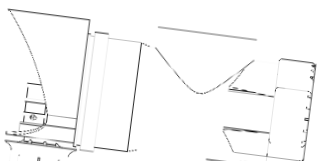


Fjärrstyrd Undervattensbåt

- med Arduino

Hugo Storm, Vilhelm Östman och Velislav Lozenski

Handledare: Erik Svensson



Abstract

This report deals with the design of a Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) and the process and theory behind a functional product. The goal of the project was to build the ROV with easily accessible and cheap parts, while providing similar functionality to commercial ROVs.

Innehållsförteckning

ABSTRACT	1
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
FIGURFÖRTECKNING	4
BEGREPPSFÖRKLARING	6
1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE	1
1.3 FRÅGESTÄLLNING	1
2 TEORI/TEKNISK BAKGRUND	2
2.1 ELEKTRONIK	2
2.1.1 <i>Arduino nano</i>	2
2.1.2 <i>L298N Motor controller board</i>	2
2.1.3 <i>Spänningsomvandlare</i>	3
2.1.4 <i>MPU 6050 3-axel accelerometer och gyroskop</i>	4
2.1.5 <i>74HC595 skiftregister</i>	4
2.2 KONSTRUKTION	6
2.2.1 <i>3d-Skrivare</i>	6
2.2.2 <i>Design för 3d-skrivning</i>	6
2.2.3 <i>Utskriftsmaterial</i>	6
2.3 FYSIKALISKA SAMBAND	7
2.3.1 <i>Frihetsgrader</i>	7
2.3.2 <i>Tyngdpunkt</i>	8
2.3.3 <i>Kraftmoment/Vridmoment</i>	8
2.4 LINJÄR REGRESSION FÖR DJUPBESTÄMMELE	8
3 METOD OCH MATERIAL	10
3.1 METOD	10
3.2 MATERIAL	10
3.3 KRAVSPECIFIKATION	11
4 RESULTAT	12
4.1 UBÅTENS KONSTRUKTION	12
4.1.1 <i>Kropp</i>	12
4.1.2 <i>Lock</i>	13
4.1.3 <i>Vingar</i>	14
4.1.4 <i>Bakdel</i>	17
4.1.5 <i>Insida</i>	19
4.1.6 <i>Vattentätthet</i>	20
4.1.7 <i>Tyngdpunkt och placering av tunga delar</i>	21
4.1.8 <i>Motorkonfiguration</i>	22
4.1.9 <i>Vingarnas placering</i>	23
4.1.10 <i>Styrdator</i>	24
4.2 ELEKTRONIK	25
4.2.1 <i>Ubåten</i>	25
4.2.2 <i>Kontrollådan</i>	27
4.2.3 <i>Kamera och skärm</i>	28
4.3 PROGRAMMERING	29
4.4 TESTER	31

4.4.1	Vattentäthetstest	31
4.4.2	Vattentest inomhus	31
4.4.3	Första vattentest ute	32
4.4.4	Andra vattentestet ute	33
4.4.5	Djupvattentest	33
4.5	PRIS	34
5	FELKÄLLOR OCH FÖRBÄTTRINGAR	35
5.1	FELKÄLLOR	35
5.2	FÖRBÄTTRINGAR	35
6	SLUTSATS	37
7	REFERENSER	38
8	APPENDIX	40
8.1	APPENDIX A	40
8.2	APPENDIX B	40

Figurförteckning

Figur 1: Rotationsfrihetsgrader (Ship motions, 2024)	6
Figur 2: Translationsfrihetsgrad (Ship motions, 2024)	6
Figur 3: Arduino Nano (NitraThor, 2022)	2
Figur 4: L298N (randomnerdtutorials, 2018)	3
Figur 5: XL6009 (Allegro, 2021)	3
Figur 6: LM2596 (Picclick, 2022).....	4
Figur 7: MPU 6050 (Jospheh, 2022)	4
Figur 8: 4-bitars skiftregister bild 1 (DroneBot Workshop, 2023)	4
Figur 9: 4-bitars skiftregister bild 2 (DroneBot Workshop, 2023)	5
Figur 10: 4-bitars skiftregister bild 3 (DroneBot Workshop, 2023).....	5
Figur 11: 74HC595 Pinout (Mirković, 2023)	5
Figur 12: 74HC595 (Wishdeals, 2022)	5
Figur 13: (What are the "6 Degrees of Freedom"? 6DOF explained., 2023)	7
Figur 14: : (Six degrees of freedom, 2023)	7
Figur 15: Kraftmoment (Pluggie.se, 2022)	8
Figur 16: Ubåtskropp.....	12
Figur 17: Plexiglasskiva	13
Figur 18: Simulering av tryck	13
Figur 19: Framdel.....	13
Figur 20: Ritning av framlock.....	13
Figur 21: Ritning vingar 1.....	14
Figur 22: Ritning motorhållare till vingar	15
Figur 23: Ritning vingar 2.....	15
Figur 24: Ritning framlock till motorhållare	16
Figur 25: Ritning skyddsnet till motorhållare	16
Figur 26: Ritning bakdel 2.....	17
Figur 27: Ritning bakdel 1.....	17
Figur 28: Ritning bakre motorskydd	18
Figur 29: Ritning skyddsnet till bakre motor	18
Figur 30: Bakre del i väska	19
Figur 31: Elektroniken i ubåten	19
Figur 33: Elektroniken utanför ubåten	19
Figur 32: 3d-modell elektronikhus	19
Figur 34: Tryckskydd.....	20
Figur 35: Ritning med inritad tyngdpunkt	21
Figur 36: Ritning med Heave och Pitch	22
Figur 37: Ritning med Surge och Yaw	22
Figur 38: Ritning med vingarnas placering.....	23
Figur 39: Ritning vingar.....	23
Figur 40: Beskrivning för kontroller i styrdatorn	24
Figur 41: Kopplingsschema i ubåten.....	25
Figur 42: Kopplingsschema för motorstyrningen	25
Figur 43: T1-T6 kopplingarna.....	26
Figur 44: Kopplingsschema för kontrollådan.....	27
Figur 45: Hur knappar är kopplade.....	27
Figur 46: Hur av/på lampan är kopplad i serie	28

Figur 47: Kopplingsschema av kamera och skärm	28
Figur 48: Kod för att kontrollera motorers rörelseriktning	29
Figur 49: Kod för att ändra den inskickade datan	29
Figur 50: Förklaring av binaryNumber.....	29
Figur 51: Kod för autotilt kontroll.....	30
Figur 52: Ballongtest för vattentäthet.....	31
Figur 53: Bild inomhustest.....	31
Figur 54: Första utomhustestet.....	32
Figur 55: Förstörd XL6009	35

Begreppsförklaring

IO Pin – Står för input / output pin och är en anslutning till mikrokontrollern som kan användas för att skicka (output) eller ta emot (input) elektriska signaler.

PWM – En signal som man kan variera pulsbredden på, alltså hur stor andel av tiden som signalen är på eller av.

Klockfrekvens – Antalet cykler per sekund som en processor kan utföra dess operationer.

SRAM – Står för ”*Static Random Access Memory*” och är ett typ av minne som tillåter snabb åtkomst till dess data.

EEPROM - Står för ”*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*” och är ett typ av icke-flyktigt minne som används för att bevara data även då strömmen stängs av.

IMU – Står för ”*Inertial Measurement Unit*” och är en komponent som mäter och skriver data om dess rörelse och orientering.

I2C – Står för ”*Inter-Integrated Circuit*” och är ett seriellt kommunikationsprotokoll som används för utbyte av data.

SIPO – Står för ”*Serial in – Parallel out*” och är en typ av skiftregister.

RX TX – Står för ”*Receive and Transmit*” och anger de pins som används vid seriell kommunikation mellan arduinos.

Fusion 360 – Ett Cad-program i vilket man kan designa tredimensionella modeller.

MSBFIRST - Står för ”*Most significant bit first*” och specificerar ordningen i vilken data ska skickas med shiftOut() funktionen.

Elektronikhus – Delen som håller all elektronik på insidan av ubåten.

Frihetsgrader – De typer av rörelse ett föremål kan utföra. För fri förflyttning genom 3d krävs 6.

Roll – Rotation i sidled kring x-axeln

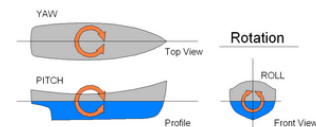
Pitch – Rotation fram och bak kring y-axeln

Yaw – Rotation höger och vänster kring z-axeln

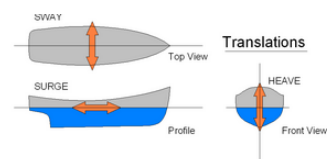
Surge – Rörelse fram och bak genom x-axeln

Sway – Rörelse höger och vänster genom y-axeln

Heave – Rörelse upp och ner genom z-axeln



Figur 1:
Rotationsfrihetsgrader
(Ship motions, 2024)



Figur 2: Translationsfrihetsgrad
(Ship motions, 2024)

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Ubåtar har funnits sedan 1600-talet och var under tidigare år drivna av människor som använde sig av åror, senare började man använda sig av ballast-tankar för att sänka och lyfta farkosten genom att pumpa in respektive pumpa ut vatten (Ubåt, 2023). Under 1900-talet så började utvecklingen av motordrivna ubåtar som inte längre behövde förlita sig på mänsklig kraft men det krävdes fortfarande människor på insidan av ubåten för styrning. Under världskrigen utvecklades teknologin ytterligare för militär användning, på senare tid har det utvecklats fjärrstyrda ubåtar oftast kallade för ROVs (Remotly Operated underwater Vehicle), främst för vetenskaplig användning för att utföra utforskning eller experiment vid extrema djup, men dessa båtar är väldigt dyra och inte tillgängliga för vanliga människor.

Vi valde därför att utforska hur en fjärrstyrd undervattensbåt kan byggas till ett lägre pris med en kamera som skickar direktsänd video av det som är framför den. Detta är ingen ny idé utan har gjorts tidigare av andra, trots detta finns väldigt lite tillgänglig information om hur detta ska göras vilket ledde till att mycket egen forskning och tester krävdes. Arbetet innehöll tre viktiga huvuddelar med komplicerade aspekter: 3D design, mekatronik och fysisk sammansättning.

1.2 Syfte

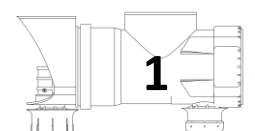
Syftet med rapporten är att undersöka hur man bygger en fjärrstyrd ubåt som ska styras med extern hårdvara kopplad med sladd.

1.3 Frågeställning

Kan en grupp gymnasieelever bygga en ubåt med livekamera och med ett max djup på 30 meter som är billigare än en likvärdig som kan köpas?

Hur konstrueras en funktionell ubåt?

Hur programmeras en ubåt som kontrolleras av en Arduino nano?



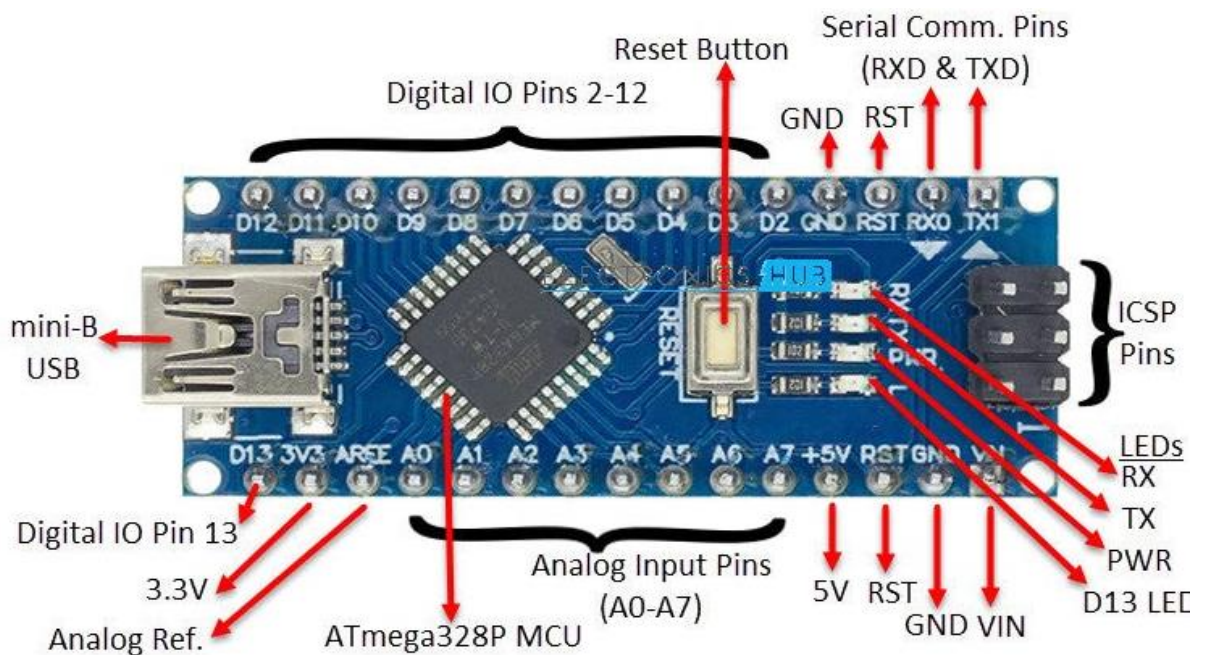
2 Teori/Teknisk bakgrund

2.1 Elektronik

2.1.1 Arduino nano

Arduino nano är ett mikrokontrollerkort lanserat år 2008 med målet att skapa ett tillgängligt och rimligt prissatt prototypverktyg utan behov av djupgående kunskaper inom elektronik eller programmering. Mikrokontrollern är baserad på Atmels ATmega328P mikrokontroller med dess klockfrekvens på 16MHz, 8 analoga ingångar, samt 14 digitala IO pins varav 6 av dem är PWM-utgångar. Brädan har 32 KB flash-minne, 2 KB SRAM, och 1 KB EEPROM (Components101, 2021).

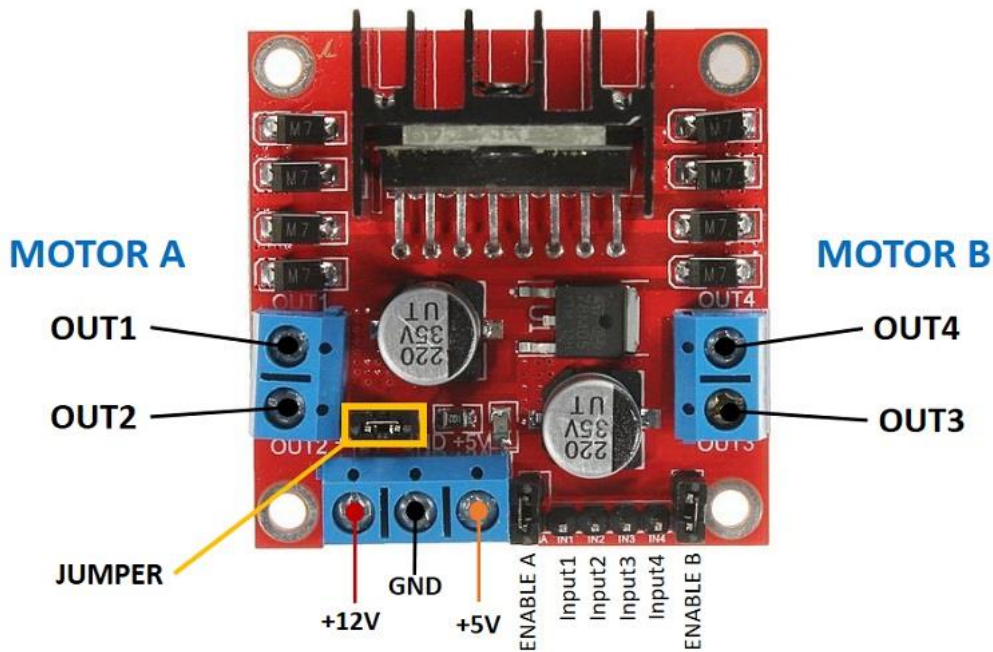
På grund av dess enkelhet samt mångsidighet och öppna hårdvara är kortet idag väldigt populär främst bland elektronik intresserade hobbyister och studenter. Och tack vare dess lilla storlek passar den bra särskilt bra för projekt med begränsat utrymme, därav orsaken till att just detta mikrokontrollerkort valdes för att kontrollera ubåten.



Figur 3: Arduino Nano (NitraThor, 2022)

2.1.2 L298N Motor controller board

L298N är en populär och mångsidig dubbel H-brygga motorstyrningskrets som gör det möjligt att enkelt kontrollera både riktning och hastighet av 2 dc-, eller stepper motorer samtidigt. Utöver detta har den även de viktiga inbyggda skyddsfunktionerna överströmsskydd och termiskt skydd för att skydda både brädan och motorerna. Kretsen kan driva motorer med en spänning på mellan 5 och 35 volt och kan kontinuerligt ge 2 ampere med maxeffekten på kontinuerliga 20 watt (Handson Technology, n.d.).



Figur 4: L298N (randomnerdtutorials, 2018)

2.1.3 Spänningsomvandlare

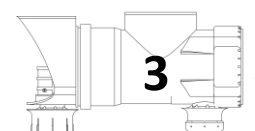
Eftersom spänningen från batteriet skulle vara för liten för motorerna och för hög för LED-remsan användes spänningsomvandlare för att öka respektive sänka spänningen med målet att komponenterna inte ska skadas samt att de ska fungera bra.

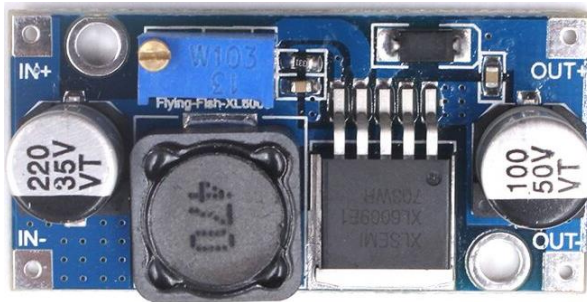
XL6009 användes för att öka spänningen åt motorerna så att de skulle nå upp till ett högre RPM. Kretsen kan omvandla upp spänningar mellan 5 och 32 Volt upp till 5 och 35 Volt med en maximal effektivitet på cirka 94%. XL6009 har en kontinuerlig maximal utgångsström på 4 Ampere och har även termiskt skydd som automatiskt stänger av dess utgång om den blir för varm (KylinChip, n.d.).

LM2596 användes för att minska spänningen åt LED-remsan. Kretsen kan omvandla ned spänningar mellan 4 och 40 Volt ned till 1,23 och 35 Volt. Kretsen har en maximal effektivitet på 92% och den kontinuerliga utgångsströmmen är maximalt 2 Ampere. Även denna krets har termiskt skydd som automatiskt stänger av utgången då brädan blir för varm (Texas Instruments, 2023).



Figur 5: XL6009 (Allegro, 2021)

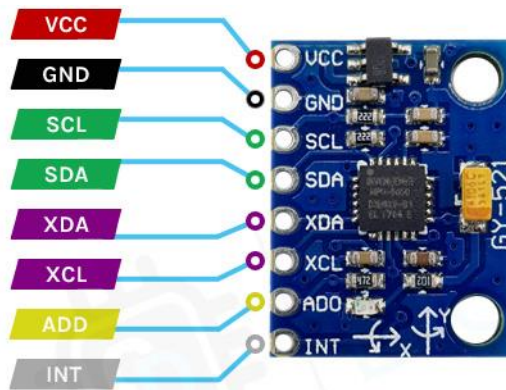




Figur 6: LM2596 (Picclick, 2022)

2.1.4 MPU 6050 3-axel accelerometer och gyroskop

För att kontrollera lutningen på ubåten användes det populära IMU, MPU 6050 som kombinerar en 3-axels accelerometer tillsammans med ett 3-axels gyroskop som bland annat kan användas för att mäta vinklar. Känd för dess lilla storlek, pålitlighet, samt användarvänlighet tack vare enkelheten av kommunikation till en arduino på grund av I2C kommunikation och många färdigjorda bibliotek var den ett enkelt val för ubåten.

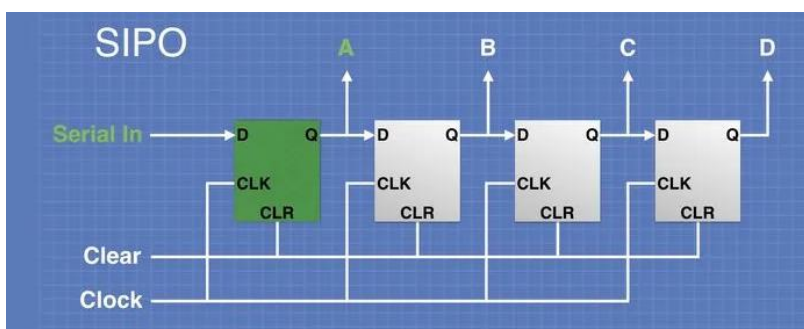


Figur 7: MPU 6050 (Josph, 2022)

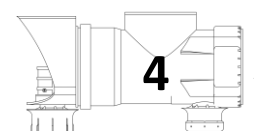
2.1.5 74HC595 skiftregister

Eftersom det totalt skulle krävas 8 stycken IO-pins för att kontrollera motorernas rotationsriktning, vilket inte fanns tillgängligt, användes en 74HC595 skiftregister för att på så sätt kontrollera alla 8 signaler med endast 3 pins på Arduino nanon. Denna åtta-bitars skiftregister är av SIPO varianten vilket innebär att man omvandlar seriella data till parallella data på följande sätt (DroneBot Workshop, 2023):

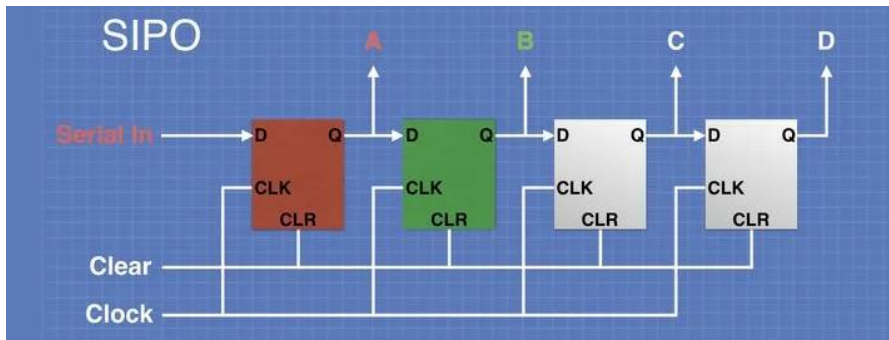
När den första biten av den seriella datan klockas in lagras den i skiftregistrets första flip-flop. I bildernas fall visas en fyra-bitars skiftregister.



Figur 8: 4-bitars skiftregister bild 1 (DroneBot Workshop, 2023)

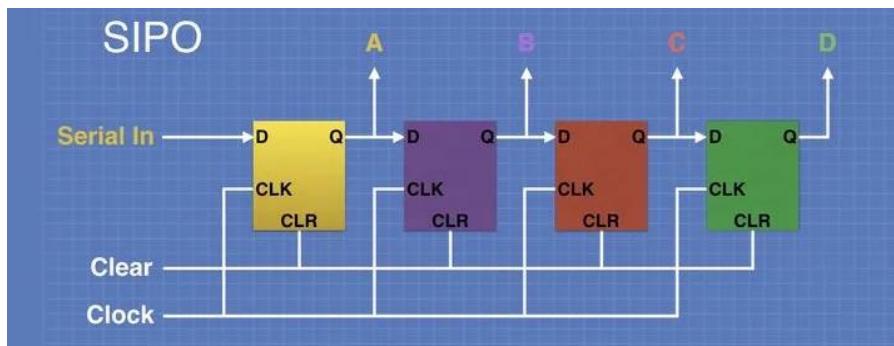


När nästa bit klockas in "puttar" den bort den ursprungliga biten till nästa flip-flop och tar dess plats.

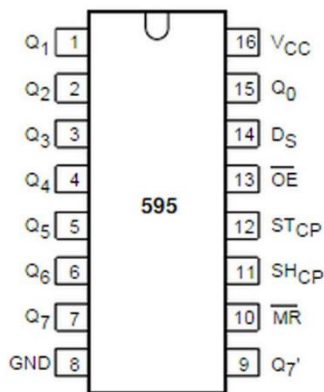


Figur 9: 4-bitars skiftregister bild 2 (DroneBot Workshop, 2023)

Till slut då all data har klockats in kan man läsa outputen.



Figur 10: 4-bitars skiftregister bild 3 (DroneBot Workshop, 2023)



Figur 11: 74HC595 Pinout (Mirković, 2023)



Figur 12: 74HC595 (Wishdeals, 2022)

2.2 Konstruktion

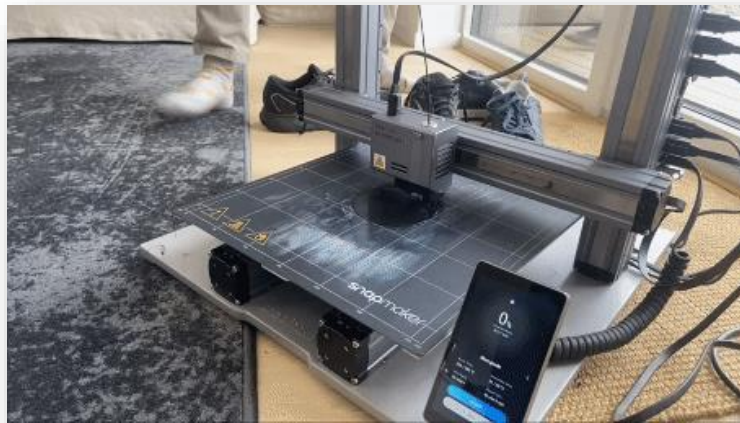
2.2.1 3d-Skrivare

En 3d skrivare är en maskin som kan skriva ut plast delar i 3 dimensioner. Skrivaren utför detta jobb genom att printa ut objektet i flera lager på varandra där varje lager kan till exempel vara 0,1 mm tjock. Det finns många olika material som kan användas. Några exempel är plast, metall och även choklad.

Det finns 3 typer av 3d skrivare (Střiteský, Prusa, & Bach, 2019)

FFF/FDM skrivare

“The most widespread and most affordable 3D printing technology, suitable for printing functional / mechanical parts and prototypes” (Střiteský, Prusa, & Bach, 2019). Vanligast är att man skriver ut delar av olika plaster som till exempel PLA, PETG och ABS. Nya utvecklingar har äventillåtit utskrivning av till exempel [choklad](#) och metall.



FFF skrivare och FDM skrivare fungerar på samma sätt. En spole av plast filament leds till en extruder som smälter plasten på korrekt position.

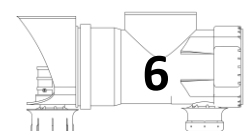
2.2.2 Design för 3d-skrivning

I boken "Basics of 3d printing ger Josef Prusa några råd kring design för 3d-skrivning" (Střiteský, Prusa, & Bach, 2019):

- Designa så att det inte krävs supports
- Positionen av utskriften kan förändra föremålets styrka och sannolikheten för en lyckad utskrift
- I vissa fall kan det vara bättre att dela delen i flera mindre delar som är enklare att skriva ut

2.2.3 Utskriftsmaterial

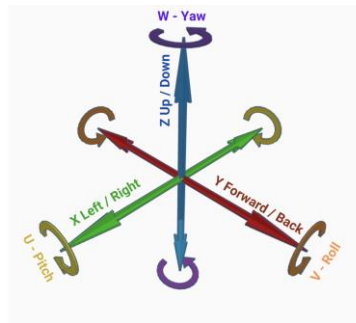
De material som användes var PLA och ABS plast. PLA plasten användes där vattentätthet inte behövdes medans ABS användes där det var kritiskt då ABS är vattentätt men samtidigt mycket svårare att skriva ut än PLA.



2.3 Fysikaliska samband

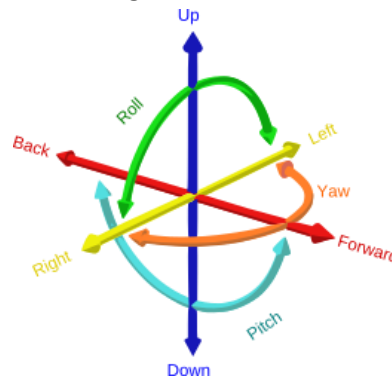
2.3.1 Frihetsgrader

Frihetsgrader är de sätt en fri kropp kan röra sig. Den behöver 1 frihetsgrad för varje rumsdimension den kan röra sig i vilket kallas för translationsfrihetsgrader. I vår 3d-värld är dessa x-, y- och z- axlarna. Man brukar representera kroppens rörelse fram och bak med x-axeln och kallar den för surge.



Figur 13: (What are the "6 Degrees of Freedom"? 6DOF explained., 2023)

En kropp kan också rotera kring dessa axlar vilket ger 3 mer frihetsgrader, vilka kallas för rotationsgrader. (What are the "6 Degrees of Freedom"? 6DOF explained., 2023)



Figur 14: : (Six degrees of freedom, 2023)

Det finns 3 typer av olika Frihetsgrader (Six degrees of freedom, 2023)

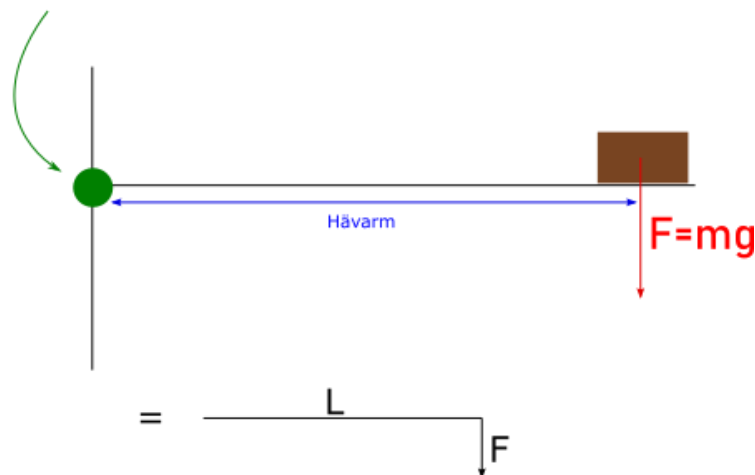
- **Direkt:** En Frihetsgrad som kan styras direkt, utan några specifika krav för omständigheter under normal användning, dvs även om ett flygplan inte fungerar under vatten kommer Frihetsgraderna som i luften inte har några krav för omständigheterna att räknas som direkta.
- **Semi-direkt:** En Frihetsgrad som kan styras bara vid specifika förhållanden
- **Icke-direkt:** En Frihetsgrad som påverkas av miljön och är inte styrbar, till exempel en båts gungande.

2.3.2 Tyngdpunkt

Tyngdpunkt är den punkt i ett objekt där man beräknar den resulterade kraften som bildas av dragningskraften mot jordens mittpunkt (Masscentrum, 2020)

2.3.3 Kraftmoment/Vridmoment

Momentcentrum / vridningspunkt



Figur 15: Kraftmoment (Pluggie.se, 2022)

Kraftmoment, även känt som vridmoment, är ett begrepp inom fysiken som beskriver en krafts förmåga att orsaka rotation eller vridning kring en punkt eller en axel. Kraftmomentet beror inte bara på kraftens storlek utan också på avståndet från rotationsaxeln.

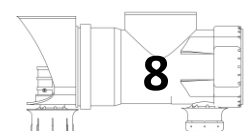
Formeln för kraftmoment M är $M = F * L$ och enheten är newtonmeter enligt (Wikipedia, 2022).

Kraftmoment är viktigt inom mekanik och dynamik, och det spelar en central roll i förståelsen av rotationell rörelse och jämvikt för objekt. När ett kraftmoment appliceras på ett objekt, kommer det att rotera kring en axel i enlighet med de resulterande kraftmomenten. Detta koncept är avgörande för att förstå mekaniska system, såsom vridmomentet som påverkar en roterande axel eller en ratt i en bil.

2.4 Linjär regression för djupbestämelse

Trycksensorn ger ett värde på mellan 0 och 1023, där 1023 innebär ett djup på 30 meter. För att omvandla detta värde till det faktiska djupet användes linjär regression med hjälp av minsta kvadratmetoden där ett djup på 0 meter gav ett värde på 220, ett djup på 0,42 meter gav ett värde på 230, och ett djup på 0,695 meter gav ett värde på 237:

Minsta kvadratmetoden ger $A * x = Y$ där båda sidor multipliceras med A transponerat för att kunna lösa ekvationen: $A^T * A * x = A^T * Y$



Med $y = kx + m$ och värdena får vi detta överbestämda ekvationssystemet på matrisform utan lösning:

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 220 \\ 0,42 & 1 & 230 \\ 0,695 & 1 & 237 \end{array}$$

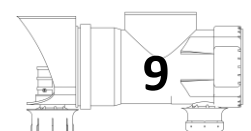
Där:

$$\begin{array}{ccc} 0 & 1 & 220 \\ 0,42 & 1 & 230 \\ 0,695 & 1 & 237 \end{array} = A \quad \text{Och} \quad \begin{array}{ccc} 220 \\ 230 \\ 237 \end{array} = Y$$

Vi multiplicerar då med A transponat och får denna lösbara ekvation:

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0,42 & 0,695 \\ 1 & 1 & 1 \end{array} * \begin{array}{ccc} 0 & 0,42 & 0,695 \\ 0,42 & 1 & 1 \\ 0,695 & 1 & 1 \end{array} * \begin{array}{ccc} 1 & k & m \\ 220 & 230 & 237 \end{array}$$

Matriserna multipliceras och ett ekvationssystem innehås som löses med Gauss-Jordan metoden och dessa värden på k och m fås: $k = 24,4$ $m = 220$ vilket ger följande linjära sammanhang för djupet: $y = 24,4 * x + 220$ där y är djupet och x är trycksensorns värde.



3 Metod och material

3.1 Metod

För att besvara frågeställningarna så krävdes ett experiment där en fjärrstyrd ubåt blev konstruerad av en grupp gymnasieelever med hjälp av billiga material och kontrollerades av en arduino nano. Förutom detta krävdes efterforskning bland tidigare byggen som vi har letat upp utförda av andra. Alla frågeställningarna kunde bli besvarade med hjälp av att undersöka hur tillverkningen såg ut och hur den färdiga produkten klarade trycket, hur både mjukvaran och hårdvaran fungerade och vad den totala kostnaden av tillverkningen blev.

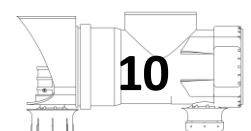
3.2 Material

Materialen som behövdes för att bygga ubåten var:

4 vattentäta motorer för att driva och manövrera ubåten under vattnet, ett batteri med 4000 mAh för att driva elektroniken, 2 motorstyrningskretsar för att ändra styrka och rotationsriktning på motorerna, 3 spänningsovandlare för att ändra spänningen för olika komponenter, ett IMU för att mäta vinklar, en kamera för att spela in video, epoxi för att tätta hål och ingångar för sladdar, en kropp som håller allting, ett avloppsrör med två vattentäta lock, en arduino nano utvecklingsbräda för att kontrollera allting, en LED-remsa för att lysa upp vattnet framför ubåten, superlim, plexiglasskiva för att se ut, krympsladd för att undvika kortslutning, lödtenn, kablar för att koppla ihop allting, en 30 meter lång Ethernet-kabel till ytan och 3D printade komponenter som har anpassats för syftet.

För att bygga kontrollådan behövdes 5 knappar för styrning och kontroll, 2 potentiometrar för diverse funktioner, en joystick för styrning, skärm för att se live-video, arduino UNO för att skicka input till ubåten samt ta ut output från den, 4 batterihållare, 10 batterier, 2 gångjärn, 3D printad låda för att hålla all elektronik, lim för att sätta ihop olika delar, skruvar, bultar och muttrar för montering.

Alla 3D printade komponenter är tillverkade av ABS eller PLA plast beroende på om det behöver vara vattentätt eller inte (ABS är vattentätt) och allting är designat i Autodesk fusion 360.



3.3 Kravspecifikation

Projektet hade ett antal krav satta av gruppens medlemmar och av frågeställningen.

Ubåten skulle vara fjärrstyrd av en kabel som skulle vara minst 30 meter lång för att uppnå möjlighet till att utforska ett område, av gruppen utsatt, storlek.

Utöver fjärrstyrningen så var ett krav att ubåten skulle skicka en videosignal live upp till ytan för att ge möjlighet att utforska områden som man eventuellt inte kan se från ytan antingen på grund av hinder eller oklart vatten. För att förbättra möjligheten att undersöka under ytan sattes ett krav att bildkvalitén inte skulle vara lägre än 480p.

Ett annat krav satt av gruppen är att ubåten ska kunna användas även under mindre än perfekta omständigheter, med detta menas att den ska kunna användas även om vattnet är smutsigt, oklart eller kallt och det ska heller inte behöva vara solljus och klart väder utomhus. För att uppnå detta krav krävs belysning från farkosten för att fungera även där solljuset inte når samt öka synligheten genom oklart eller smutsigt vatten och elektronik som klarar temperaturer ner till -4 grader C.

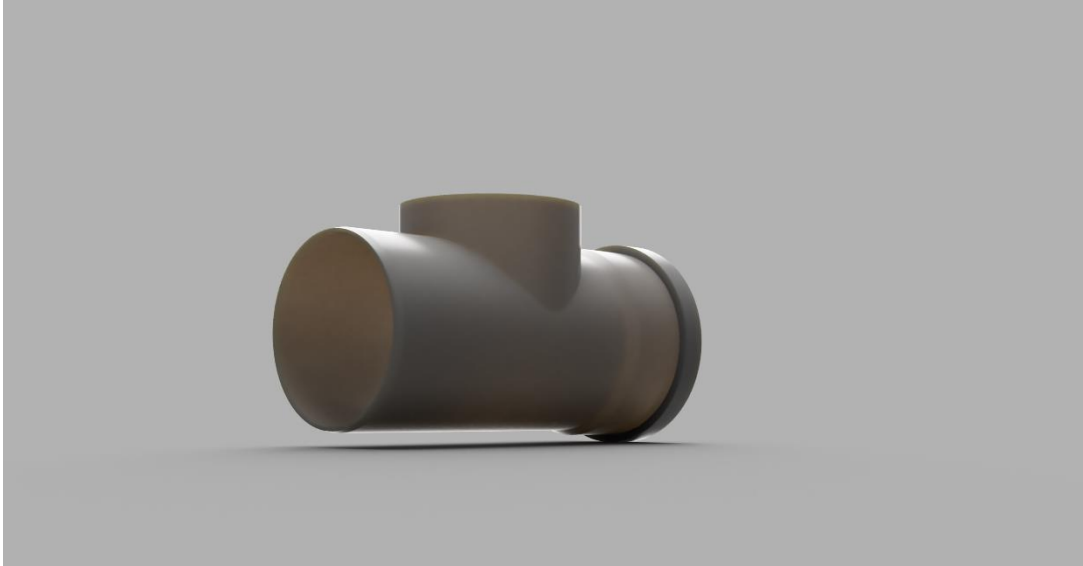
Ett krav ställt av frågeställningen är att ubåten ska klara av ett tryck på upp till 4 bar (trycket vid 30 meters djup).

Ytterligare ett krav ställt av frågeställningen är att ubåten ska kontrolleras av en arduino nano.

4 Resultat

4.1 Ubåtens Konstruktion

4.1.1 Kropp



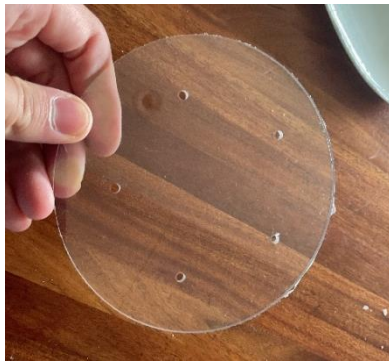
Figur 16: Ubåtskropp

Inför konstruktionen av ubåten bestämdes det att det skulle köpas in någon form av kropp som kunde klara av en viss mängd tryck, vara vattentät samt ha ett vattentätt lock för att möjliggöra arbete på insidan av ubåten under hela processen ända fram till användning för att tillåta justeringar av elektroniken som finns på insidan.

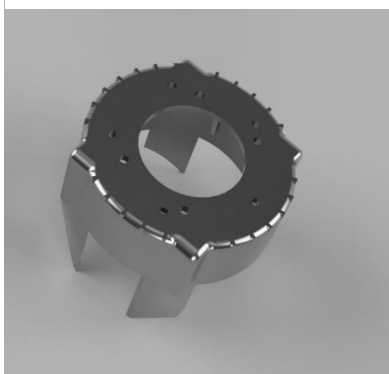
Som kropp används ett avloppsrör med ett vattentätt skruvlock på ovasidan och ett lock som trycks på vid bakre partiet. Framsidan saknade lock vid inköpet och därför behövde ett tillverkas. Detta rör uppfyller kraven på att det är vattentätt eftersom det är tillverkat för att vatten inte ska läcka in eller ut och eftersom den redan har ett vattentätt skruvlock på ovasidan behöver ett inte tillverkas.

Framsidan av röret har en diameter på 110 mm, öppningen från ovasidan har en diameter på 107 mm och öppningen på baksidan som är något större än framsidan har en diameter på 116 mm. Den totala längden av kroppen är 240 mm.

4.1.2 Lock



Figur 17: Plexiglasskiva

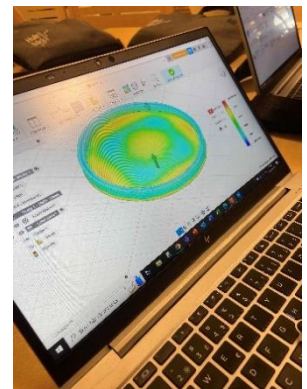


Figur 19: Framdel

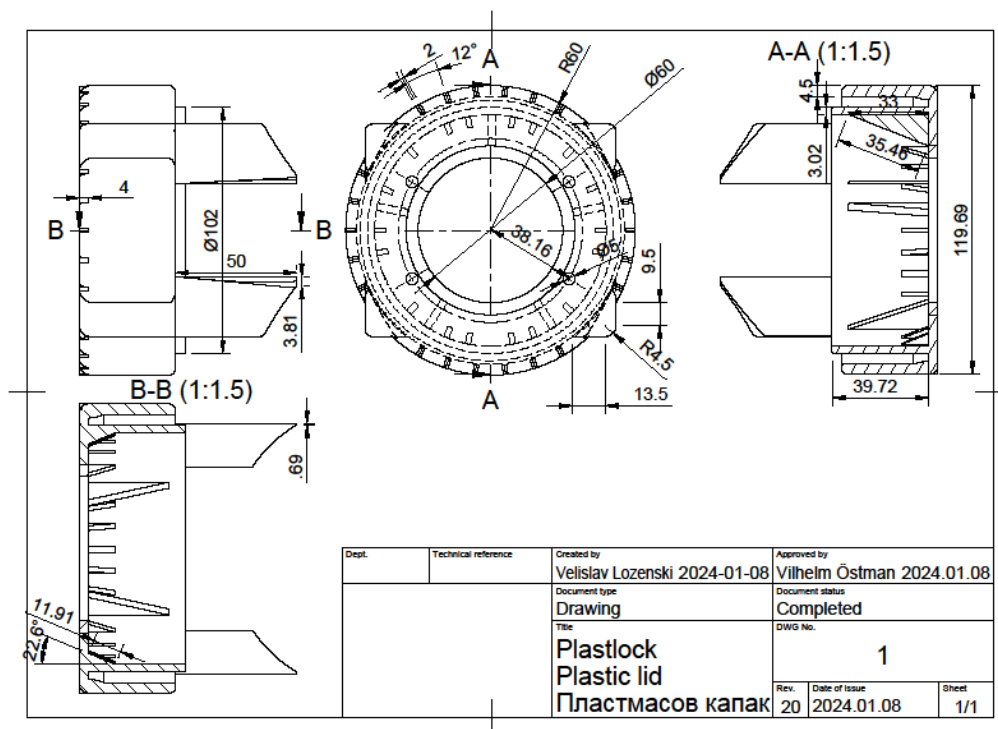
Kraven för det främre locket var att det skulle vara vattentätt eftersom det inte får läcka in något vatten i ubåten. Det behöver klara tryck upp till 5 bar så att det inte ska gå sönder ifall den maximala säkerhetsfaktorn på 40 meters djup uppnås.

Locket är uppbyggt av två olika komponenter, en 3d printad del och en plexiglasskiva. Den 3d printade delen är gjord av materialet abs-plast som är vattentåligt och är designad för att kunna monteras direkt på kroppen, på insidan och utsidan av delen finns flera stöd för att den bättre ska klara av trycket. I mitten finns ett stort hål som tillåter att kameran ska kunna se ut.

Plexiglasskivan som är 3 mm tjock sitter ovanpå denna delen och sitter fast med en kombination av skruvar, muttrar och epoxi vilket gör den helt vattentät. För att testa så att locket ska hålla har det utförts tester i fusion 360 vilket man kan se på bilden ovan.



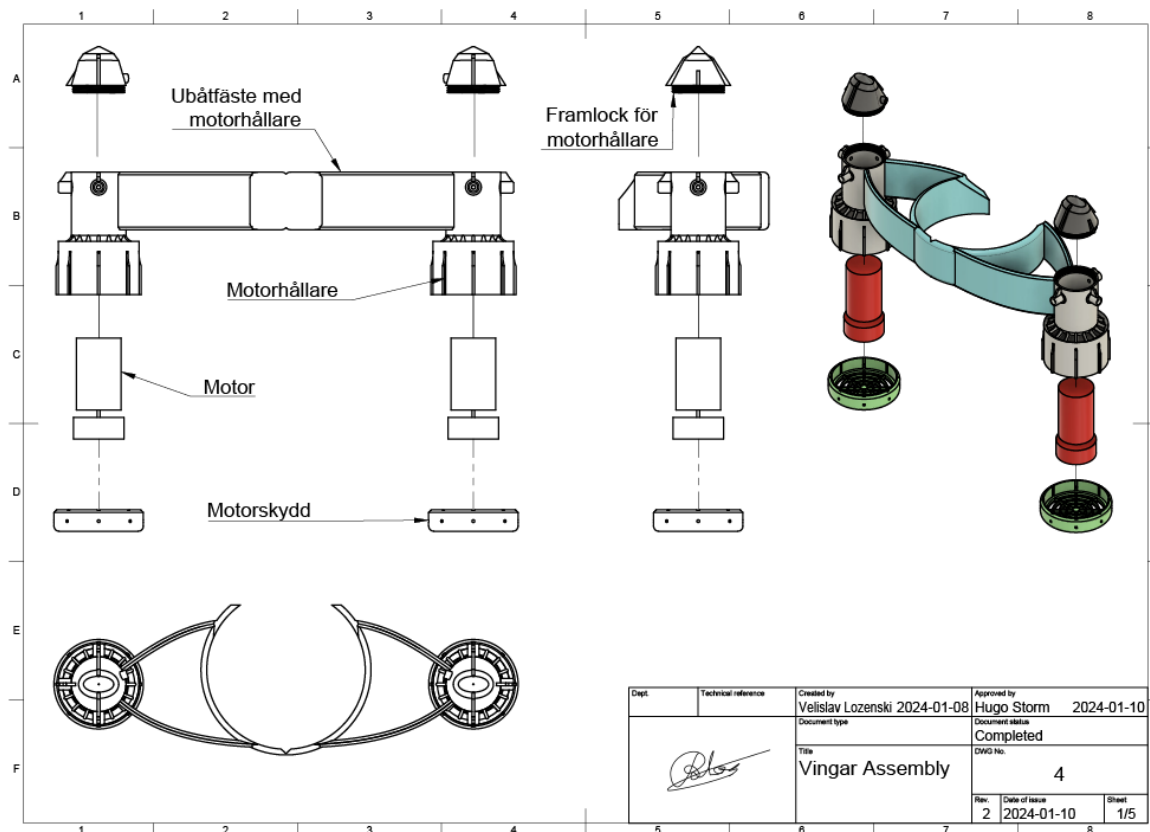
Figur 18: Simulering av tryck



Figur 20: Ritning av framlock

4.1.3 Vingar

Vingarna består av 7 delar 2 framlock, 1 vingkropp med motorhållare, 2 motorer och 2 motorskydd. Detta kan man se i **Figur 21**. Framlocket och motorskydden skrevs ut som separata delar till vingarna eftersom det annars inte hade gått att skriva ut med 3d-printer, det hade heller inte gått att sätta in motorerna.



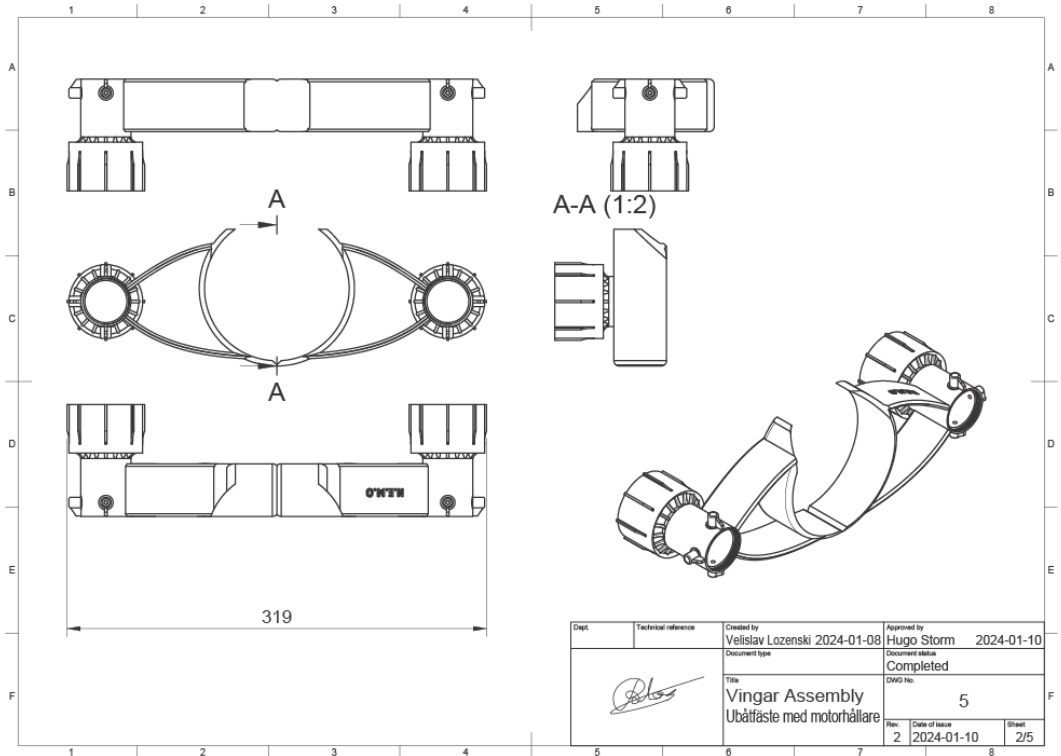
Figur 21: Ritning vingar 1

Idén med vingarna är att de ger en större momentarm för motorn vilket underlättar rotation höger och vänster.

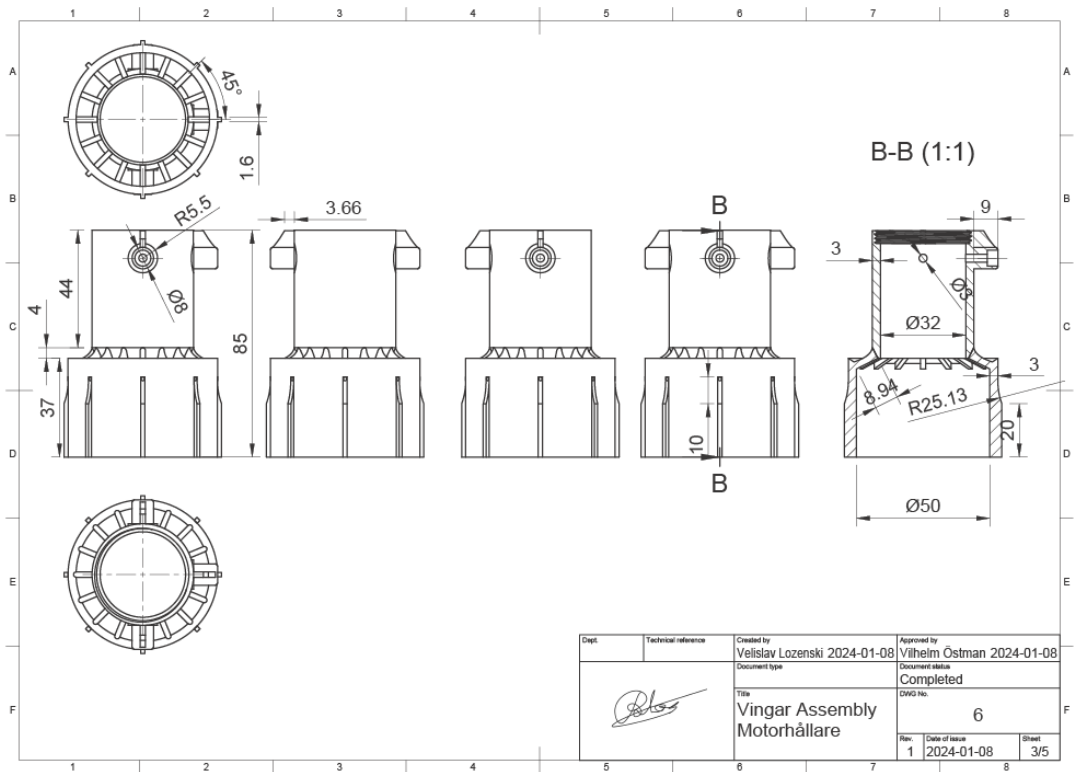
Vingkroppen och motorhållaren skrivs ut ihopsatta för att det ger en stark bindning mellan delarna. Framsidan av denna modell är designad platt för att underlätta utskrivning, se i **Figur 23**.

Motorhållaren är designad med toleransen 1mm så att plasten har plats att expandera och så att motorn kan glida in och fastna där inne. Friktionskraften räcker inte för att hålla motorn fast och därför finns det 3 skruvar där man kan spänna motorn ordentligt, se i **Figur 22**.

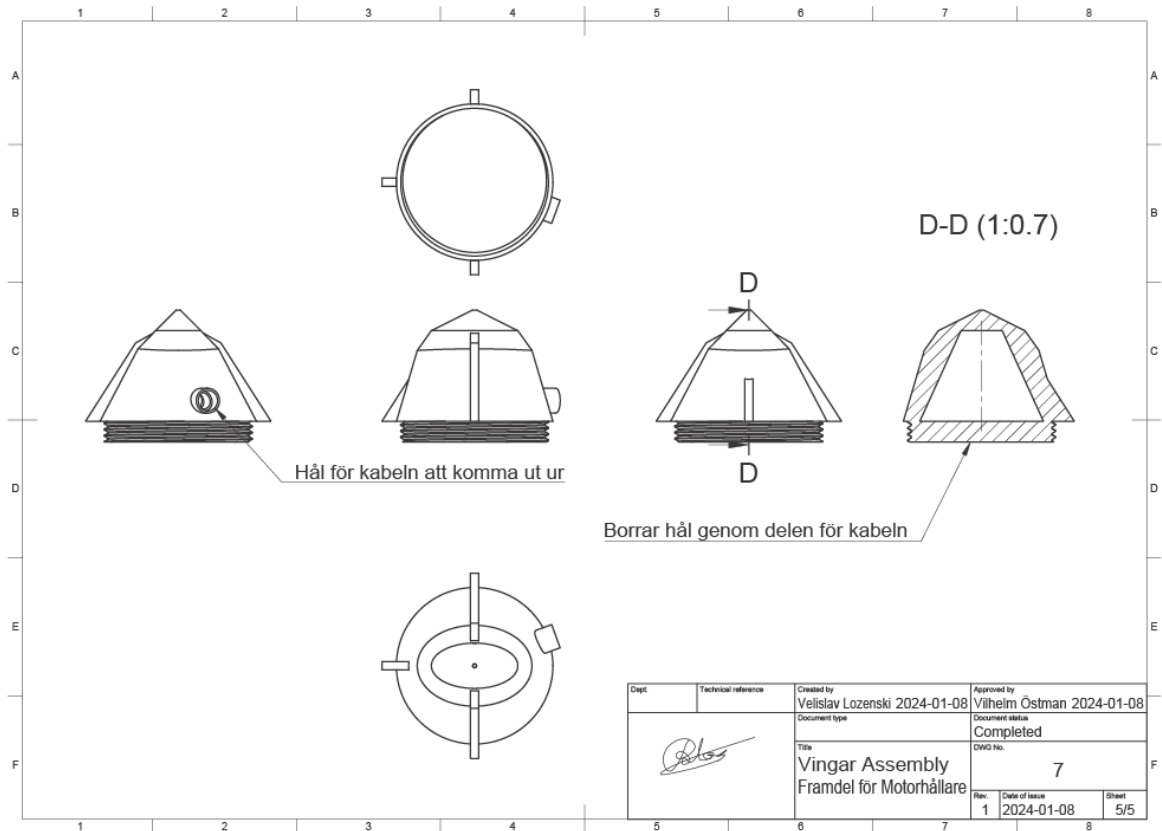
En platt sida är dålig för hydrodynamiken och därför är framlocket designat att vara spetsig. Den har ett hål så att man kan koppla motorn till ubåten, se **Figur 24**.



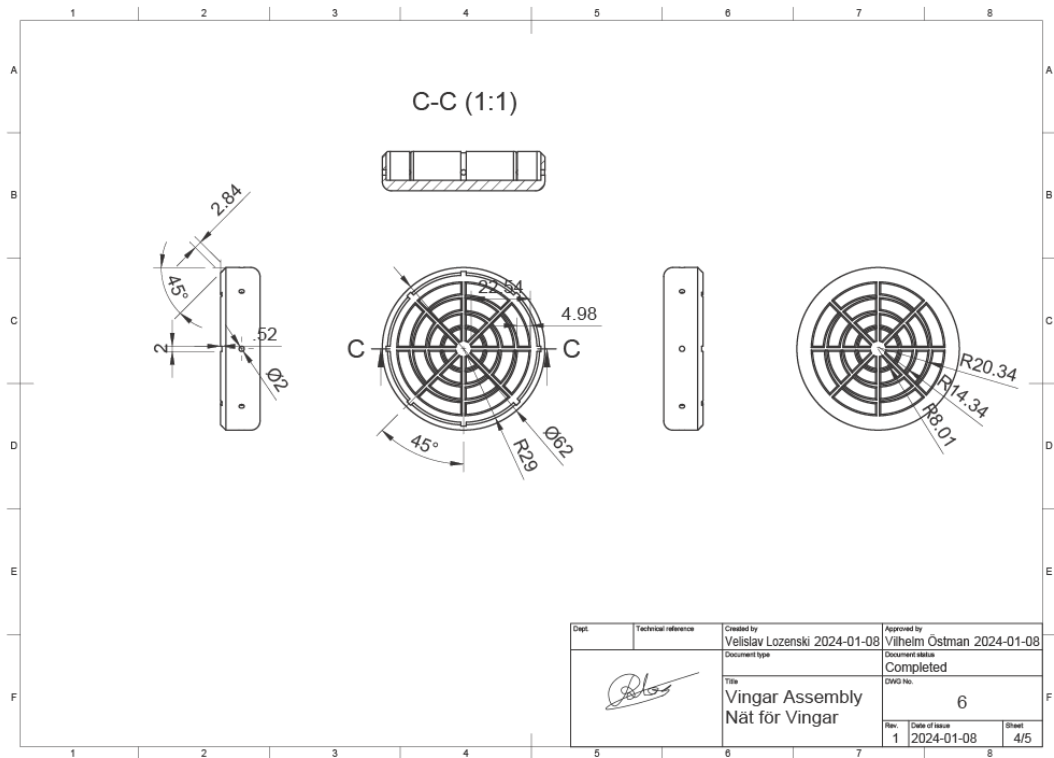
Figur 23: Ritning vingar 2



Figur 22: Ritning motorhållare till vingar



Figur 24: Ritning framlock till motorhållare

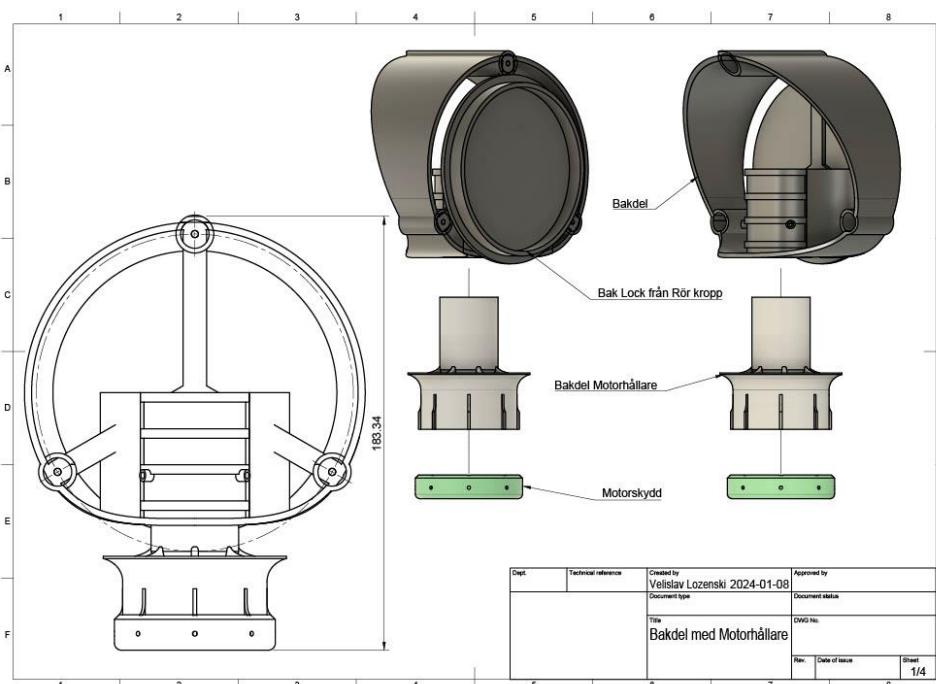


Figur 25: Ritning skyddsnet till motorhållare

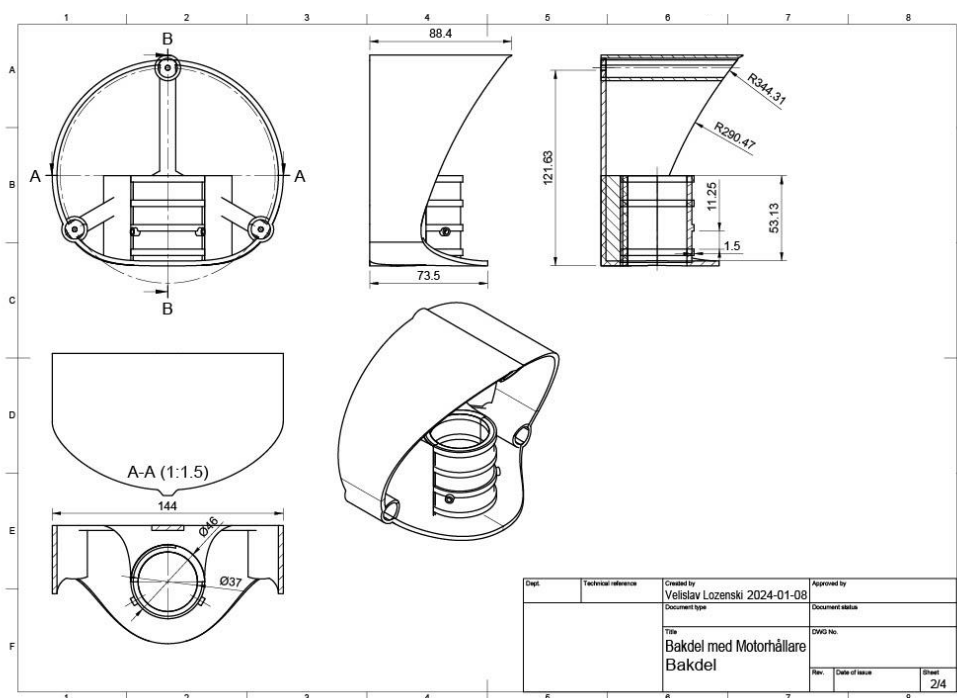
4.1.4 Bakdel

Bakdelen består av 6 delar. 1 Bakdel som håller motorhållaren fast, ett baklock som kom med röret och håller vattnet ut ur ubåten (inte ritad helt på bilderna), en motorhållare som håller motorn och ett skyddsnät som håller sjögräs bort från propellern.

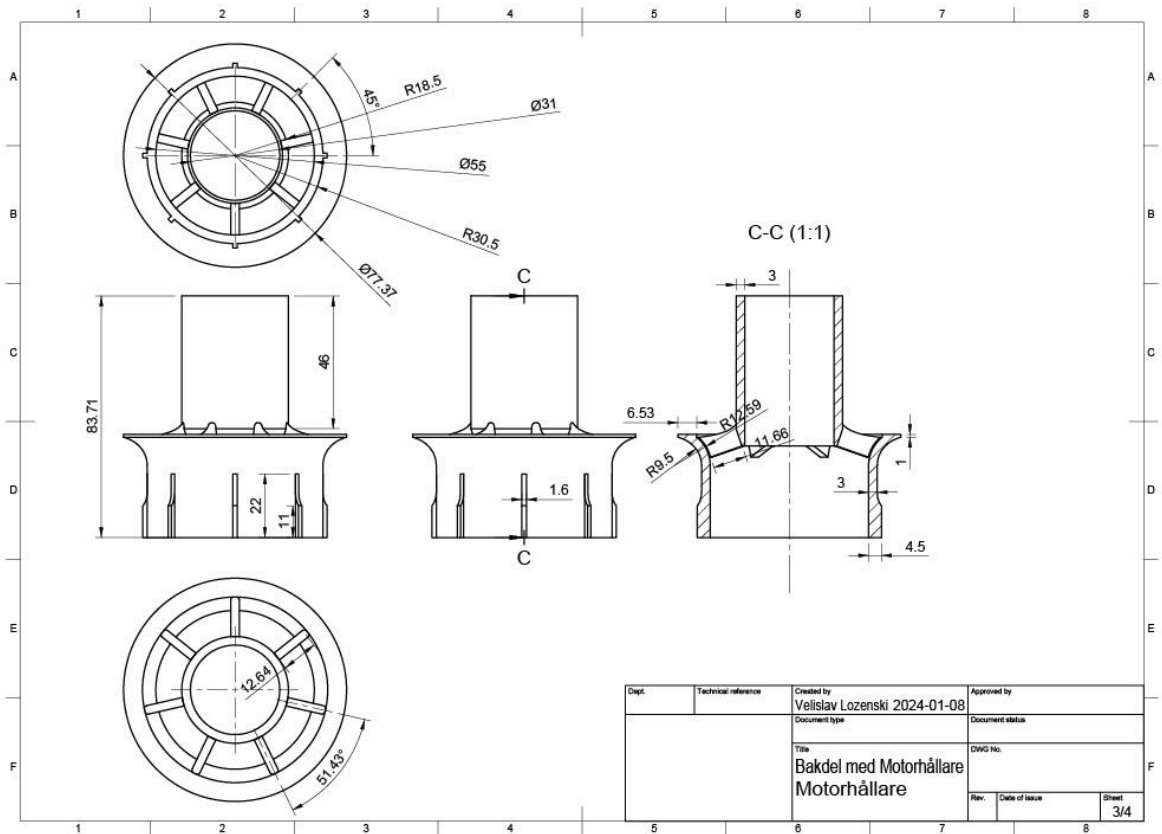
Motorhållaren är separat från bakdelen så att vi kan anpassa höjden i efterhand, eftersom designen för motorhållaren fram inte var klar än.



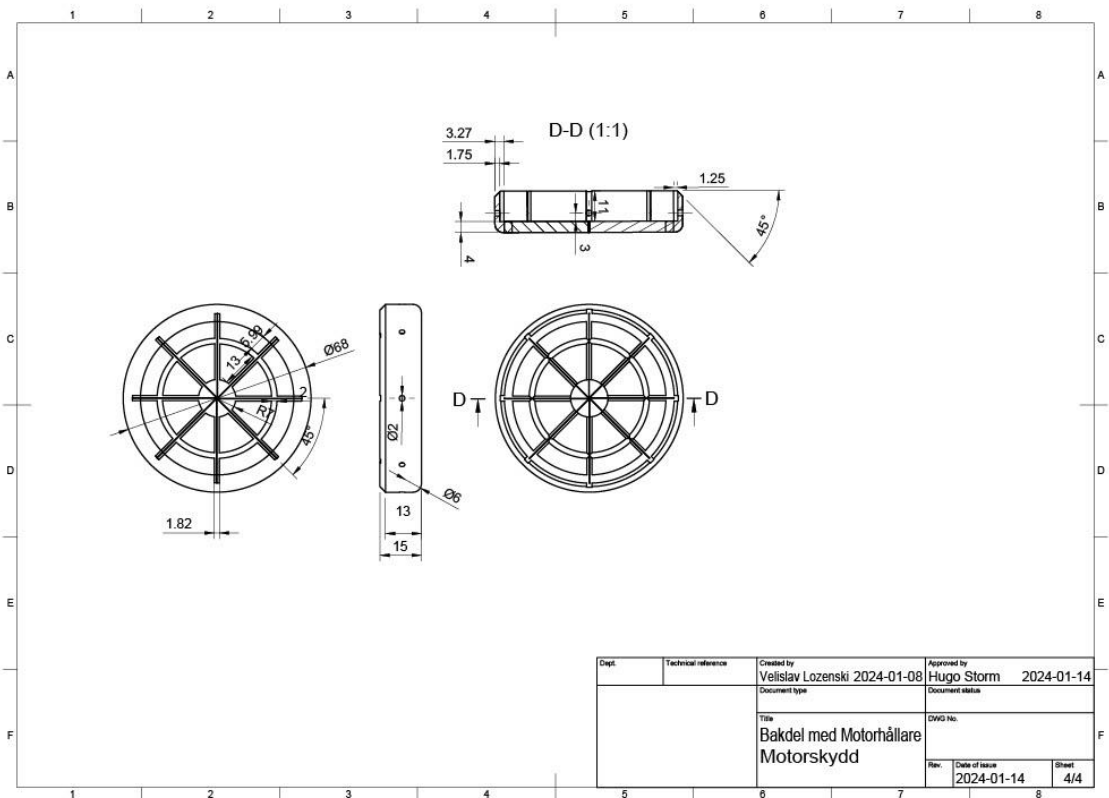
Figur 27: Ritning bakdel 1



Figur 26: Ritning bakdel 2



Figur 28: Ritning bakre motorskydd



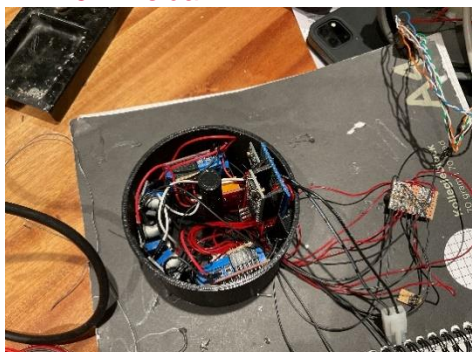
Figur 29: Ritning skyddsnet till bakre motor

För att fästa bakdelen till baklocket utan att limma finns det 2 extra delar. En plastring som är en spacer som sitter fast på den 3d-printade bakdelen. På andra sidan sitter en annan 3d-printad del med 3 skruvhål för att sätta ihop de båda delarna, se **Figur 30**.



Figur 30: Bakre del i väska

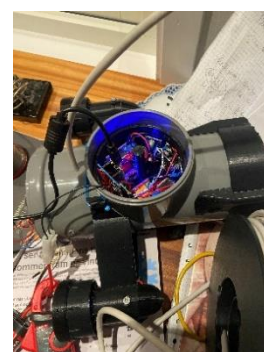
4.1.5 Inside



Figur 33: Elektroniken utanför ubåten



Figur 32: 3d-modell elektronikhus



Figur 31: Elektroniken i ubåten

För att hålla fast all elektronik så den inte rör sig, vilket kan skapa glapp eller andra problem, finns en 3d-printad del av PLA-plast som har fästen för att hålla fast kretskortet och de två motorstyrningskretsarna samt utrymme för att montera in spänningsomvandlarna. Det finns också en pelare i mitten för att motverka trycket på locket ifrån vattnet eftersom det enligt simulationerna annars hade blivit alldeles för mycket tryck i mitten av locket eftersom det är en platt del och trycket i mitten blir därför väldigt högt.

För att alla kablar ska kunna komma in i elektronikhuset finns ett litet hål vid kretskortet både på väggen och undersidan, härigenom kommer kablarna från styrdatoren, motorerna, ledstripsen och trycksensorn.



Figur 34: Tryckskydd

Förutom elektronikhuset finns på insidan ett tryckskydd som finns där för att öka ubåtens maximala möjliga djup och öka säkerhetsfaktorn på trycktåligheten, hålet i mitten är för elektronikhuset och på undersidan finns det, som man kan se, plats för batteriet.

Det finns två tjocka bommar på undersidan som stödjer upp elektronikhuset och då också pelaren som finns inuti och slutligen kan locket stärkas så det inte spricker på grund av trycket.

4.1.6 Vattentäthet

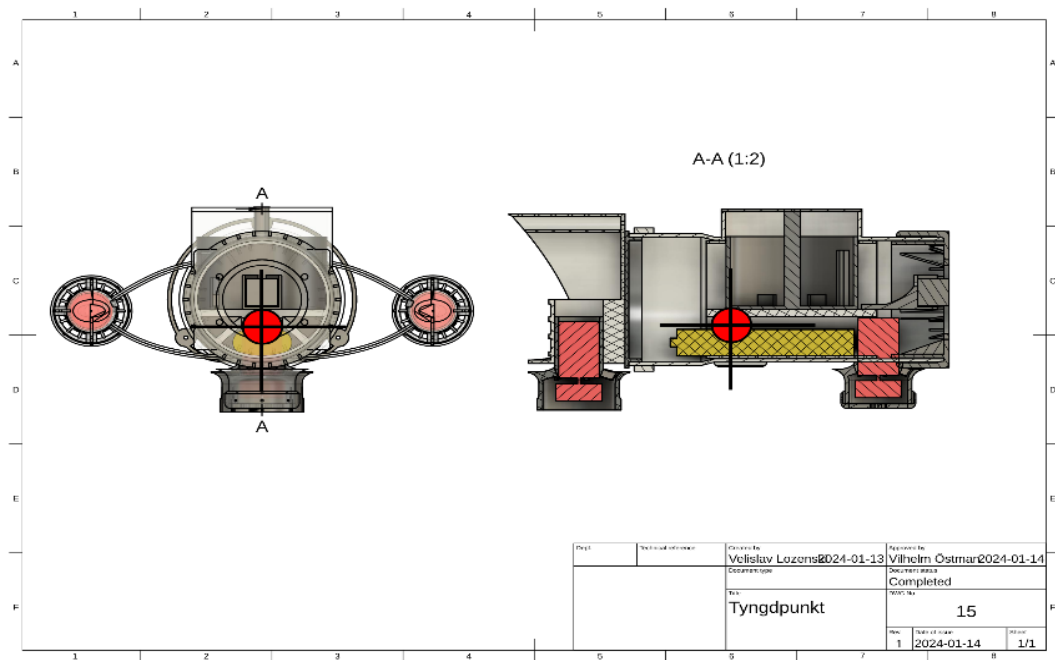
Det är viktigt att se till att ubåten är vattentät då vatten och särskilt saltvatten orsakar kortslutningar i elektroniken och även om det inte skulle ske kortslutningar av sötvatten kan utsättning till vatten under en längre period leda till rost i metalliska delar av elektroniken (Oxidation, 2023).

För att tätta fasta delar används en kombination av gummi i form av o-ringar och olika typer av lim som epoxi eller plastsvets. Vid vissa av de fasta delarna används superlim, detta är för de hål som är lite större och de har också förstärkts med epoxi. Alla hål och öppningar som har behövts göra i bålen, exempelvis för främre motor, hål för kablar från ytan och motorer har tätats med hjälp av antingen enbart epoxi eller en blandning av epoxi och superlim.

Till delar som är avtagbara, i detta fall enbart skruvlocket, har det använts o-ring som trycks ner mot öppningen med ett skruvbart lock. För att öka tätheten skruvas locket på med hjälp av ett 3d-printat verktyg som ger en längre momentarm samt ökat grepp för hårdare påsättning på farkosten.

För att testa vattentätheten på farkosten utan att eventuellt släppa in vatten och skada elektroniken på insidan används en ballong som placeras på öppningen över locket, ballongen blåses upp för att ge övertryck på insidan av ubåten och undertryck på utsidan. Om ubåten är tillräckligt tät så kommer ballongen inte att minska i storlek utan kommer att behålla luften men om det finns öppningar i båten så kommer ballongens storlek att minska och förhoppningsvis så kommer det att höras ett ljud från den lilla öppningen där luften kommer ut.

4.1.7 Tyngdpunkt och placering av tunga delar



Figur 35: Ritning med inritad tyngdpunkt

För att beräkna tyngdpunkten i ubåten behöver man göra beräkningarna tredimensionellt eftersom det finns en tyngdpunkt i höjden, bredden och längden av ubåten.

Under konstruktionen av ubåten så har tyngdpunkten tagits i beaktande vilket gör att beräkningarna av tyngdpunkt nu blir relativt enkla. Ubåten är så symmetrisk som möjligt på båda sidorna av vingarna vilket gör att tyngdpunkten hamnar i mitten.

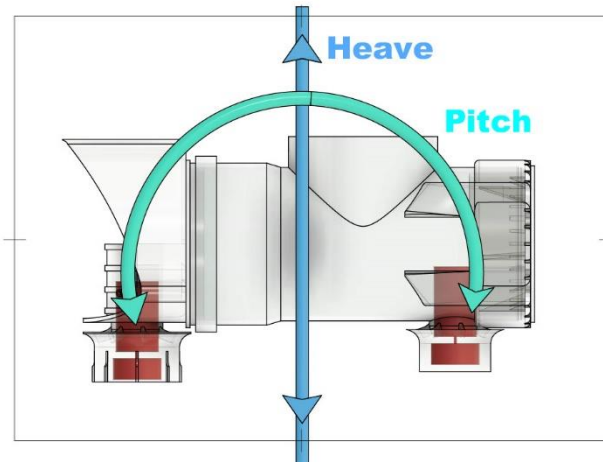
Tyngdpunkten i höjdlid är betydligt svårare eftersom ubåten har en svårare form att beräkna tyngdpunkten på. Samt är materialen olika på olika ställen och undersidan och översidan är väldigt annorlunda, tyngdpunkten i höjdlid är placerad så lågt ned som möjligt eftersom detta innebär att ubåten stabiliserar sig själv ifall den skulle börja rulla runt. Detta är på grund av att ubåten då skulle bli mycket tyngre på ena sidan om undersidan skulle rulla över dit och skulle därför rulla tillbaka, detta sker med större effekt ju lägre tyngdpunkten är och ju tyngre ubåten är.

Tyngdpunkten i längdled är viktig eftersom den avgör om ubåten kommer att tippa över antingen fram eller bak på grund av sin egen vikt. För att undvika detta har tyngdpunkten placerats mellan de två motorerna, om tyngdpunkten inte ligger mellan motorerna kommer den resulterade kraften på ena sidan av ubåten att bli högre än den andra och ubåten kommer börja kapsla över antingen fram eller bak beroende på om det är bakåtvikt eller framåtvikt.

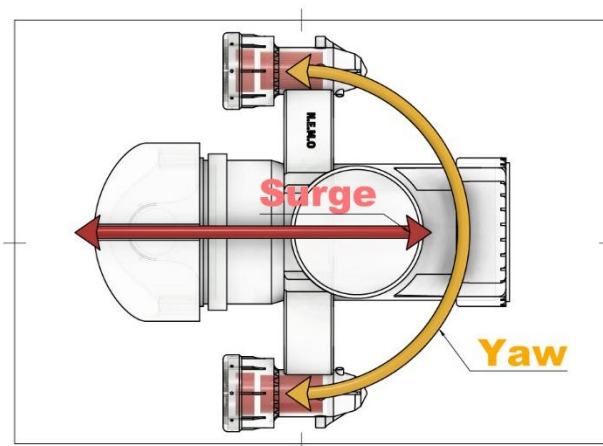
4.1.8 Motorkonfiguration

Ubåten har 4 graders frihet, dvs det är möjligt att styra positionen av ubåten på 4 olika sätt.

Figur 36 visar ubåten från sidan där de 2 röda motorerna är ansvariga för Pitch (turkosa pilen) och Heave (Blåa pilen). Dessa motorer kan också styras automatiskt av arduinon med hjälp av ett gyroskop för att bibehålla en konstant vinkel.



Figur 36: Ritning med Heave och Pitch



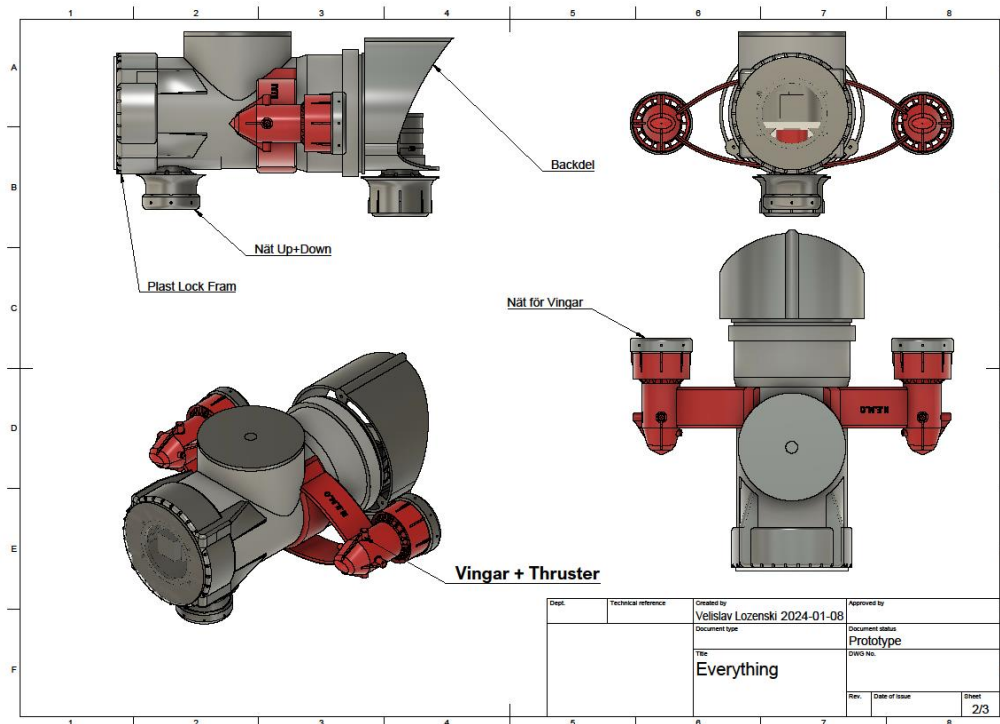
Figur 37: Ritning med Surge och Yaw

Figur 37 visar 2 andra motorer som är ansvariga för surge och yaw.

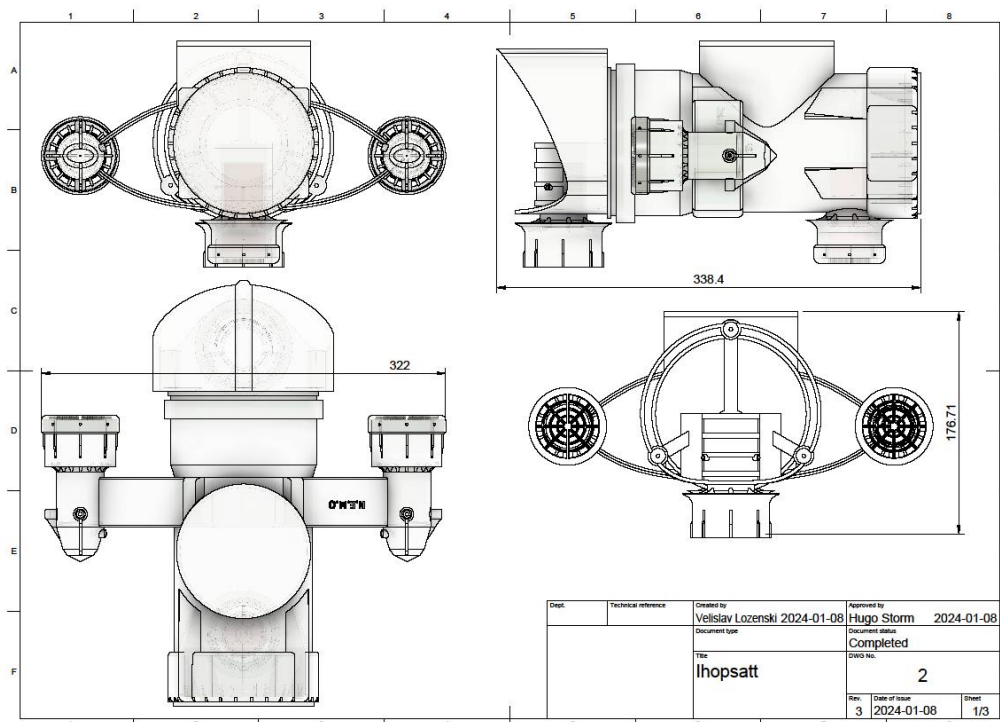
Ubåten utnyttjar sig av en icke-direkt frihetsgrad som är ansvarig för att hålla ubåten uppåtriktad. Detta har vi uppnått genom att ha en så låg tyngdpunkt som möjligt.

4.1.9 Vingarnas placering

Vingarna ligger på mittpunkten av ubåten för att få en effektiv rotation både fram och back.



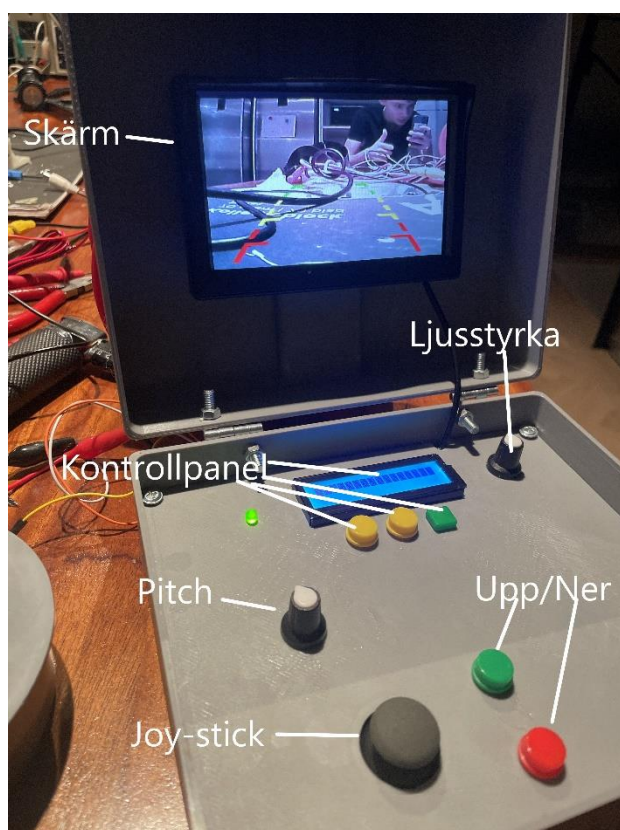
Figur 38: Ritning med vingarnas placering



Figur 39: Ritning vingar

4.1.10 Styr dator

För att kontrollera ubåten behövs en styrdator som kan ta in olika inputs och skicka dessa signaler till ubåten för att till exempel köra framåt, svänga eller åka uppåt men det är också viktigt att kunna få outputs från ubåten till styrdatorn för att främst av allt se vad som händer under ytan i form av live-video men också få information om trycket för att ta reda på vilket djup ubåten befinner sig.



Figur 40: Beskrivning för kontroller i styrdatorn

Styrdatorn är uppbyggd i 2 lager, det är det undre lagret där det finns en arduino uno som skickar och tar emot signaler från ubåtens arduino, det finns batterier för all elektronik i styrdatorn och det finns kablar till all elektronik på ovansidan. På det övre lagret finns alla kontroller samt en lcd-skärm som fungerar som en kontrollpanel. Kontrollerna består av en upp och ner-knapp, en joy-stick för styrning av ubåten och en kontroll för att ändra ubåtens pitch, en kontroll för att ändra ljusstyrka av skärmen och 3 knappar till skärmen som fungerar som kontrollpanel.

I locket av styrdatorn finns skärmen som visar upp live-videon från ubåtens inre kamera. Skärmen sitter på ett stativ som är inmonterat vilket tillåter avmontering från stativet om det skulle behövas.

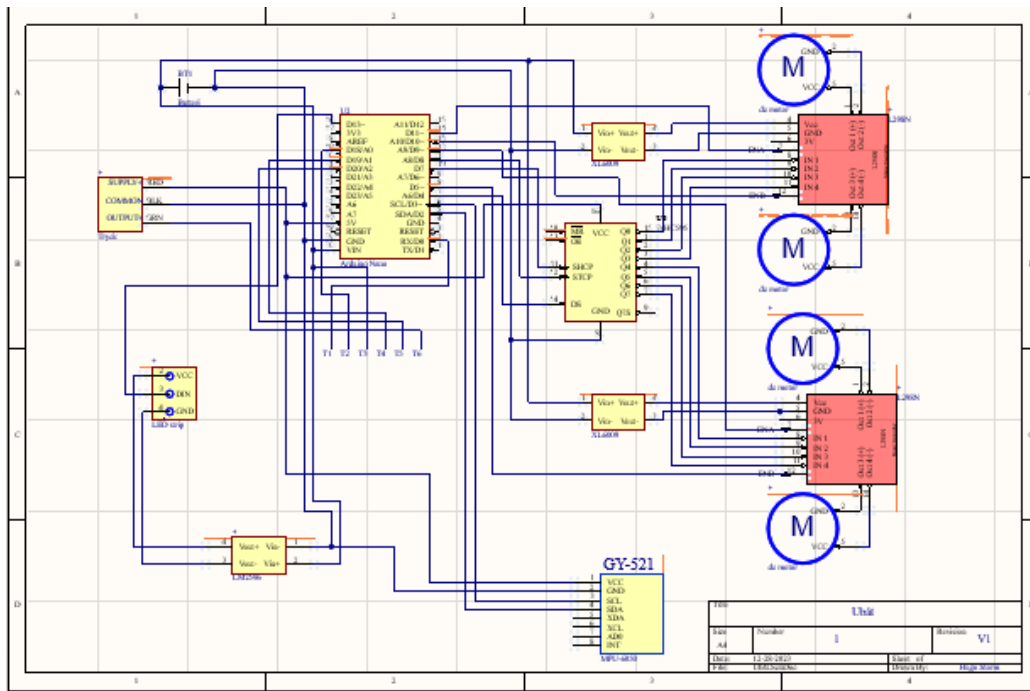
Mellan de två lagerna finns en skiva som sitter fast med 4 skruvar och i denna skiva finns det platser för alla olika kontroller.

Styrdatorn och ubåten är kopplade med en 30 meter lång ethernet sladd genom vilken båda kommunicerar med de 8 kablar som ethernet sladden består av. De analoga signalerna, alltså värden som kan vara mellan 0 eller 1, exempelvis joysticken, skickas genom "direkta" kopplingar mellan output och input eftersom detta förenklar den kommunikation vi använde för att skicka de digitala signalerna och det fanns även tillräckligt med kablar vilket ledde till att det blev ett självklart val.

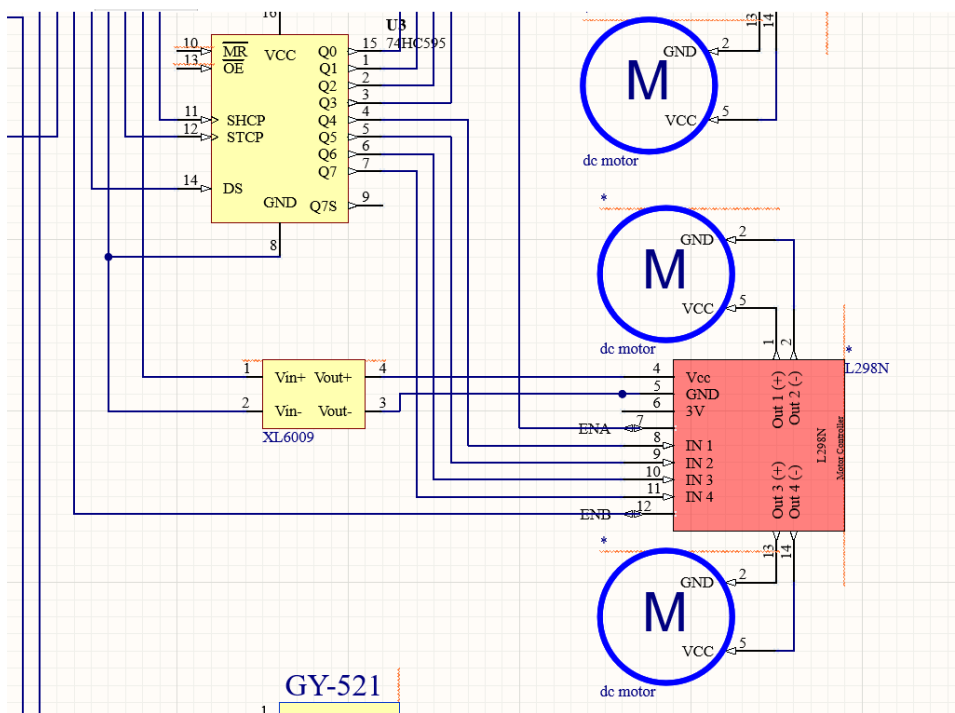
De digitala signalerna (av eller på) som exempelvis upp/ner signalerna kommuniceras med hjälp av seriell kommunikation mellan arduinon i ubåten och arduinon i styrdatorn. Denna kommunikation är baserad på UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) och gör det möjligt att skicka samt ta emot data genom två arduinos seriella portar. Detta användes för att det inte fanns tillräckligt med kablar i ethernet sladden för att varje digital signal skulle ha sin egen.

4.2 Elektronik

4.2.1 Ubåten



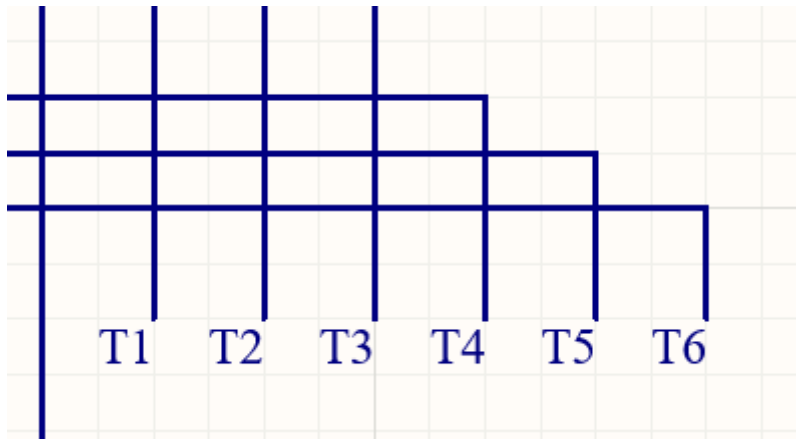
Figur 41: Kopplingschema i ubåten



Figur 42: Kopplingschema för motorstyrningen

Ovan ses en närmre titt på hur motorstyrningskretsarna är kopplade där pinnen IN 1 – IN 4, som avgör motorernas rotationsriktning, är kopplade till skiftregistret samt hur spänningen ökar genom spänningsomvandlaren XL6009 för att öka motorernas högsta rotationshastighet. Pinnen ENA och ENB är sedan kopplade till PWM pins på arduinon för att bestämma

rotationshastigheten som är högst då spänningen är 5 volt och som lägst (0 RPM) då spänningen är 0 volt.



Figur 43: T1-T6 kopplingarna

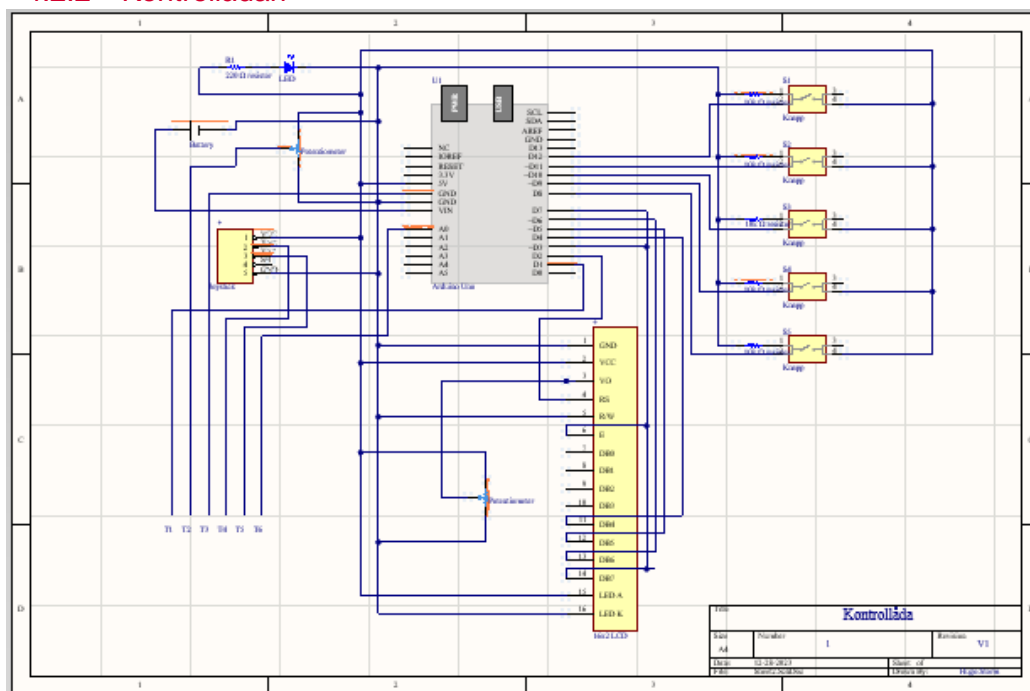
T1 till T6 syftar på sladdarna inom ethernet-kabeln. T1 är kopplad till RX i ubåten och TX i kontrollådan och används för att skicka diverse data som exempelvis ljusstyrkan för LED-stripen från kontrollådan till ubåten. T2 är kopplad till A0 i ubåten och kopplad till en potentiometer i kontrollådan och används för att bestämma lutningen på ubåten. T3 är kopplad till jord i båda för att få en gemensam jord mellan dem vilket behövs bland annat så att båda har samma referenspunkt vid spänningsmätningar. T4 och T5 är kopplad till A1 respektive A2 i ubåten och skickar X respektive Y värdet av joysticken i kontrollådan. Slutligen är T6 kopplad till outputen av tryckmätaren i ubåten och A0 i kontrollådan för att mäta denna output.

De sista två av åtta kablar kvar, T7 och T8, används av kamerans spänning samt dess signal till skärmen.

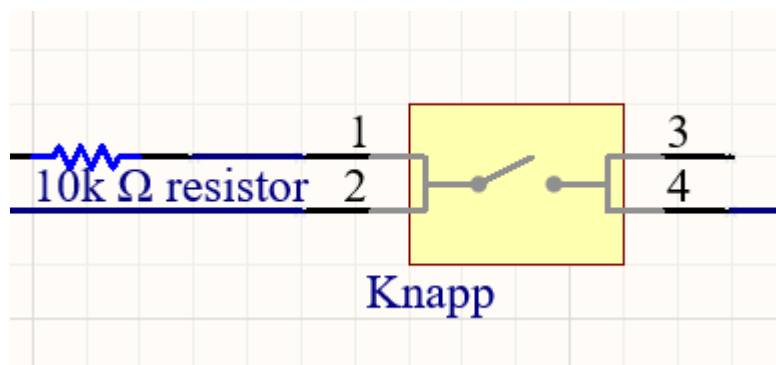
[Appendix A](#)

För att hitta komponentlista, se .

4.2.2 Kontrollådan



Figur 44: Kopplingsschema för kontrollådan

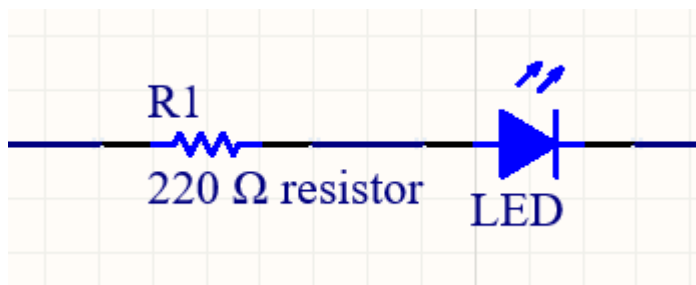


Figur 45: Hur knappar är kopplade

På bilden ovan syns hur samtliga knappar är kopplade. Ben nummer 4 är kopplad till arduinons spänning på 5 volt, ben nummer 1 är kopplad genom en 10 000 ohm resistor till jord, och ben nummer 2 är kopplad till en IO-pin på arduinon.

När knappen trycks ned kopplas ben 1 och 2 tillsammans med ben 4 vilket innebär att det finns en spänning över IO-pinen och den visar HIGH. När knappen inte är nedtryckt finns en säker koppling mellan IO-pinen och jord genom resistorn som ofta kallas för en "pull-down resistor", och pinen visar då LOW. Utan resistorn skulle pinen inte ha en klart definierad spänningsnivå, den skulle vara "flytande", vilket kan leda till att den tolkas som hög eller låg endast baserat på brus. Därför krävs att en sådan används.

Värdet av pull-down resistorn är en standard som är stor nog för att inte dra ned spänningen så mycket att pinen hela tiden visar LOW.



Figur 46: Hur av/på lampan är kopplad i serie

På bilden ovan syns hur PÅ/AV lampan är kopplad i serie med en 220 ohm resistor. Storleken av resistorn bestämdes med hjälp av Ohms lag utifrån den maximala tillåtna strömmen av LED lampan på 25 mA:

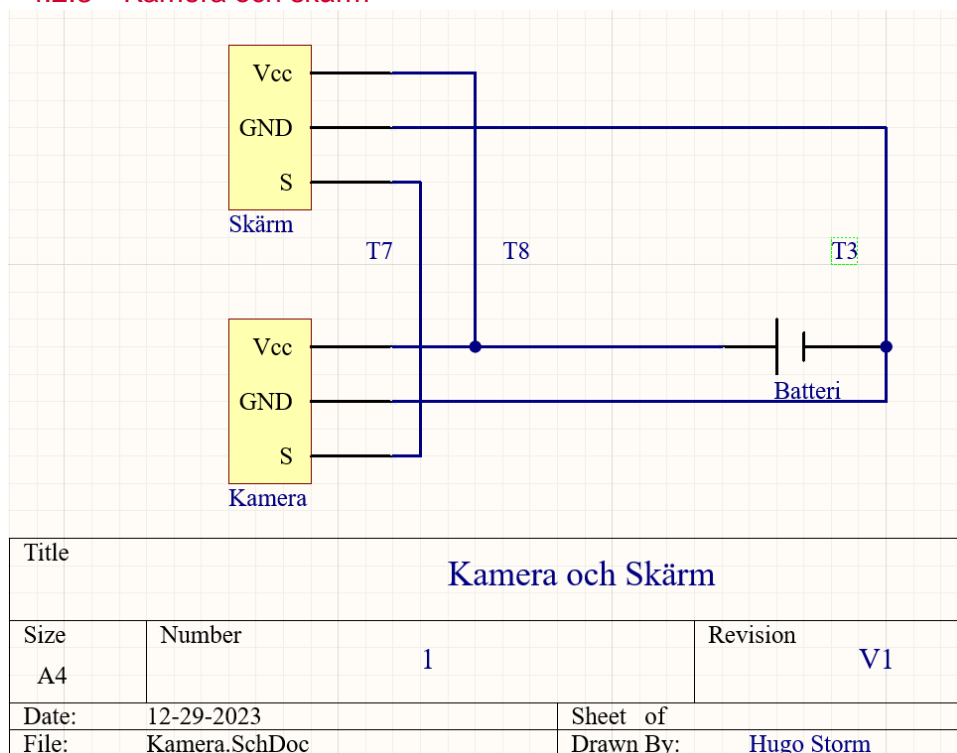
$$U = R \cdot I \quad R = \frac{U}{I} \quad R = \frac{5}{0,025} = 200 \Omega$$

För att försäkra att inte förstöra lampan samtidigt som den lyser starkt valdes en resistor med lite större värde än 200 ohm, alltså 220 ohm.

För att hitta komponentlista, se

[Appendix B.](#)

4.2.3 Kamera och skärm



Figur 47: Kopplingschema av kamera och skärm

Kopplingen mellan kameran och skärmen är helt oberoende av resten av elektroniken och fungerar även på en annan spänning av 12 volt. Kameran skickar en kompositsignal till en TFT skärm som då visar kamerans signal.

4.3 Programmering

För att kontrollera motorernas rörelseriktning så behövdes skiftregistret kontrolleras vilket gjordes på följande sätt:

```
shiftOut(dataPin, clockPin, MSBFIRST, binaryNumber);
digitalWrite(latchPin, HIGH);
digitalWrite(latchPin, LOW);
```

Figur 48: Kod för att kontrollera motorers rörelseriktning

Den första kodraden används för att skicka ut den binära datan till skiftregistret, som i detta fall är "binaryNumber", ett åttasiffrigt binärt tal. Det binära talet 00000000 symboliserar att alla outputs ska vara LOW och talet 11111111 symboliserar att alla outputs ska vara HIGH. Funktionen första två parametrar är de två pins som ska vara data pinen respektive clock pinen. Den tredje parametern avgör i vilken ordning datan ska skickas, i detta fall innebär "MSBFIRST" att den binära datan ska skickas från vänster till höger.

Den andra kodraden sätter "latchPin" till HIGH vilket ska signalera till skiftregistret att datan nu har skickats.

Den tredje kod raden sätter nu "latchPin" till LOW vilket tillsammans med förra kodraden ingår i en metod som kallas "latch pulsing" som signalerar till skiftregistret att uppdatera dess output med den nya datan.

För att ändra på den inskickade datan (binaryNumber) användes följande funktion:

```
void changePair(byte binaryNumber, int Position, byte pair){
    binaryNumber &= ~(0b11 << (Position * 2));
    binaryNumber |= (pair << (Position * 2));
}
```

Figur 49: Kod för att ändra den inskickade datan

Eftersom varje motors rotationsriktning var beroende av 2 pins från skiftregistret behövdes ett sätt att ändra på ett par av två bits i "binaryNumber", det gjordes med funktionen "changePair". Funktionen första parameter är det binära tal som ska ändras, andra parametern är vilken position det nya paret ska ha (0 – 3), och tredje parametern är vilket värde det paret ska få.

Ett värde på 00 och 11 innebär att motorn är av. Ett värde på 01 innebär en viss riktning och 10 innebär den motsatta riktningen av 01. Om riktningen ska ändras på motorn med plats 1 i det binära talet med rotationsriktningen 10 görs alltså på följande sätt:

```
changePair(binaryNumber, 0, 01);
```

Figur 50: Förklaring av binaryNumber

Koden nedan användes för att automatiskt kontrollera lutningen på ubåten med målet att hela tiden vara plan. Funktionen får lutningen av ubåten med getDegree() funktionen från gyroskopet och använder detta värde för att kontrollera de två undre motorerna.

```

void autoTiltControl(){
  int ms;
  int ms2;
  int degree = getDegree();

  if(degree > -70){
    ms = map(getDegree(), -70, -10, 0, 255);
    if(ms < 40){
      ms = 0;
    }

    if(ms > 255){
      ms = 255;
    }

    binaryNumber = changePair(binaryNumber, 2, 10);
    binaryNumber = changePair(binaryNumber, 4, 10);

    analogWrite(TenA, ms);
    analogWrite(TenB, ms);
  }

  else{
    ms2 = map(getDegree(), -70, -150, 0, 255);

    if(ms2 < 40){
      ms2 = 0;
    }

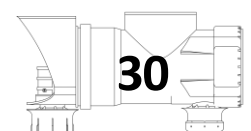
    if(ms2 > 255){
      ms2 = 255;
    }

    binaryNumber = changePair(binaryNumber, 2, 01);
    binaryNumber = changePair(binaryNumber, 4, 01);

    analogWrite(TenA, ms2);
    analogWrite(TenB, ms2);
  }
}

```

Figur 51: Kod för autotilt kontroll



4.4 Tester

4.4.1 Vattentättest

På grund av att elektroniken i ubåten hade blivit fastbyggd i kroppen så kunde inte ubåtens vattentätthetsförmåga testas i vatten utan att riskera skada på elektroniken på insidan. Risken för att elektroniken kortsluts i rent vatten är minimal då det leder ström dåligt men fukten från vattnet kan även skapa kondens på utsidan och fukt som kan skada elektroniken i längden. För att undvika ett test i vatten testades hur tät ubåten var från luft genom ett ballongtest, en ballong placerades på en av öppningarna och blåstes upp för att skapa ett högre tryck på insidan av ubåten än utanför vilket resulterar i att om det finns små öppningar kommer trycket att jämnas ut. I testet som genomfördes placerades en ballong klippt av på mitten på översidan vid öppningen som kan skruvas upp och den blåstes sedan upp. Antagandet var att om ballongen töms på luft är ubåten inte vattentät och om den håller luften så är den vattentät.



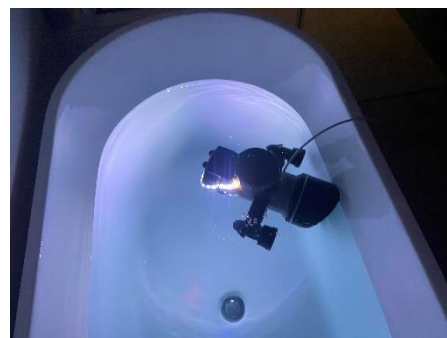
Figur 52: Ballongtest för vattentätthet

Under det första testet upptäcktes en liten läcka vid tätningen vid ingången för led-stripen, efter det läckte det fortfarande luft och en annan läcka vid tätningen vid ingången för ethernet-kabeln. Efter att båda läckorna hade tätats så gjordes ett tredje test där ballongen höll sig uppblåst vilket enligt antagandet betydde att den var vattentät.

4.4.2 Vattentest inomhus

Efter att det var fastställt att ubåten var vattentät kunde det genomföras ett övergripigt test av hela ubåten i ett badkar.

Ubåten placerades i vatten för att testa om den kunde manövreras med hjälp av kontrollådan samt hur mycket överskottslyftkraft den genererade. Eftersom ubåten flöt även när en kraft verkade nedåt på den så var kraften uppåtriktad, för att testa den resulterande kraften användes en våg för att trycka ner ubåten en aning vilket resulterar i att vågen visar en vikt som kunde adderas till ubåten för att uppnå neutral vikt. Neutral vikt innebär att ubåten varken flyter eller sjunker utan behåller djupet den befinner sig på utan att en kraft från t.ex motorerna behöver verka på den.



Figur 53: Bild inomhustest

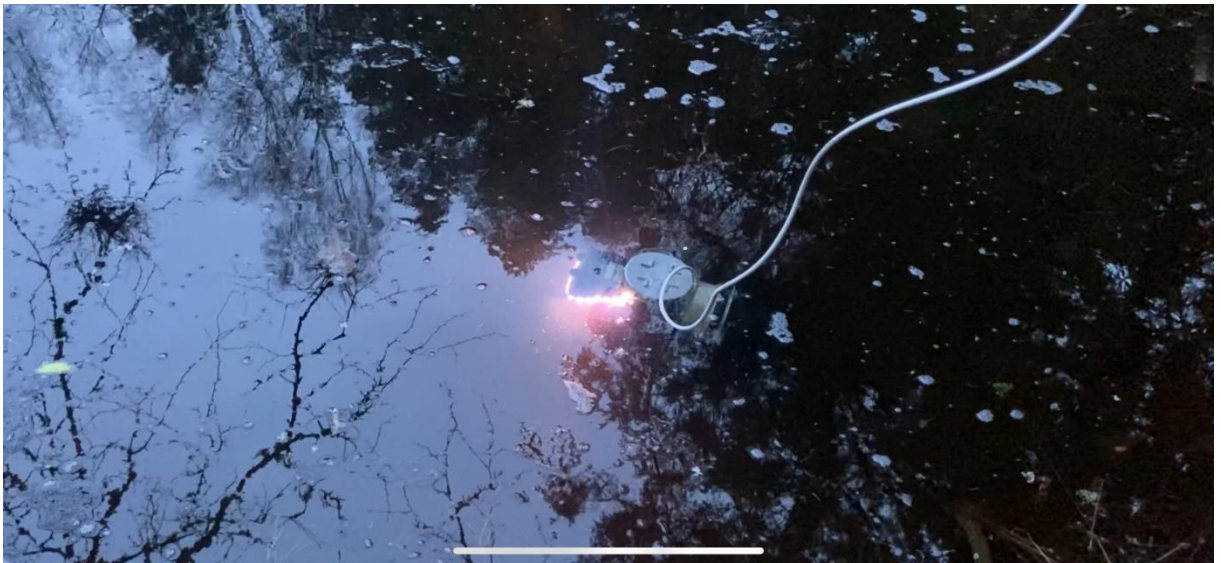
Efter att extra vikt hade placerats på ubåten fortsatte testet, innan extravikt hade blivit påsatt kunde ubåten inte sjunka eftersom motorerna inte var starka nog men efter extravikten kunde den nu enkelt sänkas och lyftas med hjälp av kontrollerna. Vikten resulterade dock också i att det krävdes mer kraft för att flytta ubåten framåt och bakåt enligt $F=m \cdot a$. Testet visade att

ubåtens motorer inte genererade tillräckligt mycket kraft för att flytta ubåten framåt i önskad hastighet men kunde svänga höger och vänster bra och flytta ubåten uppåt och nedåt bra.

4.4.3 Första vattentest ute

För att ta reda på hur väl ubåten kan manövrera och generellt fungera så krävs det ett test i en större massa vatten som tillåter mer rörelse, förutom detta så kan testet ta reda på hur bra ubåten uppfyller de satta kraven som bland annat är att den ska klara sig i mindre än perfekta omständigheter.

Under testet som genomfördes var det skymning ute och därför inte fullt ljusst, vattnet var inte en större sjö utan en ganska grund tjärn med grumligt och smutsigt vatten. Ubåten placerades i vatten med kabeln utrullad för att låta den köra fritt, på grund av att vattnet var ganska grunt så fastnade ubåten en hel del i marken och motorerna själva var inte tillräckligt starka för att komma loss, det var här bra att den satt fast i en kabel och kunde dras in. Förutom att den fastnade mycket blev det tydligt att den var snabbare på att röra sig bakåt än framåt och att den svängde väldigt bättre. Att ubåten svänger bra trots att motorerna är svaga är för att vingarna erbjuder en lång momentarm och den behöver därför inte lika mycket kraft för att svänga kring sin egen axel enligt $M=I \cdot F$. På grund av att detta testet gjordes i väldigt grunt vatten så kunde upp och nedåt- rörelse testas men man kan anta att det borde fungera på grund av att det fungerade bra i badkar.



Figur 54: Första utomhustestet

4.4.4 Andra vattentestet ute

På grund av att det var för grunt vid första vattentestet beslutades det nästa gång att välja en djupare del av en annan sjö. Allt gick bra och ubåten var mer manövrerbar än vid det första testet på grund av att den inte drog i botten men var ändå inte särskilt snabb, även om det var acceptabelt.

Sedan började ubåten att läcka vatten vilket märktes när det inte gick att åka upp med ubåten på grund av vattnets tyngd. Testet avbröts då efter att cirka en halv deciliter vatten hade läckt in vilket ledde till medelmåttlig skada. Till en början slutade den seriella kommunikationen mellan styrdatoren och ubåten att fungera, något som löstes genom att byta ut arduinon i ubåten. Men även kameran slutade att fungera och är i nuläget ur funktion.

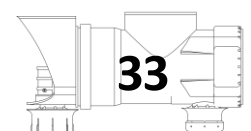
Läckan var särskilt svår att hitta då det finns så många ställen där det kan läcka, bakdelen, locket, LED-remsan, och de 10 andra hål för sladdarna. Första tanken var att bakdelen läckte eftersom några bubblor kom därifrån under testet. Men det visade sig endast vara luft som var kvar i skruvhålen. Nästa dag placerades ubåten i, vad blev, ett kallt garage med hoppet om att vattnet skulle avdunsta snabbare. Något som i stället ledde till att epoxin vid ethernet sladden släppte och det uppstod frågor om den hade släppt under testet och inte setts. Slutligen vatten tätades sladden igen och ännu ett test utfördes där en bit papper placerades under locket. Pappret blev då blött och det var alltså locket som läckte. Då användes gängtätningstejp och problemet försvann.

4.4.5 Djupvattentest

Testet utfördes för att kontrollera flera olika aspekter. Först och främst genomfördes en kalibrering av tryckmätaren. Vid denna tidpunkt kunde den endast ge tillbaka värden mellan 0-1023, vilket representerar tryck från 0-4 bar. Ett bar motsvarar trycket vid vattenytan, medan 4 bar representerar ett djup på 30 meter. För att bestämma vilket värde som motsvarade vilket djup testades tryckvärdena vid tre olika djup och genomförde sedan en linjär regression. De djup som användes var 0 meter, 0,42 meter och 0,695 meter, vilket resulterade i tryckvärdena 220, 230 och 236.

Förutom kalibreringen av tryckmätaren krävdes ytterligare testning av vattentätheten, då det hade läckt under det senaste testet. För att utföra en noggrann testning av vattentätheten sänktes ubåten ner till 2 meters djup, kastades ca 1 meter upp i luften innan den träffade vattnet och var sedan under vattenytan i flera minuter i sträck. Efter testet blev det tydligt att ubåten inte var helt vattentät, eftersom den tog in några droppar vatten. Trots detta var mängden vatten inte tillräcklig för att skada elektroniken, och det är möjligt att använda ubåtens inre fläktar för att snabbt avdunsta vattnet. Det verkade som om vattnet läckte in från ubåtens övre skruvlock, antingen på grund av en utsliten o-ring eller på grund av att locket inte var avsett att hålla vatten ute, utan snarare för att hålla vatten inne.

Testet syftade även till att testa ubåtens manövrering i djupare vatten, eftersom det tidigare testet utomhus avbröts för tidigt. Resultaten visade på betydligt bättre manövrerbarhet än vid det första testet, tack vare några kodändringar. Nu kunde ubåten framföra sig lika snabbt framåt som bakåt och fortfarande svänga som tidigare, även om höjning och sänkning fortfarande var långsamma.



Ubåtens lampor visade sig vara relativt kraftfulla, och även när resten av ubåten inte var synlig genom vattnet, kunde man ofta se ett orangeaktigt ljus från LED-stripen. Ljuset tenderade att bli mer orange ju längre ner i vattnet ubåten gick.

4.5 Pris

Enligt vår frågeställning var målet att konstruera en fjärrstyrd undervattensbåt till ett betydligt lägre pris än de som finns tillgängliga på marknaden. Genom arbetets gång har åtgärder vidtagits för att hålla kostnaderna nere.

Förutom de utgifter som redan belastat budgeten för de delar som är monterade i båten, har vissa komponenter inköpts som antingen inte fungerade enligt förväntningarna eller gick sönder under utvecklingsfasen. Därmed har en del av kostnaden för dessa komponenter hamnat på överflödiga delar. Bland dessa överflödiga delar återfinns en kameramodul för cirka 60 kr, tre spänningsomvandlare för 20 kr styck och ett mikrokontrollerkort för ungefär 120 kr.

Röret för konstruktionen kostade 108 kr och eftersom det köptes i en butik tillkom ingen fraktkostnad. Sladden för inköpet av 100 kr var begagnad för att hålla kostnaden nere; en ny Ethernet-kabel av samma modell hade kostat minst fyra gånger mer.

Övrig elektronik, inklusive motorer, landade på 730 kr. Detta inkluderar spänningsomvandlare, motorkontrollerkort, mikrokontroller, kamera med skärm och de överflödiga delarna. En del av den elektronik som användes fanns redan tillgänglig, såsom LED-strips, batteri samt knappar och liknande till styrdatorn.

Mindre tillbehör, såsom epoxi, plastsvets och gångjärn till lådan, inköptes till ett totalt värde av cirka 200 kr. Inga nya verktyg införskaffades, utan de användes som redan fanns tillgängliga antingen från skolan eller någon av medlemmarna i gruppen.

Den totala kostnaden för hela projektet, endast inkluderande de inköpta materialen, landade på cirka 1140 kr. Detta är betydligt lägre än priset för jämförbara alternativ på marknaden, där de billigaste kostar minst 6-7 gånger mer. Att notera är att priset för undervattensbåten ökade eftersom det var en prototyp, och därför har en stor del av pengarna lagts på utveckling och tester.

5 Felkällor och förbättringar

5.1 Felkällor

Ett problem som uppstod ett par gånger var att, när motorerna kopplades in så började spänningsomvandlarna ryka och kort därefter gå sönder enligt **Figur 55**. Problemet visade sig vara hur de var kopplade. Av misstag hade motorernas jordsladd kopplats till arduinons jord och inte den andra, lediga output pinen av motorstyrningskretsen. Detta ledde till något slags fel som fick dioden på spänningsomvandlaren att gå sönder.

Det uppstod även ett par fel under lödningen med vissa kortslutningar som förstörde en del komponenter. En av de mer förödande kortslutningarna var när en väldigt tunn tråd, tjock som ett hårstrå, som tillsammans med andra liknande trådar bygger upp en större sladd, la sig mellan plus och minus så att spänningsregulatorn på arduinon gick sönder och en ny arduino behövdes införskaffas.



Figur 55: Förstörd XL6009

Ett stort problem var att motorerna endast fungerade i cirka 5 sekunder innan de stängdes av och förblev så tills att allting startades om. Just detta fel var särskilt allvarligt då ubåten inte kunde manövrera sig i vattnet om inte motorerna fungerar. Problemet visade sig finnas i koden där det saknades ett "0b" framför det binära talet när den deklarerades, något som inte hittades av kompilatorn.

5.2 Förbättringar

En förbättring som kunde implementerats tidigare för att motverka kortslutningarna var att inte använda batteriet som spänningskälla utan i stället använda ett spänningsaggregat med inbyggd strömbegränsning vilket skulle innebära att inget kunde gå sönder trots att det fanns en kortslutning. Sedan mot slutet då batteriet behövs användas kunde en amperemeter vid batteriet som varnade vid kortslutning användas så att spänningen kunde kopplas ut innan något gick sönder. För att motverka kortslutningarna kunde även en annan slags tråd användas med fast koppar centrum utan de många små trådar som byggde upp den sladd som användes.

Nu i efterhand kunde kretsen och alla kopplingar designats på ett bättre sätt som skulle göra det enklare med felsökning för att lösa problemet med motorerna. I början var nämligen avsikten att kunna lyfta ut hela utrymmet med all elektronik. Men efter allt fler kablar blev det tydligt att detta inte skulle vara möjligt då alla små kablar tillsammans blev för styva. Därför är all elektronik fast i ubåten utan ett bra sätt att felsöka dem på och det ledde även till en onödig koppling mellan kablar som inte kan nås som kan innebära stora problem i framtiden om någon sladd går av. En bättre lösning hade varit en helt ny design med mer plats för alla kablar samt plats för felsökning.

Fjärrstyrd Undervattensbåt

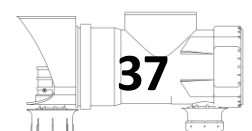
Ett annat förbättringsområde är motorerna. På grund av att ubåten skulle göras så billigt som möjlig användes motorer som inte var de starkaste eller bäst passande vilket i sin tur ledde till att ubåten blev relativt långsam och inte väldigt manövrerbar. Detta särskilt med tanke på att sladden har en, icke försumbar, kraft som inte togs i beaktande och som har en inverkan på ubåtens manövrerbarhet.

Ett bättre, men dyrare val hade varit borstlösa motorer då de är mycket kraftfullare och är även sötvattentåliga med inga modifikationer. Men som sagt var de för dyra och därför inte lämpade för detta projekt.

6 Slutsats

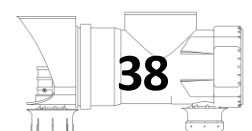
Slutsatsen som kan dras ifrån arbetet är att det är möjligt för en grupp gymnasieelever att bygga en ubåt med live-kamera som fungerar, för att ta reda på om den klarar maxdjupet 30 meter krävs ytterligare fysiska tester eftersom de enda tester som har utförts på maxdjupet hittills är simuleringar som inte tar hänsyn till hur väl tätningarna till alla ingångar för kablar kommer att klara av det höjda trycket

Hur ubåten byggs samt hur den programmeras har besvarats tidigare igenom denna rapport.



7 Referenser

- Allegro. (2021, 12 20). *Allegro*. Retrieved from Allegro: <https://archiwum.allegro.pl/oferta/6-pakowy-modul-zasilacza-lm2596-dc-na-dc-3-0-40-v-i9917381247.html>
- Components101. (2021, 7 17). Retrieved from Components101: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-nano>
- DroneBot Workshop. (2023, April 11). *Shift Registers – 74HC595 & 74HC165 with Arduino*. Retrieved from DroneBot Workshop: <https://dronebotworkshop.com/shift-registers/>
- Frihetsgrad*. (den 6 December 2022). Hämtat från Wikipedia: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Frihetsgrad>
- Handson Technology. (n.d.). *L298N Dual H-Bridge Motor Driver*. Handson Technology.
- Jospeh, J. (2022, 5 16). *Circuit Digest*. Retrieved from <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mpu6050-module-with-arduino>
- Kočí, J. (2024, Januari 05). *Watertight 3D printing part 2: Airtight closable models (Updated 2024)*. Retrieved from Original Prusa 3D Printers: https://blog.prusa3d.com/watertight-3d-printing-part-2_53638/
- KylinChip. (n.d.). *400KHz 60 V 4 A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/ DC Converter*. Shanghai: KylinChip. Retrieved from <https://www.haoyuelectronics.com/Attachment/XL6009/XL6009-DC-DC-Converter-Datasheet.pdf>
- Masscentrum*. (2020, 12 26). Retrieved from Wikipedia: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Masscentrum>
- Mirković, M. (2023, 5 6). *mirjanmirkovic*. Retrieved from https://mirjanamirkovic.com/78331/best_sellers/
- Moment of a Force*. (2020, December 27). Retrieved from Physics I Can - Empowerment Through Practice: <https://physicsican.blogspot.com/2019/07/moment-of-force.html>
- NitraThor. (2022). *model railway by NitraThor*. Retrieved from nitrathor.com: <https://www.nitrathor.com/data-sheets/arduino-nano>
- Oxidation*. (2023, Oktober 23). Retrieved from Wikipedia: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Oxidation>
- Picclick. (2022, 4 12). *Picclick*. Retrieved from Picclick: <https://picclick.fr/LM2577S-LM2596S-Power-DC-DC-Step-Up-Down-Boost-263047215687.html>
- Pluggie.se. (2022). *Kraftmoment*. Retrieved from pluggie.se: <https://www.pluggie.se/uppgiftsbanken/fysik/fysik-1/fy1-kraftmoment/teori/>
- randomnerdtutorials. (2018). *ESP32 with DC Motor and L298N Motor Driver – Control Speed and Direction*. Retrieved from randomnerdtutorials.com: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dc-motor-l298n-motor-driver-control-speed-direction/>
- Ship motions*. (2024, Februari 1). Retrieved from Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_motions



Six degrees of freedom. (2023, November 22). Retrieved Januari 6, 2024, from Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom

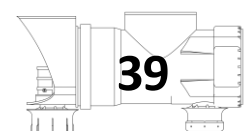
Stříteský, O., Prusa, J., & Bach, M. (2019). *Basics of 3d printing* (First Edition ed.). (J. Olejnik, Trans.)
Prag: Prusa Research a.s. Retrieved Januari 09, 2024, from
https://www.prusa3d.com/page/basics-of-3d-printing-with-josef-prusa_490/

Texas Instruments. (2023). *LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz*. Texas Instruments.

What are the "6 Degrees of Freedom"? 6DOF explained. (2023, Februari 15). Retrieved from
Industrial Inspection & Analysis (IIA): <https://industrial-ia.com/what-are-the-6-degrees-of-freedom-6dof-explained/>

Wikipedia. (2022, Oktober 20). *Vridmoment*. Retrieved from Wikipedia:
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Vridmoment>

Wishdeals. (2022, 7 15). *Wishdeals*. Retrieved from <https://wishdeals.in/20PCS-IC-HC-SN74HC595N-Bit-Shift-Register-DIP-NEW-GOOD-QUALITY-854561/en/item-z2ybt/>



8 Appendix

8.1 Appendix A

Komponent	Antal
Arduino nano	1
Adafruit neopixel LED-strip 3919	1
7,2 volt 4000 mAh batteri	1
0,5 Mpa tryckmätare	1
LM2596 spänningsomvandlare	1
XL6009 spänningsomvandlare	2
74HC595 skiftregister	1
MPU 6050 IMU	1
DC motor	4
L298N motorstyrningskrets	2

8.2 Appendix B

Komponent	Antal
Arduino uno	1
JHD 659-162A 16 x 2 LCD display	1
AA batteri	8
KS0008 joystick	1
10 K Ω potentiometer	2
220 Ω resistor	1
3 mm LED	1
10K Ω resistor	4
NO knapp	4

