



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Utvikling og design av fjernstyrt mekanisk innretning som forflyttes under vann i fire bevegelsesakser

Design and development of remotely operated
device moving underwater in four axis of motion

Øyvind Mathias Fjeld
Maskin, prosess og produktutvikling

Utvikling og design av fjernstyrt mekanisk innretning som forflyttes under vann i fire bevegelsesakser

**Av:
Øyvind Mathias Fjeld**



**Mastergradsarbeid i Maskin, prosess og produktutvikling
Norges miljø og biovitenskapelige universitet
Institutt for matematiske realfag og teknologi
Våren 2016**

FORORD

Dette er en avsluttende masteroppgaven ved Maskin-, prosess og produktutvikling med fordypning i maskin- og produktutvikling ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven går fra januar til mai 2016 og gir 30 studiepoeng. Oppgaven skrives for og i samarbeid med Stingray Marine Solutions AS (Stingray).

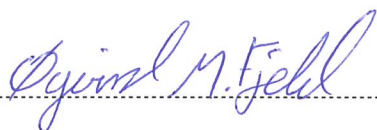
Masteroppgaven skulle være et videre arbeid av et forstudie utført høsten 2015 i faget TIP300 ved NMBU. Denne oppgaven gikk ut på å gjøre endringer på dagens avlusningssystem som skulle gjøre systemet rimeligere å produsere. Tidlig i dette prosjektet ble kostnadene ved å produsere dagens enhet analysert (vedlegg 1) og det ble konkludert med at det var prosentvis lite penger å spare på å gjøre endringer på dagens laserenhet. De komponenter hvor det kunne gjøres innsparinger så lot dette seg gjøre uten å designe om laserenheten. Etter denne konklusjonen ble det sammen med Stingray konkludert med at den opprinnelige oppgaven skulle forkastes.

Den nye oppgaven ble å konstruere en testmodell av neste generasjons luselaser. Den nye luselaseren skal konstrueres etter et mekaniske prinsipper uttenkt av Esben Beck, utviklingsansvarlig i Stingray. Ideen er å eliminere den delen av avlusningssystemet som i dag sørger for å forflytte laseren i laksemerden. Dette gjøres ved å gi laserenheten de komponentene som trengs for at den skal kunne forflyttes under vann for egen maskin.

Det har vært motiverende å skrive masteroppgave for Stingray og jeg håper denne oppgaven viser hvordan jeg har utviklet meg både faglig og personlig gjennom de siste seks årene på skolebenken. I 2007 begynte jeg som Finmekanikerlærling og jobbet sammen flere av dagens ansatte i Stingray, når jeg nå er ferdigutdannet har jeg klatret oppover på rangstigen og blir nå en del av Stingray sin ingeniør-avdelingen.

Dessverre har de siste månedene vært sterkt preget av sykdom og dødsfall i nær familie. Dette har medført at det til tider har vært vanskelig å fokusere på denne oppgaven i den grad det har vært nødvendig. Det gikk i denne sammenheng også mye tid til sykehusbesøk og kvalitetstid med familien. Flere av konseptene er første gang skissert ved sykesengene så i et "masteroppgave-perspektiv" har ikke all den tid som gikk med vært bortkastet.

Jeg vil avslutte dette forordet med å rette en stor takke mine hovedveiledere ved universitetet og i Stingray, Førstemanuensis Odd Ivar Lekang og Esben Beck for gode diskusjoner og tilbakemeldinger. Jeg vil også takke Stingray for skriveplassen dette semesteret. Ved NMBU har i tillegg til hovedveileder, Førstemanuensis Jan Kåre Bøe og Førstemanuensis Carlos Salas Bringas vært til stor hjelp. Tusen takk!



Øyvind Mathias Fjeld
Ås, 18.05.2016

SAMMENDRAG

Stingray Marine Solutions AS leverer en ny og unik avlusningsmetode som uskadeliggjør lakselus ved bruk av maskinsyn, bildegjenkjenningsprogramvare og en kraftig laserstråle (1). Denne metoden kan i et økonomisk perspektiv spare oppdretteren for store utgifter knyttet til konvensjonell avlusning da disse ofte innebærer sulteforing og håndtering av fisken, dette kan gi dårligere tilvekst og biomassetap (fiskedød) (2). Stingray sin laserenhet plasseres i oppdrettsmerden og avluser fisken når den svømmer forbi enheten, uten håndtering av fisken.

I denne masteroppgaven blir det konstrueres en testenhet som skal benyttes for å teste ut en ny metode for å forflytte og posisjonere laserenheten i oppdrettsmerden. Gir disse testene positive resultater vil denne nye fremdriftsmetoden benyttes i neste generasjons luselaser. Testenheten skal forflyttes under vann ved å benytte egenutviklede thrustere og en klaffmekanisme som gjør at vannstrømmens retning kan endres. Det langsiktige målet er å konstruere en luselaser som er mindre, mer driftssikker og billigere å produsere.

Enheten ble tidlig i prosessen delt opp i følgende seks hovedelementer / hovedproblemstillinger; huset til enheten, propellene, ventilstyring, utvendig hylse, vannrefleksjonsflater og kabelgjennomføringer. Det ble utarbeidet en rekke konsepter til hver av de seks problemstillingene, ved bruk av seleksjonsmatriser ble disse vurdert opp mot gitte kriterier. Når seleksjonene var utført ble disse og alle de mindre delene 3D-modellert.

Sluttresultatet er en sirkulær testenhet med positiv oppdrift som forflyttes under vann ved å hjelp av to kontraroterende propeller koblet til hver sin el-motor. Momentet blir overført fra motorene til propellene ved å utnytte skjærkreftene mellom åtte magnetpar. Vannstrømmen som de to propellene pumper gjennom enheten kan ved å åpne en av åtte ventiler sendes ut til siden. Dette resulterer i at enheten forflytter seg sidelengs. Åpnes ingen av ventilene vil vannet sendes rett gjennom enheten og enheten vil forfylte seg dypere i vannet. Kjøres de to motorene med ulikt turtall vil belastningen på de to propellene være ulike og enheten vil rotere. Testenheten har en masse på 4 kilo og veier 1,6 kilo i vann. Enheten er utstyrt med et forslag til flyteelement som har en masse på 0,2 kg og et volum på 2,3 liter. Testenhetens har en største ytre diameter på 155 mm og en total høyde på 495mm inkludert eksempel flyteelement.

Gjennom strømningsanalyser er den antatt største kraften nedover når motorene roterer med 1000 runder per minutt funnet til å være 53,3 N. Enhetens akselerasjon nedover bestemmes ved å justere volumet på flyteelement. Åpnes en av ventilene ved dette turtallet virker 8,7 N i det horisontale planet og enheten forflyttes i dette planet.

ABSTRACT

Stingray Marine Solutions delivers a new and unique method which neutralizes sea lice using machine vision, image recognition software and a powerful laser beam (1). This method can in an economical perspective, save the fish farmer for large expenses associated with conventional sea lice treatment as these often involves starvation and handling of the fish.

This can result in diminished growth and loss off bio mass (fish mortality) (2). Stingray's laser unit is placed inside the fish cage and deloused fish when they swim past the laser unit, without any handling of the fish.

In this thesis a test device was constructed, this device will be used to test a new method for moving and positioning the laser unit in the fish cage. If these tests proves that the new method works, this new method will be used in the next-generation laser system. The test unit will move under water using proprietary thrusters and a flap mechanism which allows water flow to be manipulated. The long term goal for Stingray is to construct a laser system which is smaller, more reliable and cheaper to produce.

The unit was early in the process divided into the following six main elements / main issues; housing of the unit, propellers, valve control, outer tubing, water reflection surfaces and cable entrance to the unit. It was prepared a number of concepts to each of the six issues, using Pugh-matrixes these were assessed against specific criteria. When the selection was done, these and all the smaller parts was 3D modeled.

The end result is a circular test device with positive buoyancy being moved under the water by the use of two contra-rotating propellers connected to each electric motor. The torque is transmitted from the motors to the propellers by utilizing shear forces between sixteen magnets. The water flow that the two propellers pumps through the device can be re-directed with the use of one of eight valves. This results in the device moving sideways. If none of the valves are opened, the water will be sent straight through the device and the device will move deeper in the water. Running the two motors with different speed, the load the two propellers will be uneven and the device will rotate. The test unit has a mass of 4 kg and weighs 1.6 kg in water. The unit is equipped with a proposal floating device that has a mass of 0.2 kg and a volume of 2.3 liters. The unit has a maximum outer diameter of 155 mm and a total height of 495mm including the floating device.

Through flow analysis the presumed greatest force that will make the unit move downwards when the motors rotate at 1000 rounds per minute was found to be 53,3 N. Unit acceleration downwards is determined by adjusting the volume of the floating device. Opening one of the valves at this speed and 8,7 N will work in the horizontal plane and the unit will move in this plane.

INNHOLDSFORTEGNELSE		Side:
FORORD.....		ii
SAMMENDRAG		iii
ABSTRACT		iv
1. INNLEDNING		7
1.1. Bakgrunn.....		7
1.1.1 Litt oppdretts og lakselushistorie		7
1.1.2 Markedsbehov og potensiale		9
1.1.3 Kort om aktuelle avlusningsmetoder.....		9
1.2. Stingray Marine Solutions avlusningskonsept.....		12
1.3 Forprosjekt for videreutvikling av konsept		13
1.4 Tidligseleksjon av hovedkonsept		14
1.5 Oppdragsbeskrivelse		14
2. PROSJEKTPLAN		15
2.1. Prosjekt målsettinger		15
2.1.1 Hovedmål		15
2.1.2 Delmål		15
2.3. Begrensninger for arbeidet		16
3. METODEBESKRIVELSE.....		17
3.1. Terminologi og begreper		17
3.2. Løsningsverktøy		18
4. TIDLIG PRODUKTSPEISIFISERING		20
4.1. Produkt målsetting		20
4.2. Rangering av viktige produkttegenskaper		20
4.3. Tidlige kostnadsvurderinger		20
5. TEORETISK BEREGNINGSGRUNNLAG		22
5.1. Forhold ved oppdrift i vann		22
5.2. Oppdrift		24
6. KONSEPTGENERERING		30
6.1. Funksjonsanalyse for produkttypen.....		30
6.2. Funksjonsalternativer med skisser.....		30
7. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG		41
7.1. Utvikling av seleksjonsmatrise.....		41
7.2. Egen konseptscreening		42
8. PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN.....		44

8.1.	Sammenstilling	44
8.2.	Design av hovedelementer.....	46
8.2.1	Hus topp og bunn	46
8.2.2	Flyteelement	47
8.2.3	Hylse.....	50
8.3.	Design av komponenter	51
4.	Sammenstillinger.....	55
8.5.	Standardkomponenter	57
8.4.1	O-ringer	58
9.	EKSTERNTTESTING OG ANALYSE.....	60
9.1.	Eksterntesting	60
9.2.	Analyse	61
9.2.1	Strømningsanalyse	62
9.2.2	Sikkerhet mot brudd og maks deformasjon.....	69
10.	ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIRKULERING	73
10.1.	Materialegenskaper, overflatebehandling, styrke og vedlikehold	73
10.2.	Miljøkrav og resirkulering	75
11.	FRAMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER	76
11.1.	Produksjonsmetoder.....	77
11.2.	Kostnadskalkyle.....	81
12.	MARKEDSPRESENTASJON.....	82
12.1.	Visuell framstilling	82
13.	PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	87
13.1.	Designrevisjon og forbedringspotensialer	87
13.3.	Analyser og utregninger.....	88
14.	KONKLUSJON	89
14.1.	Resultater og anbefalinger	89
14.2.	Videre arbeid.....	89
16.	REFERANSER	90
16.1.	Skriftlige kilder	90
16.2.	Nettkilder	90
16.3.	Bildekilder.....	92
16.	VEDLEGG	94

1. INNLEDNING

Fra Norge ble det i 2015 eksportert oppdrettslaks for en samlet verdi av 47 milliarder kroner (3), dette utgjør 70 % av verdien av eksportert norsk sjømat. Oppdrettslaks bidrar til å gjøre eksport av sjømat til Norges største eksportartikkel etter olje og gass (4). Oppdrettsbransjen globalt og i Norge har siden starten av 70-tallet hatt en mer eller mindre kontinuerlig vekst (5). For at denne veksten skal fortsette og regjeringens ønske om en vekst på 6% annen hvert år(4) bli oppfylt må bransjen få bedre kontroll på de to største miljøaspektene ved lakseoppdrett; rømming og lakselus (6).

1.1. Bakgrunn

I de neste delkapitlene vil det gis en kort innføring i oppdrett av laksefisk, utfordringer knyttet til lakselus og hvilke ikke-medikamentelle metoder bransjen i dag benytter for å håndtere lakselusutfordringen, hva lakselusen koster den norske oppdrettsbransjen. Stingray sitt avlusningssystem blir presentert og Stingray sitt overordnede mål med enheten som skal utvikles i denne oppgaven.

1.1.1 Litt oppdretts og lakselushistorie

I dag kan det kanskje virke som en selvfølge at lakseyngel produseres på land i ferskvann før ynglet settes ut i sjøvann som settefisk før den igjen blir matfisk og er klar for intensiv foring og vekst slik at laksen i underkant av tre år senere veier mellom fire og seks kilo og er slakteklar (7). I norsk oppdrettshistories spede barndom, 50- og 60-årene, var det mange aktører som parallelt prøvde å løse gåten med oppdrett av fisk i merd eller i dammer. Et fåtall av disse klarte å drive lønnsomt og overlevde de første årene. En av grunn til at mange aktører falt i fra i starten var at mange satset på regnbueørret som på denne tiden var mindre ”innarbeidet” enn laksen hos forbrukeren. Dette gjorde fisken var vanskeligere å selge. Heldigvis var det blant, både de som lyktes og de som ikke lyktes god flyt av informasjon og erfaringer. Dette gjorde at selv om mange falt i fra utviklet det seg til å bli en bærekraftig produksjon av regnbueørret blant flere aktører. Regnbueørret som ble produsert blir omtalt som ”blek porsjonsfisk” i boken ”Over den leiken ville han rå, Norsk havbruksnæringshistorie bind V”. I inn og utland var mange vant til den store fine, rosa laksen så regnbueørret ble ansett som en dårligere ”lakseetterlikning”. Det var først når oppdrett av laks begynte at oppdrettseventyret i Norge skjøt fart. (8)

Gjennom 70- og 80-årene utvikles produksjonsmetoder og det bygges oppdrettsanlegg i stort antall som bringer med seg kapital og arbeidsplasser til bygder langs hele norskekysten. Fra 1980 til 1990 økte produksjonen av laks i Norge med 33 ganger, fra 500 tonn til 169.000 tonn. I en nedgangsperiode på 80-tallet gikk mange av de små oppdretterne konkurs og bransjen gikk i 1990-årene inn i en stor omstrukturering. Konsesjoner ble kjøpt opp og oppdrettselskapene ble færre men større. Bare i løpet av noen år var bransjen igjen oppe og gikk og har siden dette hatt en sammenhengende vekst. For at denne veksten skal kunne fortsette i et bærekraftig tempo må en av bransjens store utfordringer løses. (9)

Lepeophtheirus salmonis, bedre kjent som lakselus er av Havforskningsinstituttet sammen med rømming av laks anslått som en av de største miljøutfordringene ved lakseoppdrett.



Figur 1 Tre fastsittende lakselus (10)

Lakselus er en parasitt som hører til hoppekrepsfamilien og som lever naturlig på den nordlige halvkule(11). Lakselusens liv forløper over åtte stadier. Fem av disse stadiene er fastsittende på blant annet laks, og ørret. Under disse stadiene føder lakselusen på laksens skinn og blod noe som etterlater åpne sår som svekker fiskens motstand mot sykdommer og infeksjon. Lakselusen er avhengig av laksen for å overleve, dette medfører at områder med mye laks gir områder med mye lakselus. Dette er kritisk både for oppdrettslaksen men også for villaksen som i sin vandring fra elvene til havet eller tilbake kan passere fjorder med mye lus eller svømme rett forbi oppdrettsanlegg og få påslag av lakselus. Spesielt utsatt er ung laks, smolt som for første gang slipper seg ned fra elva og ut i sjøen(11).



Figur 2 Smolt med lakselus (12)

For å hindre smitte til villaks samt redusere faren for utbrudd av sykdommer er det satt en øvre grense på 0,5 voksne hunnlus per fisk i en merd (14). I Norge står vernet av villaksen høyt og det er strenge krav til kontroll av lusesituasjonen. Skulle lusenivået stige mot grensen er det nødvendig å sette igang tiltak for å redusere lusetallet.

1.1.2 Markedsbehov og potensiale

Bransjens kostnad knyttet til lakselus varierer fra år til år, et anslag fra Nofima viser en økning fra 2014 til 2015 på 50% (15). I samme rapport (16) estimerer den totale lusekostnaden i Norge i 2015 vil ligge på mellom 4 og 5 milliarder kroner. I artikkel skrevet av Geir Inge Rødseth hos Stingray estimeres kostnaden til å ligge på mellom 7-8 milliarder kroner (2). I Rødseth sitt regnestykke blir kostnaden knyttet til håndtering, sulteforing, fiskedød med mer tatt med. Differansen på 3-4 milliarder knyttes til disse postene.

Det er altså et marked i Norge på minimum 4 milliarder kroner i avlusing av oppdrettslaks. I tillegg til dette er det et stort innsparingspotensial ved å unngå håndtering og sulteforing. Ved å avluse med Stingray luselaser er det ikke nødvendig med håndtering av fisken, ingen sulteforing, det er heller ikke registrert skader på fisk eller noen tilfeller av fiskedød. Når luselaseren er installert krever det også minimalt med vedlikehold og tilsyn fra oppdretteren.

1.1.3 Kort om aktuelle avlusningsmetoder

Ved avlusing kan en rekke metoder benyttes. Konvensjonell avlusing har i mange år skjedd ved bruk av kjemikalier og medisiner, dette omtales ofte som ”medikamentell metode”. De forskjellige kjemikaliene kan ha forskjellig effekt på lakselusen, men felles for de alle er at lakselusen enten skal falle av fisken eller dø. Metoden med medikamentell avlusing har fungert bra lenge, men nå har vi i Norge kommet i en situasjon som ofte omtales som at ”verktøykassa mot lakselus er tom” (17). Med dette henvises det til at lakselusen stadig blir mer motstandsdyktig og til slutt resistent mot de medikamentelle metodene som i dag benyttes(18).

For å fylle opp den ”tomme verktøykassa” er det mange aktører som utvikler og bruker metoder for avlusing uten bruk av kjemikalier, ofte omtalt som ikke-medikamentell metode. Under denne kategorien er det i Norge en rekke forskjellige metoder som inkluderes:

- Rensefisk
- Luseskjørt
- Thermolicer
 - Skamik
- Ferskvannsbehandling
 - Luselaser

Fellesnevneren for Thermolicer, Skamik, ferskvannsbehandling og luselaser er at alle bruker en maskin for å fjerne lakselusen. Ved bruk av rensefisk plasseres leppefisk sammen med laksen i merden, leppefisken spiser lakselusen av laksen. Luseskjørt er en tettmasket duk som har som hensikt å redusere antall luselarver inn i merden.

Da Stingray sin laserenhet faller under kategorien ikke-medikamentell metode blir det her lagt vekt på disse metodene.

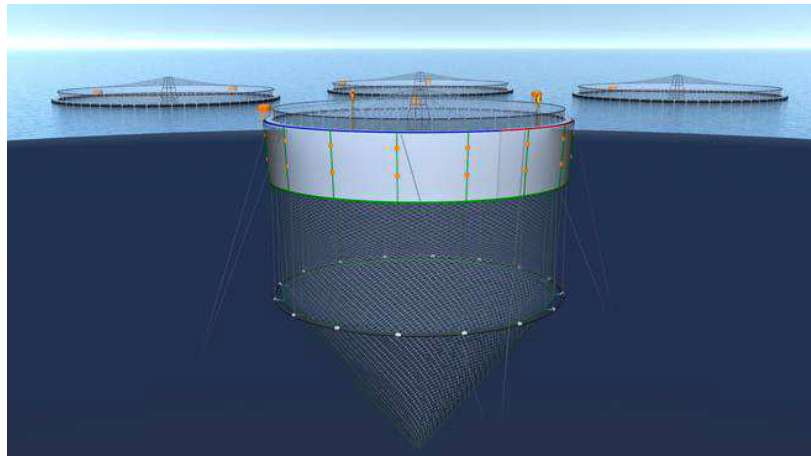
Thermolicer



Figur 3 Thermolicer i bruk (19)

Bruker varmtvann til å fjærene/drepe lakselus. Metoden går ut på at laksen pumpes fra merden over i en lekter eller spesialbygd skip hvor fisken sendes gjennom et bad med oppvarmet vann. Lusen tar mer skade enn fisken av det varme vannet og dør eller faller av. Fisken sendes så tilbake i merden ferdig avluset. (19)

Luseskjørt



Figur 4 Illustrasjon av luseskjørt (20)

Er et skjørt plasseres rundt merden for å hindre at lus og luselarver kommer med strømmen inn i merden. Luseskjørtet plasseres på den dybden det er forventet at luselarvene kommer med vannstrømmen (21). Forsøk viser at luseskjørt som går 10 meter ned har hatt gode resultater(22).

Rensefisk



Figur 5 Rognkjeks (23)

Metoden går ut på å ha andre fisketyper sammen med laksen i merden som for eksempel rognkjeks. Rognkjeksen har vist seg å under rette forhold spise lakselus rett av laksen (24).

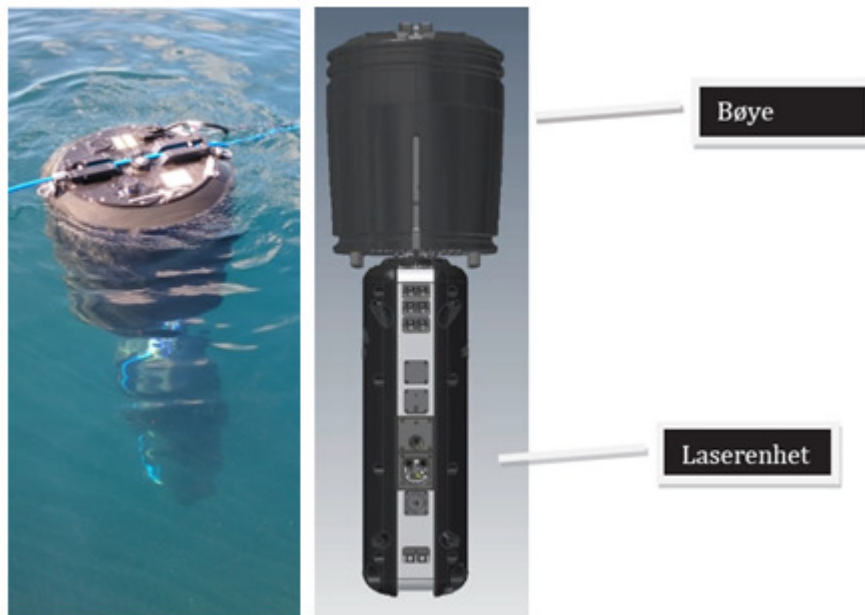
Skamik

Kan minne om Thermolicer ved at fisken sendes gjennom en maskin montert på et skip eller lekter. Forskjellen her er at sendes fisken forbi en rekke børster som "koster" lusen av fisken. Fisken sendes så direkte ut i merden igjen (25).

Ferskvann

Laksen pumpes over i en brønnbåt hvor den svømmer i ferskvann. Lakselus tåler ikke å bli eksponert for ferskvann over tid så den faller til slutt av fisken eller dør (26).

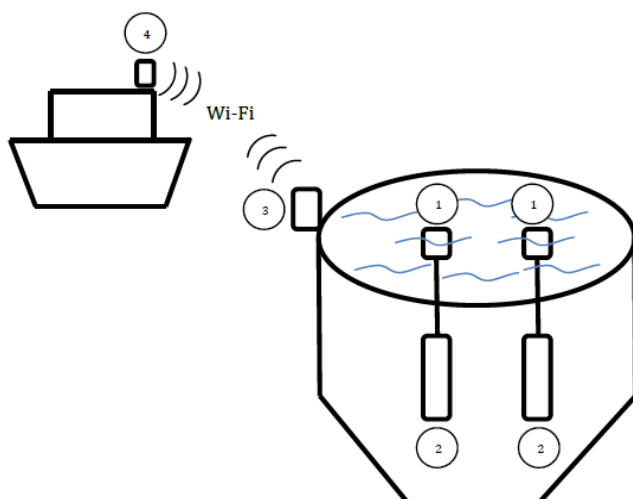
1.2. Stingray Marine Solutions avlusningskonsept



Figur 6 Bilde og figur av komplett luselaser (27)

Luselaseren er en ny og unik metode for å uskadeliggjøre lakselus sittende fast på oppdrettslaks. Metoden bruker kamerasyn, bildeanalyse og korte, men kraftige laserpulser som rettes direkte mot lakselusen.

Dagens luselaseren er i sin helhet utviklet av Stingray Marine Solutions AS. Utviklingsarbeidet begynte etter at Esben Beck fikk godkjent patentet "Å uskadeliggjøre en ekstern fiskeparasitt med lysfotoner" i 2010. Arbeidet begynte i Beck Engineering AS, men det ble fort skilt ut som et eget AS som var heleid av Beck Engineering AS, Stingray Marine Solutions AS.

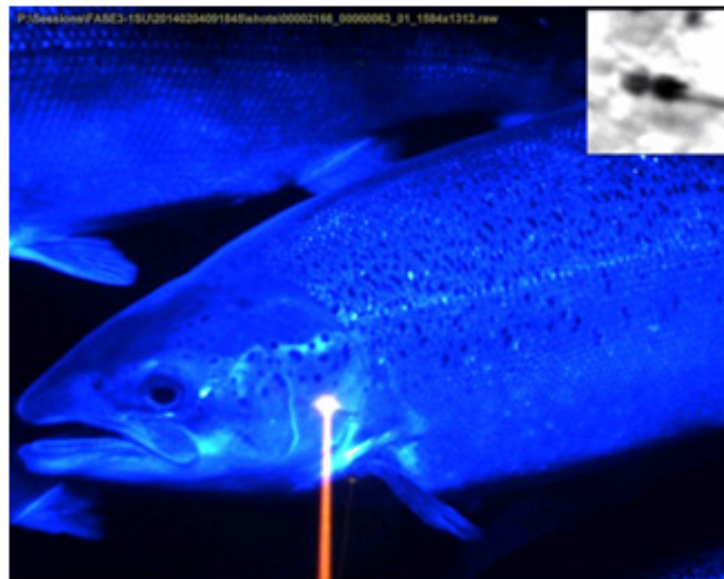


Figur 7 Illustrasjon, Stingray installasjon (28)

Figur 7 illustrerer to luselaserer installert i en oppdrettsmerd. Fra forflåten (fig.7-4) sendes det trådløst internett til et skap på merdekanten (fig.7-3). Fra dette skapet går det en kabel med strøm og internett til bøya (fig.7-1). Fra bøya går det en kabel ned til laserenheten (fig.7-2). Over internett sendes bilder og data fra merden i sanntid til kontrollrommet til Stingray i Oslo.

BU – Bøye, denne enheten flyter i vannoverflaten og er ved hjelp av en kabel spent over merden koblet til et skap på merdekanten. Kabelen spennes stramt og inngår i et trinsesystem på toppen av bøya slik at man ved hjelp av å dreie trinsene kan posisjonere enheten horisontalt. Fra bøya går det via en trommel en kabel ned til laserenheten. Ved hjelp av en kraftig el-motor og en girutveksling posisjoneres laserenheten vertikalt.

SU - Laserenheten inneholder en kraftig datamaskin, kameraer, laser og diverse sensorer. Når en fisk svømmer forbi enheten filmes fisken og datamaskinen er programmert til å se etter lakselus på fisken. Oppdages det geometri som likner på en lakselus (så øvre høyre hjørnet på figur 8) sammenliknes denne geometrien mot en database bestående av millioner av små bilder av lakselus. Er sammenlikningen positiv rettes det en laserstråle mot lakselusen. Energien fra laserstrålen absorberes av lakselusen og lusen dør. Figur 8 viser en lakselus sittende på en laks som blir eksponert for den kraftige laserstrålen.



Figur 8 Laser mot lakselus (29)

1.3 Forprosjekt for videreutvikling av konsept

I faget TIP300 ved NMBU ble det høsten 2015 utført et forprosjekt til denne masteroppgaven. I forprosjektet ble dagens BU og SU brutt ned i mindre deler og det ble foreslått en rekke nye løsninger på disse delene. Hele tiden med hensikt i å gjøre enhetene billigere å produsere og mer driftssikker. Disse konseptene og løsningene skulle legge grunnlaget for videre arbeid i denne masteroppgaven. Det ble etter kort tid klart at denne oppgaven heller skulle ta for seg arbeidet med en helt ny laserenhet hvor behovet for en bøye (BU) ble eliminert. Arbeidet lagt ned i TIP300 prosjektet er heldigvis ikke bortkastet da flere forenklingene konsepter kan implementeres i dagens enhet. Blant annet små endringer på enkeltkomponenter som vil gjøre komponentene billigere å maskinere med mer.

1.4 Tidligseleksjon av hovedkonsept

I TIP300 prosjektoppgaven ble det utarbeidet en rekke med endringer som kan gjøres på SU, BU eller oppspenningen i en merd. Endringene spenner fra mindre endringer på enkeltkomponenter til radikale endringer på designet av hele enheter. Det anses ikke som realistisk for én person å gjennomføre alle de foreslåtte endringene over et prosjekt på 30 studiepoeng. For å velge hvilke del denne masteroppgaven skal omhandle blir det gjort en tidligseleksjon av hovedkonseptet.

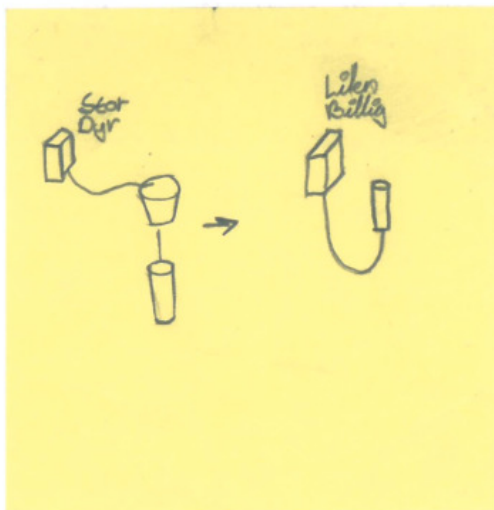
Hvert kriterium kan få -1, 0 eller 1 poeng som ganges opp med vektningen. Det konseptet som kommer nærmest 100 blir valgt. Skulle det senere vise seg at det valgte konseptet ikke lar seg gjennomføre vil det konseptet med nest høyest sum bli valgt.

Tabell 1 Tidlig seleksjonsmatrise

Masteroppgave 2016		Konsepter					
		Laserenhet (SU)		Bøye (BU)		Skap og oppspenning	
	Vekting						
Gjennomførbarhet	30	1	30	0	0	1	30
Potensiale	20	1	20	1	20	1	20
Ønske fra bedrift	10	1	10	0	0	0	0
Kompetanseutvikling	20	0	0	1	20	0	0
Motivasjon	20	1	20	1	20	-1	-20
Sum	100	80		60		30	

Seleksjonsmatrisen viser at det er videre arbeid med Stingray sin laserenhet som oppnådde høyest poengsum.

1.5 Oppdragsbeskrivelse



Figur 9 Overordnet mål (30)

For å gjøre hele avlusningssystemet billigere å produsere og gi det en større frihetsgrad i merden er det ønskelig å flytte all datakraften fra laserenheten opp i et skap som henger på merdekanten. Fra dette skapet skal det gå en fiberoptisk kabel til laserenheten. Laserenheten vil fremdeles inneholde kameraer, sensorer og laseren, mens all databehandlingen nå forgår i skapet. Laserenheten skal også utstyres med den mekanikken som trengs for at enheten kan forflytte seg og holde en stabil posisjon oppdrettsmerden. Dette er i dag bøyas hovedoppgave, legges disse funksjonene til laserenheten kan bøya elimineres. Figur 9 viser en tidlig skisse tegnet sammen med Esben Beck tidlig i prosjektet. Til venstre er dagens store og dyre system, mens til høyre er fremtidens lille og billige system.

2. PROSJEKTPLAN

I dette kapitlet vil oppgavens prosjektplanen presenteres. Prosjektplanen består av et hovedmål, en rekke mindre delmål. Som et verktøy for å holde egne frister blir det lagd et Gantt-diagram som ligger vedlagt som vedlegg 2. Hovedmålet med prosjektplanen er å underveis i arbeidet ha kontroll på fremgang og avsatt tid til de forskjellige delmålene. Uten en tidsplan kan det være vanskelig å si seg ferdig med et delmål, da det alltid vil være rom for å gjøre et grundigere arbeid, men på et tidspunkt vil tidsbruken overstige nytteverdien av å fortsette å jobbe med problemet.

2.1. Prosjektmålsettinger

I denne masteroppgaven skal en mekanisk innretning som for egen maskin kan forflyttes under vann utvikles. I enheten som utvikles kan elektronikken og optikken som trengs for å uskadeliggjøre lakselus på et senere tidspunkt implementeres. På den måten vil behovet for bøye elimineres og laserenheten får større frihetsgrad i merden. Dette vil resultere i en bedre luselaser som er mindre, billigere og mer driftssikker.

2.1.1 Hovedmål

Siktemålet med dette mastergradsarbeidet er å utvikle og designe en fjernstyrt mekanisk innretning som forflyttes under vann i fire bevegelsesakser. Forflytningen skal skje ved bruk av to kontraroterende propeller og en rekke ventiler som individuelt kan åpnes eller lukkes. Når arbeidet med oppgaven er ferdig skal rapporten leveres sammen med tekniske tegninger over alle konstruerte deler samt sammenstillingstegninger som viser montering av delene.

2.1.2 Delmål

For å oppnå hovedmålet må en rekke delmål først oppfylles.

- Utføre seleksjon av hovedkonsept
- Kartlegge kostnader knyttet til produksjon av dagens laserenhet
- Generere konsepter
- Utføre seleksjon av de genererte konseptene
- Designe og konstruere de selekterte konseptene
- Eksternteste og analysere de konstruerte delene
- Skrive ferdig rapport og vedlegg
- Ferdigstille og levere rapporten
- Rapportpresentasjon og eksamensdiskusjon

Når alle de overnevnte punktene er oppfylt er hovedmålet å anse om oppfylt og denne oppgaven er ferdig.

2.3. Begrensninger for arbeidet

For å kunne levere et godt produkt til riktig tid er det viktig at det settes begrensninger på arbeidet som skal gjøres. I denne oppgaven blir følgende begrensninger satt:

- Enhetens styrings skal kun beskrives
- Oppbevaring og transport skal ikke konstrueres
- Kabel og øvrig elektronikk skal ikke velges*
- DC-motorene skal være de samme som blir brukt i dagens laserenhetens thruster
- Det blir ikke utført kostnadsanalyse ved serieproduksjon
- Det skal ikke utføres dynamiske analyser

*Kabelens vekt eller motstand i vann blir ikke tatt med i noen beregninger.

3. METODEBESKRIVELSE

I dette kapitlet blir de løsningsverktøy, ord og uttrykk, symboler og formler som brukes for å løse presentert.

3.1. Terminologi og begreper

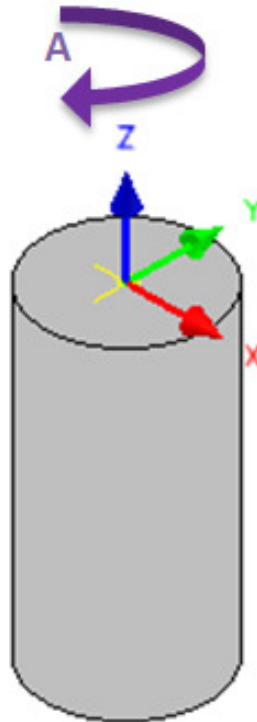
Det blir i denne masteroppgaven brukt ord og uttrykt fra oppdrettsbransjen, navn på deler i Stingray sitt avlusningssystem og diverse tekniske ord og uttrykk. Under følger en kort liste over de forskjellige ord og uttrykk og hvilken mening de har i denne oppgaven.

Ord og uttrykk

Tabell 2 Ord og uttrykk

Ord og uttrykk:	Forklaring:
NMBU	Norges miljø og biovitenskapelige universitet
Node	En node er en SU og BU koblet sammen
BU	Bøya flyter i merdeoverflaten og er koblet til laserenheten
SU	Laserenheten henger under bøya i merden og dreper lus med laser
Merd	Er et lukket nett som benyttes for oppdrett av fisk
Forflåte	Er et flytende forlager, verksted og kontor for fiskeoppdretteren
Smolt	Unger av anadrom laksefisk
Thruster	En thruster er en sammenstilling av en motor og en propell
TIP300	Fag undervist ved NMBU av Jan Kåre Bøe
Emne	Et stykke materiale som det skal maskineres i
Lineær aktuator	Elektrisk styrbar sylinder
Konnektor	Kabelterminering, ofte med male og female ende
Arduino UNO	Programmerbar mikrokontroller
Potmeter	Variabel motstand
DC-motor	Elektrisk motor som går på likespenning
Bruddgrense	Maks spenning i et materialet før brudd

Koordinatsystem:



Figur 10 Koordinatsystem

I denne oppgaven blir det definert et koordinatsystem i henhold til figur 10. Det defineres tre standardakser; X, Y og Z. Det defineres også en fjerde akse; A, denne aksen definerer rotasjon om Z-aksen.

3.2. Løsningsverktøy

Dataverktøy:

Autodesk Inventor – Konstruksjon, 3D-visualisering og arbeidstegninger

SolidWorks – Rending av forsidebilder

SolidWorks Flow Simulation – Strømningsanalyse

SolidWorks Simulation – Strømningsanalyse

Ansys Workbench – FEM-analyse

MS Word – Rapportskrivning

MS Excel – Regneark og grafer

MS PowerPoint – Figurer

Under følger en tabell over alle symboler brukt i utregninger i denne oppgaven. I neste tabell er formlene som er brukt listet opp.

Tabell 3 Symbolliste

Symbol	Betydning	Enhet
L	Lengde	m
A	Areal	m^2
V	Volum	m^3
ΔL	Forlengelse	m
F	Kraft, generell	N
σ	Sigma, spenning	$\frac{N}{m^2}$
m	Masse	kg
ρ	Massetetthet	$\frac{kg}{m^3}$
a	Akselerasjon	m^2
g	Tyngdekraftens akselerasjon	$\frac{m}{s^2}$
v	Hastighet	$\frac{m}{s}$
F_D	Motstandskraft	N
C_D	Dragkoeffisient til et legeme	Benevningsløs
y_i	Avstand	m
E	E-modul	$\frac{N}{m^2}$
ϵ	Tøyning	Benevningsløs
I	Strøm	A
R	Motstand	Ohm

Tabell 4 Formelliste

Betydning	Formel	Indeks
Newtons andre lov	$\sum F = m \times a$	5.1
Tyngdekraft	$G = m \times g$	5.2
Oppdriftskraft	$F_O = \rho \times V \times g$	5.3
Massetyngdepunkt	$y_{0m} = \frac{m_1 \times y_1 + m_2 \times y_2}{m_1 + m_2}$	5.4
Volum flyteelement	$V_F = \frac{m_E \times (a + g) - \rho_{vann} \times V_E \times g - F}{-\rho_F(g - a) + \rho_{vann} \times g}$	5.5
Motstandskraft	$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho \times A \times v^2$	5.6
Avgitt varme, DC-motor	$I^2 \times R$	9.1
Tøyning	$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$	Vedlegg 8.1
Hooks lov	$\sigma = E \times \epsilon$	Vedlegg 8.2
Strekkspenning	$\sigma = \frac{F}{A}$	Vedlegg 8.3

4. TIDLIG PRODUKTSPEISIFISERING

Stingray jobber med å patentere ideen om forflytting av innretning under vann ved bruk av to thrustere og en rekke ventiler i en oppdrettsmerd. For at lærdommen av å bruke testenheten skal bli så relevant som mulig er det viktig at testenheten konstrueres etter en rekke kriterier gitt av Stingray for å passe overens med patentsøknaden.

4.1. Produktmålsetting

Stingray Marine Solutions AS ønsker en nedskalert, fungerende testmodell av neste generasjons luselaser. Modellen skal ikke inneholde noen form for avlusningsutstyr, kun de komponentene som trengs for at enheten skal kunne forflyttes under vann. Enheten skal i utgangspunktet kun benyttes i en lukket testtank i Stingray sine lokaler.

Selv om enheten som konstrueres er en testenhet ønsker Stingray at løsninger og konsepter fra testenheten kan oppskaleres og benyttes når fullskalaversjonen skal konstrueres.

4.2. Rangering av viktige produktegenskaper

Enheden skal konstrueres etter et mekanisk prinsipp definert av Esben Beck. Dette prinsippet er definerte hovedmålet i kapittel 2.1.1, brutt ned kan prinsippet tolkes slik:

Enheden skal ha (krav fra Stingray):

- positiv oppdrift i ferskvann
- to individuelt justerbare thrustere
- overføring av moment fra motoren til propellene ved bruk av magneter
- åtte individuelt justerbare ventiler
- ha en sirkulær formfaktor

Enheden bør (ønsker fra Stingray):

- være relativt liten
- ha så få tetninger som praktisk mulig
- ha innfesting til vektor og oppdriftselementer
- største diameter ca. 150 mm
- ca. 2:1 formfaktor uten flyteelement (høyde = 2*diameter)
- lysdioder for å angi orientering

Det er også et ønske fra Stingray at enheten konstrueres i materialer som er tilgjengelig blant eksisterende materialer i Stingray sitt materiallager. Dette for å holde utviklingskostnaden nede. Dette hensyntatt er det 6082 T6 aluminium eller sort eller hvit POM som er de mest aktuelle materialene. Både POM og 6082 T6 aluminium har gode mekaniske egenskaper med tanke på egenvekt, maskinerbarhet og korrosjonsbestandighet.

4.3. Tidlige kostnadsvurderinger

Den tidlig kostnadsvurdering er basert på hvilke komponenter det antas at enheten vil inneholde og maskineringskostnad for ca. 10 arbeidsdager intern maskinering. Kostnadene er basert på den

selvkosten de aktuelle ansatte har. Skulle for eksempel de maskinerte delene blitt produsert hos et eksternt maskineringsverksted ville kostnaden vært høyere. Kostnaden knyttet til å skrive dette dokumentet er ikke medregnet da studenten er ulønnet i dette arbeidet.

Selvkost ved maskinering inkludert materialkostnad er satt til 500 kr/time. Til montering regnes det to fulle arbeidsdager a 750 kr/time.

Tabell 5 Tidlig kostnadstabell

Innkjøpte komponenter	kr 15 000,00
Maskinerte deler	kr 37 500,00
Montasje	kr 11 250,00
Sum:	Kr 63 750,00

Den totale summen for produksjon og montering av testenheten kommer på 63.750 kr.



Figur 11 Maskinert aluminiumsbit med overflatebehandling (31)

Figur 11 viser en lampe-holder maskinert i Stingray sitt verksted. Denne biten med materialkost og overflatebehandling har en kostnad på ca. 500 kr.

5. TEORETISK BEREGNINGSGRUNNLAG

"Oppdriften til et legeme som er senket ned i væske tilsvarende tyngden til den væsken som er fortrent" (32)

- Arkimedes 287 f.Kr.

I dette kapitlet blir det utarbeidet en likning som kan benyttes for å bestemme volumet på et flyteelement som det antas at enheten behøver for å ha positiv oppdrift i vann. Enkle prinsipper omkring oppdrift, fritt fall og tyngdepunktsteori blir også gjennomgått.

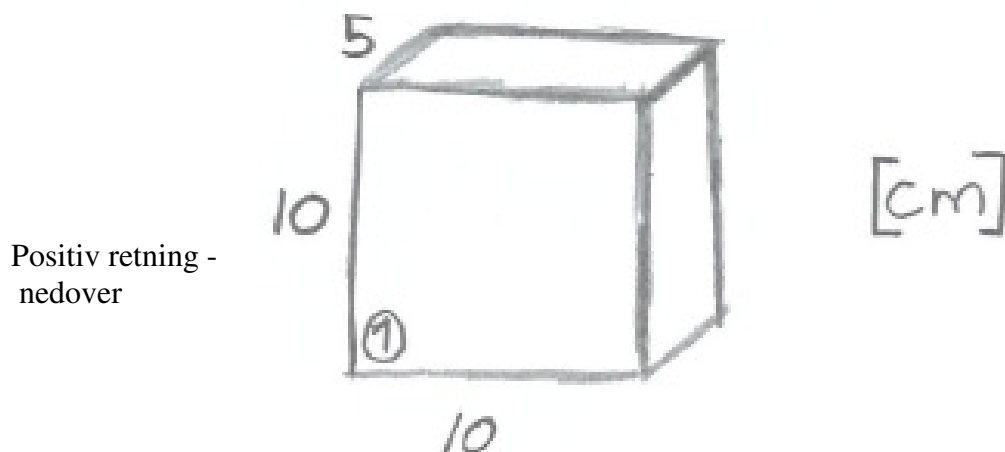
5.1. Forhold ved oppdrift i vann

På et legeme i væske virker det en oppdriftskraft i motsatt retning av tyngdekraften. Dette medfører at en gjenstand som synker i for eksempel vann vil ha en lavere akselerasjon enn i luft fordi vannet har en høyere egenvekt. Denne oppdriftskraften er massen til det fortrente volumet multiplisert med tyngdekraftens akselerasjon; $\rho \times V \times g$.

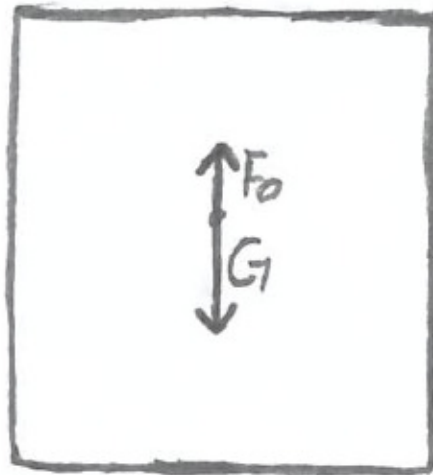
Den samme oppdriftskraften virker også i luft, men egenvekten til luft er så lav at den ofte neglisjert. Dette vises av resultatene på neste side.

Figur 12 illustrerer et legeme med masse på 1 kg og volum på 0,5 dm³

$$\begin{aligned}m &= 1 \text{ kg} \\g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\V &= 0,0005 \text{ m}^3 \\ \rho_{\text{vann}} &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (33) \\ \rho_{\text{luft}} &= 1,204 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (34)\end{aligned}$$



Figur 12 Skisse kloss 1



Figur 13 Kreftene som virker på kloss 1

I luft	I vann
$\sum F = m \times a \quad (5.1)$	$\sum F = m \times a \quad (5.1)$
$G = m \times g \quad (5.2)$	$G = m \times g \quad (5.2)$
$F_0 = \rho_{luft} \times V \times g \quad (5.3)$	$F_0 = \rho_{vann} \times V \times g \quad (5.3)$
$m \times g - \rho_{luft} \times V \times g = m \times a_{i\ luft}$	$m \times g - \rho_{vann} \times V \times g = m \times a_{i\ vann}$
$a_{i\ luft} = \frac{m \times g - \rho_{luft} \times V \times g}{m}$	$a_{i\ vann} = \frac{m \times g - \rho_{vann} \times V \times g}{m}$
$a_{i\ luft} = \frac{1 \times 9,81 - 1,204 \times 0,0005 \times 9,81}{1}$	$a_{i\ vann} = \frac{1 \times 9,81 - 1000 \times 0,0005 \times 9,81}{1}$
$a_{i\ luft} = 9,81 - 5,91 \times 10^{-3}$	$a_{i\ vann} = 9,81 - 0,5 \times 9,81$
$a_{i\ luft} = 9,80 \frac{m}{s^2}$	$a_{i\ vann} = \frac{9,81}{2} \frac{m}{s^2}$

Utrekningene over viser at et legeme i ferskvann med masse på 1 kg og et volum på $0,5\text{ dm}^3$ vil ha ca. halvparten så stor akselerasjon i vann som i luft. Neglisjeres oppdriften i luft er akselerasjonen nøyaktig halvparten.

5.2. Oppdrift

Ved å øke volumet på kloss 1 til $1,1 \text{ dm}^3$ blir regnestykke slik:

I vann

$$\sum F = m \times a \quad (5.1)$$

$$G = m \times g \quad (5.2)$$

$$F_o = \rho \times V \times g \quad (5.3)$$

$$m \times g - \rho_{\text{vann}} \times V \times g = m \times a$$

$$a = \frac{m \times g - \rho_{\text{vann}} \times V \times g}{m}$$

$$a = \frac{1 \times 9,81 - 1000 \times 0,0011 \times 9,81}{1}$$

$$a = 9,81 - 10,791$$

$$a = -0,981 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Legemet har nå en negativ akselerasjon, dette medfører at legemet flyter. Skal enheten dykke må det tilføres en kraft i motsatt retning.

Om legemet skal holdes stabilt under vann settes akselerasjonen til 0.

I vann

$$\sum F = m \times a \quad (5.1)$$

$$G = m \times g \quad (5.2)$$

$$F_o = \rho \times V \times g \quad (5.3)$$

$$\sum F = m \times 0$$
$$\sum F = 0$$

$$m \times g - \rho_{\text{vann}} \times V \times g + F = 0$$

$$F = \rho_{\text{vann}} \times V \times g - m \times g$$

$$F = 1000 \times 0,0005 \times 9,81 - 1 \times 9,81$$

$$F = 10,791 - 9,81$$

$$F = 0,981 \text{ N}$$

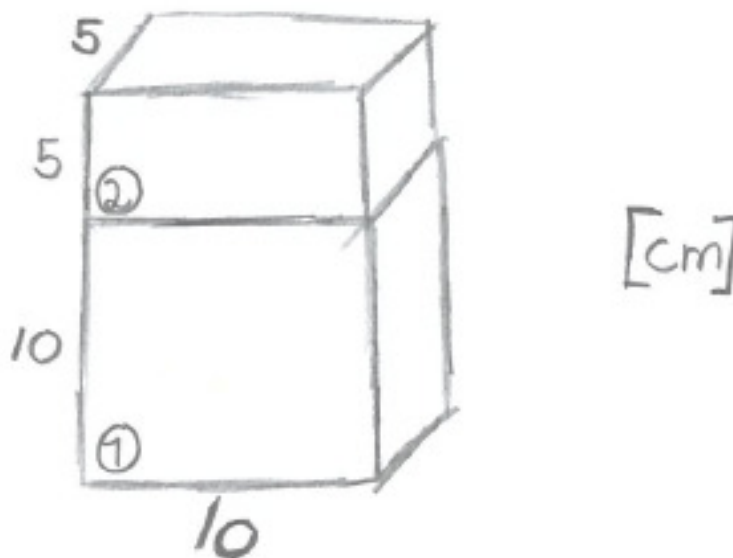
For å holde enheten stabilt på en gitt dybde må thrusterene levere en kraft lik 0,981 N, om enheten skal dykke må thrusterene levere mer krefter.

Det er også viktig å merke seg at det er massen til et legeme som akselereres og ikke vekten i vann. Det kreves altså mer krefter for å sette for eksempel en ubåt som er vektløs i vann i bevegelse enn gjenstanden i eksemplene over. I denne oppgaven vil det derfor være gunstig å redusere massen fremfor å ha et veldig stort flytelement.

Massetyngdepunkt og oppdriftens tyngdepunkt.

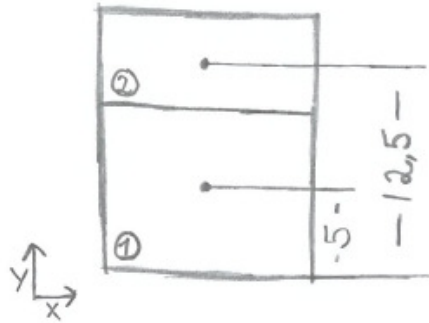
I beregningene over regnes det på et legeme med homogen egenvekt. Når et legeme er homogent vil tyngdekraften og oppdriftskraften virke i det samme punktet fordi de to tyngdepunktene sammenfaller. I eksempelet under vises det hva som skjer når disse to punktene ikke sammenfaller.

I tillegg til legemet fra forrige eksempel, utvides det nå med en kloss på toppen, se figur 14. Den nye klossen har halvparten av volumet, men dobbel så stor egenvekt. Altså har de to klossene den samme massen.



Figur 14 Kloss 1 og 2

Massetyngdepunkt:



Figur 15 Tyngdepunktsplassing kloss 1 og 2

Figur 15 viser avstanden fra bunnen av kloss 1 og opp til de to klossenes tyngdepunkter. Denne avstanden benyttes for å finne klossenes felles tyngdepunkt i formel 5.4.

$$\begin{array}{l|l} m_1 = 1kg & m_2 = 1kg \\ y_1 = 5cm & y_2 = 12,5cm \end{array}$$

$$\begin{aligned} y_{0m} &= \frac{m_1 \times y_1 + m_2 \times y_2}{m_1 + m_2} \quad (5.4) \\ y_{0m} &= \frac{1 \times 5 + 1 \times 12,5}{1 + 1} \\ y_{0m} &= \frac{17,5}{2} = 8,75cm \end{aligned}$$

Kloss 1 og kloss 2 har et felles massetyngdepunkt 8,75cm fra bunnen av kloss 1, i dette punktet virker tyngdekraften.

Oppdriftens tyngdepunkt:

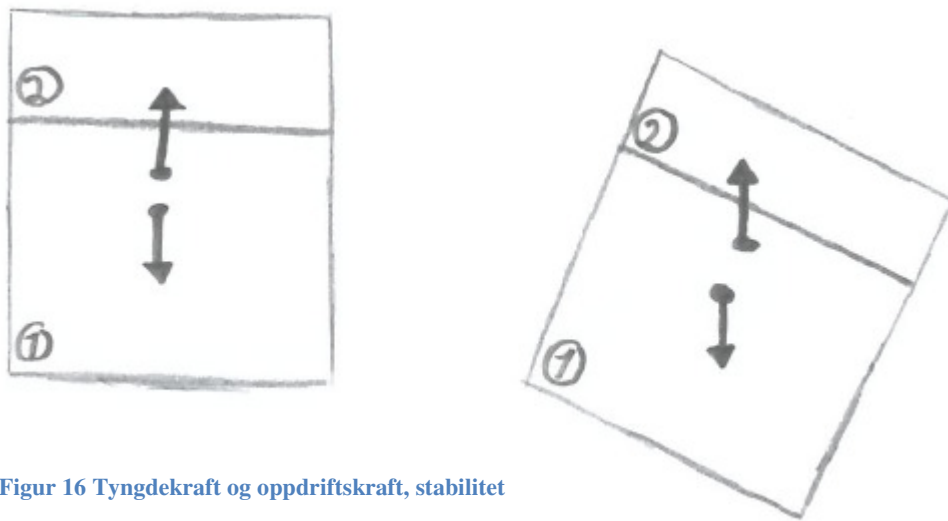
Oppdriftens tyngdepunkt er tyngdepunktet til massen av det fortrenkte volumet. Regnestykket under vil vise at tyngdepunktet ligger midt i biten.

$$\begin{array}{l|l} A_1 = 100 \text{ cm}^3 & A_2 = 50 \text{ cm}^3 \\ y_1 = 5 \text{ cm} & y_2 = 12,5 \text{ cm} \end{array}$$

$$\begin{aligned} y_{0o} &= \frac{a_1 \times y_1 + a_2 \times y_2}{a_1 + a_2} \quad (5.4) \\ y_{0o} &= \frac{100 \times 5 + 50 \times 12,5}{100 + 50} \\ y_{0o} &= \frac{100 \times 5 + 50 \times 12,5}{100 + 50} \\ y_{0o} &= \frac{500 + 625}{150} = 7,5 \end{aligned}$$

Den felles oppdriftskraften virker i et punkt 7,5cm fra undersiden av kloss 1.

Ved å tegne inn de to kreftene med utgangspunkt i hvert sitt tyngdepunkt kommer det frem at en gjenstand som er helt nedsenket i væske alltid vil ønske å ha oppdriftens tyngdepunkt høyere enn massetyngdepunktet. Jo lenger avstand det er mellom de to tyngdepunktene jo lenger blir armen som kreftene virker på ved rotasjon (se figur 16). Dette medfører at et legeme med lang avstand mellom tyngdepunktene vil være mer stabile i vann. Det vil derfor være ønskelig å få oppdriftstyngdepunktet vekk fra massetyngdepunktet.

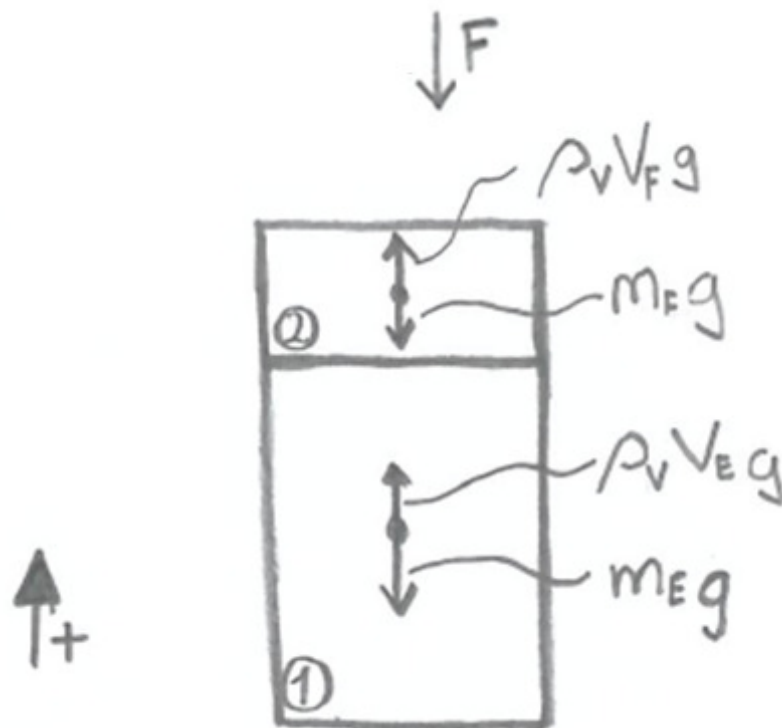


Figur 16 Tyngdekraft og oppdriftskraft, stabilitet

Skissen til høyre på figur 16 viser de to kreftene når biten har fått rotere et par grader, dette kan for eksempel skyldes bølger. De to kreftene vil nå jobbe sammen for å stabilisere legemet og gjenoppta opprinnelig posisjon.

Flyteelementets volum:

Figur 17 illustrerer testenheten med et flyteelement montert på toppen. Kraften F representerer kraften fra thrusterne. På figuren er tyngdekraften og oppdriftskraften til de to delene også tegnet inn. I formel 5.5 er volumet til flyteelementet løst med hensyn på en rekke kjente variabler og akselerasjonene til enheten. Ved å benytte formelen slik den står kan flyteelementets volum bestemmes ved å fylle inn en rekke kjente variabler samt ønsket akselerasjon. Utledning av formelen finnes i vedlegg 3.



Figur 17 Flyteelementets volum

$$V_F = \frac{m_E \times (a + g) - \rho_{vann} \times V_E \times g - F}{-\rho_F (g - a) + \rho_{vann} \times g} \quad (5.5)$$

Motstandskraft

I tillegg til tyngdekraften og oppdriftskraften virker det også en motstandskraft på legemet som følge av motstanden fra mediet som legemet beveger seg i. I luft kalles denne kraften ofte for luftmotstand og betegnes F_D .

$$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho \times A \times v^2 \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} C_D &= 0,47 \\ \rho_{vann} &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (33) \\ A &= 0,6 \text{ m}^2 \\ v &= 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

- Cd verdien som benyttes i beregningene under er Cd verdien til et sirkulært tverrsnitt (35).
- Enhetens projiserte areal settes til $0,7 \text{ m}^2$ basert på ønsket størrelse og formfaktor.
- Testtanken enheten skal brukes i er så liten at en lav hastighet er å foretrekke da enheten vil være lettere å manøvrere, i disse beregningene settes hastigheten til maks $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\begin{aligned} F_D &= \frac{1}{2} \times C_D \times \rho \times A \times v^2 \quad (5.6) \\ F_D &= \frac{1}{2} \times 0,45 \times 1000 \times 0,7 \times 0,1^2 \\ F_D &= 1,6 \text{ N} \end{aligned}$$

Skal enheten holde en konstant hastighet på $0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ i X, Y-planet trengs det en kraft i enhetens bevegelsesretning på 1,6 N for å overvinne motstandskraften.

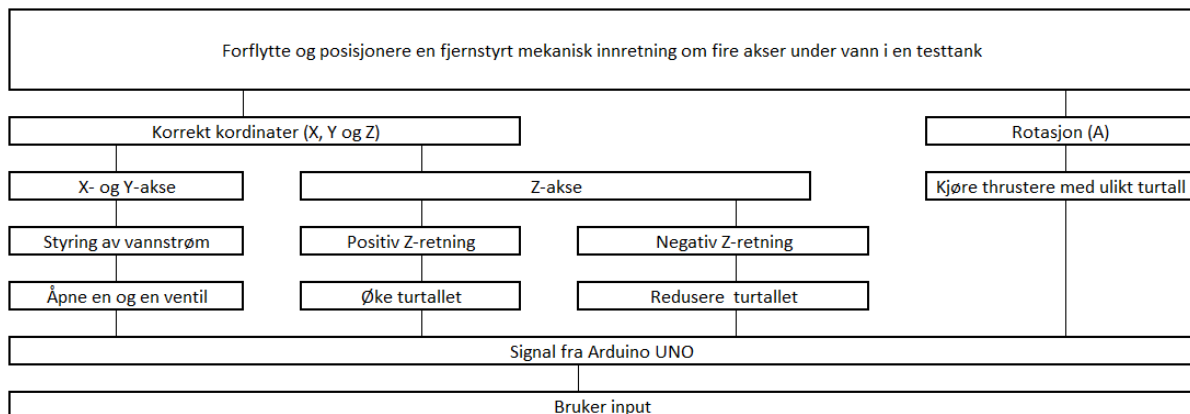
Er kraft i X, Y-planet lavere enn 1,6 N vil ikke enheten oppnå den ønskede hastigheten på 0,1 m/s.

6. KONSEPTGENERERING

I dette kapitlet blir det presentert en rekke konsepter som sammen med mindre komponenter til sammen skal løse hovedmålet og oppfylle produktspesifiseringen utarbeidet i samarbeid med Stingray i kapittel 4. Konseptene som blir presentert i dette kapitlet blir i kapittel 7 selektert ved hjelp av en rekke Pugh-matriser.

6.1. Funksjonsanalyse for produkttypen

Under følger en analyse av enhetens funksjoner. Diagrammet viser hva enheten skal gjøre og hvordan det skal blir gjort.



6.2. Funksjonsalternativer med skisser

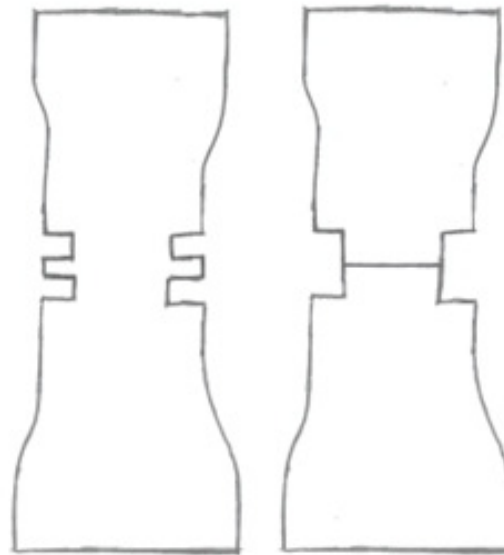
Med utgangspunkt i funksjonsanalysen ble testenheden oppdelt i seks hoveddeler/problemstillinger som må løses. Dette spenner fra materialvalg på enkeltkomponenter til mekaniske løsninger for kabelgjennomføring. I alle tilfellene blir det presentert flere alternative løsninger som skal velges ved hjelp av seleksjonsmatriser. De mindre delene som trengs for å komplettere enheten vil bli designet fortløpende uten seleksjonsmatriser.

1. Hus
 - Materiale
 - Helt eller splittet
2. Thrustere
 - Hvordan utforme propellkroppen og bladene
3. Ventilstyring
 - Hvordan operere klaffene
4. Hylse
 - Materialvalg og innfesting av klaff
5. Klaff
 - Refleksjonsflate
6. Kabelgjennomføring
 - Hvordan koble sammen øvre og nedre motor

1. Hus

Huset til enheten skal inneholde to motorer samt styring til åtte ventiler. For å holde huset tett skal det monteres et topplokk og et bunnlokk. Huset skal produseres i et materiale som tillater at enheten får positiv oppdrift uten "overdreven" bruk av oppdriftselementer. Huset bør utformes på en måte som tillater at det kan maskineres ved bruk av et maskineringscenter uten å måtte lage spesielle verktøy eller jigger. For å redusere antall tetninger bør huset bestå av så få deler som praktisk mulig.

Fra Stingray sin side er det ønskelig at testenheten har en avlang sirkulær formfaktor. Et sirkulært tverrsnitt medfører at enhetens projiserte areal vil være så godt som likt uavhengig av hvilken retning enheten forflytter seg i X, Y-planet, dette vil gjøre styringen av enheten enklere. I en fullskalaenhet som skal plasseres i en oppdrettsmerd er det også en fordel med et sirkulært tverrsnitt for å redusere antall skarpe kanter som i verste fall kan forårsake hull i merdens notvegg og forårsake rømming.



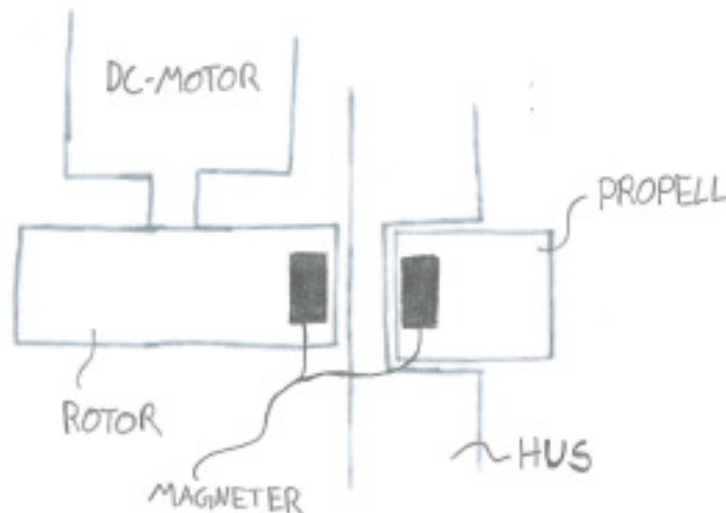
Figur 18 Husalternativer

Alternativer vist på figur 18:

Til venstre: Hele huset maskineres ut av et solidt emne. Huset maskineres utvendig for å gi geometrien som vannet vil følge, innvendig maskineres det for å gi plass til motorene og ventilstyringen. Det maskineres to større spor fra utsiden som gir styring til propellene.

Til høyre: Huset splittes i to og slik at det maskineres en toppdel og en bunndel som skrues sammen med en o-ring som tetning. Propellene monteres før de to delene skrues sammen. Mellom propellene monteres det et avstandsstykke som hindrer propellene i å forflytte seg aksielt.

2. Thrustere



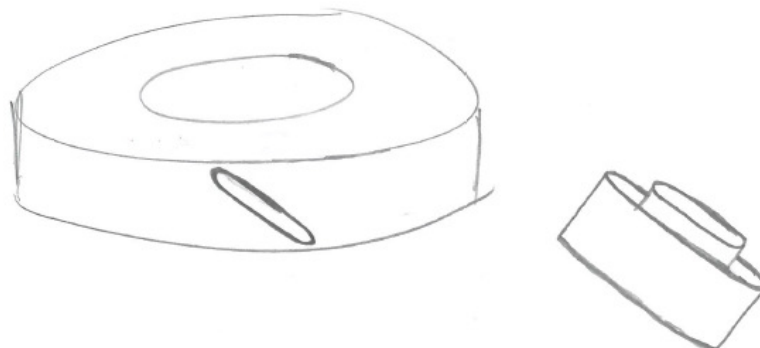
Figur 19 Oversikt over motor, magneter og propell

All forflytting av enheten vil være et resultat av at det pumpes vann fra undersiden av enheten og ut enten på toppen eller til siden. For å flytte dette vannet skal det benyttes to kontraroterende propeller. De to propellene vil sammen med hver sin el-motor og en rekke magneter utgjøre to thrustere. Når rotoren roterer vil skjærkreftene mellom magnetene sørge for at propellen også roterer (se figur 19). De to propellene plasseres rett over hverandre på enheten (se spor på figur 18). Propellbladene skal være vinklet i motsatt retning av hverandre slik at de pumper vann i samme retning når de roterer hver sin vei. Ved å kjøre thrusterene med ulikt turtall vil enheten rotere.

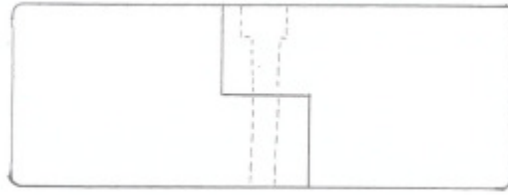
Propellen kan enten maskineres ut av et stykke, eller den kan maskineres ut av to deler som senere skrues sammen. Propellbladene kan enten freses løst og festes i "kroppen" i etterkant eller så kan et større emne benyttes og bladene freses ut direkte.

Velges alternativet hvor enhetens hus maskineres ut av et stykke må løsningen med splittet propell velges. Fordelen med denne løsningen er at propellen kan monteres og demonteres uten å demontere hele enheten. Ulempene er at det blir dårligere plass til å plassere magneter når litt av det tilgjengelige volumet forsvinner til skruehullene for å holde de to delene sammen.

Skisse 20 viser propellkroppen (uavhengig av om den er hel eller splittet) med et løst blad. Avhengig av materiale kan bladet limes eller festes med en skrue til kroppen.



Figur 20 Skisse, thruster med løst blad



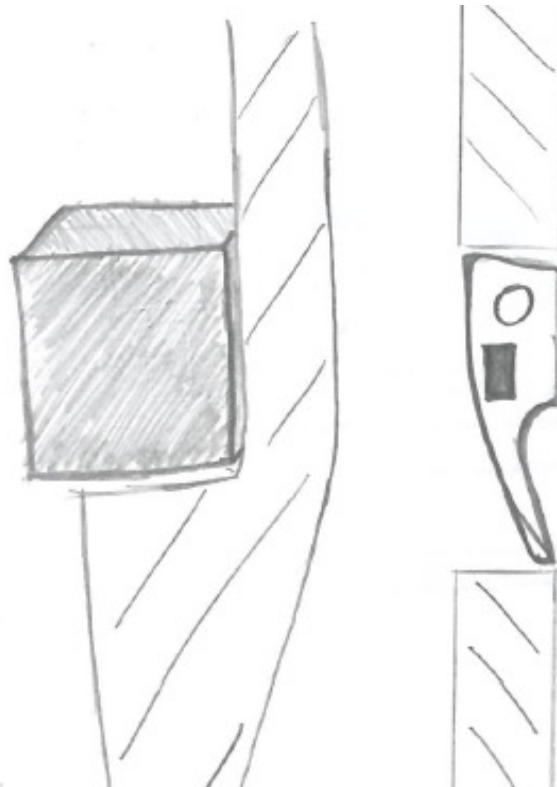
Figur 21 Skisse, splittet propell

Skisse 21 viser hvordan propellen kan maskineres i to halvdeler for å så bli skrudd sammen

3. Ventil og ventilstyring

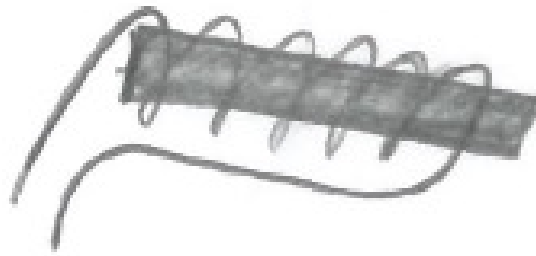
Enheten skal utstyres med åtte klaffer som individuelt kan åpnes eller lukkes for å forflytte enheten i X, Y-planet. Ved å åpne en ventil sendes litt av vannet som thrusterene pumper ut til siden og ikke rett opp som normalt. Dette sørger for at enheten vil bevege seg i motsatt retning av der ventilen sitter. Ventilene kan enten åpnes og lukkes ved å benytte magneter, noe som vil redusere antall tetninger. Et annet alternativ er å benytte en lineær aktuator som dytter på ventilen.

Den skraverte boksen på figur 22 viser et volum inne i enheten hvor en elektromagnet, servomotor eller lineær aktuator kan plasseres. Uavhengig av hvilken løsning som blir valgt trengs det åtte slike bokser fordelt likt rundt enhetens senter-akse, en til hver ventil.



Figur 22 Skisse, klaffstyring

Elektromagnet



Figur 23 Skisse, elektromagnet

Det plasseres en elektromagnet i huset som rettes mot et magnetisk felt på klaffen. Elektromagneten må ha muligheten til å snu polariteten slik at klaffen enten tiltrekkes eller frastøtes. Fordeler: Enkel styring Ulemper: Om det benyttes permanentmagneter i ventilen vil disse alltid tiltrekkes stålet i elektromagneten.

Servomotor

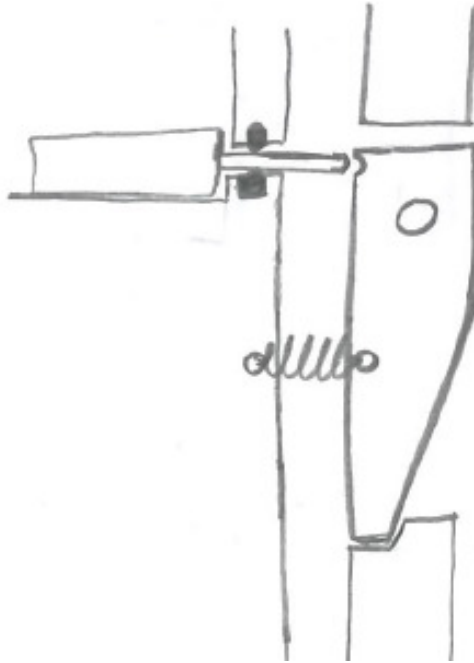


Figur 24 Skisse, servomotor

Det monteres en liten servomotor inne i huset, på servomotorens aksling festes det en eller flere permanentmagneter, servomotoren har mulighet til å rotere akslingen minimum 180 grader, når akslingen roterer fra 0 til 180 grader vil polariteten på magneten også snu.

Fordeler: Trekker kun strøm når posisjonen endres. Arbeidet utføres av magnetene.
Ulemper: Mer avansert styring

Lineær aktuator:



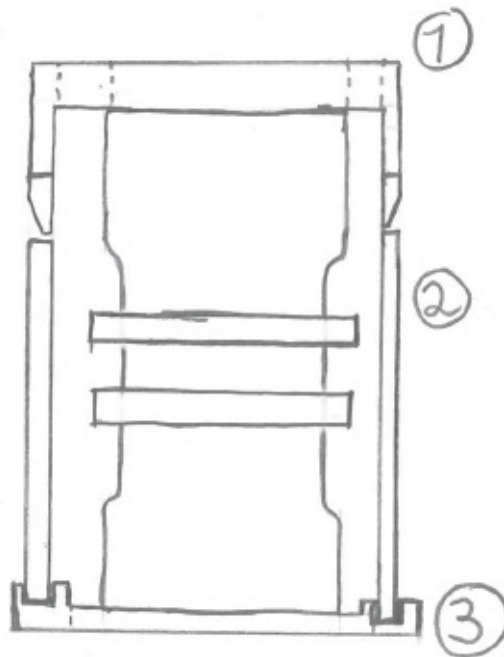
Figur 25 Skisse lineær aktuator

En lineær aktuator monteres inne i huset, det bores så et hull i huset som aktuatorens aksling føres gjennom. For å hindre vanninntrenging monteres det en eller flere pakninger i hvert hull. Aktuatorens styres på samme måte som en servomotor, to ledere for spenning og en for signaler. Ved å bruke vektarmprinsippet kan en aktuator med kort slaglengde benyttes. Ved å bruke en rask aktuator vil klaffene kunne åpnes og lukkes relativt fort.

Fordeler: Kan åpne og lukke klaffene hurtig. Kan også åpne klaffene delvis ikke kun helt åpen eller lukket.

Ulemper: Mange pakninger og små deler

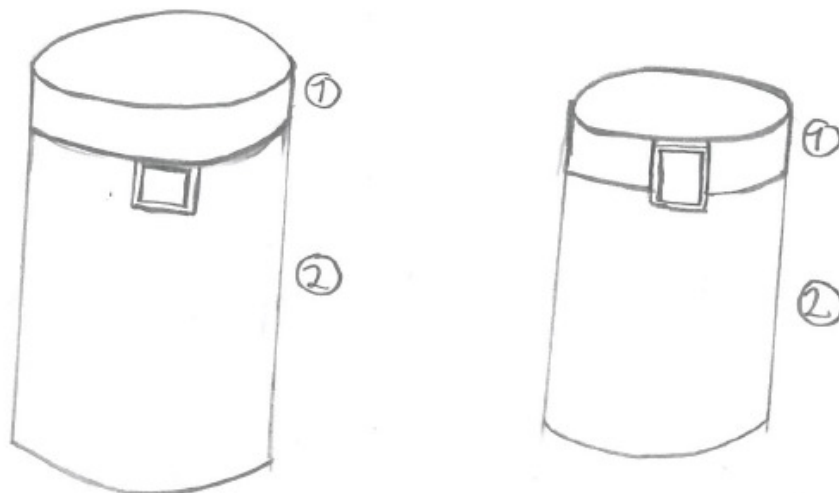
4. Hylse og topplokk



Figur 26 Skisse, oversikt hylse og lokk

For å gjøre huset vanntett må det monteres et lokk i overkant (1) og et i underkant (3). Løkkene sikres til huset ved bruk av skruer og tettes med o-ringer. Løkkene vil inneholde kabelgjennomføringer samt innfesting av hylsen (2). Innfesting av hylsen må i så liten grad som mulig påvirke vannstrømmen som sørger for at enheten ikke flyter til overflaten.

Løkkene bør inneholde innfesting til flyteelementer og eventuelt vekter for å kunne justere/eksperimentere med oppdriften, massetyngdepunkt og oppdriftstyngdepunkt.



Figur 27 Skisse, klaffinnfesting

De åtte klaffene kan enten festes i hylsen som vist til venstre på figur 27. Eller så kan de festes til topplokket som vist på skissen til høyre på samme figur.

Hylse:

For å lede vannet som blir flyttet av thrusterne opp og eventuelt ut av ventilene er det nødvendig å ha en hylse på utsiden av huset som fungerer som en ytre barriere for vannet. Hylsen er et rør med innfestinger mot topp- og bunnlokket. Dimensjonen på hylsen må fastsettes før andre komponenter konstrueres da det kan være få tilgjengelige dimensjoner i ønsket materiale. Tilgjengelige dimensjoner blir innhentet fra Plastkompaniet AS i Oslo.

I likhet med huset bør hylsen også være relativ lett i vann, lett å maskinere og ha gode mekaniske egenskaper mot slag og håndtering. For å enklere vise prinsippet med de to kontraroterende propellene er det en stor fordel om hylsen er helt eller delvis gjennomsiktig.

Av tilgjengelige og aktuelle materialer er det Polykarbonat (PC) eller Akrylglass (Plexiglass) som oppfyller kravene om gjennomsiktighet samt maskinerbarhet. Begge materialene er tilgjengelige i forskjellige dimensjoner hos Plastkompaniet AS.

De fire alternativene til hylsemateriale samt innfesting av klaffen er som følger:

Polykarbonat med ventil:

Polykarbonat velges som materiale i hylsen og det maskineres innfesting til klaffen

Polykarbonat uten ventil:

Polykarbonat velges som materiale og ventilen monteres i topplokket

Akrylglass med ventil:

Akrylglass velges som materiale i hylsen og det maskineres innfesting til klaffen

Akrylglass uten ventil:

Akrylglass velges som materiale og ventilen monteres i topplokket

5. Klaff:

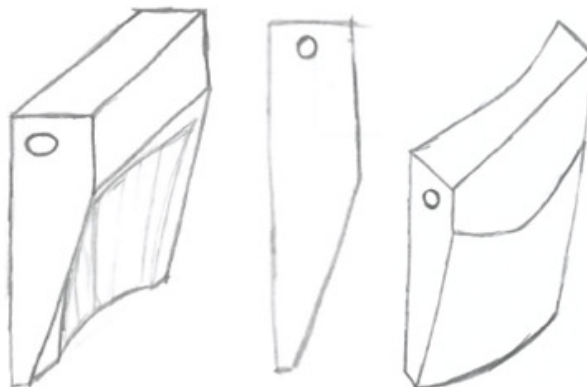


Figur 28 Skisse, klaff og vannstrøm

Velges en løsning hvor det benyttes magneter for å åpne eller lukke klaffen må den enten være magnetisk eller ha maskinert en eller flere lommer som det kan plasseres permanentmagneter eller magnetisk stål i. Ved å endre polariteten på magneten i huset vil klaffen enten tiltrekkes eller frastøtes. Velges løsningen med aktuatoren vil det måtte maskineres et feste til akslingen og eventuelt et fjærsystem for å holde klaffen på plass når aktuatoren ikke er i inngrep.

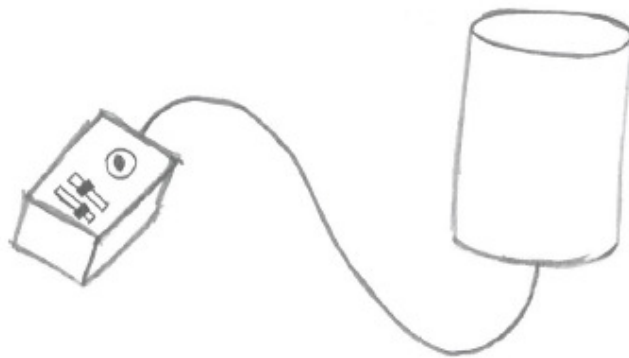
Flaten som vannet reflekteres på kan utformes på følgende måter, illustrert på figur 29.

- Parabelform (til venstre)
 - Det freses en skjeformet lomme i klaffen som vannet reflekteres ut fra.
- Rett flate (i midten)
 - som vil sende vannet ut normalt fra enheten ved korrekt vinkel på flaten.
- Sirkulær flate (til høyre)
 - Vannet reflekteres ut fra klaffen på en avrundet flate.



Figur 29 Skisse, refleksjonsflate alternativer

6. Kabelgjennomføring

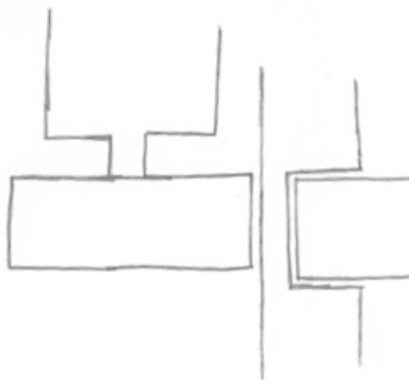


Figur 30 Skisse, tilkoblet styring

Enheten får strøm og signal via en eller flere kabler, kablen bør være mer eller mindre vektløs i vann og være innfestet enhetens underside. På undersiden av enheten skal to av lederne kobles til den nedre motoren mens resten av lederne skal føres opp til ventilstyringen og den øvre motoren.

For å få lederne opp til den øvre delen vil en rekke alternativer bli vurdert.

Innvendig gjennomføring:



Figur 31 Skisse, luftgap

Kablene føres fra underdelen til overdelen ved å føre kablene rundt rotoren og motoren. Eventuelt kan det bores en rekke små hull som en og en leder kan trekkes gjennom. Fordelene med denne løsningen er at kablen kun har en inngang til enheten som reduserer sannsynligheten for vanninntrenging. Ulempene er at luftgapet mellom magnetene i propellene og rotoren må være så liten som mulig. Dette gjør at det blir lite plass til ledninger. Det er også en mulighet for at magnetfeltene som hele tiden vil passere kablene kan forstyrre signalene.

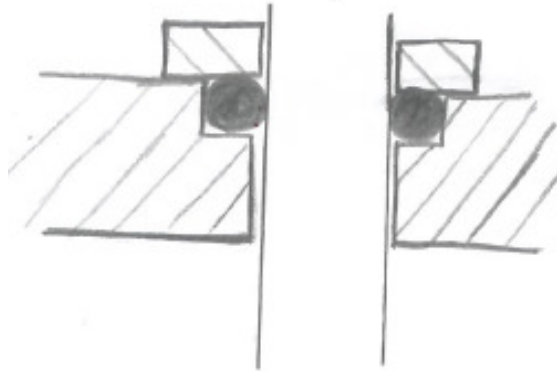
Utvendig kabel:



Figur 32 Skisse, utvendig kabel

Utvendig med konnektor:

Kabelen fra kontrollenheten termineres til undersiden av enheten med en konnektor, fra undersiden går kabelen opp på utsiden av enheten. Denne korte kabelen termineres i begge ender med en konnektor.



Figur 33 Skisse, kabelgjennomføring med o-ring

Utvendig uten konnektor:

Samme som løsningen over, men i stedet for konnektorer føres kabelen gjennom hull i enheten hvor en o-ring benyttes som pakning.

To kabler:



Figur 34 Skisse, to kabler

Fra kontrollenheten går det to kabler, en til undersiden og en til oversiden. Disse kablene har enten konnektorer eller samme gjennomføring som beskrevet i "utvendig uten konnektor".

7. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

De forskjellige konseptene presentert i forrige kapittel vil bli selektert gjennom en rekke Pugh seleksjonsmatriser (36). Matrisene en systematisk metode for å sette forskjellige løsninger opp mot hverandre basert på et udefinert antall kriterier. Noen kriterier vil være mer avgjørende enn andre, disse vil da få en høyere vektning. Uavhengig av vektningen kan et kriterium få følgende tre verdier, -1, 0 eller 1. Denne verdien blir multiplisert med vektningen før dette tallet summeres for alle kriteriene. Den løsningen som står igjen med høyest sum blir valgt.

Tabell 6 Eksempel på seleksjonsmatrise

Eksempel		Konsepter			
		Konsept 1		Konsept 2	
	Vektning				
Kriterie 1	30	1	30	0	0
Kriterie 2	20	1	20	1	20
Kriterie 3	20	-1	-20	1	20
Kriterie 4	15	0	0	1	15
Kriterie 5	15	-1	-15	1	15
Sum	100	15		70	

Eksempelet i tabell 6 viser to konsepter; konsept 1 og konsept 2 satt opp mot hverandre. De er vurdert etter fem kriterier hvorav noen er ulikt vektet. Summen (de grønne cellene) viser at konsept 2 kom best ut. Her vil det altså være naturlig at konsept 2 er det som blir valgt. Skulle det senere vise seg at det valgte konseptet ikke lar seg gjennomføre vil enten det nest beste bli valgt, eventuelt må det settes opp en ny matrise med nye konsepter. Et konsept kan maks få 100 poeng og minimum -100 poeng.

7.1. Utvikling av seleksjonsmatrise

Konseptene som skal velges blir vurdert etter de fem følgende kriteriene; funksjon, gjennomførbarhet, samspill, maskinering og driftssikkerhet. Kriteriene har forskjellig vektning basert på hvilke egenskaper det er ønskelig at enheten skal ha.

Funksjon - I hvilken grad gir løsningen delen dens ønskede funksjonen

Gjennomførbarhet - Er konseptet gjennomførbart innenfor masteroppgavens tidsbegrensninger?

Samspill - I hvor stor grad er delen kompatibel med andre deler av designet. Kan løsningen gjennomføres uten at andre deler blir dyrere eller mer komplekse?

Maskinering - Her vil evnene til å maskineres uten å måtte lage jigger eller annet spesialutstyr vektlegges. Om delen krever et par ekstra oppspenninger eller litt ekstra maskineringstid er ikke så farlig da dette er en testenheter. Ved serieproduksjon hadde naturligvis dette vært motsatt.

Driftssikkerhet - Et solid fungere design vil bli vektlagt fremfor et strømlinjeformet optimalisert design. Det viktigste er å vise at det mekaniske prinsippet fungerer.

7.2. Egen konseptscreening

Tabell 7 Seleksjonsmatrise, hus

Hus		Konsepter							
		Solid - POM		Topp og bunn - POM		Solid emne - Aluminium		Splittet - Aluminium	
	Vekting								
Funksjon	30	0	0	0	0	1	30	1	30
Gjennomførbarhet	20	0	0	1	20	0	0	1	20
Samspill	20	0	0	1	20	0	0	1	20
Maskinering	15	0	0	0	0	-1	-15	0	0
Driftssikkerhet	15	0	0	0	0	1	15	1	15
Sum	100	0	0	40	40	30	30	85	85

Et todelt hus lagd i aluminium kommer ut som den beste løsningen med 85 poeng.

Tabell 8 Seleksjonsmatrise, propell

Thruster - Propell		Konsepter							
		Splittet med løse blader		Splittet med faste blader		Hel med løse blader		Hel med faste blader	
	Vekting								
Funksjon	30	0	0	0	0	1	30	1	30
Gjennomførbarhet	20	1	20	1	20	1	20	1	20
Samspill	20	1	20	1	20	1	20	1	20
Maskinering	15	-1	-15	0	0	0	0	1	15
Driftssikkerhet	15	-1	-15	0	0	0	0	1	15
Sum	100	10	10	40	40	70	70	100	100

Propell som maskineres ut av et stykke med faste blader kom best ut med 100 poeng.

Tabell 9 Seleksjonsmatrise, ventilstyring

Ventilstyring		Konsepter					
		Elektromagnet		Servomotor		Lineær aktuator	
	Vekting						
Funksjon	30	0	0	1	30	1	30
Gjennomførbarhet	20	0	0	1	20	1	20
Samspill	20	1	20	0	0	0	0
Maskinering	15	1	15	1	15	0	0
Driftssikkerhet	15	1	15	1	15	0	0
Sum	100	50	50	80	80	50	50

Servomotor med magneter kommer best ut med 80 poeng.

Tabell 10 Seleksjonsmatrise, hylse

Hylse		Konsepter							
		Akrylglass med klaff		Akrylglass, klaff i lokk		Polykarbonat med klaff		Polykarbonat, klaff i lokk	
	Vekting								
Funksjon	30	1	30	1	30	1	30	1	30
Gjennomførbarhet	20	0	0	0	0	1	20	1	20
Samspill	20	1	20	0	0	1	20	0	0
Maskinering	15	-1	-15	-1	-15	-1	-15	1	15
Driftssikkerhet	15	-1	-15	-1	-15	0	0	1	15
Sum	100	20		0		55		80	

Hylse i polykarbonat uten innfesting til klaff kom best ut med 80 poeng.

Tabell 11 Seleksjonsmatrise, klaff refleksjonsflate

Klaff - refleksjonsflate		Konsepter					
		Parabel		Rett flate		Radiell flate	
	Vekting						
Funksjon	30	1	30	0	0	1	30
Gjennomførbarhet	20	0	0	1	20	1	20
Samspill	20	1	20	1	20	1	20
Maskinering	15	0	0	1	15	1	15
Driftssikkerhet	15	1	15	1	15	1	15
Sum	100	65		70		100	

Klaff med radiell flate kom best ut med 100 poeng.

Tabell 12 Seleksjonsmatrise, kabelgjennomføring

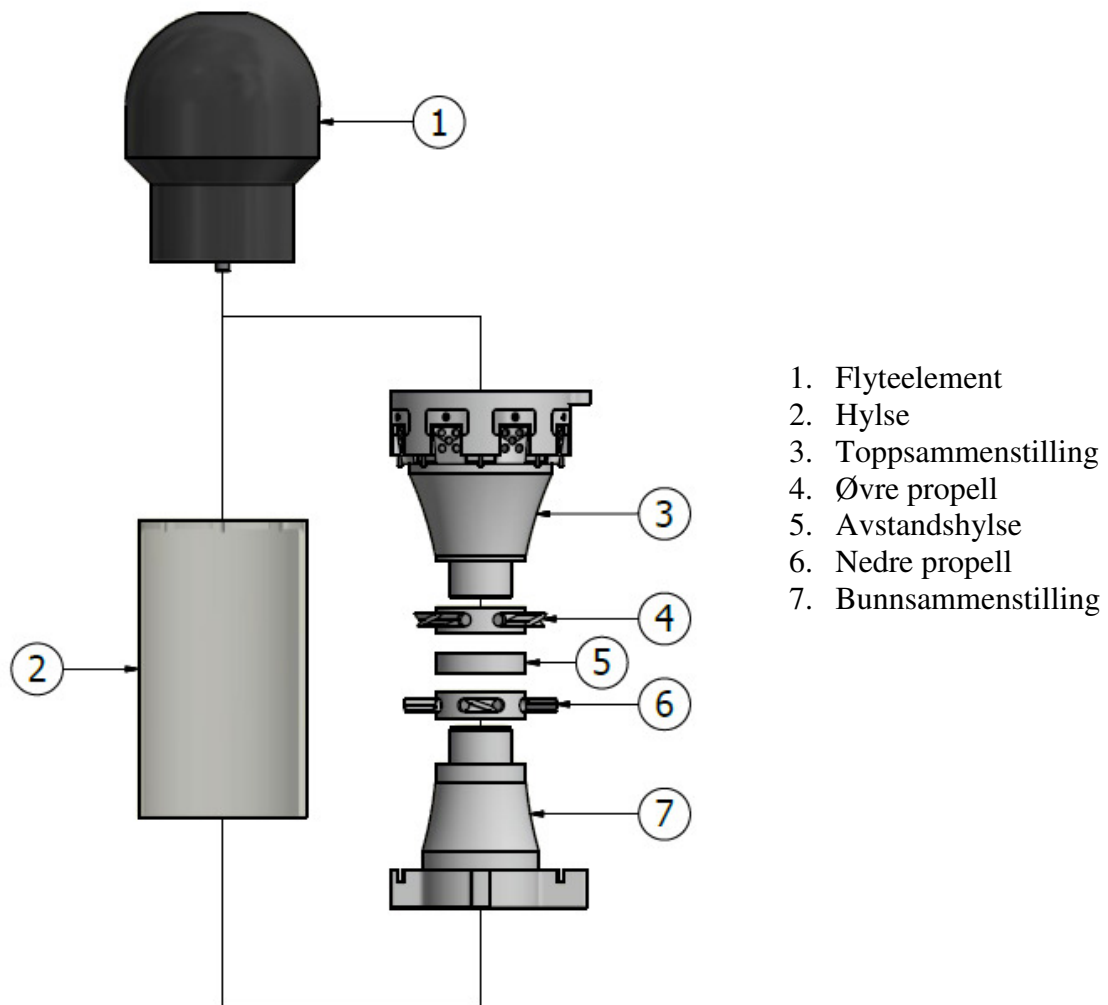
Kabelgjennomføring		Konsepter							
		Innwendig		Utvendig med konnektor		Utvendig uten konnektor		To kabler	
	Vekting								
Funksjon	30	0	0	0	0	1	30	1	30
Gjennomførbarhet	20	0	0	1	20	1	20	1	20
Samspill	20	-1	-20	0	0	1	20	-1	-20
Maskinering	15	-1	-15	1	15	0	0	1	15
Driftssikkerhet	15	1	15	1	15	1	15	1	15
Sum	100	-20		50		85		60	

Utvendig kabel uten konnektor kom best ut med 85 poeng.

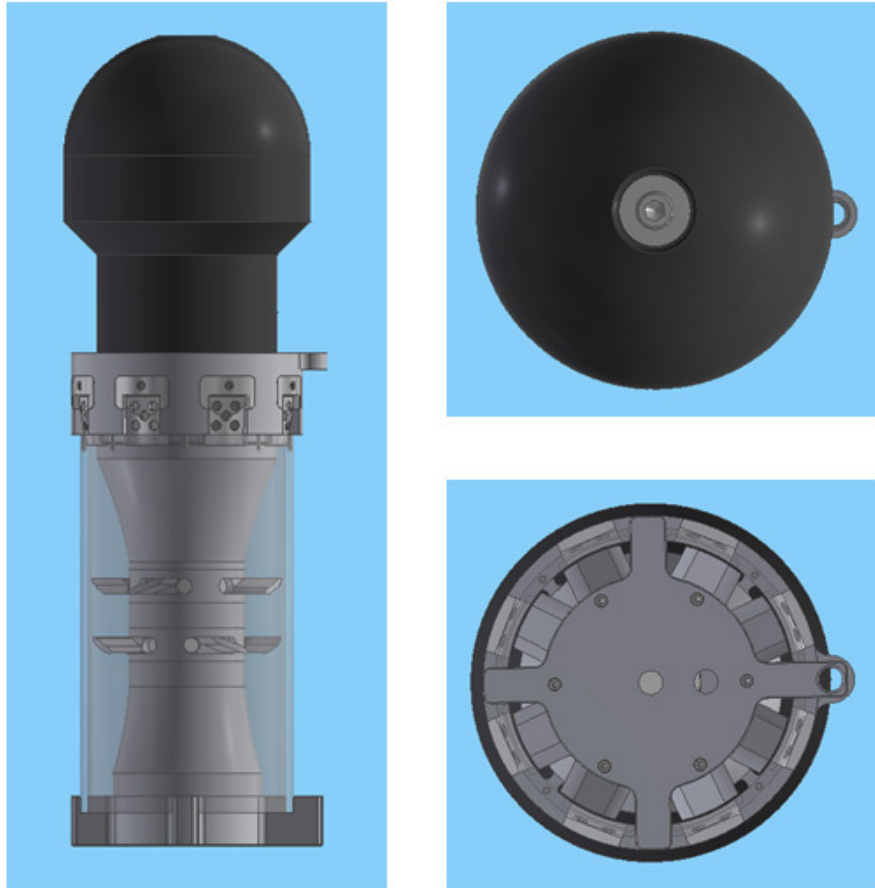
8. PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

I dette kapitlet blir enheten brutt ned i sine bestanddeler og de forskjellige komponentene og sammenstillingene gjennomgått. Figur 35 viser en eksplosjonstegning som gir et kjapt overblikk over hvordan enheten er oppbygd. For detaljerte tegninger og sammenstillingstegninger henvises det til vedlegg 10.

8.1. Sammenstilling

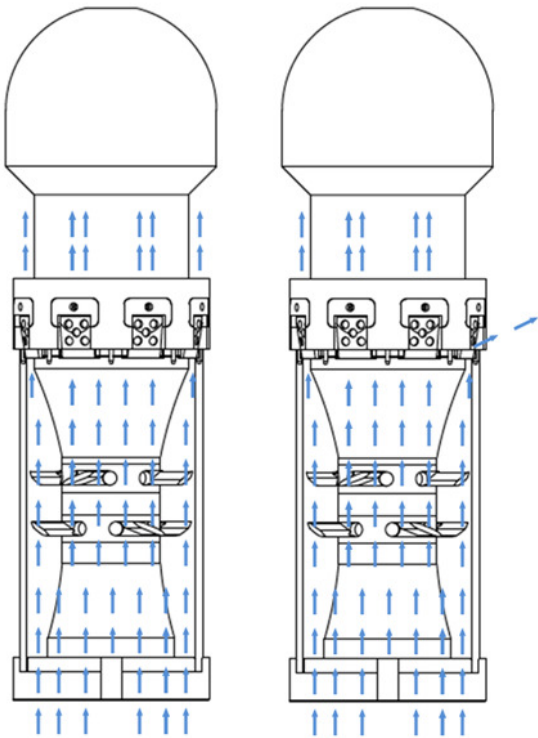


Figur 35 Oversikt, hovedkomponenter



Figur 36 Oversikt fra tre sider

Komplett sammenstilling uten kabler. Høyre topp: Komplett enhet sett ovenfra. Høyre nede: Komplett enhet sett under ifra



På figur 37 er vannstrømmen gjennom enheten illustrert med blå piler. Til venstre er alle ventilene lukket slik at alt vannet går rett opp og ut av spor i topplokket. Til høyre er den ene ventilen åpnet og litt av vannet dyttes ut til siden.

Figur 37 Vannstrøm med lukket så åpen klaff

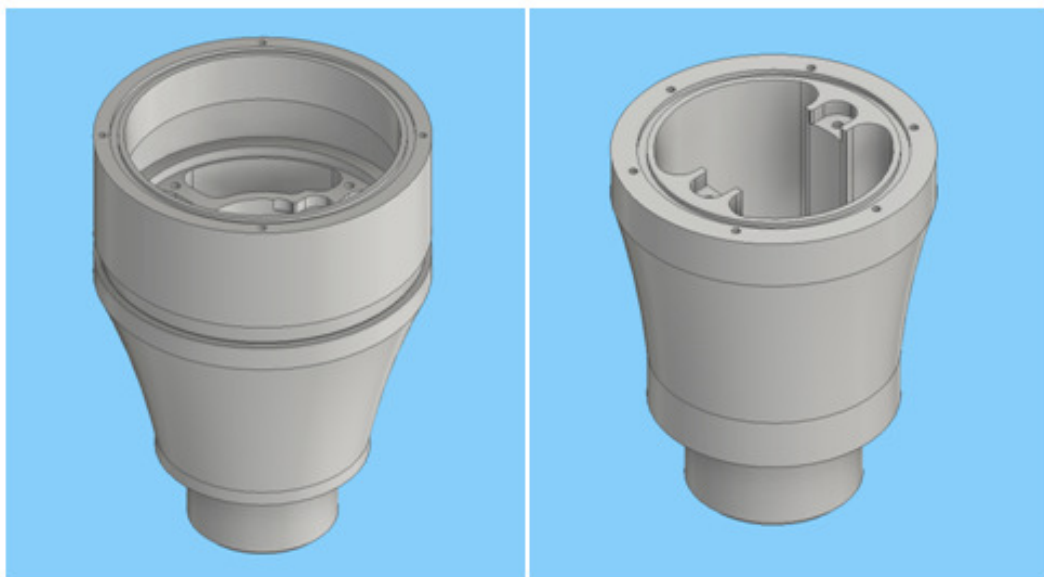
8.2. Design av hovedelementer

Alle andre deler enn de to propellene og hylsen maskineres i 6082 T6 aluminium. Dette skyldes i stor grad god erfaring med nevnt legering på deler og komponenter som skal benyttes i vann. 6082 T6 er også det materialet det er mest av i materiallageret til Stingray.

Delene er først og fremst konstruert for å oppfylle en gitt funksjon, men det er også lagt stor vekt på at delene skal være relativt enkle å maskinere.

8.2.1 Hus topp og bunn

Selve kroppen til enheten er delt i to deler; Hus_topp og Hus_bunn. De to delene er relativt like, men Hus_topp skal ha plass til sammenstillingen som blant annet inneholder servomotorene til ventilstyringen. Toppdelen har også et utvendig spor som fungerer som endestopp for klaffen slik at den maks kan vinkles innover 15 grader. Hus_topp har fire hull i bunn som er boret og gjenget, mens Hus_bunn har fire korresponderende frihull. Begge husene har også et spor til en o-ring for å tette mot lokkene. De har også skruehull for skruene som holder lokkene på plass. Innvendig er det maskinert ut lommer til motorene og lommer til braketten som fester motoren til huset.

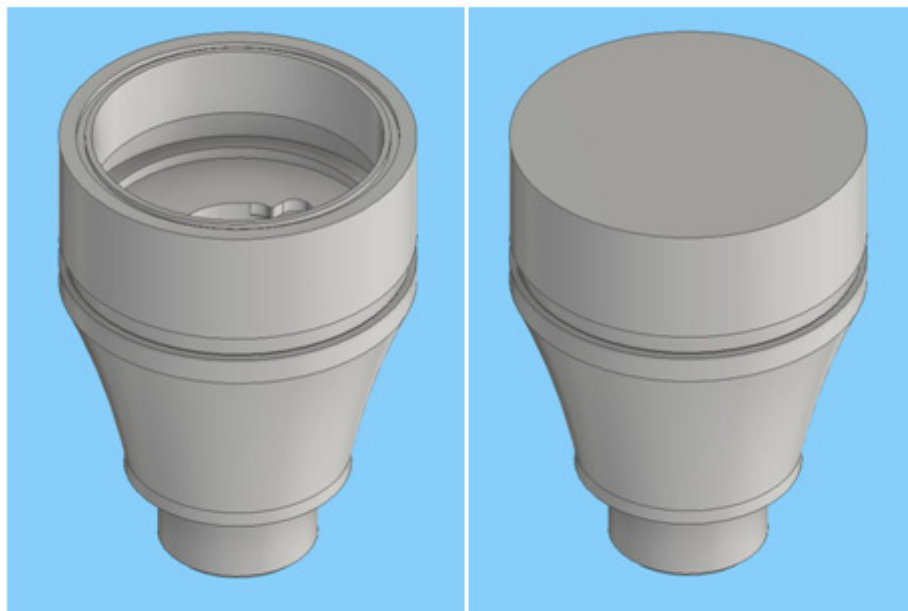


Figur 38 Hus_topp og Hus_bunn

8.2.2 Flyteelement

For at enheten skal ha positiv oppdrift må massen av enhetens fortrenge volumet være større enn massen til enheten. For å avgjøre nødvendigheten og eventuelt størrelsen på flyteelementer beregnes enhetens vekt i ferskvann ved å hente ut massen og volumet på de forskjellige delene fra Autodesk Inventor.

Massen på delene leses rett ut av Inventor etter at delene er tilegnet korrekt materiale. For å finne det fortrenge volumet må alle hulrom på biten tettes da oppdriften er en funksjon av det fortrenge volumet. Dette er gjort på den høyre modellen på figur 39. Det er gjort tilsvarende på alle deler som er i kontakt med vann. De innvendige delene som ikke er i kontakt med vann er kun tatt med i masseregnskapet da de ikke bidrar til oppdriften. Magneter og skruer er ikke tatt med i volumberegningen.



Figur 39 Hus_topp volumberegning

Det komplette masse og volumregnskapet ligger vedlagt som vedlegg 4.

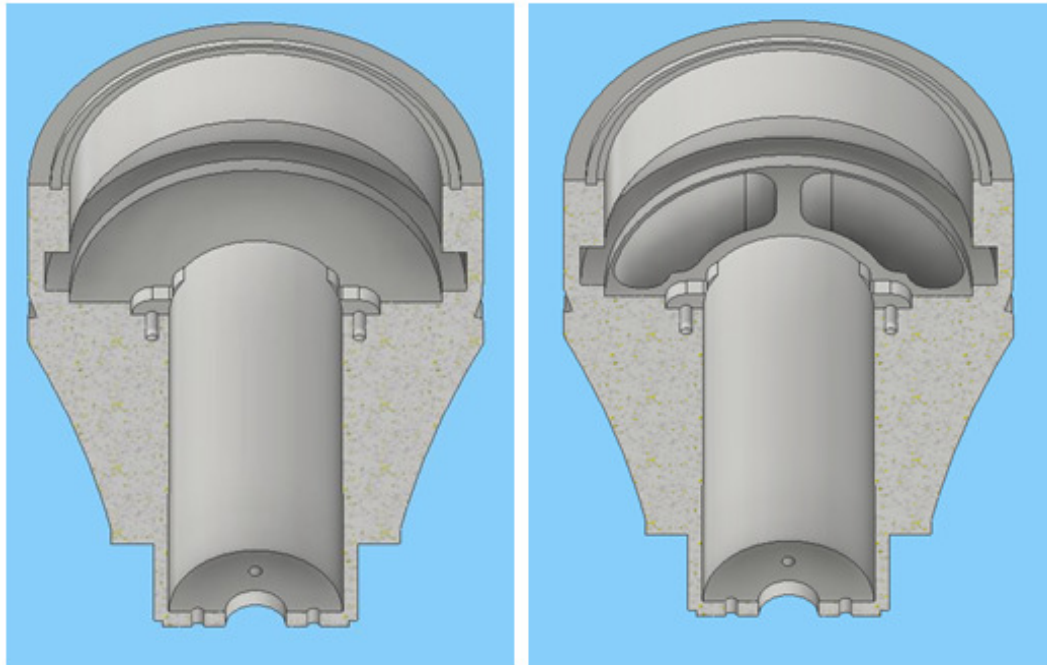
Masse og volumregnskap oppsummert:

Total masse: 4,53 kg

Fortrenge volum: 2,42 dm³

Massetettheten til ferskvann er $1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$, altså er massen til det fortrenge volumet 2,42 kg. I ferskvann vil enheten da veie 2,11 kg. For at enheten skal få positiv oppdrift må enten massen senkes med minimum 2,11 kg eller så må flyteelementet gi minimum 2,11 kg oppdrift.

Reduksjon av materiale:



Figur 40 Reduskjon av masse

For at massen på flyteelement skal bli så lite som mulig fjernes det så mye materiale hvor det er mulig uten at det går utover delenes funksjon.

Til venstre på figur 40 vises Hus_topp før materiale er fjernet. Ved å frese ut dype lommer kan massen på en enkel og billig måte reduseres. Figuren til høyre viser Hus_topp i snitt med redusert materiale.

Ved å fjerne det illustrerte materiale reduseres bitens massen med 219 gram.

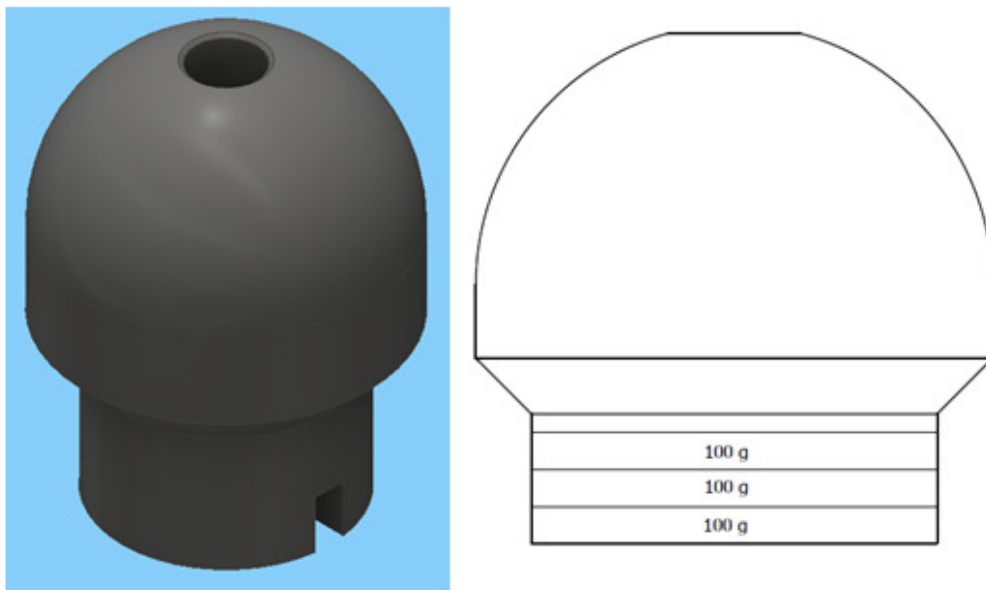
Tilsvarende vektbesparelser blir gjort på andre deler, den totale innsparte massen er: 509 gram.

Det utvendige volumet er fortsatt det samme så den nye nødvendige oppdriften er på 1,6 kg.

Flyteelement:

Et flyteelement i ferskvann er i prinsippet kun et legeme som fortrenger et større volum (L) enn sin egen masse (Kg). I denne oppgaven blir flyteelementene produsert i Divinycell H90 som vi i Beck Engineering har hatt god erfaring med fra tidligere prosjekter.

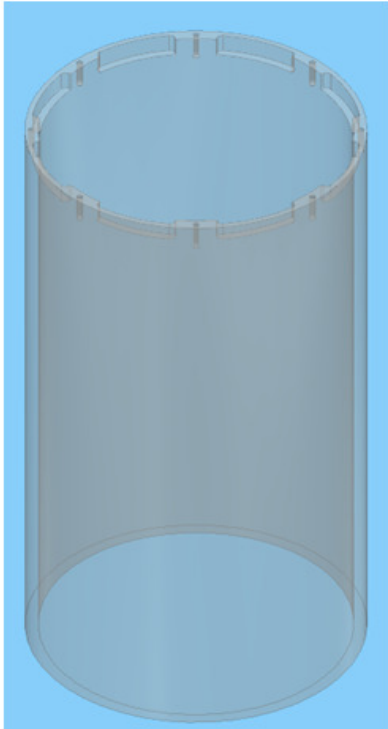
Materialet har en egenvekt på $90 \frac{g}{dm^3}$. I ferskvann vil 1 liter gi 910 gram oppdrift. For å gi den siste 1,6 kg med oppdrift er det nødvendig med et Divinycell H90 flyteelement på 1,75 liter.



Figur 41 Flytelement

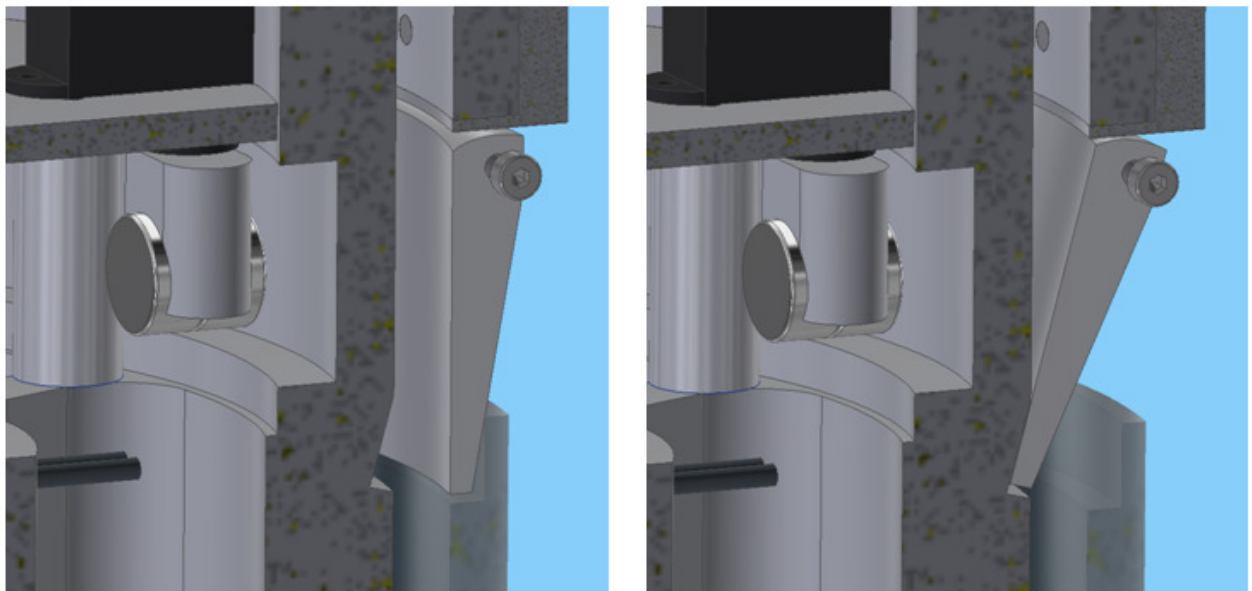
Flyteelementet illustrert på figur 41. vil gi en oppdrift på ca. 2 kg. Dette er teoretisk mer enn nødvendig da nøyaktig vekt på skruer, magneter, ledninger mm. er ikke medregnet. Flyteelementet er designet med et smalt sylindrisk parti før en større halvkule på toppen. Dette er gjort så oppdriften kan reduseres ved å fjerne materiale fra det sylindriske området. Arealet av det sylindriske området er 9416mm. Ved å redusere høyden på det sylindriske partiet med 10 mm vil oppdriften reduseres med ca. 100 gram. Halvkulen på toppen er valgt for øke avstanden mellom massetyngdepunktet og oppdriftstyngdepunktet.

8.2.3 Hylse



Hylsen blir maskinert ut av et Polykarbonatrør på 130mm diameter med 5mm veggtykkelse, hylsen er totalt 230mm lang. For å redusere antall oppspenninger og freseoperasjoner er det kun maskinering på den ene siden av røret. På denne siden blir det boret og gjenget åtte hull som benyttes for å feste hylsen til topplokket. Det maskineres også åtte lommer i hylsen. Disse lommene er sammen med et spor i Hus_topp utformet slik at klaffen har en maksimal vandring på 15 grader. De er også utformet slik at vannstrømmen ikke skal støte mot flaten på undersiden av klaffen annet enn den korte tiden når ventilen åpnes eller lukkes.

Figur 42 Hylse, oversikt

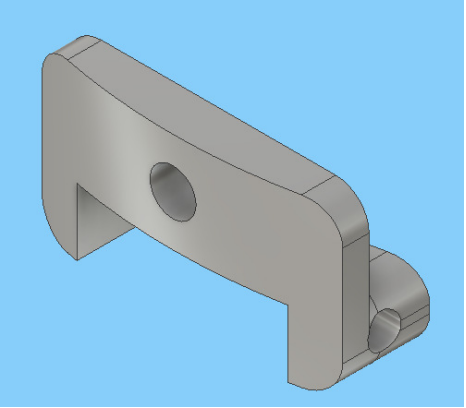
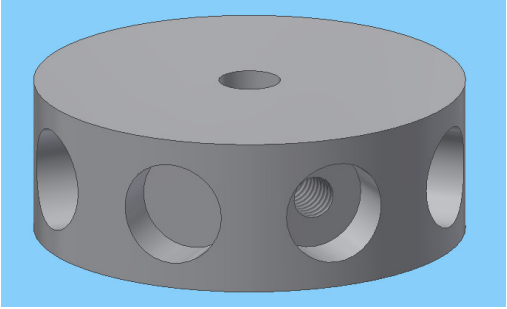
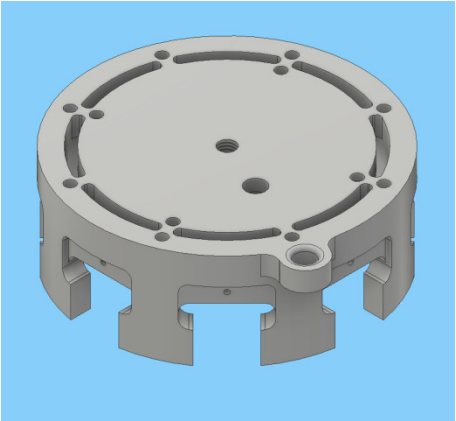


Figur 43 Snitt av ventilen åpnet og lukket

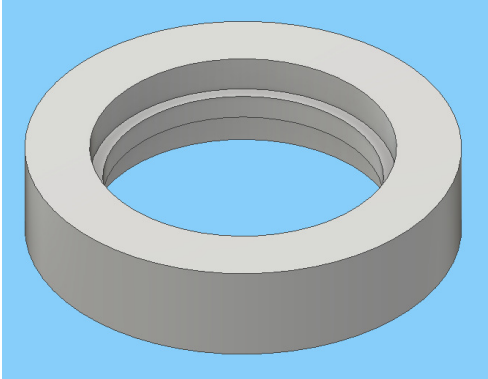
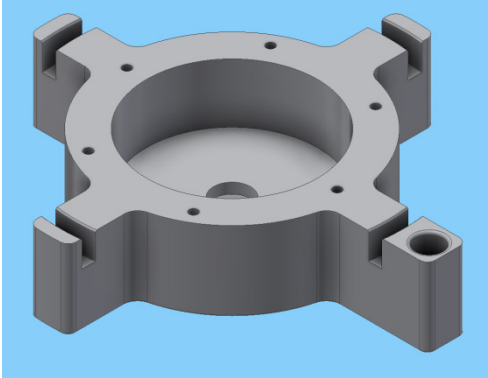
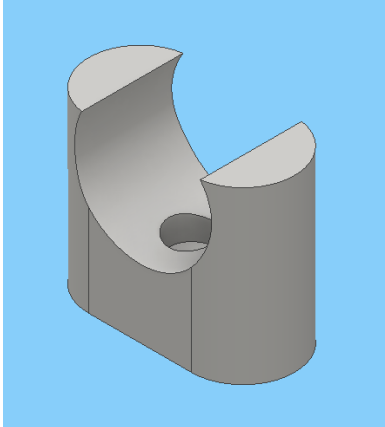
8.3. Design av komponenter

I dette delkapittelet skal alle enkeltkomponenter presenteres ved et bilde fra Inventor og en kort beskrivelse.

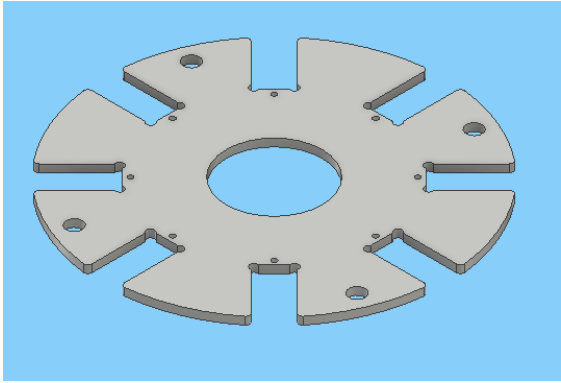
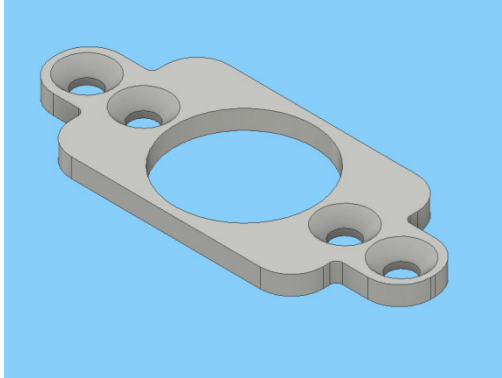
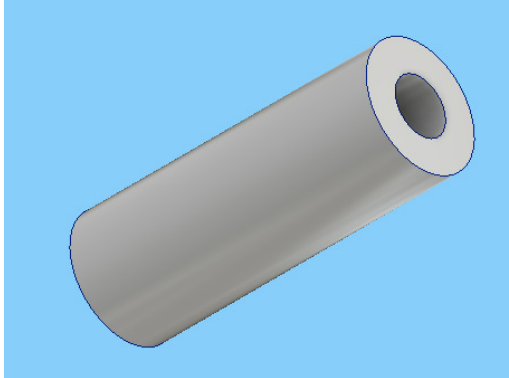
Tabell 13 Design av komponenter

Beskrivelse	Figur
<p>Klaffholder</p> <p>Klaffholderen produseres i aluminium og sikres til huset med en skrue i senter. Klaffen holdes på plass av to M2 skruer som sitter løst i hullet på siden av klaffholderen.</p>	
<p>Rotor</p> <p>Rotoren holder magnetene som drar med seg magnetene i propellene. Rotoren tres på motorens aksling og hindres i å rotere ved å bruke en settskrue. Rotoren produseres i aluminium. På grunn av lite tilgjengelig areal plasseres hullet til settskruen i et av magnethullene. Under produksjon skal det også lages et merke som synliggjør hvilket av magnethullene som skjuler settskruen</p>	
<p>Topplukk</p> <p>Topplokket maskineres ut av et stort stykke aluminium. Topplokket kan se komplisert ut og dyrt å produsere, men ved hjelp av moderne CNC-maskiner utstyrt med en fjerdeakse kan topplokket produseres kun med så lite som tre oppspenninger. I lokket er det åtte spor som vannet blir pumpet gjennom. I ytterkant av disse sporene er det åtte frihull for skruene som festes til hylsen. På lokkets sylindriske parti freses det åtte lommer hvor Klaffholderen skrus fast.</p>	

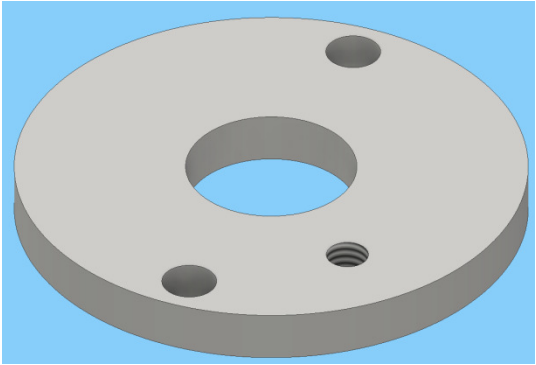
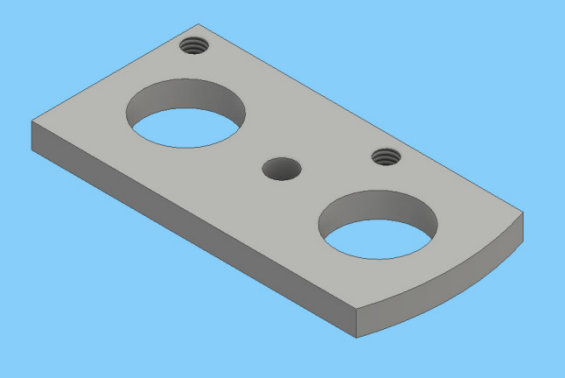
Tabell 13 forts.

Beskrivelse	Figur
<p>Avstandshylse</p> <p>For å hindre propellene i å forflytte seg aksielt (i Z-retning) på huset monteres det et avstandsstykke mellom propellene. Tykkelsen på leppa innvendig i avstandstykket er 0,05mm mer enn åpningen som blir mellom de to husdelene. På denne måten vil avstandshylsen holdes fast mens propellene kan rotere fritt. Produseres i aluminium.</p>	
<p>Bunnlokk</p> <p>Har som oppgave å tette mot Hus_bunn, lagre opp hylsen og ha tilkobling for en kabel inn og en kabel ut. Produseres i aluminium.</p>	
<p>Magnetholder_servo</p> <p>Holderen freses ut av et stykke aluminium. Holderen skrues fast i servomotoren. Deretter plasseres de to magneter sentrert i holderen før de sikres til holderen med en dråpe lim.</p>	

Tabell 13 forts.

Beskrivelse	Figur
<p>Servoplate</p> <p>Hovedoppgaven til servoplaten er å holde på plass servomotorene. Servoplaten skrues til Hus_bunn gjennom de fire ytterste hullene. Produseres i aluminium.</p>	
<p>Motorbrakett</p> <p>For feste motorene til huset maskineres det en motorbrakett. Dette er en liten aluminiumsplate med fire forsenka frihull til M4 skruer og et større hull i senter til styring fra motoren.</p>	
<p>Avstandsstykke</p> <p>For å få korrekt høyde på servoplaten benyttes fire avstandsstykker mellom Hus_topp og servoplatesammenstillingen. Produseres i aluminium.</p>	

Tabell 13 forts.

Beskrivelse	Figur
<p>O-ring-stopper_topp</p> <p>For å holde o-ringen som tetter mellom kablen inn i topplokket og topplokket på plass skrues det en liten aluminiumsplate fast i topplokket fra undersiden. Det minste hullet er til en liten skrue som kablen kan festes til om nødvendig. De to like hullene er for å sikre platen til topplokket.</p>	
<p>O-ring-stopper_bunn</p> <p>Samme som O-ring-stopper_topp, men i bunnlokket og for to kabler. Hullet mellom de to store hullene er for å skru platen til lokket og de to små hullene er til små skruer som kablen kan festes til med strips om nødvendig.</p>	

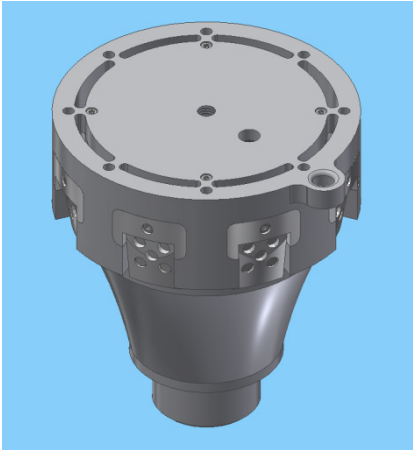
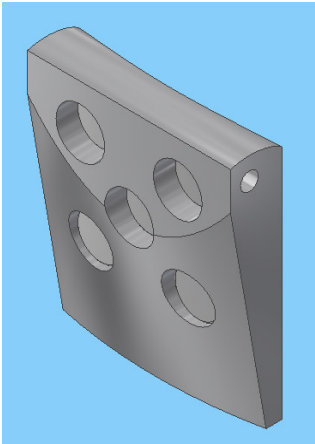
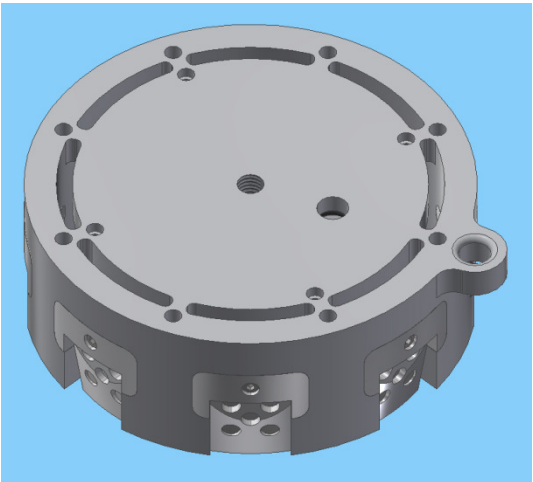
4. Sammenstillinger

I monteringsammenheng vil det være hensiktsmessig å montere undersammenstillingene før disse igjen blir montert i hovedsammenstillingen. I dette delkapittelet presenteres de forskjellige undersammenstillingene.

Tabell 14 Sammenstillinger

Beskrivelse	Figur
<p>Servoplatesammenstilling</p> <p>Magnetene som styrer klaffen monteres på en liten aluminiums bit som igjen skrues fast i servomotorene. Det brukes to magneter per klaff. På denne måten kommer magneten nærmere magnetene i klaffen enn om det kun hadde vært en magnet som hadde blitt montert i senter av servoens aksling. Ved behov kan en skive legges mellom magnetene for å ytterligere minske avstanden mellom disse magnetene og magnetene i klaffene.</p>	
<p>Motorsammenstilling</p> <p>Motor, rotor, magneter og motorbrakett monteres sammen før denne sammenstillingene igjen monteres i Hus_topp og Hus_bunn. Magnetene monteres annenhver med positiv pol utover eller innover. Dette gjøres også på propellen. Ved å montere magnetene på denne måten vil magnetene ikke ønske å bytte par, da magnetene på begge sider vil ha frastøtende pol.</p>	
<p>Propellsammenstilling</p> <p>Består av Propell (eller Propell_MIR) og åtte magneter.</p> <p>Magnetene monteres annenhver med positiv pol utover eller innover. Magnetene sikres til Propellen med en dråpe lim</p>	

Tabell 14. forst

Beskrivelse	Figur
<p>Toppsammenstilling</p> <p>Består av Topplukk-sammenstilling, servoplatesammenstilling og motorsammenstilling. I tillegg inneholder den fire avstandsstykker og diverse skruer.</p>	
<p>Klaffsammenstilling</p> <p>Består av en klaff og fem magneter som limes på plass. Alle magnetene skal ha lik retning på polariteten.</p>	
<p>Topplokksammenstilling</p> <p>Består av åtte Klaff_sammenstilling, åtte klaffholdere o-ringen for å tette rundt kabelen og platen som holder o-ringene på plass.</p>	

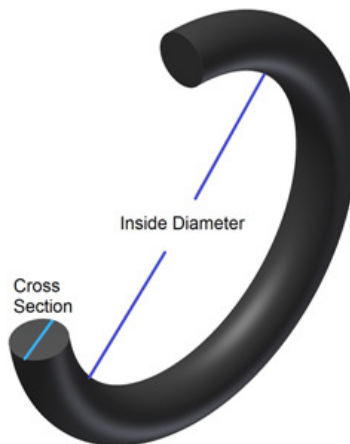
8.5. Standardkomponenter

Innkjøpte komponenter

Tabell 15 Standardkomponenter

<p>DC-motor</p> <p>Motoren som driver rotoren er en 20W 24 V DC-motor fra Crouzet.</p>	 <p>(37)</p>
<p>Magneter</p> <p>I hver rotoren og propell benyttes det tilsammen 16 stk. 10 mm Eclipse Neodymium magneter. Det benyttes også to slike på hver servomotor. I hver klaffen sitter det fem M1219-4 magneter.</p>	 <p>(38)</p>
<p>Skruer</p> <p>Av erfaringer fra dagens Stingray node benyttes skruer produsert i syrefast stål A4-80. De fleste skruene i enheten er av type DIN912.</p>	 <p>(39)</p>
<p>O-ringer</p> <p>Se kapitel 9.4.1 O-ringer</p>	 <p>(40)</p>

8.4.1 O-ringer



Figur 44 O-ring, diameter og snortykkelse (41)

For å gjøre enheten vanntett blir det brukt o-ringer mellom alle deler som skrues sammen. Det blir også benyttet o-ringer for å tette mellom topp og bunnløkket og kabelen. En o-ring omtales ofte ved to mål, snortykkelse (Cross Section på figur 44) og indre diameter (Inside Diameter på figur 44).

En o-ring er en gummipakning som komprimeres mellom to maskinerte flater. O-ringen er produsert i et mykt gummimateriale som når den komprimeres mellom de to flatene vil prøve å presse tilbake mot flaten. Dette mottrykket sørger for den tettende effekten. Øker trykket på o-ringen ved at for eksempel vanntrykket på den ene siden øker vil o-ringen presse hardere mot flatene og tette enda bedre.

O-ringer kommer i forskjellige hardhetsklasser, materialer, snortykkelser og lengder. O-ringer er valgt etter Otto Olsen AS (Otto Olsen) sine anbefalinger. Otto Olsen anbefaler at størst mulig snortykkelse benyttes da den relative kompresjonen av o-ringen blir så liten som mulig (42). Ved stadig montering og demontering vil en relativt stor kompresjon av o-ringen føre til at o-ringen ikke vil oppta sin opprinnelige form og vil på den måten ikke tette like godt som opprinnelig. Ved dynamiske applikasjoner kan også tynne o-ringer vri seg i sporet (42).

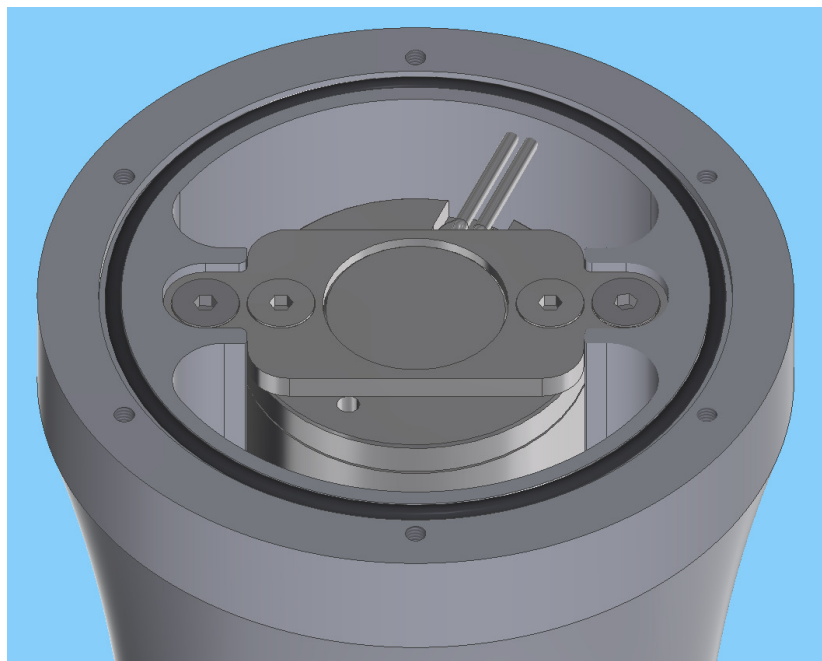
I denne oppgaven benyttes det følgende o-ring kvaliteter:

Hardhetsklasse: 70 Shore (0-160 Bar)

Materiale: Nitril

Snortykkelse: Så stor som praktisk mulig

Lengde: Varierende



Figur 45 Illustrasjon Hus_bunn med o-ring

Figur 45 viser Hus_bunn med o-ring montert. O-ringen har følgende dimensjoner: 70 mm diameter med 2 mm snortykkelse. Sporet er målsatt i henhold til Otto Olsen sin tabell over o-ringspor.

Tabell 16 O-ring spordybde og bredde (43)

Snor tykkelse d_2	Radiell montasje					Aksiell montasje		Radius r_1
	Spordybde		Sporbredde			Spordybde	Sporbredde	
	Dynamisk $t_1 + 0,05$	Statisk $t + 0,05$	u/stottering $b_1 + 0,2$	1 stottering $b_2 + 0,2$	2 stottering $b_3 + 0,2$	$h + 0,05$	$b_2 + 0,2$	
1,00 - 1,02	-	0,70	1,40	-	-	0,70	1,40	0,20
1,20	-	0,85	1,70	-	-	0,85	1,70	0,20
1,25 - 1,27	-	0,90	1,70	-	-	0,90	1,80	0,20
1,30	-	0,95	1,80	-	-	0,95	1,80	0,20
1,42	-	1,05	1,90	-	-	1,05	2,00	0,30
1,50 - 1,52	1,25	1,10	2,00	3,00	4,00	1,10	2,10	0,30
1,60 - 1,63	1,30	1,20	2,10	3,10	4,10	1,20	2,20	0,30
1,78 - 1,80	1,45	1,30	2,40	3,80	5,20	1,30	2,60	0,40
1,83	1,50	1,35	2,50	3,90	5,30	1,35	2,60	0,40
1,98 - 2,00	1,65	1,50	2,70	4,10	5,50	1,50	2,80	0,40
2,08 - 2,10	1,75	1,55	2,80	4,20	5,60	1,55	2,90	0,40
2,20	1,85	1,60	3,00	4,40	5,80	1,60	3,00	0,40

I henhold til tabell 16 er o-ringsporet 1,5 mm dypt med indre diameter på 70 mm og ytre diameter på 75,4 mm.

9. EKSTERNTTESTING OG ANALYSE

Etter at komponentene er konstruert i Autodesk Inventor blir fagpersoner i Stingray invitert til diskusjon rundt resultatet av seleksjonsmatrisene og design av enkeltkomponenter. Komponentene blir presentert både sammensatt til en komplett enhet og enkeltvis. Det blir også utført strømningsanalyser og FEM-analyse på utvalgte kritiske komponenter ved bruk av dataverktøy.

9.1. Eksterntesting

Målsettingen for denne diskusjonen/møtet er å verifisere eller avbekrefte at de valgene som er gjort i seleksjonsmatriser er fornuftige. Enkeltkomponentene presentert i kapitel 9 vil også gjennomgås. Her kan det være små endringer som kan gjøre produksjonen av delene enklere eller billigere som kan være oversett. Eventuelt endringer som gjør at delen oppfyller sin funksjon på en bedre måte.

Av de personene i Stingray som kjennskap til dette prosjektet er det kun et fåtall som har den tekniske kompetansen som anses som nødvendig for å komme med konstruktive tilbakemeldinger på de valgte tekniske løsningene. Utenfor Stingray er det kun et fåtall ansatte ved NMBU som har kjennskap til prosjektet, disse har bistått underveis så disse blir ikke tatt med i denne diskusjonen. I Stingray er det kun Esben Beck og Anders Fjellvang som har kjennskap til prosjektet og den etterspurte tekniske kompetansen.

Esben Beck (44 år) er gründer, hovedaksjonær og utviklingsansvarlig i Stingray. Har utviklet hele avlusningssystemet med laser som Stingray leverer i dag. Esben har også lang erfaring med utvikling av rør-traktorer og andre radiostyrte inspeksjonssystemer.

Anders Fjellvang (42 år) er senior ingeniør i Stingray og har vært med på hele utviklingsløpet av luselaseren. Han har lang erfaring med produktutvikling og produksjon i oljebransjen.

I et møte med de to fagpersonene ble alle funksjonsalternativene fra kapitel 5 presentert. Pugh-matrisens oppbygning, kriterier og funksjon ble forklart. Når dette var gjort ble de faktiske Pugh-matrisene presentert og poenggivningen til de forskjellige konseptene ble forklart. Når konseptene var presentert ble enkeltkomponentene vist frem og beskrevet.

Esben og Anders var enig i at det beste løsningene var blitt valgt i seleksjonsmatrisene. Både Anders og Esben hadde innspill til endringer på noen av enkeltkomponentene

- For innfesting av klaffen ønsket Esben at det skal benyttes en styrepinne og ikke en M2 skrue da klaffen vil lagres opp på en glatt aksling og ikke et gjenget parti på skruen.
- Esben foreslo også å benytte en M3 gjengestang og ikke en M10 skrue til innfesting av flyteelementet for å spare vekt.
- Anders Fjellvang ønsket flyteelementer plassert lenger ned på enheten for å redusere den totale høyden. Etter å ha forklart problemstillingen rundt massetyngdepunkt og oppdriftstyngdepunkt sa han seg enig i den foreslåtte løsningen.

Utover disse punktene var begge to tilfredse med de øvrige løsningene og enkeltkomponentene.

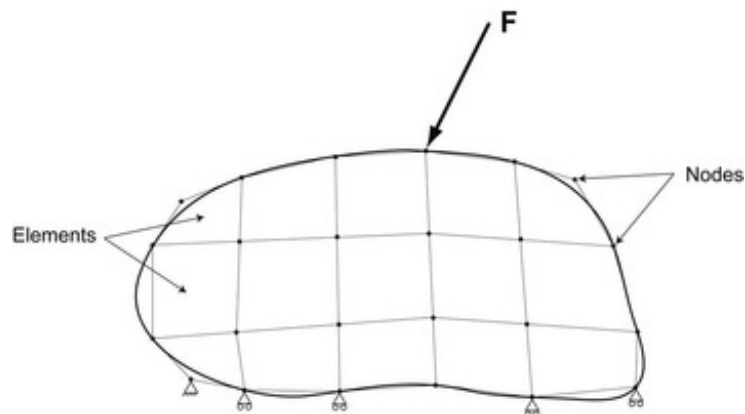
9.2. Analyse

Det blir i dette kapitlet beskrevet og gjennomført flere strømningsanalyser og en FEM-analyse.

Det blir utført strømningsanalyser ("flow") i SolidWorks 2016 med Flow Simulation plug-in og i SolidWorks Simulation, styrkeanalysen blir utført i Ansys Workbench.

- Strømningsanalyser
 - Kartlegge vannstrømmen som pumpes gjennom enheten og sørger for at enheten kan forflyttes under vann.
 - Kartlegge enhetens evne til å kvitte seg med overskuddsvarme.
- FEM
 - Kontrollere at propellen tåler de kreftene som virker på propellbladene.

Elementer og noder:



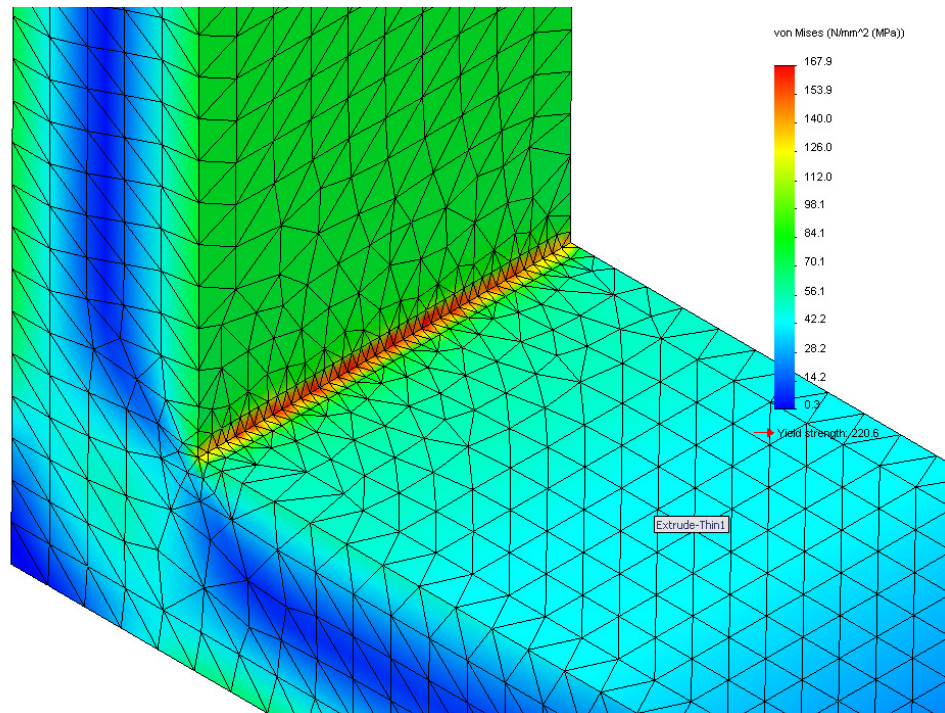
Figur 46 Elementer og noder (44)

En legeme som er gjenstand for en analyse enten i SolidWorks Flow Simulation eller Ansys Workbench blir delt opp i en rekke mindre elementer med en definert geometri i et "mesh", (et rutemønster). Avhengig av elementtypen vil et element bestå av et gitt antall noder. Et element vil dele noder med elementene som ligger i direkte kontakt. Analysen tar for seg ett og ett element, krefter og deformasjoner overføres til naboelementet gjennom nodene. Ved å dele opp legemet i et endelig antall noder med kjent geometri kan spenningene "enkelt" analyseres i en og en node. På denne måten spiller det ingen rolle om det opprinnelige legemet er avansert eller består av vanskelige geometrier da dataprogrammet nå regner på kjente elementer. Et helhetlig bilde blir gitt når for eksempel spenningen i samtlige noder settes sammen. Jo fler elementer jo mer nøyaktig blir analysen. Dette verktøyet kalles FEM som står for finit element method, eller på norsk "endelig antall elementer metoden".

Et uendelig antall elementer ville medført at en analyse hadde tatt uendelig lang tid å utføre. Derfor er det alltid en vurdering på hvor mange elementer som er nødvendig, i dataprogrammet defineres dette som finheten på et "mesh". For å korte ned tidene en datamaskin bruker på å kjøre en analyse kan det først defineres et grovt "mesh". Når analysen er ferdig registreres verdien analysen er satt til å finne. Når dette er gjort kjøres en ny analyse med et finere "mesh". Dette gjøres frem til endringene i verdien har stabilisert seg. Stiger spenningen eksponentielt når størrelsen på elementene reduseres kan dette skyldes stresskonsentrasjoner.

Stresskonsentrasjoner

I analyser utført med FEM-metoden vil ofte noder som er plassert nærme skarpe kanter være gjenstand for stresskonsentrasjoner. Dette er lokalt høye spenninger som kan opptre i et enkelt element, denne spenningen kan spre seg til nærliggende noder og elementer og analysen kan feile da spenningene i disse områdene kan være høyere enn tillatt spenning. Spenningen i disse elementene er ikke reelle og kan opptre da det i nærheten av en skarp kant kan være en node med et uendelig lite areal, enhver kraft på dette arealet vil resultere i en uendelig stor spenning. En metode for å redusere sannsynligheten for stresskonsentrasjoner er å avrunde skarpe hjørner slik at et element kan gå fra en flate via en radie og over på en annen flate (45).



Figur 47 Stresskonsentrasjon i skarpt hjørne(46)

9.2.1 Strømningsanalyse

Hovedmålene med strømningsanalysene er å finne følgende:

1. Kraften som virker negativ Z-retning
2. Kraften som virker i X, Y-planet når en ventil åpnes
3. Verifisere at overskuddsvarmen fra DC-motorene fraktes vekk fra motoren og til det omkringliggende vannet

For å redusere datakraften som trengs for å kjøre analysene blir modellen av testenheten forenklet. Alle innvendige komponenter fjernes og skruerhull og små detaljer er fjernes for å redusere antall elementer og noder.



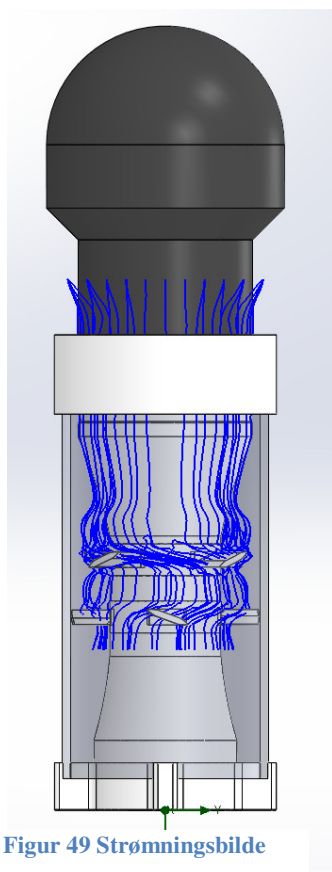
1. Kraftene som virker i negativ z-retning

Som beskrevet i kapitel 5, Teoretisk bergningsgrunnlag er det nødvendig med en kraft større enn resultantkraften mellom tyngdekraften og oppdriftskraften for at et testenheden skal klare å dykke. I denne analysen skal den kraften som oppnås i negativ z-retning når propellene roterer fastsettes. Denne kraften vil sammen med ønskelig akselerasjon definere flytelementets volum.

Analysen settes opp i SolidWorks Flow Simulation med "mesh" i finhetsklasse 3. Det defineres to roterende områder, ett ved hver propell. Dette for å definere hvilken geometri som roterer og ved hvilken hastighet de roterer. Det ble antatt at høyest mulig turtall ga størst mulig kraft. Den resulterende kraften i Z-retning ble ved høye turtall urealistisk høy, dette antas å skyldes at det oppstår det kavitasjon ved propellens lavtrykksside. Korrekt resultat ved kavitering kan finnes ved å endre innstillingene til analysen slik at kavitasjon blir medregnet.

Figur 48 Testenhet og krefter i Z-aksen

Kavitasjon er ikke ønskelig da kavitasjonsbobler er kjent for å medføre stor slitasje på roterende utstyr samt senke virkningsgraden på pumper. Kavitasjon oppstår når trykket rundt f.eks. et pumpeblad blir så lavt at vannet ønsker å fordampe. Dette skaper små luftbobler som imploderer når boblene beveger seg vekk fra det lave trykket. Skjer imploderingen i nærheten av en vegg kan dette medføre stor slitasje på veggen (47).



I denne analysen ble den resulterende kraften ved å roterer begge propellene på 2920 RPM - 400.000 N.

Gjennom en rekke analyser ble turtallet senket litt og litt resultatene virket troverdige (ikke i 100.000-tallet). Dette kan senere verifiseres i en test ved å dokumentere hvilket turtall det oppstår kavitasjon.

1000 RPM ga den høyeste realistiske kraften i Z-retning.

Figur 49 viser vannstrømmen fra rett under den nederste propellen og ut av enheten.

Tabell 17 Krefter i Z-retning

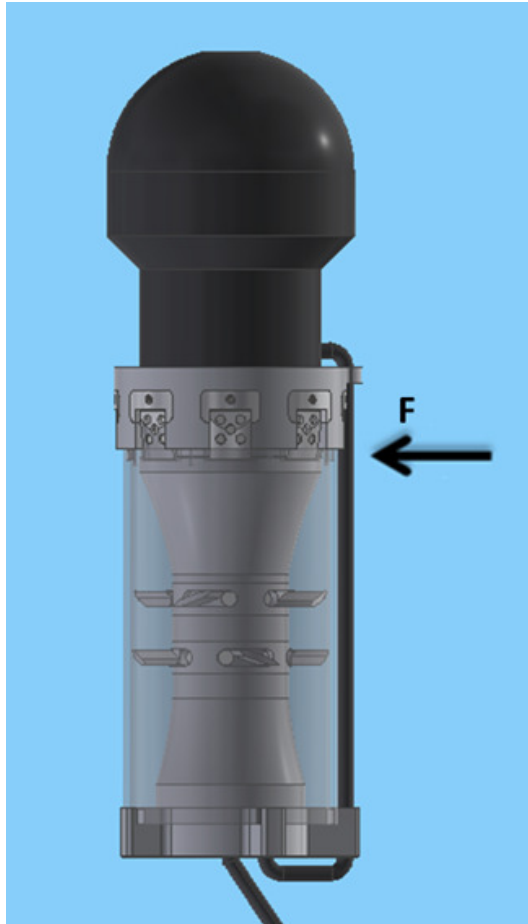
Goal Name	Unit	Value
GG Force (Z)	[N]	53.339

Figur 49 Strømningsbilde

2. Kraften som virker i X, Y-planet ved å aktivere en ventil

I denne analysen skal kraften som forsøker å forflytte enheten i X, Y-planet finnes.

Det er tatt de samme hensyn til kavitasjon som i analyse nummer 1. Den største kraften i X, Y-planet ble i likhet med analyse nummer 1 funnet ved 1000 RPM.



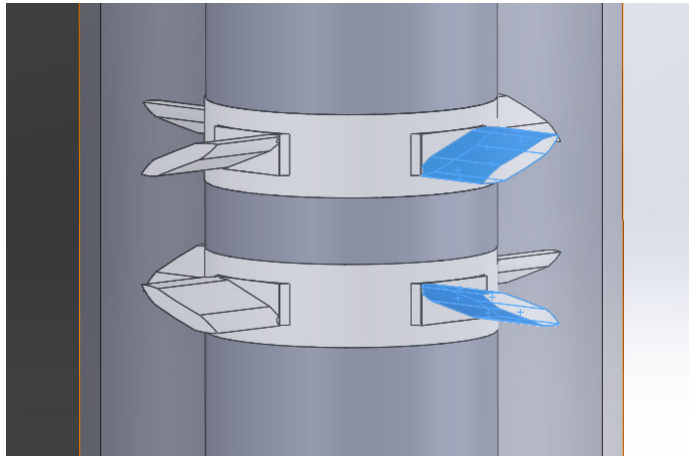
Tabell 18 Krefter i X, Y-planet

Goal Name	Unit	Value
GG Force (Z)	[N]	8.687

Figur 50 Testenhet med krefter i X, Y-planet

3. Kreftene som virker normalt på et propellblad

Denne analysen utføres som et steg for å finne de største spenningene i propellbladene.



I analysen blir begge propellene satt til å rotere i hver sin retning med 1000 RPM. Analysen er satt opp til å finne normalkraften som virker på de fire flatene markert på figur 51. Denne kraften blir senere benyttet i en FEM analyse av propellbladet for å kontrollere at propellbladet har tilstrekkelig sikkerhetsfaktor mot brudd.

Flatene er nummerert toppen og ned.

Figur 51 Krefter på propellene

Tabell 19 Krefter som virker på propellene

Goal Name	Unit	Averaged Value	Difference
SG Normal Force 1	[N]	56,20953341	1,041420833
SG Normal Force 2	[N]	57,25095425	
SG Normal Force 4	[N]	13,16592985	1,726706267
SG Normal Force 3	[N]	14,89263611	

For å finne den jevnt fordelte kraften som virker på flaten blir normalkraften dividert med halvparten av propellens areal, 655,54 mm² (hentet ut av Autodesk Inventor)

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} \quad (8.3)$$

$$\sigma_1 = \frac{56,210}{655,54} = 0,0857 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{57,251}{655,54} = 0,0873 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \frac{13,166}{655,54} = 0,0201 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4 = \frac{14,893}{655,54} = 0,0227 \text{ MPa}$$

Disse spenningene benyttes i FEM-analyse i kapittel 9.2.2

4. Varme

Ved å bruke SolidWorks Simulation skal denne analysen vise overskuddsvarmens gang fra motoren og ut i det omkringliggende vannet. Har ikke huset tilstrekkelig med kjølende effekt kan motoren bli overopphetet og gå i stykker. I henhold til begrensningene satt i kapittel 2.3 blir det benyttet en 24 volts DC-motor produsert av Crouzet.

Tabell 20 Datablad DC-motor (48)

Part numbers		
	12 V	24 V
Type	89810	89810
Voltage	12 V---	24 V---
References		
Option: IP65 level	89810007	89810008
Option: holding brake 0.25 Nm, 24 V---	89810507	89810508
Option: 2 channels encoder 1000 pulses/revolution, 5 V---	89810907	89810908
No-load characteristics		
Speed (rpm)	4200	4000
Absorbed current (A)	0.26	0.11
Nominal characteristics		
Speed (rpm)	2900	2920
Torque (mNm)	50	50
Output power (W)	15	15
Absorbed current (A)	2.1	1
Efficiency (%)	60	64
Maximum efficiency characteristics		
Speed (rpm)	3500	3300
Torque (mNm)	27	30
Output power (W)	10	10
Absorbed current (A)	1.26	0.6
Efficiency (%)	65	72
General characteristics		
Insulation conforming to IEC60085	Class E	Class E
Noise level (dBA)	35	35
Max. output power (W)	17	20
Starting torque (mNm)	158	190
Starting current (A)	6.1	3.3
Resistance (Ω)	2	7.3
Inductance (mH)	1.3	6
Torque constant (mNm/A)	27	56
Electrical time constant (ms)	0.7	0.8
Mechanical time constant (ms)	20	17
Inertia ($\text{g}\cdot\text{cm}^2$)	75	75
Weight (g)	340	340
Commutator segments	8	8
Service life (h)	4000	4000
Wires length (mm)	200	200
Ball bearing	✓	✓
Comments		
IP65 level except for the output shaft. Encoder and brake options are IP20.		

$$P_a = E_0 \times I + I^2 \times R \quad (49)$$

Hvorav $I^2 \times R$ representerer varmen avgitt fra motoren.

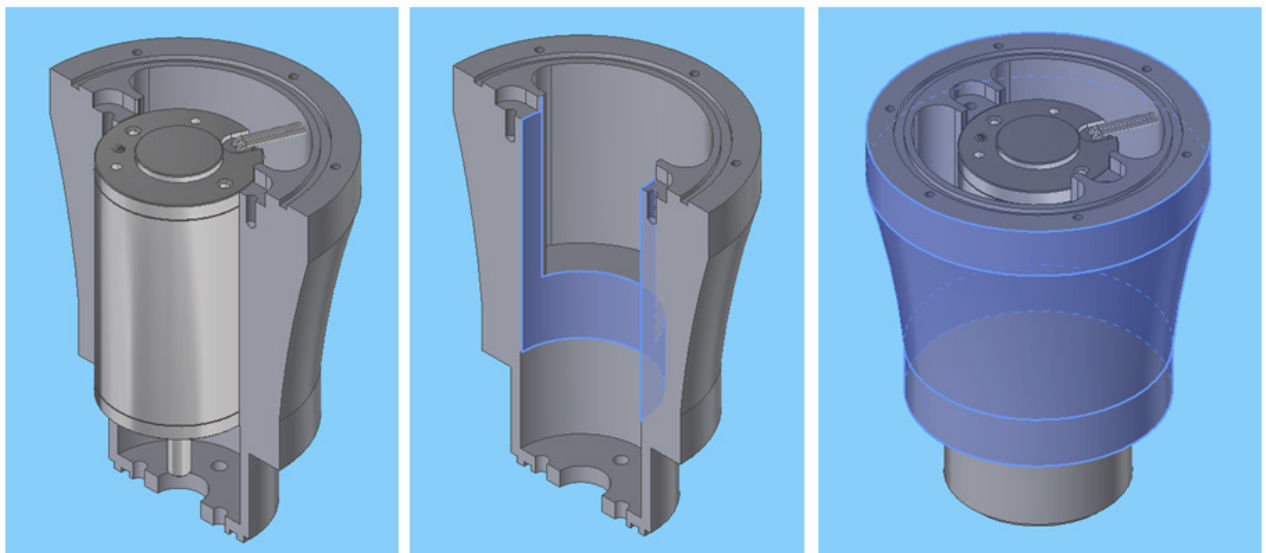
Motstanden i motoren er oppgitt til 7,3 ohm og strømtrekket er oppgitt til 1 A.

$$P_{Heat} = I^2 \times R \quad (9.1)$$

$$P_{Heat} = 1^2 \times 7,3$$

$$P_{Heat} = 7,3 \text{ W}$$

Effekten som tilføres arealet som er i kontakt med motoren er 7,3 watt. Materialet som varmen overføres til er aluminium og aluminiumen er i direkte kontakt med vann med en konstant temperatur på 20 grader (ca. Temperatur i rommet hvor testtanken er plassert i Stingray sine lokaler).



Figur 52 Hus_bunn oversikt over motor og termiske grensebetingelser

På figur 52 viser bildet til venstre viser et snitt av Hus_bunn med motor korrekt plassert. Det midterste bildet viser hvilket areal effekten fra motoren blir overført til. Bildet til høyre viser de tre flatene som overfører varmen vekk fra huset.

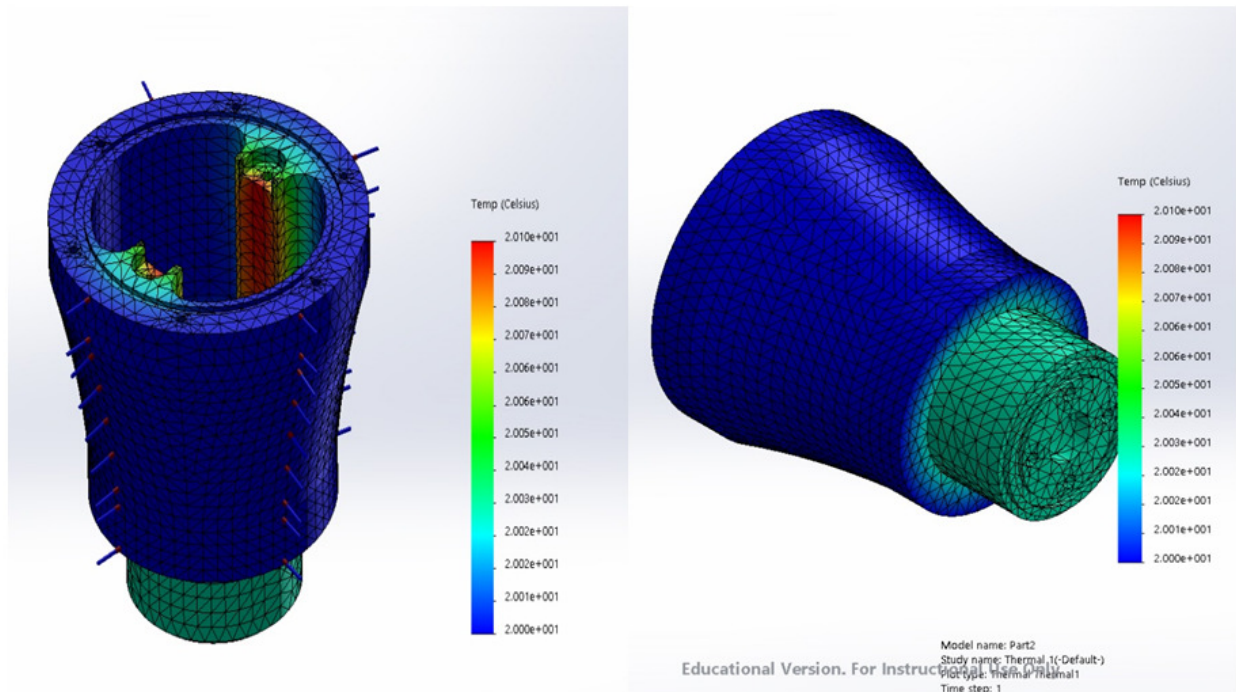
I analyse er all overskuddsvarmen fra motoren tilført arealet som ligger i direkte kontakt med motoren. Dette er en sannhet med modifikasjoner da litt av varmen fra motoren også vil tas opp i den omkringliggende luften. Denne forenklingen er å anse som konservativ da mer varme skal fraktes gjennom det samme volumet. Denne analysen blir utført på Hus_bunn da det utvendige arealet er mindre enn på Hus_topp. Hus_topp vil altså frakte varmen fra motoren lettere til det omkringliggende vannet.

I databasen til SolidWorks Simulation var ikke 6082 T6 tilgjengelig, 6063 T6 ble valgt i stedet da de to materialene har omtrent de samme termiske egenskapene. (50,51)

Motorleverandøren oppgir ingen makstemperatur på motoren i det medfølgende databladet. De oppgir derimot arbeidstemperatur på et utvalg av små girkasser som er konstruert for å passe på den valgte motoren (48). Girkassenes arbeidstemperatur er -30°C til 70 °C. Det antas at girkassen ikke tåler hverken høyere eller lavere temperaturer enn motoren.

Tabell 21 Resultat, termisk analyse

Name	Type	Min	Max
Thermal	Temp: Temperature	20 Celsius Node: 1174	20,0966 Celsius Node: 3835



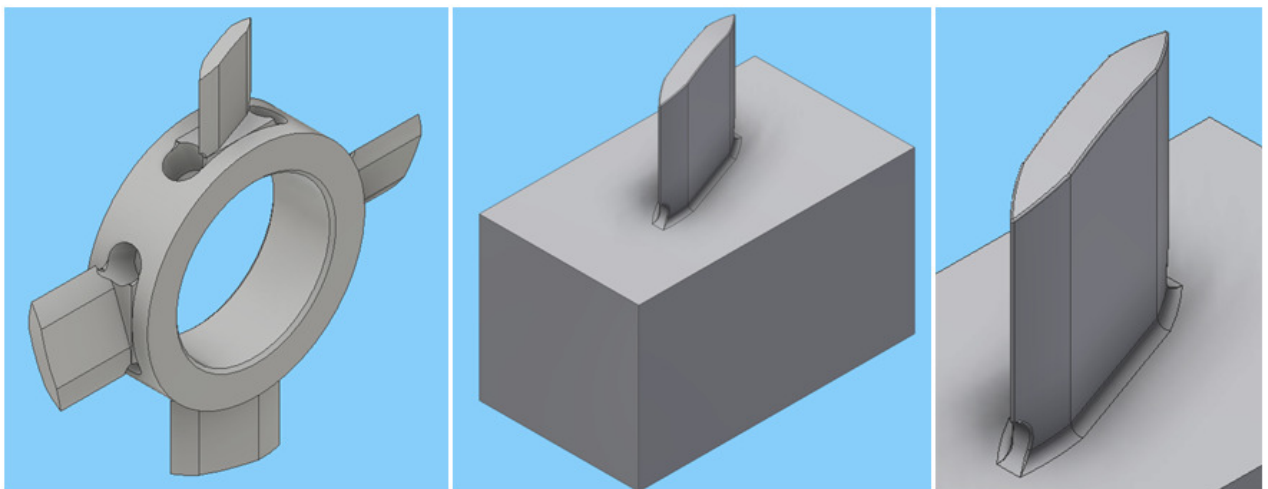
Figur 53 Hus_bunn termisk analyse

Med omkringliggende vann på 20 grader vil ikke motoren klare å varme opp huset mer enn 0,0966 grader Celsius.

9.2.2 Sikkerhet mot brudd og maks deformasjon

Hovedmålet med denne analysen er å se hvilke påvirkning propellbladet har av kreftene funnet i strømningsanalysen I denne analysen vil største opptreden vonMises spenning kartlegges samt den største deformasjonen. Største opptreden spenning blir funnet for å så kunne finne minste sikkerhet mot brudd i materialet.

Deformasjonen må kontrolleres for å verifisere at bladet ikke fjærer unna da dette vil påvirke propellens pumpekarakteristikk.



Figur 54 Propell, oversikt og forenklinger til FEM-analyse

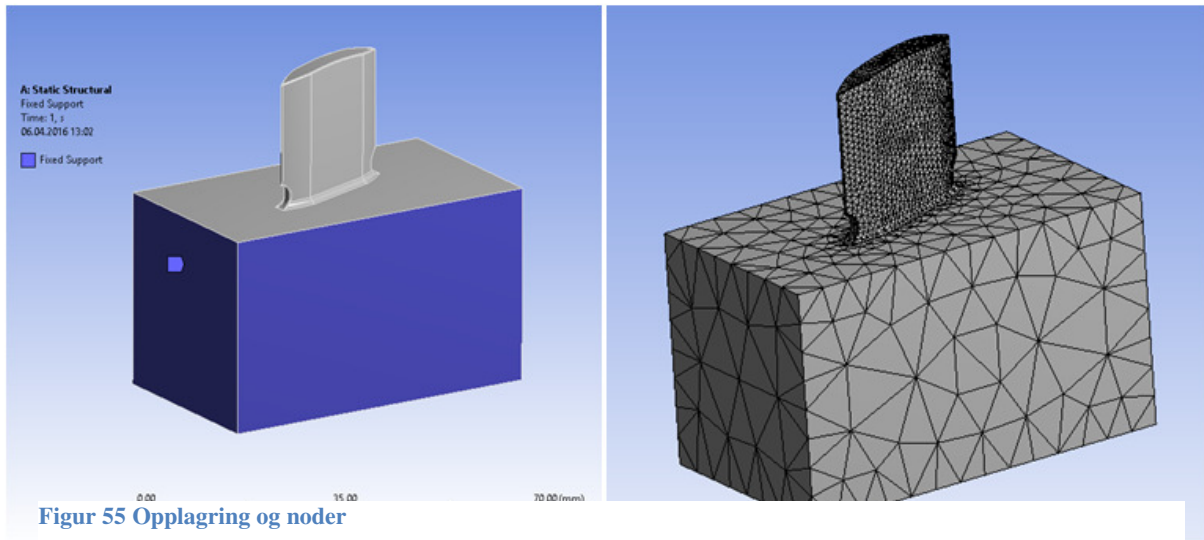
Følgene mekaniske egenskaper oppgitt av Quadrant (52) som er POM-produsenten Stingray benytter:

Bruddgrense: 66 MPa

E-modul: 2800 MPa

Egenvekt: $1410 \frac{kg}{m^3}$

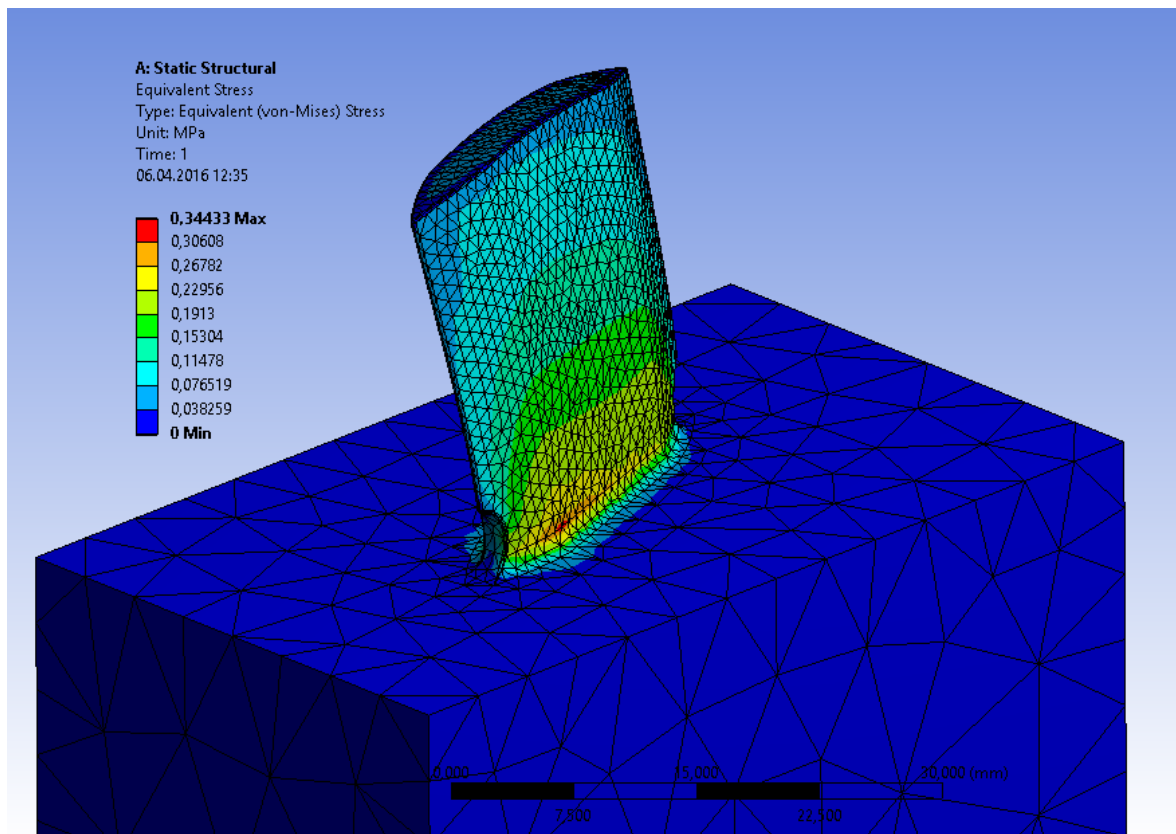
Ettersom propellen er symmetrisk vil det ikke være hensiktsmessig å analysere mer enn et blad på hver av de to propellene. For å forenkle analysen blir det konstruert en enkel modell hvor et propellblad modelleres på en enkel kloss. For å redusere sannsynligheten for stresskonsentrasjoner endres alle skarpe kanter til små radier.



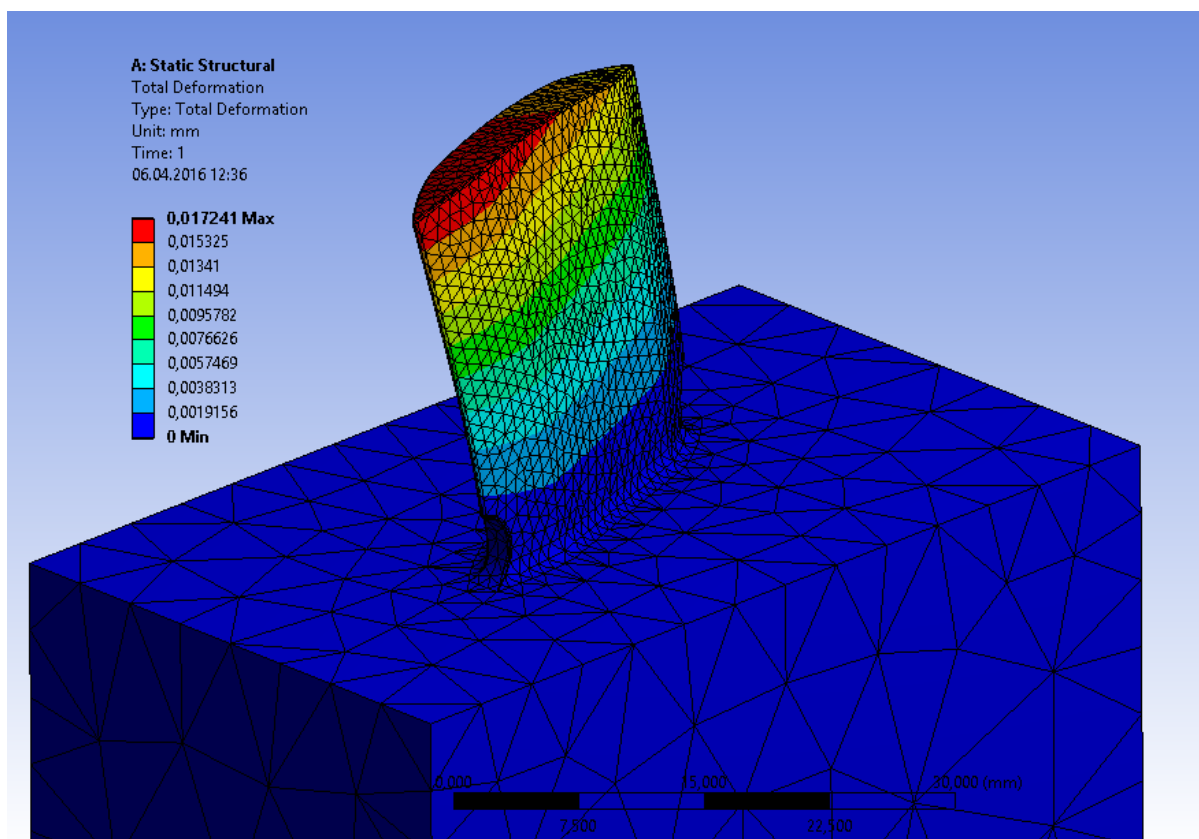
Figur 55 Opplagring og noder

Den forenklede klossen blir fast opplagret langs alle fem sidene med unntak av den øverste (se figur 55). Dette gjøres da deformasjoner eller spenninger i andre deler enn selve bladet i denne analysen er uinteressante. Som det er vist på illustrasjonen til høyre på figur 55 får selve propellbladet høyere tetthet av noder og elementer. I analysen er størrelsen på "meshet" satt til 1 mm på propellbladet og i området hvor propellbladet er innfestet klossen.

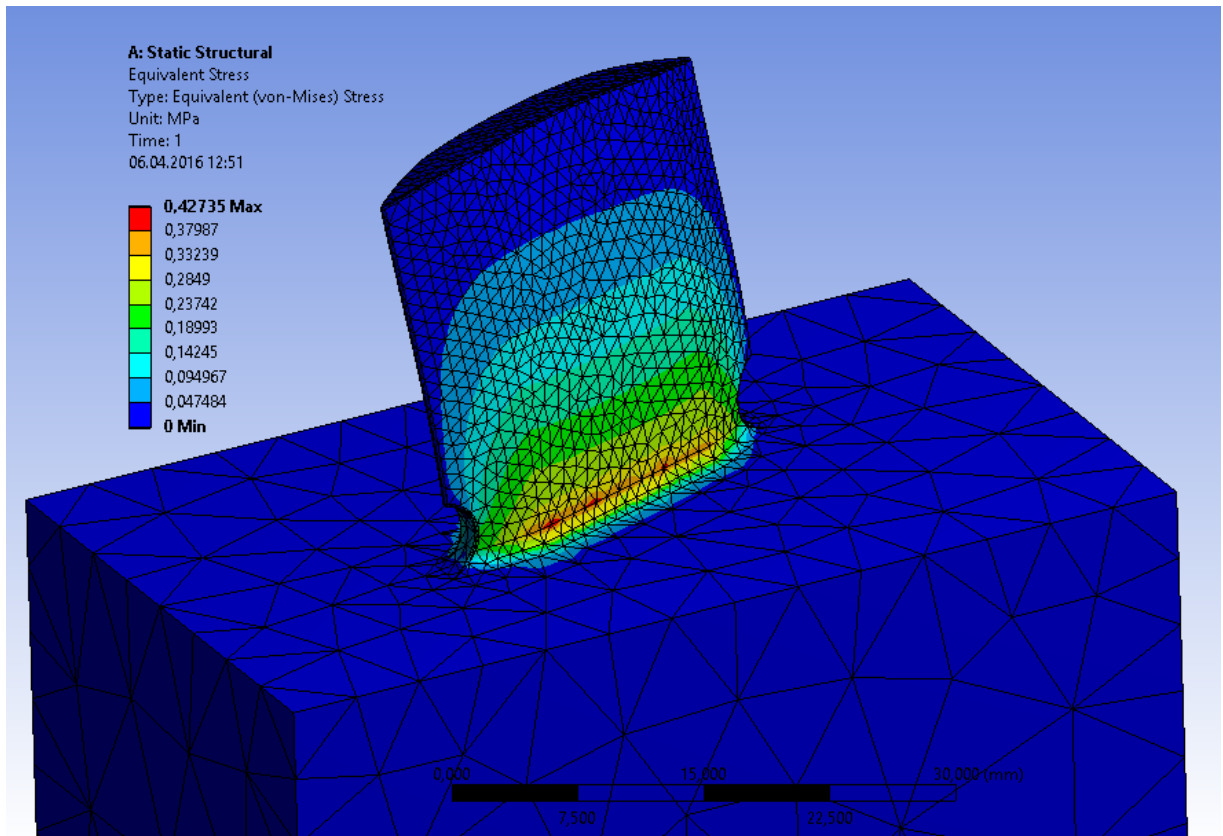
Størst vonMises spenning og størst deformasjon opptrer i Propell_MIR. Sikkerhet mot brudd er 153. Det er ikke definert en maks deformasjon, men 0,025mm å anse som akseptabelt. Se figur 56-59.



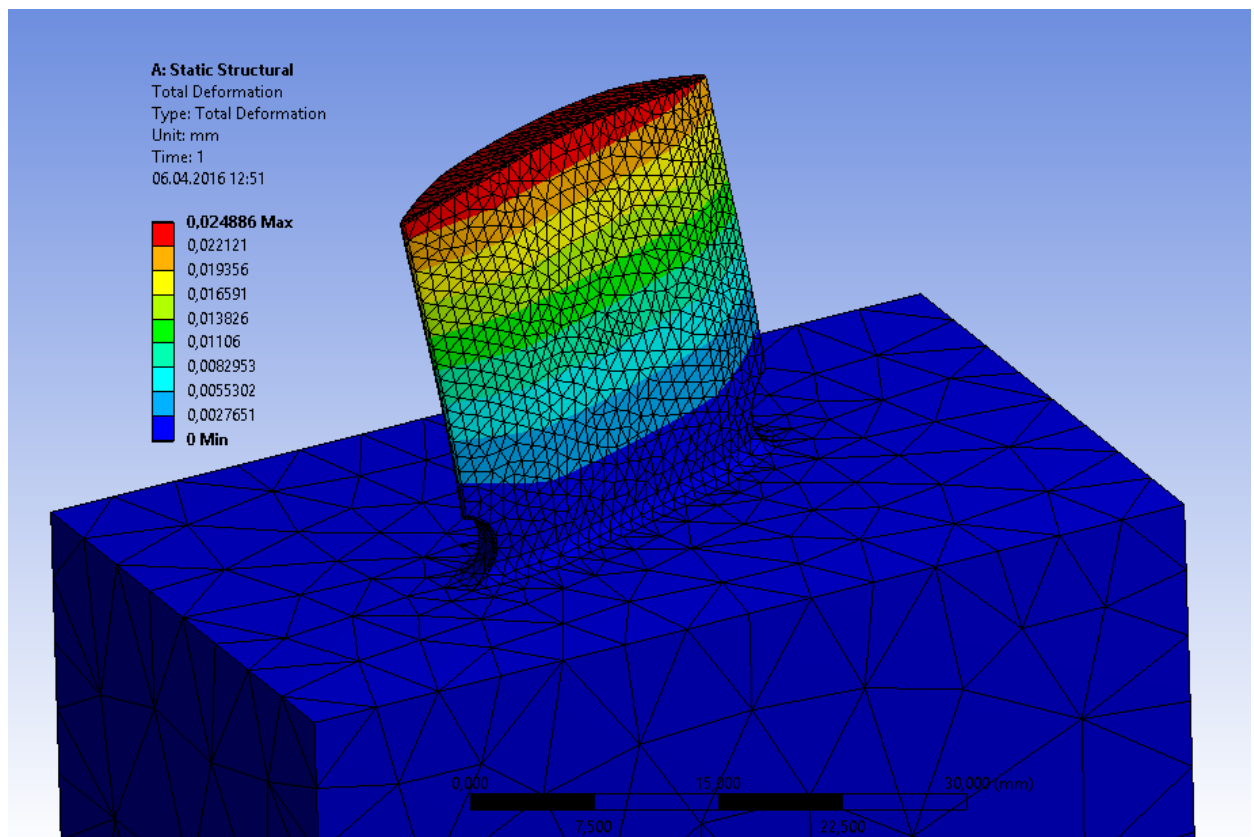
Figur 56 vonMises spenning, Propell



Figur 57 Deformasjon, Propell



Figur 59 vonMises spenning, Propell_MIR



Figur 58 Deformasjon, Propell_MIR

10. ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIRKULERING

Det har under utviklingen av testenheten blitt lagt liten vekt på miljø, vedlikehold og resirkulering. Delvis fordi dette er en testenhet som det kun skal produseres en av og delvis fordi enheten ikke vil bli utsatt for vær og vind, sjøvann eller grov håndtering.

10.1. Materialelegenskaper, overflatebehandling, styrke og vedlikehold

Alle maskinerte deler er konstruert i enten POM, Aluminium eller Polykarbonat. Både aluminiumskvaliteten og POM er valgt da det har vært et ønske fra Stingray å benytte materialer som maskinoperatørene i Stingray sitt verkstedet har god erfaring med å maskinere. Det har også vært et poeng å velge materialer som det finnes emner til på materiallageret for å holde kostnadene til produksjonen nede.

Aluminium 6082 T6

Aluminium er et mye brukt materiale i så godt som all industri grunnet aluminiums lave vekt og gode mekaniske egenskaper. Aluminium utvinnes av Bauxitt, en leireaktiv jordtype som kan finnes noen meter under bakken i områder rundt ekvator. Bauxitten inneholder rundt 60% aluminiumoksid. Gjennom en rekke kjemiske prosesser og oppvarming blir aluminiumsoksiden smeltet om til aluminiums blokker som igjen kan ekstruderes ut til nye profiler eller omsettes som rå bolter for videre bearbeiding (53,54).

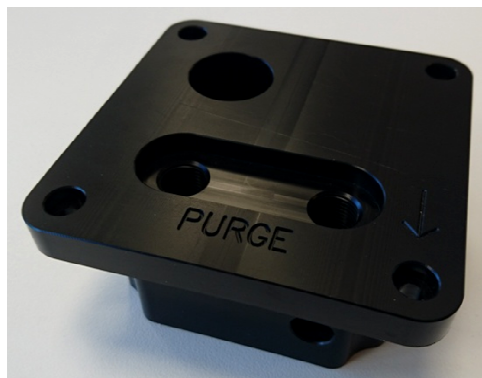
Aluminium betegnes ofte med en fire-sifferet kode hvor det første tallet beskriver hvilken klasse aluminiumen tilhører og de tre neste tallene beskriver hvilken type aluminium det er innenfor hovedkategorien (55).

- 1xxx – Rent aluminium
- 2xxx – Aluminium levert med kobber
- 3xxx – Aluminium levert med mangan
- 4xxx – Aluminium levert med silisium
- 5xxx – Aluminium levert med magnesium
- 6xxx – Aluminium levert med magnesium og silisium
- 7xxx – Aluminium levert med sink, kobber og magnesium
- 8xxx – Aluminium levert med litium

Aluminiumsdelene i denne oppgaven blir konstruert i 6082 T6 kvalitet. Denne aluminiumskvaliteten er kjent for å ha gode korrosjonsegenskaper (56). Testenheten skal kun bli brukt i Stingray sin testtank som inneholder ferskvann. Av erfaring med liknende utstyr brukt i ferskvann anses det ikke som nødvendig med annen overflatebehandling enn den naturlige oksidasjonen som umiddelbart dannes på overflaten ved maskinering eller annen bearbeiding som blottlegger ny aluminium.

Skal testenheten ved en senere anledning brukes i saltvann kan enheten demonteres og de delene som er i direkte kontakt med vann senders til overflatebehandling for å få bedre motstand mot korrosjon.

POM (Polyoxymethylene)



Figur 60 Lokk til dagens laserenhet i POM (57)

Polyoxymethylene er et fargeløst polymer som omsettes under flere navn, POM, Delrin, Acetal, Polyacetal mm. POM er det universale kallenavnet, mens de andre navnene er varemerker benyttet av forskjellige produsenter. I dagens luselaser blir POM mye brukt på deler som er i kontakt med sjøvann. Materialet har gode mekaniske egenskaper og egner seg godt til sponfraskillende bearbeiding da det er et relativt sprøtt materiale slik at sponen enkelt bryter (58). POM leveres ofte i sort eller hvit farge.

Polykarbonat

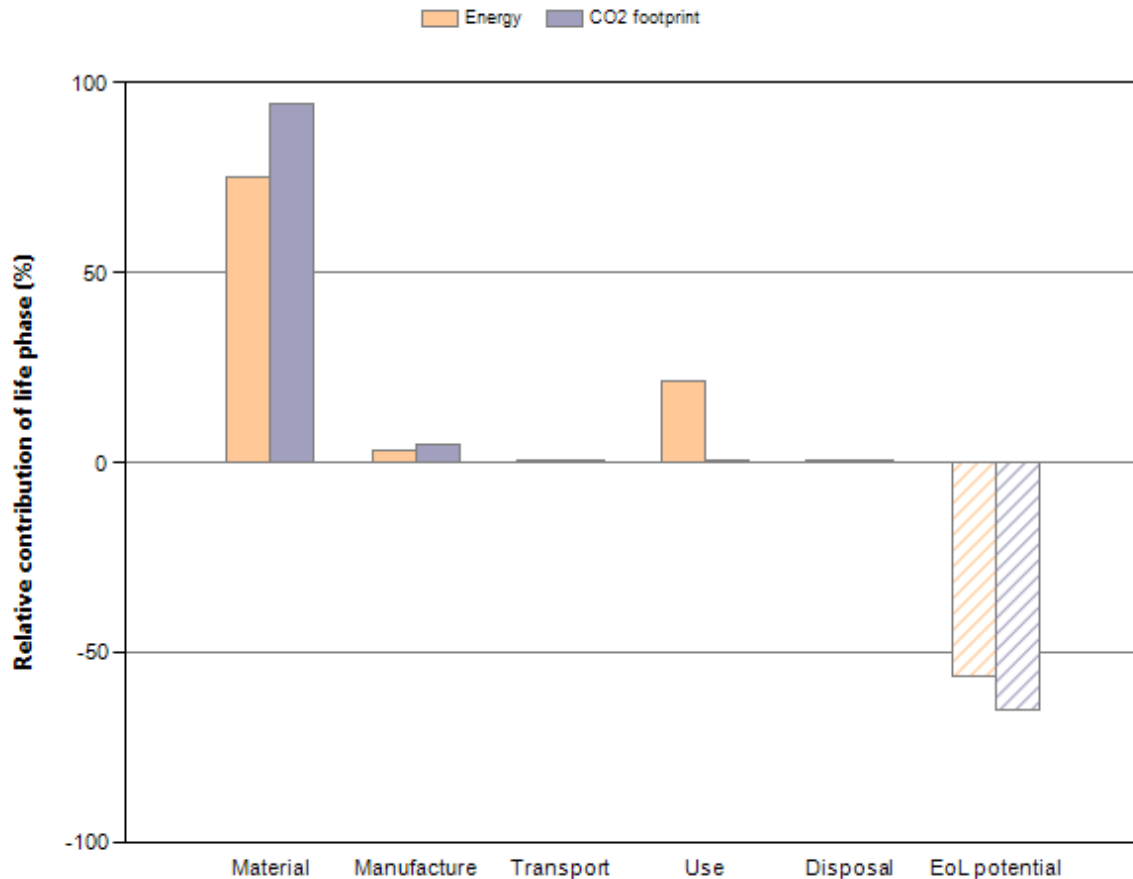


Figur 61 Liten hylse til dagens bøye i Polykarbonat (59)

Polykarbonat benyttes blant annet i skuddsikre ruter, vernebriller (60) og som mekaniske deler som skal være gjennomsiktige. Det er naturlig transparent, men kan også leveres i matte og sotede kvaliteter. Polykarbonat omsettes i likhet med POM under en rekke merkenavn, i Norge benyttes ofte merkenavnet Lexan universelt om polykarbonat. Polykarbonat er et seigt materiale som i motsetning til plexiglass egner seg godt til sponfraskillende bearbeiding. Seigheten i materialet sørger for at polykarbonat tåler slag og bøying uten å sprekke (61).

10.2. Miljøkrav og resirkulering

Under følger en forenklet miljøanalyse av testmodellen. Selv om det i denne oppgaven kun er snakk om å lage et eksemplar av modellen er analysen med som et eksempel på hvordan energiforbruket og CO2 utslippet fordeler seg.



Figur 62 Miljøanalyse

Figuren over viser hvor mange prosent av energien og produsert CO₂ som kan resirkuleres. I datagrunnlaget til grafen ligger materialene som brukes i enheten, produksjonsmetoder, transportmetoder og hvordan enheten brukes. Aluminiumen er definert som resirkulerbar mens de andre materialene er satt til «forbrenning» ved EoL (End of Life). Transport er transport av materialene fra leverandør frem til Stingray. Energiforbruket til enheten er satt 100 W, 8 timer 30 dager i året. Denne verdien er høyst usikker da strømforbruket til strømforsyningene og styringsenheten ikke er kartlagt.

Under materialposten står aluminium for 80 % av bidraget. Dette skyldes at det er valgt ny og ikke resirkulert aluminium. Aluminium har den egenskapen at den er veldig kostbar å produsere da det krever enorme mengder energi. Når aluminiumen først er produsert er den billig å smelte om å bruke på nytt. Dette gjør at aluminium egner seg godt i øl-bokser og annen engangsemballasje. Aluminiumen gir også det største bidraget på EoL potential da det kun krever 5% av den energien som ble brukt for å produsere aluminiumen som kreves for å resirkulere den (54).

11. FRAMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER

Når en ingeniør skal konstruere et mekanisk komponent i for eksempel Autodesk Inventor, SolidWorks eller liknende er det flere faktorer som påvirker hvordan delen skal se ut. Førsteprioritet vil i mange tilfeller være funksjon; hva skal delen gjøre og hvordan skal den gjøre det. Ett annet viktig kriterium er kostnaden knyttet til å produsere den aktuelle delen.

For å holde prisen på delen som skal konstrueres så lav som mulig er det viktig at ingeniøren har god kjennskap til forskjellige fremstillingsmetoder. En del kan ved store investeringer i maskiner og verktøy gjøres veldig billig å serieprodusere. Skal det derimot bare lages noen ti-talls av denne delen vil den totale kostanden ved verktøyproduksjon fordelt på antall deler bli veldig høy. En ingeniør hos for eksempel Tesla som konstruerer elektriske biler må legge mye vekt på at den aktuelle delen skal la seg produsere i et stort antall til en lav pris. Tesla nådde i første kvartal 2015 et produksjonsantall på over 1000 bilder i uken (62). Med et så stort produksjonsvolum er det helt avgjørende med støpe- og stanseverktøy, roboter som sammenstiller og tester produktene med mer.

Tidligere leverte Beck Engineering (nå eiere i Stingray) ROV-verktøy til oljeindustrien (63). Verktøyene varierte fra bestilling til bestilling. I dette tilfellet var det aldri aktuelt å investere i produksjonslinjer, stanse-, eller støpe-verktøy eller automatisering av produksjonen. I dag driver Stingray med serieproduksjon av luselasere, men også uten å ha investert i dyre spesialverktøy. Moderne CNC-maskiner har gjort dette mulig.



Figur 63 Dreining i en manuell dreiebenk (64)

De første styrte maskinene ble bygd på 40 og 50 tallet ved å modifisere eksisterende maskiner med styrte el-motorer. Motorene ble koblet til sveivene som vanligvis ble operert av en arbeider. Bevegelsen til motorene ble styrt ved å lese et hullbånd som ble produsert i en annen maskin ved å definerte koordinatene til delen som skulle produseres. Dette var en dyr og tungvint metode som senere ble utfaset til fordel for datastyrt maskiner. Forskjellen her var at maskinene ble bygd fra bunnen av som en styrt maskin. Disse maskinene trengte ikke hullbåndleser da de hadde en innebygd datamaskin som kunne programmeres direkte (65).



Figur 64 Programering av CNC-maskin (66)

Den største fordelen med en CNC-maskin er at etter at den er programmert vil den gjør en bevegelse på nøyaktig samme måte fra gang til gang. Bevegelsene, hastighetene og turtallet er på forhånd programmert av maskinoperatøren (som vist på figur 64). En maskinoperatør kan i dag programmere en maskin, sette den i gang til å jobbe for å så gå videre til neste maskin og gjøre det samme. Ettersom det er maskinen som gjør all bearbeidingen kan en person lage mange ganger så mange deler i dag som før hvor det ikke ble produsert noe spon uten at det stod en person ved maskinen

11.1. Produksjonsmetoder

De fleste delene som tilsammen utgjør testenheten er konstruert for å kunne maskineres i Stingray sitt verksted i Oslo som i tillegg til flere manuelle eldre maskiner er utstyrt med to Hurco VM1 CNC freser. Undertegnede har flere års erfaring med maskinering i disse maskinene og kjenner godt maskinenes styrker og begrensninger. Alle deler er konstruert for å produseres med så få oppspenninger som mulig. Noen av de enkleste delene kan med fordel vannskjæres før de gjenges eller forsenkes manuelt, men de vil også la seg maskinere i en styrt fres. De delene som kan vannskjæres har dette oppgitt på delens tekniske tegning.

Under følger en kort beskrivelse av hvordan noen av delene kan produseres. De utvalgte delene representerer de forskjellige maskineringsmetodene som kan benyttes for å maskinere delene til enheten. Etter beskrivelsen av de tre delene følger det en tabell (tabell 22) over maskineringsmetoder for de øvrige komponentene.

Hus_topp

Av alle de maskinerte delene er det denne delen som vil ha størst material- og maskineringskostnad. Hus_toppen krever det største emnet og er den biten hvor mest materiale skal fjernes fra emnet. Et emne kappet litt på overmål (\varnothing 120 mm x 160 mm) vil veie litt under 5 kg, når biten er ferdig maskinert er 3,7 kilo blitt til spon.

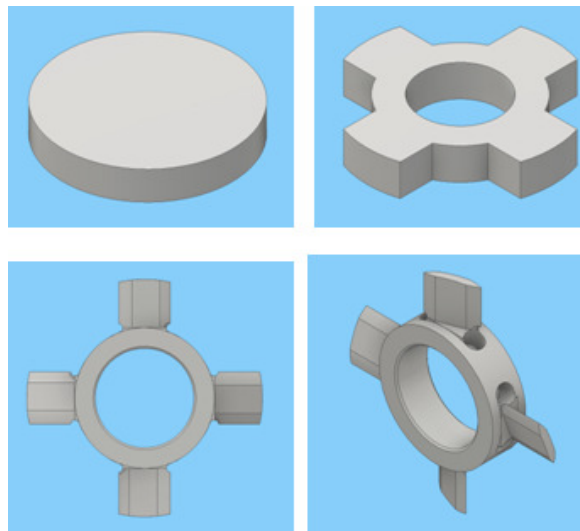
Hus_topp kan i Stingray sitt verksted maskineres med minimum tre oppspenninger (se figur 65, maskineringsstrinnene går fra venstre til høyre). Først spennes emnet opp og den utvendige konturen maskineres. I samme oppspenning bores de fire hullene som benyttes for å holde de to husdelene sammen. Når dette er gjort kan delen snus og all innvendig geometri maskineres. I samme oppspenning freses o-ringspor og hull til topplokket bores og gjenges. Når alt dette er gjort spennes delen opp i en dreiebenk for å dreie sporet som klaffen hviler i mot.



Figur 65 Maskineringsprosess Hus_topp

Propell

Selv om propellen kan se avansert og dyr ut å maskinere krever det kun tre oppspenninger i en moderne CNC-maskin utstyrt med fire bevegesaksler. (se figur 66 for maskineringsstrinnene) Når emnet er kappet på overmål fra en rundt bolt freses først hullet i midten, korrekt utvendig diameter og materialet mellom propellbladene. Når dette er gjort snus biten 180 grader før biten freses til riktig tykkelse. Når dette er gjort spennes delen opp i korrekt vinkel i CNC-maskinens fjerdeakse. Fjerdeaksen roterer om maskinens X-akse. Først freses konturen av en propell, deretter roterer fjerdeaksen delen 90 grader før et nytt propellblad freses ut. Dette gjentas totalt fire ganger. Når dette er gjort roterer fjerdeaksen 22,5 grader fra utgangspunktet og hullet til den første magneten freses. Deretter roterer fjerdeaksen 45 grader og et nytt hull maskineres, dette gjentas til sammen åtte ganger.



Figur 66 Maskineringsprosess, Propell og Propell_MIR

Servoplate

Denne biten kan produseres på flere måter avhengig av hvilket utstyr en har tilgjengelig. Et billig og effektive alternativ er å bruke en vann- eller laser-skjærer. En slik skjæremaskin benytter enten en vannstråle under høyt trykk eller en kraftig og konsentrert laserstråle. En slik skjæremaskinen er å anse som en to-akset CNC-maskin. Ulempen med slike skjæremaskiner er at strålen trenger et startpunkt for hvert frittstående hull. Dette kan medfører at små hull ofte må etterbores for å få de helt runde.

Blir Servoplaten skåret ut av en 3 mm aluminiumsplate er det kun fjerning av skarpe kanter (grading) som gjenstår etter skjæringen. Skal delen lages i Stingray sitt verksted som ikke har vann eller laserskjærer må biten freses. Her vil det enkleste være å spenne en 3 mm aluminiumsplate ned mot arbeidsbordet og frese rundt på samme måte som ved vannskjæring. For å holde platen fast i bordet kan den enten skurs fast i en tre eller plastplate som kan freses i (ettersom fresen må gjennom biten og inn i det underliggende materialet for at biten skal løsne). Det enkleste er derimot og spenne aluminiumsplaten ned med et vakuumbord. Dette bordet har utbyttbare matter som kan freses i. Denne metoden har mindre krav til etterbearbeiding for å fjerne skarpe kanter samtidig som hullene for å feste servoene blir helt runde.



Figur 67 Laserskjæring (67)

Tabell 22 gir en komplett oversikt over hvordan alle de konstruerte delene er tenkt fremstilt.

Tabell 22 Maskineringsmetoder

Part number:	Del:	Fresing	Dreing	Vannskjæring
M16-2-001	Hus_topp	X	X	
M16-2-002	Hus_bunn	X		
M16-2-003	Hylse	X		
M16-2-004	Toppløkk	X		
M16-2-005	Bunnløkk	X		
M16-2-006	Flyteelement	X		
M16-2-007	Propell	X		
M16-2-008	Propell_MIR	X		
M16-2-009	O-ring-stopper_bunn	(X)		X
M16-2-010	O-ring-stopper_topp	(X)		X
M16-2-011	Avstandsstykke	(X)	X	
M16-2-012	Klaff	X		
M16-2-013	Magnetholder_servo	X		
M16-2-014	Servoplate	(X)		X
M16-2-015	Klaffholder	X		
M16-2-016	Motorbrakett	(X)		X
M16-2-017	Rotor	(X)	X	
M16-2-018	Avstandshylse	(X)	X	

(X) Betyr at biten også lar seg frese, men den andre maskineringsmetoden er å foretrekke.

11.2. Kostnadskalkyle

Kostnadsanalysen for testenheten blir delt opp i tre poster, kostnaden for utviklede deler, innkjøpte deler og monterings og testing. Kostnadskalkylen tar kun med de komponentene som er presentert i denne oppgaven, ikke styring og oppbevaring/transport.

Maskineringskostnaden legger til grunn den faktiske selvkost timesprisen som Stingray har ved å ha en maskinoperatør til å maskinere. Dette er i 2016 257 kr/time. Det er ikke tatt hensyn til slitasje på verktøy og maskiner. Programmeringstiden av CNC-maskinen samt innspenning av verktøy og klargjøring av maskinen er innbakt i arbeidstiden.

Materialkostnaden tar som forutsetning av at det går an å kjøpe små kvanta og ikke hele lengder. Vanligvis medfører det å kjøpe små lengder en ekstra kappe-kostnad, men for Stingray som har et materiallager vil kostnaden oppført som materialkostnad være den faktiske materialkostnaden.

Det vil ikke kreves investering i annet verktøy eller utstyr enn det verkstedet til Stingray i dag er utstyrt med.

Det er anslått at en ingeniør vil bruke seks fulle arbeidsdager på sammenstilling og testing av enheten.

Tabell 23 Kostnadskalkyle

Utviklede deler	kr 27 795,00
Innkjøpte deler og komponenter	kr 6 642,60
Sammenstilling og testing	kr 24 750,00
Sum	kr 59 187,60

Den komplette kostnadsanalysen for enheten ligger vedlagt som vedlegg 7.

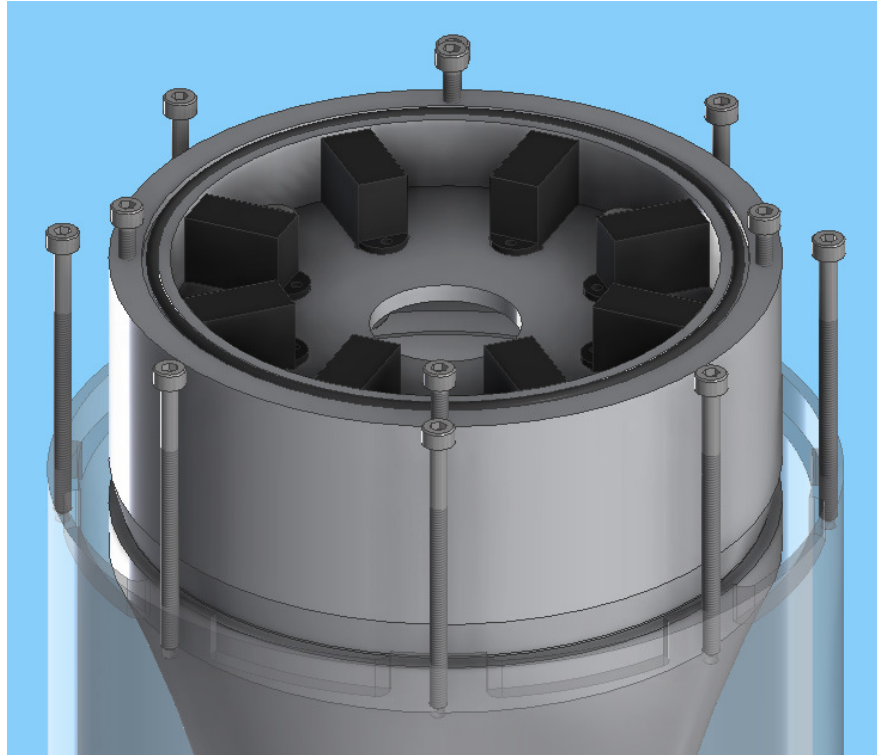
12. MARKEDSPRESENTASJON

I dette kapitlet blir løsninger og komponenter presentert med bilder hentet fra Inventor. Disse bildene skal gi en bedre oversikt over de valgte løsningene.

12.1. Visuell framstilling

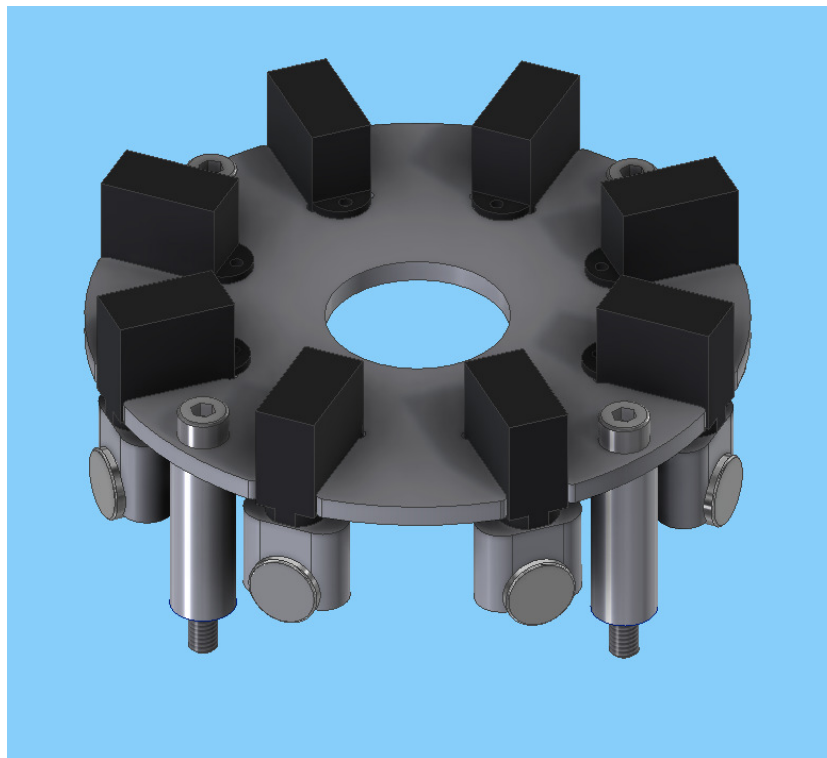


Figur 68 Komplettestenhet med kabler



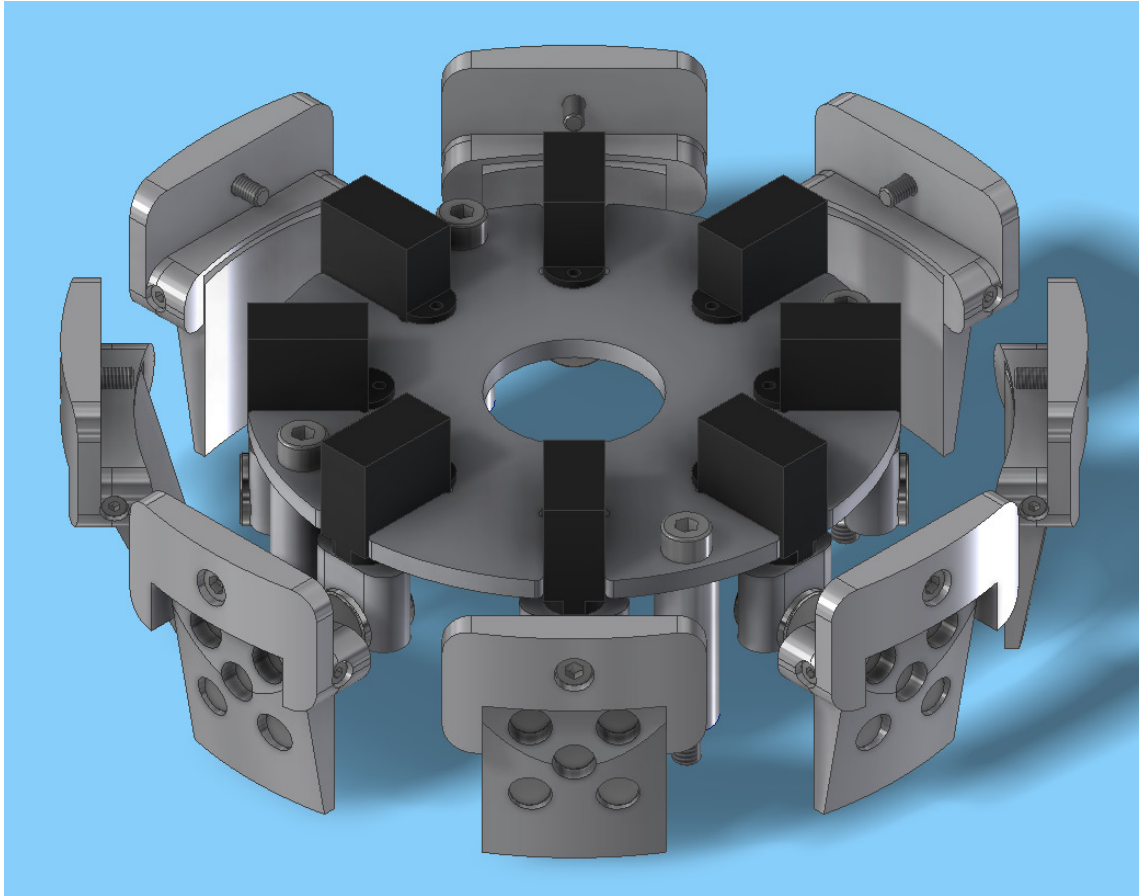
Figur 69 Hus_topp med servoplatesammenstilling

Figur 69 viser Hus_topp med servoplatesammenstillingen korrekt installert. Figuren viser også O-ringen som tettet mellom huset og topplokket. Samt hylsen og skurene som holder topplokket festet i hylsen og huset.



Figur 70 Komplette servoplatesammenstilling

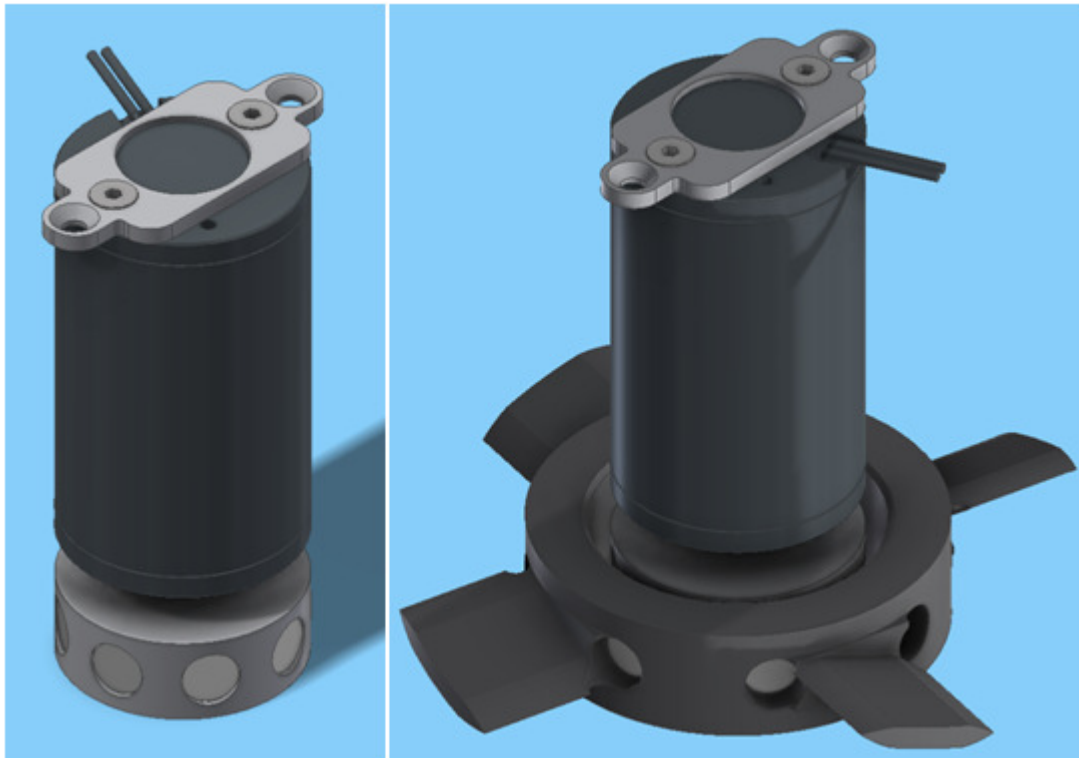
Her er servoplatesammenstillingen komplett med servomotor, magneter, magnetholdere og de fire avstandsstykkene som plasseres servoplaten i korrekt høyde i forhold til klaffene.



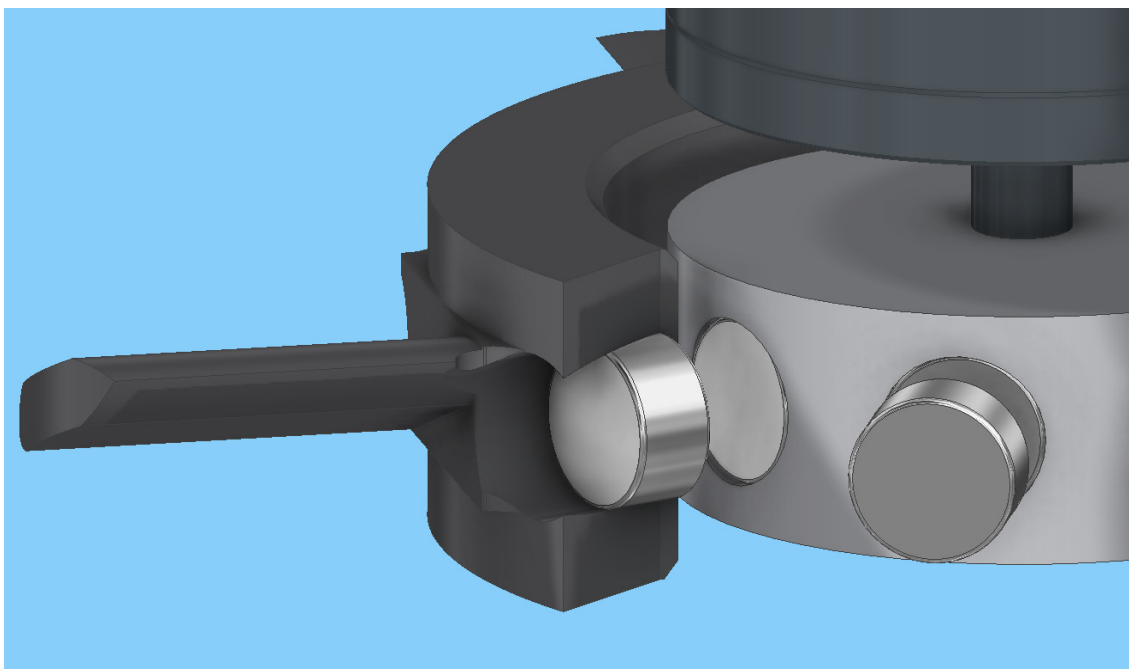
Figur 72 Servoplatesammenstilling og klaffer



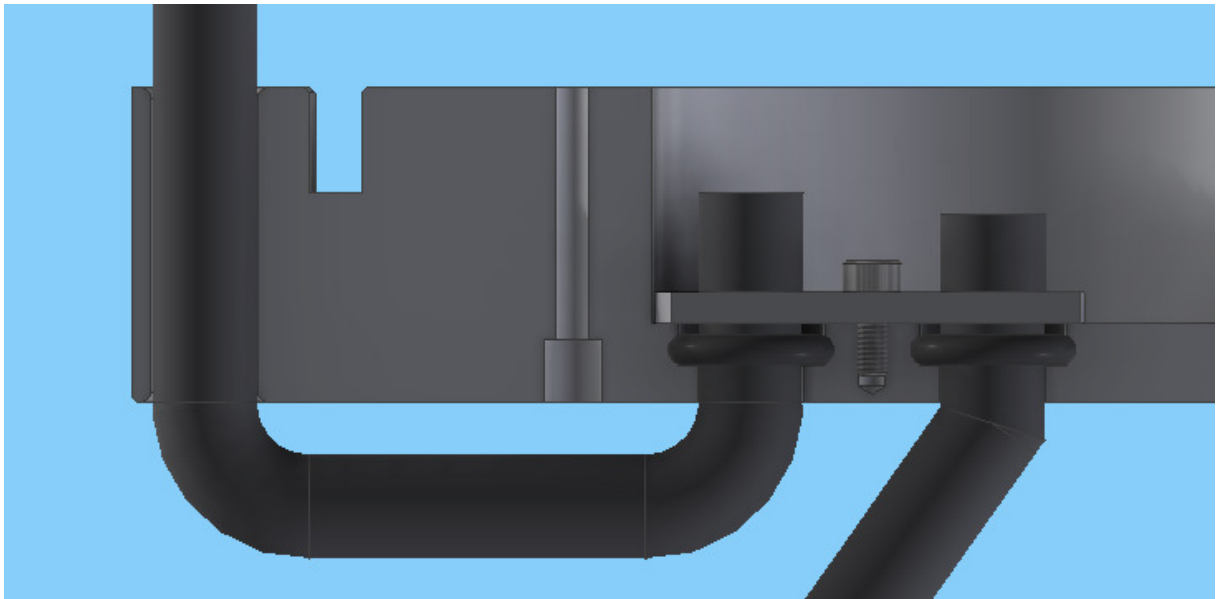
Figur 71 Klaff lukket og åpen



Figur 73 Motorsammenstilling, med og uten propell

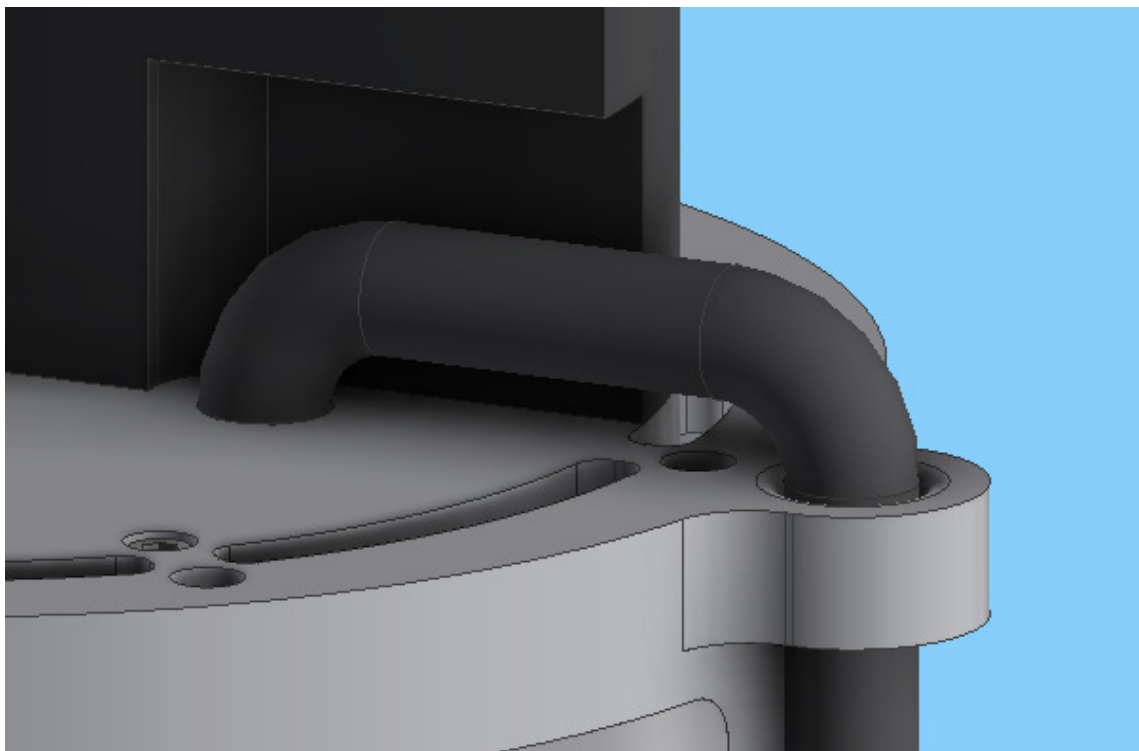


Figur 74 Rotor og utsnitt av propell



Figur 75 Bunnlokk, kabelgjennomføring

Figur 75 viser utsnitt av bunnlokket med to kabler tettet mot huset med to o-ringer. O-ringene blir holdt på plass av den lille platen på innsiden av bunnlokket.



Figur 76 Kabelstyring topplokk og utsnitt i flyteelementet

Figur 76 viser et utsnitt av flyteelementet med sporet som går rundt kabelen.

13. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

I dette kapitlet skal sluttproduktet og valgte løsninger diskuteres, problemstillinger knyttet til utførte analyser og endringer som kunne vært gjort på enkeltkomponenter gjennomgått. Under arbeidet med denne oppgaven har det blitt designet en rekke enkeltkomponenter. Det virket, når de ble designet at det var den beste løsningen som ble valgt. I ettertid har det kommet frem at noen av løsningene kunne vært gjort annerledes, men det har da ikke vært tid til å gå tilbake og endre disse. Dette spenner fra små designendringer til materialvalg.

13.1. Designrevisjon og forbedringspotensialer

Det planlagte møtet med Anders Fjellvang og Esben Beck for å gå gjennom valgte løsninger og hvordan de forskjellige delene ble konstruert ble dessverre flere ganger utsatt og møtet fant ikke sted før etter at enheten var ferdigkonstruert. Dette medførte at de forslag til designendringer som ble gitt i dette møtet ikke har blitt tatt hensyn til. Forslagene som ble gitt er oppgitt som et punkt under videre arbeid.

Propell og Propell_MIR

Etter å ha undersøkt andre propeller i liknede applikasjoner (thrusterer) i ettertid viser det seg at selve propellbladet er veldig mye tykkere enn det som har vært observert på andre propeller. Dette virker også logisk når man også ser på resultatene fra Ansys-analysen som gir en veldig lav spenning ved roten av propellbladet. Propellbladet kunne derfor med fordel vært tynnere.

Avstandshylse

Avstandshylsen er designet med et overmål på 0,05mm. Utregning i vedlegg 8 viser at det kreves en enorm kraft for å komprimere materialet så mye. Overmålet kunne med fordel vært redusert betraktelig. Eventuelt kunne det blitt utarbeidet en annen metode for å hindre avstandshylsen fra å rotere.

Materialvalg Topplukk og Bunnlokk og Avstandshylsen

Ettersom flyteelementet som er nødvendig for å gi enheten positiv oppdrift i vann ble relativt stort sett opp mot enhetens størrelse kunne det vært aktuelt og redusere enhetens masse ytterligere. Ved å produsere Topplukk, Bunnlokk og Avstandshylsen i POM i stedet for aluminium vil det være mulig å spare inn ca. 500 gram. Dette ville resultere i ca. 20% reduksjon av flyteelementes volum.

Generelt

Det har fra Stingray sin side vært viktig at dette er et prosjekt som gjennomføres uten å påvirke det daglige arbeidet i bedriften. Det har derfor kun vært et fåtall personer i Stingray som har hatt kjennskap til hva dette prosjektet har dreid seg om. Dette har resultert i at det har vært få personer å drøfte løsninger og konsepter med. Skulle dette prosjektet blitt gjennomført på nytt med dagens kunnskap hadde det vært ønskelig å ha et par ekstra personer i bedriften å drøfte ideer med og få tilbakemeldinger på valgte løsninger.

13.3. Analyser og utregninger

Analyser:

SolidWorks Flow Simulation – Det var planlagt å utføre en analyse for å kartlegge hvilket turtall de to motorene skulle ha for at enheten skulle ikke skulle roterer. Dessverre tok de andre strømningsanalysene mye lenger tid enn planlagt, mye grunnet nevnt problemer rundt kavitasjon. Det ble derfor ikke tid til denne analysen. Det er knyttet usikkerhet til resultatene av slike analyser da de baserer seg på en rekke forenklinger. Den sikreste måten å finne for eksempel kreftene som virker i Z-retning vil være å teste det ut i praksis.

Varmeanalysen som ble gjort i SolidWorks Simulation er utført med den forenklingen at de tre ytterveggene er satt til å holde konstant 20 grader. Ved å gjøre det tas det ikke hensyn til vannets evne til å motta varmen fra huset. Ettersom analysen ga et utrolig konservativ svar anses det ikke som nødvendig å kjøre en ny mer "korrekt" analyse. Det ble ved en feil benyttet en tilført effekt på 7W og ikke 7,3W som er korrekt. Med tanke på resultatet av analysen er det lite sannsynlig at det siste 0,3W ville vært utslagsgivende.

Utregninger:

Ved utregning av enhetens akselerasjon er ikke enhetens motstandskraft i vannet tatt med. Dette resulterer i en kunstig høy akselerasjon på $11,5 \frac{m}{s^2}$ i Z-retning og en akselerasjon på $2,1 \frac{m}{s^2}$ i X,Y-planet. Viser det seg i praksis at thrusterene leverer like stor kraft ved 1000 RPM som den kraften funnet i analysene vil det være nødvendig å kjøre motorene på et lavere turtall for å kunne kontrollere enheten i testtanken.

14. KONKLUSJON

I starten av denne masteroppgaven er et hovedmål og en rekke mindre delmål definert. Med unntak av innlevering og disputas anses alle delmålene nå som oppfylt. I masteroppgaven er det konstruert en enhet som kan forflyttes under vann ved bruk av to kontraroterende propeller og åtte ventiler. Enheten konstruert i denne oppgaven vil bli brukt i det videre arbeidet med å konstruere neste generasjons luselaser som skal være billigere å produsere, mindre og mer driftssikker.

14.1. Resultater og anbefalinger

For å løse denne masteroppgavens hovedmål er det konstruert en testenhet med følgende karakteristikker:

En sirkulær enhet med positiv oppdrift som dykker ved å hjelp av to kontraroterende propeller som blir tilført moment fra hver sin el-motor. El-motoren og propellene er ikke koblet direkte sammen, men momentet overføres fra motoren til propellen ved å anvende åtte magnetpar i hver motor og propell. Testenheten som er konstruert har en masse på 4 kilo og veier 1,6 kilo i vann. Enheten er utstyrt med et forslag til flyteelement som har en masse på 0,2 kg og et volum på 2,3 liter. Testenhetens har en største ytre diameter på 155 mm og en total høyde på 495 mm inkludert eksempel flyteelement.

Gjennom strømningsanalyser er den antatt største kraften de to propellene leverer funnet. Denne kraften er på 53,3 N. Enhetens akselerasjon nedover (positiv Z-akse) bestemmes ved å justere volumet på enhetens flyteelement. Uten å ta hensyn til enhetens motstandskoeffisient vil denne kraften med eksempel flyteelementet resultere i en akselerasjon nedover på $11,5 \frac{m}{s^2}$ (se kapittel 13.3).

Ved å åpne en av åtte ventiler virker 8,7 N i X, Y-planet. Ved å se bort i fra enhetens motstand i vann og medregne eksempel flyteelementet vil dette resultere i en akselerasjon på $2,1 \frac{m}{s^2}$ (se kapittel 13.3).

Det anbefales å konstruere enheten etter de tekniske tegninger som vedlegges i denne rapporten. Viser det seg at kraften i Z-retning er lavere enn den som fremkommer i strømningsanalysene anbefales det at det legges mer jobb i å optimalisere propellbladgeometrien. Det anbefales også å optimalisere refleksjonsflaten på klaffen om det skulle vise seg at enheten er vanskelig å forflytte i X,Y-planet.

14.2. Videre arbeid

Før testenheten er ferdig maskinert, testet og klar til bruk må følgende punkter gjennomføres

- Enten gjennom forsøk eller analyser finne det turtallet som holder enheten i ro på en gitt dybde
- Implementere de endringene som ble foreslått under eksterntestingen
- Sende en intern bestilling på maskering av delene
- Sende bestilling på styringskoden til Stingrays software (se vedlegg 6)
- Konstruere og bygge styringsenheten
- Finne korrekt motstandskoeffisient på enhet med kabel og flyteelement og regne ut ny akselerasjon
- Ved utmattingsproblemstillinger må det utføres en dynamisk analyse

16. REFERANSER

16.1. Skriftlige kilder

5. Odd Ivar Lekang, Challenges and emerging technical solutions in on-growing salmon farming, Aquacult, Ås, 2016, s. 2
8. E. Hovland, D. Møller, A. Haaland, N. Kolle, B. Hersoug, G. Nævdal, Over den leiken ville han rå, Norsk havbruksnærings historie, Fagbokforlaget, Bergen, 2014, s.117
36. Jan Kåre Bøe, Temahefte 4-Idevalg, Pughs metodikk 2015, NMBU, Ås, 2015, s.7
49. Theodore Wildi, Electrical machines, drives and power systems sixth edition, Pearson Education, New Jersey, 2006, s. 98

16.2. Nettkilder

1. Om Stingray Marine Solutions AS, Stingray Marine Solutions AS, <http://www.stingray.no/>
2. Faktisk lusekostnad ved Geir Inge Rødseth, LinkedIn, <http://www.linkedin.com/>
3. Eksport 2015, Statistisk Sentralbyrå, <https://www.ssb.no/>
4. 6 % vekst lakseoppdrett, Intrafish, <http://www.intrafish.no>
6. Lus og rømming, Havforskningsinstituttet, <http://www.imr.no/>
7. Slaktevekt, Havbrukssenter, <http://havbrukssenter.no/>
11. Fakta om lakselus, Havforskningsinstituttet, <http://www.imr.no/>
14. Forskrift om bekjempelse av lakselus §8, Lovdata, <https://lovdata.no/>
15. Kostnad knyttet til avlusing, Ilaks, <http://ilaks.no/>
16. Kostnad knyttet til avlusing, Nofima, <http://nofima.com/>
17. Verktøykasse er tom, Ilaks, <http://ilaks.no/>
18. Resistens hos lakselus, Havforskningsinstituttet, <http://www.imr.no/>
19. Thermolicer info, Steinsvik, <http://www.steinsvik.no/>
21. Masteroppgave om luseskjørt av Mattias Bendiksen Lind, UiT, <http://munin.uit.no/>
22. Dybde på luseskjørt, Intrafish, <http://www.intrafish.com/>

24. Forsøk med rognkjeks, Forskning.no, <http://forskning.no/>
25. Info om Skamik, Skamik, <http://skamik.no/>
26. Info om ferskvannsbehandling, Fiskeri - og havbruksnæringens forskningsfond, <http://www.fhf.no/>
32. Fakta om Arkimedes, Nasjonalt senter for naturfag i opplæring, <https://www.viten.no/>
33. Egenvekt vann, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org/>
34. Egenvekt luft, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org/>
35. Drag Coefficient, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org/>
42. O-ring snortykkelse, Otto olsen AS, <http://www.oo.no>
43. O-ring tabell, Otto olsen AS, <http://www.oo.no>
45. Stresskonsentrasjoner, Andre Weib, <https://andreweib.wordpress.com/>
47. Fakta om kavitasjon, Store norske leksikon, <https://snl.no/>
48. Datablad DC-motor, Crouzet, <http://www.rs-components.com/>
50. Termiske egenskaper aluminium 6063, MatWeb, <http://matweb.com/>
51. Termiske egenskaper aluminium 6082, MatWeb, <http://matweb.com/>
52. Datablad på POM, Quadrant Plastics, <http://www.quadrantplastics.com/>
53. Fakta om aluminium, Store norske leksikon, <https://snl.no/>
54. Hydro om aluminium, Hydro, <http://www.hydro.com/no/>
55. Aluminiumslegeringer, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org/>
56. Faktaside om 6082 aluminium, Astrup, <http://astrup.no/>
58. Faktaside om pom, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/>
60. Polykarbonat vernebriller, Bekkestrom, <http://www.bekkenstrom.no/>
61. Faktaside om polykarbonat, Wikipedia, <https://no.wikipedia.org/>
62. Produksjonstall Tesla Model S, Transportevolved, <https://transportevolved.com/>
63. Tidligere prosjekter i Beck Engienering, Beck Engineering, må søkes opp via <https://web.archive.org/> grunnet serverproblemer
65. CNC historie, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/>

- 68. PCI-E faktaside, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/>
- 70. Elektromagent, RS Components, <http://no.rs-online.com>

16.3. Bildekilder

- 10. Bilde tre lakselus, Teknisk Ukeblad, <http://www.tu.no/>
- 12. Bilde av smolt med lus, fiskeguiden.no, <http://www.fiskeguiden.no/>
- 19. Bilde av Thermolicer, Steinsvik, <http://www.steinsvik.no/>
- 20. Bilde av luseskjørt, Botnegaard, <http://www.botngaard.no/>
- 23. Bilde av rognkjeks, Havforskningsinstituttet, <http://www.imr.no/>
- 27. Foto tatt av Ø.M.Fjeld og illustrasjon fra E.Beck
- 28. Illustrasjon Stingray installasjon, Stingray brukerhåndbok av Simen Wright
- 29. Skjerm bilde Stingray laserenhet
- 30. Skisse tegnet av Ø.M.Fjeld
- 31. Bilde tatt av Ø.M.Fjeld
- 37. Bilde av DC-motor, RS Components, <http://no.rs-online.com/>
- 38. Bilde av magnet, RS Components, <http://no.rs-online.com/>
- 39. Bilde av DIN912 skrue, Speedbolt1961, <http://www.ebay.com/>
- 40. Bilde av o-ring, Maith Gulf Int'l, <http://maith-gulf.com/>
- 41. Illustrasjon o-ring snortykkelse, Eriks, <https://www.eriks.co.uk/>
- 44. Illustrasjon noder og elementer, Nature Publishing Groupe, <http://www.nature.com/>
- 46. Illustrasjon av stresskonsentrasjon, Andre Weib, <https://andreweib.files.wordpress.com/>
- 57. Bilde tatt av Ø.M.Fjeld
- 59. Bilde tatt av Ø.M.Fjeld
- 64. Bilde av dreier, CNBC, <http://www.cnbc.com/>
- 66. Bilde av maskinoperatør, Socal CNC, <http://www.socalcnc.com/>
- 67. Bilde av laserskjærer, cjellwood, <https://www.youtube.com/>
- 69. Bilde tatt av Ø.M.Fjeld

70 -Bilde av elektromagnet, RS Components, <http://no.rs-online.com/>

16. VEDLEGG

Til denne masteroppgaven følger følgende vedlegg

1. Innkjøps- og monterings-kostnad laserenhet
2. Gantt-diagram
3. Utledning formel for flyteelementets volum
4. Masse- og volum-regnskap
5. Forsøk med klaff-mekanisme
6. Beskrivelse av enhetens styring
7. Kostnads-kalkyle
8. Beregning kompresjon avstandshylse
9. Akselerasjon i vann
10. Tekniske og sammenstillings-tegninger

Vedlegg 1

Innkjøps- og monterings-kostnad laserenhet

Justert for dagens valutakurs (29.01.16) og basert på produksjonskostnader utarbeidet av Stingray i 2015 er den totale kostnaden på en ferdig laserenhet ferdig til installasjon 357.653,00 kr. I tillegg kommer kostnaden ved å bygge en bøye, skap samt installasjon.

Kostnadene knyttet til innkjøp, maskinering og montasje av en laserenheten fordeler seg slik:

Tabell 23 Kostnad dagens laserenhet

What	Total
SUBSEA UNIT	
Sum Computer Main	kr 17 306,00
Sum Laser, cameras and optics	kr 225 803,00
Sum Lights	kr 9 000,00
Sum thruster	kr 15 000,00
Sum Laser and optics Control	kr 9 857,00
Sum Other	kr 5 000,00
Sum External Machined parts	kr 42 860,00
Sum Internal work	kr 47 827,00
Sum Subsea Unit	kr 357 653,00

Størrelse "hus"

Under posten "External Machined parts" er det selve huset til laserenheten med topp og bunnlokk som står for store deler av summen. Huset med de nevnte lokkene koster 30.500,00 kr å maskinere og overflatebehandle. Denne kostnaden vil kunne reduseres ved å redusere størrelsen på huset. Dette vil senke materialkostnaden samt maskineringstiden. Størrelsen på huset vil kunne reduseres om de målgivende delene hadde blitt mindre. I dagens laserenhet er det dimensjonene på hovedkortet som gir bredden på enheten, høyden settes av høyden på et kraftig skjermkort som er nødvendig for å analysere bildene fra kameraene og detektorene lakselus. I dag benyttes hovedkort av typen ATX. Dette er (basert på tilgjengelighet) den mest vanlige typen hovedkort. Ved å benytte mini-ITX eller micro-ATX vil bredden på hovedkortet reduseres og størrelsen på laserenheten kan reduseres.

Kravet for å kunne gå ned til et mindre hovedkort er at det må ha like mange tilkoblingsmuligheter og da spesielt PCI-Express porter som det i dag er på ATX-kortet. PCI-Express porter er utvidelsesporter på hovedkortet som benyttes for å koble til pc-komponenter. PCI-Express portene benyttes i dag for skjermkort, USB-utvidelser, Firewire-utvidelser og Advantec-kort. PCI-Express porter kategoriseres i forskjellige klasser avhengig av hvor mange baner en port har. En port med 16 baner har åtte ganger så høy kapasitet som en port med 2 baner osv. Et kort som krever 16 baner vil ikke yte sin fulle kapasitet om det blir koblet til en port med mindre enn 16 baner da det ikke har mulighet for å overføre nok informasjon til hovedkortet. (68)

Etter en gjennomgang av hovedkort som er tilgjengelig på forbrukermarkedet viser det seg at det i dag ikke finnes mini-ITX eller micro-ATX med samme kapasitet som ATX kortet som i dag

benyttes. Dette medfører at størrelsen på hovedkortet ikke kan reduseres, følgelig kan heller ikke størrelsen på huset reduseres. Dette medfører at kostnaden knyttet til maskinering av hus og sidelokk ikke kan reduseres.

Laser og optikk

Posten "Laser, cameras and optics" på 225.000 kr som utgjør 64 % av den totale kostnaden til en laserenhet (uten å medregne monteringskostnadene til nevnte komponenter) lar seg ikke redusere uten å gjøre store endringer av programvaren som detekterer lakselus. Av de 225.000 kr går 116.000 kr til innkjøp av laser. Under utviklingen av laserenheten ble en rekke laserleverandører vurdert, men det ble konkludert med at den valgte laseren fra Jenoptik var den eneste som kunne leverer høy nok effekt i et lite format. Jenoptik har nylig lansert en ny og mindre laser med samme styrke, men til den samme prisen som laseren som i dag benyttes.

Ulempene ved innføring av ny optikk overskrider ikke fordelene knyttet til lavere innkjøpskostnad.

Lamper og thruster

Kostnadene knyttet til maskinering, montasje og testing av lamper og thrustere er trukket ut som egne poster da dette er de enkeltkomponentene med størst bidrag til montering- og maskineringsposten.

Ved å konstruerer lampene på nytt anslåes det at monteringstiden kan reduseres med ca. 50% og kostnaden ved maskinering og innkjøp kan reduseres med ca. 50%. Thrusterene som benyttes i dagens laserenhet er designet for å være bakoverkompatibel med de første laserenhetene som var utstyrt med en standard "hylleware" thruster. Dette medfører at dagens thrusterene er både er dyre å produsere og sammenstille.

Ved å gjøre endringer på lampene og thrusterene kan det gjøres betydelige innsparinger på kostnaden knyttet til å produsere og sammenstille disse komponentene.

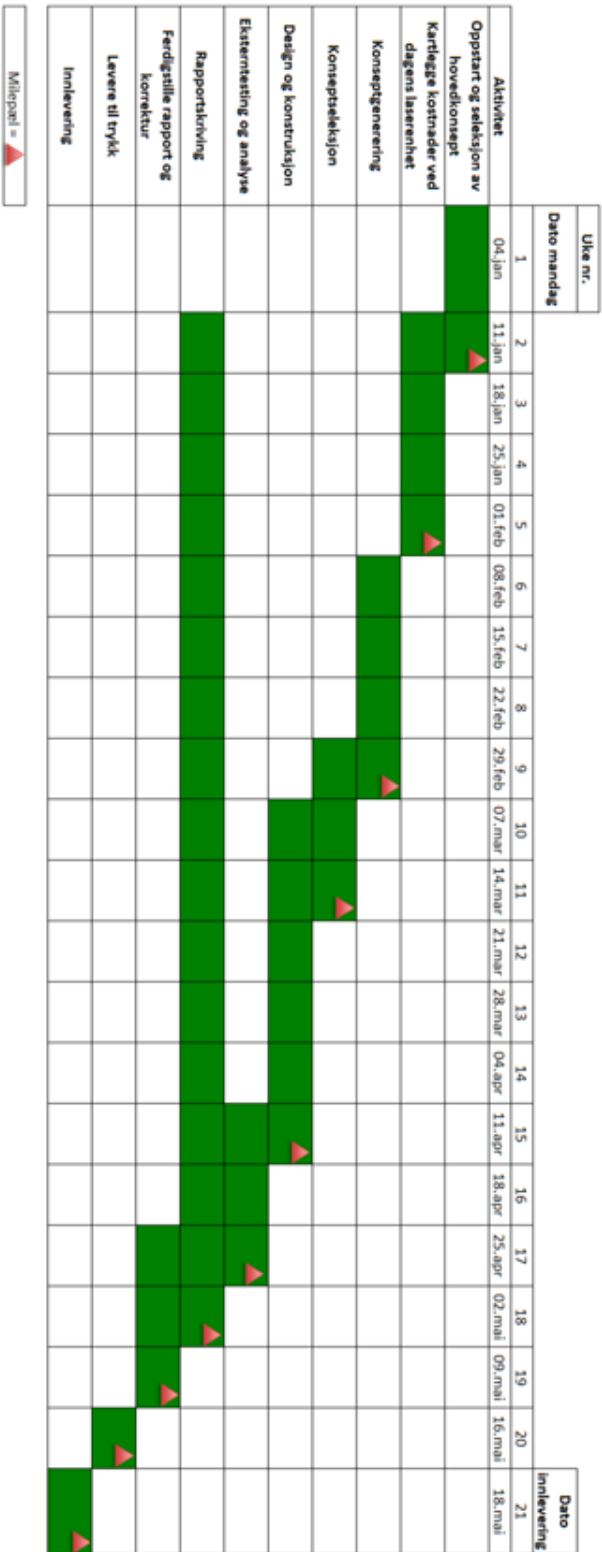
Konklusjon

Det viser seg at kostnadene knyttet til innføring til endringer av laserenhet ikke overstiger fordelene ved å innføre disse endringene. Det kan gjøres innsparinger ved å endre lamper og thrustere, men dette krever ikke at laserenheten redesignes, kun endringer på enkeltkomponenter.

Problemstillingen som ligger til grunn for denne oppgaven er ikke lenger til stede og det besluttes å avslutte arbeidet med en ny og billigere laserenhet som skal passe i dagens system.

Vedlegg 2 Gantt-diagram

Tabell 24 Gantt diagram

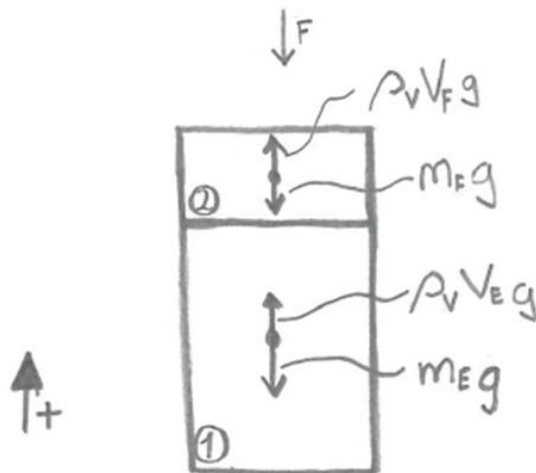


Vedlegg 3

Utleddning flytelements volum

Formelen under tar utgangspunkt i Newtons andre lov og er løst med hensyn på flyteelementets volum.

Flyteelement	Enhet
$V_F = \text{Volum flyteelement [m}^3\text{]}$	$V_E = \text{Volum enhet [m}^3\text{]}$
$m_F = \text{Masse flyteelement [kg]}$	$m_E = \text{Masse enhet [kg]}$
$m_F = \rho_F \times V_F$	
$\rho_F = 90 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	
Felles	
$\rho_{\text{vann}} = \text{massetetthet vann} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	
$a = \text{akselerasjon} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	
$g = 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	
$F = \text{Kraft fra thrustere [N]}$	



$$\sum F = m \times a \quad (5.1)$$

$$-m_E \times g + \rho_{vann} \times V_E \times g - m_F \times g + \rho_{vann} \times V_F \times g - F = (m_E + m_F) \times a$$

Akselerasjonen multipliseres inn på summen av masse på høyre side av likhetstegnet

$$-m_E \times g + \rho_{vann} \times V_E \times g - m_F \times g + \rho_{vann} \times V_F \times g - F = m_E \times a + m_F \times a$$

Massen til flyteelementet skrives ut som egenvekten multiplisert med volumet

$$-m_E \times g + \rho_{vann} \times V_E \times g - m_F \times g + \rho_{vann} \times V_F \times g - F = m_E \times a + \rho_F \times V_F \times a$$

Massen til flyteelementet multiplisert med akselerasjonen flyttes over på andre siden

$$-m_E \times g + \rho_{vann} \times V_E \times g - m_F \times g + \rho_{vann} \times V_F \times g - F - \rho_F \times V_F \times a = m_E \times a$$

Massen til flyteelementet skrives ut som egenvekten multiplisert med volumet

$$-m_E \times g + \rho_{vann} \times V_E \times g - \rho_F \times V_F \times g + \rho_{vann} \times V_F \times g - F - \rho_F \times V_F \times a = m_E \times a$$

Alle ledd som ikke relaterer til flyteelementet flyttes over til høyre side

$$-\rho_F \times V_F \times g + \rho_{vann} \times V_F \times g - \rho_F \times V_F \times a = m_E \times a + m_E \times g - \rho_{vann} \times V_E \times g + F$$

Volumet til flyteelementet faktorerises ut på venstre side

$$V_F(-\rho_F \times g + \rho_{vann} \times g - \rho_F \times a) = m_E \times a + m_E \times g - \rho_{vann} \times V_E \times g + F$$

Likningen løses med hensyn på flyteelementets volum

$$V_F = \frac{m_E \times a + m_E \times g - \rho_{vann} \times V_E \times g + F}{-\rho_F \times g + \rho_{vann} \times g - \rho_F \times a}$$

Enhetens masse faktorerises ut over brøkstreken og flyteelementets egenvekt faktorerises ut under brøkstreken for å rydde litt

$$V_F = \frac{m_E \times (a + g) - \rho_{vann} \times V_E \times g + F}{-\rho_F(g - a) + \rho_{vann} \times g}$$

Vedlegg 4

Masse- og volum-regnskap

Tabell 24 Masse og volum-regnskap

	Del	Materiale	Antall	Fortrenget volum [mm ³]	Sum volum [dm ³]	Masse [kg]	Sum masse [kg]
Masse og volum	Topplukk	Pom	1	225093,29	0,23	0,321	0,321
	Klaff	Alu	8	2551,09	0,02	0,007	0,056
	Klaffholder	Alu	8	2764,45	0,02	0,007	0,056
	Hylse	PC	1	445904,80	0,45	0,535	0,535
	Bunnlokk	Alu	1	153016,06	0,15	0,28	0,28
	Hus bunn	Alu	1	455871,51	0,46	0,829	0,829
	Hus topp	Alu	1	966146,90	0,97	1,459	1,459
	Propell	Pom	2	50062,22	0,10	0,059	0,118
	Spacer	Alu	1	32025,58	0,03	0,087	0,087

Masse	Avstandsstykke	Alu	4	0,00	0,00	0,003	0,012
	DC-motor	-	2	0,00	0,00	0,34	0,68
	Magneter	-	1	0,00	0,00	0,1	0,1
	Skruer	316L	20	0,00	0,00	0,003	0,06

Materiale	Egenvekt (kg/dm ³)
Aluminium 6082-T6	2,710 kg/dm ³
POM (Polyoxymethylene)	1,425 kg/dm ³
PC (Polykarbonat)	1,200 kg/dm ³
316L (Syrefast stål)	8,080 kg/dm ³

Sum	2,42
Vekt i vann [kg]	2,11

4,533

Vedlegg 5

Forsøk med klaff-mekaniske

Etter en rekke internettsøk kom det frem at det er særdeles avansert å gjøre beregninger på krefter som virker mellom magneter. Det vil derfor blir gjort enkle manuelle forsøk for å verifisere at de konseptene til klaffmekanismen som bruker magneter lar seg gjennomføre.

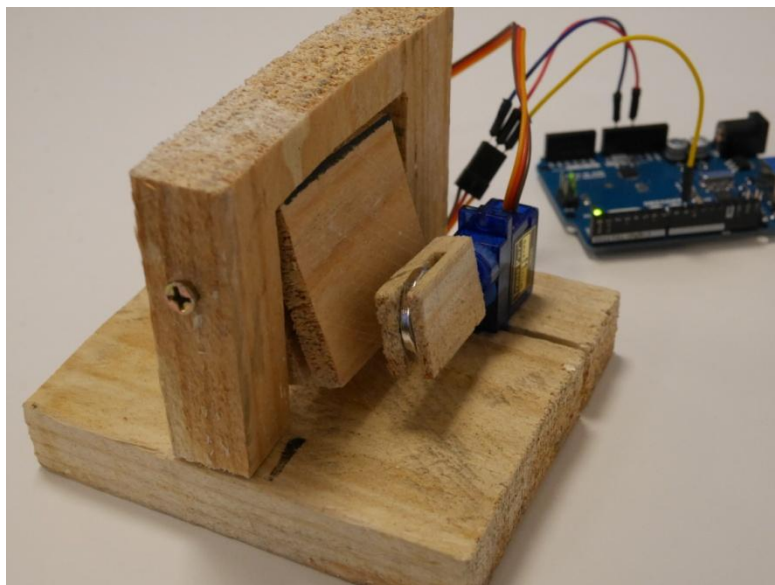
Til klaffmekanismen er det to konsepter som bruker magneter og et konsept som bruker en lineær aktuator. Konseptet med aktuator anses det ikke som nødvendig å gjøre forsøk på da det kun benytter vektarmprinsippet. Utfordringen her vil i all hovedsak dreie seg om å finne korrekt aktuator i en katalog.

For å verifisere at magnetkonseptene er gjennomførbare et ble det lagd en enkel testmodell med en hengslet klaff. I klaffen ble det maskinert festet en permanentmagnet. Når dette var gjort ble det først gjort en rekke enkle, manuelle forsøk for å se om kraften fra en større magnet ville være stor nok til å bevege klaffen ved å holde magneten i hånden og bevege den mot klaffen.

Servomotor:

For å teste servomotorkonseptet ble det lagd en liten magnetholder som ble skrudd fast i en liten servomotor. Servomotoren ble koblet til en Arduino Uno som ble programmert til å rotere klaffen 180 grader.

Klaffen vippet fint frem og tilbake når magneten på servoen roterte. Det ble konkludert med at dette er et godt alternativ. Skulle det senere vise seg at kreftene mellom magnete ikke er store nok kan det være mulig å prøve med kraftigere magneter.



Figur 76 Testklaff (69)

Elektromagnet:

Det ble gjort søk i databasen til elektronikkleverandør RS og søkt etter små elektromagneter. Av de elektromagnetene levert av RS var det en Mecalectro Holding Magnet (70) som var liten nok. Det ble gjort samme forsøk som med servomotoren hvor elektromagneten ble plassert i nærheten av klaffen. I dette forsøket ble derimot magnetene i klaffen byttet ut med magnetisk stål da elektromagneten inneholder så mye stål som gjør at klaffen alltid vil bli tiltrukket denne, uavhengig av polariteten til elektromagneten.



Figur 77 Elektromagnet (70)

Dessverre viste det seg at elektromagneten var langt i fra kraftig nok til å endre klaffens posisjon. Det ble derfor konkludert med at elektromagnetkonseptet ikke vil fungere på den tiltenkte måten. Dette konseptet vil derfor bli gitt lav verdi under i seleksjonsmatrisen.

Vedlegg 6

Kostnadskalkyle

Tabell 25 Kostnadskalkyle

Egenutviklede deler	Materialkostnad	Maskineringskostnad			Antall	Delsum
		Timespris	Antall	Sum		
Hus_topp	kr 365,00	kr 257,00	12	kr 3 084,00	1	kr 3 449,00
Hus_bunn	kr 243,00	kr 257,00	10	kr 2 570,00	1	kr 2 813,00
Spacer	kr 20,00	kr 257,00	2	kr 514,00	1	kr 534,00
Bunnlokk	kr 110,00	kr 257,00	3	kr 771,00	1	kr 881,00
Servoplate	kr 15,00	kr 257,00	3	kr 771,00	1	kr 786,00
Topplukk	kr 162,00	kr 257,00	5	kr 1 285,00	1	kr 1 447,00
Flyteelement	kr 300,00	kr 257,00	4	kr 1 028,00	1	kr 1 328,00
Propell	kr 50,00	kr 257,00	5	kr 1 285,00	1	kr 1 335,00
Propell_mir	kr 50,00	kr 257,00	5	kr 1 285,00	1	kr 1 335,00
Hylse	kr 250,00	kr 257,00	4	kr 1 028,00	1	kr 1 278,00
Klaff	kr 15,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	8	kr 3 204,00
Klaffholder	kr 20,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	8	kr 3 244,00
Motorbrakett	kr 15,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	2	kr 801,00
Rotor	kr 25,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	2	kr 821,00
O-ring retainer	kr 15,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	1	kr 400,50
O-ring retainer 2	kr 15,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	1	kr 400,50
Avstandsstykke	kr 5,00	kr 257,00	0,5	kr 128,50	4	kr 534,00
Magnetholder	kr 15,00	kr 257,00	1,5	kr 385,50	8	kr 3 204,00
					Sum	kr 27 795,00

Tabell 25 forts.

Innkjøpte deler og komponenter	Pris	Antall	Sum
SKY3020	kr 140,00	8	kr 1 120,00
Eclipse N703-RB	kr 25,00	48	kr 1 200,00
M1219-4 magnet RS362-2451	kr 13,29	40	kr 531,60
898100	kr 1 308,00	2	kr 2 616,00
ÖLFLEX CLASSIC 110	kr 55,00	15	kr 825,00
DIN 912 - M3 x 6	kr 5,00	8	kr 40,00
DIN 912 - M3 x 8	kr 5,00	5	kr 25,00
DIN 912 - M3 x 12	kr 5,00	4	kr 20,00
DIN 912 - M3 x 30	kr 5,00	14	kr 70,00
DIN 912 - M4 x 12	kr 5,00	4	kr 20,00
DIN 912 - M4 x 35	kr 5,00	4	kr 20,00
DIN 913 - M5 x 10	kr 5,00	2	kr 10,00
DIN 912 - M10 x 100	kr 10,00	1	kr 10,00
DIN 7991 - M4x8	kr 5,00	8	kr 40,00
DIN 9021 - 10,5	kr 5,00	1	kr 5,00
o-ring 40x2	kr 15,00	1	kr 15,00
o-ring 10x3	kr 15,00	3	kr 45,00
o-ring 70x2	kr 15,00	1	kr 15,00
o-ring 94 x 2	kr 15,00	1	kr 15,00
		Sum	kr 6 642,60

Sammestilling og testing	Timespris	Antall	Sum
Motering	kr 550,00	22,5	kr 12 375,00
Testing	kr 550,00	22,5	kr 12 375,00
		Sum	kr 24 750,00

Vedlegg 7

Beregning kompresjon avstandshylse

Avstandshylsen er designet med et overmål på 0,05 mm. Dette er for å holde avstandshylsen i ro mens propellene roterer. For å komprimere materialet i avstandshylsen med 0,05 mm må det overføres tilstrekkelig med krefter fra Hus_bunn til Hus_topp gjennom de fire skruene som holder de to delene sammen. Under følger utregningen for hvor stor denne kraften må være.

$$E = 70000 \text{ MPa}$$

$$\Delta L = \frac{0,05}{1000} \text{ m}$$

$$L = \frac{4,05}{1000} \text{ m}$$

$$A = 310 \text{ mm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (8.1)$$

$$\epsilon = \frac{0,05}{4,05}$$

$$\epsilon = 0,012$$

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (8.2)$$

$$\sigma = 70000 \times 0,012$$

$$\sigma = 864,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8.3)$$

$$F = \sigma \times A$$

$$F = 864,2 \times 310$$

$$F = 267901,2 \text{ N}$$

For å komprimere avstandsstykket 0,05 mm kreves det en kraft på 268 kN. Dette er naturligvis unødvendig stor kraft for å holde på plass et avstandsstykke som det ikke skal virke noen krefter på. I monteringsanvisningen vil det derfor bli spesifisert at skruene skal strammes i et stjerneremønster så o-ringen blir komprimert og avstandshylsen ikke lengere roterer fritt. I teorien vil avstandshylsen slutte å rotere med en gang avstanden mellom flatene i husene er mindre enn 4,05 mm.

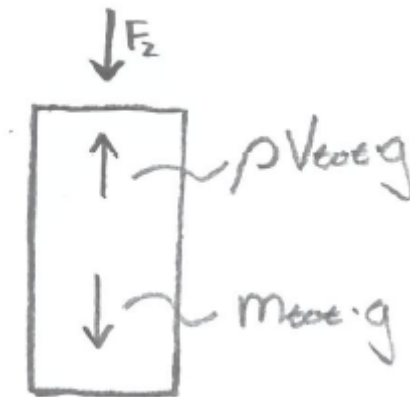
Vedlegg 8

Akselerasjon i vann

$$\begin{aligned}m_{enhet} &= 4,02 \text{ kg} \\m_{flyteelement} &= 0,2 \text{ kg} \\V_{enhet} &= 2,42 \text{ m}^3 \\V_{flyteelement} &= 2,3 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_{tot} &= 4,22 \text{ kg} \\V_{tot} &= 4,72 \text{ m}^3 \\F_z &= 53,3 \text{ N} \\F_{x,y} &= 8,7 \text{ N} \\ \rho &= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

Akselerasjon i Z-retning



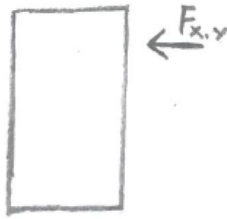
Figur 78 Akselerasjon i Z-retning

$$\sum F = m_{tot} \times a \quad (5.1)$$

$$F_z - \rho \times V_{tot} \times g + m_{tot} \times g = m_{tot} \times a$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{F_z - \rho \times V_{tot} \times g + m_{tot} \times g}{m_{tot}} \\a &= \frac{53,3 - 1000 \times \frac{4,72}{1000} \times 9,81 + 4,22 \times 9,81}{4,22} \\a &= 11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\end{aligned}$$

Akselerasjon i X, Y-planet



Figur 79 Akselerasjon i Z-retning

$$\sum F = m_{tot} \times a \quad (5.1)$$

$$F_{x,y} = m_{tot} \times a$$

$$a = \frac{F_{x,y}}{m_{tot}}$$

$$a = \frac{8,7}{4,22} = 2,1 \frac{m}{s^2}$$

Vedlegg 9

Styring

For å kunne styre enheten under vann må det konstrueres en kontrollenhet. Denne kan enten være fastmontert i en koffert som enheten kan transporteres i eller som en kablet fjernkontroll. En oversikt over nødvendig input og output følger i diagrammet under.

Tabell 16 Input/output diagram

Input	Output
230 V	0-24 V motor 1
User input motor 1	0-24 V motor 2
User input motor 2	4,5 V servo 1-8
User input direction	Signal servo 1
	Signal servo 2
	Signal servo 3
	Signal servo 4
	Signal servo 5
	Signal servo 6
	Signal servo 7
	Signal servo 8

Av input/output diagrammet kommer det frem at enheten trenger følgende komponenter;

1 x 4,5 volts strømforsyning

1 x 24 volts strømforsyning

2 x motorstyring

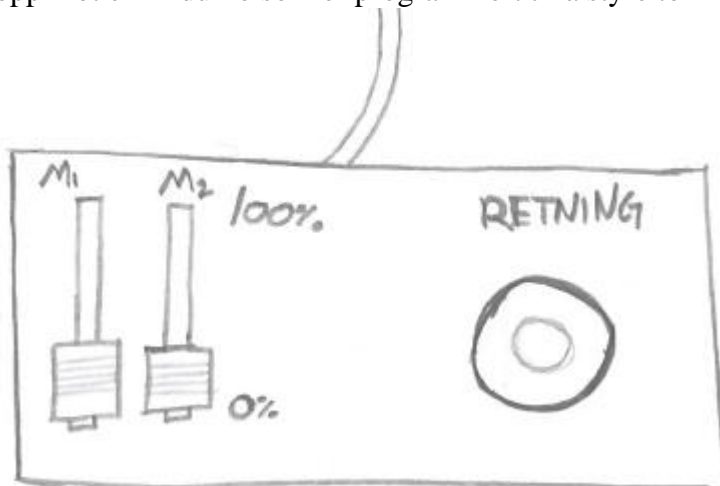
1 x Arduino UNO

Brytere eller spaker for kontroll av enheten

Kontroll:

Av tabell 16 kommer det frem at enheten kun trenger tre bruker-"input". For å gi disse foreslås det å konstruere en enkel håndholdt kontroll.

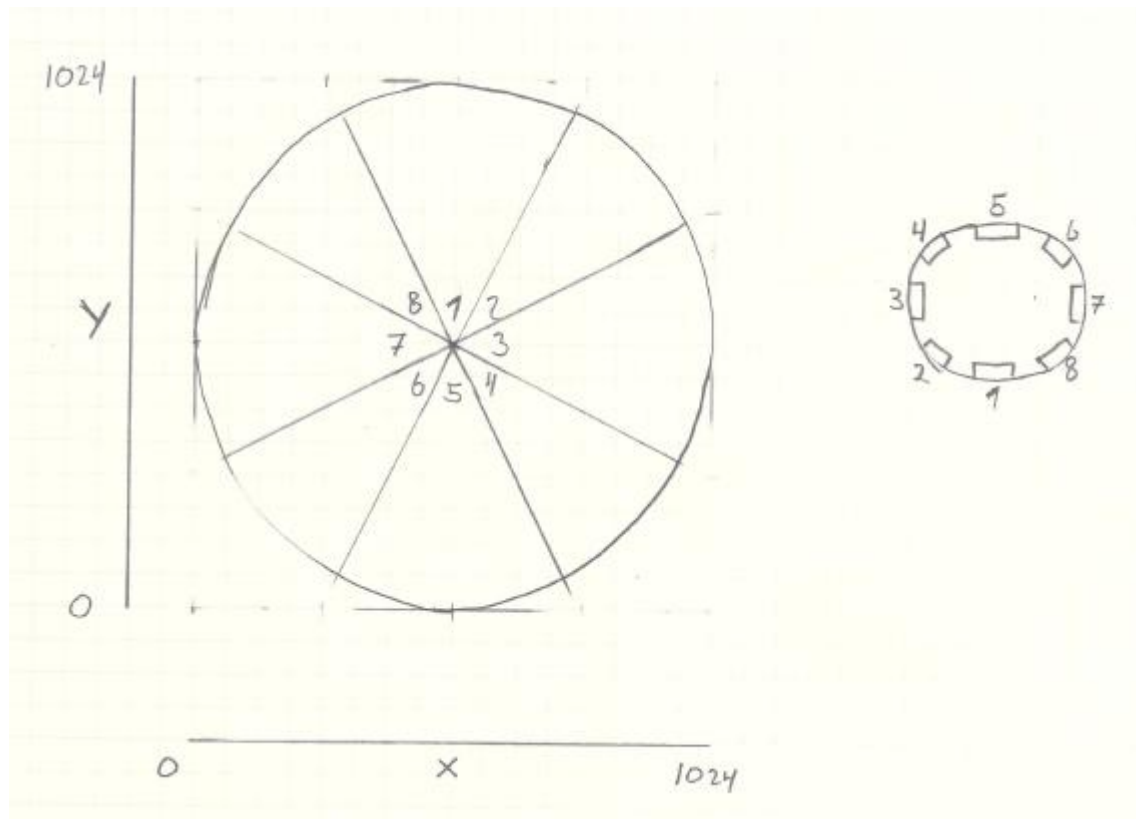
For å styre spenningene til motorene kan to lineære potmeter brukes, mens en analog joystick kan brukes for å justere ventilene som igjen styrer retningen. Både potensiometeret og joysticken kobles opp mot en Arduino som er programmert til å styre to motorkontrollere og åtte servomotorer.



Figur 80 Skisse, kontrollenhet

Arduinoen får to analoge signaler fra joysticken, et for x-aksen og et for y-aksen. Signalet går fra 0 til 1024. Ettersom enheten har åtte ventiler vil det være naturlig å definere åtte "kakestykker". Ved å tolke signalene kan arduinoen lese hvilket av de åtte kakestykkene joysticken er innenfor å åpne motsatt ventil.

For eksempel signalene fra joysticken angir at joysticken befinner seg i kakestykke 2 så skal ventil nummer 6 åpnes. Tilsvarende, i posisjon 8 skal ventil 4 åpnes. Det kan på denne måten aldri være mer enn en ventil åpen på samme tidspunkt.



Figur 81 Skisse, joystick styring

Et lineært potensiometer fungerer på samme måte som en joystick, men de gir kun et signal. Det vil derfor være nødvendig med to potmeter, et for hver motor. Arduinoen vil her lese av en verdi mellom 0 og 1024. Denne verdien oversettes til en spenning mellom 0 og 24 volt som sendes til motoren. På denne måten kan hver av motorene enkelt styres mellom minimum og maksimum effekt.

Under følger en forenklet beskrivelse av styringens ønskede funksjoner. Denne kan overleveres programvare-avdelingen i Stingray når koden til Arduinoen skal skrives.

Beskrivelse av enhetens styring

Komponenter:

- 2 stk DC-motorer
- 2 stk motorkontrollere
- 1 stk Arduino Uno
- 2 stk lineære potmeter
- 1 stk joystick
- 8 stk servoer

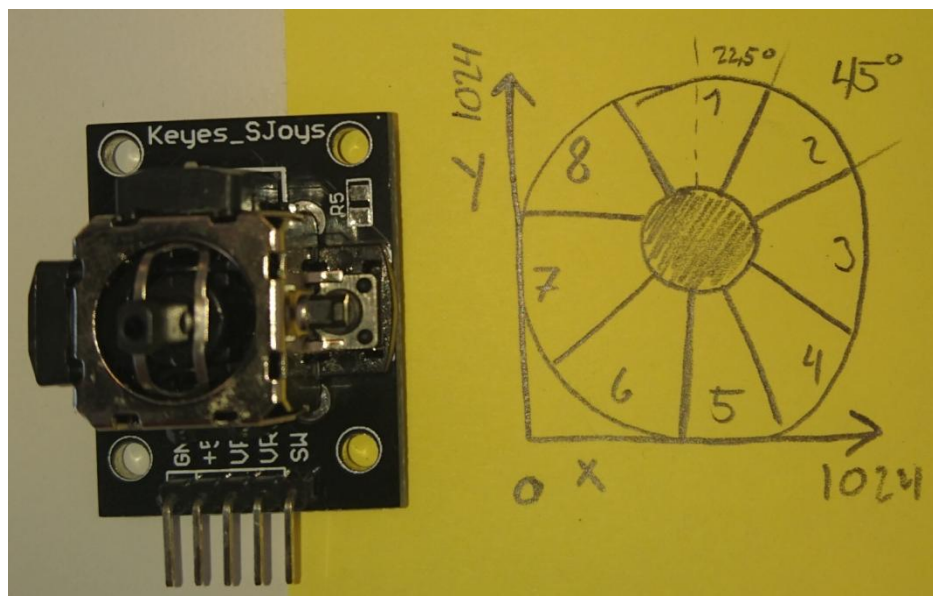
Beskrivelse av styring:

Potmeter 1: Når potmeterverdien endres fra 0-1024 skal spenningen til motor 1 variere fra 0-24 V. Motoren skal kun rotere en retning.

Potmeter 2: Når potmeterverdien endres fra 0-1024 skal spenningen til motor 2 variere fra 0-24 V. Motoren skal kun rotere en retning.

Joystick: Når joysticken står i midten står alle servoene i samme posisjon, når joysticken flyttes inn i et av kakestykkene skal den servomotoren som er tilknyttet det området rotere så fort som mulig 180 grader. Slippes spaken eller flyttes over til et annet kakeestykke skal servomotoren som var rotert 180 grader returnere til 0 grader så fort som mulig og servomotoren som er tilknyttet det nye kakestykket rotere 180 grader så fort som mulig. Det skal defineres et område i senter hvor alle servomotorene står i nullstilling.

Se figur 82



Figur 82 Styrings-"kakeestykke" og joystick

Vedlegg 10

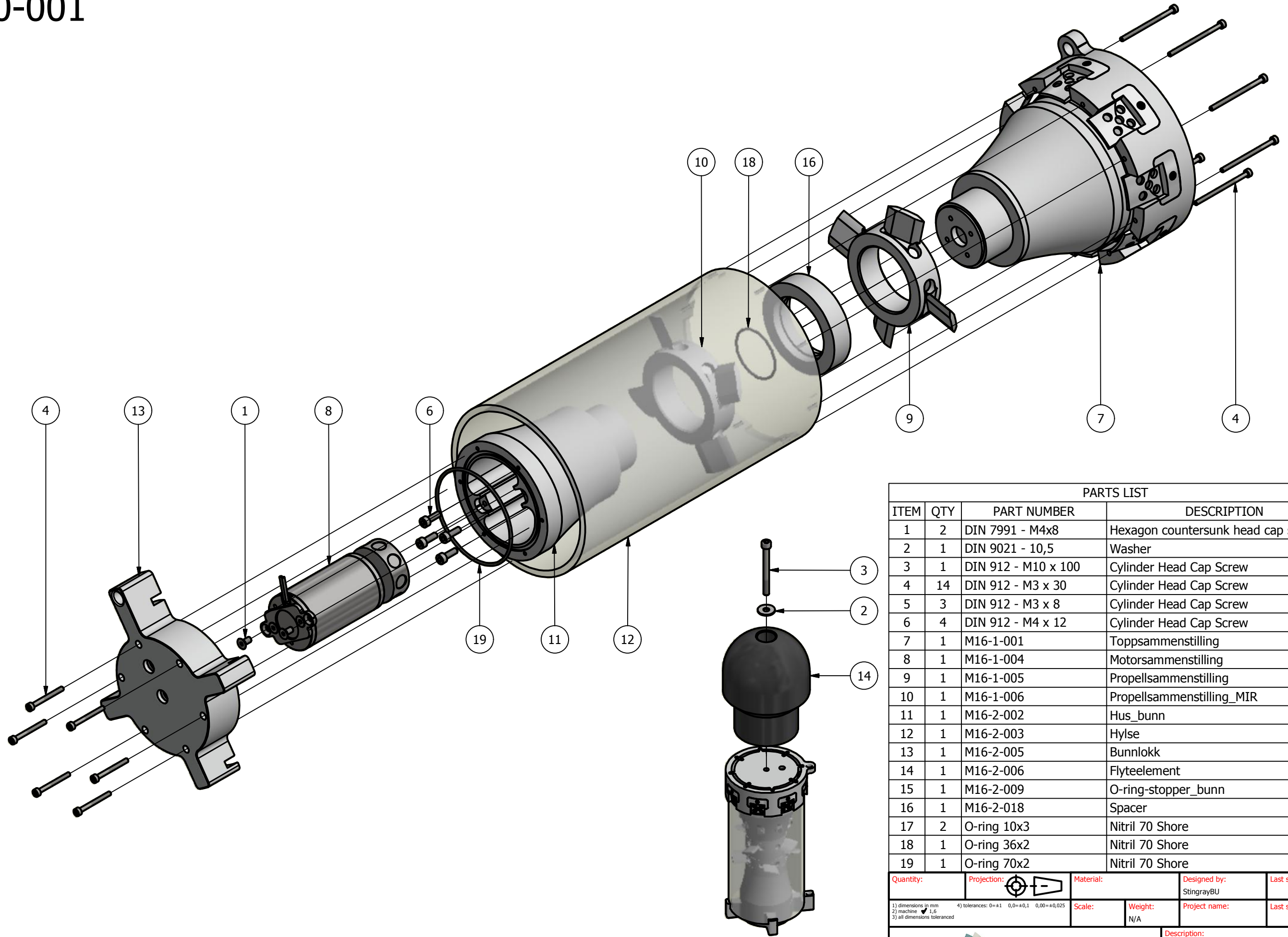
Tekniske tegninger:

Hovedsammenstillingen, undersammenstillinger og alle delene har fått et individuelt nummer basert på systemet under:

M16-0-001:	Master 2016	-	Hovedsammenstilling	-	Løpenummer
M16-1-001:	Master 2016	-	Sammenstilling	-	Løpenummer
M16-2-001:	Master 2016	-	Del	-	Løpenummer

De tekniske tegningene kan virke mangelfulle, og vil uten en datafil være for mangelfulle til å maskinere delen. Alle delene er tenkt maskinert i Stingray sitt verksted hvor CNC-maskinene kan laste inn 3D-filer. Dette gjør at avstander, dybder, hulldimensjoner med mer kan være utelatt fra tegningene. Om ikke annet er spesifisert gjelder de generelle toleransene.

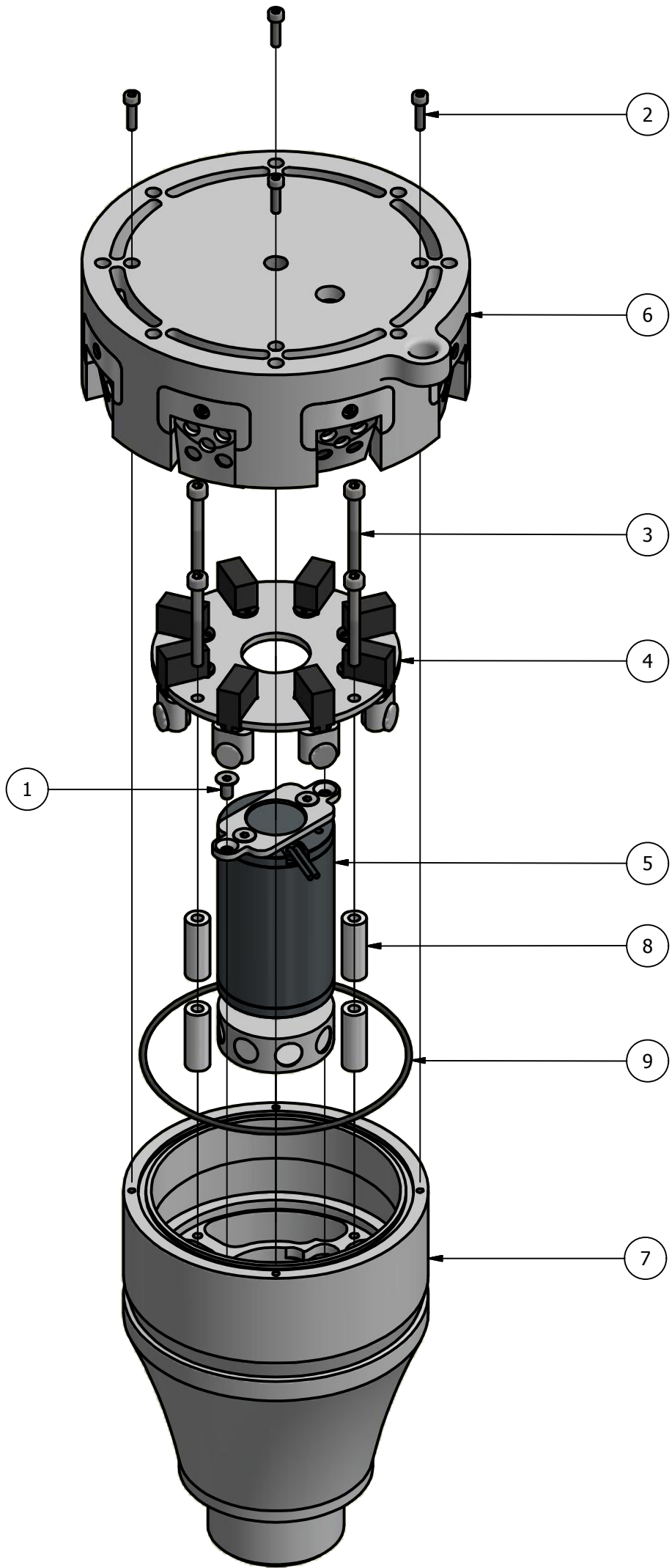
M16-0-001



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	DIN 7991 - M4x8	Hexagon countersunk head cap screws
2	1	DIN 9021 - 10,5	Washer
3	1	DIN 912 - M10 x 100	Cylinder Head Cap Screw
4	14	DIN 912 - M3 x 30	Cylinder Head Cap Screw
5	3	DIN 912 - M3 x 8	Cylinder Head Cap Screw
6	4	DIN 912 - M4 x 12	Cylinder Head Cap Screw
7	1	M16-1-001	Toppsammenstilling
8	1	M16-1-004	Motorsammenstilling
9	1	M16-1-005	Propellsammenstilling
10	1	M16-1-006	Propellsammenstilling_MIR
11	1	M16-2-002	Hus_bunn
12	1	M16-2-003	Hylse
13	1	M16-2-005	Bunnlokk
14	1	M16-2-006	Flyteelement
15	1	M16-2-009	O-ring-stopper_bunn
16	1	M16-2-018	Spacer
17	2	O-ring 10x3	Nitril 70 Shore
18	1	O-ring 36x2	Nitril 70 Shore
19	1	O-ring 70x2	Nitril 70 Shore

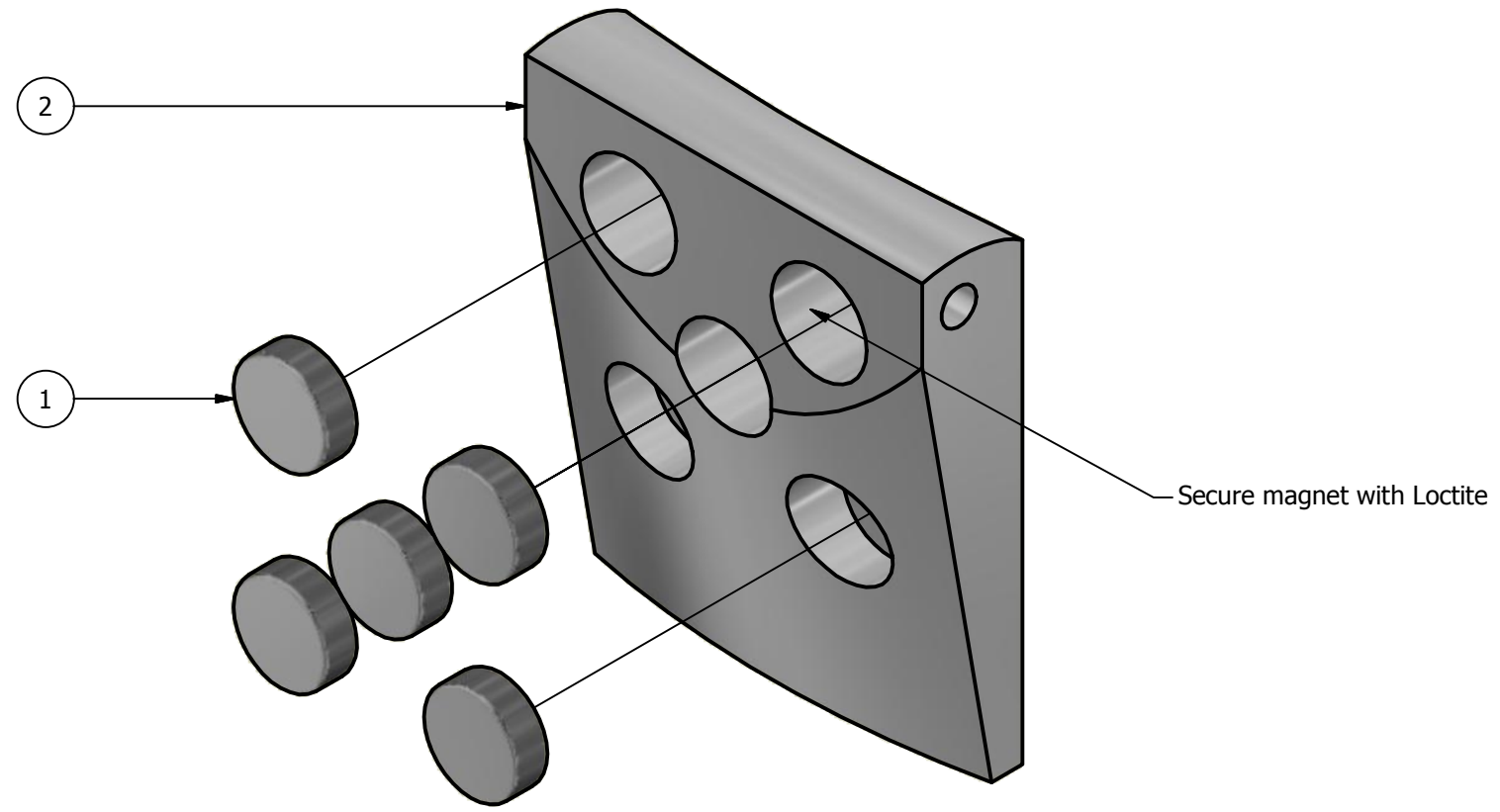
Quantity:	Projection:	Material:	Designed by: StingrayBU	Last saved by:
1) dimensions in mm 2) machine $\pm 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: N/A	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description:	
			Part number: M16-0-001	Size: A3 Sheet: 1/1

M16-1-001



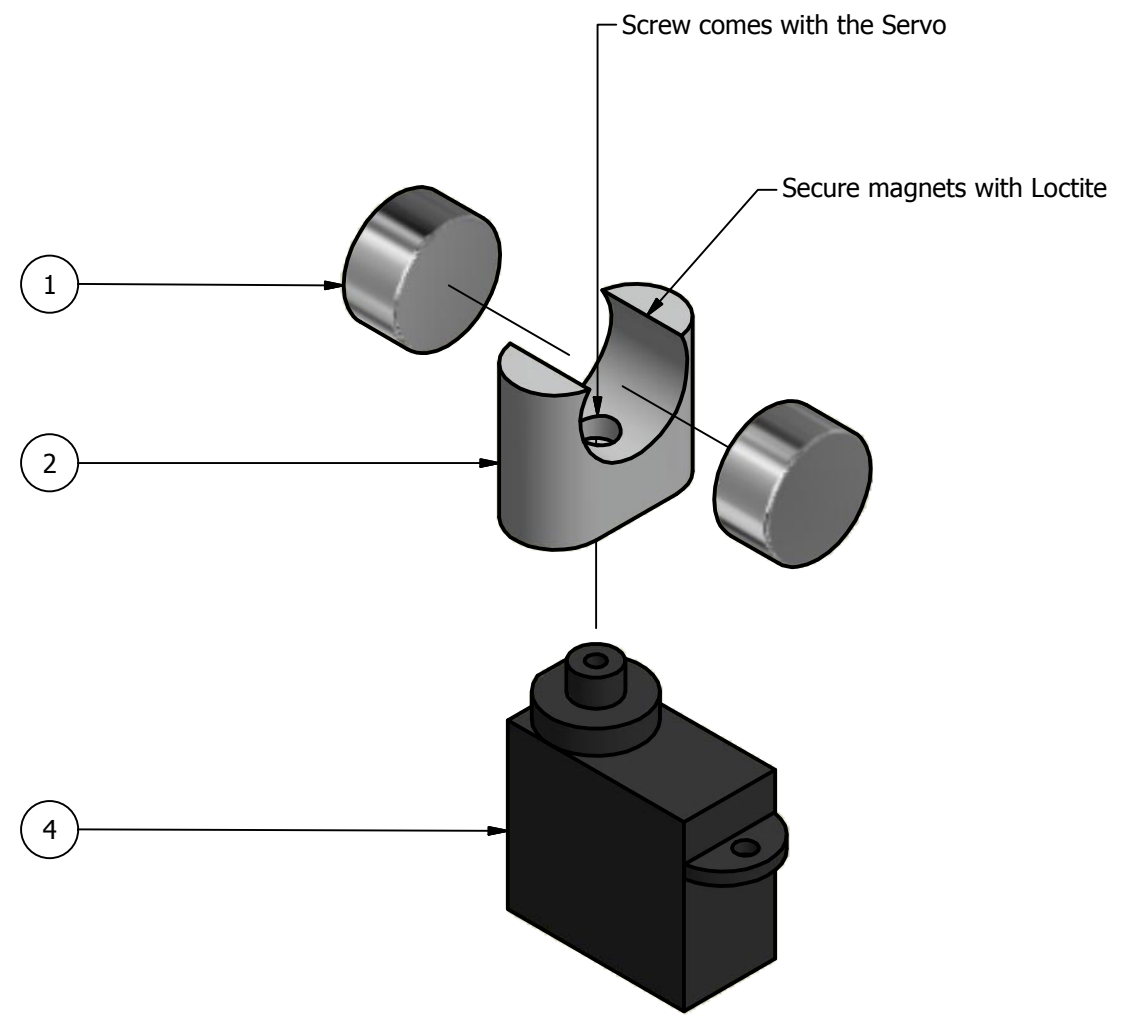
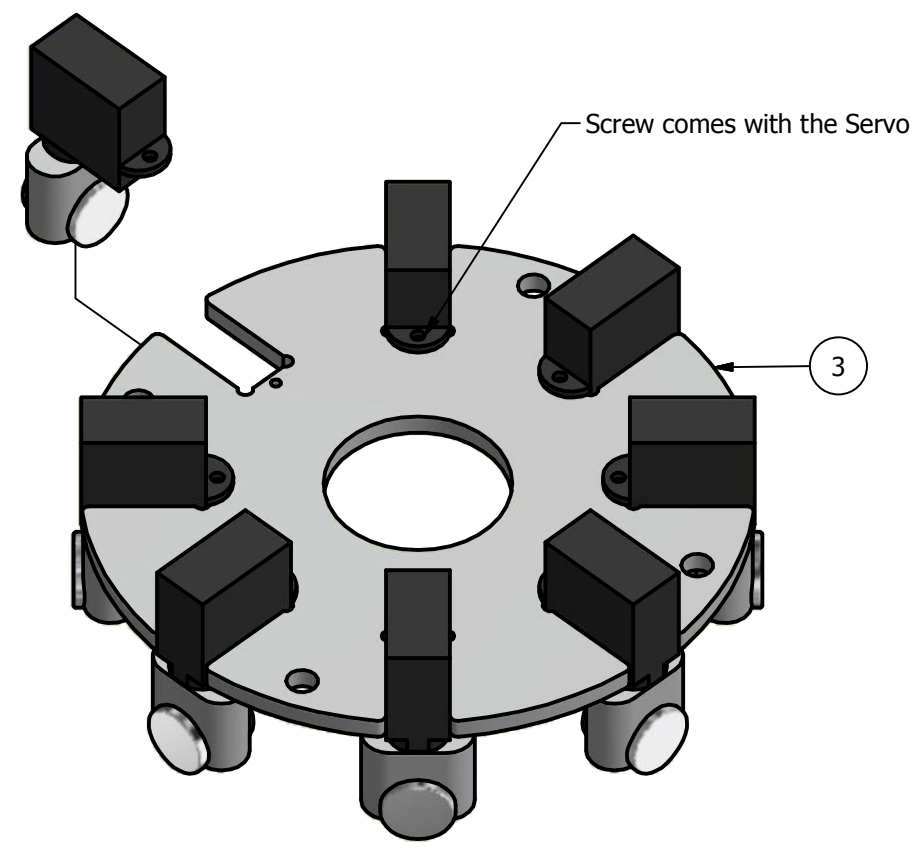
PARTS LIST				
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	
1	2	DIN 7991 - M4x8	Hexagon countersunk head cap screws	
2	4	DIN 912 - M3 x 12	Cylinder Head Cap Screw	
3	4	DIN 912 - M4 x 35	Cylinder Head Cap Screw	
4	1	M16-1-003	Servoplatesammenstilling	
5	1	M16-1-004	Motorsammenstilling	
6	1	M16-1-007	Topplokksammenstilling	
7	1	M16-2-001	Hus_topp	
8	4	M16-2-011	Avstandsstykke	
9	1	O-ring 94 x 2	Nitril 70 Shore	
Quantity:		Projection:	Material:	Designed by:
				StingrayBU
1) dimensions in mm		4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025		Last saved by:
2) machine ∇ 1,6		Scale:	Weight:	Project name:
3) all dimensions toleranced			N/A	Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description:	
			Toppsammenstilling	
			Part number:	Size:
			M16-1-001	A3
			Sheet:	1/1

M16-1-002



PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION		
1	5	M1219-4 magnet RS362-2451	Reed switch magnet		
2	1	M16-2-012	Klaff		
Quantity:		Projection:	Material:	Designed by: StingrayBU	Last saved by:
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced		4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,01 kg	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Klaffsammenstilling		
			Part number: M16-1-002	Size: A3	Sheet: 1 / 1

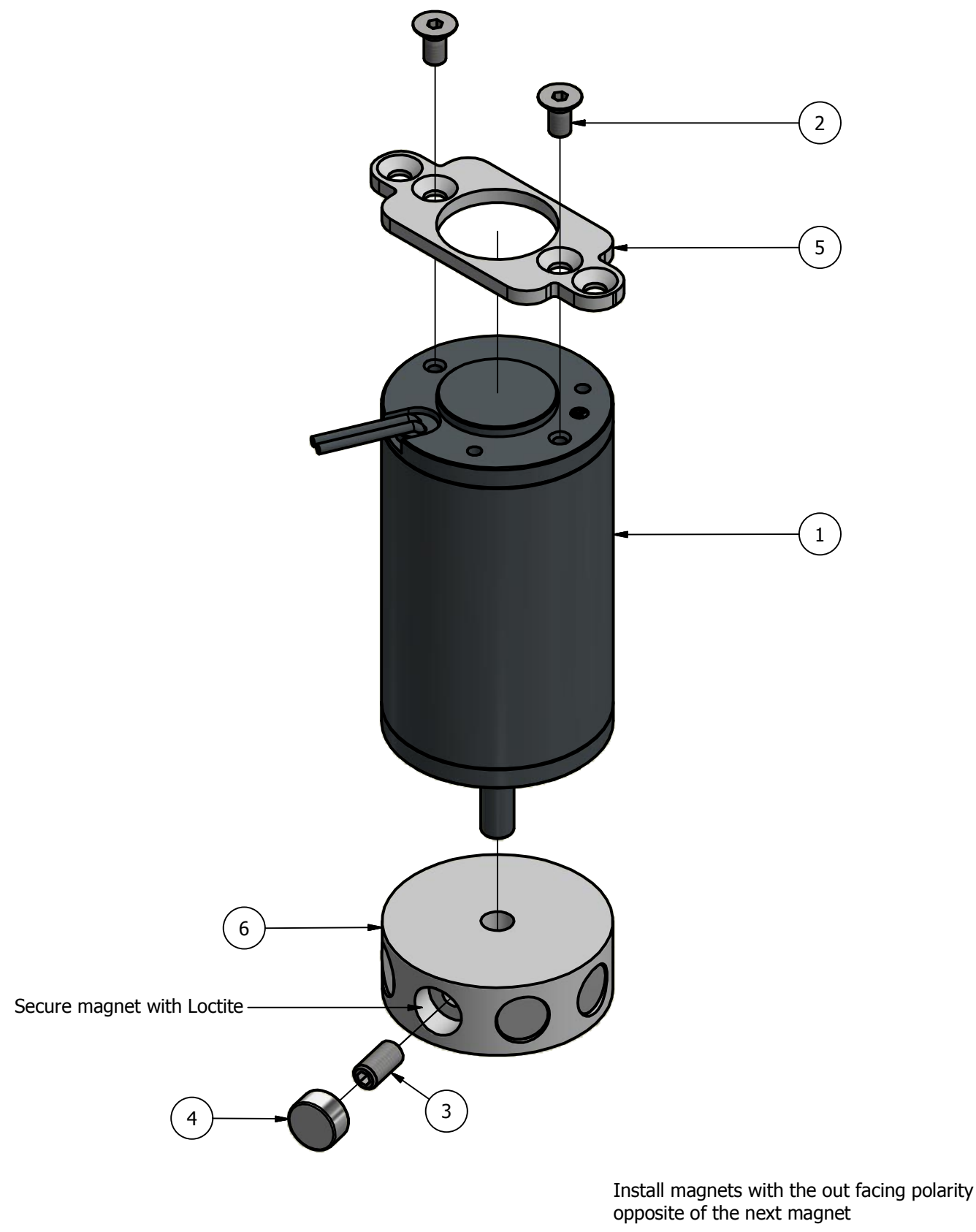
M16-1-003



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	16	Eclipse N703-RB	
2	8	M16-2-013	Magnetholder_servo
3	1	M16-2-014	Servoplate
4	8	SKY3020	

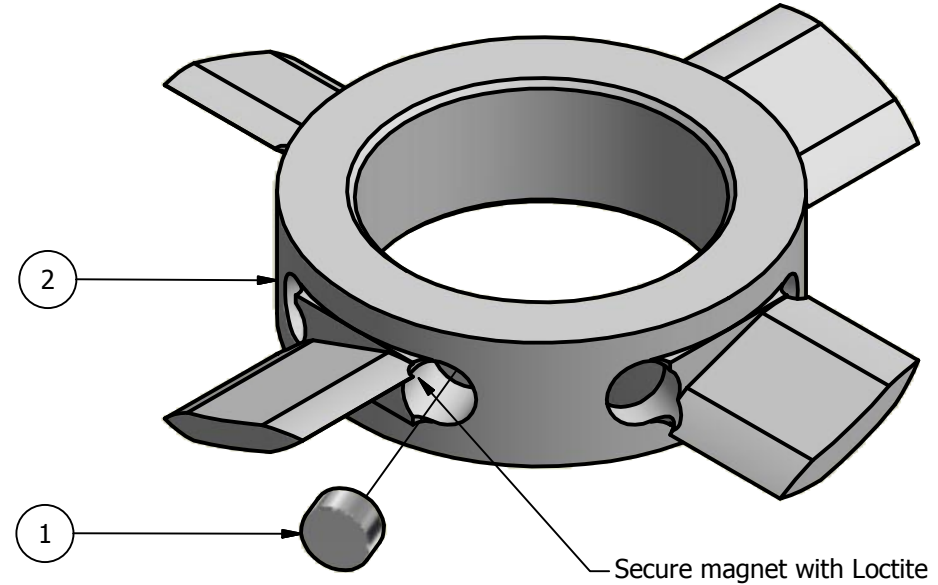
Quantity:	Projection:	Material:	Designed by: StingrayBU	Last saved by:		
<small>1) dimensions in mm 2) machine ± 1.6 3) all dimensions toleranced</small>		<small>4) tolerances: 0=± 1 0,0=$\pm 0,1$ 0,00=$\pm 0,025$</small>	Scale:	Weight: 0,12 kg	Project name:	Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Servoplatesammenstilling Part number: M16-1-003 Size: A3 Sheet: 1 / 1			

M16-1-004



PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION		
1	1	898100			
2	2	DIN 7991 - M4x8	Hexagon countersunk head cap screws		
3	1	DIN 913 - M5 x 10	Hexagon Socket Set Screw		
4	8	Eclipse N703-RB			
5	1	M16-2-016	Motorbrakett		
6	1	M16-2-017	Rotor		
Quantity:		Projection:	Material:	Designed by:	Last saved by:
				StingrayBU	
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced		4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight:	Project name:
				0,33 kg	Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description:		
			Motorsammenstilling		
			Part number:	Size:	Sheet:
			M16-1-004	A3	1 / 1

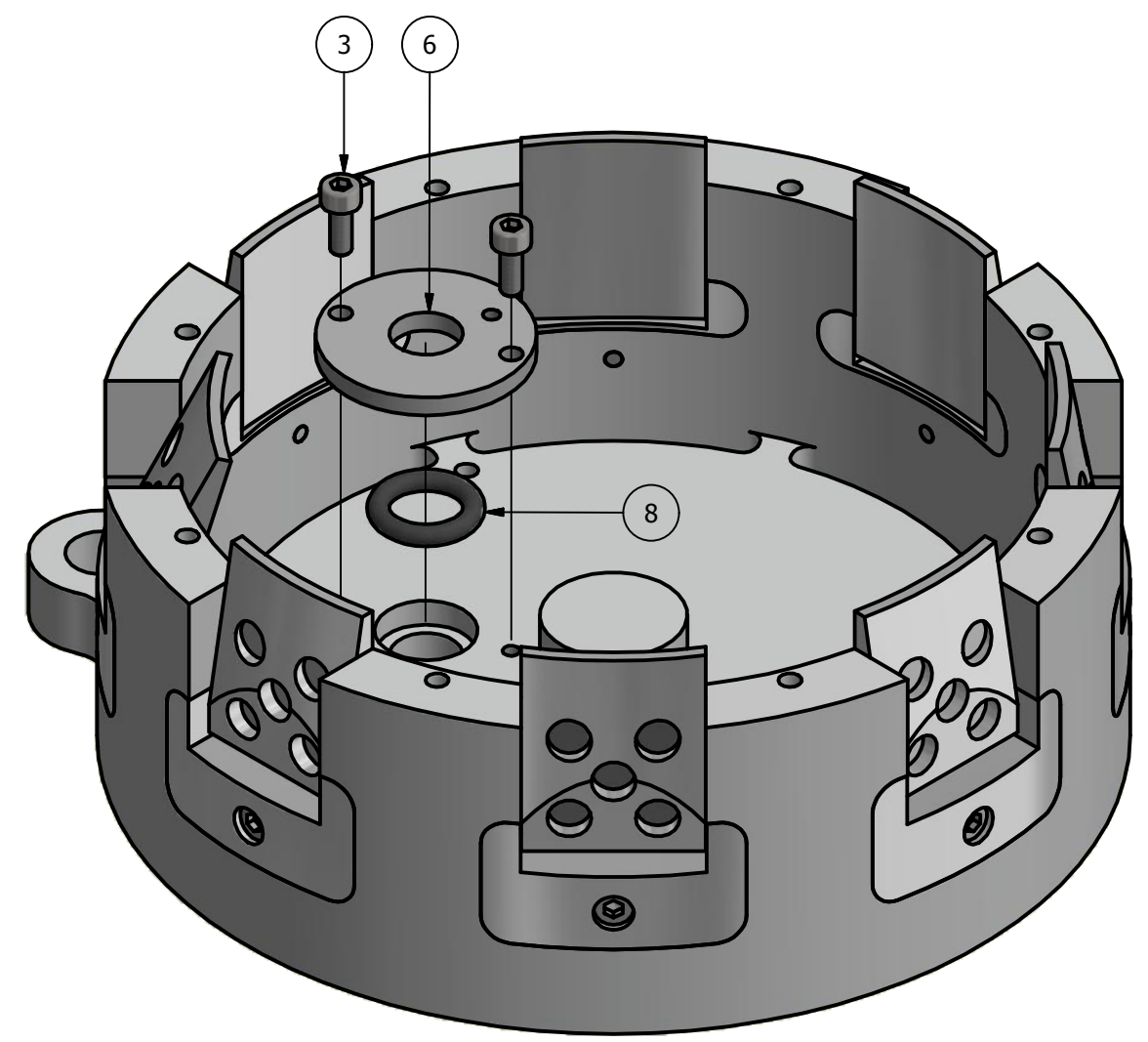
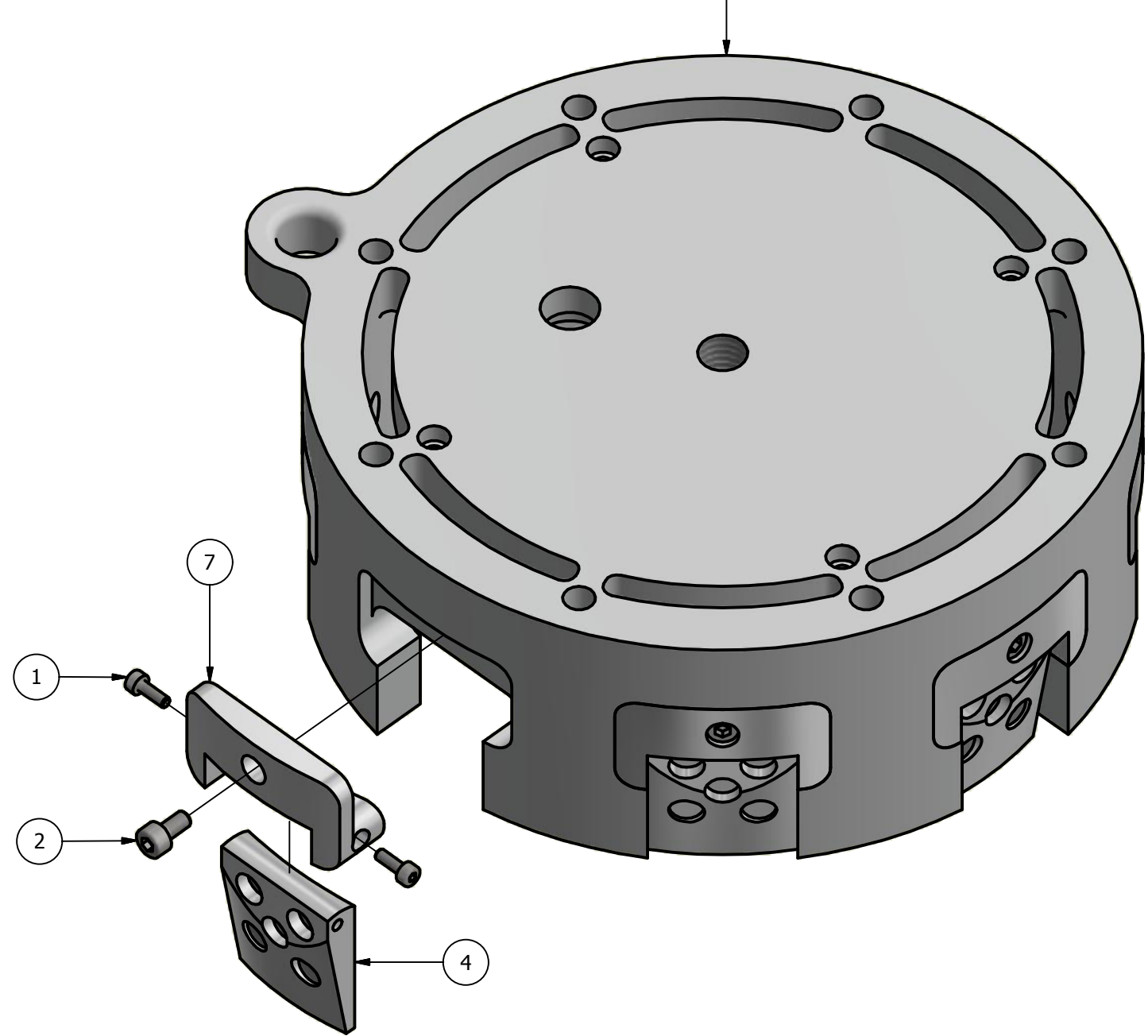
M16-1-005



M16-1-006 Propellsammenstilling_MIR is also assembled like this.

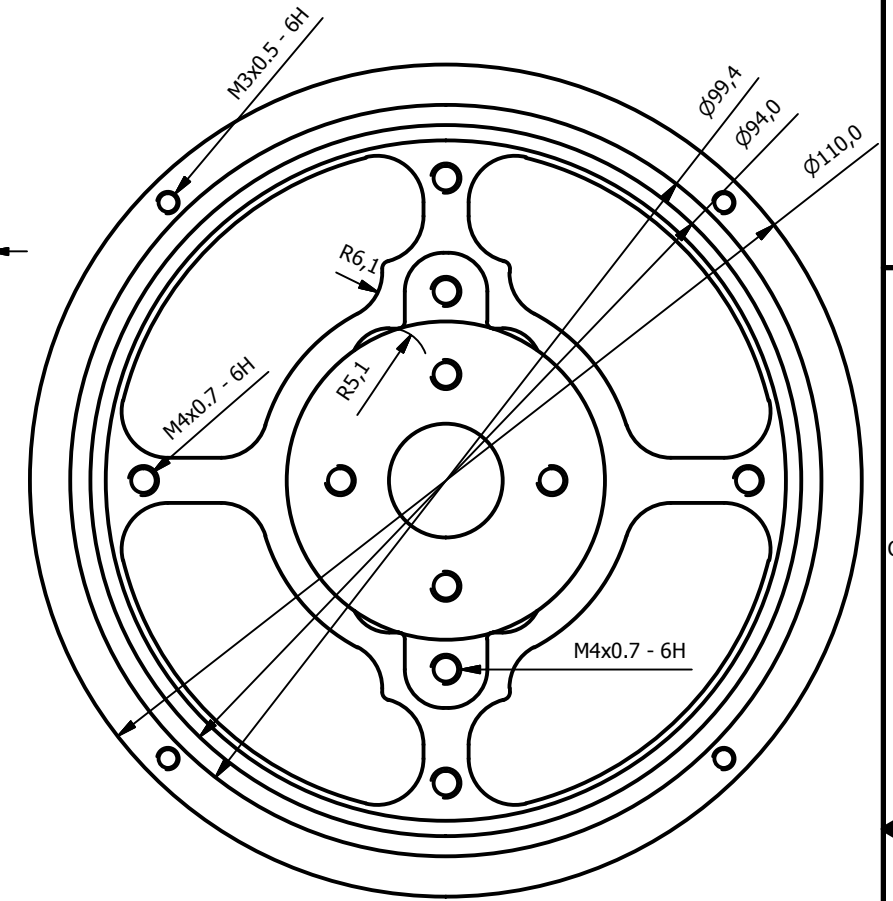
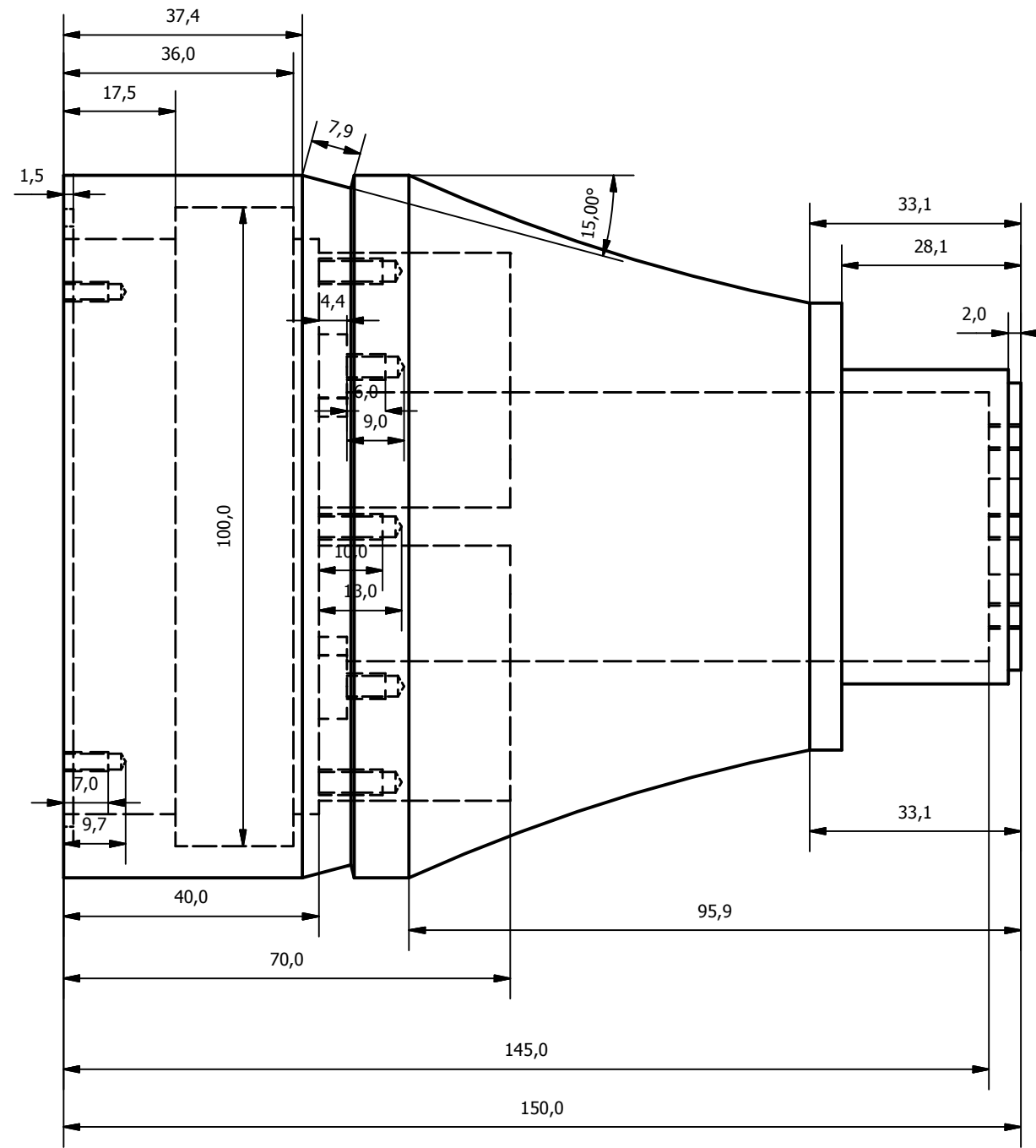
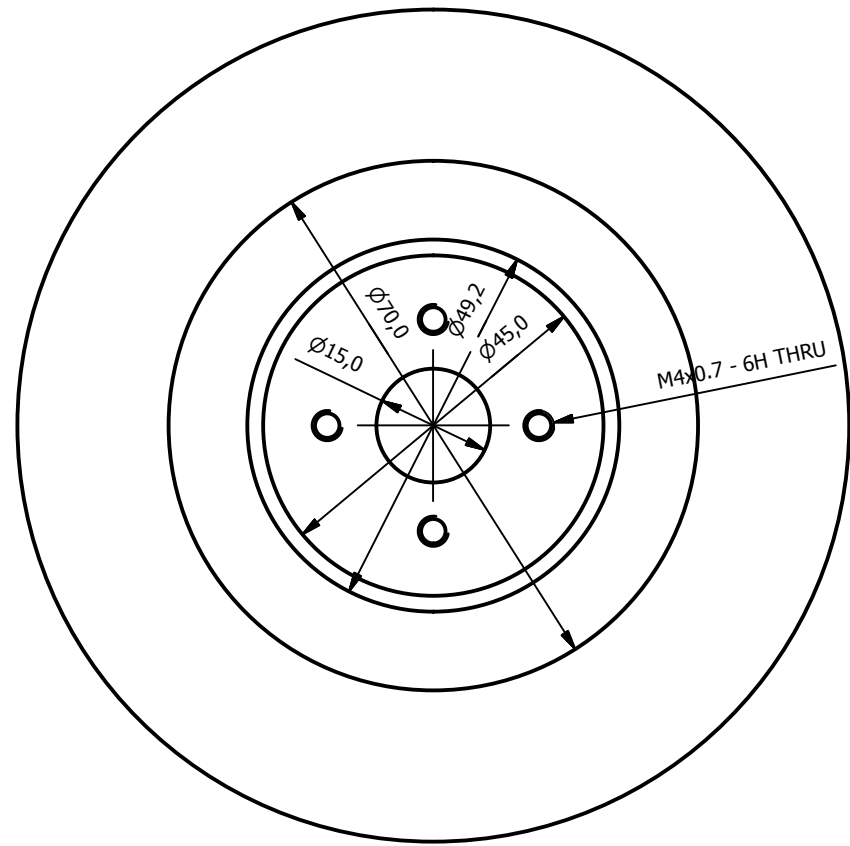
PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION		
1	8	Eclipse N703-RB			
2	1	M16-2-007	Propell		
Quantity:		Projection:	Material:	Designed by: StingrayBU	Last saved by:
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced		4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,08 kg	Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Propellsammenstilling Part number: M16-1-005 Size: A3 Sheet: 1 / 1		

M16-1-007

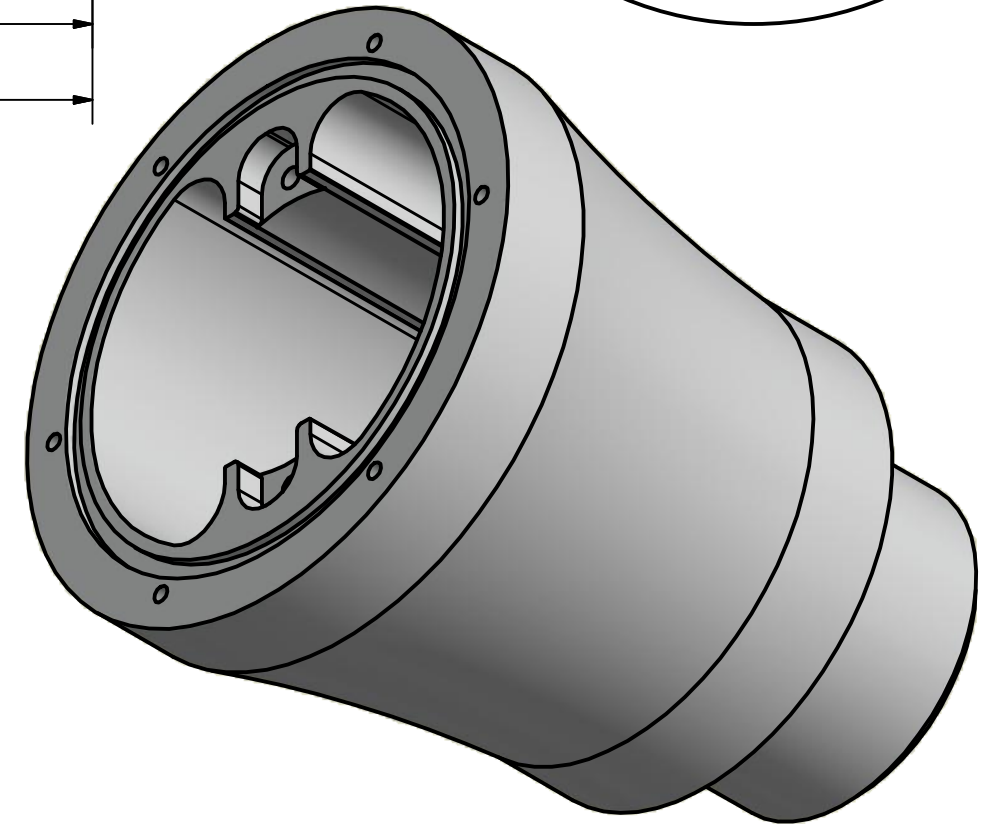
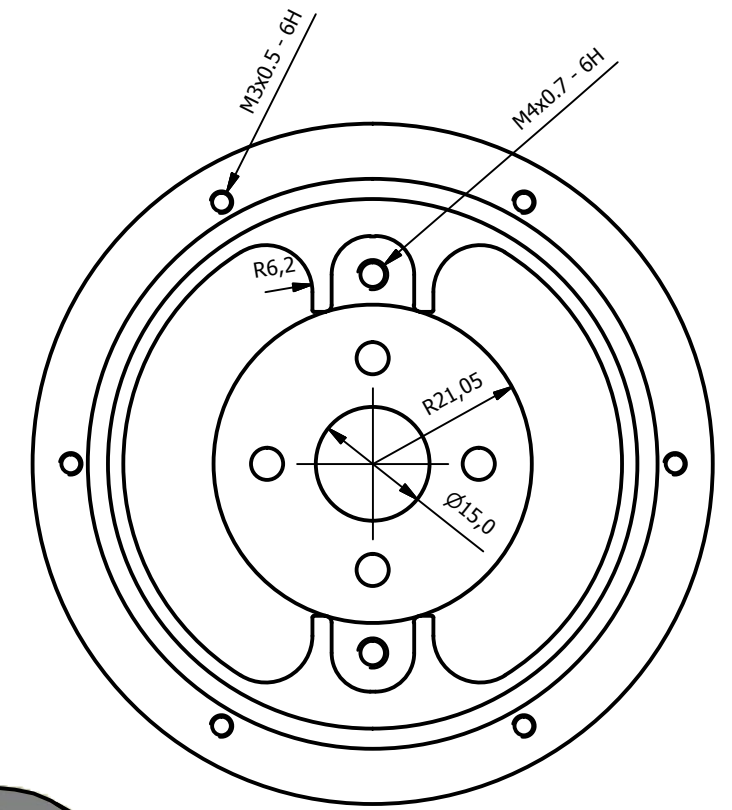
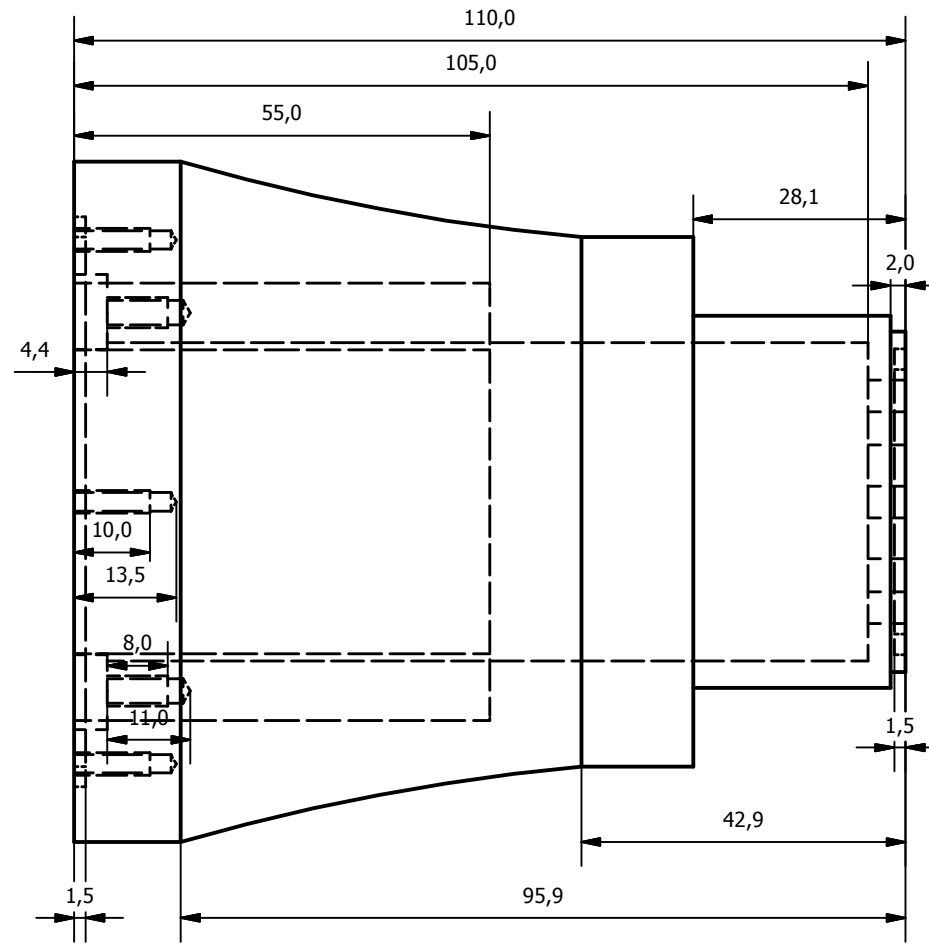
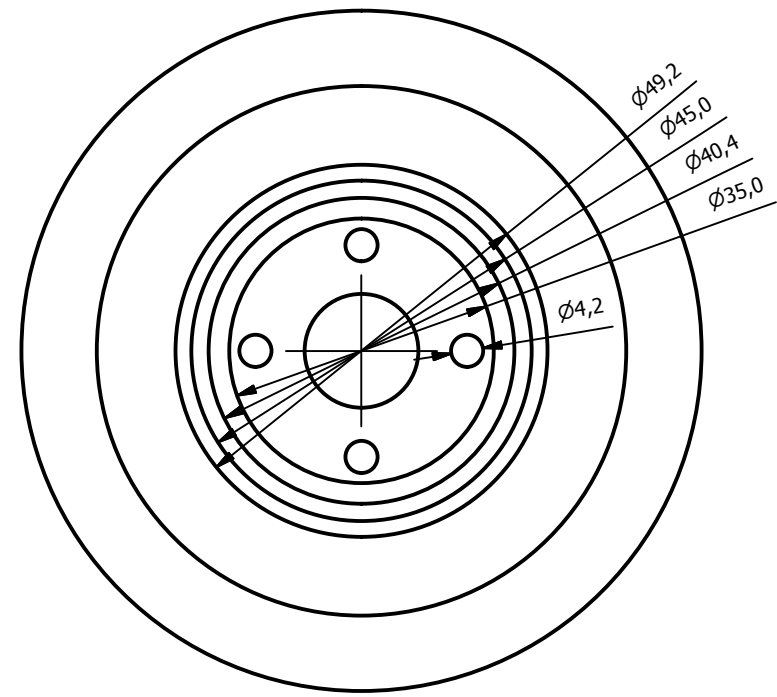


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	16	DIN 912 - M2 x 6	Cylinder Head Cap Screw
2	8	DIN 912 - M3 x 6	Cylinder Head Cap Screw
3	2	DIN 912 - M3 x 8	Cylinder Head Cap Screw
4	8	M16-1-002	Klaffsammenstilling
5	1	M16-2-004	Topplukk
6	1	M16-2-010	O-ringstopper_topp
7	8	M16-2-015	Klaffholder
8	1	O-ring 10x3	Nitрил 70 Shore

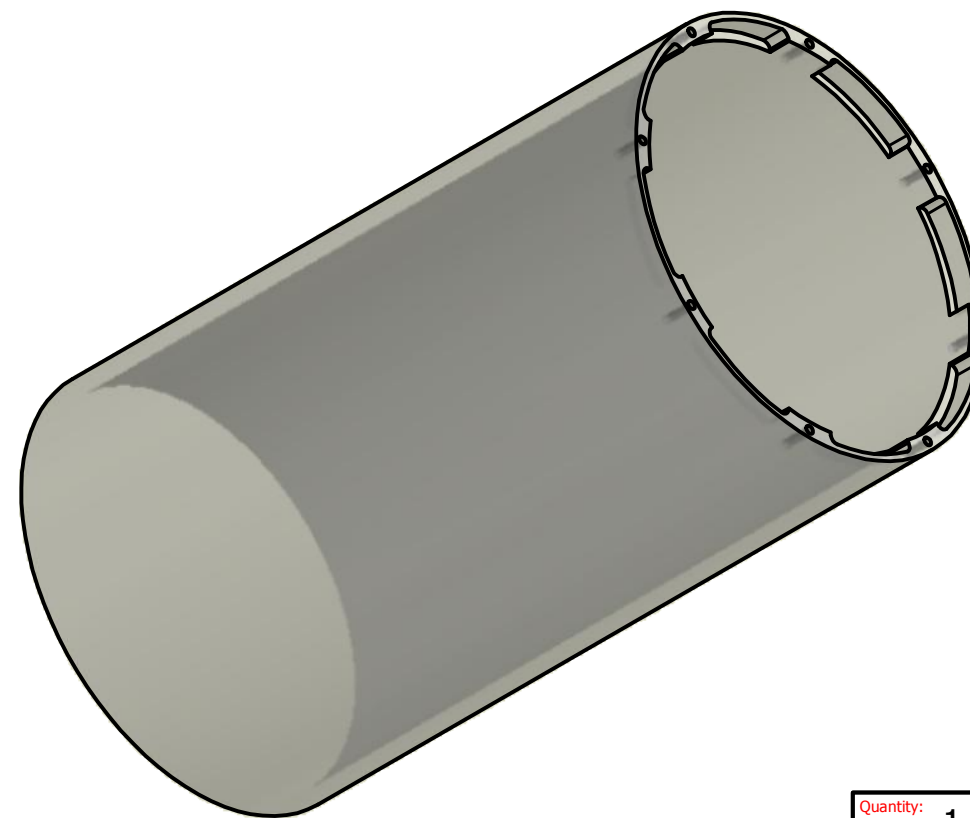
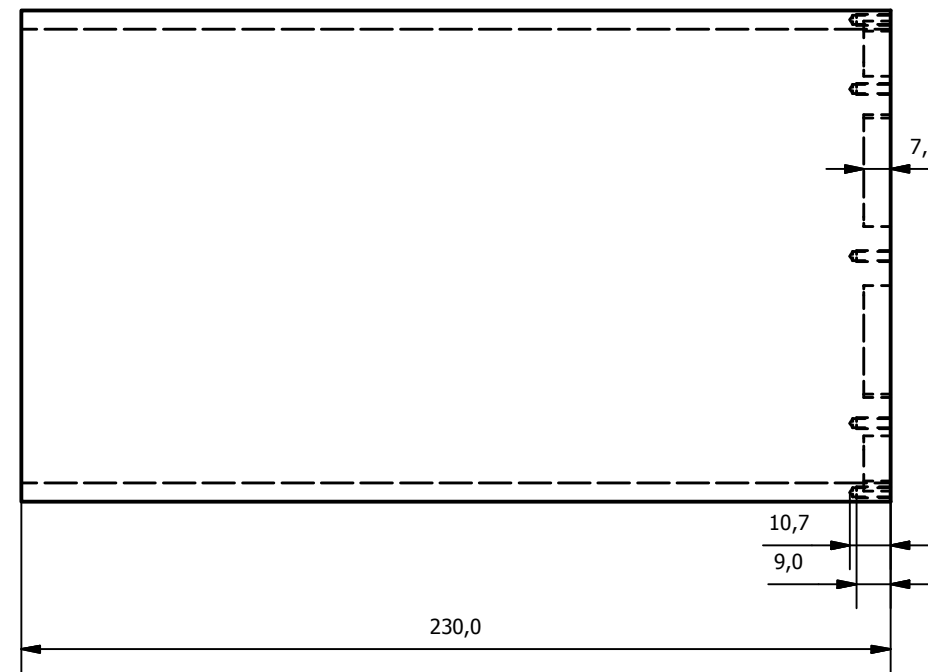
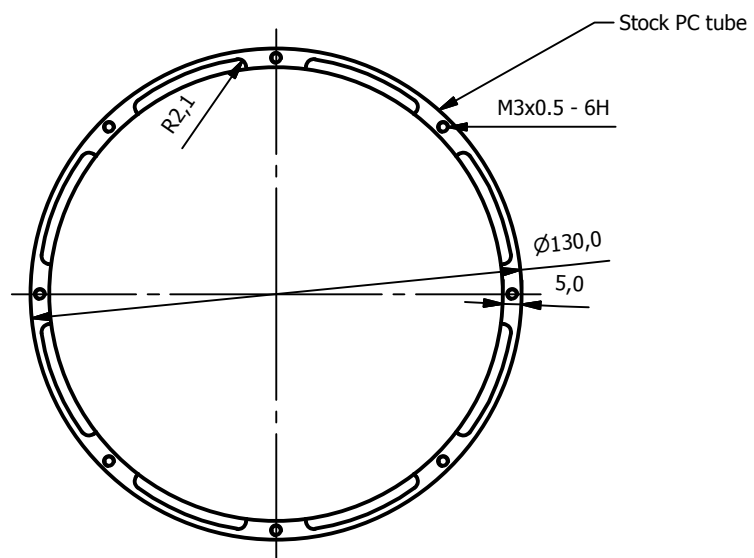
Quantity:	Projection:	Material:	Designed by: StingrayBU	Last saved by:
1) dimensions in mm 2) machine ± 1.6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: N/A	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Topplokksammenstilling Part number: M16-1-007 Size: A3 Sheet: 1/1		



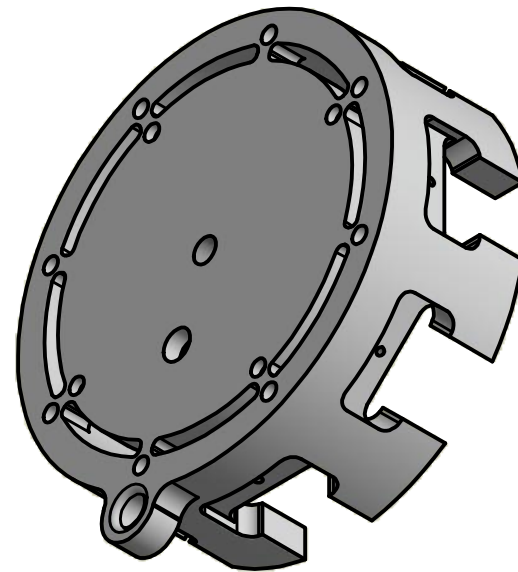
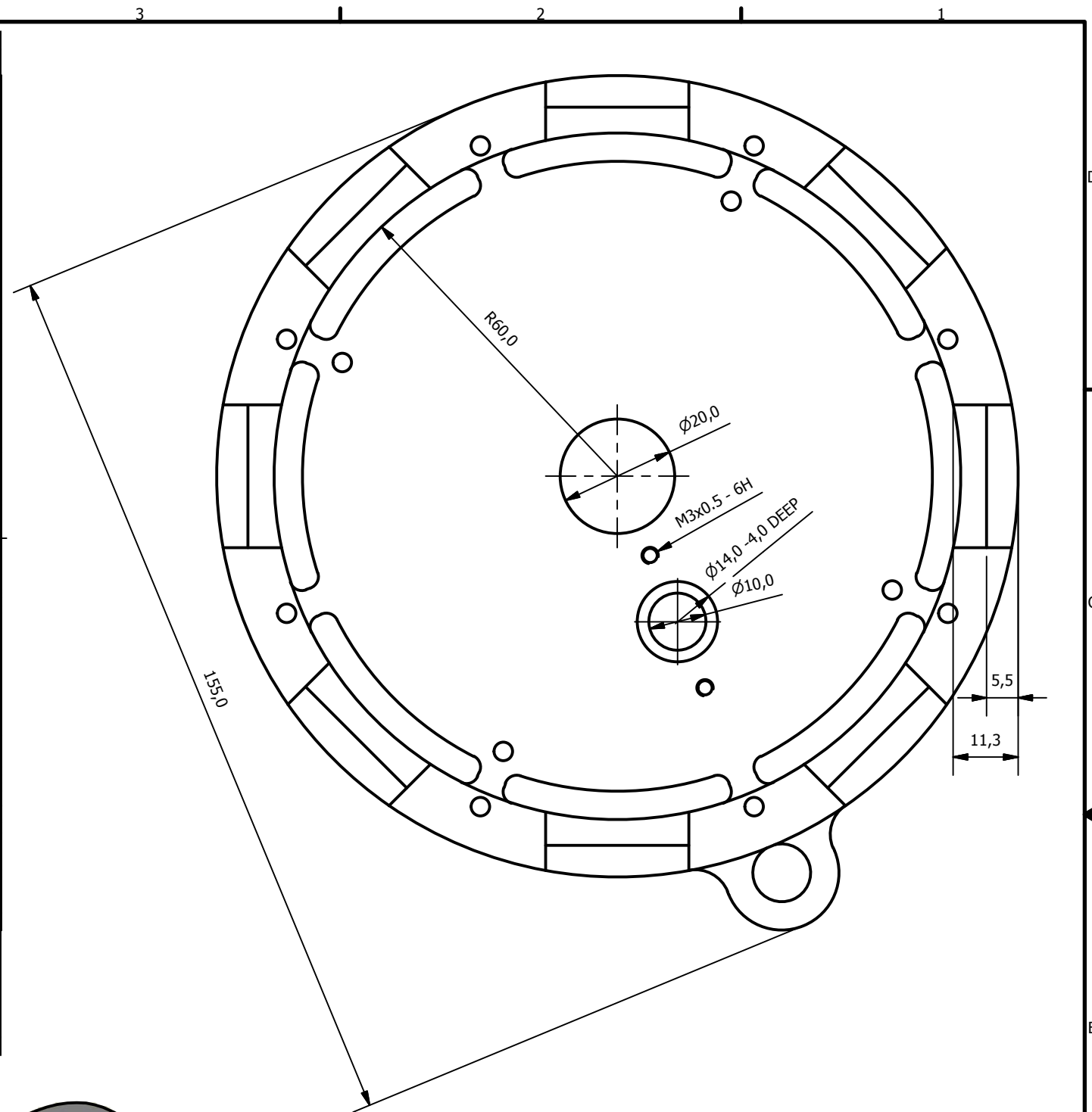
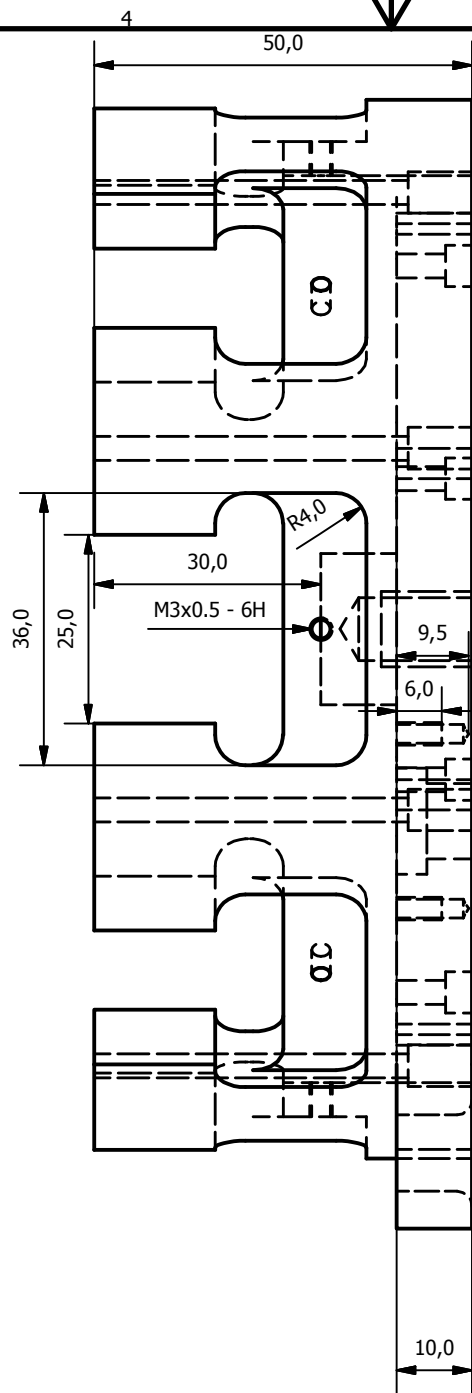
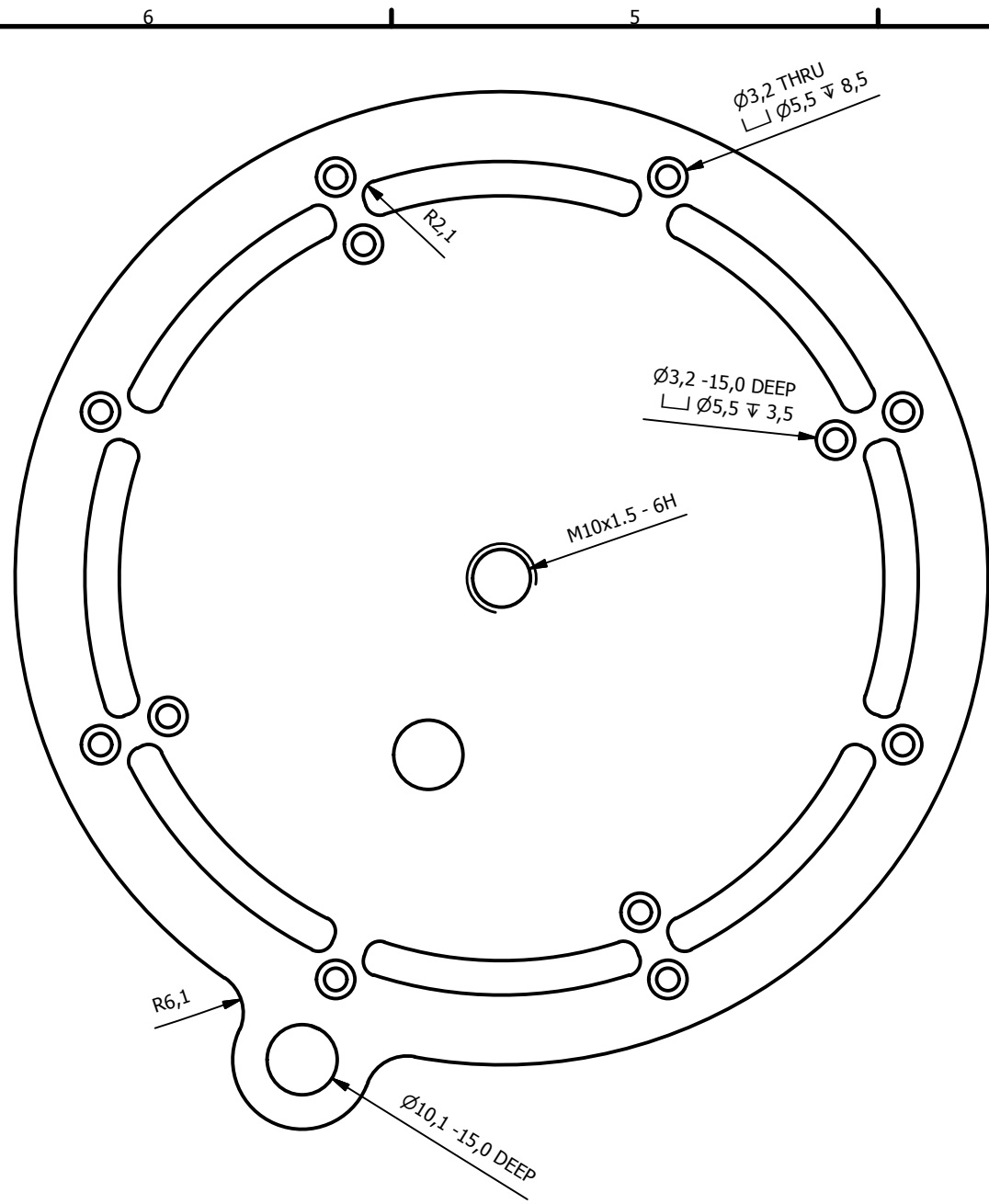
Quantity: 1	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1.6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 1,17 kg	Project name:
		Description: Hus_topp		Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Part number: M16-2-001	Size: A3	Sheet: 1/1



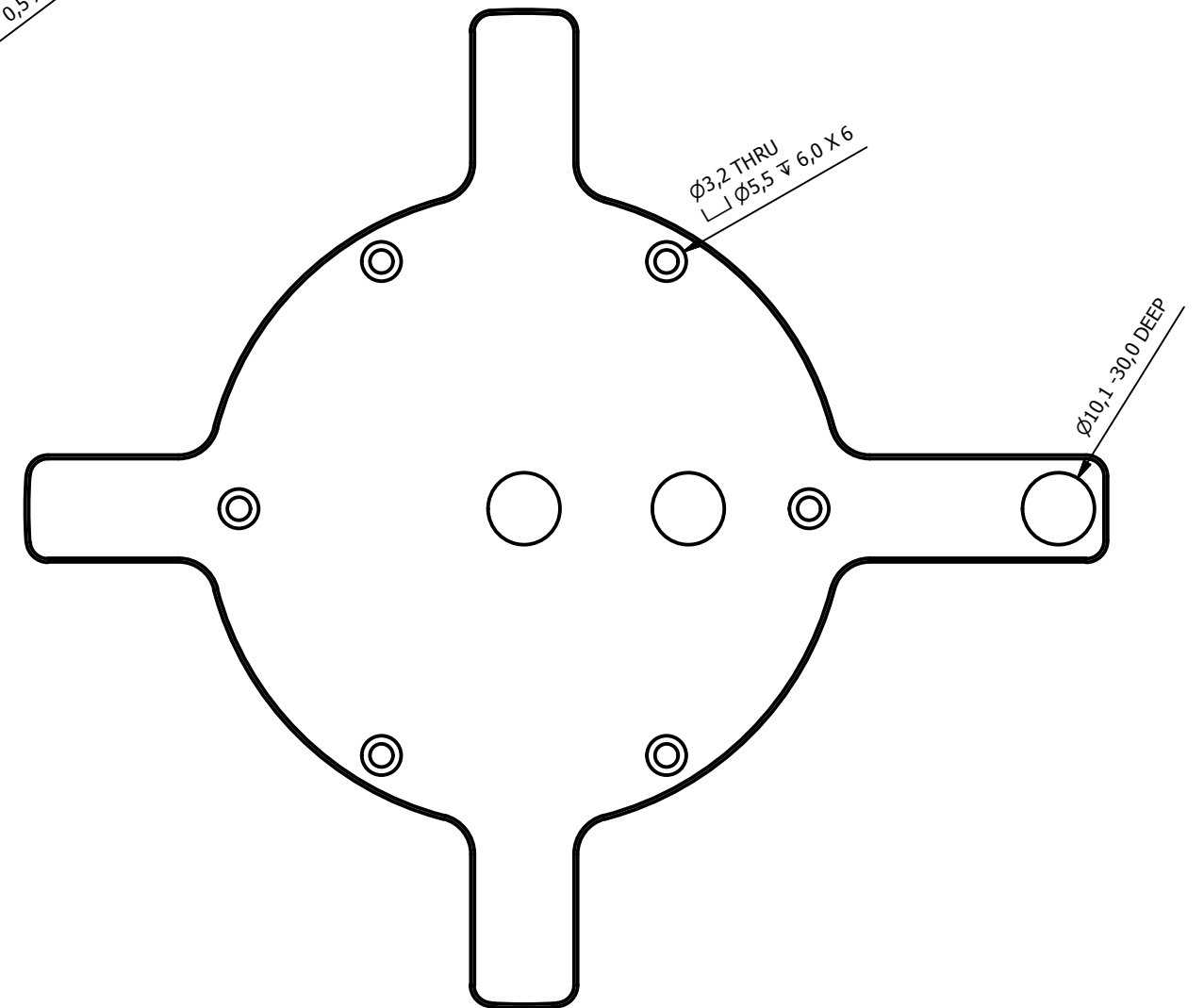
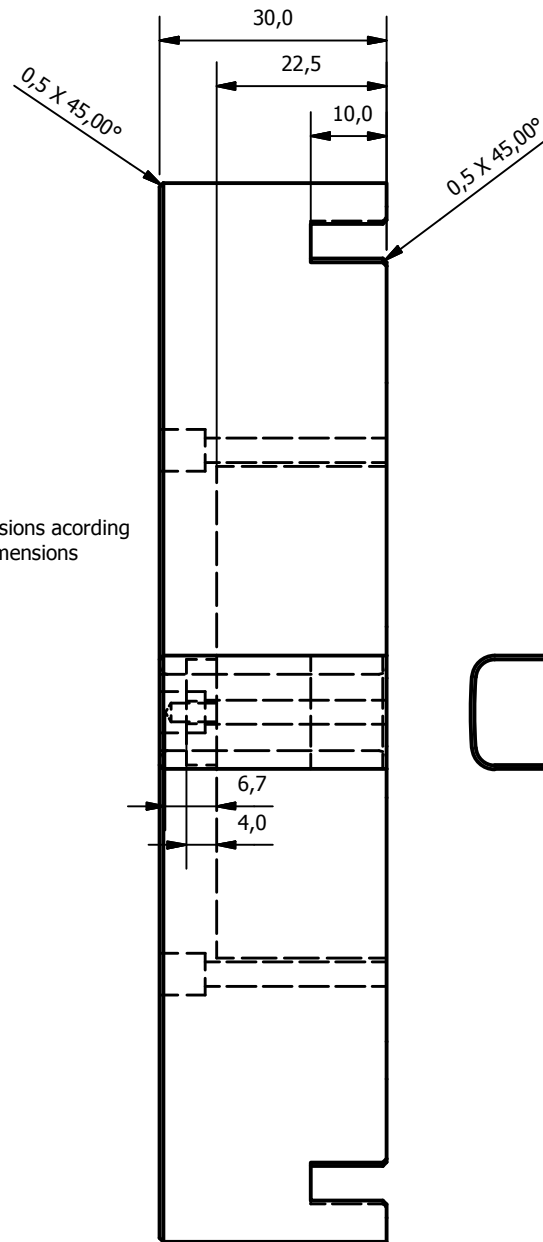
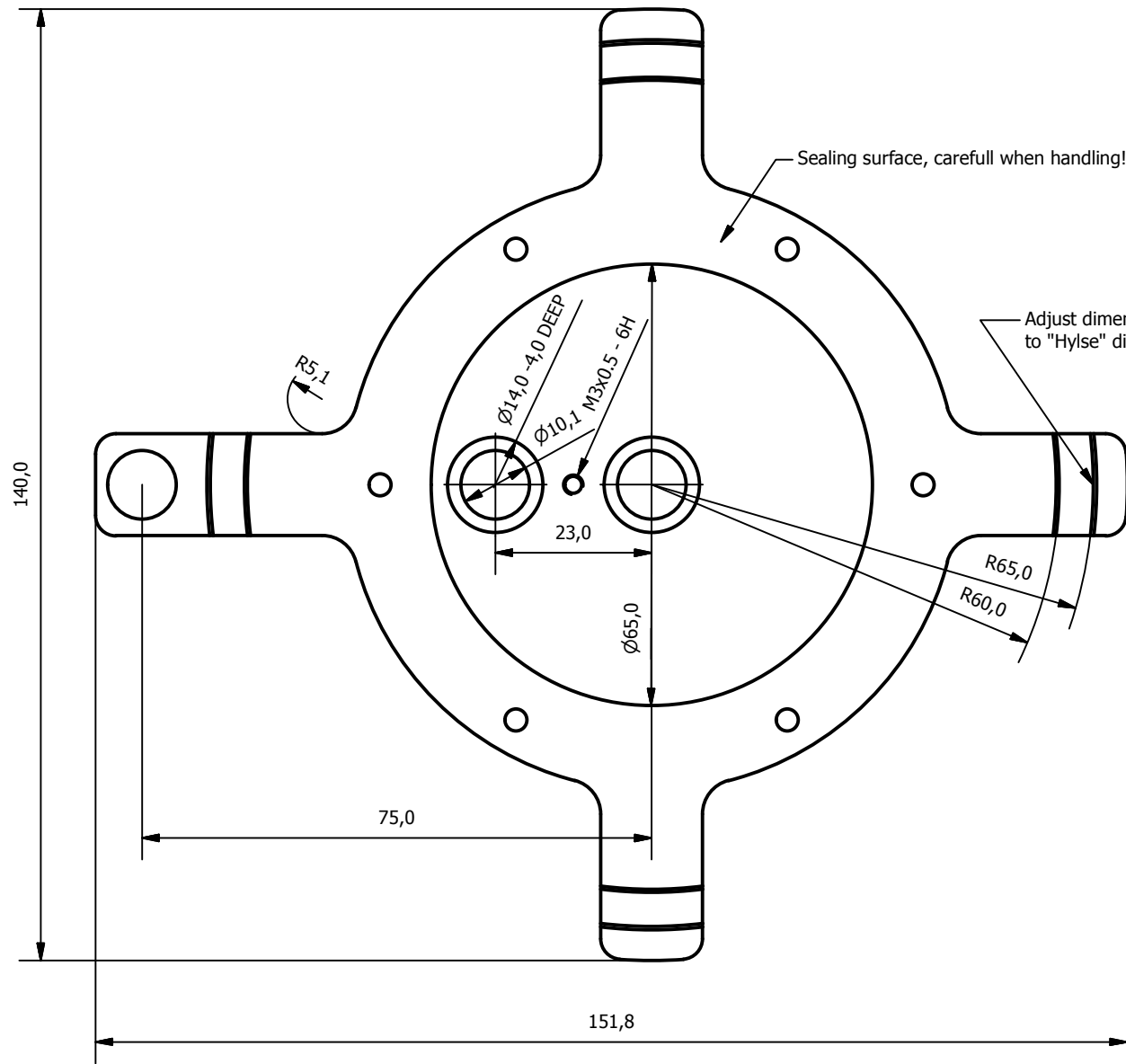
Quantity: 1	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\nabla 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale: N/A	Weight: N/A	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Hus_bunn Part number: M16-2-002 Size: A3 Sheet: 1/1	



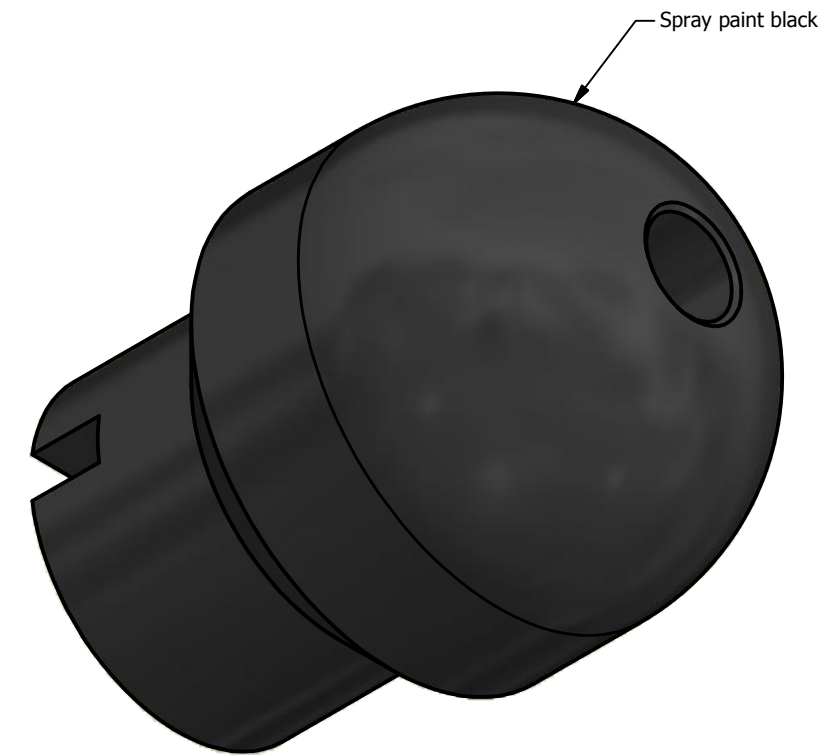
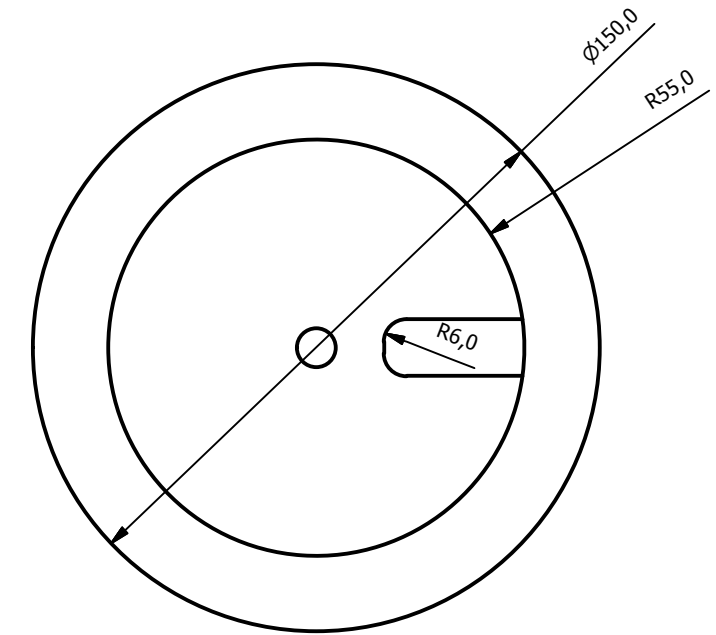
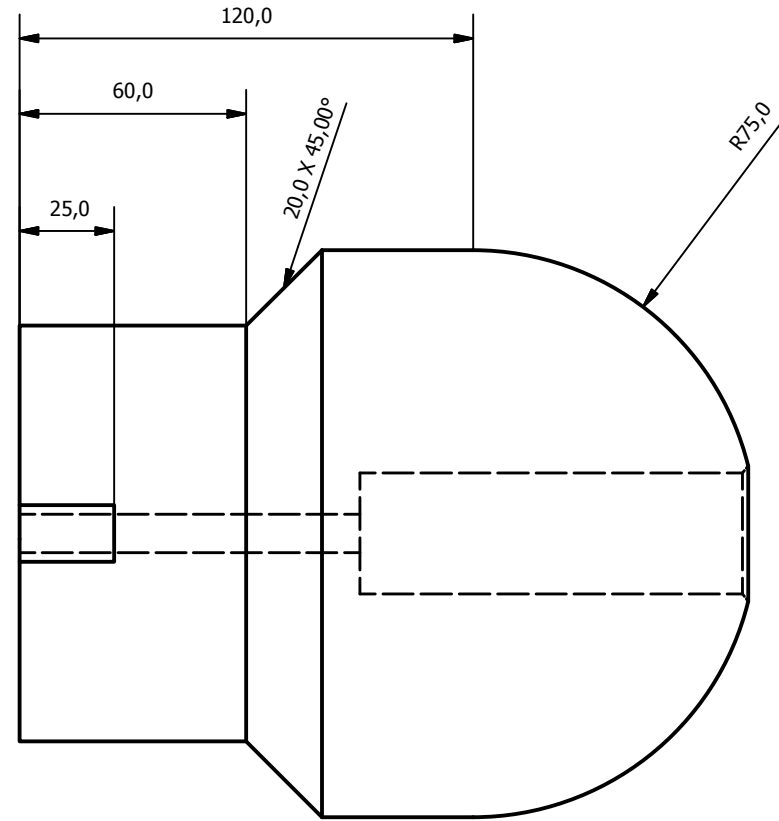
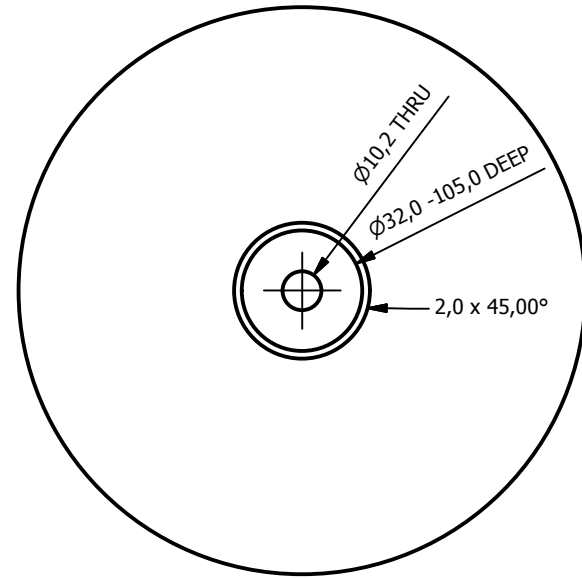
Quantity: 1	Projection:	Material: Polycarbonate, Clear	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\pm 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,54 kg	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Hylse		
		Part number: M16-2-003	Size: A3	Sheet: 1 / 1



Quantity: 1	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\nabla 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,62 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Topplukk	Last saved:
			Part number: M16-2-004	Size: A3 Sheet: 1/1

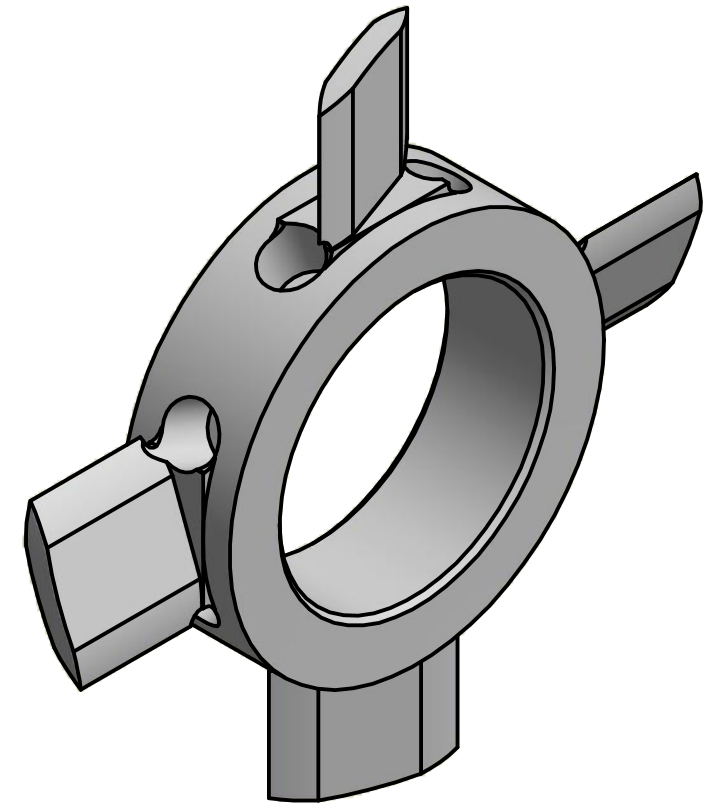
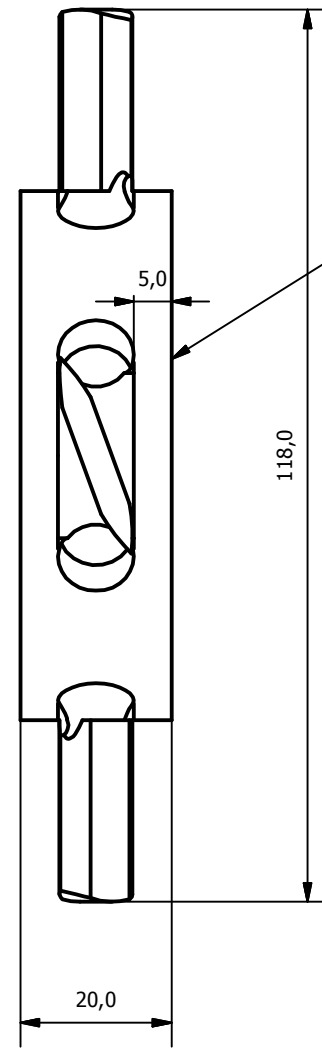
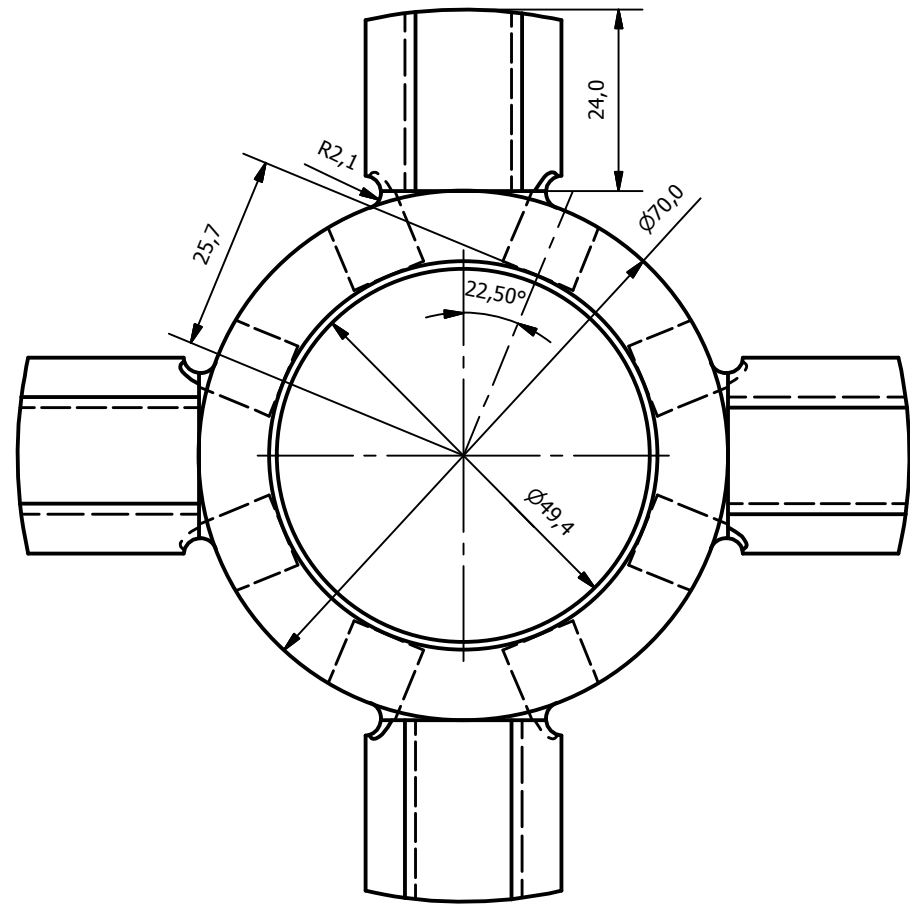


Quantity: 1	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\text{✓} 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,43 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Bunnlokk	Last saved:
			Part number: M16-2-005	Size: A3 Sheet: 1/1

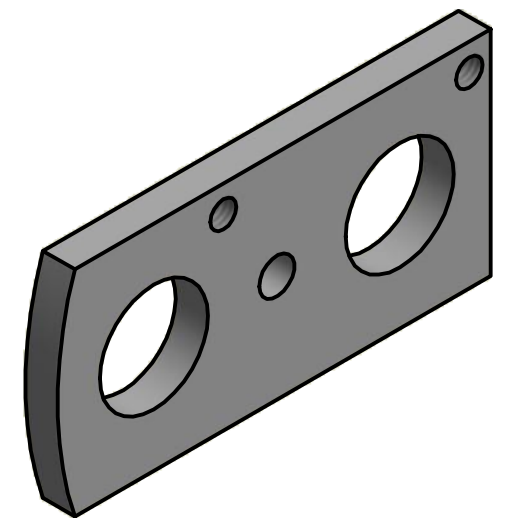
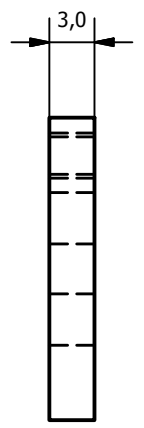
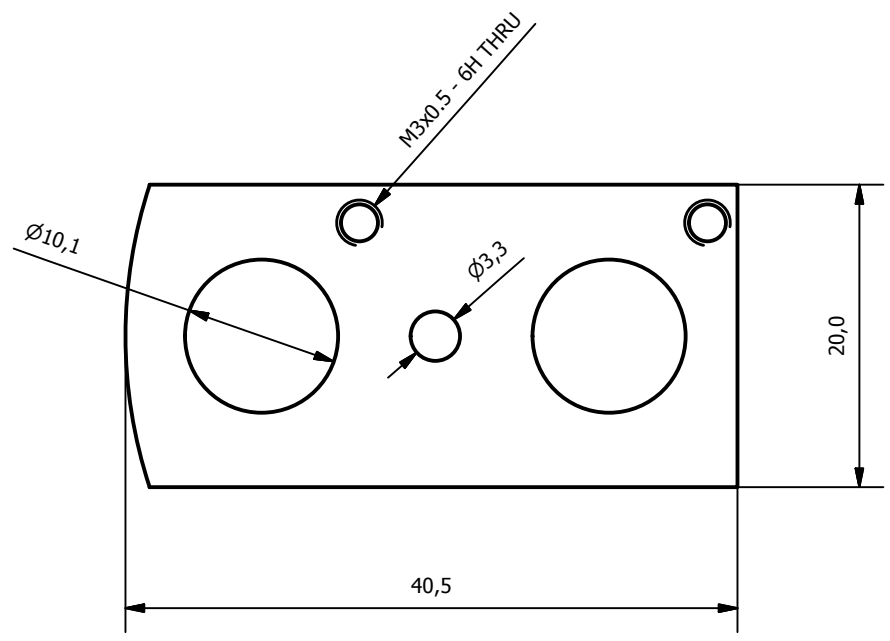


Use four 50 mm Divinigel H90 sheetes glued together as stock

Quantity: 1	Projection:	Material: Divinycel H90	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\pm 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 2,16 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Flyteelement		
		Part number: M16-2-006	Size: A3	Sheet: 1 / 1

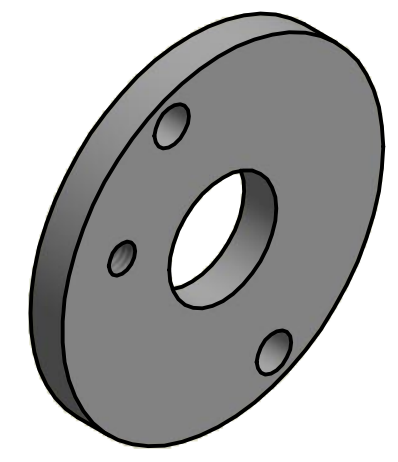
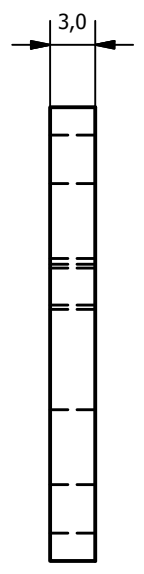
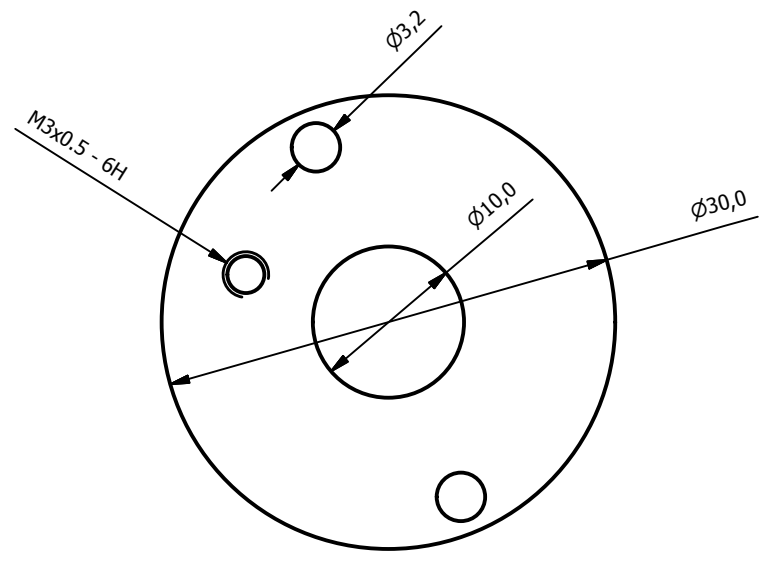


Quantity: 1	Projection:	Material: POM, white	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ± 1.6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,06 kg	Project name:
		Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Propell Part number: M16-2-007 Size: A3 Sheet: 1/1



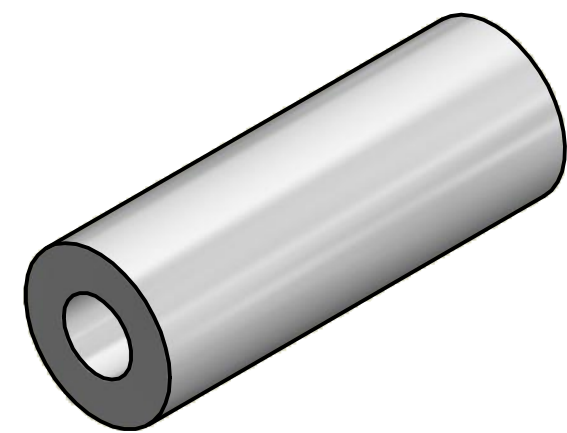
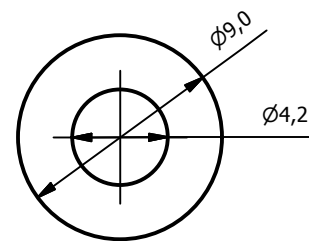
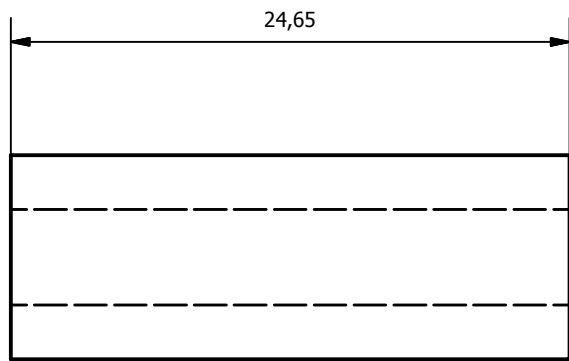
Water or lasercut, then threaded

Quantity: 1	Projection:	Material: Generic	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,00 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: O-ring-stopper_bunn	Last saved:
			Part number: M16-2-009	Size: A3 Sheet: 1/1

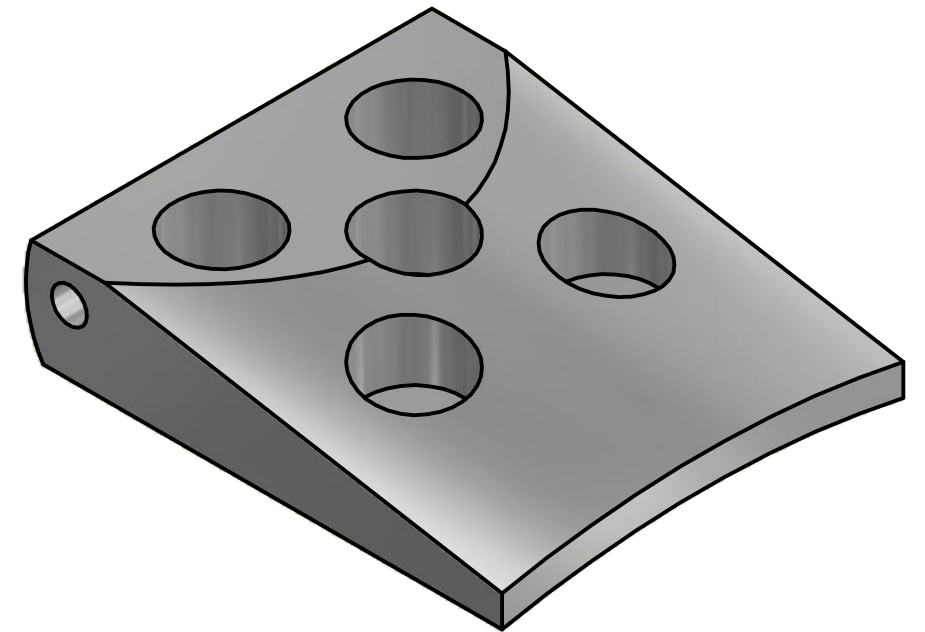
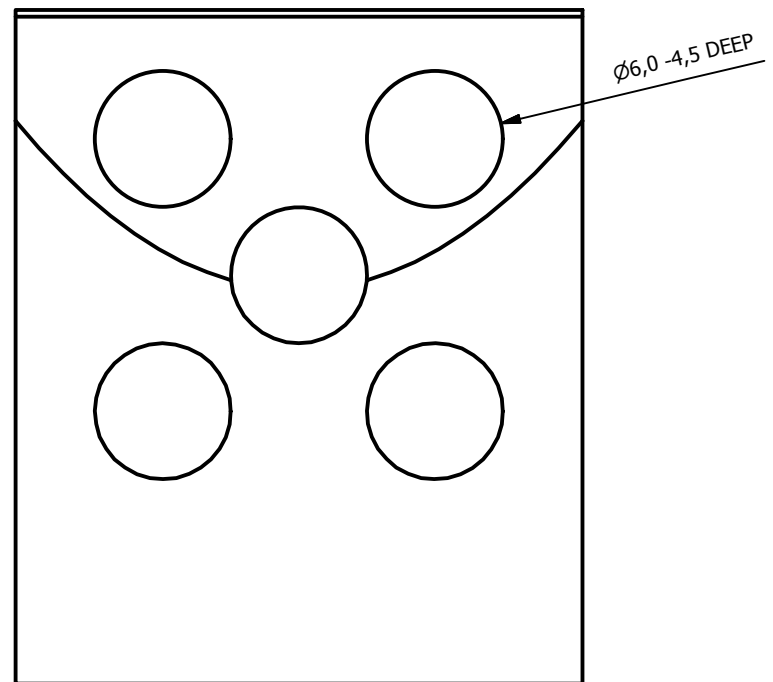
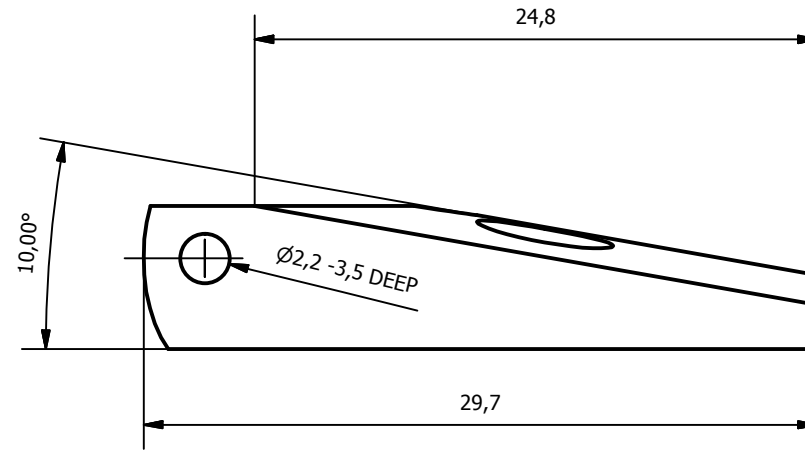
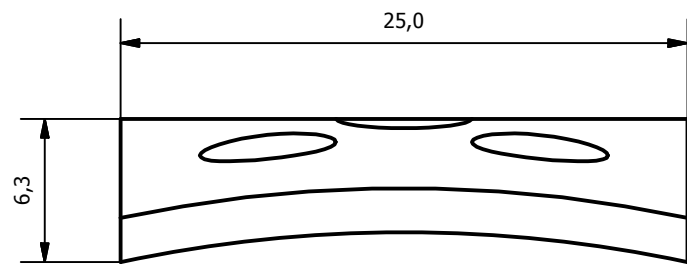


Water or lasercut, then threaded

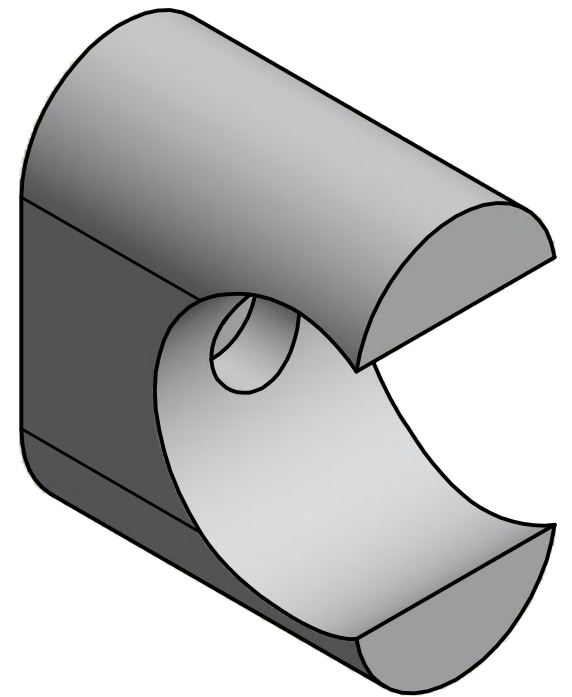
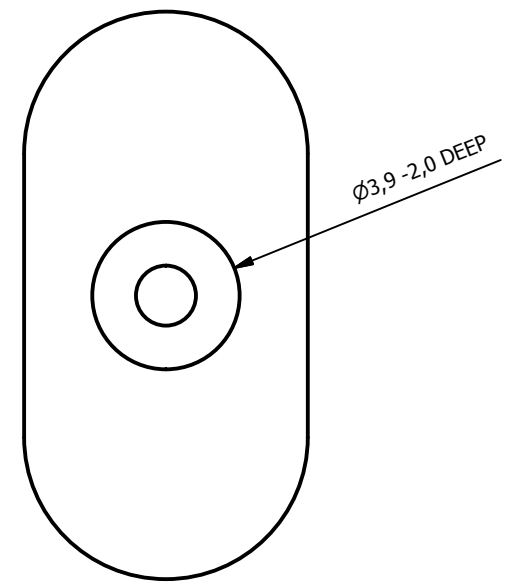
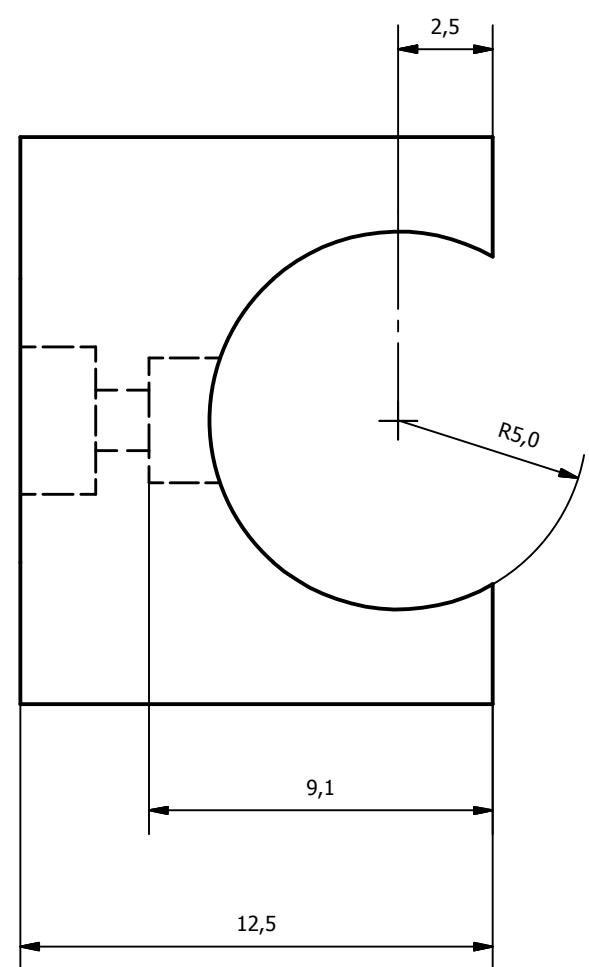
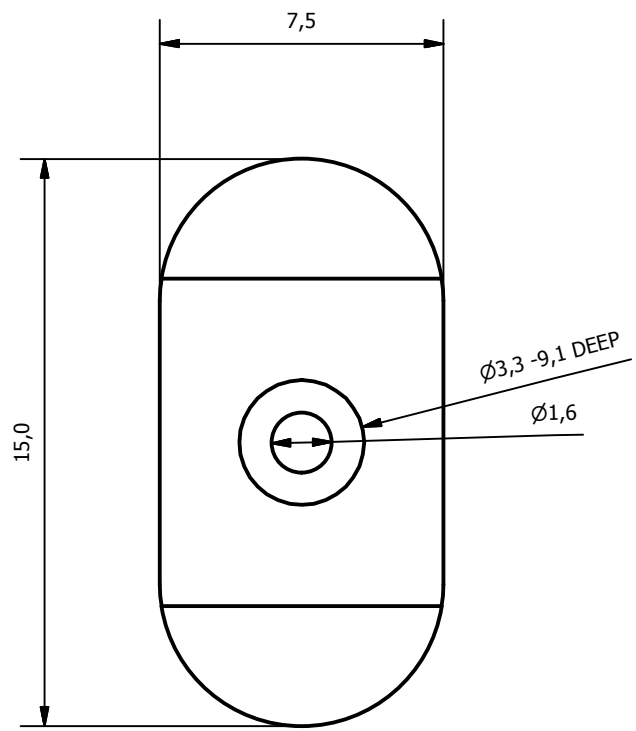
Quantity: 1	Projection:	Material: Generic	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1.6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0.00 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: O-ringstopper_topp		
		Part number: M16-2-010	Size: A3	Sheet: 1 / 1



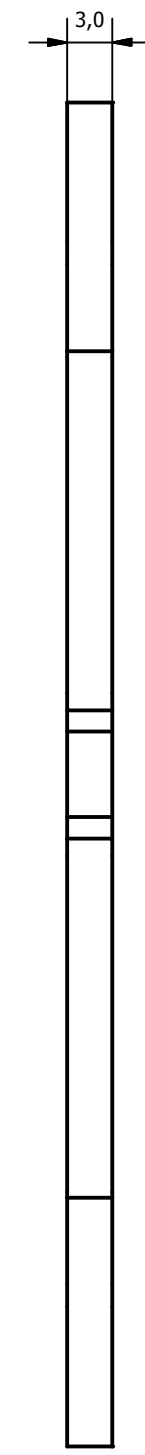
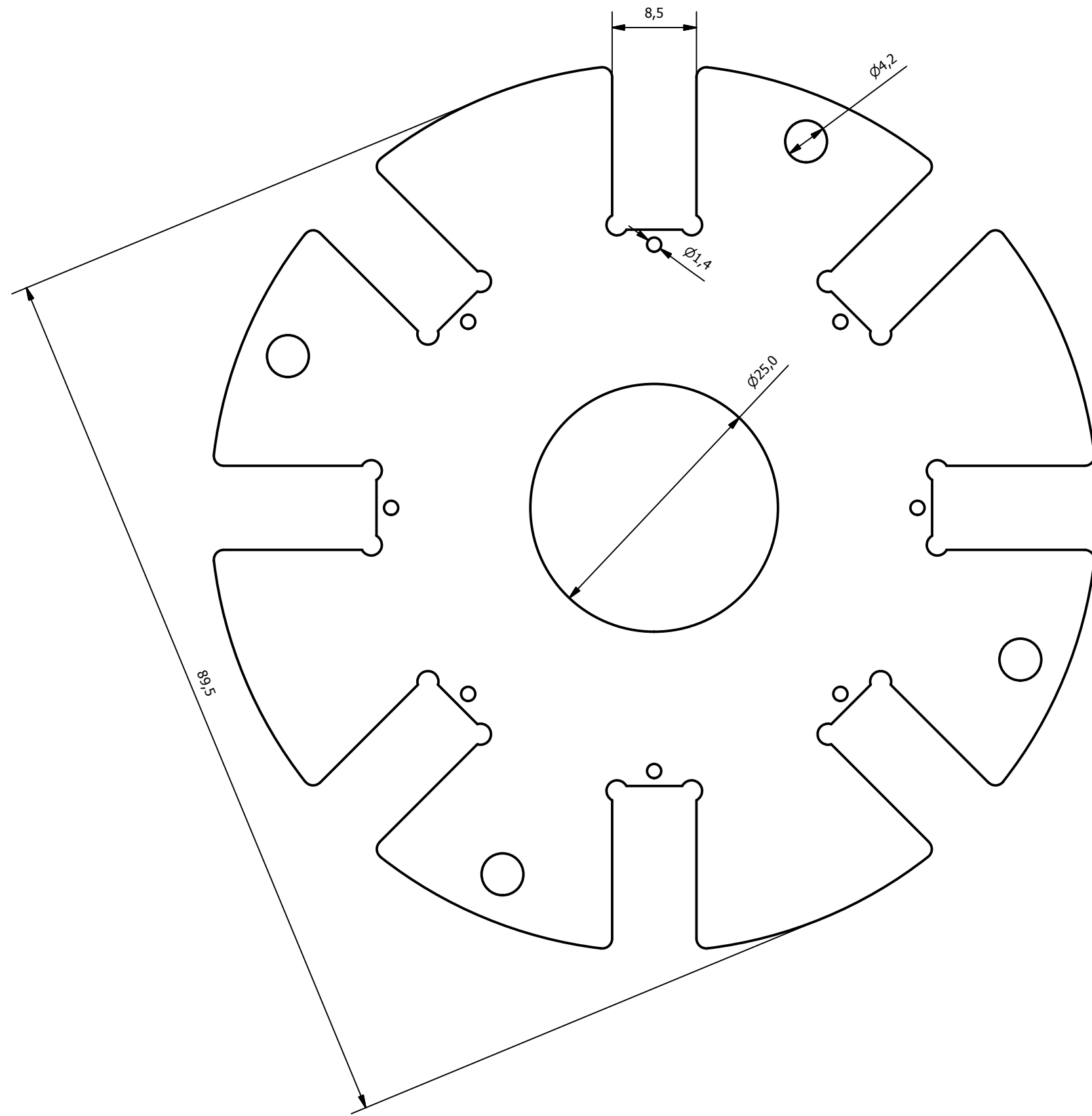
Quantity: 4	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,00 kg	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Avstandsstykke	
			Part number: M16-2-011	Size: A3 Sheet: 1/1



Quantity: 8	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,01 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Klaff		
		Part number: M16-2-012	Size: A3	Sheet: 1/1

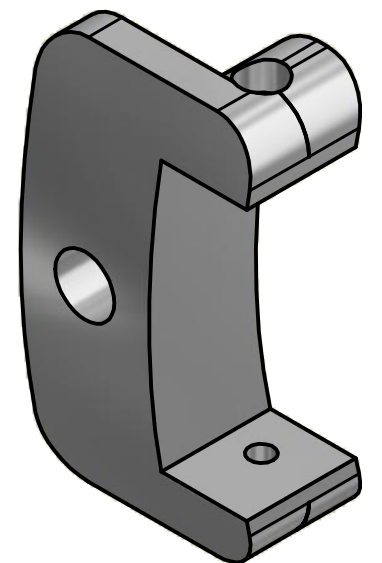
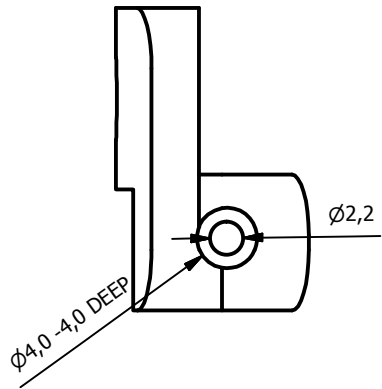
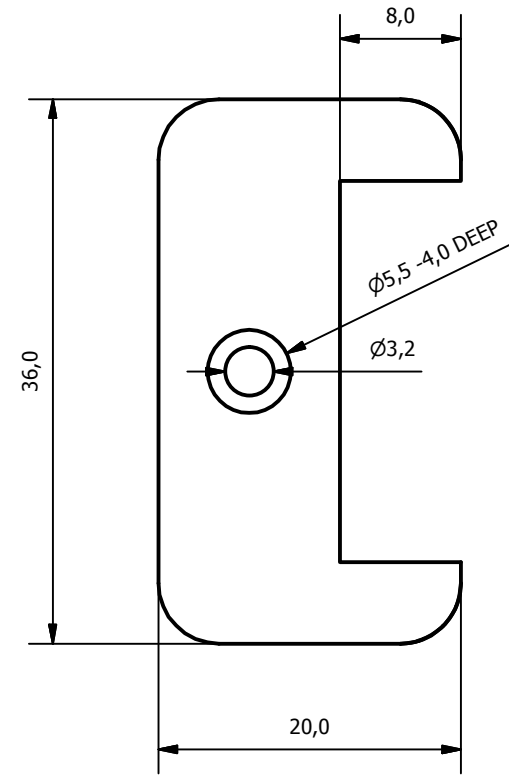
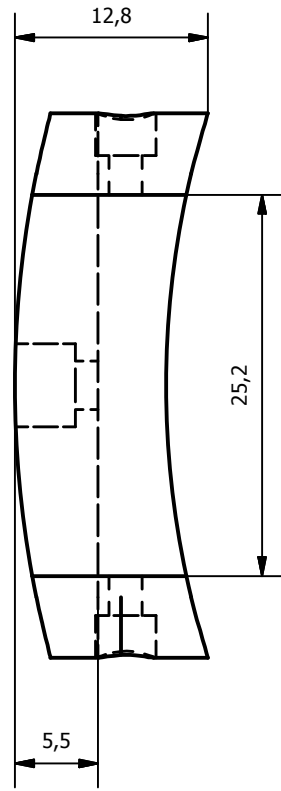
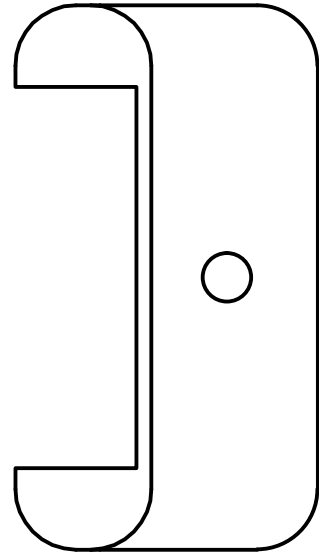


Quantity: 8	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\varnothing 1,6$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,00 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Magnetholder_servo		
		Part number: M16-2-013	Size: A3	Sheet: 1/1

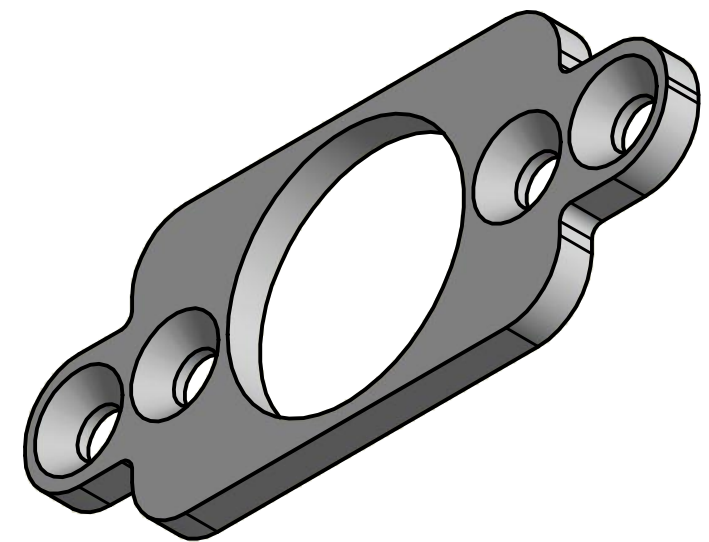
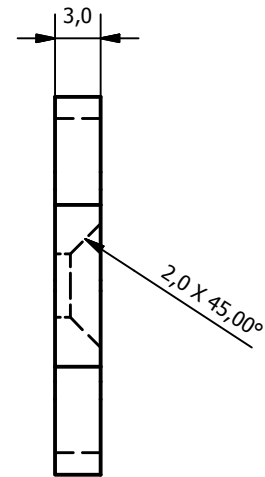
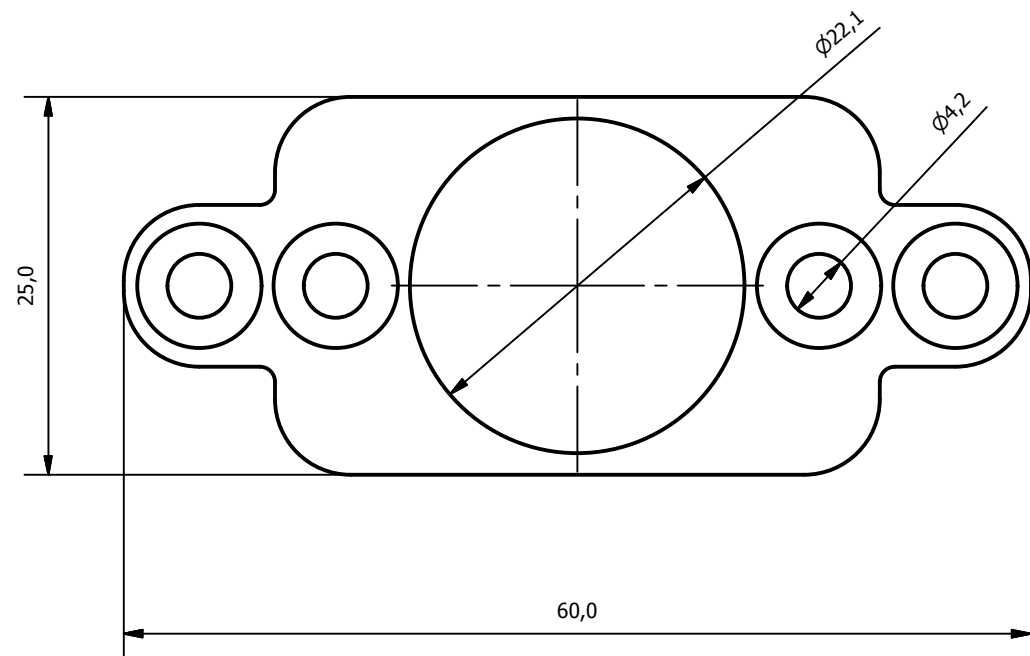


Water or lasercut

Quantity: 1	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1.6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,04 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Servoplate	
			Part number: M16-2-014	Size: A3
				Sheet: 1 / 1

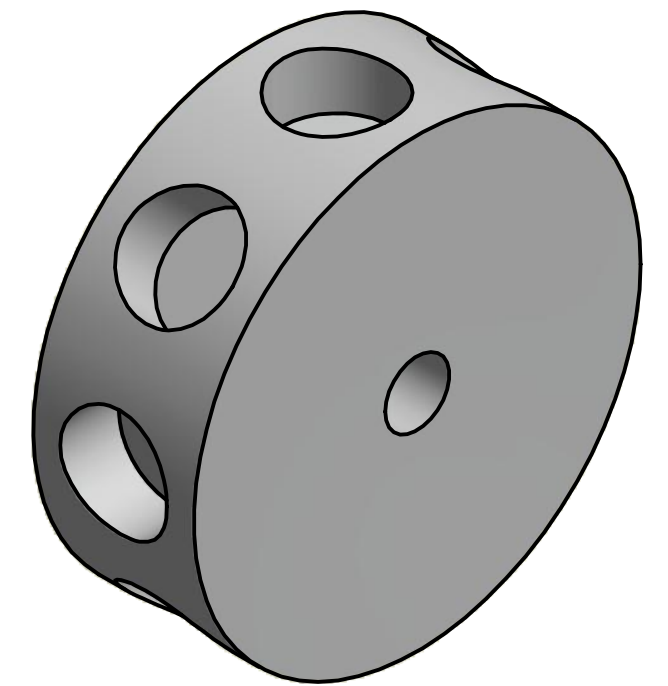
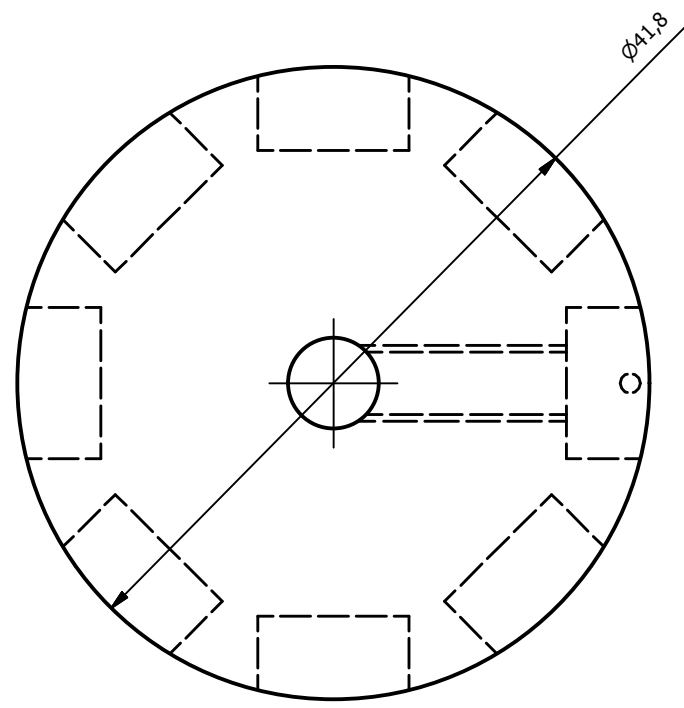
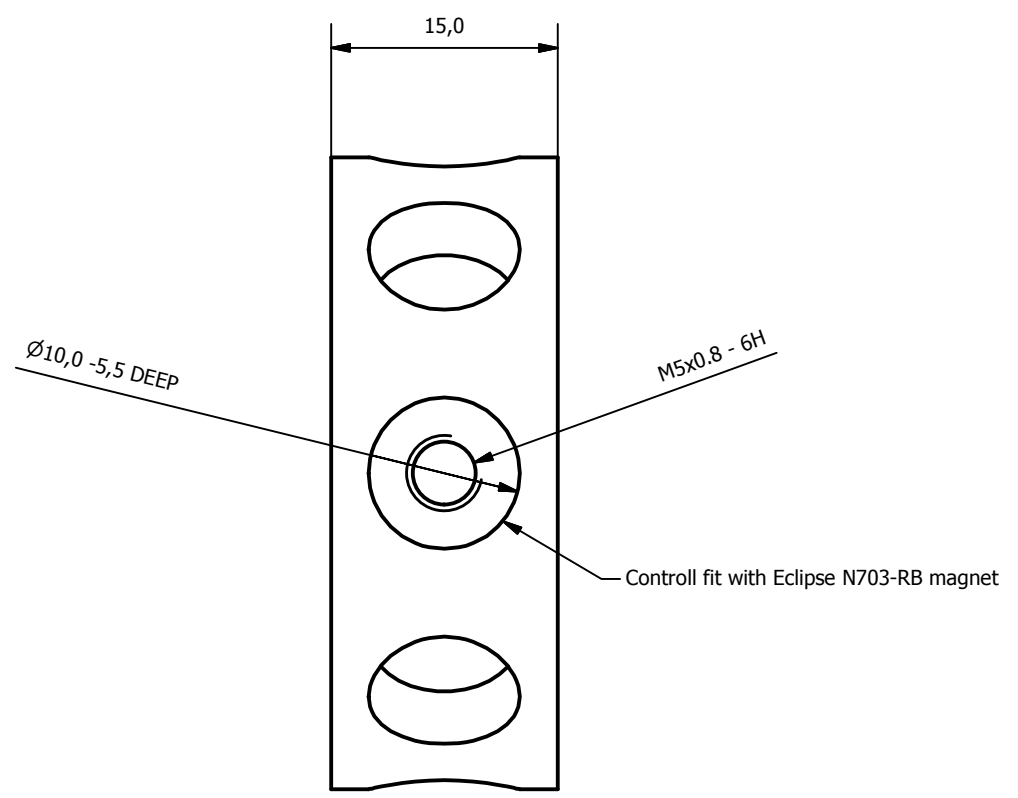


Quantity: 8	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine $\sqrt{1.6}$ 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,01 kg	Project name:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Klaffholder	Last saved:
			Part number: M16-2-015	Size: A3 Sheet: 1/1

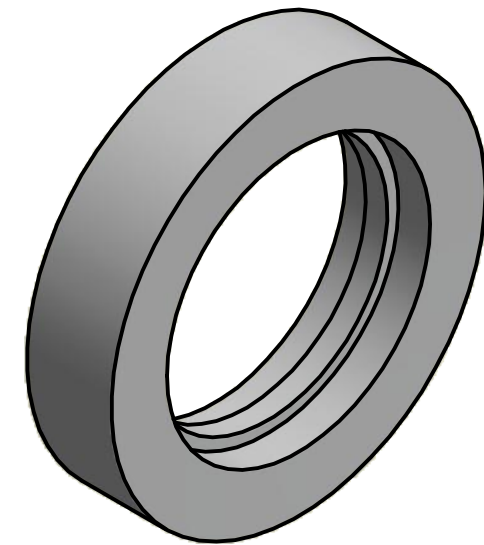
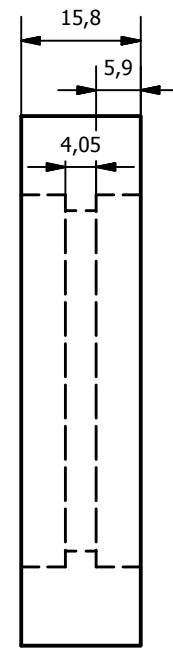
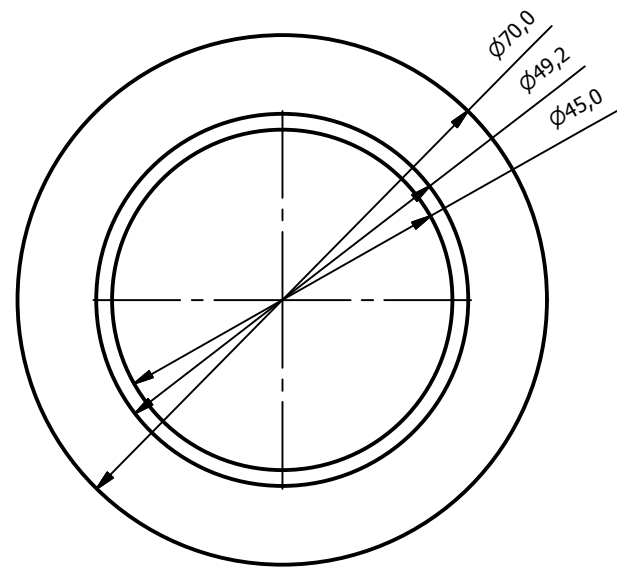


Water or lasercut before the four holes are chamfred

Quantity: 2	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,01 kg	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Motorbrakett	Part number: M16-2-016
			Size: A3	Sheet: 1 / 1



Quantity: 2	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,05 kg	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway		Description: Rotor		
		Part number: M16-2-017	Size: A3	Sheet: 1 / 1



Quantity: 1	Projection:	Material: Al-6082	Designed by: StingrayBU	Last saved by: Øyvind M. Fjeld
1) dimensions in mm 2) machine ∇ 1,6 3) all dimensions toleranced	4) tolerances: 0=±1 0,0=±0,1 0,00=±0,025	Scale:	Weight: 0,09 kg	Project name: Last saved:
Stingray Marine Solutions AS Stålfjæra 5 0975 Oslo Norway			Description: Spacer	
			Part number: M16-2-018	Size: A3



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway