
Føresegnene i forvaltningsloven om teieplikt gir sjølvstendige rettssubjekt som er nemnde i § 2 første ledd bokstav c eller d i lova her, høve til å gjere unntak for dokument og opplysningar i same omfang som dei gir forvaltningsorgan det.

Gjeld innsynskravet eit dokument som inneheld opplysningar som er underlagde teieplikt, og denne plikta fell bort dersom den som har krav på tystnad samtykkjer, skal innsynskravet saman med ei eventuell grunngiving på oppmoding leggjast fram for vedkommande med ein høveleg frist til å svare. Svarar vedkommande ikkje, skal dette reknast som nekting av samtykke.

D.2 Tegning tverrslagspropp (ikke i målestokk på A4 format)



D.3 Tegning tømmerør (ikke i målestokk på A4 format)



SIKKER JOBB ANALYSE (SJA)

SJA skal gjennomføres når:

- Arbeid medfører avvik fra beskrivelser i prosedyrer og planer
- Aktiviteten innebærer økt eller endret risiko
- Folk som ikke kjenner hverandre, skal jobbe sammen
- Utstyr som en ikke har erfaring med skal brukes
- Forutsetningene er endret (værforhold, tilgjengelig tid, rekkefølge av oppgaver, andre aktiviteter som utføres i nærheten ol.)
- Leverandør er ikke kjent med arbeidsoppgaver og risiko

Dok id 1071488,
rev 5

Prosjekt / sted / AO:	T-ROV / XXX / AO:50737	Prosjektnr.	
Arbeidsoppgaver:	Felttest av ROV-system gjennom sluseventil	Dato:	11. mai 2021
Deltakere:	Ådne Einnemo (LFAV), Frode Bekkedal (LFSV og med krankurs) og Johannes Lia		
Signatur:			

Arbeidsoppgave	Faremomenter	Har vi kontroll på risikoene? Ja Delvis Lite	Tiltak	Ansvar/ tidsfrist	Utført
Forberedelser til transport opp til testlokasjon	Glemme utstyr og praktiske forberedelser	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Fulladet ROV system, momentnøkkel som tar 275 Nm, 24 mm pipe og fastnøkkel, 27 mm pipe og fastnøkkel, avbiter, elektrikerrep.	Johannes Lia	
_____ _____	Glemme sikkerhetsutstyr	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Førstehjelpsutstyr, personlig vernebriller, vernesko og hodelykt. Ekstra batteri til hodelykt, tilstrekkelig med drivstoff på kjøretøy (som også multiflaggjør personelloppvarming).	LFSV	
På testlokasjon	Uforutsette førstehjelpsskader	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	En bil står med nære arbeidsstedet klar til å kjøre ut ved en skade. Skal også kunne fasilitere oppvarming av personell ved behov.	LFSV	
Forarbeid på testlokasjon	ROV kan sette seg fast	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Åpne sluseventil slik at sedimenter og fremmedlegemer som kan hindre ROV fremkommelighet blir skylt bort.	Johannes Lia	

Eksempler på mulige risikoer:

- Sammenstøt / påkjørsel
- Konstruksjonsvikt
- Brann, eksplosjon
- Bevegelige gjenstander/ klemfare
- Skarpe gjenstander/kutt
- Fallende gjenstand
- Fall
- Tunge løft/materialer
- Stråling
- Fare for elektrisk støt
- Høyt trykk, sprutfare
- Støy/vibrasjon
- Overflater med høy/lav temperatur
- Støv, røyk, gasser giftige stoffer
- Mangelfull belysning
- Værforhold (vind, kulde, tåke)
- Værforhold (vind, kulde, tåke ol.)
- Arbeid i tanker/oksygenmangel
- Drukningfare
- Annet, spesifikser

Arbeidsoppgave	Faremomenter	Har vi kontroll på risikoene? Ja Delvis Lite	Tiltak	Ansvar/ tidsfrist	Utført
Installasjon av kammermoduler	Skade på kropp fra behandling av tung vekt	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Alle må bruke vernesko. Det blir brukt kran for å løfte på plass kammeret. Utvises forsiktighet ved løft av tunge moduler og bruke korrekt løfteknikk. Husk også god kommunikasjon og plassering av fingre for å unngå klemskader.	Alle / under installasjon	
Operasjon av ROV	Uforusett lekkasje av vann med høyt trykk	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Alle må bruke vernebriller. Sluseventilen må åpnes forsiktig og stå åpen en stund før ROV kjøres inn i vannveiene, dette for å gi tid til å observere for lekkasje og eventuelt raskt stenge ventilen.	Alle / etter installasjon	
_____ _____	ROV flyter inn i trykksjakt dersom ødelagt	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Sjekk at ROV synker dersom ingen stikkeutslag gis. Legge på mer vekt derom dette ikke er tilfelle.	Johannes Lia	
_____ _____	ROV setter seg fast og kommer seg ikke tilbake til kammeret	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Om det observeres fiskesen, innsnevring i tilgang eller annet som kan enten kan ødelegge ROV eller hindre at den kommer tilbake samme vei, må oppdraget avblåses eller alternativ rute velges.	Johannes Lia	
Opprydding	Feilløft og igjenglemt utstyr	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Delvis <input type="checkbox"/> Lite	Tomme kammeret fullstendig for vann ved bruk av kranene. Ved bruk av kran fjern kammeret fra tømmerøret. Pass på plassering av fingre for å unngå klemskader. Husk også riktig løfteknikk ved behandling av det samme kammeret. Se over teststedet, at ikke noe er igjenglemt	Alle / under opprydding	

Eksempler på mulige farer:

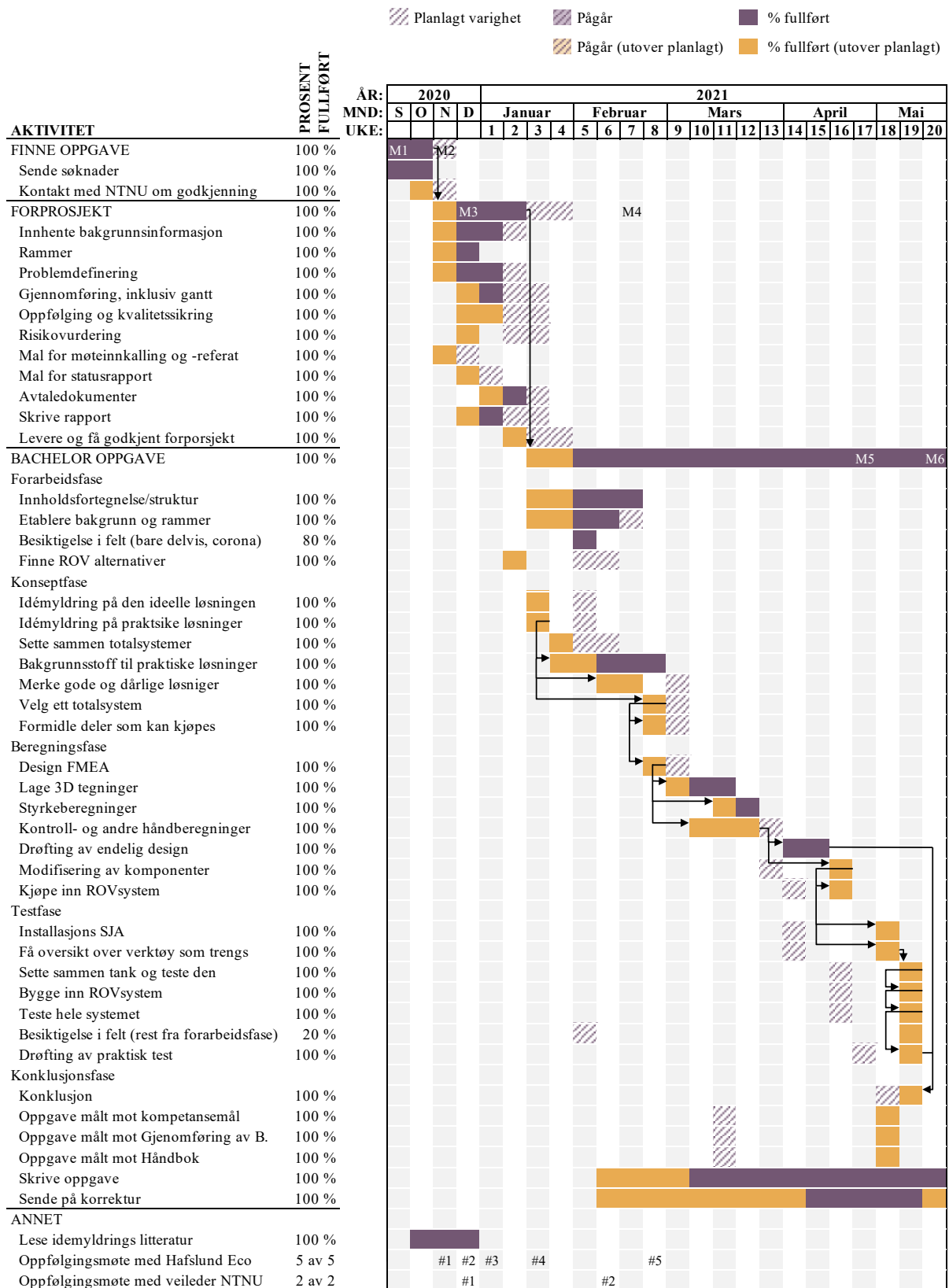
- Sammenstøt / påkjørsel
- Konstruksjonsvikt
- Brann, eksplosjon
- Bevegelige gjenstander/ klemfare
- Skarpe gjenstander/kutt
- Fallende gjenstand
- Fall
- Tunge løft/materialer
- Stråling
- Fare for elektrisk støt
- Høyt trykk, sprutfare
- Støy/vibrasjon
- Overflater med høy/lav temperatur
- Støv, røyk, gasser giftige stoffer
- Mangelfull belysning
- Værforhold (vind, kulde, tåke)
- Værforhold (vind, kulde, tåke)
- Arbeid i tanker/oksygenmangel
- Drukningssfare
- Annet, spesifiser

Vedlegg E: Dokumentasjon på arbeid

Milepæler på gantt-skjema

- M1 Oppmeldingsrist, 15. september.
- M2 Frist levere forslag på eget arbeid, 1. november.
- M3 Oppstartsmøte med Hafslund Eco.
- M4 Innlevering forprosjekt, 15. februar.
- M5 Felttest.
- M6 Innlevering bachelor oppgave, 20. mai.

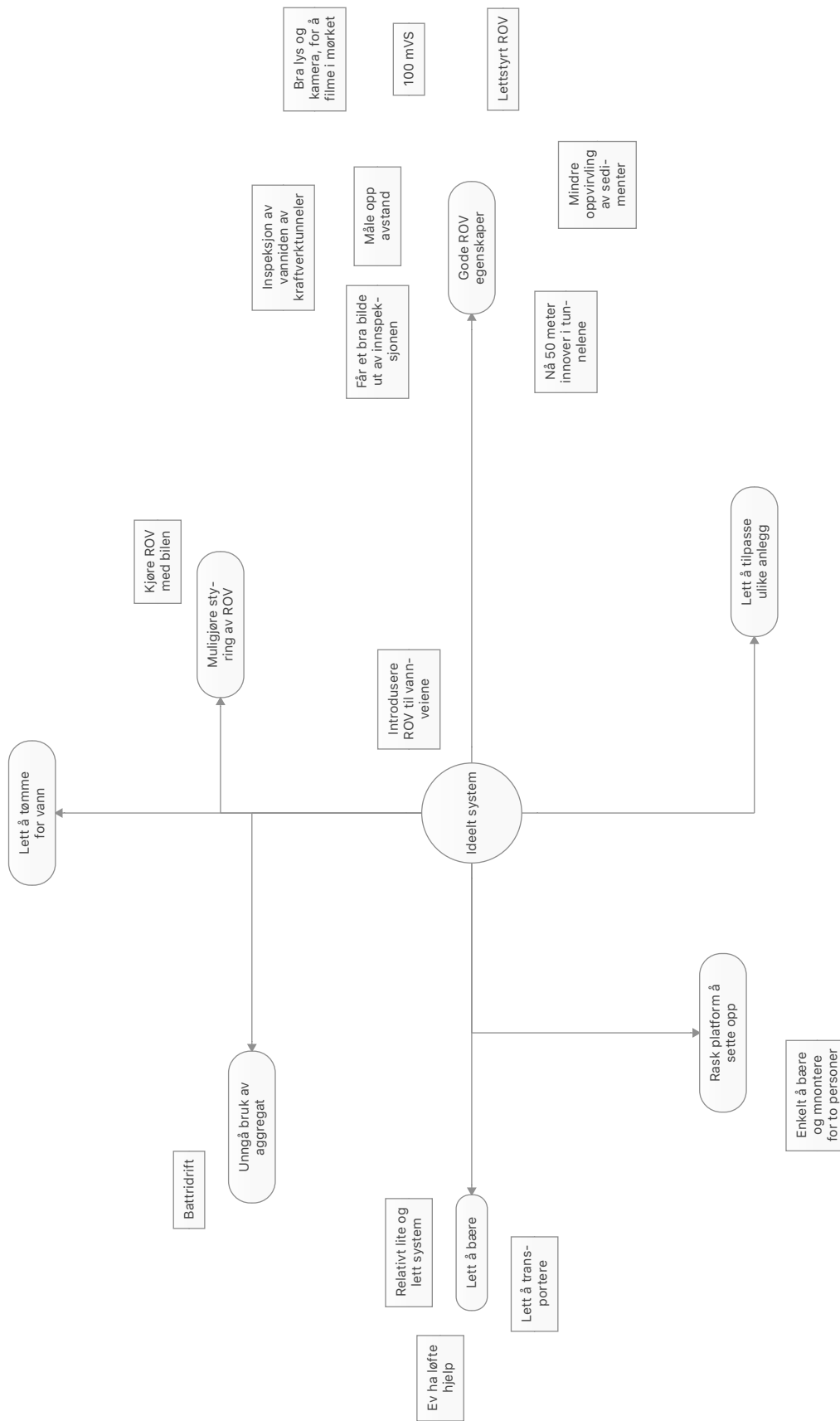
E.1 Gantt-skjema



E.2 ROV-systemer

ROV-system nummer	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	#21	#22		
Produent	Chasing (Kina)	Chasing (Kina)	Chasing (Kina)	Grom (Russland)	Grom (Russland)	Oyasa (Kina)	Oyasa (Kina)	Oyasa (Kina)	MarineNav (Canada)	bluaye (Noege)	Deep Trekker (Canada)	Sofar (USA)	Yacon robot (Kina)	Geneimo (USA)	Seavlight robotics (USA)	Fathom (USA)	Blue Robotics (USA)	Videobay (USA)	Power Vision (Kina)	Aqua robotm (Kina)	Navatics (Kina)	SVIT (Kina)		
Navn på ROV-system	Chasing Mini	Chasing M2	Dory	Grom super	Grom baby	Filish V6 plus	Filish V6 plus	Filish	Oceanus hyper mini	bluaye pro	DT63	Trident	BW space pro	Titan 1	Endura 100	One	BlueROV2	Pro 4	Powerfly	Nemo	MITO	CGROV		
Nettside	https://www.eletron.no/produkt/chasing-mini	https://www.chasing.com/dsa/asing.com/dsa/ing-m2-specs	https://www.chasing.com/dsa/ing-dory-specs	https://www.grom.com/products/super-grom/	https://www.grom.com/products/baby-grom/	https://www.oysa.com/products/filish-v6-plus/	https://www.oysa.com/products/filish-v6-plus/	https://www.oysa.com/products/filish-v6-plus/	https://www.marine-nav.com/minimicrohead-er11-17/	https://www.bluaye.com/rover/pro	https://www.deep-trekker.com/products/trident-dt63/	https://www.sofarrobotics.com/rover/trident/	https://www.yaconrobot.com/robot/bw-space-pro/	https://www.geneimorobotics.com/products/titan-1/	https://www.seavlightrobotics.com/endura-100-robot/	https://www.fathomrobotics.com/robot/one/	https://www.bluerobotics.com/content/uploads/2020/02/br-2-brochure-english.pdf	https://www.videobay.com/decoray-robot/	https://www.power-vision.com/en/product/werfly-specs	https://www.aqua-robot.com/nemo/	https://www.navatics.com/	http://www.svit.com/cv/rovs/rovs.html	https://www.cgrov.com/	
Divs	31.900 kr	31.900 kr	5699 kr	35.800 euro	17.495 kr	95.800 kr + 44.995 kr 12MP	95.800 kr + 44.995 kr 12MP	174.750 kr	174.750 kr	119.637 kr	6.246 USD	1.495 USD	13.399 USD	3.490 USD	17.000 USD	17.000 USD	3.490 USD	3.490 USD	3.490 USD	13.399 USD	13.399 USD	13.399 USD	4.500 Bp	
Kamera	4K	4K	4K	HD	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K	4K		
Se live bilder på flere VR enheter	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
Enkel SD-kort lagring	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
VR bilde kompatible	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
Retningslås	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja		
Sensorer	3 akse gyro og akselerometer	3 akse gyro, dybde, temperatur, akselerometer	3 akse gyro, dybde, temperatur, akselerometer	Kompass og dybde	3 akse gyro, dybde	3 akse gyro, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	3 akse gyro, akselerometer, dybde, kompass, temperatur, inertrykk	Dybde og temperatur
Pitchlås	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Kamera tilt	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	90 grader	Pitcher ikke nel	
Se live bilder på flere enheter	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Langde (mm)	385	380	380	360	360	383	383	492	520	485	279	410	405	380	711	457	457	465	404	404	404	404	208	
Bredde (mm)	278	267	270	270	270	331	331	337	293	325	325	285	272	317	381	338	338	270	250	250	250	250	204	
Dybde (mm)	125	125	125	125	125	143	143	174	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	135	
Nettforbruk (Watt)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
Max dybde (6500)	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	332,33	
Max dybde	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	100m	
Tilførsel	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	100-240V AC med 600V og 60-50 Hz	
Batteri	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	1444mAh	1444mAh	900mAh	900mAh	900mAh	8 timer	3-4 timer	2-3 timer	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	900mAh	2850mAh	
Batteritid	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	15-2 timer	
Lettest batteri	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Vekt luft	2,3 kg	4,5 kg	4,5 kg	5 kg	5 kg	5 kg	5 kg	10,5 kg	9 kg	9 kg	8,5 kg	3,4 kg	1,6 kg	4,5 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	6,8 kg	
Basetasjonvekt	685 g	685 g	685 g	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	30 kg m/150 kabel	
Signaloverføring til Controller	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	Kabel, wifi som ekstra utstyr	
Max hastighet	1200r	1200r	1200r	1200r	1200r	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	5,56 km/h	
Fluere	3 ventiler, 2 led	3 ventiler, 2 led	3 ventiler, 2 led	3 ventiler, 2 led	3 ventiler, 2 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	2 ventiler, 4 led	
Utsigtsfelt	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	
Utsigtsfelt	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	120°	
Dimbare lys	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Max tetter lengde	100m	100m	100m	100m	100m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	250m	
Tetherbruddstyrke	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	
Tether styrke i vann	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	980N	
Ryggekamera	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Distansemåler	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ekstra utstyr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Monterbar klo	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Sonar	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ryggekamera med lys	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ekstra batteri	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ekstra lys	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ekstra utstyr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Monterbar klo	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Sonar	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ryggekamera med lys	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ekstra batteri	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	
Ekstra lys	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	

E.3 Tankekart på Benefit



E.5 Totalsystemer

	BEREFT	FUNKSJON	Totalsystem #1	Totalsystem #2	Totalsystem #3	Totalsystem #4	Totalsystem #5	Totalsystem #6	Totalsystem #7	Totalsystem #8	Totalsystem #9	Totalsystem #10	Totalsystem #11	Totalsystem #12
1	MÅHA													
2	Fysiske enhet som holder på vann	Holder på vann	Sirkulært kammer i samme dimensjon som tennereet.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
3	Slipper ikke ut CO2 i tunnel	Går på batteri	Batteridrift på ROV	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
4			Batteri på lys i kammeret grunnet 12.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
5			Batteri på lys i tversslag grunnet rad 24.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
6							Strom fra bil eller separat bilbatterikilde, til elektrisk motor.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
7	Muliggjøre styring av ROV	Lagring av tether	Trommel parallellt med kammeret med en eller to opplagring. Opplagring i vann, glidelager i POM DN300.	<← Likt	<← Likt	Trommel parallellt med kammeret med en eller to opplagring. Opplagring i vann, glidelager i POM DN300.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	Trommel plassert 90 grader på kammeret. Glidelager i POM.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
8		Inn og utspoling av tether	Manuell sveiv.	<← Likt	<← Likt	Manuell sveiv med slipring.	Elektrisk drift rett på aksel, med slipring.	<← Likt	Elektrisk drift overføring med tannhjul/spirde, med slipring.	<← Likt	Elektrisk drift rett på aksel, med slipring.	<← Likt	Elektrisk drift overføring med tannhjul/spirde, med slipring.	<← Likt
9		Kammergjennomføring av akslingen	Gjeld Glønd på enden av akslingen.	<← Likt	<← Likt	Bulkhead connector.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
10		Organisering av tether	Trinse ved trommel grunnet rad 7, ev i tillegg en øyebolt litt nærmere ventilen som guding.	<← Likt	<← Likt	Trinse ved trommel grunnet rad 6, ev i tillegg en øyebolt litt nærmere ventilen som guding.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	En øyebolt som guding.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
11		Observasjon av tether-organisering	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad.	<← Likt	<← Likt	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad.	<← Likt	Manuell observasjon gjennom bakvegg.	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad.	Manuell observasjon gjennom bakvegg.	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad.	Manuell observasjon gjennom bakvegg.	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad.	Manuell observasjon gjennom bakvegg.
12			Hodebelysning i kammeret.	<← Likt	<← Likt	Hodebelysning i kammeret.	<← Likt	<← Likt	Hodebelysning i kammeret.	<← Likt	Hodebelysning i kammeret.	<← Likt	Hodebelysning i kammeret.	<← Likt
13		Signaloverføring fra kammer til controller	Redei overføring grunnet valg 28.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
14	lett å bære	Riktig materiale	Modulbasert kammer. To fensere og en ventil satt sammen, PN16 DN300.	<← Likt	<← Likt	Metall i rørdelen av kammeret. Fensere PN16 DN300.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
15			Metall i endoveggen grunnet belastningene av valg 7.	Transparent materiale	Transparent materiale	Metall i bakvegg grunnet belastningene av valg 6.	Metall i bakvegg.	Transparent materiale.	Metall i bakvegg.	Transparent materiale.	Metall i bakvegg.	Transparent materiale.	Metall i bakvegg.	Transparent materiale.
16		Totalsystem oppdelt i deler.	Det vil være mulig å separere total-systemet i deler.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
17	lett å tilpasse ulike anlegg	Få plass nær ventilen	Hå kortest mulig kammer.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
18	Godt ROV-egenskaper	Riktig ROV-system	Manuell sveiv på trommel grunnet valg fra rad 8.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
19	Redundancy	Redundancy	Manuell sveiv på trommel grunnet valg fra rad 8.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
20		Gjøre ROV uførlig for kranstasjon	Sette opp ROV litt for tung.	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
21	KJERÅHA													
22	lett å fømme for vann	Kuleventil neide og oppe. Neide for vann ut, oppe for luft inn.		<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
23	Rask å sette opp	Boiler i sammenføyninger.		<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt
24	God lyssetting på lokasjon	Batteridrevne hodebelysere og arbeidslys.		<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt	<← Likt

E.6 Totalsystem evaluering

BENEFIT	FUNKSJON	VEKTING	Totalsystem #1		Totalsystem #2		Totalsystem #3		Totalsystem #11		Totalsystem #12						
			Verdi	Rangtall	Verdi	Rangtall	Verdi	Rangtall	Verdi	Rangtall	Verdi	Rangtall					
1	MÅ-HA																
7	Muliggjøre styring av ROV tether	3	Trommel parallelt med kammeret med en eller to opplagringer. Opplagring i vamm, glielager i POM	2	6/15	Trommel plassert 90 grader på kammeret ved en modifisert spjaldventil, PN16 DN300	4	12/15	<--- Likt	4	12/15	Trommel plassert 90 grader på kammeret. Glielager i POM	3	9/15	<--- Likt	3	9/15
8	Inn og utspøling av tether	5	Manuell sveiv	4	20/25		4	20/25	<--- Likt	4	20/25	Elektrisk drift overføring med tannhjul/kjede, med slipring	1	5/25	<--- Likt	1	5/25
9	Kammergjenno mføring	4	Cabel Gland på enden av akslingen	3	12/20		3	12/20	<--- Likt	3	12/20	Bulkhead connector	4	16/20	<--- Likt	4	16/20
10	Organisering av tether	4	Trinse ved trommel grunnet valget på rad øyebolt litt nærmere ventilen som guiding	2	8/20	En øyebolt som guidin	4	16/20	<--- Likt	4	16/20		4	16/20	<--- Likt	4	16/20
11	Observasjon av tether-organisering	2	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad	3	6/10	<--- Likt	3	6/10	Manuell observasjon gjennom bakvegg.	4	8/10	GoPro kamera med kabelgjennomføring i kammeret og trådløs overføring til Pad	3	6/10	Manuell observasjon gjennom bakvegg	4	8/10
12		2	Hodelykt til dykkere som belysning i kammeret	4	8/10	<--- Likt	4	8/10	ingen belysning trengs	5	10/10	Hodelykt til dykkere som belysning i kammeret	4	8/10	ingen belysning trengs	5	10/10
14	Lette å bære	5	Metall i rørdelen av kammeret. Flenserør PN16 DN300	4	20/25	Modulbasert kammer. To flenserør og en ventil satt sammen, PN16 DN300	3	15/25	<--- Likt	3	15/25	Metall i rørdelen av kammeret. Flenserør PN16 DN300	4	20/25	<--- Likt	4	20/25
15		3	Metall i endeveggen grunnet belastningene av valg på rad 7	4	12/15	Metall i bakvegg	4	12/15	Transparent materiale.	3	9/15	Metall i bakvegg	4	12/15	Transparent materiale.	3	9/15
16	Totalsystem oppdelt i deler.	3	Det vil være mulig å separere total-systemet i deler	3	9/15	<--- Likt	5	15/15	<--- Likt	5	15/15		3	9/15	<--- Likt	3	9/15
17	Lette å tilpasse ulike anlegg.	3	Ha kortest mulig kammer	3	9/15	<--- Likt	4	12/15	<--- Likt	4	12/15		4	12/15	<--- Likt	4	12/15
19	Redundancy	4	Manuell sveiv på trommel grunnet valg på rad 8	4	16/20	<--- Likt	4	16/20	<--- Likt	4	16/20	Har ikke	0	0/20	<--- Likt	0	0/20
	Pris	4		4	16/20		4	16/20		4	16/20		2	8/20		2	8/20
	Driftssikkerhet	5		3	15/25		4	20/25		5	25/25		2	10/25		3	15/25
	SUM rangtall:				157/235			180/235			186/235			131/235			137/235
	Rangordning:				3			2			1			5			4

Vedlegg F: Dokumentasjon fra AVK

F.1 Dataark sluseventil DN300 PN25 (AVK, u.å.-a)



AVK GATE VALVE, FLANGED, PN25
BS EN 1074-2 / BS 5163. 1.4104 stem, DN50-400

21/60-004



AVK gate valves are designed with built-in safety in every detail. The wedge is fully vulcanized with AVK's own drinking water approved EPDM rubber compound. It features an outstanding durability due to the ability of the rubber to regain its original shape, the double bonding vulcanization process and the sturdy wedge design. The triple safety stem sealing system, the high strength stem and the thorough corrosion protection safeguard the unmatched reliability.



Product description:

Flanged gate valve BS EN 1074-2 / BS 5163. For drinking water and neutral liquids to max. 70°C

Standards:

- Designed according to EN 1074-2 type B
- Face-to-face dimension according to EN 558 Table 2 Basic Series 3
- Standard flange drilling to EN1092-2 (ISO 7005-2), PN25

Test/Approvals:

- Hydraulic test according to EN 1074-1 and 2 / EN 12266
- Seat: 1.1 x PN (in bar), Body: 1.5 x PN (in bar). Operation torque test
- Approved according to ACS Certificate 13 ACC NY 283
- WRAS approved materials



Features:

- Fixed, integral wedge nut prevents vibration and ensures durability.
- The ductile iron core is fully vulcanized with drinking water approved EPDM rubber, no iron parts are exposed to the medium and the excellent rubber vulcanization prevents creeping corrosion underneath the rubber.
- Guides in the wedge and on the valve body ensure a uniform closure, safe operation ensured as the guides prevent overloading of the stem.
- The wedge has a large through bore and as there are no hollows in the core, stagnant water or impurities can't collect and cause contamination.
- Stainless steel stem with rolled threads for high strength.
- Full circle brass thrust collar provides fixation of the stem and low free running torques.
- Triple safety stem sealing with an NBR wiper ring, a polyamide bearing with two EPDM O-rings, and another EPDM O-ring on stem, which prevents leakage when exchanging stem seals under pressure.
- Round bonnet gasket fixed in a recess groove in bonnet preventing it from being blown out by pressure surges.
- Countersunk and sealed bonnet bolts encircled by the bonnet gasket, thus there is no risk of corrosion.
- Full bore.
- Fusion bonded epoxy coating in compliance with DIN 3476 part 1 and EN 14901

Accessories:

Stem cap, handwheel, extension spindle, street cover and flange adaptor



Expect... **AVR**

The designs, materials and specifications shown are subject to change without notice. This is due to the continuous development of our product programme.

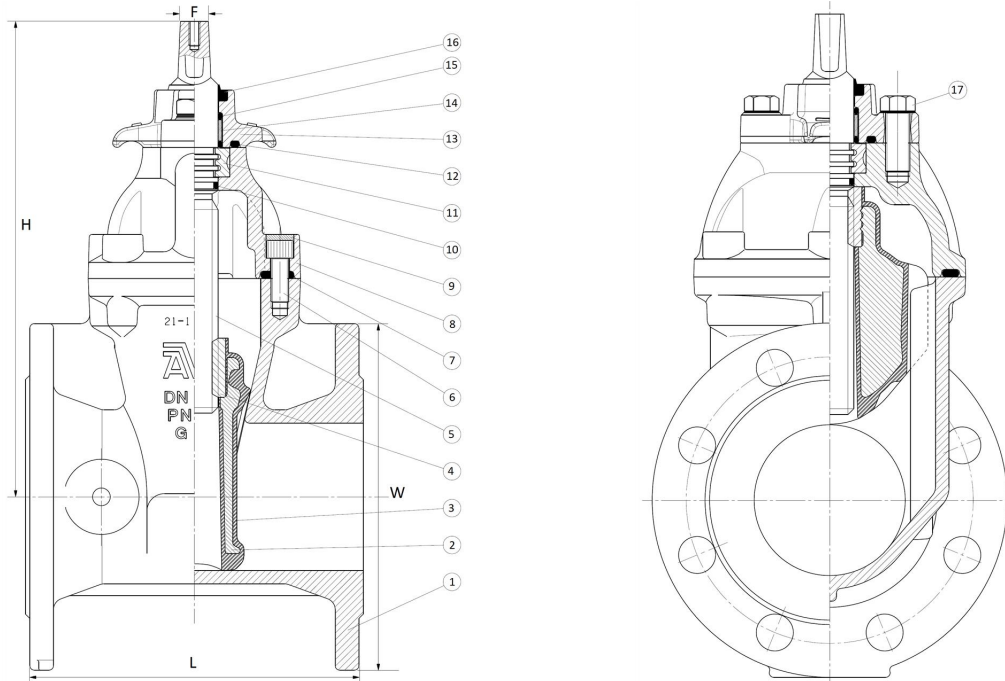
COPYRIGHT©AVK GROUP 2019

js - 08-aug-2019 14:14

AVK GATE VALVE, FLANGED, PN25

21/60-004

BS EN 1074-2 / BS 5163. 1.4104 stem, DN50-400



Component list:

1. Body	Ductile iron GJS-500-7 (GGG-50)	10. O-ring	NBR rubber
2. Wedge core	Ductile iron GJS-500-7 (GGG-50)	11. Thrust collar	Brass, DZR CW602N
3. Wedge rubber	EPDM rubber	12. O-ring	NBR rubber
4. Wedge nut	Brass, DZR CW602N	13. Gland flange	Ductile iron GJS-500-7 (GGG-50)
5. Stem	Stainless steel 420	14. Radial bearing	Polyamide
6. Bonnet bolt	Steel gr. 8.8, zinc plated	15. O-ring	NBR rubber
7. Bonnet gasket	EPDM rubber	16. Wiper ring	NBR rubber
8. Bonnet	Ductile iron GJS-500-7 (GGG-50)	17. Gland flange bolt	Steel gr. 8.8, zinc plated
9. Seal	Hot melt glue		

Components may be substituted with equivalent or higher class materials without prior notification.

Reference nos. and dimensions:

AVK ref. no.	DN	L	H	W	F	Theoretical weight / kg
	mm	mm	mm	mm	mm	
21-050-60-074	50	178	279	165	19	17
21-065-60-074	65	190	288	185	19	18
21-080-60-074	80	203	294	200	19	18
21-100-60-074	100	229	324	235	19	29
21-150-60-074	150	267	429	300	24	51
21-200-60-074	200	292	531	360	27	81
21-250-60-074	250	330	614	425	27	140
21-300-60-074	300	356	690	485	27	188
21-350-60-074	350	381	814	573	32	296
21-400-60-074	400	406	867	620	32	320

The designs, materials and specifications shown are subject to change without notice. This is due to the continuous development of our product programme.

COPYRIGHT©AVK GROUP 2019

F.2 Dataark spjeldventil DN300 PN16 (AVK, u.å.-b)



AVK SENTRISK LUG SPJELDVENTIL, PN10/16 Løs EPDM liner for drikkevann, med fri spindelende. DN25-600

820/10-029



AVK sentriske spjeldventiler med løs liner finnes i typene: wafer, lug og U-seksjon, og kan leveres med et stort utvalg av aktuatorer. Spjeldventilene er designet med anti-blowout aksel med firkantopp og et strømlinjet spjeld av syrefast rustfritt stål med bearbeidet og polert kant. Dette sikrer en lang levetid og et lavt betjeningsmoment



Produktbeskrivelse:

Sentrisk spjeldventil med løs liner og fri spindelende. Til drikkevann og nøytrale væsker -20 - 95°C

Standard:

- Designet iht. EN 593
- Byggelengde iht. DIN/EN 558-1, serie 20 (K1)
- Standard flenseboring iht. EN 1092 (ISO 7005-2), PN10/16

Test/Godkjenninger:

- Hydraulisk test iht. EN 12266-1, P10/P12
- Hydraulisk test iht. NSF 61
- Godkjent iht. ACS-France
- Godkjent iht. ANSI/NSF Standard 61
- Godkjent iht. SVGW sertifikat 9901-4048
- Godkjent iht. DIN-DVGW sertifikat NW-6201CQ0333



Funksjoner:

- Duktijern med lang hals
- Løs liner av drikkevannsgodkjent EPDM gummi med integrert pakningsflate og "sag-profil" for optimal innfesting i ventihuset
- Opp til DN 400, er det en hel, udelte aksel med firkantet spindeltopp. Fra DN 450 er akselen to-delt med selvmørende lagere, rund spindeltopp med slisse og kile
- Strømlinjeformet spjeld av rustfritt stål med maskinerte og polerte kanter som reduserer friksjonen mellom gummipakningen og spjeldet
- Lavt betjeningsmoment muliggjør bruk av kostnadseffektive aktuatorer
- 200 µ epoxybelegg opp til DN 400, 250 µ polyuretan fra DN 450. Mulighet for andre typer belegg
- Iht. PED 2014/68/EC vedlegg 1

Tilbehør:

Spak, gir med ratt, pneumatisk eller elektrisk aktuator, SupaPlus™ flensemuffe for PE / PVC, Supa Maxi™ flensemuffe og combiflenser



Expect... **AVR**

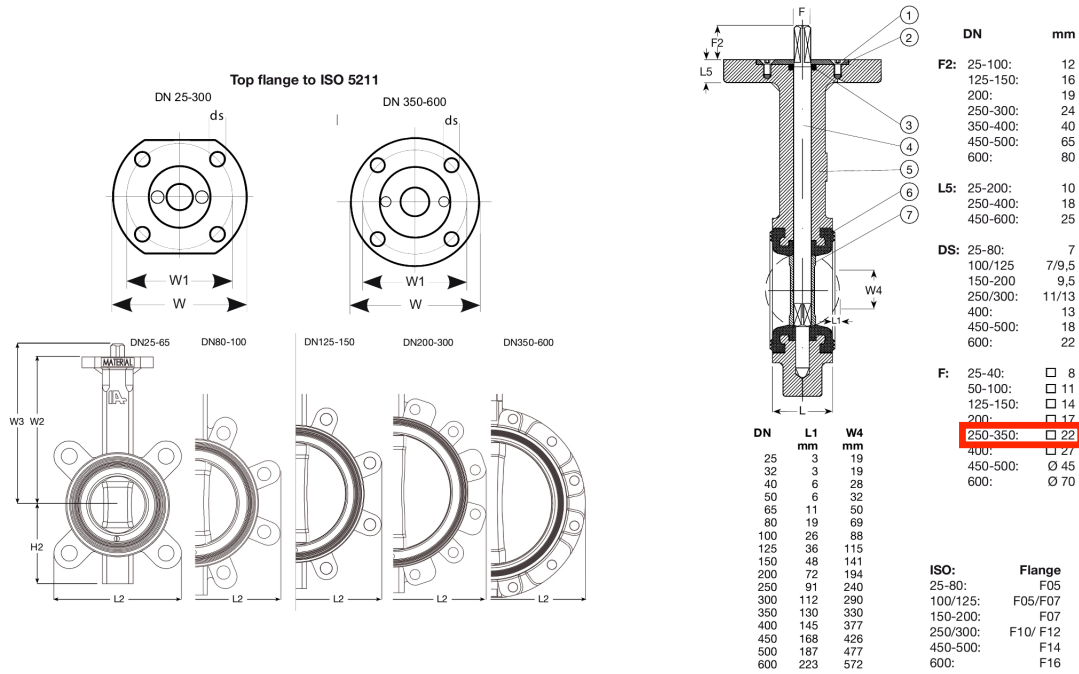
Som følge av en kontinuerlig produktutvikling, forbeholder AVK seg retten til å endre design, materialer og spesifikasjoner uten varsel.

COPYRIGHT©AVK GROUP 2020

adi - 27-Feb-2020 12:58

AVK SENTRISK LUG SPJELDVENTIL, PN10/16
Løs EPDM liner for drikkevann, med fri spindelende. DN25-600

820/10-029



Komponentliste:

1. Bolt	Rustfritt stål A2	5. Hus	Duktiljern GJS-400-15
2. Skive	Rustfritt stål A2	6. Gummiforing	EPDM gummi
3. O-ring	NBR gummi	7. Klaff	Rustfritt stål 316
4. Aksel	Rustfritt stål 420		

Komponentene kan erstattes med tilsvarende eller høyere klasse materialer.

Generell informasjon:

AVK ref. nr.	NRF nr.	DN	Produkt	Flens	L	L2	H2	W2	W3	W	W1	Teoretisk vekt / kg
		mm	PN klasse	boring	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
820-0025-10-541L0160002	5517767	25	PN16	PN10/16	30	101	51	110	122	65	50	1,4
820-0032-10-541L0160002	5517768	32	PN16	PN10/16	30	101	51	110	122	65	50	1,4
820-0040-10-541L0160002	5517769	40	PN16	PN10/16	33	108	54	130	142	65	50	1,9
820-0050-10-541L0160002	5517771	50	PN16	PN10/16	43	116	72	135	147	65	50	2,4
820-0065-10-541L0160002	5517772	65	PN16	PN10/16	46	131	82	150	162	65	50	4,8
820-0080-10-541L0160002	5517773	80	PN16	PN10/16	46	188	88	160	172	65	50	4,0
820-0100-10-541L0160002	5517774	100	PN16	PN10/16	52	219	102	180	192	90	70	6,2
820-0125-10-541L0160002	5517775	125	PN16	PN10/16	56	248	116	195	211	90	70	7,7
820-0150-10-541L0160002	5517776	150	PN16	PN10/16	56	274	128	210	226	90	70	8,4
820-0200-10-541L0160002	5517777	200	PN16	PN16	60	332	161	240	259	90	70	17
820-0250-10-541L0160002	5517778	250	PN16	PN16	68	402	199	279	303	155	125	24
820-0300-10-541L0160002	5517779	300	PN16	PN16	78	472	234	315	339	155	125	32
820-0350-10-04020030002	5517781	350	PN10	PN10	80	520	257	330	370	155	125	55
820-0350-10-04020160002		350	PN16	PN16	80	520	257	330	370	155	125	55
820-0400-10-04020030002	5517782	400	PN10	PN10	102	584	292	365	375	155	125	75
820-0400-10-04020160002		400	PN16	PN16	102	584	292	365	375	155	125	75
820-0450-10-04060161002 (1)		450	PN16	PN16	113	655	355	397	462	175	140	150
820-0500-10-04060031002 (1)		500	PN10	PN10	126	712	393	437	502	175	140	170
820-0500-10-04060161002 (1)		500	PN16	PN16	126	712	393	437	502	175	140	178
820-0600-10-04060031002 (1)		600	PN10	PN10	153	829	464	522	602	220	165	240
820-0600-10-04060161002 (1)		600	PN16	PN16	153	829	464	522	602	220	165	240

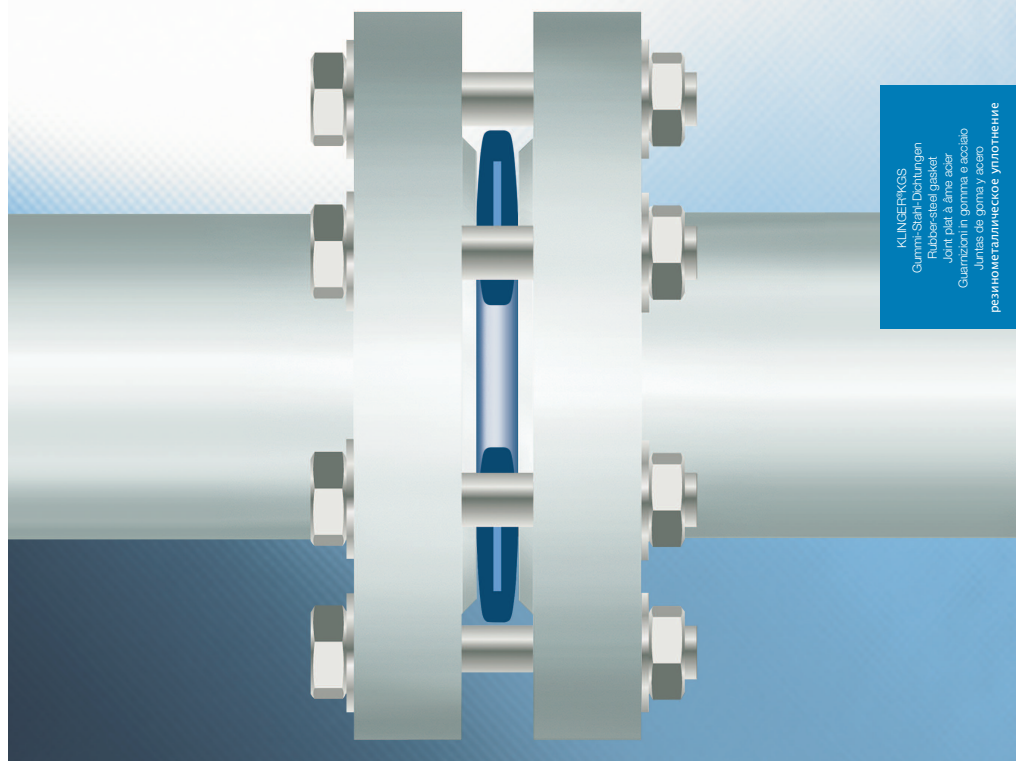
(1) 250 my PUR belegg på hus

Som følge av en kontinuerlig produktutvikling, forbeholder AVK seg retten til å endre design, materialer og spesifikasjoner uten varsel.



KLINGER®KGS

Anzugsmomenter/ Torque forces/ Couples de serrages/ Coppie di serraggio/ Pares de apriete/ Моменты затяжки



KLINGER®KGS

Die mit KLINGER®Expert erstellte Auslegung gilt für folgende Randbedingungen:

- **Dichtungswerkstoff** KLINGER®KGS Gummi-Stahl-Dichtung
- **Schraubengüte** 5.6 – oder höherwertig
- **Gesamtreibungszahl** (0,2% Dehngrenze ≥ 300 MPa)
- **Berechnungstemperatur** $\mu_{rel} = 0,14$ (Schrauben geschmied)

Stahl- und Gusseisenflansche nach DIN und EN mit glatter Dichtleiste (Form B), Dichtung Form IBC

- **SA** Schraubenausnutzung bei RT, bezogen auf die Streckgrenze (bei 5.6)

Technische Änderungen vorbehalten.
Stand: Februar 2015

Calcul effectués avec KLINGER®Expert sous les conditions suivantes:

- **Type de joint** KLINGER®KGS
- **Qualité de la boulonnerie** 5.6 ou supérieure
- **Coeff. de frottement** (0,2% résistance élastique ≥ 300 MPa)
- **Température du fluide** $\mu_{rel} = 0,14$ (Boulonnerie lubrifiée)
- **T** = 25°C

Pour Bodies métalliques suivant EN 1092-1 et -2 Forme B (avec piste de joint), joint forme IBC suivant norme EN 1514-1

- **T.U.** Taux d'utilisation de la boulonnerie, sous température ambiante, en relation avec la limite élastique de l'acier

Sous réserve de modifications techniques.
Mise à jour: Février 2015

I calcoli creati con KLINGER®Expert si applicano alle seguenti condizioni:

- **Materiale di tenuta** KLINGER®KGS guarnizione in gomma e acciaio
- **Viti grado** 5.6 – o superiore
- **Coefficiente globale di attrito** (0,2% snervamento ≥ 300 MPa)
- **Temperatura del fluido** $\mu_{rel} = 0,14$ (viti lubrificate)

Flange in acciaio e ghisa secondo EN 1092-1 e -2 risalto (Forma B), guarnizione di forma IBC secondo EN 1514-1

- **T.U.** Tasa de uso de los tornillos a temperatura ambiente, basado en el límite elástico (5.6)

Fatte salve indicazioni tecniche non presenti.
Aggiornato Febbraio 2015

Cálculo realizado con KLINGER®Expert bajo las siguientes condiciones:

- **Material de las juntas** KLINGER®KGS junta de goma y acero
- **Tornillos de grado** 5.6 – o superior
- **Coefficiente global de fricción** (0,2% límite elástico ≥ 300 MPa)
- **Temperatura del fluido** $\mu_{rel} = 0,14$ (tornillo lubricado)

Acero y fundición de hierro para bridas según EN1092-1 y -2 cara con resalte (forma B), junta de forma IBC según EN1514

- **T.U.** Tasa de uso de los tornillos a temperatura ambiente, basado en el límite elástico (5.6)

Sujeto a modificaciones técnicas
Emisión: Febrero 2015

Созданные с помощью KLINGER®Expert расчеты действительны для следующих граничных условий:

- **Материал уплотнения** резинометаллическое уплотнение KLINGER®KGS
- **Класс прочности** 5.6 – или выше
- **Общий коэффициент трения** (0,2% предел текучести ≥ 300 МПа)
- **Расчетная температура** $\mu_{rel} = 0,14$ (смазанные болты)
- **T** = 25°C

Стальные и чугунные фланцы согласно DIN и EN с гладкой уплотнительной пластиной (форма B), уплотнение формы IBC

- **и.в./Использование винта** коэффициент использования винта при комнатной температуре, на основе предела текучести (5.6)

Технические изменения оговариваются.
Состояние на февраль 2015

Zertifiziert nach/
Certified according to/
Certificat/
Certificato in conformità con le norme/
Certificado según/
Сертификация согласно
DIN EN ISO 9001:2008

KLINGER GmbH
Rich.-Klinger-Strasse 37
D-65510 Istein
Phone +49 (0) 6126 4016-0
Fax +49 (0) 6126 4016-11/22
e-mail: mail@klinger.de
http://www.klinger-elastomere.de



F.3 Tiltrekkingsmoment på flensbolter



KLINGER®KGS

Gummi-Stahl-Dichtungen/ Rubber-steel gasket/ Joint plat à âme acier/ Guarnizioni in gomma e acciaio/ Juntas de goma u asero/ Резинометаллическое уплотнение

Anzugsmomente
Torque forces
Couples de serrages
preconsistés
Coppie di serraggio
Pares de arpiete
Моменты затяжки

Empfohlene Anzugsmomente für KLINGER®KGS
Recommended torque forces for KLINGER®KGS
Couples de serrages préconsistés pour KLINGER®KGS
Coppie di serraggio consigliate per KLINGER®KGS
Pares de arpiete recomendados para las juntas forjadas KLINGER®KGS
Рекомендуемые моменты затяжки для KLINGER®KGS

DN	PN 6			PN 10			PN 16			PN 25			PN 40			
	Schrauben Screw Boulonnerie Viti Tornillería Винт	Anzugs- moment torque force Couple de serrage T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	Anzugs- moment torque force Couple de serrage T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	Anzugs- moment torque force Couple de serrage T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	Anzugs- moment torque force Couple de serrage T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	Anzugs- moment torque force Couple de serrage T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление	SA 5,6 5,6 T.U. Pressione superficiale T.U. Pression superficiale M.2 Поверхност- ное давление			
20	4 x M10	15	42	21	4 x M12	25	42	21	4 x M12	25	42	21	4 x M12	25	42	21
25	4 x M10	20	59	22	4 x M12	30	51	19	4 x M12	30	51	19	4 x M12	30	51	19
32	4 x M12	25	43	18	4 x M16	50	35	20	4 x M16	50	35	20	4 x M16	50	35	20
40	4 x M12	35	60	19	4 x M16	60	42	19	4 x M16	60	42	19	4 x M16	60	42	19
50	4 x M12	40	68	20	4 x M16	80	56	20	4 x M16	80	56	20	4 x M16	80	56	20
65	4 x M12	50	85	18	8 x M16	50	35	19	8 x M16	50	35	19	8 x M16	50	35	19
80	4 x M16	100	71	20	8 x M16	65	46	20	8 x M16	65	46	20	8 x M16	65	46	20
100	4 x M16	100	71	20	8 x M16	70	50	20	8 x M16	70	50	20	8 x M16	70	50	20
125	8 x M16	70	49	20	8 x M16	90	64	20	8 x M16	90	64	20	8 x M24	140	29	21
150	8 x M16	70	50	20	8 x M20	120	44	20	8 x M20	120	44	20	8 x M24	175	36	21
200	8 x M16	100	71	19	8 x M20	175	64	20	12 x M20	110	40	19	12 x M24	190	40	22
250	12 x M16	85	60	19	12 x M20	140	51	21	12 x M24	160	33	20	12 x M27	275	39	22
300	12 x M20	130	47	19	12 x M20	160	58	21	12 x M24	220	46	20	16 x M27	275	39	22
350	12 x M20	220	80	20	16 x M20	220	80	21	16 x M24	280	58	20	16 x M30	450	47	22
400	16 x M20	180	65	19	16 x M24	300	63	20	16 x M27	370	53	20	16 x M33	600	47	22
450	16 x M20	200	73	18	20 x M24	275	58	21	20 x M27	370	53	20	20 x M33	550	43	23
500	20 x M20	200	73	20	20 x M24	300	63	20	20 x M30	500	53	20	20 x M33	650	51	23
600	20 x M24	300	63	22	20 x M27	400	58	21	20 x M33	750	59	20	20 x M36	900	55	24
700	24 x M24	300	63	22	24 x M27	450	65	21	24 x M33	500	39	20	24 x M39	960	45	24
800	24 x M27	400	58	22	24 x M30	600	63	21	24 x M36	650	39	20	24 x M45	1.400	43	25
900	24 x M27	450	65	22	28 x M30	600	63	22	28 x M36	650	39	21	28 x M45	1.300	40	25
1000	28 x M27	450	65	24	28 x M33	700	55	21	28 x M39	850	40	20	28 x M52	1.800	35	25
1200	32 x M30	600	63	23	32 x M36	1.000	61	22	32 x M45	1.200	36	21	32 x M56	2.000	39	26

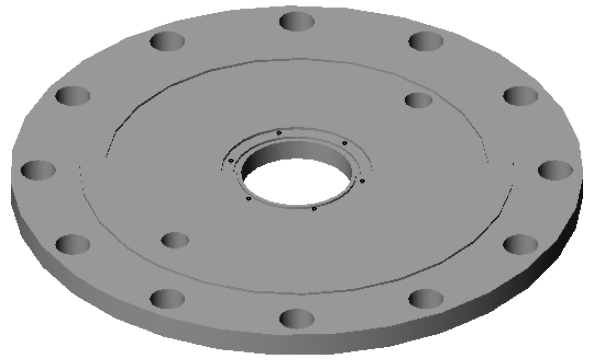
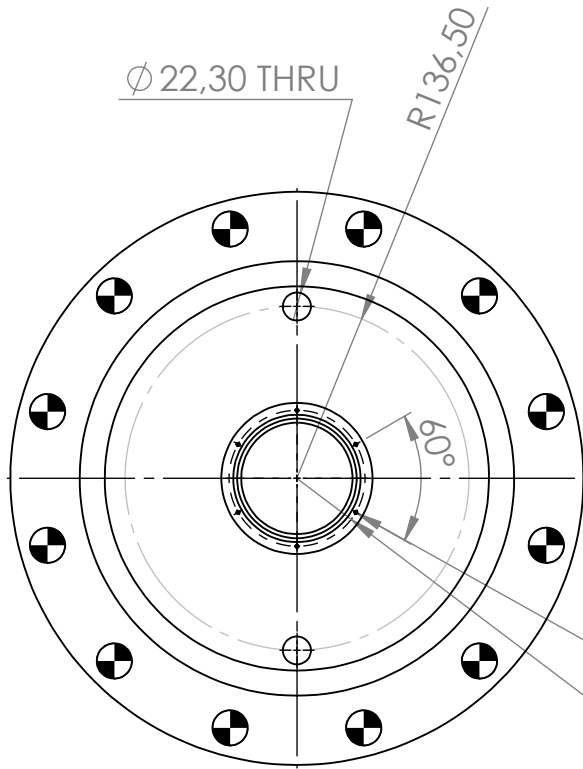
Technische Änderungen vorbehalten.
Stand: Februar 2015
Subject to technical alterations.
Issue: February 2015

Sous réserve de modifications techniques.
Mise à jour: Février 2015
Fatte salvo indicazioni tecniche non presentati.

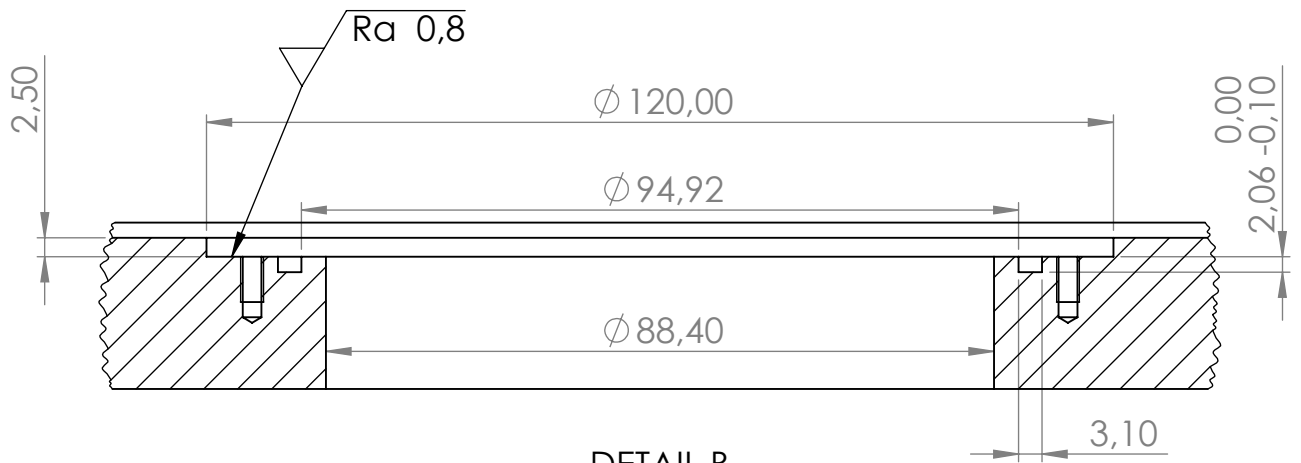
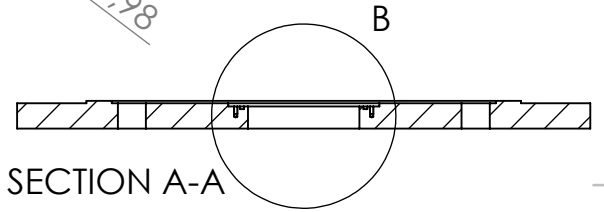
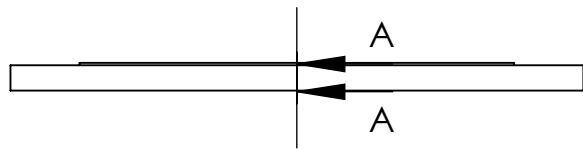
Aggiornato Febbraio 2015
Sujeito a modificaciones técnicas
Emission: Febrero 2015

Техническое изменение
отвечается.
Состояние на февраль 2015

Vedlegg G: Støttetegninger



$6 \times \phi 2,50 \nabla 8,00$
 $M3 - 6H \nabla 6,00$



DETAIL B
 SCALE 1 : 1

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR: ISO 2768 m
 ANGULAR: ISO 2768 m

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN Johannes Lia		10.03.21
CHK'D		
APPV'D		
MFG		
Q.A		
MATERIAL:		
Duktilt støpejern		
WEIGHT:		

TITLE:

Blindflens

DWG NO.

001

A4

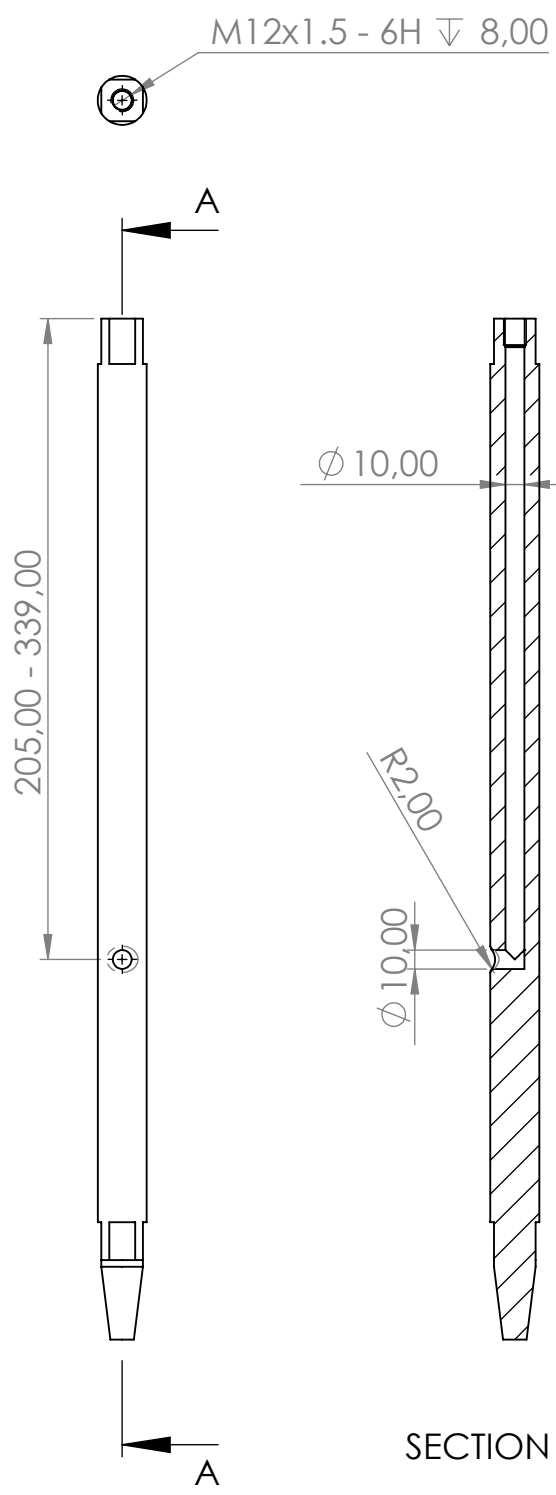
SCALE:1:6

SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

F
E
D
C
B

F
E
D
C
B



SECTION A-A

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR: ISO 2768 m
ANGULAR: ISO 2768 m

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Johannes Lia		12.03.21
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	Aksling	
MATERIAL:	Rustfritt stål 420	DWG NO. 002
WEIGHT:		SCALE: 1:4
		SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

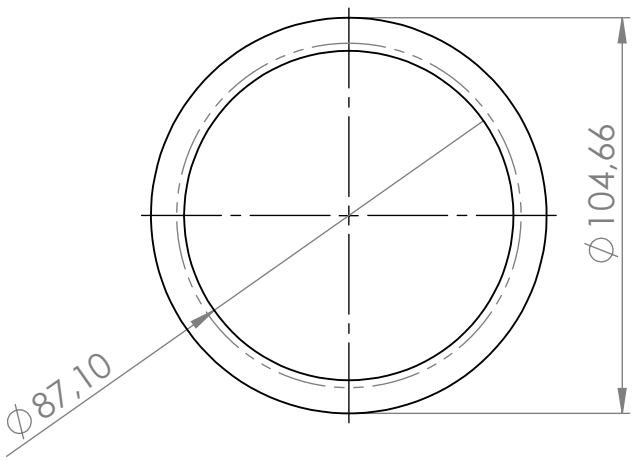
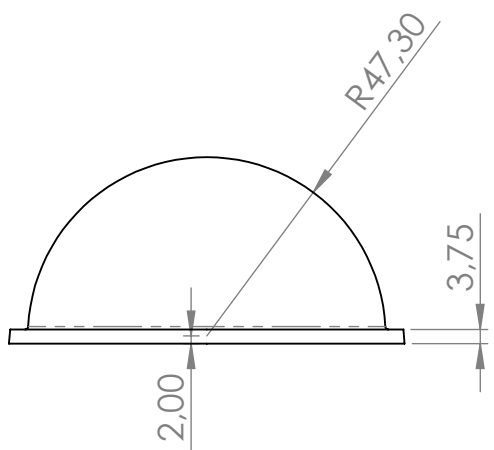
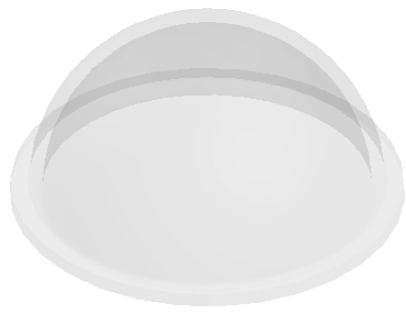
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:
Optically Clear

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Målsatt av Johannes Lia

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Blue Robotics		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:	Dome-R4	
MATERIAL:	Acrylic	DWG NO. 003
WEIGHT:		SCALE:1:2
		SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

A

A

