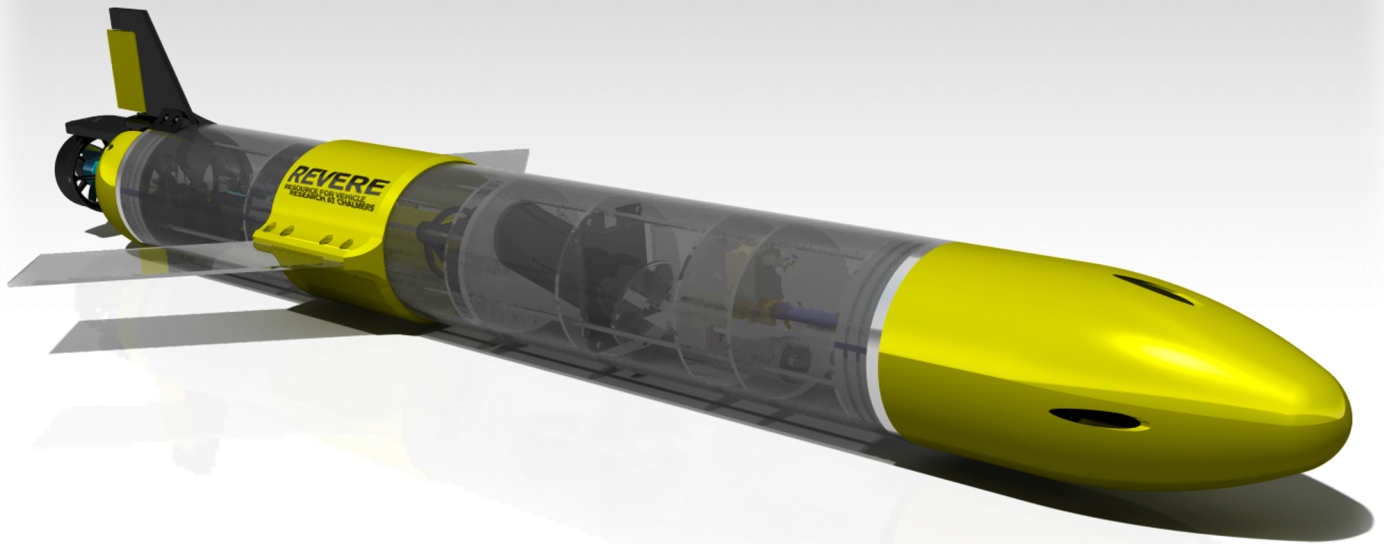




CHALMERS



Konstruktion av enkel marin glider för oceanografiska mätningar

Kandidatarbete inom Mekanik och Maritima Vetenskaper.

Filip Bergqvist
Jonathan Cederquist
Petrus Dahlqvist
Jonathan Ekdahl
Jonatan Haraldsson
Fredrik Nygren

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2023

Konstruktion av enkel marin glider för oceanografiska mätningar

FILIP BERGQVIST
JONATHAN CEDERQUIST
PETRUS DAHLQVIST
JONATHAN EKDAHL
JONATAN HARALDSSON
FREDRIK NYGREN



CHALMERS

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Fordonslaboratoriet Revere
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

Konstruktion av enkel marin glider för oceanografiska mätningar.

© FILIP BERGQVIST, JONATHAN CEDERQUIST, PETRUS DAHLQVIST,
JONATHAN EKDAHL, JONATAN HARALDSSON & FREDRIK NYGREN, 2023

Handledare: Ola Benderius, Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Examinator: Ola Benderius, Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Kandidatarbete 2023
Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Fordonslaboratoriet Revere
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: CAD-rendering av slutgiltig design av glidern.
Typsatt i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2023

Sammandrag

Mot bakgrunden av att fordonslaboratoriet *Revere* (Resource for Vehicle Research at Chalmers) i framtiden önskar att bedriva verksamhet även under vattenytan, har en prototyp för en marin glider, anpassad för insamling av data till havs, designats och konstruerats. En marin glider är en energisnål undervattensfarkost med lång räckvidd och varierbar flytförmåga, vilken vanligen bestyckas med diverse mätutrustning. Enligt uppgiftsbeskrivning från *Revere* har glidern konstruerats med en målvikt på 20 kg samt för ett djup på 100 m. På utsidan av gliderns rörformade skrov i akrylplast finns vingar som möjliggör den glidande rörelsen, ett akterroder för manövrering i horisontalplanet och en trycksensor för att kunna beräkna gliderns momentana djup. Innanför skrovet finns en flytkraftsmotor som reglerar gliderns flytförmåga genom att öka och minska gliderns volym, en pitchmotor som styr gliderns anfallsvinkel mot horisontalplanet (pitchvinkel) samt en servomotor som styr rodrets vinkel. För att ytterligare öka gliderns manövrerbarhet försågs även glidern med en extern propeller. Ett styrsystem för segelflygplanets elektroniska komponenter realiserades med två mikrokontroller (*Arduino Uno*) och mjukvaran möjliggör styrning med en extern manöverkontroll. Sammantaget uppgick kostnaden för gliderns komponenter till 24 139 kr, vilket är inom projektets maximala budget på 50 000 kr. Inför framtida utveckling av prototypen föreslås en uppgradering av gliderns flytkraftsmotor samt att säkerhetssystem integreras.

Nyckelord: Marin glider, datainsamling till havs, oceanografi, AUV

Abstract

The vehicle laboratory *Revere* (Resource for Vehicle Research at Chalmers) has, with the aim of establishing operations below the water surface, put together a bachelor project to construct a prototype for a simple marine glider adapted for gathering data at sea. A marine glider is an energy-efficient and long-range underwater vehicle, usually equipped with measuring instruments. According to the task description from *Revere*, the glider has been designed with a target weight of 20 kg and to resist pressures at depths up to 100 m. The glider's hull is equipped with acrylic plastic wings which enable a forward gliding motion, an aft rudder for steering, and a pressure sensor that measures depth. The hull contains a buoyancy engine that adjusts the volume of the glider, a pitch motor that alters pitch angle (angle of attack), and a servo motor that controls the aft rudder. The glider was fitted with a thruster at the stern to increase maneuverability further. A control system for the glider's electronic components was realized with two microcontrollers (*Arduino Uno*) and the software enables control with an external operating control. Overall, the cost for all components reached 24 139 kr, which is well below the maximum budget of 50 000 kr. An upgraded buoyancy engine and an integrated safety system are suggested for future developments.

Key words: Underwater glider, gathering data at sea, oceanography, AUV

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Syfte och avgränsningar	2
1.2	Samhälleliga och etiska aspekter	2
2	Teori för delsystem i en glider	3
3	Design och dimensionering av gliderns delsystem	5
3.1	Kravspecifikation	5
3.2	Hölje och modularitet	5
3.2.1	Materialval	5
3.2.2	Skrov	6
3.2.3	Modularitet och intern struktur	13
3.2.4	Vingar	15
3.2.5	Resultat	16
3.3	Flytkraftsmotor	17
3.3.1	Kolv-cylinder baserad flytkraftsmotor	17
3.3.2	Oljebaserad flytkraftsmotor	17
3.3.3	Flytkraft och oljemängd	19
3.3.4	Pumpdimensionering	19
3.3.5	Ventil	20
3.3.6	Pump- och ventilstyrning	21
3.3.7	Blåsor och oljetransport	22
3.3.8	Översikt och montering	23
3.4	Pitchkontroll	27
3.4.1	Resultat	28
3.5	Styrning och sensorer	30
3.5.1	Resultat	30
3.6	Arduinoprogram och kontroller	30
3.7	Batterier	32
3.8	Manövrering i horisontalplanet och design av akter	32
3.8.1	Design av akterroder och kraftöverföring	33
3.8.2	Propeller	35
3.8.3	Gliderns slutgiltiga akter, roder och propeller	36
4	Resultat	40
4.1	Gliderns slutgiltiga utformning och användning	40
4.2	Kostnad	41
4.3	Tester och utvärdering av prototyp	41
4.4	Kravuppfyllelse	46
5	Slutsatser och diskussion kring framtida utveckling av prototyp	48
5.1	Batteri	48
5.2	Flytkraftsmotor	48
5.3	Styrning och automation	49
5.4	Säkerhetssystem	49

5.5	Bestyckning	50
5.6	3D-utskrivna komponenter	51
A	Kravspecifikation	54
B	Komponenter och kostnader	57
C	Beräkningar av o-ringar	58
D	Estimering av blåsstorlek och vertikal hastighet	59
D.1	Källkod i Python för grafer till vertikal hastighet och volym på blåsa . . .	60
E	Analys av krafter på roder	62
F	Kopplingschema för pitchmotor	63
G	Ritning ändlock	64
H	Källkod Arduino	66
H.1	Kod i mainfunktion för styrning av Arduino 1	66
H.2	Bibliotek för funktioner till main-funktionen	69
H.3	Bibliotek för pumpen	69
H.4	Bibliotek för avläsning av pitchvinkel från gyro	70
H.5	Bibliotek för avläsning av trycksensor	72
H.6	Bibliotek för att skriva ut status till display	73
H.7	Bibliotek för pitchmotor	75
H.8	Kod för styrning av Arduino 2	75

Introduktion

Havet är djupt och den svåråtkomliga värld som döljs under ytan har historiskt varit tämligen outforskad av människan. Då haven täcker övervägande del av jordens yta, är forskning inom oceanografi viktigt för att förstå jordens nuvarande klimat och för att kunna förutspå dess framtida utveckling. Ett stort steg inom oceanografi togs 1957, då forskare vid University of Washington konstruerade den första obemannade undervattensfarkosten (AUV¹) för insamling av data till havs (Gafurov & Klochkov, 2015). Utvecklingen av nya sorters obemannade undervattensfarkoster tog fart och 1965 fick Ewan S. Fallon ett patent för en undervattensfarkost med vingar och varierbar flytförmåga (Fallon, 1965). Tillsammans möjliggjorde de två komponenterna att farkosten kunde glida framåt samtidigt som den förflyttades vertikalt och Fallon kallade således sin design för *Hydroglider*. En konsekvens av att en glider endast nyttjar en flytkraftsmotor för framåtdrift är att den får låg energiförbrukning. Marina gliders är idag vanliga inom oceanografisk forskning, främst eftersom gliderns energisnåla framåtdrift och långa räckvidd möjliggör insamling av data på ställen tidigare svåra att nå.

Det primära syftet med en glider är att samla in olika typer av data, som exempelvis salthalt, temperatur, klorofyll och syrenivå (National Oceanography Centre (NOC), 2023). Salthalt och temperatur är två viktiga komponenter för att bestämma vattnets densitet. Densitetsvariationer på olika djup påverkar havsströmmar och är därav en bidragande faktor till att näringsämnen sprids (National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA), u. å). Vidare tenderar ökad salthalt att ha en negativ effekt på havsisarnas utbredning och därför är mätning av salthalt viktigt för att förstå klimatförändringar (Olson m. fl., 2022). De övriga två parametrarna, klorofyll och syrenivå, är viktiga för att kartlägga och följa upp övergödning (European Environmental Agency, 2022-08-05).

I dagsläget finns flera företag som tillverkar marina gliders kommersiellt och ofta utvecklas gliders för långa uppdrag på stora hav och djup ner till 1000 m (Barker, 2012). Vidare har de flesta gliders utrymme att bli bestyckade med olika typer av mätutrustning beroende på vad som är av intresse för användaren. Sammantaget gör detta att kommersiella gliders vanligen har en hög prislapp och följaktligen är det idag till största del myndigheter, stater och stiftelser som har de ekonomiska medlen för att använda gliders. Ett större utbud av billigare och mindre avancerade marina gliders skulle således kunna göra att fler aktörer ges möjligheten att bedriva forskning och kartläggning till havs.

Fordonslabbet *Revere* (Resource for Vehicle Research at Chalmers), uppdragsgivare tillika kandidatsarbetets främsta intressent, önskar att utöka sin verksamhet och i framtiden bedriva forskning under ytan. Vidare finns intressenter från Göteborgs Universitet och RISE (Research Institutes of Sweden) som också har anknytningar till *Revere*. Även stiftelsen Voice of the Ocean (VOTO), som idag samlar in data till havs med gliders, kan betraktas som intressent. Samtliga intressenter ser ett värde i den typ av glider som ska utvecklas enligt uppgiftsbeskrivningen eftersom den kan anpassas med olika typer av sensorer för att passa respektive intressents intressen. Sammanfattningsvis redogör denna rapport för utvecklingsprocess, designval och tillvägagångssätt för konstruktion av en billig och enkel marin glider, vilken avses att slutgiltigt användas för insamling av data till havs.

¹Autonomous Underwater Vehicle

1.1 Syfte och avgränsningar

Kandidatarbetet ska mynna ut i en prototyp för en billig marin glider, som har möjlighet att bestyckas med mätutrustning och vars design ger god manövrerbarhet på ett djup ner till 100 m. Vidare förväntas gliderns vikt inte överstiga 20 kg och dess design ska möjliggöra en farkost helt frikopplad från land. Syftet med detta projekt är att den marina glidern ska kunna utöka *Revere:s* bas av fordon och på sikt ge labbet möjlighet att även bedriva forskning under vattnet.

Då kandidatarbetet genomförs under en begränsad tidsperiod har projektgruppen inte tillverkat en prototyp med modularitet för bestyckning av mätutrustning. Prototypen har inte tillverkats bestyckad med den mätutrustning som den senare är avsedd för. Det beror främst på grund av att projektet utförs inom en begränsad tidsram om fem månader, vidare skulle det innebära att det finns ett system som kan samla den data som mätutrustningen genererar. Fokus är därmed att utveckla en grundläggande farkost-plattform som senare kan utrustas med olika typer av mätutrustning beroende på hur uppdraget ser ut. Kandidatgruppens begränsade kunskaper inom tillverkning, avsaknad av maskinlicenser samt bristande tillgänglighet på verktyg utgör också begränsningar, vilka till stor del undviks genom användandet av 3D-utskrivna komponenter. Eftersom prototypstillverkningen avgränsas av en budget på 50 000 kr, utesluter det att köpa många färdiga lösningar från entreprenörer eller konsulter som har större expertis i området. Vid ett tidigt skede i projektet togs beslutet att använda mikrokontrollern *Arduino Uno* för att styra glidern på grund av dess användarvänlighet. Arduinon medför dock vissa begränsningar då antalet komponenter och sensorer som den kan hantera är begränsade, vidare är gruppens kunskaper om Arduinos begränsad vilket gör användningen till viss del begränsad. Då mikrokontrollern inte heller kan lagra data kommer även denna funktion att lämnas till det fortsatta arbete som behöver göras för att färdigställa glidern.

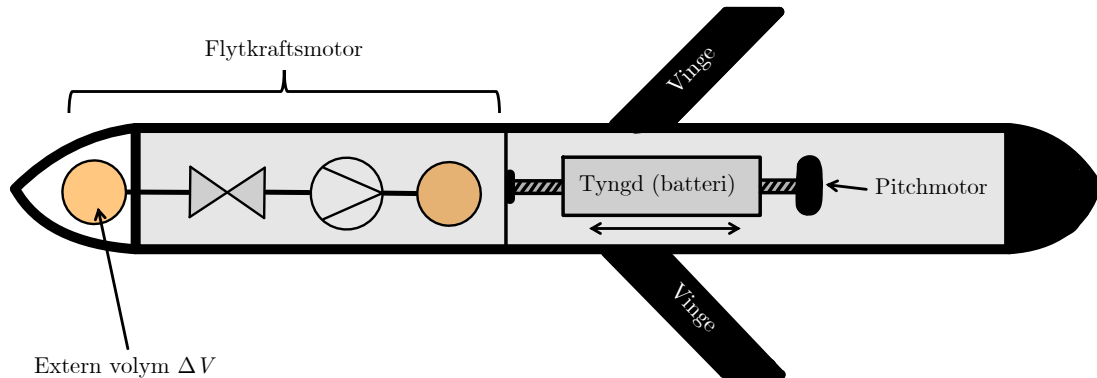
1.2 Samhälleliga och etiska aspekter

Då slutproduktens syfte är att genomföra mätningar under vattnet, på ställen avlägsna från samhället, kommer gliderns fysiska kontakt med samhället vara liten. Däremot kommer den data som samlas in av glidern kunna ge en större förståelse för havens ekosystem och insamlad data kan vidare tänkas utgöra underlag för framtida klimatprognoser. Projektet kan också sprida information om samt väcka intresse för forskning inom oceanografi.

Andra viktiga etiska aspekter att beakta är gliderns påverkan på det marina djur- och växtlivet samt att gliders skulle kunna användas i militära syften. Risken att glidern stör den marina omgivningen bedöms liten, eftersom gliderns långsamma framåtdrift dels sker utan någon typ av utsläpp och dels sker tämligen ljudlöst. Vid händelse av ett haveri, exempelvis oljeläckage eller att glidern på annat sätt inte lyckas stiga, finns dock risk att djur- och växtliv påverkas negativt. Vidare gör gliders långa räckvidd att den amerikanska flottan använder gliders inom marin krigsföring; främst genom kartläggning av minor och ubåtar (Grinter, 2021-08-05). Eftersom detta projekts intressenter primärt är ett av Chalmers forskningslaboratorium, bedöms risken att glidern används i militära syften som avlägsen.

Teori för delsystem i en glider

Även om olika marina gliders varierar i dess uppbyggnad och sammansättning, finns nästan uteslutande en flytkraftsmotor, vingar och en pitchmotor. Dessa delsystem och ett typiskt utseende för en glider presenteras i figur 2.1.



Figur 2.1: En schematisk skiss över en typisk glider. De två orange cirklarna motsvarar flytkraftsmotorns inre och yttre reservoar, där den yttre reservoaren har en varierbar volym ΔV . Tyngden, vilket ofta är ett batteri, kan förflyttas i längsled med pitchmotorn.

Flytkraftsmotorn är det viktigaste delsystemet i en marin glider. Denna används för att manipulera gliders undantryckta volym, V , i vattnet, oftast genom att flytta olja från en inre till en yttre reservoar. Enligt Arkimedes princip ges lyftkraften F_L för volymen $V = V_{\text{glider}} \pm \Delta V$ av

$$F_L = \rho g V = \rho g (V_{\text{glider}} \pm \Delta V), \quad (2.1)$$

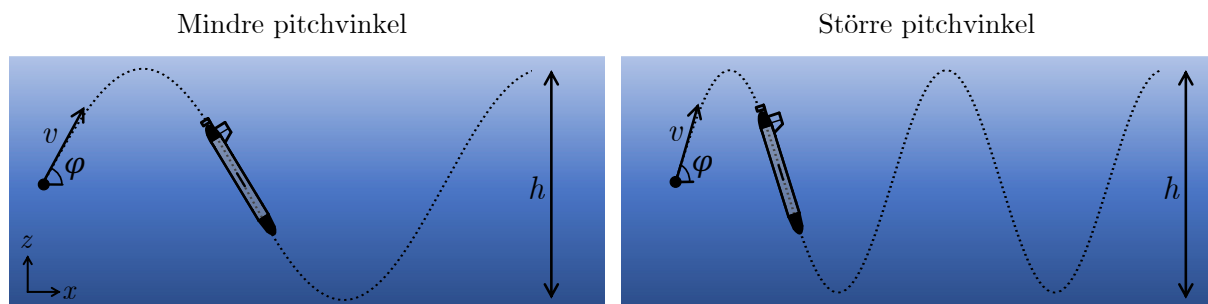
där ρ är vattnets densitet och $g \approx 9,82 \text{ m s}^{-2}$ är tyngdaccelerationen (Lantmäteriet, u. å). Om inga externa krafter verkar på glidern och neutralt med volym undantrycks, $\Delta V = 0$, ges kraftsumman av

$$\Sigma F = F_L - mg = 0. \quad (2.2)$$

Med en flytkraftsmotor varieras den undantryckta volymen med ΔV kring en jämviktsvolym, V_{glider} , då glidern har neutral flytkraft. Sammantaget ger en förändring i ΔV att den resulterade kraften ΣF ändrar tecken och det får glidern att sjunka eller stiga.

För att möjliggöra framåt drift då glidern rör sig i vertikalled används vingar samt en pitchmotor, som förflyttar gliders tyngdpunkt och därmed reglerar gliders pitchvinkel (anfallsvinkel) gentemot horisontalplanet, φ . Hur gliders hastighet, $\vec{v} = v(\cos(\varphi)\hat{x} + \sin(\varphi)\hat{z})$, ändras med pitchvinkeln, φ , visas i figur 2.2. Då det vid varje vändpunkt krävs energi är det energimässigt gynnsamt att hålla en låg pitchvinkel. Det är också energimässigt fördelaktigt att använda glidern på stora djup, h i figur 2.2, då det även gör att glidtiden blir längre. Låg pitchvinkel och stort djup möjliggör alltså längre mätserier, ef-

tersom gliderns batteritid förlängs. Större djup medför dock ett ökat hydrostatiskt tryck, vilket bidrar till ökade påfrestningar på gliderns skrov.



Figur 2.2: Skiss över gliderns sinusformade rörelse som belyser att storleken på pitchvinkeln, φ , och djupet, h , påverkar hur ofta glidern behöver ändra sin flytförmåga.

Skrovet för en glider behöver dimensioneras för att klara mekaniska laster, som uppkommer på grund av det hydrostatiska trycket vid stora djup. På ett djup z ges det hydrostatiska trycket av

$$p(z) = \rho g z, \quad (2.3)$$

där densiteten $\rho \approx 1000 \text{ kg m}^{-3}$ för vatten. I detta projekt ska glidern klara djupet $z = 100 \text{ m}$ och enligt ekvation 2.3 ges då trycket av $p = 1 \text{ MPa}$.

En gliders elektroniska komponenter försörjs vanligtvis av ett eller flera batterier som driver ett likströmssystem och komponenter väljs på en enhetlig spänningsnivå. För en helt autonom glider sker vanligen all typ av kommunikation – överföring av mätdata och instruktioner – via satellitnätverk, exempelvis Iridium (National Oceanography Centre (NOC), 2023). Det är främst på grund av att satellitkommunikation är trådlös och tillgänglig på avlägsna platser. Då vatten har en starkt dämpande effekt av elektromagnetiska vågor krävs att glidern befinner sig vid vattenytan för att den ska kunna kommunicera. Inför ett dyk skickas instruktioner för hur dyket ska genomföras och en kompass på glidern hjälper den navigera.

Design och dimensionering av gliderns delsystem

I följande avsnitt presenteras kravspecifikationen för glidern samt en beskrivning av designprocessen för glider-prototypens olika delsystem och komponenter, från metod till slutgiltiga utformningar. De olika delsystemen utvecklades parallellt och testades var för sig under enklare förutsättningar kontinuerligt under utvecklandet. De delsystem som huvudsakligen presenteras är – i följande ordning – hölje och modularitet, flytkraftsmotor, styrning och sensorer, pitchkontroll, Arduino och kontroller, batterier, samt manövrering i horisontalplanet och design av akter.

3.1 Kravspecifikation

För skapa en tydlig bild och struktur av de krav som ställs på farkosten upprättades en kravspecifikation. De krav och önskemål som formulerats består utav en kombination av uppdragsgivarens krav och projektgruppens egna ambitioner. Se bilaga A för en fullständig kravspecifikation.

Vid utvecklingen av glidern låg fokus på att alla delsystem skulle uppfylla kravspecifikationen. När vissa problem uppstod gjordes dock ibland avvägningar över vilka krav som var mer kritiska och vilka som kunde överges till förmån för möjligheten att få en fungerande glider inom projektets tidsplan.

3.2 Hölje och modularitet

I följande avsnitt behandlas hur farkostens yttre hölje har designats och konstruerats. Vidare berörs även farkostens modularitet, alltså det ramverk som används för att koppla samman olika delsystem och komponenter.

3.2.1 Materialval

För att undersöka möjliga material till skrovets rör användes mjukvaran *Ansys Granta EduPack*. En lista med materialkrav togs fram och presenteras i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Tabell över materialkrav

Krav	Värde
Sötvatten	Utmärkt
Saltvatten	Utmärkt
Transparens	Optisk kvalitet
Maximal användningstemperatur	30°C
Minsta användningstemperatur	-5°C

Kravet på att skrovets rör ska klara sötvatten och saltvatten beror på den undervattensmiljö som glidern ska användas i. Kravet på transparens med optisk kvalitet, som

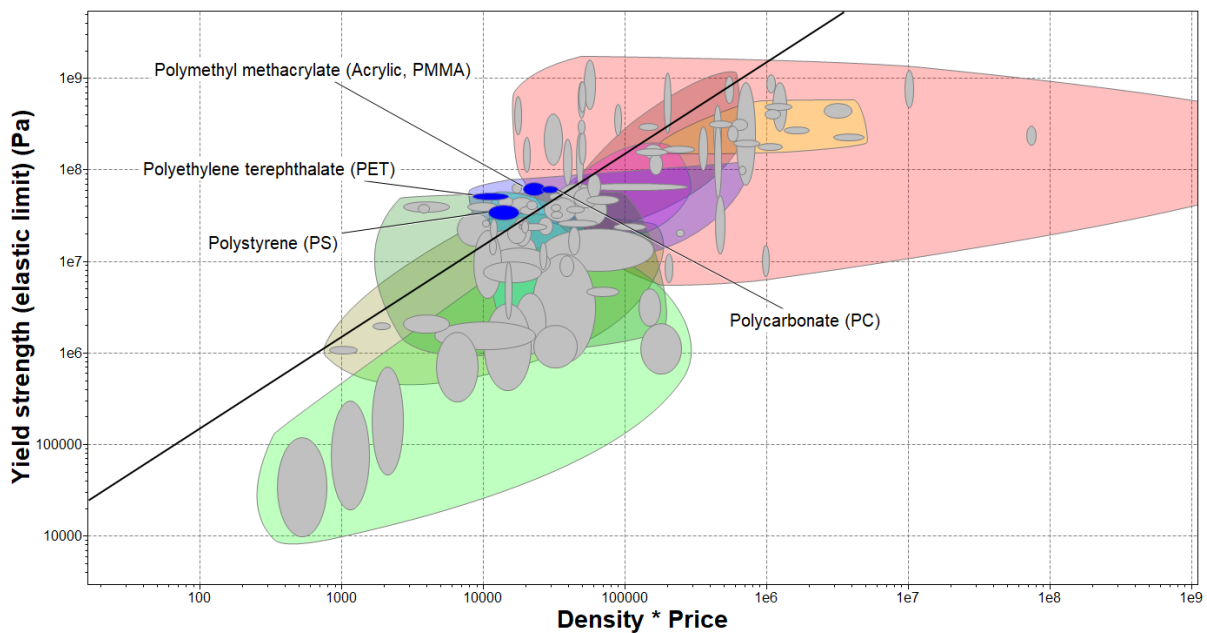
innebär att materialet är transparent, baserades på att projektgruppen ville ha ett rör där de inre delsystemen är synliga under testning. Detta för att det ska bli enklare att se om något inte fungerar innanför skrovet samt för att se om ett läckage uppstår. Användningstemperaturen baserades på havstemperaturen (med en säkerhetsmarginal) runt Sverige, som glidern ska användas i (SMHI, 2023-04-17).

Därefter infördes ett materialindex (Ansys, u. å), för en cylinder utsatt av internt tryck givet maximal sträckgräns till lägsta kostnad, för att få fram ett optimerat material tillsammans med materialkraven. Detta materialindex ansågs motsvara en cylinder som utsätts av ett yttre hydrostatiskt tryck. Indexet M ges av

$$M = \frac{\sigma_y}{\rho C_m}, \quad (3.1)$$

där σ_y är sträckgränsen, ρ är densiteten och C_m är kostnaden per kilo.

En rak linje med lutningen $k = 1$, vilken beräknades genom att logaritmera materialindexet, infördes för att visualisera vilket material som var mest optimerat efter indexet, se figur 3.1. De material som fanns kvar efter sällningen var polymethyl methacrylate (PMMA), polystyrene (PS), polycarbonate (PC) och Polyethylene terephthalate (PET).

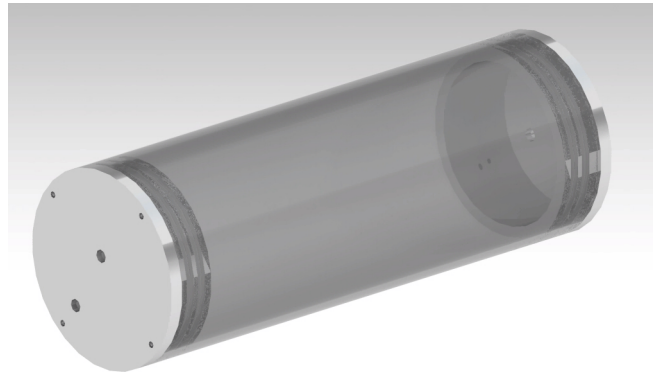


Figur 3.1: Materialval i Granta EduPack i databas level 2.

3.2.2 Skrov

I följande delavsnitt behandlas design- och konstruktionsprocessen av skrovet. Inledningsvis undersöktes flera olika typer av skrov för att hämta inspiration. Det konstaterades att gliders vanligtvis består av en avlång kropp tillsammans med en kon-formad struktur fram respektive bak (Barker, 2012). Projektgruppen beslutade att använda ett symmetriskt rör med en ändkåpa vid respektive ända av röret, se figur 3.2. Ett krav i uppgiftsbeskrivningen, från intressenten *Revere*, var att skrovet – rör tillsammans med ändkåpor – skulle

kunna motstå vattentrycket vid 100 m djup, se kravspecifikation i bilaga A. Utöver dimensionering mot tryck behövde även skrovet tåla den marina miljön med saltvatten, beväxning och temperaturskillnader.



Figur 3.2: Akryl-rör tillsammans med ändkåpor i aluminium. Notera att akryl-röret i illustrativt syfte är mycket kortare än vad det avses att vara.

Design och konstruktion av rör

Att använda ett symmetriskt rör ansågs innebära flera fördelar; däribland att de inre komponenterna kunde bytas ut eller byta ordning utan behov av större rekonstrueringar med avseende på skrovets utformning. Rörets längd kan dessutom justeras för att anpassas efter de ingående komponenternas dimensioner. Vidare innebar det också att projektgruppen kunde prioritera tid på de ingående komponenterna och rörets hållfasthet, snarare än att utforska alternativa typer av utformningar på röret. Dessutom är ett symmetriskt rör enklare att tillverka och finns också i större utsträckning i lager hos återförsäljare, vilket skulle underlätta vid konstruktionen av projektgruppens prototyp.

I tabell 3.2 ges en översikt över de material som togs fram med *Granta EduPack* i avsnitt 3.2.1.

Tabell 3.2: Ett urval av material framtagna med *Granta EduPack*.

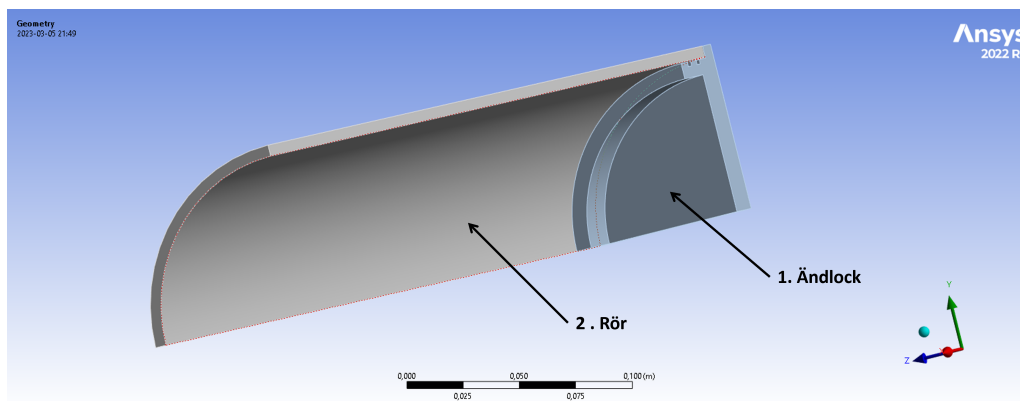
Material:
PMMA-plast
Polystyrene (PS)
Polycarbonate (PC)
Polyethylene terephthalate (PET)

Designoptimering med hjälp av Ansys Workbench

För att undersöka huruvida designen håller för vattentrycket vid 100 m djup (1 MPa) genomförde projektgruppen simuleringar i programmet *Ansys Workbench*. Simuleringarna har använts iterativt där olika designar och materialval har alternerats för att undersöka hur spänningskoncentrationer, säkerhetsmarginaler, deformationer och knäckfall varierar.

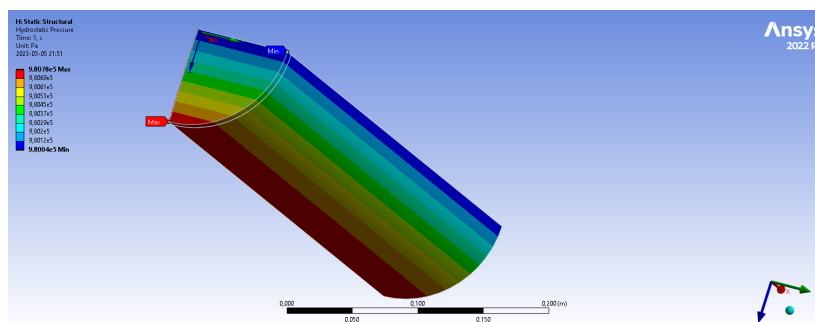
En utmaning vid simuleringar av fritt flytande kroppar i ett medium är svårigheten att

hitta lämpliga punkter för att införa fästpunkter. Utan fästpunkter kan inte ANSYS genomföra simuleringarna på grund av att kroppen förflyttas. Doktorandstudenten Eric Voortman Landström, som rådfrågades av projektgruppen, uppmanade att dela upp geometrin för att kunna utnyttja symmetri (Voortman Landström, 12-03-2023). Inledningsvis undersöktes skrovet, bestående av ett rör och en ändkåpa, uppdelat i en åttondel, se figur 3.3.

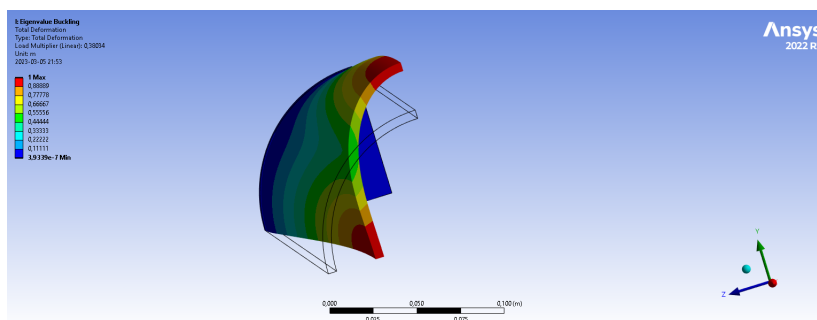


Figur 3.3: En åttondel av rör tillsammans med ändkåpa

Materialet PMMA prioriterades vid simuleringarna på grund av att projektgruppen hade etablerat en god kontakt med en leverantör av PMMA-rör i rätt dimensioner. Från simuleringen kunde det konstateras att säkerhetsfaktorn för spänningar uppgick till 4,46, vilket ansågs tillfredsställande. Däremot ger variationerna i det hydrostatiska trycket upphov till att det är lite högre tryck på undersidan av skrovet jämfört med översidan, se figur 3.4. Därav undersöktes även eventuella knäckfall och det kunde då konstateras att röret skulle knäckas omedelbart med en lastmultiplikator på 0,38. Lastmultiplikator är den faktor som skalar den applicerade belastningen på strukturen tills den kritiska buckling-belastningen uppnås, se figur 3.5.

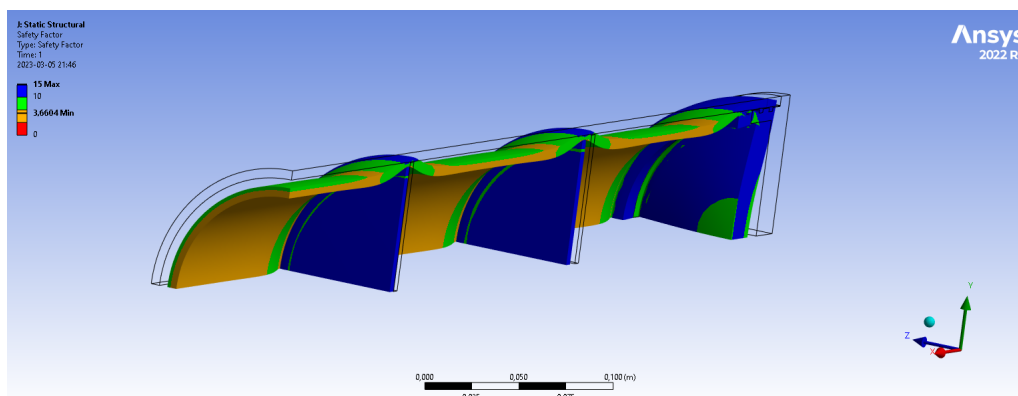


Figur 3.4: Illustration av hur det hydrostatiska trycket varierar över röret. Vattenytan är placerad i negativt z-led.

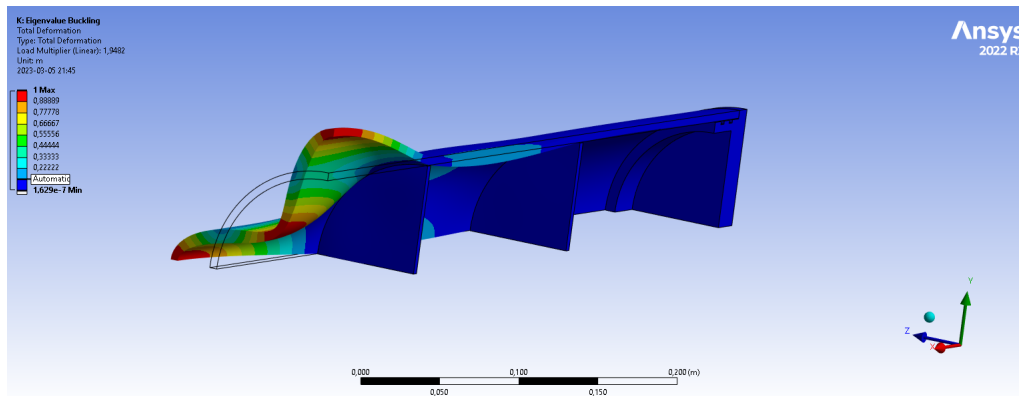


Figur 3.5: Knäckfall för simulering nr 1. (Mod 1). Lastmultiplikator = 0,38.

För att undgå knäckning undersöktes olika geometrier på skrovet. Projektgruppen valde att fortsätta simulera med PMMA på grund av dess tillgänglighet i närområdet. Att beställa komponenter från närområdet prioriterades, eftersom projektet utförts inom en begränsad tidsram. I samband med att rörets simuleringar genomfördes undersöktes även den inre strukturen. För att skapa en modulär och anpassningsbar glider undersöktes idén att förse den inre strukturen med flera 4 mm tjocka diskar av akryl. Diskarna skulle i sin tur användas för att montera de ingående delarna i farkosten. Dessa diskar implementerades i simuleringarna och det resulterade i att diskarna stödjer röret avsevärt gällande knäckfallen, trots att diametern på akryldiskarna är 1 mm mindre än rörets innerdiameter. Vid simuleringen placerades diskarna på 200 mm avstånd från varandra. Efter flera iterativa simuleringar kunde det konstateras att säkerhetsmarginalen för spänningarna hade minskat till 3,66. Däremot hade lastmultiplikatorn i knäckfallssimuleringen ökat till 1,94, vilket ansåg vara positivt, se figur 3.6 respektive 3.7.



Figur 3.6: Säkerhetsmarginal illustrerad över röret med interna akryldiskar. Säkerhetsmarginal = 3,66.



Figur 3.7: Knäckfall vid simulering med interna akryldiskar. Lastmultiplikator = 1,94.

Utifrån ovan nämnd simulering drog projektgruppen slutsatsen att det fungerar att använda PMMA-plast för röret. Övriga material simulerades inte främst på grund av materialets goda tillgänglighet via projektgruppens leverantörskontakt, men också på grund av att det var tidskrävande att genomföra simuleringarna. Materialvalet påverkar även den inre konstruktionen, eftersom det krävs akryl-diskar internt (mer om detta i avsnitt 3.2.3). Utifrån simuleringarnas resultat beslutades det att gå vidare med PMMA-plast som materialval för röret.

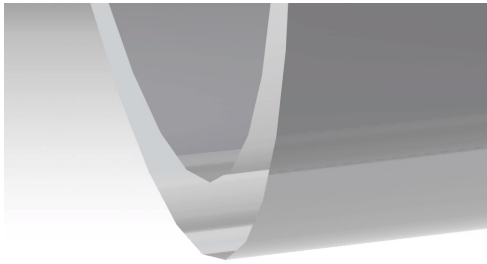
Design och konstruktion av ändkåpor

Vid utveckling av skrovets ändkåpor behövdes flera funktioner och syften tas i beaktning. De behöver dels täta mot vattenintrång och måste även understödja röret strukturellt vid ändarna. Ändkåporna huserar även alla anslutningar av kablage mellan skrovets interna och yttre delar.

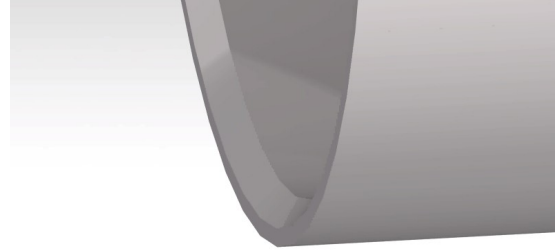
För att ändkåporna ska kunna monteras och demonteras från röret undersöktes olika tätningar. Vid ett studiebesök hos Voice of the Ocean kunde det konstateras att den glider de använder sig av använder o-ringar för att täta deras skrov (Voice of the Ocean, 20-02-2023). På bilder uppladdade av Rutgers University Center for Ocean Observation Leadership kunde det observeras att o-ringar används som tätningssmetod även på en annan kommersiell glider från företaget Slocum (Rutgers University, 2021). Projektgruppen valde därför att också använda o-ringar, men däremot togs beslutet att använda två o-ringar per ändkåpa, eftersom det ökar säkerheten om en o-ring skulle gå sönder i monterat läge. Vid utformning av spåren i ändkåporna för o-ringarna behövde tätningarnas töjning samt hoppresning beräknas. Beräkningarna samt resultaten för dimensioneringen av o-ringar kan ses i bilaga C.

I samband med att beräkningarna gällande o-ringarna utfördes konstaterades det att röret behövde fasas av för att inte o-ringarna ska riskeras att skadas i samband med montering. För att kunna bearbeta röret utvecklades ett verktyg med syftet att stödja vid filning med handhållen fil. Enligt Svenska institutet för standarder (Svenska institutet för standarder, 2017-04-04) ska röret fasas av mellan 15-20° för montering av o-ring. Därav beslutades det att fasa av röret 17,5°. Verktøyet fästas mot kanten av röret och tillhandahåller en skena för att användaren ska kunna få stöd i rätt vinkel i samband med manuell filning. Se figur 3.8 för illustration av avfasat rör samt figur 3.9 för en bild av verktøyet.

Verktyget skrevs ut med 3D-printer och visade sig fungera.

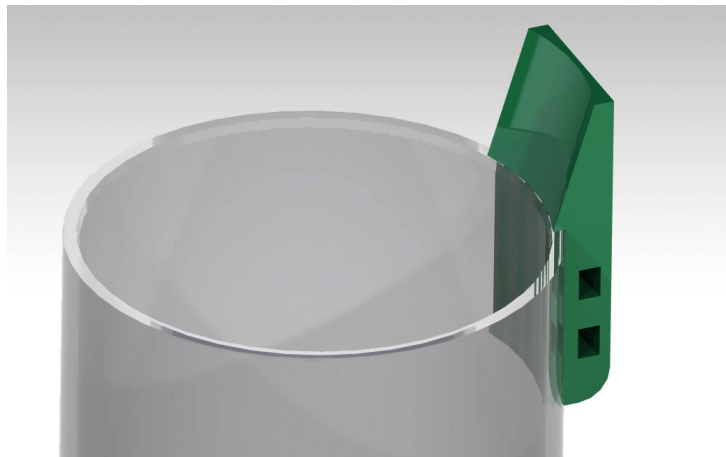


(a) Rör utan fas.



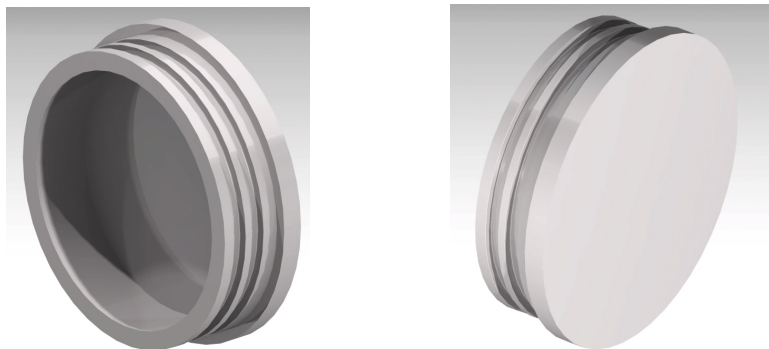
(b) Rör med fas. Notera att fasvinkeln är större än 17,5 i bilden för illustrativa syften.

Figur 3.8: Illustration av skillnaden mellan ett icke fasat rör och ett fasat rör. Nödvändigt vid montering av O-ringar.



Figur 3.9: Verktåg för att assistera vid handhållen filning i syfte att fasa av röret 17,5°. Verktåget fästs med två buntband, ett i vardera rektangulära hål i verktyget.

Ändkåporna designades med ovanstående information i åtanke, se figur 3.10. I kommande avsnitt testas designen i hållfasthetssimuleringar. Grundgeometrin skulle senare visa sig behållas.



Figur 3.10: Initial design av ändkåpa

Designoptimering med hjälp av Ansys Workbench

För att säkerställa att ändkåporna kan motstå tryck har det genomförts flera *ANSYS*-simuleringar och iterationer av designen samt materialval. Ursprungligen undersöktes POM/acetall-plast på grund av att företaget *PlastMästarn*, som tidigare levererat akrylröret till projektgruppen, rekommenderade det. Initialt såg även prispåbilden god ut och på så sätt går materialvalet i projektets linje där viss kostnadseffektivitet är i fokus. Acetal är även enkelt att bearbeta (Ensinger, u. å) och det korroderar inte.

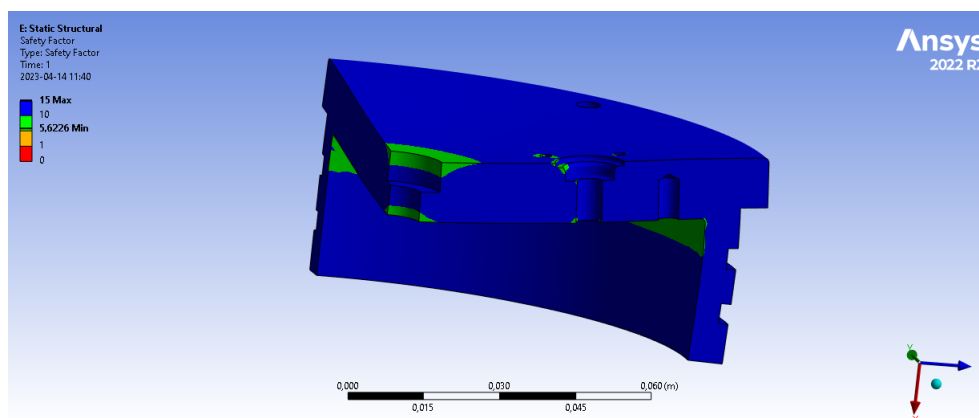
Vidare utfördes simuleringar i *ANSYS*. Arbetet genomfördes iterativt och konstruktionen anpassades mot en säkerhetsmarginal på minst 2. För att uppnå en sådan säkerhetsmarginal krävdes en godstjocklek på 18 mm, vilket tyvärr var för grovt för de tätande anslutningar som redan beställts från *Blue Robotics* (Robotics, u. å-b). Därefter togs beslutet att gå vidare och undersöka andra material än acetal.

Vidare undersöktes aluminium, som har goda hållfasthetsförmågor tillsammans med låg densitet och ansågs vid första anblick vara ett bra materialval. Med hjälp av *ANSYS* itererades designens godstjocklek vidare. I tabell 3.3 presenteras de legeringar som undersöktes iterativt.

Tabell 3.3: Legeringar som undersöktes vid simuleringar i *ANSYS*.

Aluminium legering:	SS4120-02	SS5052	SS6082 T6
----------------------------	-----------	--------	-----------

Slutligen indikerade simuleringarna att 12 mm var en optimal tjocklek och bäst säkerhetsmarginal uppnås med legeringen SS6082 T6. Säkerhetsmarginalen uppgår då till 5,6 och de tätande förslutningarna från *Blue Robotics* kan monteras (Robotics, u. å-b). Vänligen se figur 3.11 för en bild ur simuleringen mot säkerhetsmarginal i *ANSYS*.



Figur 3.11: Säkerhetsmarginal på 5,6 vid simulering av ändkåpa i *ANSYS*. Material: Aluminium SS6082 T6.

Projektgruppen gick därefter vidare med aluminium SS 6082 T6 som materialval. Ändkåporna beställdes av företaget *HenEk AB* och levererades inom 2 veckor. Ändkåporna beställdes medvetet utan hål för WetLink-penetratorer från *Blue Robotics* för att hålla nere kostnaderna. Dessutom innebär det att projektgruppen kunde borra hål till anslutningar allt eftersom de behövdes och på så sätt undveks risken att det borrades för många

hål. Endast den mer tekniskt avancerade tätningen till rodrets axel, se avsnitt 3.8, var med på beställningen då den krävde CNC-bearbetning.

Det är genom ändkåporna som slangar, kablar och anslutningar för prototypen sitter. Framst för att de vattentäta kopplingar som används inte går att fästa på rörets krökta yta. I tabell 3.4 visas vilka kopplingar/anslutningar som används fram respektive bak.

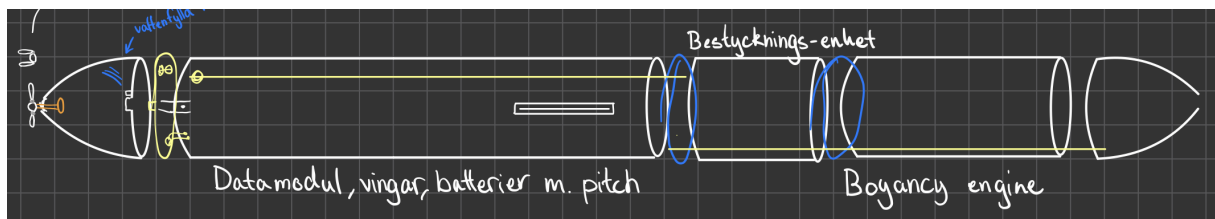
Tabell 3.4: Tabellen visar vilka anslutningar som används fram och bak.

Komponent	Placering
Anslutning blåsa	Fram
Trycksensor	Fram
Anslutning 12V+	Bak
Anslutning jord	Bak
2st anslutningar mellan Arduino och kontroll	Bak

I en potentiellt helt frikopplad och autonom glider kommer dessa anslutningar kunna täppas igen med hjälp av *Cable Penetrator Blank (No Hole)* från *Blue Robotics*. Dessa små lock tillåter även ett varierande antal anslutningar vid olika uppdrag, något som ökar gliderns totala användningsbredd.

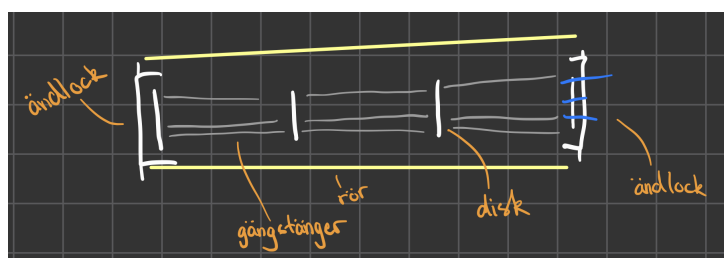
3.2.3 Modularitet och intern struktur

Tidigt under projektets gång togs det fram flera olika idéer och koncept gällande farkostens modularitet vid tillfällen för brainstorming-sessioner. Två huvudsakliga koncept övervägdes. Det första baserades på idén att farkosten delades upp i olika moduler. På så sätt skulle modulerna bytas ut baserat på uppdraget, se figur 3.12.



Figur 3.12: Olika moduler som tillsammans skapar en farkost. Tidig konceptskiss.

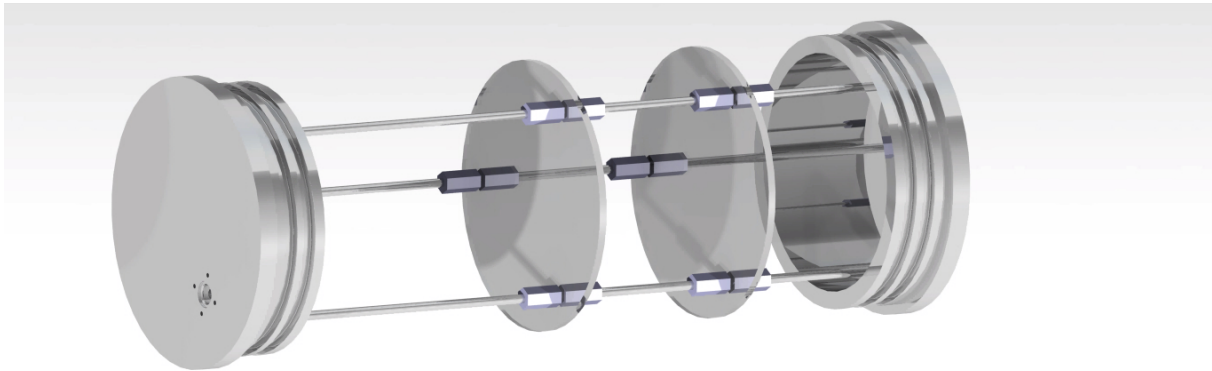
Det andra huvudsakliga konceptet som genererades var att använda sig av diskor sammankopplade av gängstänger. På så sätt skulle hela det inre höljet dras ut och in i röret i ett svep. Se figur 3.13.



Figur 3.13: Diskor sammankopplade av gängstänger skapar en gemensam enhet.

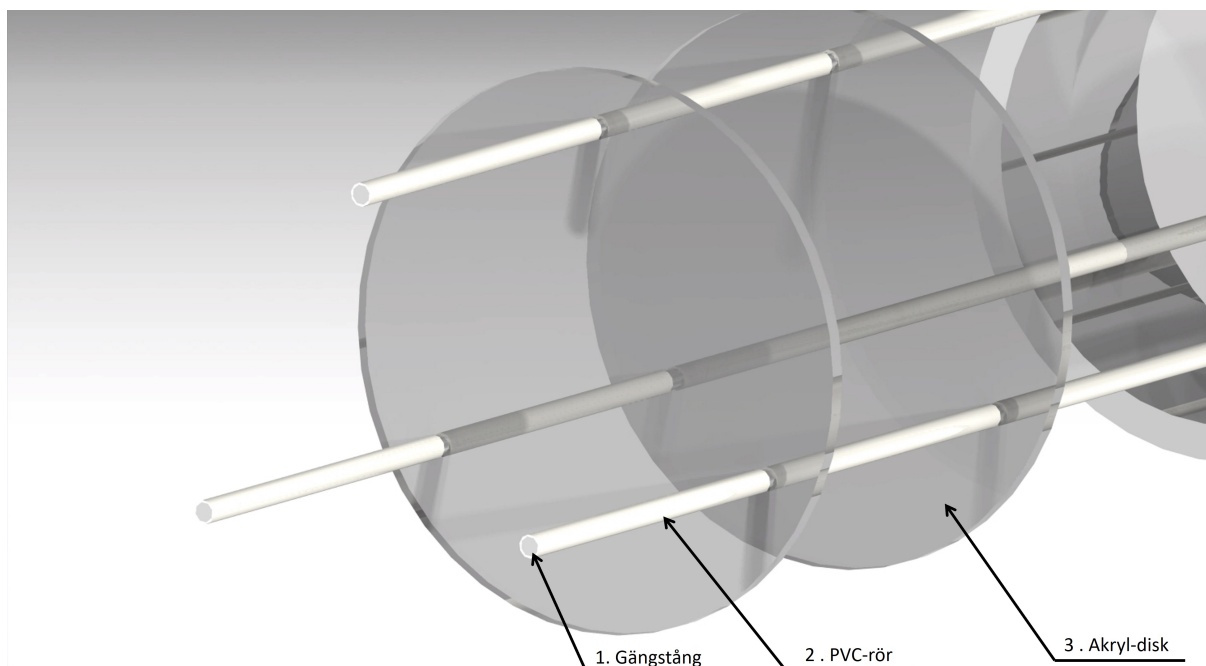
Eftersom den interna strukturen utvecklades parallellt med skrovet – vars dimensioner och utformning fortfarande var under utveckling – prioriterades det konceptet som presenteras i figur 3.13 för att stödja rörets hållfasthet.

Syftet med den interna strukturen är att möjliggöra en modulär montering av farkostens delsystem. Projektgruppen vidareutvecklade det senare konceptet till en struktur där skivor, med samma diameter, monteras längs med tre gängstänger och låses fast med hjälp av muttrar, se figur 3.14. Skivornas position på gängstängerna kan därefter justeras beroende på delsystemets storlek. En laserskärare användes för att tillverka skivorna och på så sätt kunde nya skivor snabbt skäras ut i samband med att övriga ingående delsystem vidareutvecklades.



Figur 3.14: Gängstänger och muttrar används för att hålla diskarna på plats. Notera att inget rör illustreras i figuren.

En potentiell risk som upptäcktes i samband med de initiala testerna var att muttrarna riskerade att vibrera loss från sina ursprungliga lägen i samband med att andra delsystem var i drift. För att lösa det problemet beslutades det att montera smala PVC-rör i varierande förbestämda längder ovanpå gängstängerna. Se figur 3.15. Rören är färdigskurna till specifika längder och håller därmed inte bara muttrarna på plats utan de underlättar även vid montering. Det går inte bara snabbare då muttrar inte behöver skruvas in på stängerna, utan det eliminerar samtidigt behovet att vid varje montering mäta in korrekt avstånd mellan diskarna och således komponenterna i glidern. Här kan istället rörbitarna färg-/sifferkodas och enkelt monteras i rätt ordning.

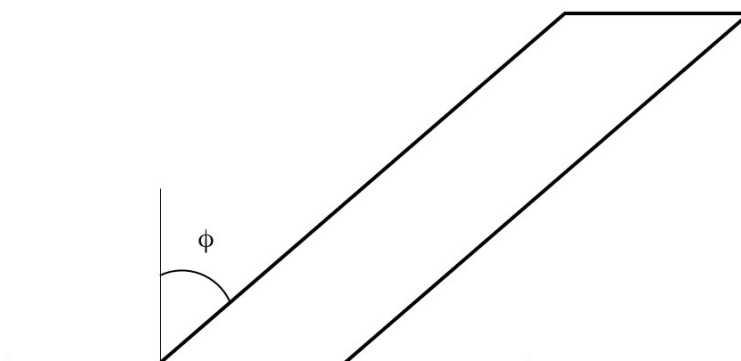


Figur 3.15: PVC-rör används för att hålla diskarna på plats. Notera att inget rör illustreras i figuren.

3.2.4 Vingar

Utformningen av vingarna och dess svepvinkel beror på vilken miljö farkosten ska användas i. Svepvinkeln, ϕ i figur 3.16, på 7° ger den längsta gliddiden, 35° ger den bästa svängförmågan och 60° ger det bästa motståndet mot strömmar i vattnet (Wang m. fl., Nov. 2022). Med kravspecifikationen som utgångspunkt valde projektgruppen en svepvinkel på 45° , eftersom det ger en blandning mellan bästa manövrerbarheten och motståndet med strömmar. Dessutom är 45° en bra vinkel för att minimera risken att tång fastnar i vingarna (Webb m. fl., 2001).

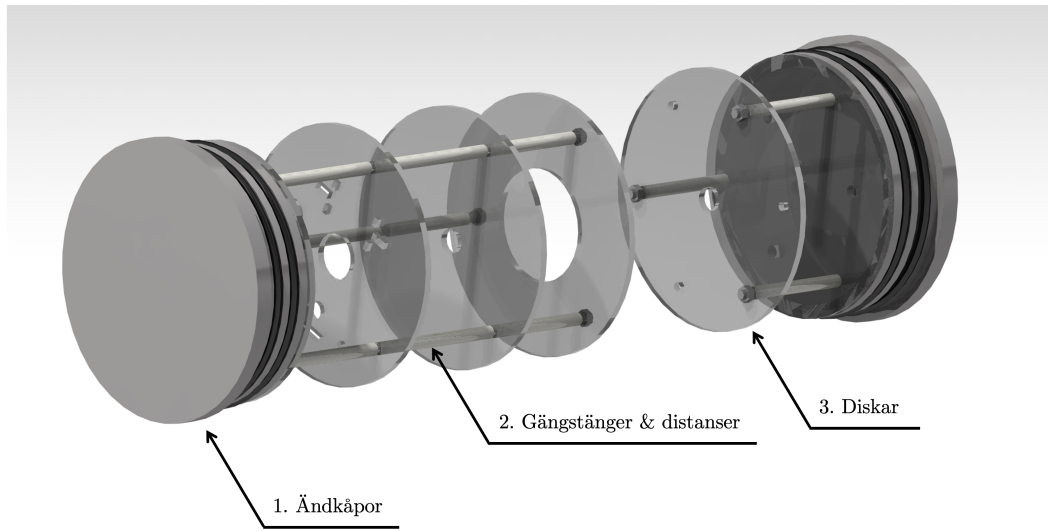
För att fästa vingarna mot farkostens kropp undersöktes och testades flera olika typer av fästen. 3D-utskrivna prototyper användes för att utvärdera dess funktionalitet.



Figur 3.16: Illustrerad vinge, där ϕ betecknar vingens svepvinkel.

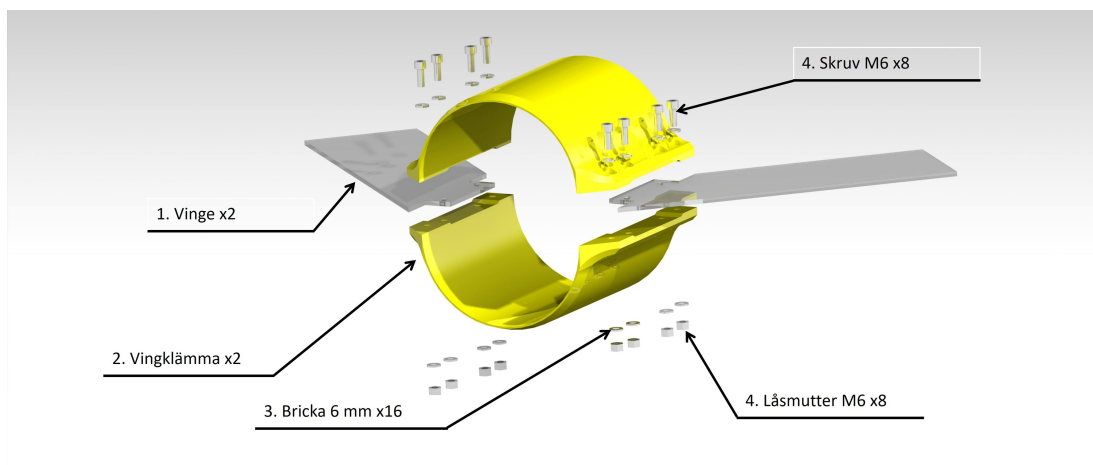
3.2.5 Resultat

Design och konstruktion av farkostens hölje och modularitet var en iterativ process. Sammanfattningsvis består skrovet av ett rör (längd 97 cm, godstjocklek 5 mm) i PMMA och två ändkåpor i aluminium (se bilaga G för dimensioner samt figur 3.17 för illustration). Materialvalen baserades på materialanalys i *Ansys Granta Edupack* samt FEM-simulering i *Ansys Workbench*. Den interna strukturen utformades för att vara modulär, eftersom det gör att nya komponenter kan monteras i skrovet. Exempelvis kan olika mätutrustningar integreras i strukturen.



Figur 3.17: Illustration av inre struktur. Inre diskar hålls på plats med vita distanser. Gängstängerna är fästa i ändkåpor. Röret är ej illustrerat i bilden.

I figur 3.18 visas ett vingfäste. Vingklämmorna (komponent nr.2 i figur 3.18), monteras först runt skrovet med skruvförband. Därefter kan vingarna (komponent nr.1 i figur 3.18) monteras i ett spår, som finns i vingklämmorna, med skruvförband. Detta för att kunna demontera vingarna under transport på land utan att påverka vingklämmornas position på skrovet.



Figur 3.18: Fäste för vingar, som sedan kläms på skrovet.

3.3 Flytkraftsmotor

En flytkraftsmotor justerar en farkosts flytkraft i en fluid genom, oftast genom att justera mängden volym som farkosten upptar. Enligt Arkimedes princip förändras då lyftkraften på farkosten. I detta projekt görs detta med syftet att få glidern att stiga eller sjunka.

En gliders flytkraftsmotor bör designas och dimensioneras efter noggrann utvärdering av dess storlek, dyktid, användningsmiljö och kundens individuella krav. De krav som tidigare diskuterats i avsnitt 1.1 användes därav som beslutsunderlag när flera möjliga varianter undersöktes. Några olika typer av flytkraftsmotorer undersöktes i syfte att avgöra vilken sort som var bäst lämpad för projektets syfte och som samtidigt var möjlig för gruppen att framställa.

3.3.1 Kolv-cylinder baserad flytkraftsmotor

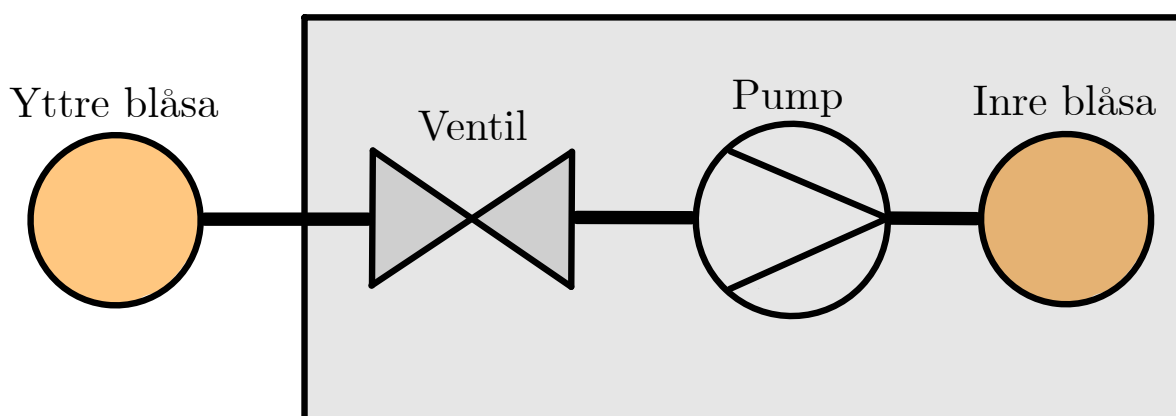
En principiell enkel lösning är att använda en kolv-cylinder-baserad flytkraftsmotor. En cylinder skulle då placeras längst fram på glidern med en kolv som avgränsar insidan av glidern mot vattnet på utsidan. Genom att ändra positionen på kolven går det att justera den undantryckta volymen ΔV (se ekvation 2.1). En stor fördel med denna lösning är att det enkelt går att ha koll på hur mycket vatten som trycks undan eftersom kolvens position är enkel att mäta. Svårigheterna med denna lösningen är däremot att få 100 % täthet mellan kolven och cylinder utan att orsaka stor friktion.

Ytterligare en svårighet som upptäcktes med denna lösning var drivningen av kolven. Ett linjärt ställdon undersöktes men förkastades, då dessa blir stora när de ska kunna trycka undan vatten på det tryck som glidern ska klara. Efter konsultation personal på Chalmers prototypplabb uppmärksammades även svårigheterna att rikta kolvdelen och ställdonet exakt lika, samt svårigheten att tillverka en sådan kolv (Bragee, 12-03-2023). Ytterligare nackdelar med denna lösning var att det linjära ställdonet skulle ställa stora hållfasthetskrav på den inre strukturen eftersom den skulle behöva trycka med en kraft på uppskattningsvis 5 kN vid maximalt djup. Kraften kunde minskas genom att sänka diametern på cylinder men det medförde att cylindern behövde vara längre för att behålla samma volym. Ställdonet blev då också större om större slaglängd krävdes. Slutligen förkastades denna lösning eftersom dess nackdelar övervägde fördelarna.

3.3.2 Oljebaserad flytkraftsmotor

En oljebaserad flytkraftsmotor justerar den undantryckta volymen genom att förflytta olja från en blåsa på insidan av glidern till en blåsa på utsidan. Detta genomförs med en pump och vidare stoppas oljan på utsidan att tryckas tillbaka till insidan av trycket med en ventil som placeras innan pumpen. Olja används i systemet eftersom den har en lägre densitet än vatten ($\rho_{olja} \approx 800 \text{ kg m}^{-3}$). I figur 3.19 illustreras den principiella uppbyggnaden av en oljebaserad flytkraftsmotor.

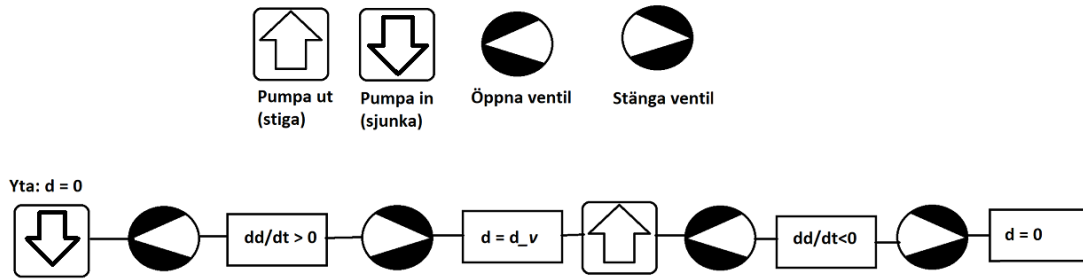
Insida av glider



Figur 3.19: Översikt av hur flytkraftsmotorn schematiskt kommer att vara uppbyggt

Fördelen med detta system är att det endast uppkommer en tryckgradient vid ventilen och pumpen. Detta är optimalt då dessa komponenter är väl lämpade för att hantera tryckgradienter. Vidare tar denna lösning ganska lite plats och kan placeras ganska fritt inom glidern med slangar som sammankopplar de ingående delarna. En fördel är även att oljan naturligt kommer tryckas in mot gilderns insida när ventilen är öppen på grund av det högre trycket utanför glidern. Detta är fördelaktigt då det sparar energi. Noterbart är dock att behov av att pumpa oljan i båda riktningarna fortfarande existerar då det finns mycket energiförluster för flödet in i glidern som vattentrycket inte nödvändigtvis kan övervinna. En nackdel med denna lösning är att den ställer höga krav på pumpen som behöver ha ett stabilt flöde och kunna jobba mot ett ganska högt tryck. Vidare behöver blåsorna vara placerade så att oljan alltid kommer att ha kontakt med mynningen och då kan förflyttas från blåsan.

När glidern ska dyka kommer pumpen att sättas i gång och ventilen öppnas. För att hinna bygga upp ett tryck som kan motstå det utomstående vattentrycket är det fördelaktigt om ventilen öppnas strax efter att motorn till pumpen har startat. Detta kan åstadkommas med kod eller med en kondensator som sitter innan ventilen. I figur 3.20 följer ett flödesschema över vilka steg som ingår i ett dyk. Ett dyk innebär att glida ner från vattenytan, vända vid ett visst djup för att sedan glida upp till vattenytan igen. Noterbart är att om glidern vänder på ett tillräckligt djup försvinner behovet av att pumpa in oljan på grund av trycket utanför glidern. Detta djup är svårt att uppskatta utan tester på grund av trögheten i pump och slangar. Därav beskrivs dyken nedan med in- och utpumpning.



Figur 3.20: Flödesdiagram för flytkraftsmotorn under ett dyk. Djupet under vattenytan betecknas d och d_v är ett specificerat vänddjup.

Ett problem med detta system är att det inte kommer att vara möjligt att veta volymen olja i respektive blåsa. Eftersom pumpen förflyttar olika mängder vätska beroende på vilket tryck som den arbetar mot går det inte att anta ett konstant flöde för alla djup. Det är heller inte möjligt att anta att flödet beror linjärt på trycket, då många andra faktorer spelar in i mängden flöde. Eftersom det krävs många omgångar pumpande för en mätning skulle ett litet fel i uppskattningen av flödet kunna leda till att för mycket olja pumpas i någon riktning. Detta kan leda till att glidern inte får den flytförmågan som önskas eller att någon av blåsorna går sönder. Med större och mer avancerade program hade denna lösning säkert kunna fungera bra, men enkelheten i att istället bevaka den vertikala hastigheten bedöms överväga detta.

Sammantaget identifierades den oljebaserade flytkraftsmotorn som det bättre alternativet och togs ensamt vidare för utveckling och dimensionering.

3.3.3 Flytkraft och oljemängd

För att initialt erhålla en uppfattning om hur stor oljemängd som skulle krävas gjordes en enkel simulering på hur vertikala hastigheten i vatten beror av blåsvolymen. Resultatet av denna återfinns i bilaga D och visade att ca en liter skulle vara en fullt tillräcklig volym för att få önskvärda resultat. Vid studiebesöket på VOTO framgick det däremot att deras glider, som var både tyngre och större än vad detta projektets, pumpade en betydligt mindre mängd olja (2 dL) (Voice of the Ocean, 20-02-2023). Det beslutades då att mer tid skulle läggas på att ge glidern en neutral flytkraft i normalfallet i utbyte mot en mindre oljemängd att förflytta. Exakt oljemängd bestäms vid framtida arbete.

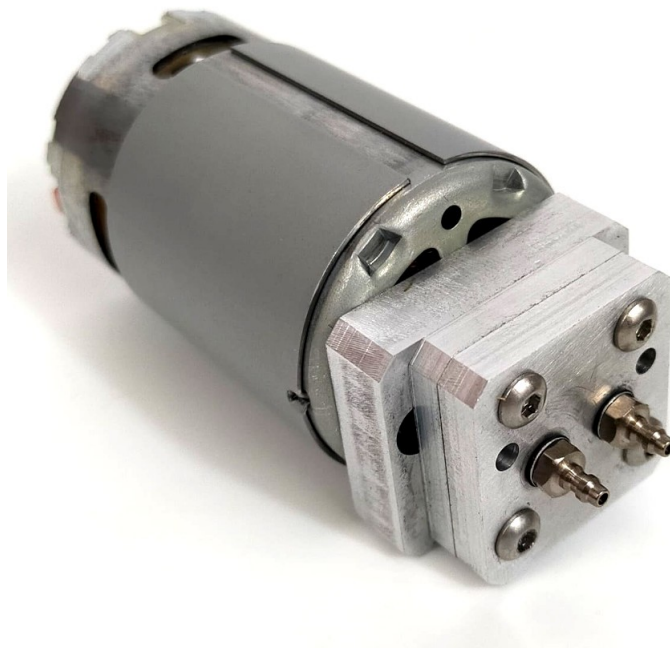
3.3.4 Pumpdimensionering

Pumpen är en av en gliderns mest kritiska komponenter, eftersom det generellt är den mest energikrävande komponenten (Voice of the Ocean, 20-02-2023). Den behöver också vara tillförlitlig och vara relativt kraftfull för att klara att pumpa mot det externa vattentrycket. Utifrån dessa krav identifierades pumptypen positive-displacement pump önskvärd på grund av dess energieffektivitet vid högre tryck samt god funktion med viskösa fluider (Engineers, 2023). Denna pumptyp kan dessutom arbeta i två riktningar, vilket krävs för projektets tillämpning. Pumpen bör också ej ha en övertrycksventil, eftersom pumpens arbetstryck kommer variera under körningen. Nackdelen med detta är dock om det skulle bli fel där pumpen körs och ventilen inte öppnas. Det hade i värsta fall lett till oljeläckage men risken för den typen av elfel anses försumbar. Det är även önskvärt om pumpen

tillåter backflöde, alltså att pumpen tillåter olja att flöda igenom pumpen utan att den körs.

Vid undersökningen av tillgängliga pumpar på marknaden inom budget och önskemål identifierades kompletta pump-motorpaket som önskvärda. Detta eftersom det genererar högre tillförlitlighet genom en minskad komplexitet. Det är fördelaktigt både ur ett monterings och volymmässigt perspektiv i glidern. Detta skulle även ge möjlighet till snabbare installation vilket också anses fördelaktigt för att tidiga testningar. Nackdelen med sådana sammansatta lösningar är att det antagligen går att hitta billigare bättre individuella komponenter. Fördelarna ansågs dock övervägande med en sammansatt lösning.

Avslutningsvis valdes en pump med en borstad motor från *MAGOMHRC* (magomhrc, 2023-04-17), se figur 3.21. De tillval som gjordes var att få raka slangkopplingar med en diameter på 3 mm. Tillverkaren påstår att pumpen ska klara av 25 bar men arbetar som bäst vid under 10 bar. Flödet ska då kunna uppgå till 500 ml/min. Dessa begränsningar uppfyller kravet på 100 meters och övriga krav som återfinns i kravspecifikationen som ligger bifogad i bilaga. A.

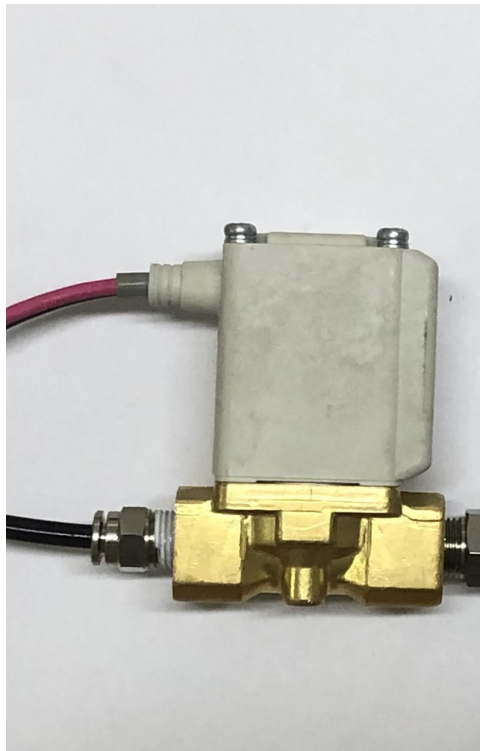


Figur 3.21: Bortlös DC-motor kopplad med kugghjulspump. Hämtad från [magomhrc](#).

3.3.5 Ventil

Systemets krav på en ventil är främst att den ska vara normalt stängd och tillförlitlig. Ventilen som valdes var SMC spolventil och presenteras i figur 3.22. Den är normalt är stängd genom en fjäder som trycker ner en spärr till genomflödet. För att öppna ventilen appliceras en ström genom spolen och det skapar ett magnetfält som trycker upp fjädern och då tillåter ett flöde genom ventilen. Ventilen kräver en spänning på 12 V för att öppnas. Den ventil som används är tillverkad för vatten som medium. Då vatten är mer korroderande än olja och har lägre viskositet bedöms detta inte vara något problem. För ett mer långsiktigt användande är det troligtvis bättre att använda en ventil som är

avsedd olja. Ventilen är tillverkad för att klara 10 bar.

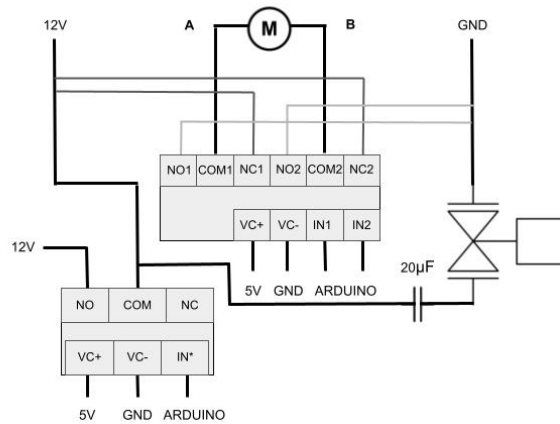


Figur 3.22: SMC Soleniod ventil, kopplas till slangar på den guldfärgade delen.

3.3.6 Pump- och ventilstyrning

Till en börjar var tanken att styra pumpmotorn med en ESC, (electronic speed controller). Vid test av en ESC från pumpens tillverkare gick denna däremot sönder. Denna lösning förkastades för att i stället försöka bygga en egen H-brygga som kan styra i vilken riktning strömmen går över två poler. Även detta misslyckades då det gick för mycket ström genom de transistorer som beställts. Tanken var att styra ventilen genom att använda en enkel transistorswitch. Switchen fungerade initialt men även här blev det problem med transistorn.

Genom att offra regleringen av pumpens hastighet löstes problemet genom att använda relän som styr vilken av två poler som strömmen kommer ifrån. Denna försämring i styrbarhet ansågs försumbar eftersom pumpens flöde är relativt lågt. Det behövs därav inte mer precision än 0 / 100 % pumpning. Styrning åstadkoms då genom att använda tre relän som styr om pumpen får ström eller inte, samt vilken polaritet pumpen får. Ett första relä styr om pumpen ska få ström eller inte. Sedan är två relän kopplade till pumpen som styr om strömmen ska gå från pol A till pol B eller tvärt om, se figur 3.23. Reläerna kontrolleras via digitala 5 V portar från arduinon. I tabell 3.5 demonstreras hur ström fördelas för att styra riktningen som motorn pumpar i. Ventilen kopplas även in på detta system. Varje gång pumpen aktiveras öppnas ventilen med 0,5s fördröjning på grund av kondensator med 20 μ F. Detta för att pumpen ska hinna bygga upp ett litet tryck innan pumpning.



Figur 3.23: Kopplingschema för reläkoppling

Tabell 3.5: Pumpens styrning med reläkopplingen

IN*	IN2	IN1	COM2	COM1	A	B	Resultat
IN*=1, 12V on	1	0	-	+	GND	12V	Pumpning in
	0	1	+	-	12V	GND	Pumpning ut
IN*=0, GND	0	0	+	+	12V	12V	-
	1	1	-	-	GND	GND	-

3.3.7 Blåsor och oljetransport

Mediet i flytkraftsmotorn valdes till hydraulolja. Detta eftersom det är enklare att handskas med än luft eller gas som inte går att förvara i flytande form och som dessutom är kompressibelt under tryck. Olja har även en lägre densitet än vatten, vilket gör att den kommer att ha en större effekt på flytkraften när den förflyttas. Vidare finns det många komponenter som är gjorda för att förflytta och förvara hydraulolja. Till en början testades olja med graderingen ISO VG 116, som har hög viskositet. Med en så trögflytande olja gick det långsamt för pumpen. Det valdes då att i stället använda olja som var graderad till ISO VG 32 som hade en lägre viskositet och gick lättare att pumpa.

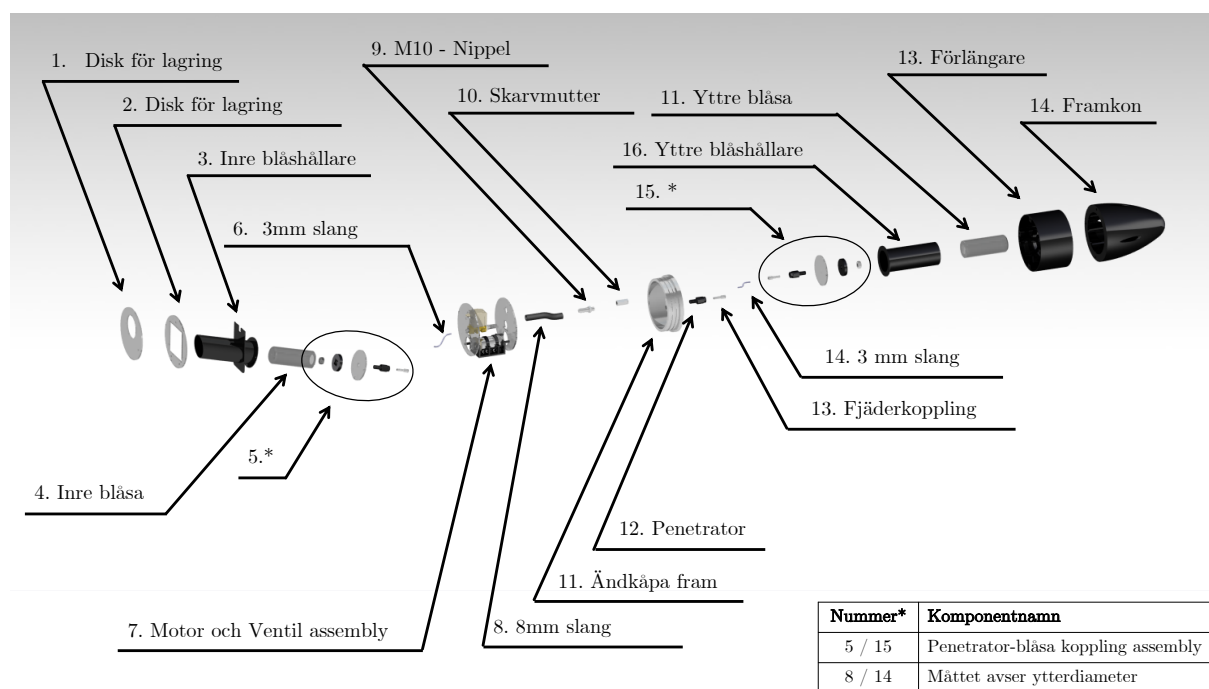
De slangar som oljan transporteras i är två olika plastslangar som dimensionerats för att matcha pumpens och ventilens standarder och dimensioner. Båda slangarna kan operera under 10 bar och dess yttre diametrar är 3 respektive 8 mm.

Vid dimensionering av blåsor betraktas de krav som identifierats. Eftersom mediet på båda sidor om blåsorna alltid har samma tryck kommer blåsorna i sig aldrig uppleva någon tryckgradient. Detta innebär att de bara behövde vara vattentäta. Vidare behöver de rymma 3 dl och kunna ändra volym efter hur mycket olja som de innehöll. Valet föll då på att använda kondomer eftersom dessa var billiga och tillgängliga. Alternativet kontra kondomerna var att beställa oljeblåsor av tjockare gummi som används i hydrauliska oljeackumulatorer. Dessa är fördelaktiga, då de har betydligt mer robusta kopplingar och

även en mer hållfast och tålig utsida. Dock valdes de bort på grund av lång leveranstid för önskad storlek, det höga priset och dess onödigt stora volym och vikt. Valet att använda kondomer var även fördelaktigt för att möjliggöra fler tester tidigt i processen. Till dessa blåsor designades även behållare som skyddar blåsornas och upprätthåller dess position.

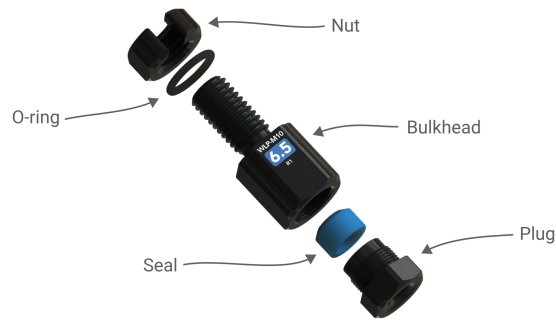
3.3.8 Översikt och montering

I figur 3.24 presenteras en sprängskiss med alla ingående komponenter i flytkraftsmotorn. Nedan följer ytterligare beskrivningar och motiveringar till systemets struktur och sammanfogning.



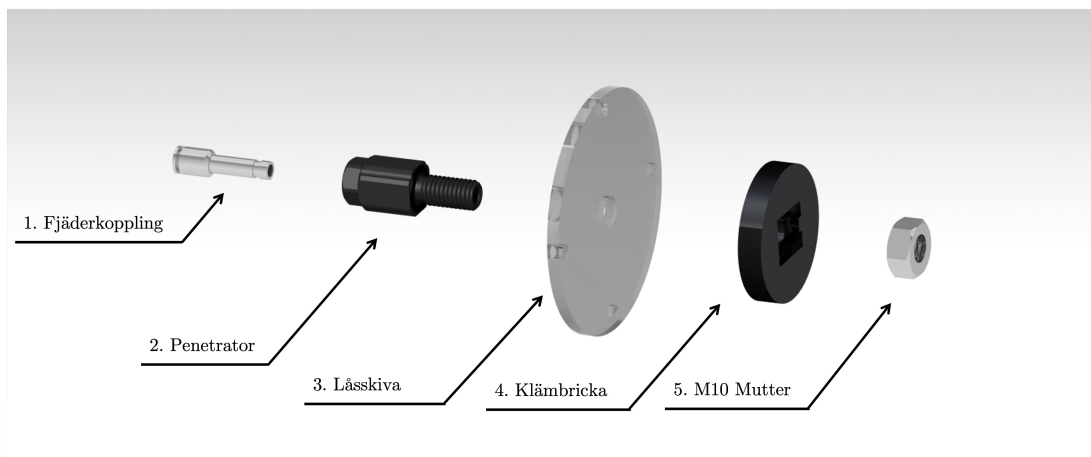
Figur 3.24: Sprängskiss över ingående komponenter i gliderns flytkraftsmotor.

En nyckelkomponent för att genomföra vattentäta kopplingar som tidigt identifierades var penetratorn från *Blue Robotics* (Robotics, u. å-b). Den är specialdesignad för kablar men användes även tillsammans med (komponent nr 13). En sprängskiss över penetratorns komponenter presenteras i figur 3.25. Penetratorn håller en tät koppling mellan de två medium genom en o-ring om som pressas genom ett skruvförband. Den säkerställer runt kabeln genom en mutter som klämmer en plastpackning som slangen löper genom.

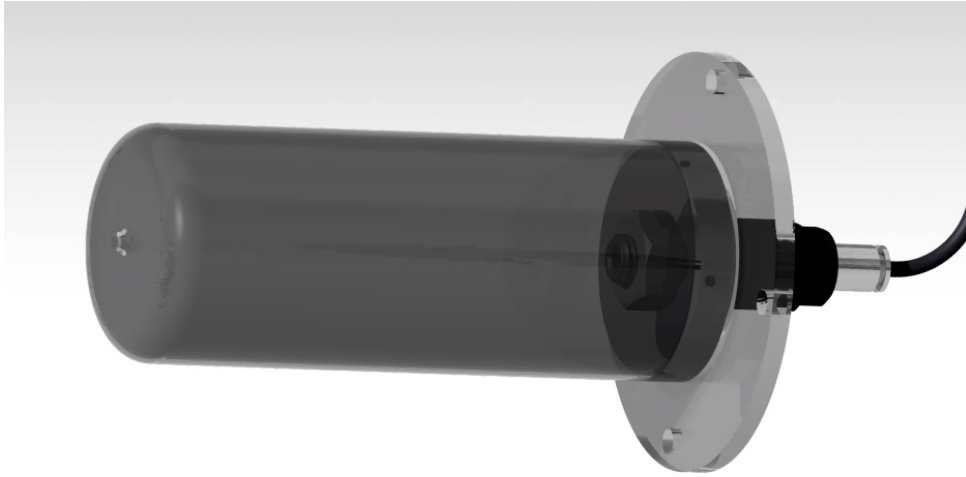


Figur 3.25: Sprängskiss över penetratorns komponenter. Hämtad från [Blue Robotics](#).

Kopplingslösningen som ses i (komponent nr 5 & 15) är kopplingen från slang till blåsa, visas i större detalj i figur 3.26. Förslutningen sker genom att penetratorns o-ring om hålls med tryck mot en låsskiva i PMMA. Detta görs genom penetratorns mutterskalle som fixeras i rotation av en 3D-printad klämbrička. Blåsan kan därav låsas genom att dess o-ring träs över muttern och in på baksidan av klämbrička för att därav fixeras med åtdragande av penetratorn. Detta illustreras ytterligare i figur 3.27. Fjäderkopplingen kläms i penetratorn med penetratorns toppmutter och plastpackningen.



Figur 3.26: Sprängskiss över kopplingslösningens komponenter.

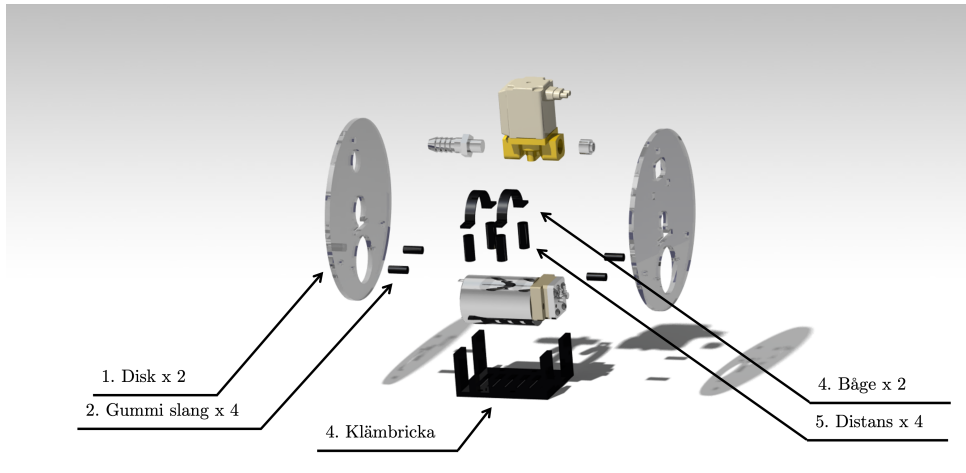


Figur 3.27: Rendering av kopplingslösningen från blåsa till slang.

Diskarna (komponent nr 1 & 2) är utskurna i PMMA med en laserskärare. Alla svarta delar i figuren (komponent 3, 13 & 14) är tillverkade genom additiv tillverkning i materialet PLA. Dessa har utvecklats för statisk lagring av komponenter. Den inre blåsan (komponent nr 4) med medföljande koppling har utvecklats för att lagra blåsan i en vinkel på ca 15° mot horisontalplanet i gliderns längsriktning. Detta för att se till att oljan ligger i anslutning till ut / inlopp. Komponenten lagras till den inre strukturen genom ett skruvförband till en disk (komponent nr 2). Den yttre blåsan är uppbyggd på samma sätt med skillnaden att blåsan inte lagras med någon vinkel. Detta beror på att glidern är vinklad med framkonan uppåt när olja pumpas in i glidern.

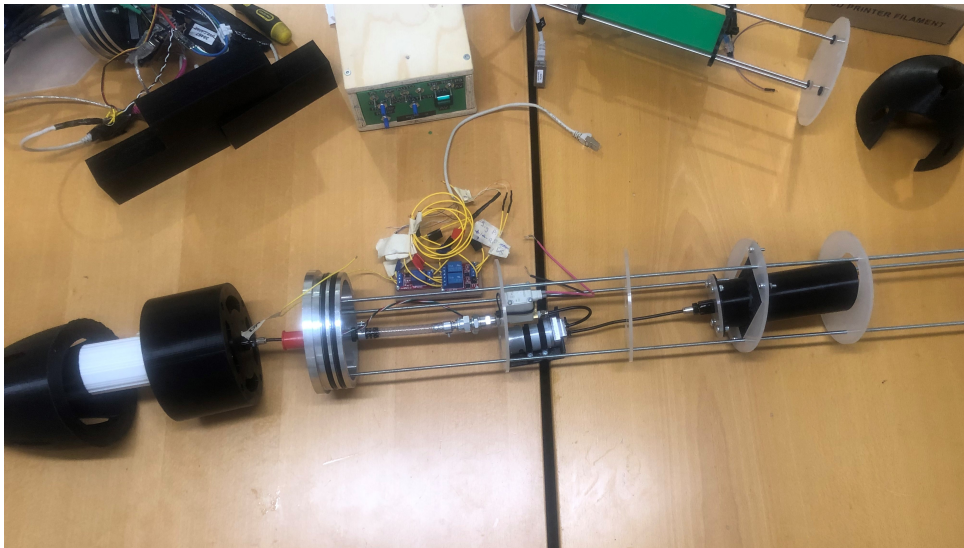
Kopplingen genom ändkåpan sker återigen genom en penetrator. Tanken initialt var att fästa den grövre slangen direkt på 8 mm-slangen. Det gick dock inte på grund av ändkåpanns tjocklek. Detta löstes genom att förlänga penetratorn på insidan med en skarvmutter. Denna skarvmutter kopplas sedan till en nippel som säkras med en slangklämma till den 8 mm-slangen som löper till ventilen. På utsidan av ändkåpan låses en fjäderkoppling till penetratorn som kopplas till en 3 mm-slangen som sedan kopplas till den yttre blåsan. Denna koppling mellan (komponent nr 12 - 15) medförde behovet av en distans, (komponent nr 13) ut från ändkåpan. Distansen fungerar även som statisk struktur då lagrar genomgående skruvar som låser framkonan och även den yttre blåshållaren.

Under testning av pump och ventil gjordes upptäckten det att pumpen orsakade en del vibrationer och även utvecklade lite värme. Vibrationerna kan påverka andra delsystem i glidern och de bör därför hållas till ett minimum. Det utvecklades därav en vibrationsdämpande hållare för hela pump- och ventil-assemblyn, se figur 3.28. Vibrationsdämpningen sker genom att pumpen fjädras i diskarna med en gummislang som löper utanför M3 skruvförband. Dämpningen kräver då att gummislangen är längre än förbandslängden, vilket gör att gummit alltid är i kompression och kan absorbera vibrationer.



Figur 3.28: Visar pump- och ventillasembyln.

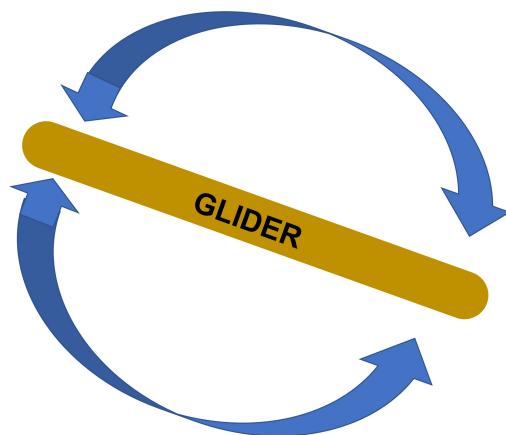
Nedan presenteras i figur 3.29 en bild på flytkraftsmotorn i prototypstadie. I bakgrunden visas även fysiskt relä-kopplingen som tidigare presenterats i avsnitt 3.3.6. Noterbart i figuren att avstånden på slangarna inte har korrekt mått. En ytterliggare avvikelse är att pumpmotorn inte sitter korrekt monterad. Det röda locket som sticker fram ur ändkåpan är skyddet på den trycksensor som ska användas.



Figur 3.29: Visar flytkraftsmotor under prototypbygget.

3.4 Pitchkontroll

Ett kritiskt delsystem i gliderns framdrift är en pitchkontroll. Pitchkontrollen justerar gliderns vinkel, φ , mot horisontalplanet, se figur 2.2 och 3.30.



Figur 3.30: Förenklad illustration av pitch-kontrollens funktionalitet.

Syftet med att kunna kontrollera gliderns vinkel mot horisontalplanet är för att vingarna ska kunna driva farkosten framåt i samband med att den sjunker eller stiger. Projektgruppen bestämde sig tidigt för att detta skulle åstadkommas genom att förflytta farkostens tyngdpunkt längs dess färdriktning.

Eftersom pitchkontrollen är avgörande för farkostens framdrift är det av stor vikt att den är tillförlitlig. En enkel konstruktion har därför eftersträvats i samband med utvecklingen. Därför beställdes ett linjärt ställdon med syfte att tidigt kunna experimentera med olika typer av lösningar. Initialt konstaterades det även att det lämpar sig väl att skriva ut de ingående komponenterna med en 3D-printer eftersom hållfasthetskraven är låga. Det leder även till en god kostnadseffektivitet.

Designen itererades fram genom flera mindre tester. Det bestämdes tidigt att de tilltänkta batterierna ska förflyttas i längdled för att i sin tur flytta på farkostens tyngdpunkt. Detta eftersom batterier är tunga och därmed inte behöver förflyttas lika långt för att skapa samma vridande moment som en lättare komponent. Se avsnitt 3.7 för metod gällande val av batterisystem.

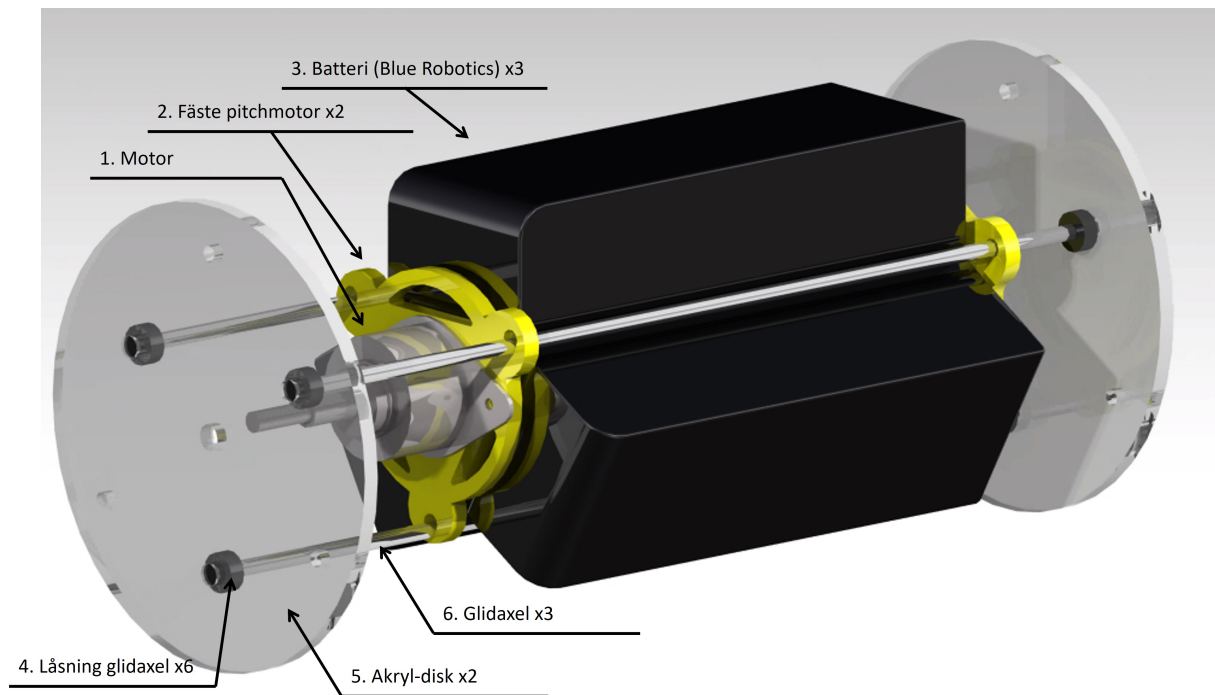
Initialt skrevs följande komponenter ut med syfte att testa passform och monterbarhet. Se figur 3.31. Det konstaterades att mindre justeringar krävdes för att komponenterna skulle passa i varandra. I övrigt ansågs konstruktionen lämplig och en slutgiltig konstruktion designades.



Figur 3.31: Första utskrift av fästet till triangelprofil.

3.4.1 Resultat

Figur 3.32 illustrerar en digital modell av pitchkontrollern. Delsystemet är en billig och enkel konstruktion som med hjälp av ett linjärt ställdon förflyttar de tilltänkta batterierna (komponent nr 3).



Figur 3.32: Tre exempelbatterier från *Blue Robotics* (komponent nr.3) illustreras monterade på en konstruktion (komponenterna nr.1 & 2) som i sin tur är upphängd och glider i längsled på tre stycken glidaxlar (komponent nr.6). Den upphängda konstruktionen förflyttas av en pitchmotor (komponent nr.1) och delsystemet i sin helhet fästs med små låsningar (komponent nr.4) i innanhöljets arkitektur (komponent nr.5).

Paketet består utav sju stycken huvudsakliga komponenter, varav sex stycken åskådliggörs i figur 3.32. Batterierna (komponent nr. 3) fästs på en 3D-utskrivna triangelformad profil (komponent nr.7). Den triangelformade profilen är i sin tur hopklämd mellan två fästen (komponent nr. 2). Det ena utav de två fästena huserar ett linjärt ställdon (komponent nr.1 i figur 3.32 komponent nr.05-01 i bilaga B) som i sin tur driver paketet längs med tre stycken glidaxlar (komponent nr. i figur 3.32 komponent nr.05-02 i bilaga B). Vid enklare tester har följande tekniska specifikationer kunnat sammanställas, se tabell 3.6.

Tabell 3.6: Tekniska specifikationer för pitchkontroll.

Hastighet	~ 2 cm/s
Spänning	12 V
Effekt	10 W
Slaglängd	55 mm
Maximal belastning	100 N

Drivning av motorn

Det linjära ställdon som beställdes, komponent nr.05-01 i bilaga B, hade en inbyggd stegmotor och krävde därmed drivning från en extern H-brygga (komponent nr.05-03 i bilaga B). H-bryggan implementerades inledningsvis på ett kopplingsdäck, på så sätt skapades en god översikt i samband med att ett kopplingschema utvecklades. Se bilaga F.

Mjukvara

För att automatisera pitchmotorn så att glidern kan justera batteriets position för att nå en viss vinkel utfördes tester med ett gyroskop. Gyroskopet kopplades till Arduinon med I2C protokollet och vinkeln i horisontalld avlästes. Enklare mjukvara behandlade i sin tur vinkel och justerade batteriets position därefter.

3.5 Styrning och sensorer

För att styra alla komponenter i glidern valdes mikrokontrollern *Arduino Uno*, då denna enkelt kan ha kontakt med många av de sensorer och motorer som skulle användas utan att dra för mycket energi. Vidare saknades djupare kunskaper om styrning av något slag förutom enstaka inslag i tidigare kurser. Då Arduino är open-source och har stor användarbas finns det mycket hjälp att tillgå för många olika användningsområden.

Vid framtagandet av koden och kopplingarna med Arduinon testades först varje delsystem var för sig innan de stegvis integrerades med resten av koden.

3.5.1 Resultat

All styrning av glidern gjordes genom Arduinos som tolkade inställda lägen på kontrollen och sedan styrde gliderns funktioner utefter det. Alla ingående delars elektronik kopplades med CAT6 ethernetkablar, vilka sedan löddes på kopplingsbrädor fästa ovanpå båda Arduinos. Med detta val går det enkelt att koppla större delsystem direkt till en Arduino utan att behöva hålla koll på massa mindre kablar. Det gör även glidern mycket mer modulär då det enkelt går att plocka isär och individuellt testa eller modifiera delsystem.

De sensorer som glidern blivit utrustad med är en trycksensor och ett gyroskop, båda dessa kopplades till Arduinon med I2C, ett kommunikationsprotokoll som möjliggör att använda många flera sensorer samtidigt då varje sensor får en egen adress i stället för en egen pin där den avläses. Värdena från sensorerna uppvisades sedan på en skärm som även den var uppkopplad med I2C för att informera om gliderns vinkel och djup.

Med kontrollen som syns i figur 3.33 går det att välja om glidern ska pumpa in eller ut, om den ska justera pitchmotorn manuellt eller automatiskt, om den ska vinklas upp eller ner, hur snabbt motorn ska gå och vilken vinkel rodret ska inta.

3.6 Arduinoprogram och kontroller

Programmet som styr hela glidern skrevs i C++ i scriptredigeraren och kompilatorn Arduino IDE. I Arduino IDE finns många funktioner för att ladda ned och använda utomstående bibliotek samt ladda upp kod till Arduinos. Programmet för den första Arduinon, som är kopplad till flytkraftsmotorn, pitchmotorn och trycksensorn samt reglagen för dessa, bestod av flera egenskapade bibliotek som hanterade varje komponent som styrdes. Dessa sammanställdes i en main-funktion som anropar funktioner i biblioteken beroende på vilka reglage som är aktiverade.

Eftersom den andra Arduinon enbart styr thrustern och rodret skapades inga egna bibliotek för dessa. De styrdes istället direkt från en huvudfunktion, även kallad main-funktion,

där styrningen beror på vilka reglage som är aktiverade.

Utöver detta användes flera open-sourcebibliotek för att styra bland annat det linjära ställdonet som förflyttar batteripaketet. I bilaga H återfinns hela källkoden med alla egen-skapade bibliotek för Arduinon. Övriga bibliotek går att hitta på [Arduinos egna hemsida: arduino.cc](http://Arduino.com) där det även går att läsa dokumentation på biblioteken.

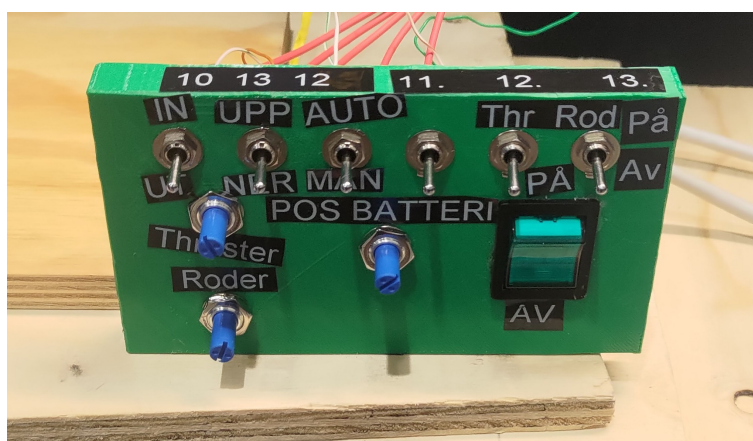
För att kommunicera med båda Arduinos och därmed styra gliderns funktioner byggdes en extern kontroll. Denna består av flertalet vippströmbrytare och potentiometrar som gav Arduinon information om vilka lägen den skulle infinna sig i eller i vilken utsträckning någonting skulle uträttas, exempelvis förflytta batterierna. Dessa listas nedan i tabell 3.7.

Tabell 3.7: Beskrivning av reglage och dess funktion.

Typ	Funktion	Arduino	Värden
Vippställsbrytare	Pumpriktning	1	Ut/In
Vippställsbrytare	Pumpläge	1	På/Av
Vippställsbrytare	Pitchreglering	1	Manuell/Automatisk
Vippställsbrytare	Pitchreglering automatisk	1	Upp/Ner
Potentiometer	Batteriposition - pitch	1	0 - 100% av längden
Vippställsbrytare	Trusterläge	2	På/Av
Vippställsbrytare	Roderläge	2	På/Av
Potentiometer	Thrusterhastighet	2	100 % bakåt drift - 100% framåt drift
Potentiometer	Roderposition	2	-30° - 30°

Dessa reglage justeras manuellt av användaren med kontrollen och det finns även en extra vippställsbrytare som är kopplad till Arduino två som kan programmeras till en extra valfri funktion.

Alla vippställsbrytare kopplades till Arduinon parallellt med en 10 kΩ pull-down resistor för att säkerställa att Arduinon får ett läge som går till jord när vippströmställaren är i avstängt läge. Alla knappar märktes och vilken pin de var kopplade till antecknades vid sidan av lådan för att senare kunna felsökas eller kopplas om, se figur 3.33



Figur 3.33: Kontrollplatta med etiketter.

3.7 Batterier

Prototypen kommer att drivas och styras från land via en säkerhetslina, därav kommer batterierna inte att finnas med i den slutgiltiga konstruktionen. I CAD-modellen är batterierna däremot med eftersom de tilltänkta för slutkonstruktion. Batterierna har kapaciteten 30 A h, hur länge den energin kommer räcka är ännu inte uppskattad (Se avsnitt 5.2 för diskussion).

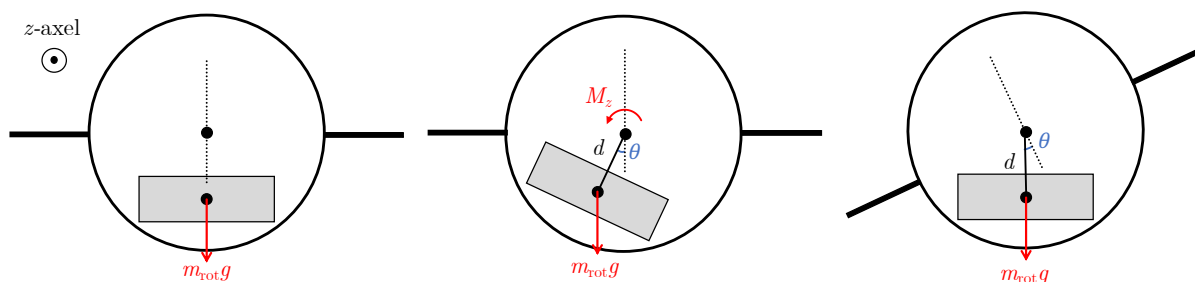
3.8 Manövrering i horisontalplanet och design av akter

Då glidern önskas kunna användas i skärgårdsmiljö – en utmanande miljö med många hinder – är ett krav från *Revere* att glidern har god manövrerbarhet i horisontalplanet. På marknaden idag finns framförallt två metoder för manövrering av gliders och dessa är rotering av intern massa eller ett roder (Barker, 2012). För att avgöra vilken av metoderna som var bäst lämpad för detta projekt gjordes en kortare teoretisk analys, där krav på vattentäthet, liten svängradie, eventuella svårigheter vid konstruktion samt komplexiteten av styralgoritmerna togs i beaktande. Övriga metoder som inte innefattar dessa valdes även att utvärderas hastigt.

Inledningsvis undersöktes hur ett system med rotation av massa skulle kunna leva upp till kraven från *Revere*. Manövrering av glidern styrs genom att förskjuta dess tyngdpunkt, vilket skapar ett roll-moment, M_z , kring gliderns längdaxel; z -axeln i figur 3.34. Momentet ges av $M_z = d \sin(\theta) \cdot m_{\text{rot}} g$, där d är hävarmen, m_{rot} är massan som roteras, θ är rotationsvinkeln och g är tyngdaccelerationen. En uppenbar fördel med detta system är att allt sker inom skrovet och det är således helt vattentätt. Dock hävdar (Ribeiro m. fl., 2015), som konstruerat en glider med roterbar massa, att m_{rot} behöver uppgå till $\sim 90\%$ av gliderns totala massa för att överträffa den svängradie som kan skapas av ett roder. Vidare har konventionella gliders med en mindre roterbar massa ofta en stor svängradie på 20 – 30 m (Davis m. fl., 2003). Att manövrera glidern med ett akterroder kan i stället ge en betydligt mindre svängradie på ~ 7 m (Davis m. fl., 2003). Nackdelen med ett roder är att det ställer större krav på tätning kring roderaxeln. Sammantaget gjordes bedömningen att en roterbar massa inte skulle ge glidern tillräckligt god manövrerbarhet samt att det skulle vara svårt att konstruera och styra. Glidern manövreras således med ett roder i dess akter.

Utöver rotation av massa och akterroder utvärderades andra – mer okonventionella metoder – för att möjliggöra styrning i horisontalplanet. En design där glidern är uppdelad i två sammanfogade segment och svänger genom en intern led likt en ledbuss (dragspelsbuss) utvärderades. Detta kommer med fördelen att skrovet kan vara helt intakt samt att en god svängradie troligen hade kunnat uppnåts. Ur vissa aspekter ansågs lösningen dock problematisk, då ett mjukt rörligt material exempelvis hade haft svårt att stå emot trycket vid djupen som glidern ska kunna operera på. Lösningen bedömdes därmed svår att konstruera och dessutom ansågs den vara platsineffektiv samt problematisk för hydrodynamiken.

Att utrusta glidern med en akterpropeller, som potentiellt skulle kunna vinklas för att tillåta styrning i horisontalplanet utvärderades också. Lösningen är dock beroende av att



Figur 3.34: I figuren visas en skiss över hur ett moment kring z -axeln genereras genom att rotera massan m_{rot} en vinkel θ . Stegen sker från höger till vänster i figuren.

skrovet penetreras för att tillåta en vinkling av propellern. Denna idé valdes bort, då akterpropellern bör kunna monteras av i specifika uppdrag då propellern inte behövs. Att propellern kan monteras av skulle kunna ge förbättrad hydrodynamik samt en viktbesparing som i stället kan ersättas med bestyckning. Om den rörliga akterpropellern monteras av skulle möjligheterna att styra glidern i horisontalplanet minska, vilket inte är önskvärt.

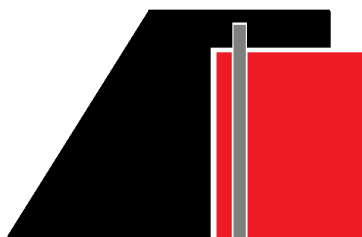
En lösning med en bogpropeller för att styra sig i horisontalplanet diskuterades också. Det största bekymret med denna lösning var att ingen tillräckligt liten och vattentät borstlös motor hittades samt att hydrodynamiken förväntades påverkas negativt.

Att glidern skulle manövreras med hjälp av skrovmonterade dränkbara vattenpumpar var också en idé som utforskades. Lösningen var dock problematisk då den troligen hade varit beroende av många skrovpenetrationer för kabeldragning samt att det hade påverkat hydrodynamiken negativt. Alternativt hade dessa pumpar kunnat tänkas placeras invändigt i glidern, där deras "in- och utblås" penetrerar skrovet. Detta hade förbättrat hydrodynamiken drastiskt, men krävt en avancerad tätning. Pumpa vatten för att svänga var även relativt energikrävande process och vidare hade pumparna svårt att klara 10 bar.

3.8.1 Design av akterroder och kraftöverföring

Akterrodret utformades i huvudsak av en statisk roderdel en rörlig roderdel; svart respektive röd i figur 3.35. För att säkerställa god manövrerbarhet hos glidern placerades rodret vertikalt i överkanten på gliderns akter. Den valdes att placeras i just överkanten för att det ska vara bättre skyddat ifall glidern stöter i botten. Vidare möjliggör placeringen att sensorer eller till exempel en GPS-sändare skulle kunna placeras i rodrets statiska del, något som gjorts av det kommersiella företaget Slocum (Barker, 2012).

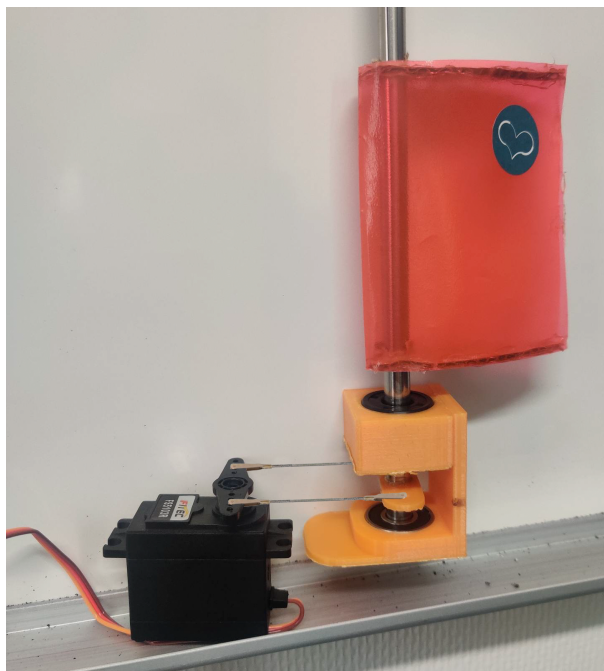
För att rotera rodret krävs en motor med god kontroll över dess position och därför utvärderades alternativ med en stegmotor och med en servomotor. En nackdel med en servomotor jämfört med en stegmotor är att servomotorn kräver ström för att upprätthålla ett moment. Trots det föll valet ändå på en servomotor, eftersom denna var lätt att styra med en Arduino och en potentiometer. För att välja lämplig servomotor med tillräckligt moment gjordes en snabb analys av kraftsituationen kring rodret (se bilaga E).



Figur 3.35: Schematisk bild över akterrodret med den statiska roderdelen i svart, den rörliga roderdel i rött och roderaxeln i grått.

Initialt beställdes servomotorn *MSR-3.2-36 360°* för att göra tidiga tester. Detta var en billigare servomotor med kontinuerlig rotation (360°) och med tillräckligt vridmoment för applikationen enligt analysen av kraftsituationen i bilaga E. Försöken gick ut på att testa hur väl servon kunde styra rodret samt hur applicerat motstånd påverkade servomotorn. I detta fall skedde motståndet genom fasthållning av roderaxeln, men i den slutgiltiga lösningen kommer detta vara det vridmoment som uppstår vid svängning.

För att genomföra testet skapades en testanordning, vilken visas i figur 3.36. Anordningen bestod av en vertikal axel som hölls fast av två kullager placerade i en 3D-printad del. Servomotorns horn (den utbytbara bit, oftast plast, som sitter på servomotorns kugg) var sammankopplad med en böjd ståltråd med ett 3D-printat horn med samma hålavstånd som var fäst direkt i axeln med superlim. På axeln fästes ett roder i kartong och plast i demonstrationssyfte, men även för att lättare se vinkelutslaget som servon gav vid en given insignal. Vid detta test styrdes inte servon med en potentiometer utan istället helt från mjukvara i *Arduino UNO* för att lättare jämföra det önskvärda och det givna vinkelutslaget.



Figur 3.36: Servotestannordning. Notera att denna bild är efterkonstruerad och att den innehåller 2 stötstänger istället för de ursprungliga böjda ståltrådarna, då dessa gått förlorade.

Från testerna drogs slutsatsen att en servomotor med kontinuerlig rotation var svårstyrd för specifika vinkelutslag. På grund av servomotorns kvalitet och med en intern växellåda i plast, bedömdes även risken för utnötning stor. Den böjda ståltråden var även bra i drag, men mindre bra i tryck, samt att den var något oregelbundet formad. Från detta ställdes kraven på en ny servomotor att den skulle ha en begränsad rotation till $\pm 90^\circ$, för att ha en hög ställprecision. Dessa servomotorer har även ökat vridmoment, något som gör hela roderlösningen mer robust och tillförlitlig. Förutom tillräckligt moment ställdes även krav på att servon skulle ha en intern växellåda med kugghjul i metall. De böjda ståltrådarna skall även bytas ut mot stötstänger, en vanlig lösning i bland annat modellflygplan. Vid böjning av ena änden av dessa finns många olika metoder och tekniker, några av dessa är Z-bend och L-bend, med olika för- och nackdelar (Johnson, 2006). Servohornets fästning med superlim fungerade till synes bra, tills mer kraft applicerades och servohornet lossnade. Denna fästning var även permanent på det avseendet att den ej gick att demontera. Det bestämdes då att en ny fästmetod var nödvändig, någon som också möjliggjorde demontering.

Efter testerna av servomotorer undersöktes lösningar på kraftöverföringen mellan servomotorn, innanför skrovet, och det rörliga rodret på skrovets utsida. Inledningsvis undersöktes två metoder: magnetkoppling genom skrovets ändkåpa och en axeltätning. Den första lösningen har fördelen att vara helt vattentät, då inga rörliga delar går genom skrovet. Nackdelen kan bli att kopplingsstyrkan mellan magneterna på de olika sidorna om ändplatan blir för svag och att det skulle resultera i att rodret ej går att styra. För den magnetiska kraften F_m mellan två magneter på ett avstånd r gäller approximativt att $F_m \propto r^{-2}$ (Nordling & Österman, 2021), vilket sätter en begränsning på ändplattans godstjocklek. Detta bör dock kunna reduceras genom användandet av många starka magneter och ett material på ändkåpan med låg magnetisering — exempelvis aluminium eller plast. Den andra lösningen med en axeltätning har i stället fördelen att kunna ge en direkt länk mellan servo och roder, dock ställs höga krav på tätningen. En axeltätning hittades som var anpassad för roterande axlar (Trelleborg *Turcon*® *Roto Variseal*® - *TVM100050-T40S*) och klassad för tryck upp till 2 MPa — motsvarande 200 m. På grund av projektets snäva begränsning i tid valde projektgruppen att gå vidare med tätning-lösningen.

Majoriteten av komponenterna skrevs sedan ut i PLA-plast med 3D-skrivaren *ZYYX+*. En av komponenterna, hållare till axeltätningen, tillverkades i aluminium och tillverkningen genomfördes i Chalmers prototypverkstad.

3.8.2 Propeller

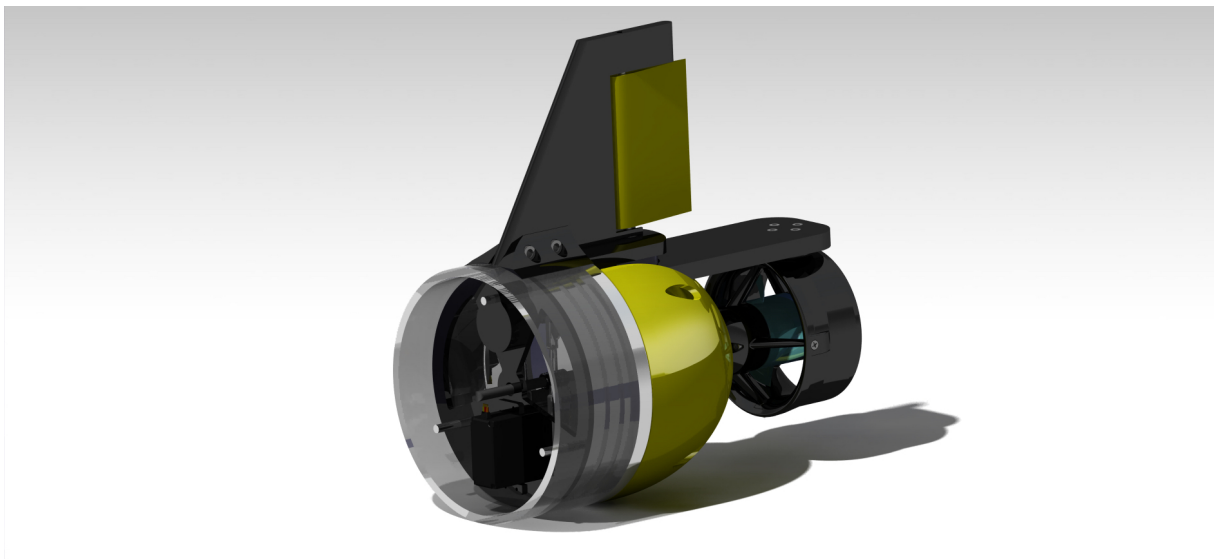
För att ytterligare öka gliderns manövrerbarhet samt göra den mindre känslig för undervattensströmmar utvärderades om glidern skulle behöva en förses med en akterpropeller. Från analysen i bilaga D följer det att en gliders terminalhastighet är i storleksordningen $v \approx 1 \text{ m s}^{-1}$ och med en liten pitchvinkel kan gliderns maximala hastighet i x -led uppskattas till 1 m s^{-1} . Hastigheten hos havsströmmar på djup mindre än 100 m kan variera inom intervallet $0,25 \text{ m s}^{-1} - 2 \text{ m s}^{-1}$, vilket är högre än gliderns maximala hastighet (Driscoll m. fl., 2008).

Ytterligare en motivering för att använda en propeller är att den skulle kunna användas som en säkerhetsåtgärd ifall glidern skulle fastna på ett sådant sätt att den inte kan

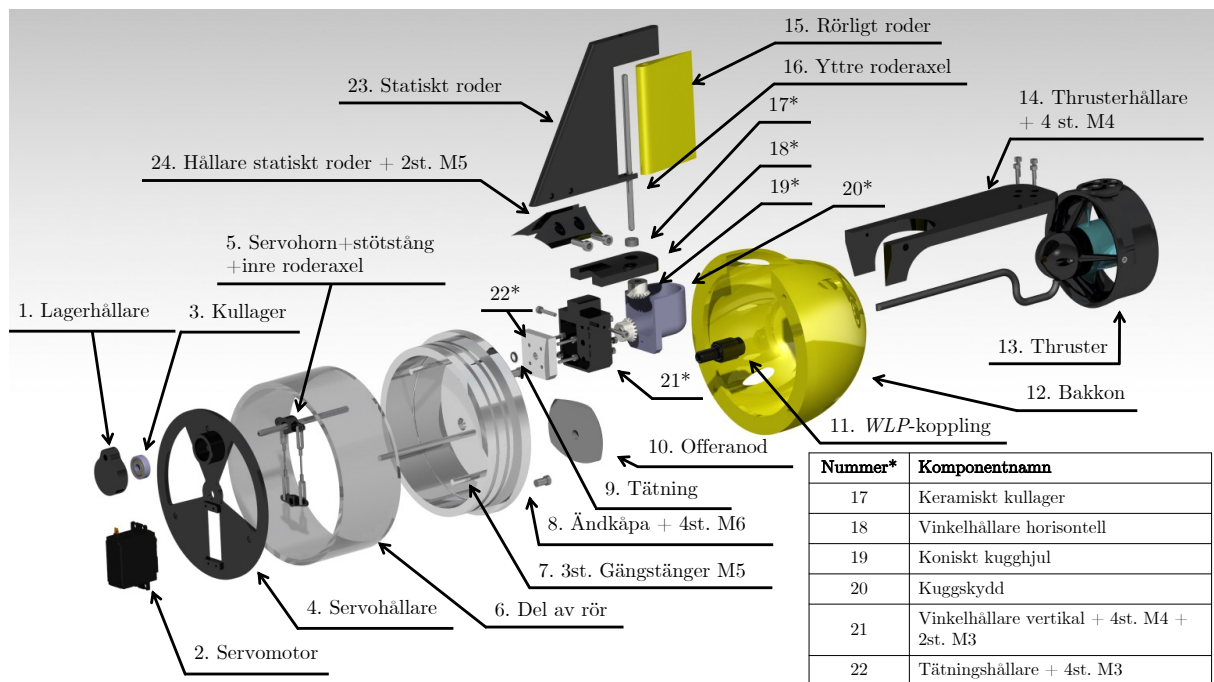
frigöras enbart med flytkraftsmotorn. För att förbättra gliderns hydrodynamiska egenskaper designades hållaren till akterpropellern för att kunna monteras loss.

3.8.3 Gliderns slutgiltiga akter, roder och propeller

Figur 3.37 visar prototypens akter i CAD-miljö, då alla komponenter monterats. Aktern består i övergripande av en statisk roderdel samt rörligt roder som styrs med en servomotor genom en roderaxel, en propeller med hållare och en ändkåpa som tätar i rörets ände. För att ytterligare visualisera akterns ingående delar visas i figur 3.38 en sprängskiss över akterns olika komponenter samt hur de monterats. Majoriteten av komponenterna i figurerna har skrivits ut med 3D-skrivare i PLA-plast.



Figur 3.37: En renderad bild av gliderns akter i CAD-miljö. Notera att här representeras rörets ände samt gängstängerna endast av en 100 mm rörbit respektive gängstångsbit i visualiserings- samt monteringsyfte i CAD:en.



Figur 3.38: Sprängskiss över gliderns akter. För att tydligare förklara komponenterna har varje komponent numrerats och namnet på varje komponents CAD-fil är också utskrivet. Notera att WLP-koppling (komponent nr.11) egentligen är 5 st i antal som är fäst på ändkåpan.

Det rörliga rodrets vinkel kan justeras $\pm 30^\circ$ och dess styrning sker med servomotorn *Hitec Standard-Servo D954SW Digital-servo* (komponent nr.2 i figur 3.38). Denna servomotor har en begränsad rotation, med en hög ställprecision. Den har ett högt vridmoment för applikationen på 1,77 N m och en slitstark växellåda i stål (Hitec, u. å.) Vidare styrs servon med en *Arduino Uno* och i koden, vilken återfinns i bilaga H.7, används biblioteket *Servo*. Servomotor är fäst i servohållaren (komponent nr.4) som i sin tur är fäst på gängstängerna (komponent nr.7). Servohållaren är en 3D-printad disk som utöver servomotorn även håller fast ett kullager (komponent nr.3) för att den inre roderaxeln (komponent nr.5) ska gå rakt och med låg friktion. Kullagret hålls fast av en lagerhållare (komponent nr.1), vars uppgift är att dels ta upp axialkrafterna som axeln utsätts för när vattentrycket utifrån glidern trycker in på axeln, dels förhindra rörelse av kullagret.

Servohållaren har två ”triangulära” hål som är till för att underlätta vid montering, minska vikten och materialanvändningen, samt för att kunna möjliggöra för dragning av styrnings- och strömkablar genom ändkåpan (komponent nr.8). Thrusterns (komponent nr.13) kabel dras mellan stötstängerna och igenom det centrerade hålet i servohållaren. Stötstängerna och servohornen (komponent nr.5) translaterar vridmomentet från servomotorn till den inre roderaxeln. I ena änden av dessa stänger böjdes i en ”Z-bend”, främst då det är en billig och stark koppling (Johnson, 2006). Denna ”Z-bend” fästs i ett 3D-printat servo-horn (komponent nr.5) som innehar en stoppring som fästs direkt på den inre roderaxeln med en M3-skruv.

Rotationsrörelsen från den inre roderaxeln överförs till den yttre roderaxeln (komponent nr.16) och därmed till det rörliga rodret (komponent nr.15) genom koniska kugghjul (kom-

ponent nr.19). Kugghjulen har utväxlingen 1:1, då rotationen från servon ska motsvara rotationen av rodret men också för att servons moment är tillräckligt stort. För att tätning runt den inre roderaxeln används en tätningen *Turcon*® *Roto Variseal*® - *TVM100050-T40S* (komponent nr.9), se figur 3.39, en enkelverkande tätning bestående av en U-formad tätningsmantel och en V-formad korrosionsbeständig metallfjäder, som är dimensionerad för roterande axlar under ett tryck på 2 MPa (Trelleborg, u. å). Både den inre och yttre roderaxeln är en Ø5 axel i korrosionsresistent stål med en h6 tolerans och en hårdhet på 60 HRC.



Figur 3.39: Rotationstättningen: *Turcon*® *Roto Variseal*® - *TVM100050-T40S*, genomskärning.

Tätningshållaren (komponent nr.22) klämmer fast tätningen i ändkåpan, samt tätningen runt roderaxeln. Detta är komponent i aluminium som skruvas fast direkt i ändkåpan. Detta är en av de få delar som tillhör gliderns akter som inte valt att 3D-printas. Detta är då just denna komponent har den viktiga uppgiften av att hålla fast tätningen, vilket som nämnt tidigare kräver snäva toleranser, samt bär den vertikala vinkelhållaren (komponent nr.21), som i sin tur har många av bakdelens komponenter fäst i sig. Den vertikala- och den horisontella vinkelhållaren (komponent nr.18) är permanent hoplimmade, de är endast uppdelade i två olika komponenter för att underlätta framställningen med 3D-printern. Dessa skruvas direkt fast i tätningshållaren.

Vinkelhållarnas uppgift är att hålla de keramiska kullager (komponent nr.17) som de bägge roderaxlarna går igenom, samt hålla i thrusterhållaren (komponent nr.14). På vinkelhållaren går det även att fästa kuggskyddet (komponent nr.20), vars uppgift framför allt är att skydda vinkelkugghjulen i de fall då man vill placera "boyancy-foam" (ett tryckbeständigt skum som ökar flytförmågan) i bakkonen (komponent nr.12). När glidern utrustas med diverse bestyckningar, samt när den används i miljöer med olika vattendensiteter, behöver glidern balanseras och då kan detta skum placeras i bak- respektive framkonen. Thrusterhållaren är fäst i vinkelhållaren och bär thrustern (komponent nr.13). Propellermotorn (*T200*, *BlueRobotics*) är helt vattentät och ansluts genom ändkåpan till en strömkälla samt elektronisk styrning med hjälp av en kabeltätning (*WetLink Penetrator*) (komponent nr.11). Styrningen av propellern sker med en *Arduino Uno* och en elektronisk hastighetsreglerare (*Basic ESC*, *BlueRobotics*); källkod presenteras i bilaga H.6. Maximalt kan propellern ge en framåt drivande kraft på ~ 50 N, vilket ger glidern

bättre möjligheter att manövrera (Robotics, u. å-a). Thrusterhållaren är utformad på så sätt att all reaktionskraft från thrusters framåt drift går rakt in ändkåpan och därmed inte belastar vinkelhållaren (där den är fäst), eller någon annan komponent i aktern. Bakkonen är utformad på så sätt att den är i kontakt med thrustern, men att thrustern samtidigt får tillräcklig vattentillförsel för att operera.

Den yttre roderaxeln (komponent nr.16) bär det rörliga rodret (komponent nr.15), den komponent som styr hela glidern i horisontalplanet. För att ge glidern bättre hydrodynamik har rodret utformats för att vara smalt och motivering till roderaxelns placering görs i bilaga E. Den yttre roderaxelns topp är placerad i ett hål i det statiska rodret (komponent nr.23) för att stabilisera axeln. Vidare skyddar det statiska rodret det rörliga rodret. Det statiska rodret är fäst i gliderns skrov (komponent nr.6) i en hållare (komponent nr.24), vilken även låser fast hela ändkåpan. Även om ändplattan kläms in och hålls fast av det yttre vattentrycket blir roderhållaren en ytterligare säkerhetsåtgärd för att ändkåpan inte ska lossna eller rotera runt i röret.

I ändkåpan är även en offeranod i zink (komponent nr.10) fäst, detta för att främst skydda ändkåpan, men även för att skydda tätningshållaren från korrosionsangrepp. Denna har bearbetats till en form som är mer platseffektivt och som inte hindrar fästningen av bakkonan.

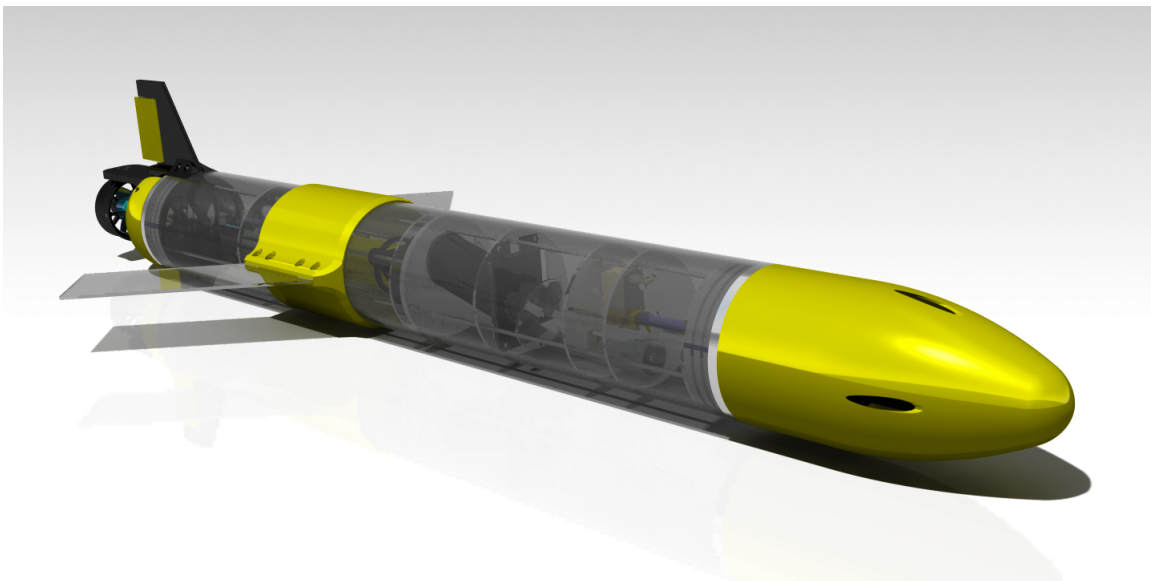
Resultat

I följande avsnitt presenteras resultat för slutprodukten, utvärderingar av prototypen efter tester och en kostnadskalkyl över hela projektet. I bilaga B återfinns en fullständig lista på alla komponenter som använts till glidern.

4.1 Gliderns slutgiltiga utformning och användning

I projektet skiljs många gånger gliderns slutgiltiga utformning – den som CAD:ats upp – och prototypen åt. Följande kommer vara en översiktlig beskrivning av hur den slutgiltiga utformningen ser ut, samt hur dess delsystem är sammankopplade. Denna slutgiltiga utformning skiljer sig i sin tur mot gliderns långsiktiga vision, alltså innehåller denna inte heller stora delar bestyckning, lagring, säkerhetssystem, eller autonoma styralgoritmer. Mer om detta presenteras i diskussion kring framtida arbete i avsnitt 5.

I figur 4.1 visas en rendering av denna slutgiltiga glidern. Glidern är totalt ungefär 1500 mm lång när thrustern är monterad och 1475 mm lång utan monterad thruster. Den totala vikten som krävs för att glidern ska uppnå neutral flytförmåga är ca. 20 kg. Den slutgiltiga glidern styrs i vertikalplanet med hjälp av dess flytkraftmotor och pitchkontroll och i horisontalplanet med hjälp av dess akterroder och en thruster. Detta ger sammanvägt glidern en hög manövrerbarhet, lämpad för grunda vatten och skärgårdsmiljöer.



Figur 4.1: Rendering av alla gliderns delsystem sammavävd.

En hög modularitet och goda bestyckningsmöjligheter har uppnåtts, då glidern är uppbyggd med sitt interna disksystem, där moduler kan flyttas, tas bort eller snabbt bytas ut utan stora modifikationer. Detta tillåter glidern att smidigt anpassas för olika uppdrag, varierande i längd, komplexitet, syfte och miljö. När de interna komponenterna förändras tillåter utrymmet i fram- respektive bakkonen placering av ballast eller buoyancy-foam för att minska respektive öka flytförmågan, i syfte att balansera glidern för att uppnå en

neutral vikt i vattnet. En snabb montering och demontering tillåts också till en följd av utformningen på den interna strukturen. Detta på grund av gängstänger, där en del förs ut med den främre ändkåpan och den andra delen förs ut med den bakre ändkåpan, samt att de inre komponenterna distanseras med sifferkodade rörbitar i förbestämda storlekar. Detta gör också att få punkter kräver tätning mot trycket. Gliderns vingar är även enkla att ompositionera i gliderns längsriktning och enkla att bytas ut om uppdraget kräver detta, då de inte innefattar någon komplex vingprofil. Även möjligheten att montera av thrustern om denna inte behövs i ett uppdrag ökar dess användningsområden.

4.2 Kostnad

Den slutgiltiga kostnaden för prototypen blev 24 370 kr, vilket är en bra bit under projektets budget på 50 000 kr. En del av de inköpta komponenterna, vilka motsvarade 13 675 kr, kom inte till användning i den slutgiltiga prototypen. Exempelvis har en del verktyg införskaffats och vissa komponenter köptes in för att utvärdera olika koncept. Sammantaget delas kostnaderna in i två delar: en slutgiltig kostnad för glidern, 24 370 kr och en utvecklingskostnad, 13 675 kr.

Kostnaderna för alla enskilda komponenter återfinns i komponentlistan i bilaga B.

4.3 Tester och utvärdering av prototyp

De delsystem som utvecklades testades kontinuerligt i samband med att övrig utveckling pågick för att säkerställa dess funktion och kompatibilitet med övriga komponenter. Vidare testades samma system med vissa variationer för att kunna dra slutsatser om det bästa sättet att fortsätta utvecklingen. Då testerna sällan var särskilt tidskrävande och genomfördes parallellt med bygget av systemet fördes minimal dokumentation över resultaten.

Kommande textavsnitt redogör för de mindre tester som genomförts under projektets gång samt resultatet från uppkörningen på Gårda bransstation.

Täthet

För att säkerställa att farkosten är tät har tre mindre och ett fjärde större test genomförts. Inledningsvis (test 1-3) användes 3D-utskrivna ändkåpor tillsammans med O-ringar, de monterades sedan på röret och doppades under ytan. Vid test 1-2 höll det inte tätt främst på grund av att 3D-utskriften var ihåliga. Tredje testet utfördes med en 3D-utskrift utan ihåligheter, även vid det testet läckte det vatten. Därpå konstaterades det att det inte är lönsamt att testa farkostens täthet med 3D-utskrivna lock, nästa test genomfördes därför med de slutgiltiga ändkåpor tillverkade i aluminium. Förhoppningen var då att de mycket finare toleranserna som den sista iteration ändkåpor hade skulle medföra att skrovet höll tätt.

Vid fjärde testet installerades en pool i *Revere*-labbet och de slutgiltiga ändkåpor monterades enligt anvisning med fett och O-ringar. Röret fylldes med skrot (för att farkosten skulle sjunka till botten) och papper (för att enkelt kunna spåra eventuella läckage) och därefter genomfördes ett 48 timmars test i poolen. Se figur 4.2 för en överskådlig bild

av hur glidern såg ut vid testet. Testresultat var mycket positivt, inget läckage varken genom O-ringarna eller någon av WetLink-anslutningarn (komponent 04-10 i bilaga B). Ett naturligt nästa steg är att testa täthet på större djup.

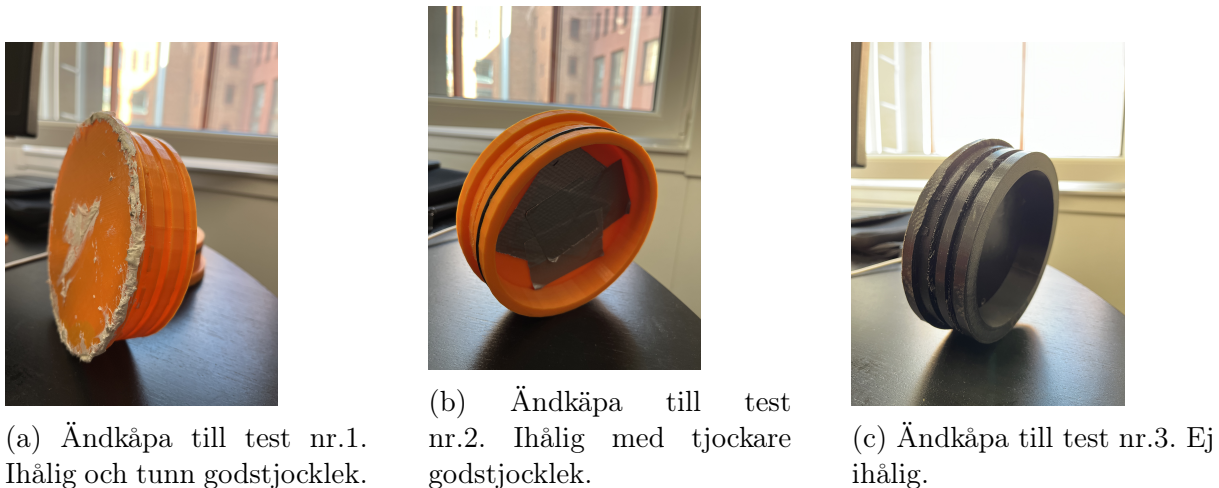


Figur 4.2: Glidern vid test 4 gällande täthet. Röret fyllt med metallskrot och tösalt för ökad tyngd. Även papper för att spåra läckage.

Vid testet i poolen kunde det konstateras att roderaxeln (komponent 03-05) rostade, trots att den är rostfri enligt leverantörens uppgifter. Projektgruppen har ännu inte hunnit ta ställning till faktumet att axeln rostade, utan har putsat upp den på nytt och i stället prioriterat övriga delar av projektet.

Se figur 4.3 för en översikt över de ändkåpor som använts i samband med test 1 till 3.

Tävlingsmomentet i poolen på Gårdas brandstation gav ytterligare bekräftelse på att glidern håller tätt i grundare vatten.



Figur 4.3: Visar tre iterationer av 3D-printade ändkåpor.

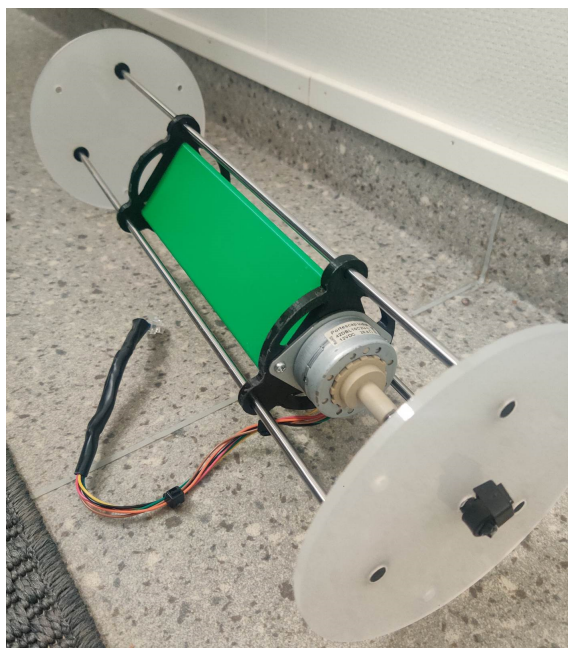
Flytkraftsmotorn

Vid ett test av flytkraftsmotorn konstaterades det att motorn kunde pumpa den mindre viskösa oljan från ena blåsan till den andra på 1 minut och 30 sekunder. Testet genomfördes dels med båda blåsor torrt på land och dels med en blåsa nedsänkt i vatten för att efterlikna de omständigheter som den är tänkt att operera i. Pumpmotorn försågs då med ca 11,5 V, tillhörande slangar som användes var av samma längd som de kommer vara i slutprodukten. Mängd pumpad olja under testet var approximativt 1,5 dL. Test bedömdes därmed efterlikna de omständigheter glidern kommer att operera i. Resultatet från testet var positiva då en kort pumptid innebär att glidern snabbt kan göra en vändning och därmed glida längre mellan de vertikala svängarna. Det var också positivt att inget läckage noterades. Framöver ska tester med flytkraftsmotorn monterad i farkosten genomföras, på så sätt kan man undersöka farkosten påverkas i samband med att dess flytförmåga förändras. Inför slutpresentationen av glidern, där tester skulle utföras i Gårdas brandstations pool, valdes att frångå flytkraftsmotorn. Detta var främst på grund av risken för läckage, något som absolut inte fick inträffa i deras pool.

Pitchmotor

Pitchmotorns komponenter fungerade initialt men i samband med att kopplingschema implementerades på brädet ämnat för slutgiltig användning gick motorn alternativt båda H-bryggorna sönder. Exakt vilken komponent som gick sönder utvärderades inte utan en ny stegmotor med H-brygga beställdes. Denna sattes samman i änden på den gamla pitchmotorns gängstång och kom att fungera mycket bra. De ingående komponenterna har även monterats samman och det upphängda systemet glider på glidaxlarna som planerat, se figur 4.4. Sammanfattningsvis verkar prototypen för delsystemet *Pitchkontroll* fungera bra.

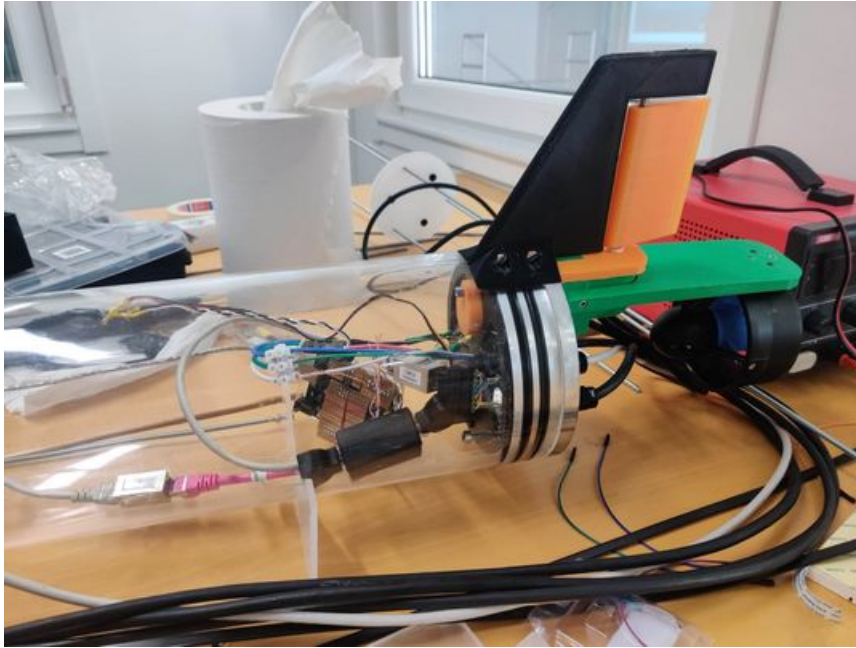
Till den fysiska prototypen används 3D-utskrivna kopior av batterierna fyllda med ballast istället för battericeller, då strömförsörjningen till prototypen sker externt (mer om extern strömförsörjning i avsnitt 5.2).



Figur 4.4: Prototypen av pitchmotorn. Notera att denna ej har några batterier eller batteri-mockups monterade. Denna är inte heller kopplad till någon styrning eller strömförsörjning.

Thruster och roder

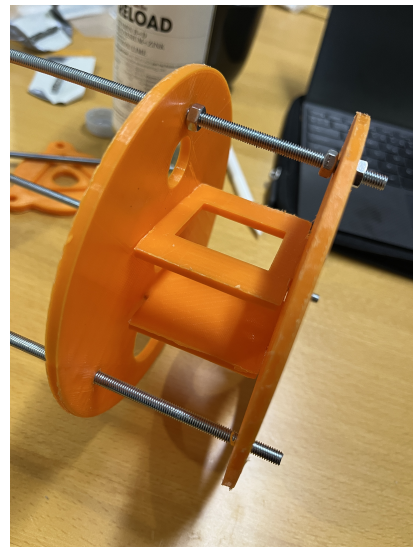
Komponenterna sitter på plats och är sammankopplade så att de går att styra med kontrollen, se figur 4.5 Vid ett test på land fungerade dessa komponenter bra tillsammans med kontrollen. Vid ett test i en grund pool fylldes glidern med tyngder och den blev lite baktung, vilket var fördelaktigt för att hålla både thruster och roder nedsänkt i vatten. Både thruster och roder fungerade väl även under vattnet. Då bakdelen låg på botten krävdes ett lyft i kablarna för att thrusters fulla effekt skulle bli märkbar. Med full effekt på thrustern uppgick gliderns hastighet till uppskattningsvis gångfart. Då poolen var liten och glidern inte kunde åka någon längre sträcka var det omöjligt att bedöma rodrets funktion. Ett lite mer lovande resultat erhöles från testerna i poolen på Gårdas brandstation. Glidern var vid detta tillfälle något för lätt, vilket gjorde att rodret inte var helt täckt av vatten och därmed kunde det inte utnyttjas till fullo. Trots det avvek glidern från sin bana vid utslag på rodret, vilket tyder på att rodret fungerade. Fortsättningsvis behöver fler tester utföras för att kunna bedöma rodrets prestanda.



Figur 4.5: Foto på thrustern och rodret på prototypens bakdel.

Modularitet

För att testa och undersöka den tilltänka modulariteten för farkostens inre struktur 3D-printades tre diskar som sedan monterades på gängstänger. Muttrar användes för att placera diskarna på önskat avstånd från varandra. Två av diskarna var designade för att klämma två 3D-utskrivna plattor däremellan. De klämda delarna skulle sedan i sin tur husera en test komponent. Se figur 4.6 för bilder från testet. Testet ansågs lyckat och projektgruppen valde därmed att gå vidare med det modulära konceptet.



Figur 4.6: Test av modulärt koncept. Tre 3D-utskrivna diskar monterade med muttrar varav två diskar klämmer och låser fast två plattor.

4.4 Kravuppfyllelse

För att undersöka prototypens kravuppfyllnad kontrollerades kravspecifikationen, se Bilaga A. Först undersöktes kraven inom prestanda. Krav 1.1, *förändring av flytförmåga*, kontrollerades genom att fylla blåssystemet med 0,2 L olja. Den yttre blåsan var fylld med 0,05 L olja och den inre blåsan var fylld med 0,15 L olja. Därefter pumpades all olja från den inre blåsan till den yttre blåsan, som gav en volymändring på 200 % i den yttre blåsan och kravet var därför uppfyllt. Krav 1.2, *Girning, radie*, är ett krav på prototypens svängradie. Då glidern inte var färdigkonstruerad, innan rapporten färdigställdes, kunde kravuppfyllelsen inte kontrolleras. Krav 1.3, *Vattentäthet under tryck*, är ett krav på att prototypen ska klara ett tryck på 10 bar. Detta kontrollerades genom att undersöka vilken yttre komponent som klarade lägst tryck. Detta var axeltätningen till det bakre rodret, se komponent 9 i Figur 3.38, som klarar 20 bar (Trelleborg, u. å). Kravet om vattentäthet under tryck blev därför uppfyllt. Krav 1.4, *Framåt- och bakåtdrift*, innebär att glidern ska kunna transporteras framåt och bakåt med en hastighet på minst 0,1 m/s och kontrollerades genom att testköra glidern i en pool. Däremot var det utmanade att beräkna en hastighet på grund av att glidern släpades i botten av poolen under testet, då prototypens massa var för tung. Kravuppfyllanden på detta krav måste därför undersökas då glidern är färdigkonstruerad. Krav 1.5, *Längd skrov*, kontrollerades i CAD-modellen. Skrovets längd, bestående av ett rör och två änkåpor, har en längd på 0,995 m och klarar därför kravet på en längd under 1 m. Krav 1.6, *Ytterdiameter skrov*, verifierades i gliderns CAD-modell. Ytterdiametern på röret är 0,15 m och kravet blev därför uppfyllt. Krav 1.7, *Massa prototyp*, kunde inte beräknas, eftersom prototypen ska färdigställas under ett senare tillfälle och därefter kontrollera dess kravuppfyllelse.

Därefter undersöktes kraven inom energiåtgång. Krav 2.1, *Drifttid hav*, var en uppskattning från projektgruppen angående prototypens drifttid i öppet hav. Detta kan beräknas genom att undersöka prototypens strömförbrukning under användning. Däremot ska prototypen färdigställas under ett senare tillfälle och därefter kontrollera dess kravuppfyllelse. Detta krav har därför inte kunnat verifieras. Krav 2.2, *Drifttid skärgårdsmiljö*, var också en uppskattning från projektgruppen, men angående drifttid i skärgårdsmiljö. Gliderns strömförbrukning under användning kan även kontrolleras för detta krav, men då prototypen inte är färdigställd kan inte det här kravet verifieras än. Krav 2.3, *Batterier*, är antalet amperetimmar strömkällan ska erhålla. Prototypen ska använda tre batterier med 10 Ah på respektive batteri, se komponent nr.3 i Figur 3.32. Kravet på minst 25 är därför uppfyllt.

Sedan kontrollerades kravet och önskemålet inom livslängd. Krav 3.1, *Livslängd*, var ett krav på en livslängd för glidern på 5 år. Detta var ett krav från projektgruppen, men det är intressenten och användaren av glidern, *Revere*, som kommer kunna undersöka om kravet är uppfyllt eller inte. Detta hade kunnat estimeras genom att identifiera komponenten i prototypen med kortast livslängd, men detta ansågs ge för opålitliga resultat då respektive livslängd på komponenterna i prototypen inte var kända. Kravuppfyllelsen är därför okänd. Önskemål 3.2, *Livslängd*, var ett önskemål på en livslängd för glidern på 10 år. Enligt beskrivningen för Krav 3.1 kommer kravuppfyllelsen inte kunna verifieras än.

Därefter undersöktes materialkraven. Krav 4.1, *Temperatur användning*, baserades på de komponenter som kommer i kontakt med vatten under användning. Den mest kritis-

ka komponenten var PMMA-röret, som kan användas mellan -40°C och 70°C (MatWeb, u. å). Kravet angående användningstemperatur är därför uppfyllt. Krav 4.2, *Oxidationsmotstånd saltvatten*, innebär att glidern ska kunna användas i 168 timmar (1 vecka enligt Krav 2.1) i saltvatten utan att korrosion ska påverka funktionen. Aluminiumet som används i ändkåporna (komponent nr.8 i figur 3.38), har en god korrosionsbeständighet (Maskindelen, u. å). Dessutom är den yttre roderaxeln (komponent nr.16 i figur 3.38) tillverkad i rostfritt stål, alla yttre skruvar ska vara i rostfritt stål och resterande yttre komponenter är korrosionsbeständiga. Dessutom är en offeranod i zink (komponent nr.10 i figur 3.38) monterad i ändkåporna. Däremot behöver prototypen placeras i saltvatten i 168 timmar för att kunna verifiera kravet, vilket ännu inte har genomförts av projektgruppen. Krav 5.1, *Kostnad*, beräknades med hjälp av en komponentlista, se Bilaga B. Detta resulterade i en total kostnad för prototypen på 24 370 kronor. Kravet på en kostnad under 50 000 kronor är därför uppfyllt. Detta innebar även att Önskemål 5.2, med en kostnad under 30 000 kronor, blev uppfyllt. Alla krav som har kunnat testas samt beräknas är uppfyllda, men däremot finns det fortfarande krav som inte har undersökts och prototypens kravuppfyllnad kan därför inte bekräftas. En kravspecifikation med kravuppfyllnad kan ses i Bilaga A.

Slutsatser och diskussion kring framtida utveckling av prototyp

På grund av de avgränsningar som kandidatarbetet innebär var målet med arbetet inte vara en färdig glider. Det finns många utvecklingsmöjligheter med glidern som skulle göra den bättre lämpad för verkliga tillämpningar. I detta stycke diskuteras områden som behöver läggas till eller förbättras för att glidern ska kunna fungera. Om detta arbete ska fortsättas föreslås dessa områden vara utgångspunkter att jobba ifrån för att göra glidern komplett. Eftersom budgeten inte överstigits finns även de ekonomiska medlen för viss vidareutveckling. Dessutom krävs fortsatta tester av de befintliga systemen för att kunna verifiera alla krav i bilaga A.

5.1 Batteri

För att möjliggöra en helt autonom glider är strömförsörjning från batterier en väsentlig del och därför har detta tagits i beaktande i prototypens design. I figur 3.32 visas hur pitchmotorn designats för att i framtiden kunna förses med batterier. Batterierna som pitchmotorn dimensionerats för, *Lithium Polymer Battery* från fabrikören *Blue Robotics*, är uppladdningsbara litiumjon-batterier som tillsammans kan lagra 30 A h.

I prototypen beställdes aldrig dessa batterier, ett givet steg mot en slutprodukt för denna glider vore därför att bygga in dessa samt den struktur som behövs för att de ska kunna fungera med resten av glidern. För det skulle först en spänningsovandlare behövas som omvandlar batteriets 14,8 V till 12 V och 5 V som glidern främst använder. Vidare skulle ett batterihanteringssystem behövas för att säkerställa att batteriet inte överhettar eller havererar. Batterihanteringssystemen kan även användas för att informera glidern om hur långt tid som batteriet kommer hålla innan det behöver laddas. Detta är en mycket viktig parameter för att avgöra om man kan göra ett till dyk.

5.2 Flytkraftsmotor

Ett av viktigaste systemen i en effektiv glider är dess flytkraftsmotor. Energieffektiviteten här är enormt viktigt för att en glider ska kunna färdas långa sträckor. Det är därför viktigt till framtida arbete att analysera exakt vilka behov och krav den behöver uppfylla för att kunna välja det mest energisnåla alternativet. Mer komplex analys och testande bör sedan göras huruvida det är mer effektiva att pumpa på maxeffekt kortare tid eller tvärt om. Slang- och kopplingsdiameter bör också optimeras för att erhålla optimalt flöde. Materialval är också ett område för ytterligare optimering och undersökning då det finns ett avvägande att göra mellan reliabilitet och uthållighet kontra friktion. Vid nya inköp bör också stor vikt läggas vid att erhålla önskade utgångar / kopplingar direkt. Behov av mellankopplingar medför enbart negativa konsekvenser som ökad risk för läckage samt större ockuperad volym.

Valet som gjordes med en färdigkombinerad pump och motor gjorde till stor del för reliabiliteten av ett redan fungerade system. Det finns stor förbättringspotential här genom

att välja en motor med ett högt kraft-vikt-förhållande. Ett bra val för detta är att använda borstlös likströmsmotor (Madichetty m. fl., 2021). Fördelen med en borstlös motor kontra en motor med mekaniska borstar är också att det inte finns något behov att byta ut borstarna vid slitage.

Flytkraftsmotorns oljebehållare är ett område som också skulle kunna vidareutvecklas genom att ersätta kondomerna med mer branchettablerade gummiblåsor som användes i oljeackumulatorer. Dessa adderar både en större prislapp och vikt men har fördelen av att vara betydligt mer robust och tålig för kontinuerlig användning och eventuella stötar. Dessa har även kraftigare och mer tillförlitliga kopplingar vilket tar bort onödig komplexitet med den befintliga lösningen. Vidare krävs ett system som kan övervaka hur mycket olja som pumpats. Ett alternativ är att den interna reservoaren kopplas till en potentiometer, liknande det system som presenterades hos VOTO (Voice of the Ocean, 20-02-2023). Detta kräver dock en ny mer avancerad typ av inre blåsa. Ett annat alternativ är att titta på hur hastigheten på glidern förändras.

5.3 Styrning och automation

Prototypen styrs manuellt via en kabel då projektets tidsbegränsning medförde ett behov av ett enkelt sätt att styra glidern. Vid framtida arbeten och användande av en slutprodukt behövs ett helt autonomt system, där den mänskliga kontakten utgörs av generella instruktioner, användas. Detta system behöver arbeta med en trycksensor, ett gyroskop och ett ekolod för att kunna avgöra djup och position i vattnet samt vilken omgivning den befinner sig i. Med denna data behöver systemet själv kunna göra en bedömning av vilka möjliga operationer som kan göras (justera pitchvinkel, pumpa ut mm.) och därefter ta ett beslut baserat på den generella instruktionen.

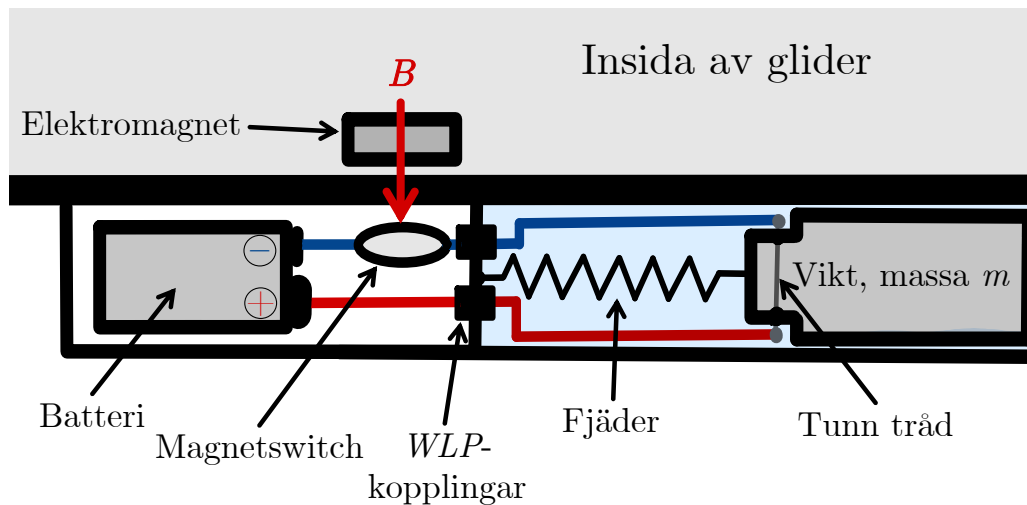
För att detta system ska kunna kommunicera och ta emot instruktioner när glidern är ute på mätningar skulle glidern även behöva möjligheten att ta emot instruktioner via satellit. När ett dyk är genomfört bör glidern kunna åka upp till ytan där den kan dela position och status innan den får nya instruktioner om hur den ska genomföra nästa dyk eller om den ska invänta att bli upphämtad.

Framöver hade det även varit intressant att undersöka [ArduSub](#), en öppen källkod för autonom navigering hos undervattensfarkoster. Detta för att göra hela användningen av glidern mer anpassningsbar för användaren.

5.4 Säkerhetssystem

Eftersom industriella gliders ofta är dyra utrustas de flesta ofta med säkerhetssystem, som kan användas för att återfå glidern vid en potentiell olycka. Projektgruppen studerade en glider, som stiftelsen VOTO (Voice of the Ocean, 20-02-2023) tillhandahåller, där deras säkerhetssystem bestod av en vikt som kunde släppas för att ge glidern en större flytkraft. En tråd, som spänner vikten mot en fjäder, bränns av för att frigöra vikten. Under projektet fanns inte tiden att fysiskt få fram detta säkerhetssystem, utan projektgruppen valde att skapa en teoretisk design som använde samma princip som VOTO:s glider, men däremot med ett eget system för att bränna av tråden. För att minimera antalet genomgående hål in till glidern valde projektgruppen att aktivera en extern krets med hjälp av

en magnet genom skrovet. I figur 5.1 visas en schematisk skiss över säkerhetssystemets komponenter och dess funktion.



Figur 5.1: Figuren visar en schematisk skiss över design av säkerhetssystemet. Systemet, vilket är fäst på gliderns utsida, utgörs av en vattentät kammare med ett batteri och en magnetswitch (reedswitch) och en vattenfylld kammare med en fjäderupphängd vikt som hålls fast av en tunn tråd. Kretsen sluts då elektromagnetens fält, B , påverkar magnetswitchen och detta bränner i sin tur av den tunna tråden som håller kvar vikten.

För att utlösa säkerhetssystemet och aktivera kretsen krävs att ett av två oberoende tidsvillkor är uppfyllda. Det första villkoret uppfylls om trycket som registreras av trycksensorn är oförändrat under längre tid samtidigt som glidern befinner sig i lyftläget – alltså att den yttre blåsan är fylld med olja. Att glidern inte registrerar en tryckskillnad trots att den befinner sig i lyftläget indikerar att pumpsystemet är ur funktion, att glidern fastnat eller att trycksensorn gått sönder. Det andra tidsvillkoret uppfylls om gliderns totala tid under ytan överstiger en förutbestämd tidsgräns, vilken kommer kunna anpassas inför varje operation. Massan, m , på droppvikten behöver överstiga $2\Delta V\rho$, där ΔV är volymförändringen orsakad av flytkraftsmotorn. Det säkerställer att glidern stiger oavsett om blåsan är tömd eller fylld.

Förutom systemet med vikten, har andra möjligheter att säkert återfå glidern vid ett haveri undersökts. Projektgruppen ser exempelvis en möjlighet att placera en liten kolsyrepatron som kan fylla en flytkudde i gliderns för. Detta system skulle kunna aktiveras av samma villkor som systemet med vikten. Vidare kommer glidern ha möjlighet att utrustas med läckagesensorer från *Blue Robotics* som mäter fuktigheten inuti glidern. Läckagesensorn skulle kunna ge ytterligare ett villkor för att aktivera säkerhetssystemet med massan.

5.5 Bestyckning

På grund av begränsad tid i projektet valde kandidatgruppen att inte förse prototypen med extra sensorer eller annan mätutrustning, dock kommer det framöver enkelt gå att tillföra detta till prototypen tack vare den övriga designen. Inledningsvis krävs att glidern förses med en enklare dator – förslagsvis en enkortsdator som *Raspberry Pi* – med möjlighet att

lagra insamlade data från mätinstrumenten. En möjlig och enkel lösning är att system för styrning och datahantering kring sensorerna är helt fränkopplat det för styrning av glidern. En sådan lösning presenterades för gruppen under studiebesöket hos VOTO (Voice of the Ocean, 20-02-2023). Ytterligare en fördel med att använda en *Raspberry Pi* är att den kan kopplas upp mot mobilnätet (4G/5G), vilket skulle möjliggöra en snabb och enkel överföring av data ifall glidern befinner sig nära land.

För att i framtiden enkelt kunna placera och byta ut sensorer på glidern är ett möjligt förslag att förse glidern med en skena längs under- eller överkanten på skrovet. Ström- och datakablar till sensorerna på gliderns utsida kan sedan dras genom de befintliga hålen i den bakre ändkåpan.

5.6 3D-utskrivna komponenter

Ytterligare en förbättring som skulle kunna göras på glidern är att skriva ut vissa av de 3D-utskrivna komponenterna i en annan skrivare med högre precision. 3D-skrivaren som använts i detta projekt var en *ZYYX+* och i normalläget har den en precision på 0,2 mm. Det gjorde att en del 3D-utskrivna ytor blev ganska ojämna. För att ge glidern bättre hydrodynamiska förutsättningar kan vissa av de utskrivna komponenterna behöva ytbehandlas alternativt skrivas ut i en skrivare med högre noggrannhet.

Referenser

- Ansys. (u. å). *Strength-limited design at minimum cost*. Hämtad 2 maj 2023, från https://support.g rantadesign.com/resources/grantaedupack/2021R1/learn/topic1.htm#t=html%5C%2Fref_indices%5C%2Findex_edu_strength_cost.htm%7D
- Barker, W. P. (2012). An Analysis of Undersea Glider Architectures and an Assessment of Undersea Glider Integration into Undersea Applications.
- Benson, T. (u. å). *Aerodynamik Center - ac*. NASA. Hämtad 6 februari 2023, från <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/ac.html>
- Bragee, J. (12-03-2023). Personlig kommunikation.
- Davis, R., Eriksen, C., & Jones, C. (2003). Autonomous Buoyancy-driven Underwater Gliders. I G. Griffiths (Red.), *Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles* (s. 51). Taylor & Francis.
- Driscoll, F., Alsenas, G., Beaujean, P., Ravenna, S., Raveling, J., Busold, E., & Slezycki, C. (2008). A 20 KW open ocean current test turbine, 1–6. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5152104>
- Engineers, M. S. (2023). *Useful information on positive displacement pumps*. Hämtad 13 april 2023, från <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/positive-displacement-pumps>
- Ensinger. (u. å). *RUNDSTÅNG EN-AW 6082-T6*. Hämtad 10 maj 2023, från <https://www.ensingerplastics.com/sv-se/halvfabrikat/tekniska-plaster/pom-acetal>
- European Environmental Agency. (2022-08-05). *Oxygen concentrations in coastal and marine waters surrounding Europe*. Hämtad 2 maj 2023, från <https://www.eea.europa.eu/ims/oxygen-concentrations-in-coastal-and>
- Fallon, E. S. (1965). *Hydroglider* (Nr 3204596). USA, United States Patent Office. <https://patents.google.com/patent/US3204596?oq=US3204596A>
- Gafurov, S. A., & Klochkov, E. V. (2015). Autonomous Unmanned Underwater Vehicles Development Tendencies [Proceedings of the 2nd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines (DVM2014) September 15 –17, 2014 Samara, Russia]. *Procedia Engineering*, 106, 141–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.017>
- Grinter, P. (2021-08-05). *Autonomous Underwater Vehicles for U.S. Navy Sensing-Glider Program*. Unmanned Systems Technology. Hämtad 10 april 2023, från <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2021/08/new-autonomous-underwater-vehicles-for-u-s-navy-sensing-glider-program/>
- Hitec. (u. å). *D954SW 32-Bit, High Torque, Steel Gear Servo*. Hämtad 25 april 2023, från <https://hitec.com/products/servos/d-series-servos/d954sw/product>
- Johnson, P. K. (2006). *L-Bends and Z-Bends*. Airfield models. Hämtad 18 mars 2023, från https://airfieldmodels.com/information_source/model_aircraft_hardware/l-bends_and_z-bends.htm
- Lantmäteriet. (u. å). *Tyngdkraften*. Hämtad 3 maj 2023, från <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Tyngdkraftssystem/Tyngdkraften/>
- Madichetty, S., Mishra, S., & Basu, M. (2021). New trends in electric motors and selection for electric vehicle propulsion systems. *IET Electrical Systems in Transportation*, 11(3), 186–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/els2.12018>
- magomhrc. (2023-04-17). *magomhrc*. Hämtad 1 mars 2023, från <https://magomhrc.com/en/>
- Maskindelen. (u. å). *RUNDSTÅNG EN-AW 6082-T6*. Hämtad 10 maj 2023, från <https://www.maskindelen.se/category/rundstang-2>

- MatWeb. (u. å). *GEHR Plastics PMMA Acrylic*. Hämtad 10 maj 2023, från <https://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=210751b21d6146878491fbf2e596d6c7>
- National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA). (u. å). *What causes ocean currents?* Hämtad 2 maj 2023, från <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/currents.html>
- National Oceanography Centre (NOC). (2023). *Gliders*. Hämtad 2 maj 2023, från <https://noc.ac.uk/facilities/marine-autonomous-robotic-systems/gliders>
- Nordling, C., & Österman, J. (2021). *Physics Handbook for Science and Engineering* (9. utg.). Studentlitteratur.
- Norelem. (u. å). *Tekniska anvisningar för O-ringar*. Hämtad 28 april 2023, från <https://norelem.se/medias/23900-Tekniska-anvisningar-for-O-ringar-SV.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8MzE3MTI3fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnNoZGlvYUyLzG4OTQ5ODY3ODA3MDIucGRmfDI4NTRkZTdjZTkyZTNlZmFhYzYzMwMDQzNTc2NWExNDY5NzYwNTNmYWY0ZjBlOTNkNjY4N2FhYzljMWE0MjJhMjM%7D>
- Olson, S., Jansen, M. F., Abbot, D. S., Halevy, I., & Goldblatt, C. (2022). The Effect of Ocean Salinity on Climate and Its Implications for Earth's Habitability [e2021GL095748 2021GL095748]. *Geophysical Research Letters*, 49(10), e2021GL095748. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021GL095748>
- Ribeiro, G. A., Pinar, A., Wilkening, E., Ziaefard, S., & Mahmoudian, N. A multi-level motion controller for low-cost Underwater Gliders. I: *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Seattle, WA, USA, 2015, 1131–1136. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139333>. 2023-02-08.
- Robotics, B. (u. å-a). *T200 Thruster*. Hämtad 22 april 2023, från <https://bluerobotics.com/store/thrusters/t100-t200-thrusters/t200-thruster-r2-rp/>
- Robotics, B. (u. å-b). *WetLink Penetrator*. Hämtad 7 maj 2023, från <https://bluerobotics.com/store/cables-connectors/penetrators/wlp-vp/>
- Rutgers University. (2021). *Rutgers University Center for Ocean Observation Leadership*. Hämtad 15 februari 2023, från https://www.flickr.com/photos/rutgers_cool/51396347832/
- SMHI. (2023-04-17). *Ytvattentemperatur i havet*. Hämtad 9 maj 2023, från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/haven-runt-sverige/ytvattentemperatur-i-havet-1.6001>
- Svenska institutet för standarder. (2017-04-04). *Tätningselement - O-ringar - Inbyggnadsmått för allmän användning* (SS 1588:2017). Svenska institutet för standarder. <https://www.sis.se/produkter/mekaniska-system-och-komponenter/tatningar-boxpackningar/ss15882017/>
- Trelleborg. (u. å). *Turcon® Roto Variseal®*. Hämtad 4 mars 2023, från <https://www.seals-shop.com/en/rotary-seals/turcon-roto-variseal>
- Wang, Y., Wang, C., Yang, M., Liang, Y., Han, W., & Yang, S. (Nov. 2022). Glide performance analysis of underwater glider with sweep wings inspired by swift. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1048328>
- Webb, D., Simonetti, P., & Jones, C. (2001). SLOCUM: an underwater glider propelled by environmental energy. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26(4), 447–452. <https://doi.org/10.1109/48.972077>
- Voice of the Ocean. (20-02-2023). Studiebesök på Voice of the Ocean (VOTO). Personlig kommunikation.
- Voortman Landström, E. (12-03-2023). Personlig kommunikation.

Bilagor

Kravspecifikation

I följande bilaga visas en kravspecifikation (se figur [A.1](#)), där projektgruppen fastställt projektets krav och önskemål. Syftet med kravspecifikationen är att tydliggöra och konkretisera gruppens gemensamma mål. Målen kommer kunna korrigeras under projektets gång. I [A.1](#) visas kravspecifikationen som projektgruppen har jobbat mot och i [A.2](#) visas kravspecifikationen med dess kravuppfyllnad.

Tabell A.1: Kravspecifikation för den slutgiltiga produkten utan resultat.

Chalmers Tekniska Högskola	Dokumenttyp	Kravspecifikation - Systemkrav				
	Projekt	Kandidatarbete inom Mekanik och Maritima vetenskaper				
Utfärdare: MA-SK (grupp 2)	Skapad: 2023-01-24					
	Modifierad: 2023-05-29					
Kriterie	Krav/Önskemål	Vikt	Målvärde	Enhet	Verifiering	Referens
1. Prestanda						
1.1 Förändring av flytförmåga (volymförändring i blåsa)	Krav		100	%	Test prototyp delsystem	Projektgrupp
1.2 Girning, radie	Krav		10	m	Test prototyp delsystem	Projektgrupp
1.3 Vattentätthet under tryck	Krav		10	bar	Simulering	Revere
1.4 Framåt- och bakåtdrift	Krav		0,1	m/s	Test prototyp	Projektgrupp
1.5 Längd skrov	Krav		< 1	m	CAD	Projektgrupp
1.6 Ytterdiamter skrov	Krav		< 0,2	m	CAD	Projektgrupp
1.7 Massa prototyp	Krav		< 20	kg	Mätning	Revere
2. Energiåtgång						
2.1 Drifftid hav	Krav		1	vecka	Beräkningar	Projektgrupp
2.2 Drifftid skärgårdsmiljö	Krav		2	dagar	Beräkningar/test prototyp	Projektgrupp
2.3 Batterier	Krav		> 25	Ah	Beräkningar batteri	Projektgrupp
3. Livslängd						
3.1 Livslängd	Krav		5	år	Beräkningar/simulering	Projektgrupp
3.2 Livslängd	Önskemål	2	10	år	Beräkningar/simulering	Projektgrupp
4. Material						
4.1 Temperatur användning	Krav		-5 till 30	°C	Materialanalys	Projektgrupp
4.2 Oxidationsmotstånd saltvatten	Krav		> 168	timmar	Materialanalys	Projektgrupp
5. Tillverkningskostnad						
5.1 Kostnad	Krav		50000	kronor	Ekonomisk planering samt verifiering	REVERE
5.2 Kostnad	Önskemål	3	30000	kronor	Ekonomisk planering samt verifiering	REVERE

Tabell A.2: Kravspecifikation för den slutgiltiga produkten med resultat.

Chalmers Tekniska Högskola	Dokumenttyp	Kravspecifikation - Systemkrav						
	Projekt	Kandidatarbete inom Mekanik och Maritima vetenskaper						
Utfärdare: MA-SK (grupp 2)	Skapad: 2023-01-24							
	Modifierad: 2023-05-10							
Kriterie	Krav/Önskemål	Vikt	Målvärde	Enhet	Verifiering	Referens	Resultat	Uppfyllt
1. Prestanda								
1.1 Förändring av flyttförmåga (volymförändring i blåsa)	Krav		100	%	Test prototyp delsystem	Projektgrupp	200	Ja
1.2 Girning, radie	Krav		10	m	Test prototyp delsystem	Projektgrupp	-	-
1.3 Vattentäthet under tryck	Krav		10	bar	Simulering	Revere	20	Ja
1.4 Framåt- och bakåtdrift	Krav		0,1	m/s	Test prototyp	Projektgrupp	-	-
1.5 Längd skrov	Krav		< 1	m	CAD	Projektgrupp	0,995	Ja
1.6 Ytterdiamter skrov	Krav		< 0,2	m	CAD	Projektgrupp	0,15	Ja
1.7 Massa prototyp	Krav		< 20	kg	Mätning	Revere	-	-
2. Energiätgång								
2.1 Drifttid hav	Krav		1	vecka	Beräkningar	Projektgrupp	-	-
2.2 Drifttid skärgårdsmiljö	Krav		2	dagar	Beräkningar/test prototyp	Projektgrupp	-	-
2.3 Batterier	Krav		> 25	Ah	Beräkningar batteri	Projektgrupp	30	Ja
3. Livslängd								
3.1 Livslängd	Krav		5	år	Beräkningar/simulering	Projektgrupp	-	-
3.2 Livslängd	Önskemål	2	10	år	Beräkningar/simulering	Projektgrupp	-	-
4. Material								
4.1 Temperatur användning	Krav		-5 till 30	°C	Materialanalys	Projektgrupp	-40 till 70	Ja
4.2 Oxidationsmotstånd saltvatten	Krav		> 168	timmar	Materialanalys	Projektgrupp	-	-
5. Tillverkningskostnad								
5.1 Kostnad	Krav		50000	kronor	Ekonomisk planering samt verifiering	REVERE	24370	Ja
5.2 Kostnad	Önskemål	3	30000	kronor	Ekonomisk planering samt verifiering	REVERE	24370	Ja

Komponenter och kostnader

Denna bilaga innehåller en fullständig lista (tabell B.1) över gliderns alla komponenter samt dess kostnader. Notera att tabellen endast innehåller de komponenter som köpts in till projektet och som kom att användas i glidern. Den totala kostnaden för hela projektet blev 24 370 kr.

Tabell B.1: Tabellen visar en fullständig komponentlista för glidern.

Område (Komponentnr.)	Komponent	Artikelnummer	Antal	Pris totalt [kr]	Länk/lev.
Ballast (01-01)	Ballast	-	1	679.78	Ballast Products
Flytkraftsmotor (02-01)	Relä	-	3	140	Tema elektronik
Flytkraftsmotor (02-02)	I2C level arduino konverterare	LEVEL CONVERTER-R1-RP	1	250	JM Robotics
Flytkraftsmotor (02-03)	Hydraulolja viskös ISO VG 32	WKOH32-4	1	259	SVITH
Flytkraftsmotor (02-04)	Kabelpenetrator	WLP-M10-6.5MM-HC	3	360	JM Robotics
Flytkraftsmotor (02-05)	pa-4/2.7 svart 100m>pas42-100	-	1.5	17.16	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-06)	Clamp mini 1b 10.5-12.5	-	2	17.72	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-07)	Push in bspst 4mm 1/8 >ma11 04 18	-	1	21.12	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-08)	push in red 4mm 6mm >ma25 0406	-	1	26.18	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-09)	Slang till pump	368-0182	1	349.58	RS
Flytkraftsmotor (02-10)	Gängtape 12X0.08 mm>326-1286	-	1	6.33	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-11)	Pressure Relief Valve Backfill Adapter	SKU: PRV-M10-BACKFILL-ADAPTER-R1-RP	1	628.64	JM Robotics
Flytkraftsmotor (02-12)	Straight bsp60 male 1/4-1/4"	-	1	8.35	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-13)	Push in 90 union 12mm 12mm >ma28 12 12	-	1	80.84	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-14)	Fitada mm bspst 1/8 1/8 >ra12 1818	-	1	9.51	Dunlop Hiflex
Flytkraftsmotor (02-15)	Pump	503001-301	1	962.35	MagomHRC
Flytkraftsmotor (02-16)	Ventil	840-7020	1	304.87	RS
Horisontalplan (03-01)	Stötstänger	MBS-0001	2	30	MBS RC-models
Horisontalplan (03-02)	Esc för thruster	BESC30-R3	1	360	JM Robotics
Horisontalplan (03-03)	Servomotor till roder	1534794	1	1112	Conrad
Horisontalplan (03-04)	Dränkbar motor. thruster	T200-THRUSTER-BROV2-CCW-SPARE-R2-RP	1	2100	JM Robotics
Horisontalplan (03-05)	Roderaxel	724-3386	1	125.44	RS
Horisontalplan (03-06)	Tätning	TVM100050-T40S	1	402.47	Trelleborg
Horisontalplan (03-07)	Keramiskt kullager	CE-685-ZRO2-PTFE-DRY	2	481.68	Kugellager-express
Horisontalplan (03-08)	Kullager	612-5852	1	58.86	RS
Horisontalplan (03-09)	Vinklade kughjul	521-6042	2	88.08	RS
Hölje (04-01)	Rumdrör	4249568	4	48	Hornbach
Hölje (04-02)	Gängstång	530-315	1 pack (5st / pack)	180	RS
Hölje (04-03)	PMMA-skiva	26-2115	2	458	Biltema
Hölje (04-04)	Rör, skrov	-	1	800	PlastMästaren
Hölje (04-05)	Ändkåpor tillverkade	-	2	6685	HenEk AB
Hölje (04-06)	Offeranod i Zink	B116830	2	243.44	Anode factory.se
Hölje (04-07)	Distanser till stängerna	205-3068	5	48.46	RS
Hölje (04-08)	O-ring	255-6942	2	78.79	RS
Hölje (04-09)	Tryckventil	PRV-M10-ASM-R1-RP	1	280	JM Robotics
Hölje (04-10)	penetrator 6.5mm	WLP-M10-6.5MM-HC	4	360	JM Robotics
Hölje (04-11)	Fett till O-ring	MISC-MOLYKOTE-111-TUBE-R1	1	320	JM Robotics
Pitch (05-01)	Linjärt ställdon	454-1000	1	1609.72	RS
Pitch (05-02)	Bosch Rexroth 0.4m Long Steel Closed Bush Shaft	724-3386	3	369.57	RS
Pitch (05-03)	Anslutningskort för stegmotordrivare, Adafruit	300-91-184	1	74.23	Elfa
Styrning (06-01)	ethernet-kabel för intern el	240-6296	3	84.9	RS
Styrning (06-02)	ethernet-kabel för intern el	240-6297	3	84.9	RS
Styrning (06-03)	ethernet-kabel för intern el	240-6298	3	84.9	RS
Styrning (06-04)	RJ45 adapter hona hona	301-30-891	10	457	Elfa
Styrning (06-05)	Display för arduinos	300-91-227	2	467.18	Elfa
Styrning (06-06)	Ethernet-kabel för styrning	812-4788	1	679.47	RS
Styrning (06-07)	RJ45 adapter hona hona	301-30-891	5	228.5	Elfa
Styrning (06-08)	ON-OFF-ON switch	301-03-430	10	233.1	Elfa
Styrning (06-09)	Potentiometer 10 kΩ	110-95-627	5	320.8	Elfa
Styrning (06-10)	RJ45 adapter till skruvkoppling	124-2520	5	469.1	RS
Styrning (06-11)	Arduino Uno Rev 3	715-4081	2	503.46	RS
Styrning (06-12)	MPU-6050 Gyroskop	301-67-655	1	157.00	Elfa
Styrning (06-13)	RJ45 kontakt 10 pack	301-30-009	1	52.5	Elfa
Styrning (06-14)	Transistorer	686-8063	1 st 20-pack	94.86	RS
Styrning (06-15)	ON-OFF switch m led	301-55-776	4	96.04	Elfa
Summa:	-	-	-	24 370 kr	-

Beräkningar av o-ringar

En o-ring med tvärsnittsarean 5 mm och innerdiametern 126 mm valdes till ändkåporna. I monterat läge, för en statisk radiell tätning, ska o-ringens töjas maximalt 6%. Tätningen ska dessutom pressas ihop 15-30%. Spårbredden för o-ringens ska vara cirka 125% av tätningens tvärsnittsarea. Ytfinheten i o-ringsspåret får dessutom inte överstiga 1,6 Ra (μm) vid statisk tätning (Norelem, u. å). Utformningen av o-ringsspåret i ändkåporna visas i Figur C.1 och nedan visas beräkningarna på hur o-ringens påverkas i monterat läge.

Beräkning av spårbredden:

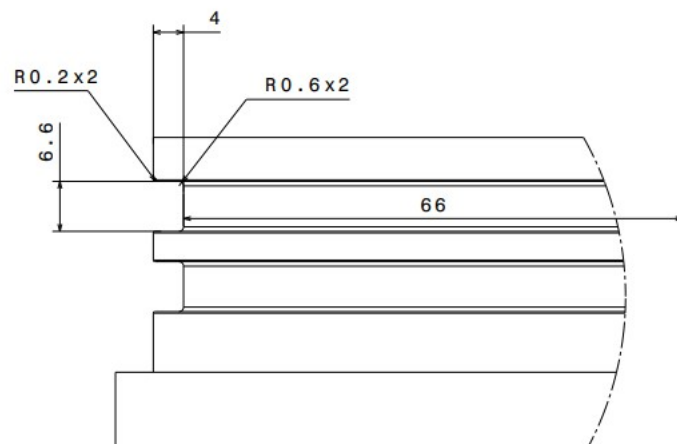
$$\text{Spårbredd} = 1,25 \times 5\text{mm} = 6,6\text{mm} \quad (\text{C.1})$$

Beräkning av o-ringens ihoppresning, där spårjupet i ändkåpan är 4 mm, resulterade i att tätningen pressas ihop 1 mm då ändkåpan är monterad i skrovet:

$$\text{Ihoppresning} = \frac{5 - 4}{5} = 20\% \quad (\text{C.2})$$

Spårjupet i ändkåpan, där o-ringens ska monteras, medför en radie på 66 mm, se C.1, och då tätningens innerradie är 63 mm får o-ringens i monterat läge då töjningen:

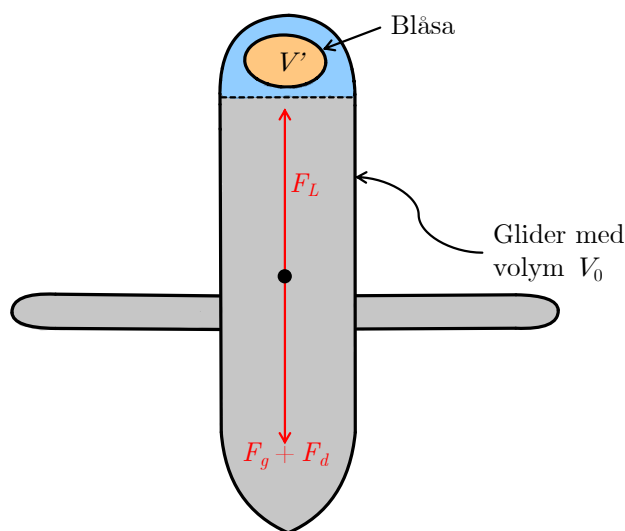
$$\text{Töjning} = \frac{66 - 63}{63} = 4,76\% \quad (\text{C.3})$$



Figur C.1: Del av ändkåpa med mått utsatta för o-ringens.

Estimering av blåsstorlek och vertikal hastighet

Givet att farkosten får väga $m = 20$ kg och att vi kommer att använda en blåsa med varierbar volym, V' , som placeras utanför glidern går det att teckna en vertikal kraftjämnvikt. Kraftsituationen visas i figur D.1. Vi låter här $V_0 = \frac{m}{\rho} + V_d$ där V_d alltså är skillnaden i



Figur D.1: Figuren visar en skissartad friläggning av glidern som rör sig med terminalhastigheten w i vertikalt led.

volym för att glidern utan blåsa enbart ska ha neutral flytkraft. Vidare kommer enbart vertikala krafter och hastigheter betraktas för att göra en enklare och grövre estimering av problemet. Att farkosten färdas med en vinkel kommer i efterhand gå att justera med en enkel $\sin \theta$ -term där θ är vinkeln mot ett horisontellt plan som farkosten färdas med. Med Newtons andra lag ställs kraftjämnvikt mellan accelerationen, vattenmotståndet F_d , flytkraften F_L och tyngdkraften F_g upp enligt

$$\begin{aligned} F_L &= \rho_v g (V_0 + V') \\ F_g &= mg \\ F_d &= \frac{1}{2} C_D w^2 A = \frac{1}{2} C_D \pi R^2 \end{aligned}$$

\implies

$$g(\rho_v (V_0 - V') - m) = ma + \frac{1}{2} \rho_v C_D w^2 \pi R^2,$$

där w är hastighet i z -led, R radien på glidern och C_D formmotståndskoefficienten. Denna koefficient kommer senare gå att hitta i tabeller. Då vi enbart är ute efter terminalhastigheten som glidern kommer röra sig med uppåt sätts $a = 0$. Genom att förenkla och lösa

ut w erhålls

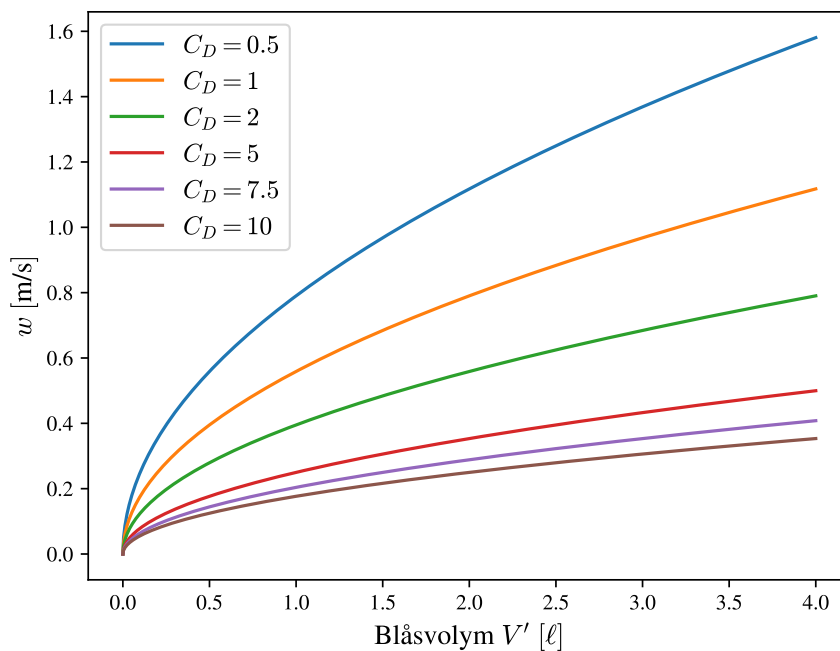
$$w = \sqrt{\frac{2g(\rho_v(V_0 - V') - m)}{\pi R^2 C_D \rho_v}} = \left\{ V' - V_d = V' \left(1 - \frac{1}{2}\right) = \frac{V'}{2} \right\} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{gV'}{\pi C_D}}, \quad (\text{D.1})$$

där antagandet att $V' - V_d = V'/2$ tas från att vi kommer veta ha lika stor acceleration uppåt som nedåt. För att visualisera ekvation D.1 visas i figur D.2 grafer över vertikala hastigheten w som funktion av blåsans volym V' för olika värden på formmotståndskoefficienten C_D . Ett rimligt antagande för glidhastigheten hos glidern är i intervallet $0,5 - 2,5 \text{ kn} = 0,25 - 1,3 \text{ m s}^{-1}$; ett krav som kan tillgodoses med en blåsa med volym $V' \approx 1,0 \text{ L}$.

I detta uttryck kan man sedan anta att vi kommer att ha en radie $R \in [0,1; 0,15] \text{ m}$ och sedan att $C_D \in [0,25; 2]$. Genom att sedan anta att vi vill ha en hastighet $w \approx 0,3 \text{ m s}^{-1}$ kommer vi sedan kunna beräkna V' som

$$V' = (wR)^2 \frac{\pi C_D}{g}, \quad (\text{D.2})$$

där även C_D kan varieras inom det antagna området för att hitta ett V' som fungerar för de flesta fallen.



Figur D.2: I figuren visas grafen för vertikal hastighet w som funktion av blåsans volym V' i liter för olika formmotståndskoefficienter C_D . För att generera graferna har ekvation D.1 använts med ett värde på $R = 10 \text{ cm}$.

D.1 Källkod i Python för grafer till vertikal hastighet och volym på blåsa

```
import numpy as np
import scipy.constants as K
```

```

import matplotlib.pyplot as plt

# LaTeX font
plt.rcParams['mathtext.fontset'] = 'cm'
plt.rcParams['font.family'] = 'STIXGeneral'

# Parameters
g = 9.81; mu = 1e-3
Vp_max = 4e-3
V_p = np.linspace(0,Vp_max,1000)
V_d = np.linspace(0,Vp_max/2)
m = 10; R = 0.1

Cd = [0.5,1,2,5,7.5,10]; C = [ ]
plt.figure(1)
R = 0.1
# loop for plotting w vs V' for different C_D - values
for i in range(0,len(Cd)):
    w = (1/R) * np.sqrt((g * V_p)/(np.pi * Cd[i]))
    plt.plot(1000*V_p,w)
    C.append('$C_D = {}'.format(Cd[i]))
    plt.xlabel('Blåsvolyym $V^{\prime}$ $[\text{ell}]$', fontsize = 13)
    plt.ylabel('$w$ $[\text{m/s}]$', fontsize = 13)

plt.legend(C, fontsize = 12)

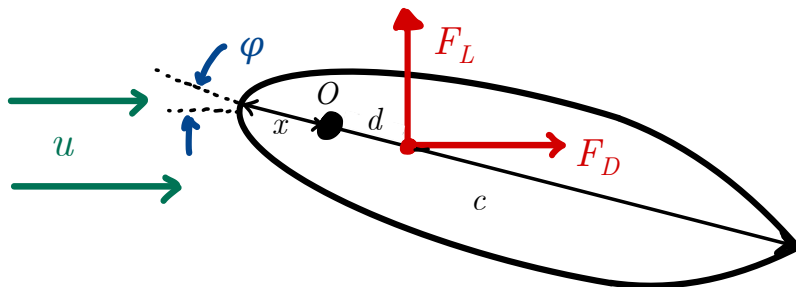
# loop for plotting V' vs Cd for different velocities w.
plt.figure(2)
w = np.linspace(0.1,1,10)
vz = []
for j in range(0,len(w)):
    V = []
    for i in range(0,len(Cd)):
        #w = 10 * np.sqrt((g * V_p)/(np.pi * Cd[i]))
        V.append((w[j]/10)**2 * np.pi*Cd[i]/g)
    plt.plot(Cd,V)
    vz.append('$w = {}$ [m/s]'.format(w[j]))
plt.xlabel('Drag $C_d$ $[]$')
plt.ylabel('Blåsvolyym $V^{\prime}$ $[\text{ell}]$')
plt.legend(vz)

plt.show()

```

Analys av krafter på roder

För att dimensionera roderets servomotor, bestämma roderets storlek samt dess placering på roderstocken gjordes en kortare kraftanalys på roderet. I figur E.1 visas en enklare friläggning av roderet då strömningen har hastigheten u .



Figur E.1: Figuren visar en friläggning av roderet med inritad lyftkraft, F_L , och formmotståndskraft, F_D . Strömningen har hastigheten u , x och d är avstånd från roderstockens placering O till främre änden respektive lyftcentrum för roderet. Rodrets totala längd är c och det står med en attackvinkel φ mot strömningen.

Momentet kring roderstocken, O , orsakat av strömningen ges av

$$M_O = d(\cos(\varphi)F_L - \sin(\varphi)F_D). \quad (\text{E.1})$$

Lyft- och formmotståndskraften kan skrivas om med följande uttryck

$$F_{L,D} = C_{L,D}A_{L,D}\rho\frac{u^2}{2},$$

där $C_{L,D}$ är lyft/formmotståndskoefficienten, $A_{L,D}$ är en referensarea och ρ är vattnets densitet. Insättning i ekvation E.1 ger

$$M_O = d\rho\frac{u^2}{2}(\cos(\varphi)C_L A_L - \sin(\varphi)C_D A_D)$$

och genom att sätta $\sin(\varphi) = 0$ erhålls

$$M_{\max} = d\rho\frac{u^2}{2}C_L A_L \cos(\varphi) \quad (\text{E.2})$$

som övre gräns på momentet.

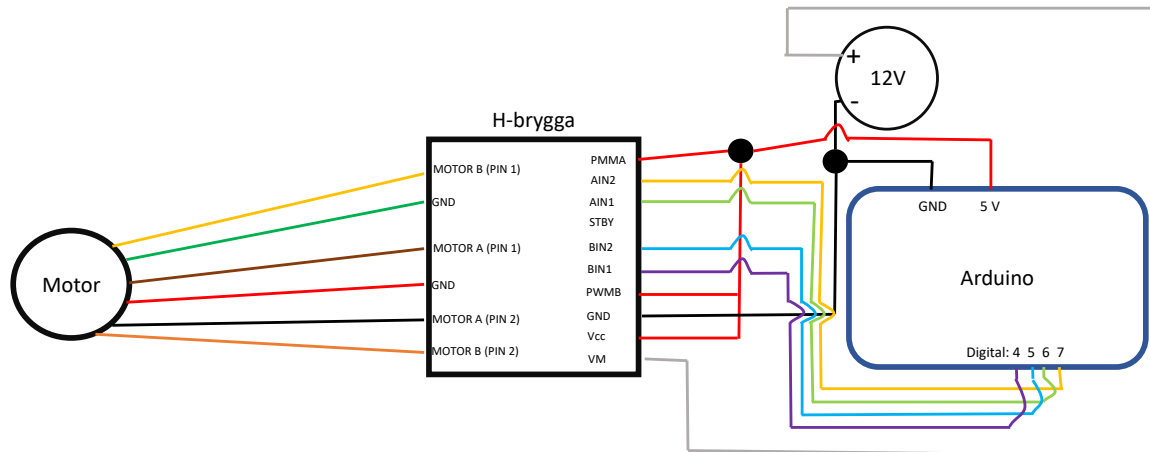
För att uppskatta några av storheterna i ekvation E.2 gjordes ytterligare några förenklingar och dessutom sattes några numeriska värdena. För en symmetrisk vinge gäller det att $d + x = c/4$ samt att $A_L = c\ell$, där ℓ är roderets längd vinkelrätt mot skissen i figur E.1 (Benson, u. å). Vidare är bör $0,1c < d < 0,2c$ och d sattes därför godtyckligt till $c/6 = 0,167c$. Då analysen syftar till att ta fram en övre gräns på M_{\max} sattes $C_L = 1$ och ekvation E.2 kan nu skrivas

$$M_O = 0,167\rho\frac{u^2}{2}c^2\ell.$$

Genom att sätta $c = 5 \text{ cm}$, $\ell = 10 \text{ cm}$ och $u = 1,5 \text{ m s}^{-1}$ erhöles $M_{\max} \approx 0,1 \text{ N m}$.

Kopplingschema för pitchmotor

I följande bilaga visas ett kopplingschema för motorn som används i samband med pitchkontroll med tillhörande h-brygga samt Arduino. Se figur F.1.



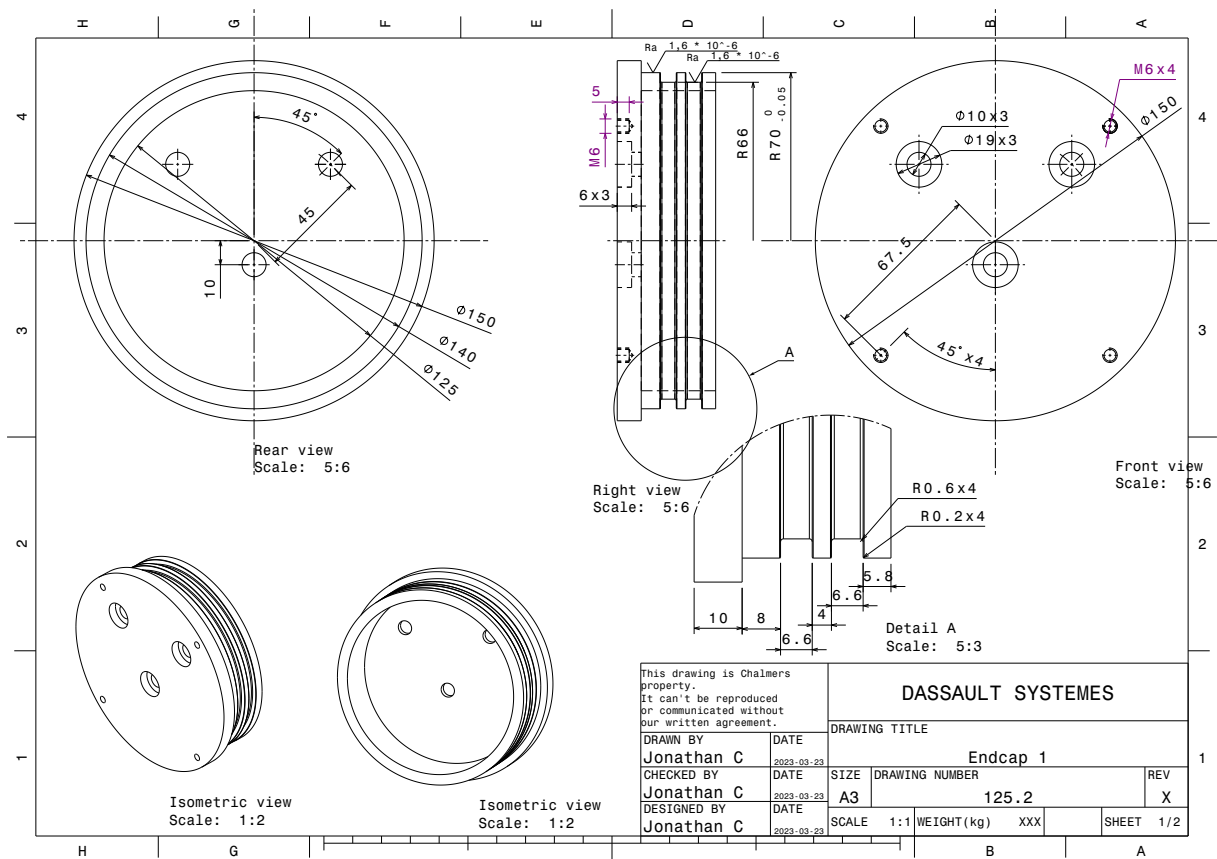
Figur F.1: Kopplingschema

Komponenterna återfinns i bilaga B:

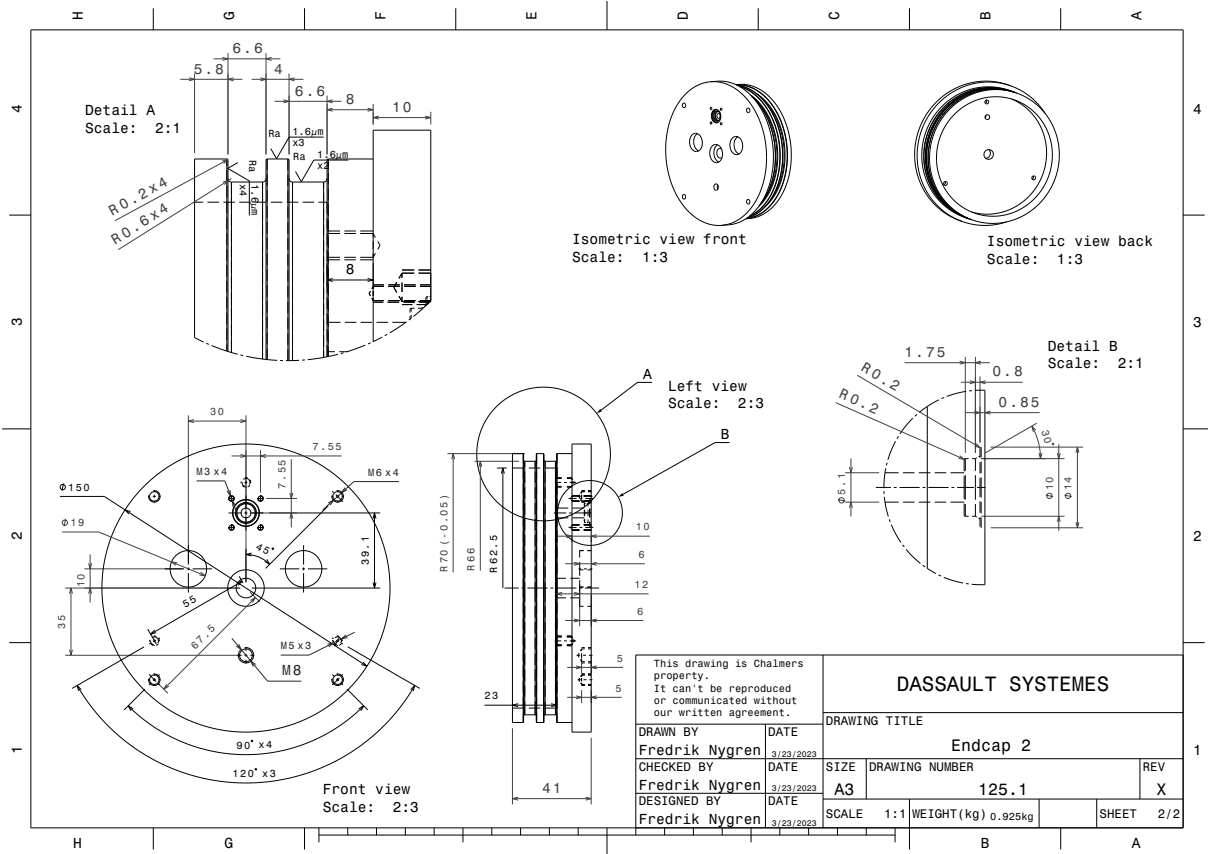
- Motor - komponent nr.05-01
- H-brygga - komponent nr.05-03
- Arduino - komponent nr.06-11

Ritning ändlock

Ritningar för det främre och bakre ändlocket som används som ingående komponenter till farkostens skrov återfinns i figur G.1 respektive G.2.



Figur G.1: Ritning främre ändlock.



Figur G.2: Ritning bakre ändlock.

Källkod Arduino

I följande avsnitt presenteras den huvudsakliga koden för vardera Arduino samt de ingående biblioteken som skapades för glidern.

H.1 Kod i mainfunktion för styrning av Arduino 1

```
//Huvudprogrammet för att styra den primära arduinon
//Styr pump och ventil samt pitchmotor
//Har koll på trycksensor och gyroskop
//Bibliotek för all styrning och alla sensorer
#include "gliderlib.h"
#include "pumper.h"
#include "gyro.h"
#include "KellerLD.h"
#include "depth.h"
#include "pitch.h"
#include "disp.h"
using namespace gliderlib;

//          Nedan listas alla utgångar från arduinon med kort beskrivning av vad de
↪ ev. är kopplade till
//int X = 0;
int relPin1 = 7;           //Till relä 1 för att pumpa ut eller inte
int relPin2 = 2;           //Till relä 2 för att pumpa ut eller inte
int onPin = 3;            //Till relä för att pumpa eller inte
int stepperPins[] = {4,5,6,7}; //Till utgångar till steppermotordriver
int vent = 8;             //Till ventil
//int X = 9;
int pumpDir = 10;         //Pumpa in/ut
int pumpStat = 11;        //Pumpa ja/nej
int pitchMode = 12;       //Pitch automatisk eller manuell styrning av
↪ batteripositon
int pitchDir = 13;        //Pitch upp/ner
//int X = A0;
//int X = A1;
//int X = A2;
int batPosPot = A3;       //Potentiometer för manuell styrning av batteriets
↪ position mha pitchmotorn
int gyro1 = A4;           //Gyroskop
int gyro2 = A5;           //Gyroskop

//Positionsvektorer för att ha visst minne om tidigare position.
//Fem värden för att kunna göra derivata över viss tid och jämföra med tidigare
↪ derivata samt uppdatera värden.
double dep[5];           //En array för att spara de
↪ senaste 10 djupen, används för få hastigheter och dylikt.
double zVel[5];          //För vertikal hastighet
double zAcc[5];          //För vertikal acceleration
double Pitch[5];         //För rollvinkel
double pitchPos = 0;     //Position av batteriet för
↪ pitchmotorn
```

```

int rate = 1000-10; //Uppdateringshastighet, 10ms för
↳ att pumpfunktionen har en delay(10); inbyggd

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pumpSetup(relPin1, relPin2, onPin); //Startar pumpen och ventilen
  gyroSetup(); //Startar gyroskopet
  disp_setup(); //Startar displayen
  stepper_setup();
  //depthSetup(1023); //Startar sensorn med angiven densitet
↳ hos vattnet. Om ingen antagen densitet antas 997kg/m3
  delay(2000);
  pinMode(pumpDir, INPUT);
  pinMode(pumpStat, INPUT);
  pinMode(pitchMode, INPUT);
  pinMode(pitchDir, INPUT);
}

void loop() {
  printStat();
  update(); //Uppdaterar positionsvärdena
  //Kontrollera vilka switchar som är inställda på kontroller

  //IF-satser som baseras på vilka kommandon som switcharna motsvarar
  //Här sker delay(10); i pumpfunktionen för att bygga säkerhet mot
↳ tryckgradienter till avstängda pumpar.
  if (digitalRead(pumpStat) == HIGH){ //Vill pumpa
    if (digitalRead(pumpDir) == HIGH){ //Pumpa IN
      pump(relPin1, relPin2, onPin, 1);
    }else { //Pumpa UT
      pump(relPin1, relPin2, onPin, 2);
    }
  } else if (digitalRead(pumpStat == LOW)){
↳ //Vill inte pumpa
    pump(relPin1, relPin2, onPin, 3);
  }
  int laps = 10;
  if (digitalRead(pitchMode) == HIGH){ //Vill ha automatisk
↳ pitchreglering
    if (digitalRead(pitchDir) == HIGH){ //Vill ha pitch för stigning, pos
↳ vinkel
      //Justera pitch för stigning
    }else { //Vill ha pitch för sjunkning, neg
↳ vinkel
      //Justera pitch för att sjunka
    }
  } else { //Vill ha manuellt styrd position
↳ av batteri
    int potval = analogRead(A2); //Läs av värde på potentiometer A2
    double newPitchPos = map(potval, 0, 1023, 0, laps);
    pitchPos = updatePPos(pitchPos, newPitchPos, laps);
    //Flytta pitchmotorn till läge som motsvaras av värde på A2
  }

  //Skriv ut pitch, djup, z-hastighet och z-acceleration med serial 9600, lista på
↳ läsbart sätt utskrivet på en rad.
  /*
  Serial.println("-----\n\n");

```

```

    //Serial.print("Vinkel: ");
    //Serial.println(Pitch[0]);
    Serial.print("Djup: ");
    Serial.println(dep[0]);
    Serial.println("\n\n\n-----");
    */
    disp(Pitch[0], dep[0], zVel[0], pitchPos);
    delay(rate);
}

void update() {
    //Denna funktion är jobbig att
    ↪ lägga till ett bibliotek eftersom alla arrayer ligger i denna fil
    double newP = getP(); //Tar emot den nya pitch från
    ↪ gyroskop
    gliderlib::updateArray(Pitch, newP); //Uppdaterar pitcharrayen med nya
    ↪ värdet
    double newDepth = getDepth(); //Tar emot nya djupet från
    ↪ trycksensorn
    updateArray(dep, newDepth); //Uppdaterar djuparrayen med nya
    ↪ värdet
    double nZVel = ddt(dep, rate); //Deriverar djuparrayens senaste
    ↪ två värden, får hastigheten i z-led
    updateArray(zVel, nZVel); //Uppdaterar z-hastighetsarrayen
    ↪ med nya värdet
    double nZacc = ddt(dep, rate); //Deriverar z-hastighetsarrayen
    ↪ senaste två värden, får acceleration
    updateArray(zAcc, nZacc); //Uppdaterar
    ↪ z-accelerationsarrayen
}

void printStat(){
    int pumpState = digitalRead(pumpDir);
    int pumpStatus = digitalRead(pumpStat);
    int pitchModeState = digitalRead(pitchMode);
    int pitchDirState = digitalRead(pitchDir);
    int batteryPosition = map(analogRead(batPosPot),0 , 1023, 0, 100);

    // Print input status to serial monitor

    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.println("-----");
    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.print("Pump riktn: ");
    Serial.println(pumpState);
    Serial.print("Pitch direction: ");
    Serial.println(pitchDirState);
    Serial.print("Pitch mode: ");
    Serial.println(pitchModeState);
    Serial.print("Pump status: ");
    Serial.println(pumpStatus);
    Serial.print("Battery position: ");
    Serial.println(batteryPosition);
    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.println("-----");
    Serial.println();
}

```

```

Serial.println();
}

```

H.2 Bibliotek för funktioner till main-funktionen

.cpp fil:

```

#include "gliderlib.h"
//Vet inte varför men denna behöver vara i namespace gliderlib för att fungera. dock
↪ inte gliderlib.h
namespace gliderlib {

    void updateArray(double (&arr)[5], double newValue) { //Uppdaterar en array
↪ med det senaste värdet. Skiftar samtidigt de andra och tar bort det sista
        for (int i = 4; i > 0; i--) {
            arr[i] = arr[i-1]; // Shift values to the right
        }
        arr[0] = newValue; // Insert new value at the beginning
    }

    double ddt(double (ref)[5], int dt){ //Gör en tidsderivata av
↪ senaste värden i array med given uppdateringshastighet
        double ret = (ref[0] - ref[1])/dt;
        return ret;
    }
}

```

.h fil:

```

#ifndef GLIDERLIB_H
#define GLIDERLIB_H

namespace gliderlib {
    void updateArray(double (&arr)[5], double newValue);
    double ddt(double (ref)[5], int dt);
}

#endif

```

H.3 Bibliotek för pumpen

.cpp fil:

```

#include "pumper.h"
#include <Arduino.h>
//lämna dir-fält för att stänga av pumpen

void pump(int vent, int relPin, int onPin, int dir) {
    // "dir" ger vilken riktning pumpen ska pumpa, "I" för in och "U" för ut
    // "IN" ger att den ska pumpa in, "UT" ger att den ska pumpa ut
    // Alla andra inputs till dir ger att den stänger ventilen och inte pumpar alls
    // För varje pumpning sker öppnas ventilen och pumpen matas sedan med 12V genom
↪ transistorerna
}

```

```

    if (dir == 1){                                     //relPin på ställer polariteten så att pumpen
↪   pumpar in
        digitalWrite(relPin, HIGH);
        digitalWrite(onPin, HIGH);                   //onPin på gör så att motorn får ström
        delay(10);                                   //Ger pumpen tid att bygga upp tryck
        digitalWrite(vent, HIGH);
    } else if (dir == 2){                             //relPin av ställer polariteten så att pumpen
↪   pumpar ut
        digitalWrite(relPin, LOW);
        digitalWrite(onPin, HIGH);
        delay(10);                                   //Ger pumpen tid att bygga upp tryck
        digitalWrite(vent, HIGH);
    } else {                                          //Om ingen av transistorerna är "öppna" får
↪   pumpen ingen ström, samma gäller för ventilen
        digitalWrite(vent, LOW);
        delay(10);                                   //Tillåter inte någon tryckgradient att nå en
↪   avstängd pump
        digitalWrite(relPin, LOW);
        digitalWrite(onPin, LOW);
    }
}

int pumpSetup(int vent, int relPin, int onPin){
    //För att sätta alla pins till output så att de ger 5V till alla transistorer eller
↪   relän.
    pinMode(relPin, OUTPUT);
    pinMode(onPin, OUTPUT);
    pinMode(vent, OUTPUT);
    Serial.print("Pump ok");
    return 1;
}

```

.h fil:

```

#ifdef PUMPER_H
#define PUMPER_H
#include <Arduino.h>

void pump(int vent, int relPin, int onPin, int dir);
int pumpSetup(int vent, int relPin, int onPin);

#endif

```

H.4 Bibliotek för avläsning av pitchvinkel från gyro

.cpp fil:

```

//Library för att läsa av vilken roll och pitch som glidern har.
//Med vår sensor finns även möjlighet att få ut acceleration mm. men detta är inte
↪   nödvändigt i nuläget.
//I princip all kod är kopierad och minimalt justerad från:
↪   https://electrosome.com/interfacing-mpu-6050-gy-521-arduino-uno/
#include "gyro.h"
#include <Wire.h> //library allows communication with I2C / TWI devices    FÖR
↪   ARDUINO UNO A4 & A5

```

```

#include <math.h> //library includes mathematical functions

//Lite bös som ska få gyroskopet att fungera, beskrivs i länken ovan. Det funkar dock
↪ att bara låta det stå här :)
const int MPU=0x68; //I2C address of the MPU-6050
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ; //16-bit integers
int AcXcal,AcYcal,AcZcal,GyXcal,GyYcal,GyZcal,tcal; //calibration variables
double t,tx,tf,pitch,roll;

double getP(){
    Wire.beginTransmission(MPU); //begin transmission to I2C slave device
    Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B
    ↪ (ACCEL_XOUT_H)
    Wire.endTransmission(false); //restarts transmission to I2C slave device
    Wire.requestFrom(MPU,14,true); //request 14 registers in total

    //Acceleration data correction
    AcXcal = -950;
    AcYcal = -300;
    AcZcal = 0;

    //Gyro correction
    GyXcal = 480;
    GyYcal = 170;
    GyZcal = 210;

    //read accelerometer data
    AcX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
    AcY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
    AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)

    //read gyroscope data
    GyX=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x43 (GYRO_XOUT_H) 0x44 (GYRO_XOUT_L)
    GyY=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x45 (GYRO_YOUT_H) 0x46 (GYRO_YOUT_L)
    GyZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) 0x48 (GYRO_ZOUT_L)

    //get pitch/roll
    getAngle(AcX,AcY,AcZ);

    //printing values to serial port
    //Serial.print("Angle: ");
    //Serial.print("Pitch = "); Serial.print(pitch);
    //Serial.print(" Roll = "); Serial.println(roll);
    //double ret[] = {pitch, roll};
    //Serial.println();
    return roll;
}

void getAngle(int Ax,int Ay,int Az)
{
    double x = Ax;
    double y = Ay;
    double z = Az;

    pitch = atan(x/sqrt((y*y) + (z*z))); //pitch calculation
}

```

```

    roll = atan(y/sqrt((x*x) + (z*z)));    //roll calculation

    //converting radians into degrees
    pitch = pitch * (180.0/3.14);
    roll = roll * (180.0/3.14) ;
}

void gyroSetup(){
    Wire.begin();                        //initiate wire library and I2C
    Wire.beginTransmission(MPU);        //begin transmission to I2C slave device
    Wire.write(0x6B);                    // PWR_MGMT_1 register
    Wire.write(0);                        // set to zero (wakes up the MPU-6050)
    Wire.endTransmission(true);         //ends transmission to I2C slave device
}

```

.h fil:

```

#ifdef GYRO_H
#define GYRO_H

#include <Arduino.h>
#include <Wire.h> //library allows communication with I2C / TWI devices
#include <math.h> //library includes mathematical functions

double getP();
void gyroSetup();
void getAngle(int Ax,int Ay,int Az);

#endif

```

H.5 Bibliotek för avläsning av trycksensor

.cpp fil:

```

#include <Wire.h>
#include "MS5837.h"

MS5837 sensor;
//Det mesta här givet från blue robotics hemsida

void depthSetup(double density = 997){    //Om ingen antagen densitet antas
↳ 997kg/m^3
    sensor.init();

    while (!sensor.init()) {
        Serial.println("Init failed!");
        Serial.println("Are SDA/SCL connected correctly?");
        Serial.println("Blue Robotics Bar30: White=SDA, Green=SCL");
        Serial.println("\n\n");
        delay(5000);
    }
    //sensor.setModel(MS5837::MS5837_30BA);
    sensor.setFluidDensity(density); // kg/m^3 (freshwater, 1029 for seawater)
}

```

```
double getDepth(){                               //Returnerar djupet för
    return sensor.depth();
}
```

.h fil:

```
#ifndef DEPTH_H
#define DEPTH_H

#include <Arduino.h>

void depthSetup(double density = 997);
double getDepth();

#endif
```

H.6 Bibliotek för att skriva ut status till display

.cpp fil:

```
#include <Arduino.h>

#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

// Declaration for an SSD1306 display connected to I2C (SDA, SCL pins)
// The pins for I2C are defined by the Wire-library.
// On an arduino UNO:          A4(SDA), A5(SCL)
// On an arduino MEGA 2560:  20(SDA), 21(SCL)
// On an arduino LEONARDO:   2(SDA),  3(SCL), ...
#define OLED_RESET    -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
#define SCREEN_ADDRESS 0x3D ///< See datasheet for Address; 0x3D for 128x64, 0x3C for
↪ 128x32
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

#define NUMFLAKES    10 // Number of snowflakes in the animation example

#define LOGO_HEIGHT  16
#define LOGO_WIDTH   16
static const unsigned char PROGMEM logo_bmp[] =
{ 0b00000000, 0b11000000,
  0b00000001, 0b11000000,
  0b00000001, 0b11000000,
  0b00000011, 0b11100000,
  0b11110011, 0b11100000,
  0b11111110, 0b11111000,
  0b01111110, 0b11111111,
  0b00110011, 0b10011111,
```

```

0b00011111, 0b11111100,
0b00001101, 0b01110000,
0b00011011, 0b10100000,
0b00111111, 0b11100000,
0b00111111, 0b11110000,
0b01111100, 0b11110000,
0b01110000, 0b01110000,
0b00000000, 0b00110000 };

void disp_setup() {
    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS)) {
        Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
        for(;;); // Don't proceed, loop forever
    }
}

void disp(int ang, int dep, int vel, int pitchpos){
    display.clearDisplay();

    int line = 9;
    display.clearDisplay();

    display.setTextSize(1); // Draw 1X-scale text
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

    display.setCursor(10, 0);
    display.print(F("Depth:"));
    display.setCursor(45, 0);
    display.println(dep);

    display.setCursor(10, line);
    display.print(F("\tVel:"));
    display.setCursor(45, line);
    display.println(vel);

    display.setCursor(10, 2*line);
    display.print(F("Angle:"));
    display.setCursor(45, 2*line);
    display.print(ang);

    display.setCursor(10, 3*line);
    display.print(F("Rudder:"));
    display.setCursor(55, 3*line);
    display.print(pitchpos);
    display.setCursor(68, 3*line);
    display.print(F("%"));

    display.display();
}

```

.h fil:

```

#ifndef DISP_H
#define DISP_H

#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>

```

```

#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

void disp_setup();
void disp(int ang, int dep, int vel, int pitchpos);

#endif

```

H.7 Bibliotek för pitchmotor

.cpp fil:

.h fil:

H.8 Kod för styrning av Arduino 2

```

//Huvudprogrammet för andra arduinon som ska styra thrustern och rodret.
#include <Servo.h>
Servo rudder;
Servo thruster;
//int X = 0;
//int X = 1;
//int X = 2;
//int X = 3;
//int X = 4;
int thrusterPin = 6;    //Pin till thruster ESC
int rudderPin = 5;     //Pin till roderservo
//int X = 7;
//int X = 8;
//int X = 9;
//int X = 10;
int Mag = 12;          //Magi
int ThOn = 11;         //Truster på/av
int RodOn = 13;        //Roder på/av

//int X = A0;
//int X = A1;
int RodPos = A2;       //Potmeter för roderposition
int ThSpeed = A3;     //Potmeter för thrusterspeed
//int X = A4;
//int X = A5;
int ang = 40;

void setup() {
  //Startar rodret
  rudder.attach(rudderPin);
  rudder.writeMicroseconds(1500);
  pinMode(rudderPin, OUTPUT);
  digitalWrite(rudderPin, HIGH);
  //Startar thrustern
  thruster.attach(thrusterPin);
  thruster.writeMicroseconds(1500);
}

```

```

Serial.begin(9600);
//Startar alla knappar på kontrollen
pinMode(Mag, INPUT);
pinMode(ThOn, INPUT);
pinMode(RodOn, INPUT);
delay(300);
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
int Magread = digitalRead(Mag);
int ThOnread = digitalRead(ThOn);
int RodOnread = digitalRead(RodOn);
int RodPosread = map(analogRead(RodPos), 0, 1023, 100, -100);
int ThSpeedread = map(analogRead(ThSpeed), 0, 1023, -100, 100);
delay(1000);
Serial.println("\n-----\n");
Serial.print("Magi: ");
Serial.println(Magread);
Serial.print("Thruster I/O: ");
Serial.println(ThOnread);
Serial.print("Roder I/O: ");
Serial.println(RodOnread);
Serial.print("Roder position: ");
Serial.print(map(RodPosread, -100, 100, -ang, ang));
Serial.println(" deg");
Serial.print("Thruster speed: ");
Serial.print(ThSpeedread);
Serial.println("%");
Serial.println("\n-----\n");
delay(50);
//Här nedan körs thrustern
thruster_run(ThSpeedread, ThOnread);
//Här nedan styrs rodret
rudder_run(RodPosread, RodOnread);
}

void rudder_run(int rudderPos, int ON){
if (ON == 1 ){
int pmwVal = map(rudderPos, -100, 100, 100-ang, 100+ang);
rudder.write(pmwVal);
} else if (ON == 0){
digitalWrite(rudderPin, LOW);
}
}

void thruster_run(int thSpeed, int ON) { // Funktion för körning av thruster
int potVal = analogRead(thSpeed); // Läser av potentiometern
if (thSpeed == 0 || ON == 0){ // Kollar om potentiometern är på mitten eller
↪ thrustern ska vara avstängd. Detta stänger av motorn.
int pwmVal = 1500;
thruster.writeMicroseconds(pwmVal);
} else {
int pmwVal = map(thSpeed, -100, 100, 1100,1900);
thruster.writeMicroseconds(pmwVal);
}
}
}

```

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARTIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS