



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE:

B019E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker

Kristian Auestad

Sverre Fjæra

31. mai. 2019

Dokumentkontroll

Rapportens tittel: B019E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker	Dato/Versjon 31. mai. 2019/1.0
	Rapportnummer: B019E-19
Forfattere: Kristian Auestad Sverre Fjæra	Studieretning: HEAU16
	Antall sider m/vedlegg 82
Høgskolens veileder: Inge Vivås	Gradering: Åpen
Eventuelle Merknader: Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	
Oppdragsgiver: HVL Dykkerutdanningen	Oppdragsgivers referanse:
Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inklusive kontaktinformasjon): Hilde Brandt Røssevold Telefon: 55 58 79 98 <i>E-mail: hilde.brandt.rossevold@hvl.no</i>	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
V0.1	20.01.19	Opprettet fra mal	Kristian Auestad
V0.2	31.01.19	Forstudie	Sverre Fjæra
V0.3	01.03.19	Oppdatert med kapitler	Kristian Auestad
V0.4	18.04.19	Oppdatert	Sverre Fjæra
V0.5	20.05.19	Oppdatert	Kristian Auestad
V0.6	24.05.19	Oppdatert	Sverre Fjæra
V1.0	31.05.19	Revidert	Kristian Auestad og Sverre Fjæra

Forord

Denne rapporten er resultatet av et bachelorprosjekt til to studenter ved Høgskulen På Vestlandet. Rapporten er utarbeidet av avgangsstudentene Sverre Fjæra og Kristian Auestad ved automatiseringsteknikk i samarbeid med HVL dykkerutdanningen.

Oppgaven gikk ut på å lage et system som skulle bedre kommunikasjonen mellom dykkerleder og dykker. Dette skulle gjøres ved hjelp av en laserpeker. Laserpekeren skulle styres via en joystick fra land og stabiliseres i forhold til dykkerens bevegelser, samt sende dykkerens kompassretning til dykkerleder.

Oppgaven var omfattende og bestod av programmering av mikrokontrollere, bygging, testing og teoriarbeid. Hensikten med denne rapporten er å dokumentere prosjekteringen og gjennomføringen av oppdraget.

Vi vil gjerne takke vår veileder Inge Vivås for gode råd og veiledning. Takk til Hilde Brandt Røssevold for organisering og tilrettelegging for oss ved dykkerutdanningen og takk til Frode Kaland og Robert Grindheim for hjelp med verktøy og utstyr.

Sted/dato:



Sverre Fjæra



Kristian Auestad

Sammendrag

I løpet av prosjektiden har gruppen utviklet, laget prototype og testet et nytt system som sender dykkerens kompassretning til overflaten samt tillater dykkerleder å styre en laserpeker som er montert på dykkeren til visuell kommunikasjon. Dykkerens bevegelser måles ved bruk av akselerometer, magnetometer og gyroskop. Informasjonen om bevegelsene blir prosessert i en mikrokontroller før den brukes til å styre to servomotorer som kan kompensere for bevegelsene og holde laserpekeren i ro.

Systemet er utviklet med tanke på enkel implementering til nåværende system. I kabelen som brukes til lys og videooverføring, finnes det to ledige ledningspar som kan brukes. På land kobles systemet inn på den eksisterende kabelen like før dykkersentralen, ved hjelp av en koblingsboks. Utstyr som skal plasseres på dykker er montert i vanntett kapsling godkjent for dykk til 100 m dyp.

Ved prosjektets slutt er systemet fortsatt i prototypfase og trenger videre arbeid med tanke på reduksjon av størrelse ved dykker og utredning av feil i kompassretning. Systemet må optimaliseres før det kan tas i bruk ved en profesjonell setting.

Innhold

Dokumentkontroll	2
Forord	3
Sammendrag	4
Innhold	5
1 Innledning.....	8
1.1 Oppdragsgiver	8
1.2 Styring av prosjektet.....	8
1.3 Problemstilling.....	8
1.4 Hovedidé for løsningsforslag	9
2 Kravspesifikasjon	10
2.1 Endring av oppgave	10
3 Analyse av problemet.....	11
3.1 Utforming av mulige løsninger	11
3.1.1 Løsningsalternativ 1.....	11
3.1.2 Løsningsalternativ 2.....	14
3.2 Vurdering av løsningsalternativer	14
4 Realisering av valgt løsning	15
4.1 Utstyret på land.....	15
4.1.1 Koblingsboks.....	15
4.1.2 Mikrokontroller	16
4.1.3 Skjerm.....	18
4.2 Kommunikasjon til/fra dykker	19
4.3 Under vann	22
4.3.1 Kapsling.....	22
4.3.2 Laser	23
4.3.3 Batteri.....	30
4.3.4 Relé.....	31

4.3.5	Servomotorer	33
4.3.6	Bevegelsessensor	34
4.3.7	Kombinere sensormålingene.....	44
4.4	Utrekninger og koblingsdiagram	45
4.4.1	Utrekninger	45
4.4.2	Koblingsdiagram	46
4.5	Detaljert systemoversikt	48
4.5.1	Komponentoversikt	48
5	Testing	49
5.1	Test av servomotor.....	49
5.1.1	Test av oppløsning.....	49
5.1.2	Test av hysteresi i motor	51
5.1.3	Test av utslag på laser	51
5.2	Kommunikasjonstest	53
5.2.1	Signaltest	54
5.3	Test med spenning fra dykkerskap.....	56
5.4	Test av kompass	57
5.5	Undervannstest	59
6	Diskusjon	60
7	Konklusjon	61
7.1	Videre arbeid.....	61
8	Referanser	62
Appendiks A	Lister	65
A.1	Figurliste	65
A.2	Bildeliste	66
A.3	Tabelliste	68
Appendiks B	Forkortelser og ordforklaringer.....	69
Appendiks C	Prosjektledelse og styring.....	70

C.1	Oppdatert fremdriftsplan.....	70
C.2	Oppgaveliste.....	71
C.4	Timelogg Kristian.....	72
C.5	Timelogg Sverre.....	74
Appendiks D	Brukerdokumentasjon.....	76
D.1	Koble opp systemet.....	76
D.2	Bruksanvisning.....	77
D.3	Drifts- og vedlikeholdsdokumentasjon.....	78
Appendiks E	Vedlegg.....	80
E.1	Catalog_M_Series.pdf.....	80
E.2	SimpleModbusMasterManual.pdf.....	80
E.3	STL filer.....	80
E.4	Møtereferater.pdf.....	80
E.5	Master.ino.....	80
E.6	Master.pdf.....	80
E.7	Slave.ino.....	80
E.8	Slave.pdf.....	80
Appendiks F	Kildekode, skjemadesign, Bill Of Materials mm.....	81
F.1	Kildekode.....	81
F.2	Endring av bibliotek.....	81
Appendiks G	Testresultater.....	82
G.1	Kommunikasjonstest.....	82

1 Innledning

1.1 Oppdragsgiver

HVL Dykkerutdanningen er en fagskoleutdanning lokalisert i Skålevik, like utenfor Bergen og har omtrent 15 ansatte. Skolen ble startet som Statens dykkerskole i 1980, men er nå en del av Høgskolen på Vestlandet [1]. De utdanner yrkesdykkere og har også andre dykkerkurs som redningsdykking [2].

1.2 Styring av prosjektet

Gruppen fikk utdelt arbeidsplass, nøkkelkort og tilgang til verktøy og verksted i HVL Dykkerutdanningen sine lokaler i Skålevik. I tillegg ble det holdt møter annen hver uke med intern veileder samt kontinuerlig dialog med teknisk personell ved HVL Dykkerutdanningen. For å holde veileder oppdatert ble det opprettet felles mappe via skytjenesten OneDrive.

Til dette prosjektet var det lagt fram et budsjett på 20.000 NOK, der oppdragsgiver og HVL-elektro deler summen likt mellom seg. Innkjøp av komponenter burde skje så fort som mulig da det var forventet lang leveringstid på utstyr som blir brukt under vann. I hovedsak bestilte HVL-elektro elektriske komponenter og Dykkerutdanningen bestilte koblinger og lignende.

Med sin praktiske erfaring hadde Kristian hovedansvaret for prototype og testing, mens Sverre hadde hovedansvaret for dokumentasjon og koding. I dette prosjektet var det kun to studenter, slik at begge studentene måtte bidra med sin kompetanse i alle deler av prosjektet for å sikre et bra sluttprodukt.

Timeliste, oppgaveliste og framdriftsplan ble skrevet i eget Excel-dokument. Se henholdsvis C.4 C.5 C.2 og C.1 .

1.3 Problemstilling

HVL Dykkerutdanningen ønsket å bedre kommunikasjonen mellom dykker og dykkerleder. Dette for å effektivisere dykket og unngå misforståelser. Et ønsket verktøy var å kunne gi dykkeren visuelle instruksjer i form av en laserpeker, samt avlese orienteringen til dykkeren. Vi har derfor formulert problemstillingen slik:

«Bedre kommunikasjonen mellom dykker og dykkerleder ved hjelp av måling av dykkerens orientering og utforming av fjernstyrt pekerverktøy.»

Det finnes ingen tilsvarende produkter i markedet. Oppgaven bestod derfor av produktutvikling og testing.

1.4 Hovedidé for løsningsforslag

Oppdragsgiver så for seg en laserpeker tilsvarende de som brukes ved presentasjoner og under foredrag. Pekeenheten er tenkt styrt av dykkerleder på land ved hjelp av en tilhørende joystick.

Kommunikasjon med pekeenhet foregår via eksisterende navlestrengkabel. Dette er en kabel som knytter dykkeren til overflaten. Oppbygningen av kabelen varierer noe fra dykk til dykk, men i denne oppgaven fokuseres det på en sammensetning bestående av fire kabler og slanger:

- lufttilførsel som forsyner dykkeren med pusteluft
- slange for analog dybdemåling
- kommunikasjonskabel som radiokommunikasjon foregår på
- Mini-TV kabel som håndterer video, lys og digital dybdemåling

I denne Mini-TV kabelen er det to ledningspar som er ubrukte. Det er disse ledningene laserpeker systemet kommuniserer over.

Da enheten er festet på dykkeren som hele tiden er i bevegelse, er det nødvendig å stabilisere pekeren. Et gyroskop, akselerometer og magnetometer brukes for å måle bevegelsene og orienteringen til dykkeren, og to motorer kompenserer for bevegelsene for å holde laseren stabil.

2 Kravspesifikasjon

Sammen med oppdragsgiver kom vi fram til hva som kreves av vår løsning på problemet.

- Laserpeker skal være enkel å styre fra joystick, og bevegelse av laserstrålen skal kjennes naturlig for dykkeleder.
- Laserstråle må være lett synlig både med tanke på farge og størrelse.
- Laser skal enkelt kunne slås av og på av dykkerleder.
- Vått utstyr må tåle en vanddybde på ned til 50 meter.
- Utstyret må være plassert og av en slik størrelse at det ikke er til hinder for dykkeren.
- Kommunikasjon mellom utstyr på land og utstyr i vann må kommunisere via eksisterende navlestrengkabel.
- Retning til dykker skal vises på skjerm på land.

2.1 Endring av oppgave

Oppgaven endret seg noe etter oppstart. Dykkerleder ville gjerne vite kompassretningen til dykkeren. Det måtte derfor implementeres en toveis kommunikasjon mellom dykker og dykkeleder. Dette medførte ekstra kompleksitet til oppgaven da det bare var enveis kommunikasjon opprinnelig. Nå kan dykkeleder sende styresignal til laser og motta kompassretningen til dykkeren som vises på skjerm ved overflaten. Deloppgaven angående actionkamera er ikke lenger relevant.

3 Analyse av problemet

Systemet kan deles inn i tre delsystemer. Landsystem, kommunikasjon og undervannssystem.

1. **Landsystemet** skal kunne motta og tolke data om dykkerens orientering og presentere dette på en skjerm. Joystick må plasseres i nærheten av denne skjermen. Det er via joysticken dykkerleder styrer systemet.
2. **Kommunikasjon** skal foregå via eksisterende mini-TV kabel.
3. **Undervannssystemet** skal detektere bevegelsene og orienteringen til dykkeren, tolke og kompensere for disse slik at laserpekeren blir værende i ro uavhengig av bevegelsene. Systemet skal også kunne sende kompassretning, temperaturmåling og feilmeldinger til overflaten samt motta signaler fra landsystemet.

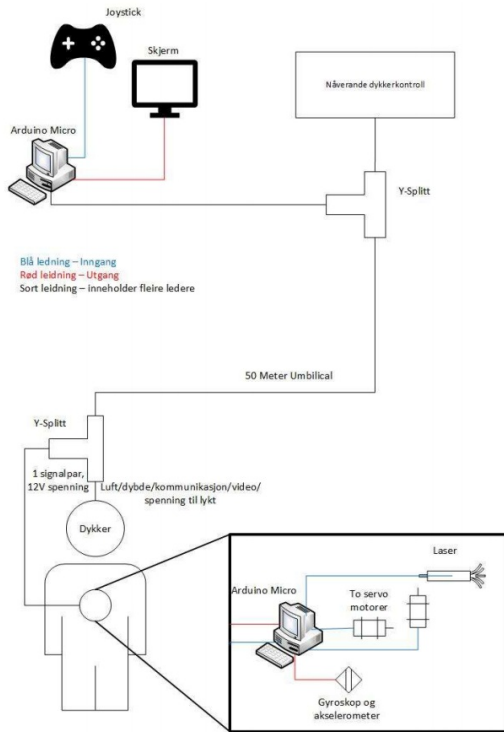
3.1 Utforming av mulige løsninger

3.1.1 Løsningsalternativ 1

System bestående av to delsystem som kan kommunisere med hverandre. Et landsystem som inneholder mikrokontroller, joystick og skjerm. Her skal kompassretningen vises på skjerm og dykkerleder kan styre laseren.

Systemet ved dykker består av en mikrokontroller, batteri, to motorer for å styre pitch og yaw (vertikal og horisontal rotasjon), bevegelsessensor med akselerometer, gyroskop og magnetometer og en laserpeker. Alt dette må plasseres i vanntett kapsling.

BO19E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker



Figur 3.1-1 Utkast til systemoversikt

Kommunikasjon mellom enhetene skal foregå på eksisterende mini-TV kabel. Etter gjennomgang med teknikere fra Dykkerutdanningen ble det fastslått at det er to lederpar som er tilgjengelige. Det ene paret er tidligere brukt til digital dybdemåling. Det andre har aldri vært i bruk. Kommunikasjonen kan derfor foregå via seriell kommunikasjon. Koaksialkabelen som er beskrevet i oppgaven brukes av andre signaler. Kommunikasjon skal testes på navlestrengkabel med reell lengde for å sjekke signalstyrke og signalstøy.

Plassering av enhet på dykker er vanskelig å standardisere da mengden eksisterende utstyr og plasseringen av det varierer mye mellom de forskjellige typene dykk. Hjelms, bryst og skulder er de mest aktuelle stedene. Den beste løsningen ville vært å lage et system som enkelt kan tilpasses de forskjellige preferanser og behov.



Bilde 3.1-1 Dykker med SuperLite dykkerhjelm



Bilde 3.1-2 SuperLite dykkerhjelm med kamera og lys

3.1.2 Løsningsalternativ 2

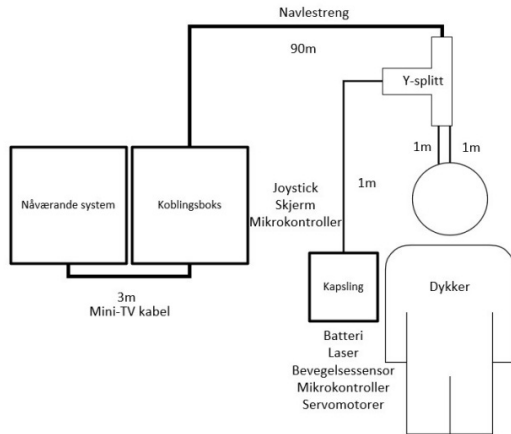
Funksjonaliteten skal være lik som i alternativ nummer én, men det må studeres videre om og hvordan det er mulig å sende flere signaler via koaksialkabel. Signalet som opptar kabelen fra før er analogt, TCP/IP kommunikasjon kan derfor ikke skje uten større ombygging av systemet. Det vil også kreve ekstra ombygging av eksisterende kabler og tilkoblinger for at koaksialkabel skal kunne kobles til både videokamera og nytt utstyr.

3.2 Vurdering av løsningsalternativer

Løsningsforslag 1 ble valgt da dette krever minst mulig ombygging av eksisterende utstyr. Dette ansees som viktig for å enkelt kunne ta i bruk systemet til daglig. Dersom store ombygginger av eksisterende og fungerende utstyr må gjøres for å supplere med den funksjonaliteten dette prosjektet gir vil kostnader og arbeid for å implementere utstyret blir høyere enn nytten. Dette løsningsforslaget er også mest gjennomførbart i prosjektperioden.

4 Realisering av valgt løsning

I Figur 3.2-1 er valgt løsningsforslag 1 illustrert ved hjelp av en enkel figur.

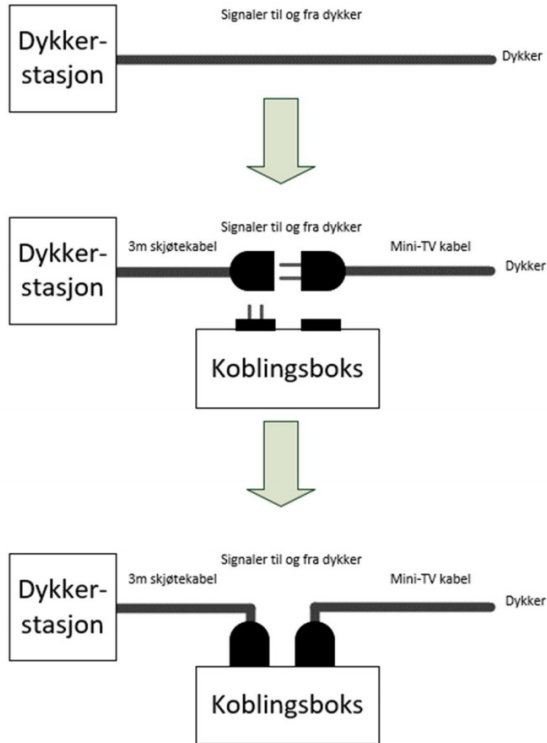


Figur 3.2-1 Oversikt over valgt løsning

4.1 Utstyret på land

4.1.1 Koblingsboks

Målet var å konstruere et system som både er brukervennlig og enkelt å sette i drift. Derfor ble det laget en koblingsboks der dykkerleder plugges inn i koblingsboksen, og en ny kabel fra koblingsboksen og til dykkerstasjonen, som vist på Figur 4.1-1. På denne måten trekkes bare de nødvendige lederne inn i koblingsboksen, mens resten av lederne blir sendt direkte videre til dykkerstasjonen. Det resulterer i et tilleggsutstyr som enkelt kan kobles til ved behov.



Figur 4.1-1 "Plug and play" prinsipp

4.1.2 Mikrokontrollerer

For å håndtere mottak, sending og prosessering av data trengtes det mikrokontrollere. Det finnes en rekke forskjellige mikrokontrollere med ulike egenskaper. For å komme fram til den som oppfylte prosjektets behov best ble det satt noen krav:

- Størrelse – Utstyret skal være så lite som mulig. Derfor bør også mikrokontrolleren være så liten som mulig.
- Funksjonalitet – Må ha funksjonalitet som trengs for å løse problemstillingen.
- Pris
- Tilgjengelighet – Fordel om det er mulig å anskaffe med leveringstid på under en uke.

Tabell 4.1-1 og Tabell 4.1-2 viser hvilke tilkoblinger systemet krever.

Tabell 4.1-1 Mikrokontroller på dykker

Utstyr	Tilkobling
Servomotor – pitch	Pulsbredde modulert utgang
Servomotor - yaw	Pulsbredde modulert utgang
MPU 9250	SCL og SDA (I2C)
Laser	Digital utgang
Seriell kommunikasjon	TX/RX og digital utgang

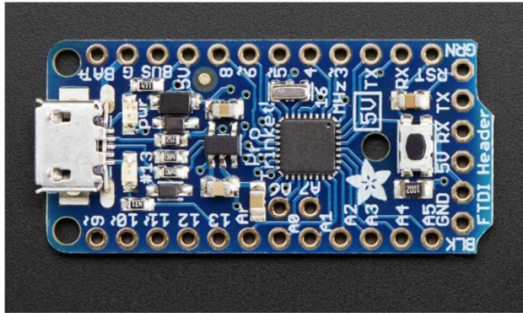
Tabell 4.1-2 Mikrokontroller på land:

Utstyr	Tilkobling
Joystick X-retning	Analog inngang
Joystick Y-retning	Analog inngang
Knapp på joystick	Digital inngang
Skjerm	SCL og SDA (I2C)
Seriell kommunikasjon	TX/RX og digital utgang

Tabell 4.1-3 Funksjonalitet på mikrokontrollere

	Arduino Uno	Arduino Nano	Adafruit Pro Trinket	Arduino Micro
Størrelse	69x53mm	18x45mm	18x38mm	18x48mm
Funksjonalitet	OK	OK	OK	OK
Pris	194NOK + frakt	194NOK + frakt	130NOK	175 NOK + frakt
Tilgjengelighet	Må bestilles fra utlandet	Må bestilles fra utlandet	Kan kjøpes lokalt i Bergen	Må bestilles fra utlandet

Med informasjonen i Tabell 4.1-3 tatt i betraktning ble «Adafruit Pro Trinket» ble valgt som mikrokontroller for prosjektet.



Bilde 4.1-1 Adafruit Pro Trinket [4]

4.1.2.1 Programmering av mikrokontroller

Programmeringsspråket som koden ble skrevet i er en variant av C++ som er tilpasset for Arduino. «Microsoft Visual Studio 2017» (VS) med Arduino tilleggspakke ble brukt til å skrive koden i da dette er å foretrekke over Arduinos egen programvare siden VS er mer egnet til større programmer og lesbarheten er bedre. I tillegg har VS funksjonalitet som gjør det lettere å utforske hvilken funksjonalitet som befinner seg i kodebibliotekene.

4.1.3 Skjerm

Skjermen som blir brukt i prosjektet er en 1,54 tommer LCD [3]. Denne har en oppløsning på 240x240 piksler og blir programmert ved hjelp av to kodebibliotek. «Adafruit GFX» for håndtering av grafikk og «Adafruit ST7789» for kommunikasjon med skjermen.

Oppdatering av skjermbilde er den delen av prosessen som tar lengst tid. Dette fører til et lite stopp i koden når skjermen skal oppdateres. En vanlig løsning på dette problemet ville vært å opprette en egen tråd for oppdatering av skjerm. «Adafruit Pro Trinket» bruker prosessoren «Atmega 328P» [4]. Denne har én prosessorkjerne, noe som gjør at tradisjonell flertrådsprogrammering er umulig. For å minimere tiden skjermen bruker på oppdatering ble følgende utført:

- Oppdatering ble redusert til én gang per sekund.
- Standardfont blir benyttet, fordi denne har en innebygget effektiv oppdateringsfunksjon.
- Kun piksler som skulle endre farge eller variabler som endret verdi blir oppdatert.
- Styingskoden for autonomstyring ble flyttet fra master til slave for å unngå påvirkning.

4.2 Kommunikasjon til/fra dykker

Opgaven krever kommunikasjon mellom to mikrokontrollere på en 90 m lang kabel. Det er fire ubrukte ledere i Mini-TV kabelen, ett «Twisted Pair» (TP) med tverrsnitt på 0,22 mm², og ett «Shielded Twisted Pair» (STP) med tverrsnitt på 0,5 mm². Siden STP ikke er terminert i koblingen på land, blir TP brukt til kommunikasjon.

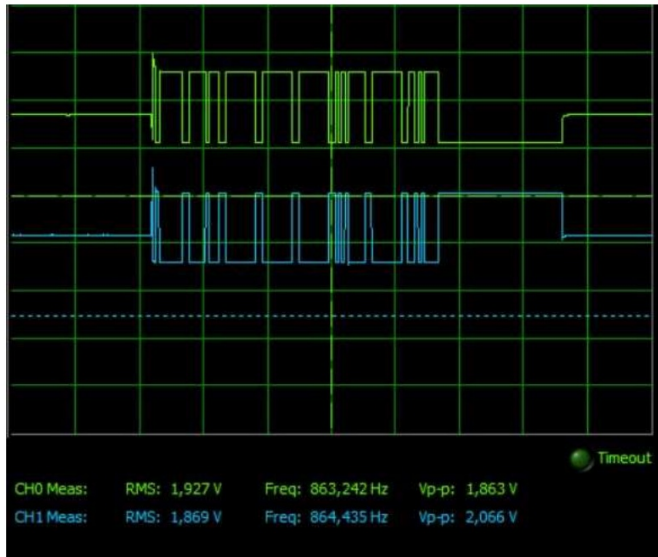
Tabell 4.2-1 Oversikt over kommunikasjonsalternativer

Kommunikasjon	Lengde	Overføringshastighet/Baud rate	Ledere
RS485 [5, p. 92]	Opp til 1200 m 100 m	Opp til 10 Mbit/s Opp til 1 Mbit/s	3 (Tx,Rx,GND)
RS232 [5, p. 75]	Opp til 850 m 100 m	Opp til 115 kbit/s 4800 bit/s	3 (Tx,Rx,GND)
I ² C [6]	Opp til 10 m	Opp til 1 MBit/s	3 (SDA, SCL, GND)
Ethernet	N/A	N/A	Egen kabel (8 ledere)

Spesifikasjonene på overføringshastighet over lengre avstander, kombinert med pris og tilgjengelighet, samt at det er en kjent standard og benytter seg bare av tre ledere, gjorde at RS485 oppfyller alle krav til denne oppgaven.

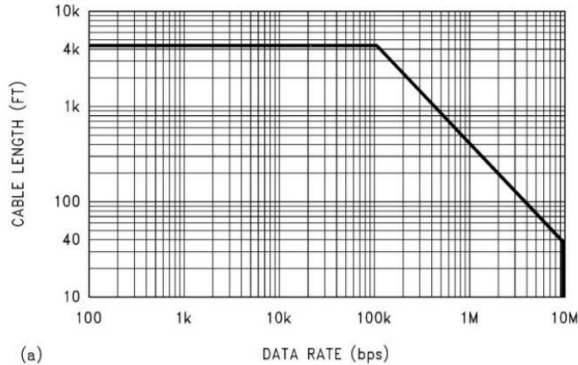
RS485 kommunikasjonen kobles opp som en toveis halv duplex databuss, med en transceiver i hver ende. Data kan overføres i begge retninger, men bare en vei om gangen. Overføring av data gjennomføres over to kabler, A og B, men over lengre distanser trenger bussen en jordingsleder for å lage en returvei for støy og strøm. Dersom jording utelates generes det mye elektromagnetiske forstyrrelser (EMI) som kan resultere i feil på signalet [7]. I tillegg kobles en motstand på 150Ω mellom jordingsleder og jord, for å redusere strømmen som skapes av EMI.

A og B linjene er inverse av hverandre, det vil si at når A er høy, er B lav og motsatt. Dette for å verifisere at riktig bit blir sendt, og det resulterer i at RS485 er mer skjermet mot støy. «1» tolkes når A er høyere enn B, og «0» tolkes når B er høyere enn A. Se Bilde 4.2-1.



Bilde 4.2-1 Inverse signal mellom linje A og linje B

Det finnes en sammenheng mellom lengde på kabel og overføringshastighet, som er vist i Bilde 4.2-2. RS485 kan brukes opp til 1200 meter, og sende data med en hastighet på 10Mbit/s, men ikke begge deler samtidig. For en kabel på ca. 100 meter (328 feet) kan det sendes data med ca. 1Mbit/s. Selv om topologien RS485 tillater høy overføringshastighet er det ikke behov for å benytte seg av maksimal hastighet til denne oppgaven, da det kan medføre kommunikasjonsfeil. En kjent verdi for mikrokontrollere er 19200 bit/s, som legger seg langt under maksimal hastighet, men likevel rask nok til denne oppgaven.



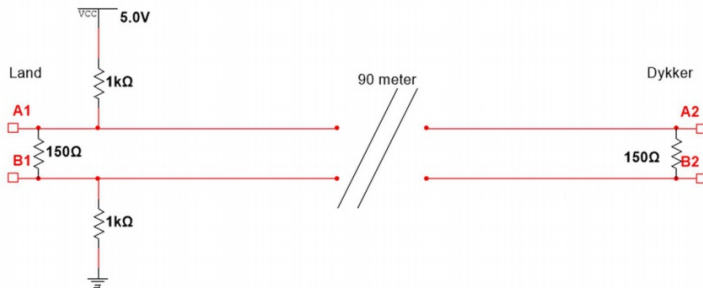
(a)

DATA RATE (bps)

Bilde 4.2-2 Sammenheng mellom overføringshastighet (data rate) og kabel lengde [7]

Termineringsmotstand i hver ende av kabelen hindrer refleksjoner av signaler og reduserer derfor støy, noe som er spesielt viktig ved høy overføringshastighet og ved lange kabler. Det bør termineres med en resistans på 150Ω , som vist i Figur 4.2-1. [7]. TP reduserer også støy mellom lederne og sammen med termineringsmotstanden resulterer dette i et system skjermet for støy.

«Fail-Safe biasing» er en type terminering brukt for å bestemme en kjent tilstand dersom det ikke er noen aktive drivere på linjen. En «pullup» og en «pulldown» resistans, med samme verdi for balanse, brukes for å setta A linja høy og B linja lav. Se Figur 4.2-1. [7].



Figur 4.2-1 Oversikt over terminering av RS485 kommunikasjonslinjene

Behandling av kommunikasjonen mellom mikrokontrollerne blir gjennomført av en veletablert protokoll, Modbus. Modbus er en seriell meldingsprotokoll som sørger for server/klient kommunikasjon og kan bli brukt over flere typer nettverkstopologi [5, p. 133]. Til denne oppgaven

brukes Modbus over RS485, med seriell kommunikasjon. Kort oppsummert opprettes det register hos slaven, som masteren leser fra og skriver til for å kommunisere med hverandre. Bruksanvisning for bruk av Modbus biblioteket finnes i E.2 .

4.3 Under vann

4.3.1 Kapsling

Valg av kapsling ble gjort på bakgrunn av to tidligere bacheloroppgaver ved dykkerutdanningen som brukte kapsling fra «Blue Robotics». Dette er et firma som spesialiserer seg på marine systemer og komponenter. Kapslingen er godkjent til å tåle et trykk på 100 m dyp, noe som er godt innenfor kravet på 50 m i oppgaven. Siden dette er en prototype er kapslingen på 76,2 mm i diameter og 222 mm lang, noe som bør reduseres i en senere versjon. En kuppel settes på ene siden av sylinderen for å oppnå størst mulig arbeidsvinkel for laseren. Krav til arbeidsvinkelen er ikke spesifisert i oppgaven, men vil være +/-45 grader i både x- og y-retning, se 5.1.3. I andre enden borres hull til en skott-kobling (RERM10MT0416 [8]) til kommunikasjonskabel og en luftenventil fra «Blue Robotics». Ventilen skal ventilere overtrykk som kan oppstå under sammensetting av kapslingen. Dette overtrykket kan trykke ut endestykkene som igjen vil redusere tetningen.



Bilde 4.3-1 Kapsling med kuppel

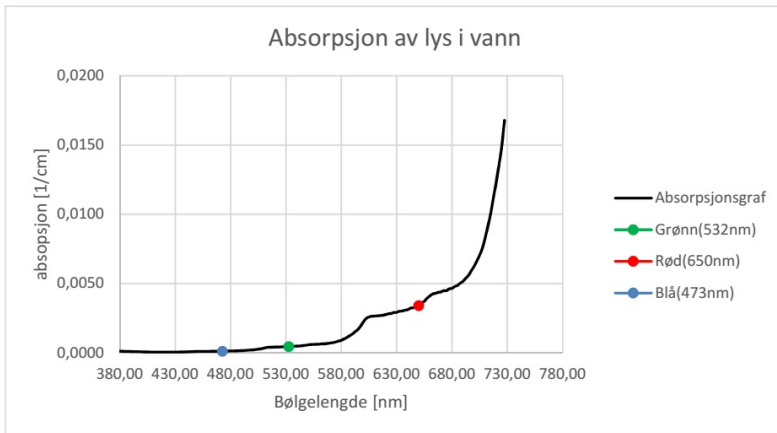
4.3.1.1 Plassering av kapsling

Flere steder ble vurdert som aktuelle, som brystet, skulder og hjelm, alle med både positive og negative sider. Innspill fra dykkere på Dykkerutdanningen om hvordan dykkeren beveger seg og jobber, samt hvor de mente laseren burde festet, var svært verdifulle og nyttige.

I løpet av et dykk blir dykkerdrakten fylt med luft og gjør brystpartiet ustabil. I tillegg til at dykker vil ha minst mulig i veien når dykkeren jobber, gjorde brystet uaktuelt. Å feste laseren på skulderen på dykkeren er en interessant løsning som kan fungere svært godt. Der er den ikke til hindring for dykker, og siden en dykker i vann som oftest snur hele kroppen, i stedet for bare hodet, vil ikke hjelmen komme i kontakt med kapsling. Eneste hindringen er mangel på solide festemuligheter i dykkerdrakt.

Som en prototype kan kapslingen festes med strips til hjelmen, kobles til γ -splitt uten ekstra kostnader og er i samme område som kameraet er. Siden laseren styres fra hva dykkerleder ser fra kameraet på land, er det hensiktsmessig å plassere laseren i nærheten.

4.3.2 Laser



Figur 4.3-1 absorpsjonsspekter i vann Pope 93

Fargen til laseren er viktig da lysbølger absorberes ulikt i vann. For at laseren skal være så synlig som mulig er det viktig å velge en farge som absorberes så lite som mulig i vann. Målinger gjort av Robin M. Pope og Edward S. Fry [9] viser absorpsjonen av lys med forskjellige bølgelengder. Figur 4.3-1 viser forskjellen i absorpsjon i de tre vanligste fargene laserpekere er å få tak i. Blå og grønn absorberes relativt likt og mye mindre enn rød.

Styrken på laseren er en annen faktor som ble vurdert da et ønske fra dykkerleder var å kunne se retningen til laserstrålen og ikke kun endepunktet. «Forskrift om strålevern og bruk av stråling» legger begrensninger på hvor sterke laserpekere privatpersoner kan eie til Klasse 3R som er laserpekere med maksimalstyrke på 5mW. Det er heller ikke lov å innføre laserpekere med større

maksimalstyrke enn 1mW. [10] [11]. For å få fritak fra disse reglene må man søke om særskilt tillatelse fra Statens Strålevern.

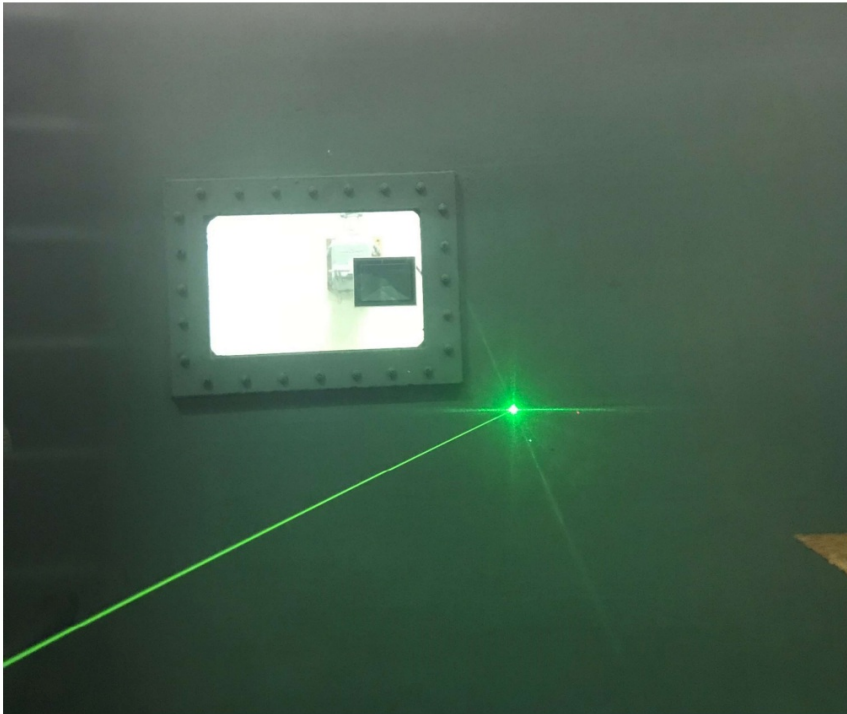
Grønn laserpeker med styrke 1mW ble valgt, da disse var rimeligere og mer tilgjengelig enn blå. Den ble så demontert til kun selve laserenheten (Bilde 4.3-3) for videre bruk.



Bilde 4.3-2 Laserpeker [36]



Bilde 4.3-3 Laserenhet



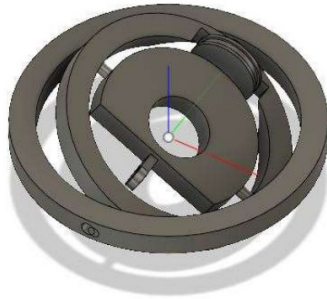
Bilde 4.3-4 Test av laser i dykketank

4.3.2.1 Styring

For at styresystemet skulle få plass i den vanntettekapslingen ble det laget en innretning som gjorde det mulig å plassere motorene bak selve laseren og så styre den med reim og stag som overførte bevegelsene til en slingrebøyle. Delene ble modellert i programvaren Fusion 360, og deretter 3D-printet på en PRUSA i3 MK3 3D-printer.

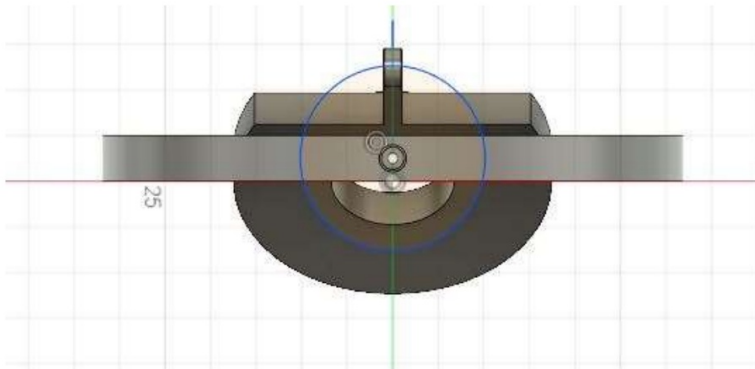
Figur 4.3-2 viser tre ringer som er koblet sammen med korte stag forskjøvet 90 grader på hverandre. Den ytterste ringen er stasjonær og i kontakt med kapslingen. For å overføre bevegelsene fra motorene til slingrebøylene og laseren ble det vurdert flere løsninger. Stag, reim, direkte montasje og hyssing. Etter testing av forskjellige alternativer ble reimdrift til styring av den midterste ringen og stagoverføring til den innerste ringen vurdert til det beste alternativet. Reimdrift er kun mulig dersom bevegelsen ikke er avhengig av andre bevegelser, noe som er tilfellet med den mellomste ringen. På den mellomste ringen er et hjul fastmontert med lik diameter som hjulet på servomotoren for 1:1 rotasjonsoverføring. Innerringen som avhenger av bevegelsene til mellomringen derimot

kunne ikke bruke dette. Ved å forme enden av staget og tilkoblingen på slingrebøylen til to løkker som inngår i hverandre oppnås funksjonaliteten til et primitivt kuleledd, den mellomste ringen kan derfor beveges fritt uten at det påvirker den innerste. Den mellomste ringen blir brukt til styring av yaw, og den innerste til styring av pitch.



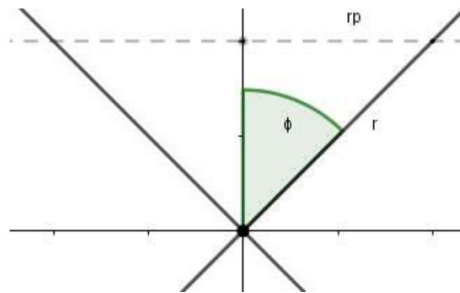
Figur 4.3-2 Slingrebøyle for styring av laser i to akser

Styring av pitch er ikke uavhengig, men påvirkes av yaw. Dersom pitch ikke er parallell med den mellomste ringen, altså pitch er ulik 90° vil avstanden mellom øyebolt-festet og servomotoren variere dersom yaw endres. For å opprettholde korrekt pitch ved endring av yaw er det nødt til å implementeres en algoritme som kompenserer for dette.



Figur 4.3-3 Tenkt sirkel ved endring i yaw

Figur 4.3-3 Viser en tenkt sirkel som festepunktet vil rotere rundt dersom yaw endres. For å kunne kompensere for denne bevegelsen må først denne sirkelen uttrykkes matematisk.



Figur 4.3-4 radius for tenkt sirkel

r_p =radius til indre ring på slingrebøyle sett ovenfra.

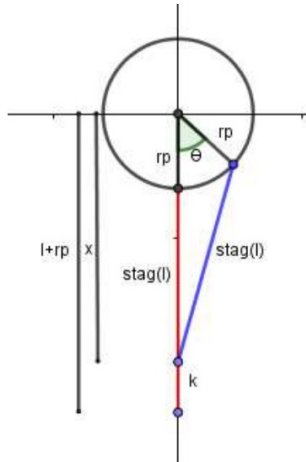
r =radius til indre ring på slingrebøyle

φ = pitchvinkel fra servomotor

(1) Viser utregning av radiusen til denne tenkte sirkelen.

$$r_p = |r * \sin(\varphi - 90)| \quad (1)$$

Figur 4.3-5 Viser to posisjoner ved endring av yaw. Dette blir samme prinsipp som veivaksling og stempel i en bensinmotor. En rotasjon tilsvarer en bevegelse langs en linje.



Figur 4.3-5 Avstand fra servomotor til seter av tenkt sirkel

θ = Yawvinkel

l = lengde på stag

x = avstand fra servomotor til senter av sirkel dannet av r_p .

(2) viser utregning fra avstand mellom stagkobling på servomotor og senter av sirkelen dannet av r_p .

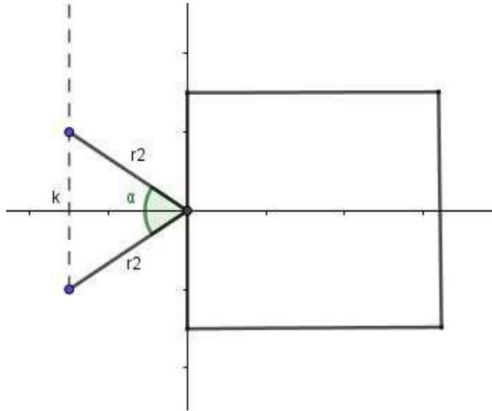
$$x = r_p * \cos(\theta - 90) + \sqrt{l^2 - r_p^2 * \sin^2(\theta - 90)} \quad (2)$$

x vil endre seg med yaw dersom $r_p > 0$. Forskjellen mellom x og den kjente avstanden $r_p + l$ vil være den avstanden pitchmotoren er nødt til å justere for.

k = lengde som må kompenseres for.

x vil aldri være større enn $(l+r_p)$. Lengden som må kompenseres for kan da uttrykkes som i (3).

$$k = (l + r_p) - x \quad (3)$$



Figur 4.3-6 Servomotor i to posisjoner

α = kompenseringsvinkel

r_2 = radius til servomotor.

For å finne ut hvor mye servomotoren som styrer pitch må rotere for å forskyve staget med k kan vi bruke cosinussetningen (4).

$$k^2 = r_2^2 + r_2^2 - 2r_2r_2 * \cos(\alpha) \quad (4)$$

(5) viser likningen uttrykt for α

$$\alpha = \cos^{-1} \left(1 - \frac{k^2}{2 * r_2^2} \right) \quad (5)$$

α må derfor legges til eller trekkes fra hoved styrevinkelen til pitchmotoren.

Det er to forskjellige styringsmoduser for motorene, manuell og autonom. I manuellstyring styres motorene direkte av joysticken på land. Koden er skrevet slik at en løkke kjøres for iterativt legger til

en liten vinkel for hver iterasjon. På denne måten beholder motorene vinkelen selv om joystick returnerer til nullposisjon.

Når dykkerleder har styrt laserstrålen til det han vil peke på kan systemet settes i autonomstyring. Motorene vil da bruke informasjonen fra bevegelsessensoren til å kompensere for bevegelsene til dykkeren og holde laseren i ro.

4.3.3 Batteri

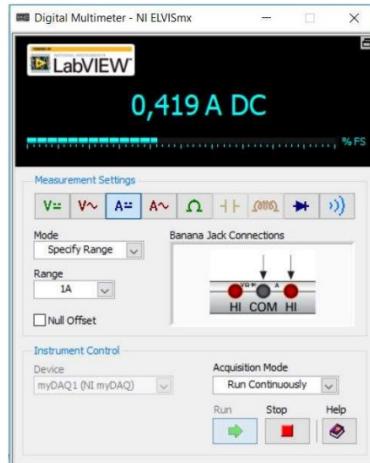
Dersom elektronikken ved dykker skulle forsynes fra land, ville det etter beregninger i Tabell 4.4-3, blitt ett spenningstap på 34,1 % som hadde resultert i en spenning på ca. 8VDC ved dykker. Så lenge utstyret har tilgang til tilstrekkelig spenning, er spenningsfallet i utgangspunktet uinteressant. Men, i NEK400:2014 kap. 9.2.3.1 anbefaler det informative tillegget 52F et maksimalt spenningsfall på 8% for «annet utstyr» med egen lavvolt forsyning, slik som vårt system er bygd opp [12, p. 363]. Av denne grunn ble det valgt en løsning som innebærer en batteripakke som forsyner elektronikken.

Batteriet må lades ved jevne mellomrom, noe som går ut over brukervennligheten og gjør systemet vanskeligere å ta i bruk. I tillegg tar batteriet opp mye plass inne i kapslingen som resulterer i en stor prototype. Systemet må være på fra det blir montert på dykker til dykket er ferdig, noe som kunne vært slått av og på dersom den ble forsynt med spenning fra land. I 7.1 er det forklart en mulighet for å unngå batteri som en del av løsningen.

Batteriet er oppladbart med en micro-USB kabel og leverer 5VDC og 1A. Det har en kapasitet på 2600 mAh, som resulterer i en teoretisk brukstid på fire timer (6).

4.3.4 Relé

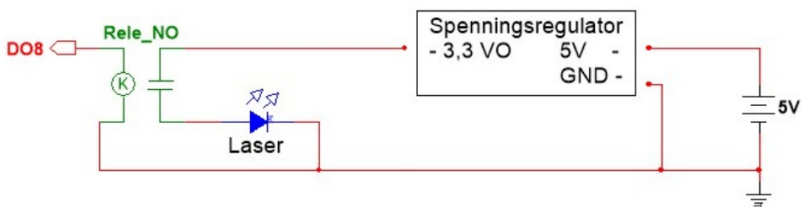
For å kunne forsyne laseren med spenning eksternt ble det laget en elektrisk krets som skulle løse to problemer. Laseren opererer med en spenning på 3,0VDC – 3,5VDC. Mikrokontrolleren har kun 5VDC spenningsforsyning. Det andre problemet var at målinger viste at laseren trekker 419 mA (Bilde 4.3-5).



Bilde 4.3-5 Måling av strømtrekk til laser

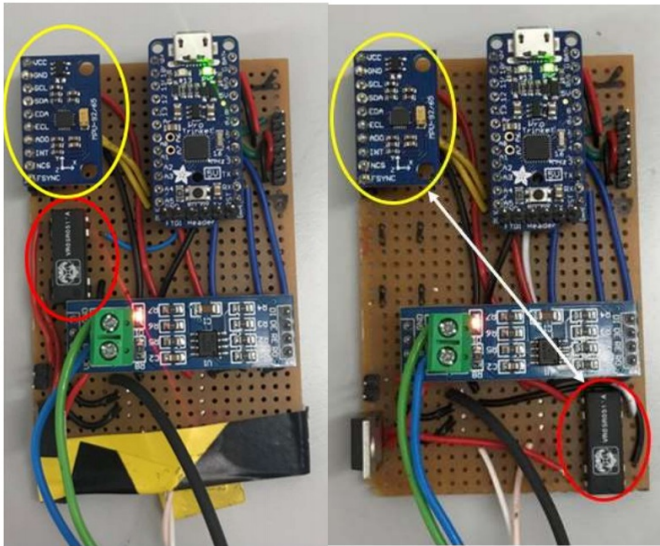
«General Purpose Input/Output» (GPIO) på mikrokontrolleren kan maksimalt levere 20 mA [4]. Spenningen måtte derfor leveres og reguleres ned eksternt og kun styres av mikrokontrolleren.

Løsningen ble å ha en spenningsregulator i serie med et rele. På den måten ble spenningen regulert ned, og releet kunne styres av mikrokontrolleren [13] [14].



Figur 4.3-7 Koblingskjema til laser

Et relé inneholder blant annet en spole og en jernstang, som ved påtrykt spenning lager et magnetfelt som lukker en krets. En bivirkning er at magnetfeltet brer seg utover og kan nå ut til andre komponenter. I første utkast av kretskortet ble bevegelsessensoren og reléet montert like ved hverandre, se Bilde 4.3-6, noe som resulterte i at magnetfeltet til reléet påvirket magnetometeret da reléet ble slått på. Etter feilsøking og testing ble det besluttet å flytte de to komponentene lengre fra hverandre på kretskortet. Resultatet er illustrert på Bilde 4.3-7.



Bilde 4.3-6 Kretskort i kapsling v.1

Bilde 4.3-7 Kretskort i kapsling v.2

4.3.5 Servomotorer

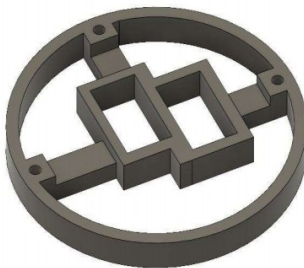
Styringen av laseren skjer ved å kjøre en motor for pitch og en for yaw. Servomotorer med 180 graders rotasjonsvinkel ble valgt da disse var små i størrelse, lett tilgjengelige, stor nok rotasjonsvinkel og relativt lette å programmere.



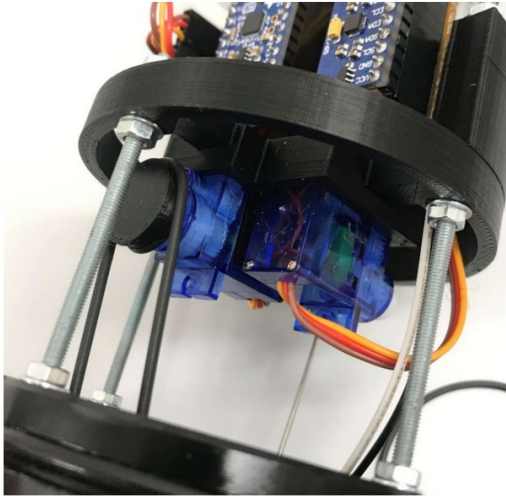
Bilde 4.3-8 Servomotor SG90

Motoren som ble brukt i prosjektet var en SG90. Den er liten, sterk og rask nok, lett tilgjengelig og rimelig. I tillegg er den pulsbreddemodulert noe som gjør at den kan tilkoples en «Puls Width Modulation» (PWM) [15] GPIO-pin på mikrokontrolleren [16].

For å holde motorene på plass og sikre best mulig overføring til slingrebøylen ble det laget en brakett. Denne braketten plasseres bak slingrebøylen og sørger for at servomotorene holdes på plass.



Figur 4.3-8 Brakett for servomotorer



Bilde 4.3-9 Servomotorer i brakett

Til å styre motorene er Arduinobiblioteket «servo.h» tilgjengelig. I dette biblioteket finnes det to funksjoner for å sende styresignaler til motorene. `.write()` som tar grader som argument og `.writemicroseconds()` som tar mikrosekunder som argument. For å finne ut hvilken av funksjonene som var best med tanke på oppløsning og stabilitet ble det utført to tester. Resultatet av testene viste at `.writemicroseconds()` var best. Testoppsett og fremgangsmåte er beskrevet i kapittel 5.1.

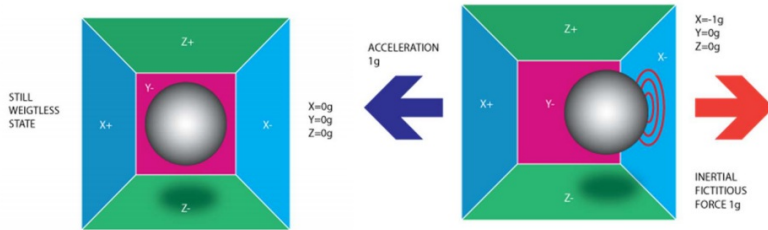
4.3.6 Bevegelsessensor

Systemet må kartlegge dykkerens orientering og bevegelser av to grunner:

1. For å kunne stabilisere laserpekeren i henhold til bevegelsene til dykkeren må disse bevegelsene måles. Dette gjøres ved hjelp av et akselerometer og et gyroskop. Målingene skal videre brukes til å styre servomotorer som skal motvirke bevegelsene.
2. Kompassretningen til dykkeren skal sendes til overflaten for avlesning hos dykkerleder. For å måle dette brukes et magnetometer. Målingene fra magnetometeret brukes til å regne ut orienteringen til dykkeren relativ til nord.

4.3.6.1 Akselerometer

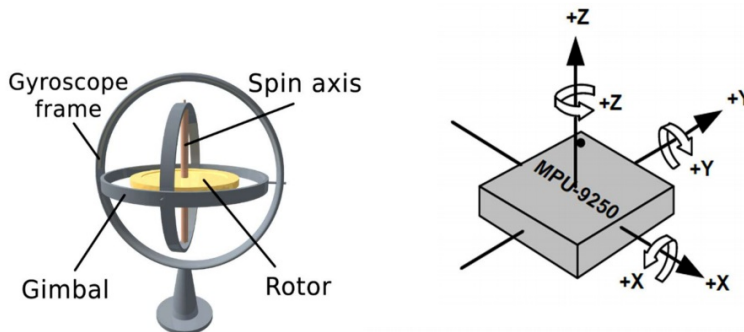
Akselerometer er et instrument som måler akselerasjon påført instrumentet. Virkemåten er at en del kan beveges fritt, mens en annen er i ro mot det som skal måles. Avstanden mellom objektene kan da måles og blir et mål på akselerasjonen. Akselerometer fås i både en- og tre-akse utforminger [17]. Figur 4.3-9 og Figur 4.3-10 illustrerer prinsippet til et tre-akse akselerometer



Figur 4.3-9 Illustrasjon akselerometer i ro [15] Figur 4.3-10 Illustrasjon akselerometer i bevegelse

I dette prosjektet ble et tre-akse akselerometer benyttet for å vite dykkerens orientering i forhold til tyngdekraften.

4.3.6.2 Gyroskop



Figur 4.3-11 Illustrasjon gyroskop [33] Figur 4.3-12 Illustrasjon akser av gyro og akselerometer [32]

Det klassiske gyroskopet er bygget opp av en rotor med en aksling gjennom senter. Rundt denne akslingen er det tre ringer med hver sin aksling til neste ring som gjør at rotoren kan beveges fritt i tre dimensjoner. Dersom rotoren har vinkelfart vil den prøve å holde seg i den orienteringen den var da den fikk hastigheten. Ringene rundt rotoren kan dermed beveges fritt rundt rotoren og den vil holde orienteringen [18]. Dette prinsippet kan brukes til å måle rotasjonen til et objekt.

4.3.6.3 Magnetometer

Magnetometer er et instrument som måler det magnetiske feltet rundt sensoren. Det vil si både styrken og retningen til feltet. Sensoren kan dermed brukes til å måle de magnetiske feltlinjene rundt jorda for å anslå dykkerens kompassretning [19].

4.3.6.4 Sensor

Disse tre måleinstrumentene fås som «Mikroelektromekaniske Systemer» (MEMS). Hvis disse måleinstrumentene kombineres til en integrert krets kalles det «Attitude and Heading Reference System» (AHRS).

Ved å plassere en slik AHRS på dykkeren kan vi måle alle krefter og rotasjoner, samt orienteringen over ni frihetsgrader. En integrert krets som har denne funksjonaliteten er MPU-9250. Den har også elektronikk som sørger for enkelt oppsett og kommunikasjon med mikrokontrollere.

Kommunikasjonen mellom MPU-9250 og «Adafruit Pro Trinket» mikrokontroller foregår over I²C buss. For å håndtere informasjonen som ble mottatt ble kodebiblioteket «MPU9250.h» benyttet [20]. Dette biblioteket gjør det enkelt å endre innstillinger slik at sensoren gjør best mulige målinger under de arbeidsforholdene den skal operere i.

Tabell 4.3-1 MPU-9250 innstillinger

Gyroskop	±500°/s
Akselerometer	±2g
Digital Low Pass Filter bandwidth	20Hz
Data output Rate	200Hz

Biblioteket har også funksjoner for å omgjøre datastrømmen til enheter som lettere kan brukes videre i programmet. Tabell 4.3-2.

Tabell 4.3-2 Ingeniørvitenskaplige verdier

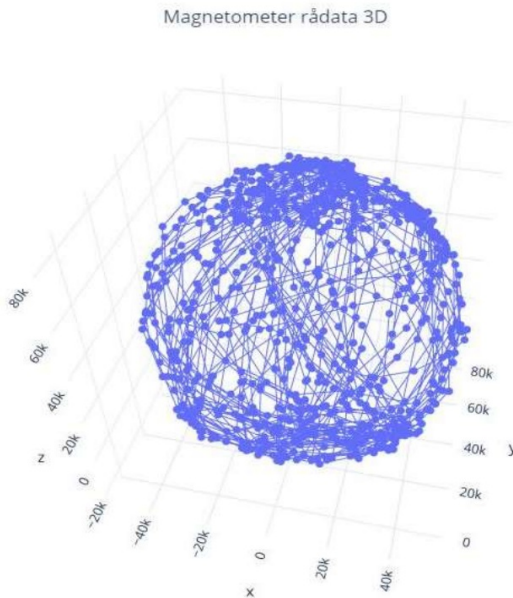
Gyroskop	Radianer per sekund [Rad/s]
Akselerometer	Meter per sekund per sekund [m/s^2]
Magnetometer	Mikro Tesla [μT]

4.3.6.5 Kalibrering

Tid og endring av miljøet enheten skal operere i kan føre til at målingene instrumentene gjør ikke samsvarer med virkeligheten. For å sørge for at målingene er samstemte med realiteten er det helt avgjørende med god kalibrering av utstyret.

Magnetometeret er det instrumentet som har desidert størst utbytte av en god kalibrering. Dette på grunn av at jordens magnetfelt varierer sterkt både i styrke og retning alt etter hvor på jorden enheten befinner seg. Dette magnetfeltet blir også sterkt påvirket dersom det finnes jern som for eksempel batterier eller konstruksjon i nærheten av sensoren.

Før selve kalibreringen kan skje må det kartlegges et utgangspunkt. Man er nødt til å vite hvor mye feil målingene er før man kan finne ut hvordan man kan kompensere for feilene. I og med at dette er et tre-akse magnetometer kan man avlese magnetfeltets styrke i X, Y og Z retning kontinuerlig. Hver av disse målingene kan representere et punkt i rommet. Ved å kontinuerlig loggføre disse punktene samtidig som man beveger magnetometeret rundt alle akser oppnår man en sfære av punkter, se Figur 4.3-13. Hvis denne sfæren ikke er rund og sentrert rundt origo trengs en kalibrering.

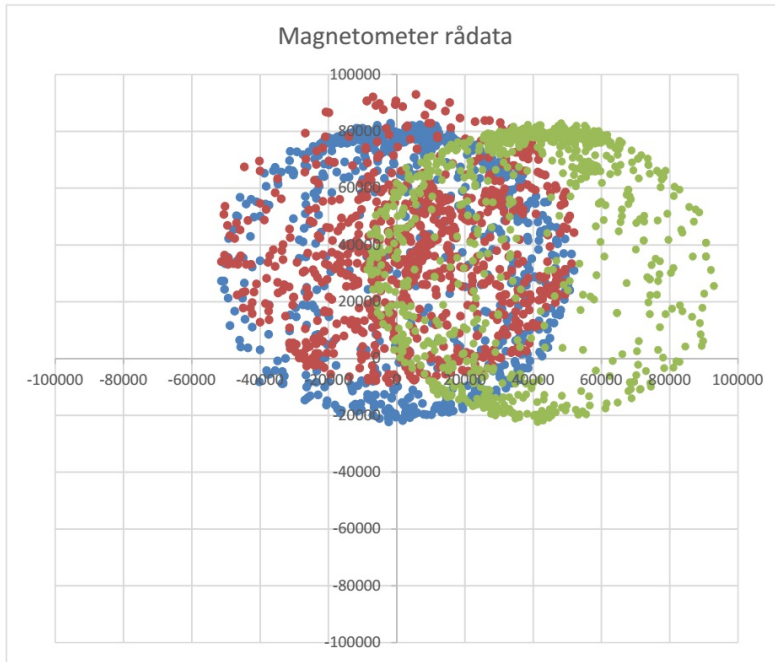


Figur 4.3-13 Magnetometer rådata 3D

For å lettere kunne inspisere om punktene utgjør en sfære med senter i origo kan man se på avbildningene punktene gjør på hvert plan og deretter legge planene over hverandre. Det som kommer tydelig fram ved å se på datasettet på denne måten er hvordan magnetometeret er påvirket av såkalte «hard-iron effects» og «soft-iron effects».

«Hard-iron effects» er når lokale magnetfelt påvirker magnetometeret. Eksempler på dette kan være nærliggende elektronikk eller batteri. Dette gir utslag på målingene ved at senter i sirkelen av punkter forflyttes vekk fra origo. Figur 4.3-14 viser at målingene er kraftig forskjøvet fra origo.

«Soft-iron effects» legger i motsetning til «Hard-iron distortion» ikke til ekstra magnetfelt til målingen, men forvrenger det magnetfeltet som allerede er tilstede. Dette skjer hvis materialer med disse egenskapene er tilstede. Jern og nikkel er eksempler på det [21]. Dette gir utslag på målingene i den form at sirkelen av datapunkter vil bli ellipseformet og rotet med en vinkel. Tabell 4.3-3 viser minste- og største måling for hver av aksene samt differansen mellom dem. Hvis målingen vår hadde vært påvirket av «soft-iron distortion» ville differansen vært forskjellig for hver av aksene. Her ligger alle rundt 100 000.



Figur 4.3-14 Rød:XY, Blå:XZ, Grønn:YZ

Tabell 4.3-3 Soft-iron distorsjon rådata

	MIN	MAKS	DIFFERANSE
Z	-22327,43	82833,07	105160,50
Y	-8518,41	92992,61	101511,02
X	-51295,52	52003,04	103298,56

For å finne ut hvor mye X, Y og Z målingen til magnetometeret skal justeres brukes programmet Magneto v1.2. Dette programmet leser av en tekstfil med de samme rådataene som ble brukt til å lage Figur 4.3-13 og styrken på magnetfeltet til den geografiske lokasjonen enheten skal være i.

For å finne magnetfeltet i Bergen ble det brukt en modell fra «National Center for Environmental Information» [22].

Tabell 4.3-4 Estimert for magnetiskfeltstyrke, Bergen

Magnetic Field							
Model Used: WMM2015V2							
Latitude: 60° 23' 26" N							
Longitude: 5° 19' 57" E							
Elevation: 0.0 km Mean Sea Level							
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2019-04-05	1° 15' 57"	72° 56' 21"	15,015.5 nT	15,011.8 nT	331.7 nT	46,927.2 nT	51,179.5 nT
Change/year	0° 13' 28"/yr	0° 0' 38"/yr	3.4 nT/yr	2.1 nT/yr	58.9 nT/yr	43.5 nT/yr	42.5 nT/yr
Uncertainty	0° 26'	0° 13'	133 nT	138 nT	89 nT	165 nT	152 nT

Magneto 1.2

Norm of Magnetic or Gravitational field:
(same units as the raw measurements)

Raw magnetic measurements (h) file:

Combined bias (b):

Correction for combined scale factors,
misalignments and soft iron (A⁻¹):

<input type="text" value="1.023141"/>	<input type="text" value="0.028073"/>	<input type="text" value="0.012095"/>
<input type="text" value="0.028073"/>	<input type="text" value="0.962630"/>	<input type="text" value="0.029497"/>
<input type="text" value="0.012095"/>	<input type="text" value="0.029497"/>	<input type="text" value="0.966487"/>

$$h_{cal} = A^{-1} * (h - b)$$

Combined scale factors, misalignments
and soft iron (A):
(for comparison to MagCal)

<input type="text" value="0.978290"/>	<input type="text" value="-0.028181"/>	<input type="text" value="-0.011383"/>
<input type="text" value="-0.028181"/>	<input type="text" value="1.040605"/>	<input type="text" value="-0.031407"/>
<input type="text" value="-0.011383"/>	<input type="text" value="-0.031407"/>	<input type="text" value="1.035776"/>

From: www.sailboatinstruments.blogspot.com

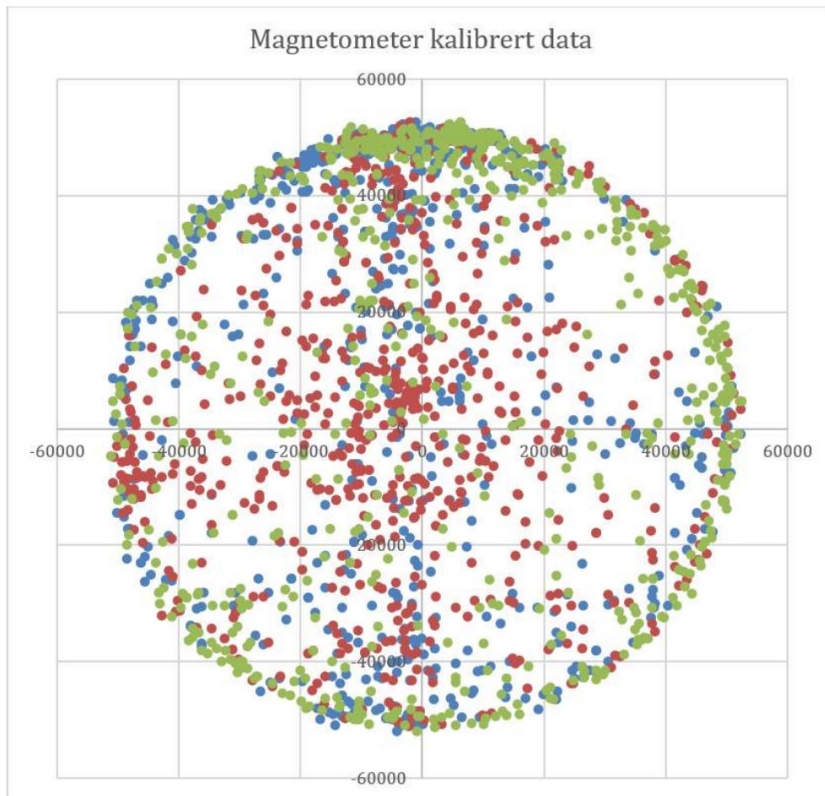
Figur 4.3-15 Skjermklipp Magneto v1.2 rådata

Disse korreksjonene ble så implementert i koden (Figur 4.3-16). Deretter ble hele prosessen gjentatt for å bekrefte at kalibreringen var vellykket.

```
Xm_off = IMU.getMagX_uT()*1000.0 - 14950.274543;
Ym_off = IMU.getMagY_uT()*1000.0 - 43760.798884;
Zm_off = IMU.getMagZ_uT()*1000.0 - 18703.943413;

Xm = (1.023141*Xm_off + 0.028073*Ym_off + 0.012095*Zm_off)/1000.0;
Ym = (0.028073*Xm_off + 0.962630*Ym_off + 0.029497*Zm_off)/-1000.0;
Zm = (0.012095*Xm_off + 0.029497*Ym_off + 0.966487*Zm_off)/1000.0;
```

Figur 4.3-16 Korrigerte magnetometerverdier



Figur 4.3-17 Rød:XY, Blå:XZ, Grønn:YZ

Tabell 4.3-5 Soft-iron distortjon kalibrert

	Min	Maks	Differanse
Z	-51932.7188	52572.8242	104505.543
Y	-51076.2773	52537.5625	103613.84
X	-50874.9219	52229.2969	103104.219

Magneto 1.2

Norm of Magnetic or Gravitational field:
(same units as the raw measurements)

Raw magnetic measurements (h) file:

Combined bias (b):

Correction for combined scale factors, misalignments and soft iron (A^{-1}):

<input type="text" value="1.004704"/>	<input type="text" value="0.003592"/>	<input type="text" value="0.003475"/>
<input type="text" value="0.003592"/>	<input type="text" value="1.004540"/>	<input type="text" value="0.000822"/>
<input type="text" value="0.003475"/>	<input type="text" value="0.000822"/>	<input type="text" value="1.014453"/>

$$h_{cal} = A^{-1} \cdot (h - b)$$

Combined scale factors, misalignments and soft iron (A):
(for comparison to MagCal)

<input type="text" value="0.995342"/>	<input type="text" value="-0.003556"/>	<input type="text" value="-0.003406"/>
<input type="text" value="-0.003556"/>	<input type="text" value="0.995494"/>	<input type="text" value="-0.000794"/>
<input type="text" value="-0.003406"/>	<input type="text" value="-0.000794"/>	<input type="text" value="0.985765"/>

From: www.sailboatinstruments.blogspot.com

Figur 4.3-18 Skjermbilde Magneto v1.2 kalibrert data

For å bekrefte resultatet av kalibreringen gjøres prosessen en gang til. Nå loggføres derimot de kalibrerte verdiene. Figur 4.3-17 viser at målingene nå er sentrert rundt origo. Tabell 4.3-5 viser at resultatene har likt spenn over alle aksene, noe som betyr at sfæren av punkter ikke er ellipseformet. Figur 4.3-18 viser en betydelig forbedring etter kalibrering. For å oppnå enda bedre resultater og redusere feilmarginen i målingene kan det konstrueres en rigg som sørger for eksakt lik bevegelse av magnetometeret under datainnsamlingsprosessen, men under en produktutviklingsfase er dette unødvendig.

En tilsvarende prosess kan brukes for å kalibrere akselerometeret. Loggføre X, Y og Z-verdier samtidig som akselerometeret roteres om alle dets akser. Bevegelsene må være rolige for å ikke påføre andre krefter enn gravitasjonskreftene da det er gravitasjonskreftene som er interessante i dette tilfellet. For å normalisere verdiene er alle målingene konvertert til milliGalileo. Figur 4.3-19 og Figur 4.3-20 viser akselerometeret sin nøyaktighet. Disse målingene ble ansett som tilfredsstillende for dette prosjektet. Kalibrering av akselerometeret ble derfor ikke gjennomført [23].

BO19E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker

Magneto 1.2

Norm of Magnetic or Gravitational field:
(same units as the raw measurements)

Raw magnetic measurements (h) file:

Combined bias (b):

Correction for combined scale factors,
misalignments and soft iron (A^{-1}):

<input type="text" value="10.235697"/>	<input type="text" value="-0.116954"/>	<input type="text" value="-0.202396"/>
<input type="text" value="-0.116954"/>	<input type="text" value="9.947318"/>	<input type="text" value="-0.051314"/>
<input type="text" value="-0.202396"/>	<input type="text" value="-0.051314"/>	<input type="text" value="10.226376"/>

$$h_{cal} = A^{-1} * (h - b)$$

Combined scale factors, misalignments
and soft iron (A):
(for comparison to MagCal)

<input type="text" value="0.097749"/>	<input type="text" value="0.001159"/>	<input type="text" value="0.001940"/>
<input type="text" value="0.001159"/>	<input type="text" value="0.100546"/>	<input type="text" value="0.000527"/>
<input type="text" value="0.001940"/>	<input type="text" value="0.000527"/>	<input type="text" value="0.097827"/>

From: www.sailboatinstruments.blogspot.com

Figur 4.3-19 Magneto v1.2 akselerometerdata



Figur 4.3-20 Blå:XY, Orange:XZ, Grå:YZ

Gyroskopet kalibreres ved hjelp av en kalibreringsfunksjon som kjøres hver gang mikrokontrolleren startes. Det er derfor viktig at enheten er i ro under oppstart.

4.3.7 Kombinere sensormålingene

Hver av de tre sensorene har sine styrker og svakheter. For eksempel kan akselerometeret virke som et godt valg for måling av pitch da akselerometeret hele tiden vet hvilken vei som er ned vil man kunne regne ut pitch med trigonometri, men akselerometeret er derimot veldig sensitivt for vibrasjoner og støt, som oppleves som støy i målingene. Denne støyen kan ødelegge hele akselerometermålingen. Man kan også bruke gyroskopet for å måle pitch. Integrerer man vinkelendring over tid får man en relativ vinkel. Denne typen måling er ikke så sensitiv for vibrasjoner men mangler et fast holdepunkt. En liten feilmåling vil akkumuleres over tid og målingen vil drive mer og mer bort fra den faktiske vinkelen.

En løsning til dette problemet er å kombinere både akselerometer og gyroskop for å både få et fast holdepunkt og filtrere bort støy. Det samme kan gjøres for yaw og roll.

Det finnes flere algoritmer for dette der den mest kjente er Kalman filteret [24]. Dette er et svært nøyaktig filter, men krever mye utregningskraft og er derfor ikke så godt egnet for bruk i mikrokontrollere.

I dette prosjektet har vi benyttet oss av Madgwickfilteret. Dette filteret bruker kvaternioner, som er et firedimensjonalt komplekstall som kan brukes til å representere orienteringen til et objekt i tre dimensjoner [25]. Fordelen med å bruke denne matematikken framfor andre alternativer til å representere rotasjon, som Eulervinkler og rotasjonsmatriser er at kvaternioner er kompakte og krever mindre utregningskraft [26]. At en prosess krever lite datakraft er nødvendig når man kjører operasjonen på en mikrokontroller som har begrenset med kapasitet. Madgwickfilteret er derfor veldig mye brukt i arduinomiljøet, noe som igjen fører til at gode kodebiblioteker blir tilgjengelige [27].

4.4 Utregninger og koblingsdiagram

4.4.1 Utregninger

Strømutregning er gjort for å dimensjonere batterikapasitet og for å få oversikt over hvor mye strøm systemet trekker. Det er tatt utgangspunkt i datablad, men også målt strøm med multimeter (markert med *).

Tabell 4.4-1 Strømutregning ved dykker

Strømutregning ved dykker		
MPU9250	3,7	mA
SG90	100,0	mA*
SG90	100,0	mA*
Laser	419,0	mA*
Adafruit Pro Trinket	22,0	mA*
Spenningsregulator	5,0	mA
MAX485	0,3	mA
Totalt	650,0	mA

Tabell 4.4-2 Strømutregning på land

Strømutregning på land		
1,54" miniskjerm	41,0	mA*
MAX485	0,3	mA
Joystick	0,0	mA*
Adafruit Pro Trinket	22,0	mA*
Totalt	63,3	mA
Totalt målt:	71,0	mA*

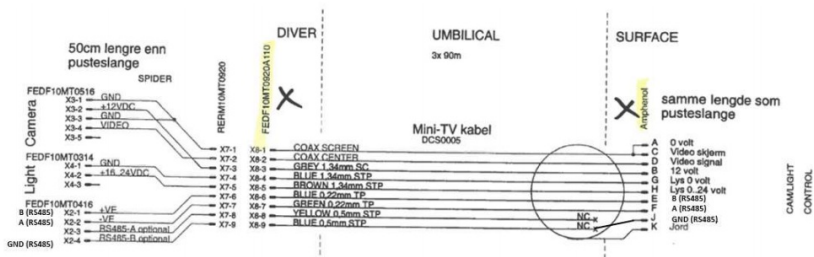
Tabell 4.4-3 Spenningstap over eventuell forsyningskabel

Spenningstap over STP 0,5mm ²		
Resistivitet	0,0175	Ωmm ² /m
l	90,00	m
A	0,5	mm ²
Resistans i leder (Resistivitet * 2*l/A)	6,30	Ω
Spenningstap (Resistans * I)	4,10	V
Prosent av 12 V	34,13	%
Effekttap (I*Spenningstap)	2,66	W

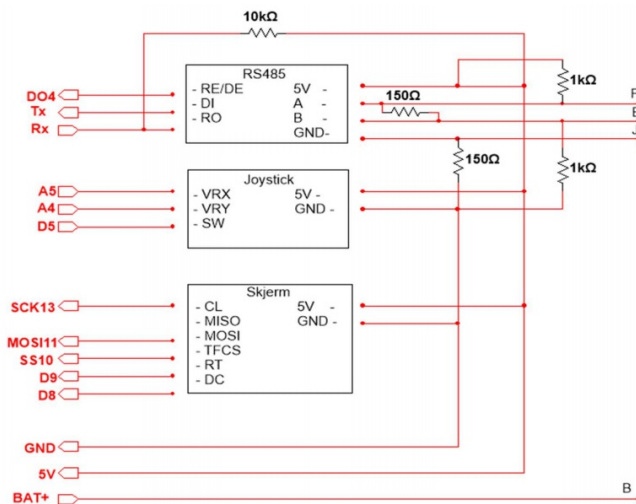
Etter uttrekninger i Tabell 4.4-1, ble det valgt en batteripakke på 5VDC som kan levere 1A, og har en kapasitet på 2600 mAh. Dette resulterer i en teoretisk brukstid på 4 timer.

$$h = \frac{2600mAh}{650mA} = 4,0h \quad (6)$$

4.4.2 Koblingsdiagram

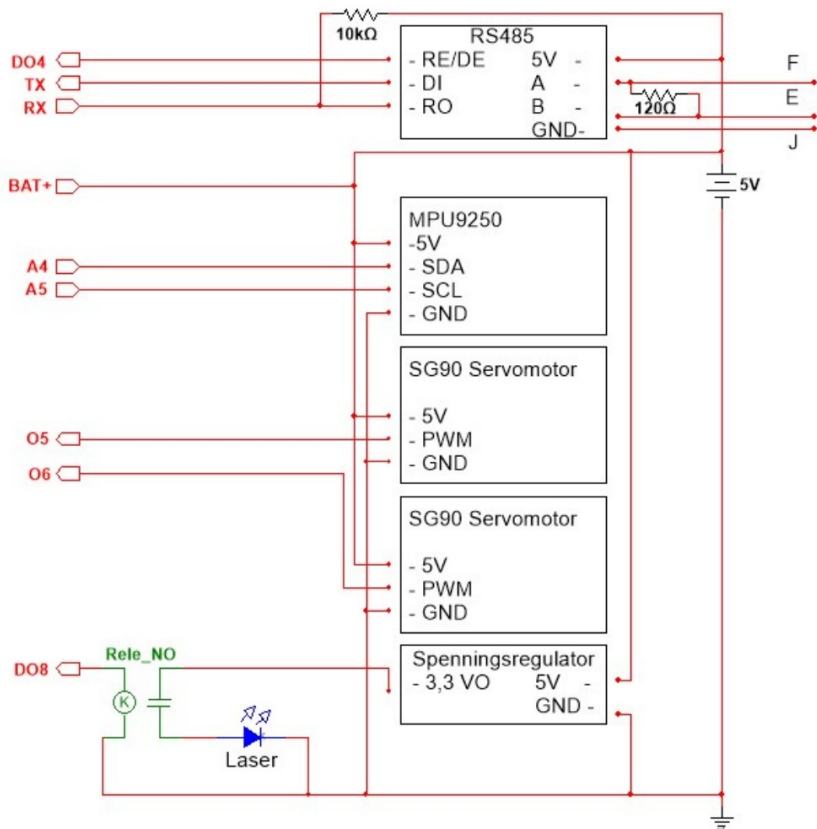


Figur 4.4-1 Koblingskjema Mini-TV kabel



Figur 4.4-2 Koblingskjema i koblingsboks på land

BO19E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker



Figur 4.4-3 Kablingsskjema i kapsling ved dykker

4.5 Detaljert systemoversikt

4.5.1 Komponentoversikt

I Tabell 4.5-1 finnes komplett komponentoversikt over systemet både på land og ved dykker, samt oversikt over kostnadene for ett system oppgitt i NOK.

Tabell 4.5-1 Komponentoversikt

Komponentoversikt Dykker		Komponentoversikt Land	
SG90 [16]	89,95	Adafruit pro trinket [4]	129,90
Adafruit pro trinket [4]	129,90	Koblingsboks	42,90
Spenningsregulator [13]	35,00	Strømbryter 1-pol [28]	24,90
Hylselist	24,90	Adafruit 1,54" miniskjerm [3]	378,90
Eksperimentkort 100x160mm	59,90	Female 10 pins panelmontert firkant receptacle (3102A18-19S) E.1	240,00
DIL-rele [14]	29,90	Male 10 pins panelmontert firkant receptacle (3102A18-19P) E.1	280,00
120st koblingskabler	39,90	Male plugg for kabel (DCS0005 53420) E.1	800,00
Laserpeker	265,00	300 cm Mini-TV kabel (DCS0005 53420) [29]	324,00
Kapsling + toll	2297,44	Female plugg for kabel (DCS0005 53420) E.1	850,00
Receptacle til kapsling under vann (RERM10MT0416) E.1	1031,00	Joystick	3,65
Pressure sealing cap for receptacle (BER10P) E.1	625,00	MAX485 [30]	3,00
3D-printet slingrebøyle	0,00	3D-printet kretskortholder	0,00
3D-printet monteringsbrett	0,00		
MAX485 [31]	3,00		
MPU9250 [32]	30,00		
Totalt	4660,89	Totalt	3077,25

5 Testing

Fullskala test ble utført på 22 m navlestrengkabel, dette grunnet de ledige ledningsparene som skulle brukes i prosjektet ikke var tilkoblet i kontakten på navlestrengen. Kontakten måtte derfor retermineres i en ende før det var mulig å teste systemet. I og med at navlestrengkablene på 90 m blir brukt til opplæring bortimot daglig var det ikke ønskelig at det skulle gjøres endringer på disse nå. Ett av fire sett med utstyr som brukes til dykking i innendørs dykkertank ble derfor disponert til testing for prosjektet.

5.1 Test av servomotor

For å få servomotorene til å prestere best mulig for denne oppgaven ble det gjort to tester. Disse testene hadde som formål å finne ut av oppløsning, hysteresis og repeterbarheten til motorene.

5.1.1 Test av oppløsning

I kodebiblioteket «servo.h» er den vanligste funksjonen å bruke for å styre en servomotor `.write()`. Denne funksjonen tar hele grader som argument, oppløsningen er derfor på minimum 1 grad og har et arbeidsområde på 0-180 grader. En annen funksjon er `.writemicroseconds()`. Denne funksjonen tar mikrosekunder som argument. Oppløsningen er derfor på ett mikrosekund og et arbeidsområde på 600-2400 mikrosekunder. Testen skulle sjekke om motorene var av høy nok kvalitet til å skille mellom disse funksjonene.

Testen ble utført ved at en laser ble montert på en servomotor tre meter fra en vegg. På veggen henger et ark som er oppdelt i 5 cm seksjoner. Man skulle så telle antall steg motoren brukte for å krysse fire av disse seksjonene, altså 20 cm. Flere steg = bedre oppløsning. Testen ble utført to ganger hver retning for å finne et gjennomsnitt.

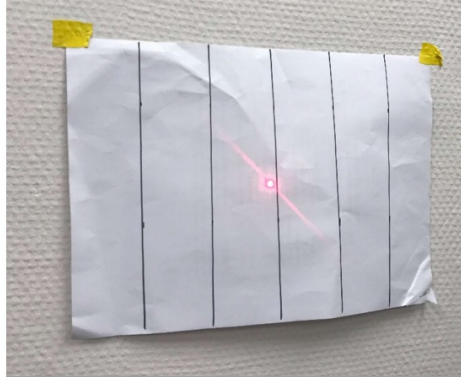
Tabell 5.1-1 Testresultater oppløsning

Antall steg på 20cm		
	Venstre til høyre	Høyre til Venstre
<code>.writemicroseconds()</code>	9.5	10
<code>.write()</code>	5	4.5

$$Oppløsning_{\mu s} = \tan^{-1}\left(\frac{0,2}{3,0}\right) * \frac{1}{antall\ steg} \approx 0,38 - 0,4^{\circ} \quad (7)$$

$$Oppløsning_{write() } = \tan^{-1}\left(\frac{0,2}{3,0}\right) * \frac{1}{antall\ steg} \approx 0,76 - 0,85^{\circ} \quad (8)$$

Tabell 5.1-1, (7) og (8) viser at oppløsningen blir tilnærmet doblet av å bruke `.writemicroseconds()` i motsetning til `.write()`. Grunnen til at `.write()` ikke har 1° oppløsning i (8), er at bevegelsen til laseren var så stor for hvert steg at laseren beveget seg utfor de oppmålte 20cm på siste steg. Derfor vil det se ut som om den har bedre oppløsning enn realiteten.



Bilde 5.1-1 Test av oppløsning

5.1.2 Test av hysteres i motor

Under testing av oppløsning ble det lagt merke til det som kan antas som hysteres i servomotoren. I det motoren skulle skifte retning fra venstre til høyre og omvendt var det ingen bevegelse i løpet av flere inkrementeringer av vinkelen. For å finne ut hvor mye det var snakk om og om det var noen forskjell på om motoren ble kjørt ved `.write()` eller `.writemicroseconds()` utførte vi en test.

Denne testen ble utført ved at motoren ble kjørt en retning for å så forsøke å snu retning. Antall grader eller mikrosekund fra første inkrement motsatt retning av det den nylig kjørte i ble så logget. Begge retninger ble testet to ganger og gjennomsnittet ble brukt i utregningene.

Tabell 5.1-2 Motorslark test

Antall enheter for å snu retning		
	Venstre til høyre	Høyre til venstre
<code>.writemicroseconds()</code> [μ s]	32.5	47.5
<code>.write()</code> [$^{\circ}$]	4	5

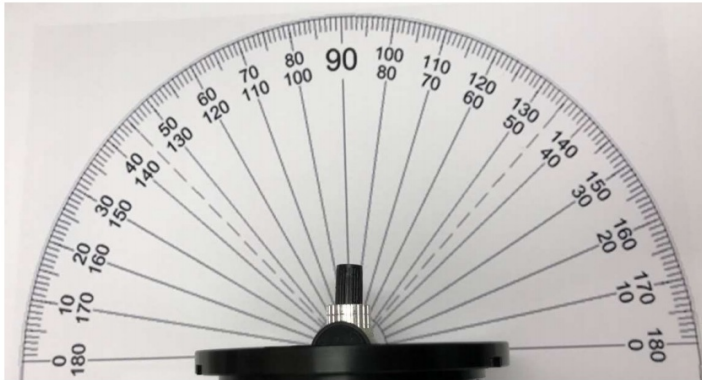
$$Slark_{\mu s \text{ venstre}} = \frac{180}{2000 - 1000} * 32,5 = 5,85^{\circ} \quad (9)$$

$$Slark_{\mu s \text{ høyre}} = \frac{180}{2000 - 1000} * 47,5 = 8,85^{\circ} \quad (10)$$

Dette betyr i praksis at laserstrålen ikke vil kunne låses helt fast i en retning. Når dykkeren endrer retning vil denne hysteresen føre til at dykkeren «drar med seg» strålen et lite stykke før kompenseringen begynner.

5.1.3 Test av utslag på laser

I koden er laseren programmert til å vandre +/-45 grader i både x- og y-retning ut fra utgangsposisjonen, som er 90 grader. Dette ble verifisert ved hjelp av et enkelt testoppsett som bestod av en gradskive skrevet ut på ett A4-ark. Deretter ble enheten plassert i senter av gradskiven, før laseren ble ført ut til maksimum utslag i begge retninger, både for pitch og for yaw. Ut fra resultatene, som er dokumentert i form av bilder, konkluderes det med at utslaget er som forventet, sett bort fra pitch i 45 grader (Bilde 5.1-5), som har et utslag på ca. 55 grader.



Bilde 5.1-2 Test av utslag - 90 grader



Bilde 5.1-3 Test av utslag - Yaw 45 grader



Bilde 5.1-4 Test av utslag - Yaw 135 grader



Bilde 5.1-5 Test av utslag - Pitch 45 grader



Bilde 5.1-6 Test av utslag - Pitch 135 grader

5.2 Kommunikasjonstest

Denne testen er todelt der den ene delen er å teste funksjonaliteten mellom enhetene og den andre på hvordan systemet håndterer brudd i kommunikasjonen. Testene ble gjennomført på komplett utstyr med navlestreng på 22 m. Fullstendig oversikt over testen kan sees i G.1 .

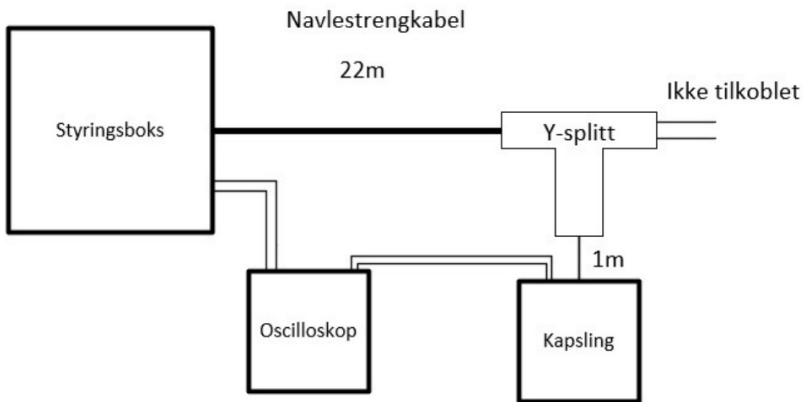
Funksjonalitetstesten gikk ut på å sende alle mulige kommandoer mellom enhetene og se at systemene responderte som tiltenkt. Eksempler på dette er styring, endring av styremodus, aktivering/deaktivering av laser og mottak av kompassretning.

Testen for brudd i kommunikasjonen ble gjort ved å simulere forskjellige hendelser som brudd i kabel, strømtap hos dykker og strømtap på land. Systemet skal reagere ulikt på de forskjellige

hendelsene og varigheten av dem. Feilmeldinger skal vises på skjerm dersom kommunikasjonen er mistet og det skal fremgå tydelig dersom kommunikasjonen blir gjenopptatt.

5.2.1 Signaltest

For å sikre at signalene som blir sendt mellom enhetene er tilstrekkelig ble det utført en signaltest. Testen ble utført på komplett system med 22 m lang mini kabel og tilkoblet Y-splitt, se Figur 5.2-1 for oversikt over testoppsettet. Formålet med testen var å dokumentere hvor mye signalet ble svekket. Oscilloskop ble tilkoblet med en kanal i hver ende av navlestrengen. Signalet som ble sendt ble så sammenlignet med signalet som ble mottatt for å se på dempingen.



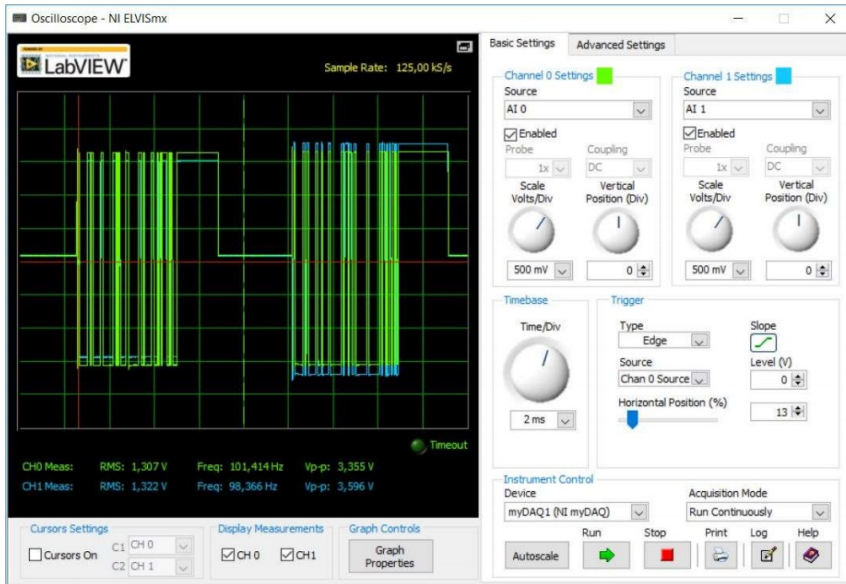
Figur 5.2-1 Oversikt over testoppsett

I Figur 5.2-2 illustreres spenningsforskjellen mellom mottak og sending av meldinger, der CH0 er tilkoblet koblingsboksen, mens CH1 er tilkoblet systemet ved dykker. Det kommer tydelig fram hvilken retning meldingen blir sendt, siden mottatt signal er lavere enn sendt signal, og at det er et spennings tap på den 22 m lange kabelen. Dette tapet kan regnes ut som demping og har enheten [dB]. (11) viser formel for utregning av demping.

$$A = 20 * \lg\left(\frac{U_u}{U_i}\right) dB \quad (11)$$

U_u = Spenning ut av RS485 modulen på ene siden.

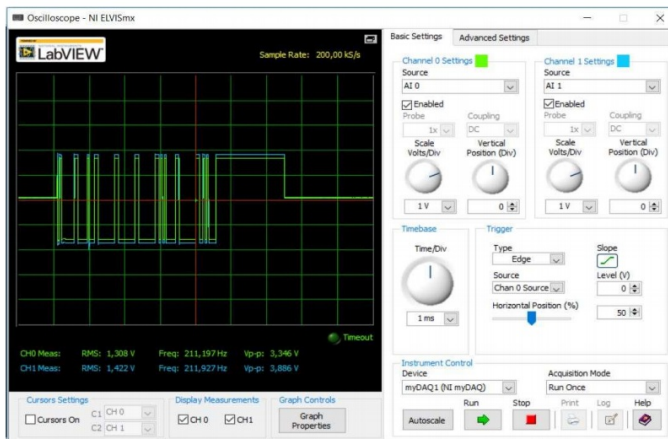
U_i = Spenning inn i RS485 modulen på motsatt side.



Figur 5.2-2 Spenningsforskjell mellom retning på melding

Figur 5.2-3 illustrerer melding sendt fra dykker til land. Likning (12) viser målte verdier satt inn i formel (11).

$$A = 20 * \lg\left(\frac{3,89}{3,35}\right) dB = 1,30 dB \quad (12)$$



Figur 5.2-3 Spenningsforskjell på melding fra dykker til land

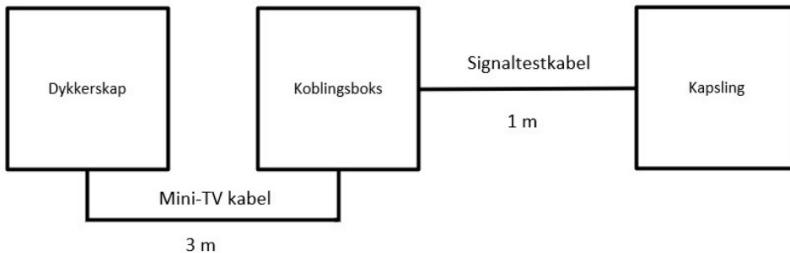
RS485 har en sensitivitet på +/-200mV, som betyr at for å gjenkjenne et signal må mottakeren se signaler over 200mV eller under -200mV [31]. Det vil si en kan ha en teoretisk demping på 19,8dB (13), og fortsatt registrere signal.

$$A = 20 * \lg\left(\frac{3,89}{0,4}\right) dB = 19,8dB \quad (13)$$

Dette oppsettet har en demping på 1,3dB, som resulterer i sterke og gode signal. Det er derfor rimelig å anta at signalene hadde vært tilstrekkelige selv på en 90 m kabel.

5.3 Test med spenning fra dykkerskap

Kobles opp med 3 m lang skjøtekabel mellom dykkerskap og koblingsboks, og videre en 1 m lang signaltestkabel, som vist i Figur 5.3-1. Dette for å verifisere at koblingsboksen kan bli forsynt med spenning fra dykkerstasjonen. Elektronikken i koblingsboksen fikk spenning fra kabelen til videokameraet, og klarte å kommunisere med systemet ved dykker samtidig.

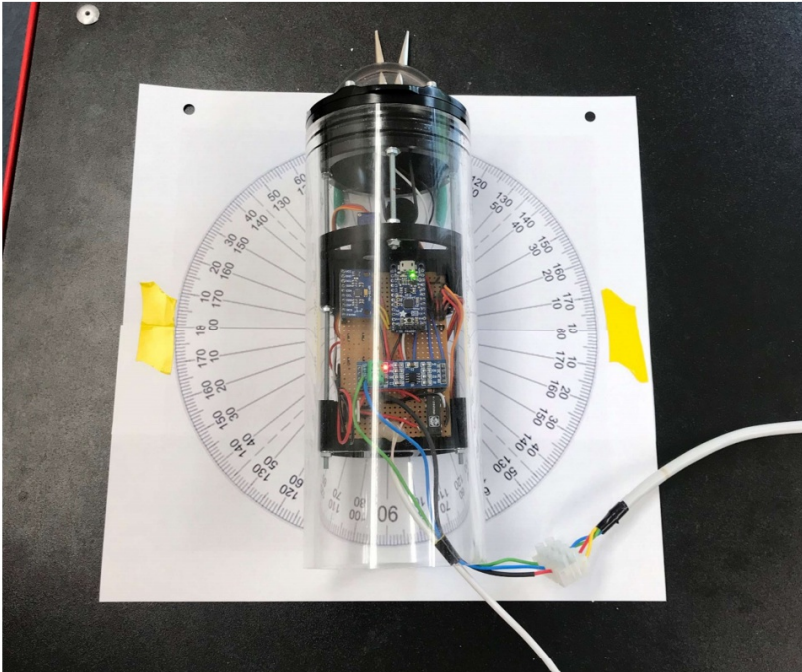


Figur 5.3-1 Oppsett for spenningstest fra dykkerskap

5.4 Test av kompass

Denne testen skulle være todelt der første del gikk ut på å se at kompasset endret riktig antall grader ved en gitt rotasjon. Den andre skulle sammenligne kompassretningen med et analogt kompass for å måle nøyaktigheten.

I den første testen ble utstyret plassert på en 360° gradskive og deretter rotert. Endringen på rotasjonen ble så sammenlignet med endringen av retning på LCD skjermen.



Bilde 5.4-1 Kompasstest del 1

Her viste det seg at kompassretningen var stabil i den retningen utstyret var plassert under oppstart. Under rotasjon opplevdes en sterk driving av verdien mot den opprinnelige retningen som et settpunkt i en reguleringsløyfe. Hvis oppstartsretningen var 0° og deretter rotert til 90° ville den så vidt være innom 90° før den drev mot 0° og stabiliserte seg der. Det ble testet forskjellige tiltak for å finne ut av hva som skapte denne oppførselen.

- Ikke korrekt kalibrering. Kalibrering ble foretatt gjentatte ganger under de samme forholdene som sensoren skulle operere i og bekreftet korrekt.
- Ikke tilstrekkelig oppdateringsrate på Madgwickfilteret. Filteret skal kunne fungere fint med oppdateringsrate helt ned til 10Hz [25]. Det ble eksperimentert med en rekke forskjellige oppdateringsrater på både filter og datainnsamling fra AHRS. Det ble sjekket og bekreftet at filterets oppdateringsrate var høyere enn datainnsamlingsraten, noe som kreves av filteret.
- Data inn i Madgwickfilteret. Rekkefølgen filteret får data fra programmet er viktig. Filteret er laget slik at det skal kunne brukes uavhengig av hvilken orientering sensoren har. Men utvikleren må bestemme hvilke akser på sensoren som skal representere nord, øst og ned. Dette ble sjekket mot datablad til sensor [32].

Det ble forsøkt å bruke en versjon av Madgwickfilteret som kun baserer seg på akselerometer og gyroskopmålinger. I dette tilfelle endret yaw seg uten driving mot oppstartsretningen. Derimot er dette kun en relativ vinkel som ikke sier noe om den faktiske kompassretningen og vil oppleve at verdien driver da den ikke har en magnetisk måling som kan korrigere. Ut fra dette kan det antas at det er noe med enten magnetometeret, målingen av magnetfeltet eller håndteringen av disse målingene som er årsaken til problemet.

For funksjonalitetens del vil dette innebære at kompassretningen ikke er korrekt. Yaw brukes også i kompenseringen av laserpekeren, her vil det derimot ikke har så stor påvirkning da kompenseringen kun ser på den endring i yaw og ikke retning. Så lenge verdien er stabil vil ikke kompenseringen påvirkes.

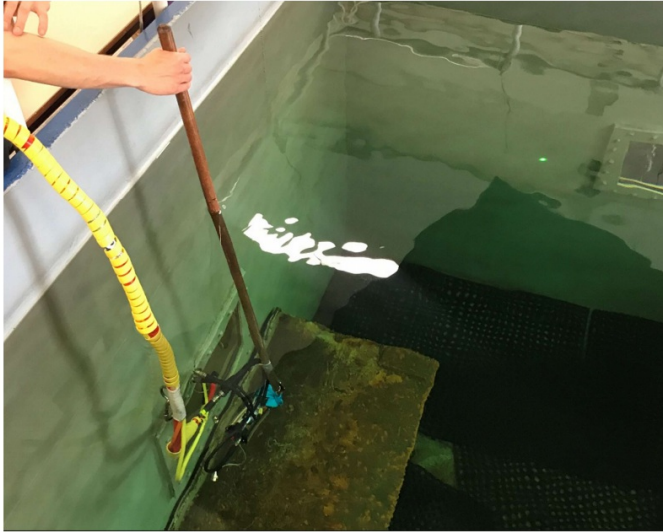
For å teste kompassretningen ble utstyret plassert på et bord med et analogt kompass, men i og med at første test ble mislykket var ikke denne testen interessant.



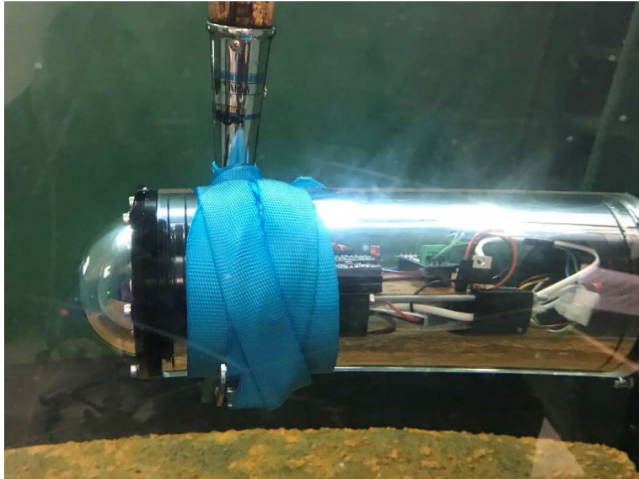
Bilde 5.4-2 Kompassetest del to

5.5 Undervannstest

Som en avsluttende test ble det gjennomført en undervannstest. Denne gikk ut på å sette utstyret i drift og deretter senke det ned i dykkertank.



Bilde 5.5-1 undervannstest



Bilde 5.5-2 Kapsling stropet til båtshake for håndtering under våttest

6 Diskusjon

I forhold til framdriftsplan har det vært få endringer underveis. Testing av utstyr opp mot eksisterende system krevde spesialtilkoplinger med lang leveringstid. Vi ble advart mot dette og fikk bestilt tidlig, dette til tross kom delene senere enn planlagt og testing ble derfor forskjøvet i tidsplanen.

Elektronikk som ble bestilt fra utlandet fikk to uker ekstra lang leveringstid da bestillingen ble lagt i starten av den kinesiske nyttårsfeiringen. Noen av delene som ble levert var også feil i henhold til spesifikasjonene som var gitt på nettsidene eller defekt. Et eksempel på dette er skjermen som ikke hadde samme kommunikasjons topologi som angitt og var derfor ubrukelig for vårt prosjekt. Vi måtte derfor bruke en mindre skjerm en planlagt som det var mulig å anskaffe lokalt.

Å få til et fungerende digitalt kompass viste seg å være veldig utfordrende å implementere i vårt prosjekt. Det har vært et konstant problem gjennom hele prosjektperioden, som diskutert i 0, og vil være et av hovedelementene i veien videre.

Til tross for hindringene er vi tilfreds med resultatet. Hele gruppen arbeidet jevnt gjennom hele prosjektperioden.

7 Konklusjon

Målet med oppgaven var å lage et system som kan fungere som et tilleggsutstyr for dykkerleder som en del av kommunikasjon med dykker. Oppgaven er i stor grad utført, der dykkerleder kan styre laser ved hjelp av joystick fra land, og laser kan kompensere for dykkerens bevegelser gitt kompassretningen har stabilisert seg. Systemet er intuitivt og oversiktlig. Fokus på brukervennlighet har vært sentralt gjennom hele prosjektperioden. Systemet virker som ønsket foruten at kompassretning relativ til nord ikke er fungerende per nå.

7.1 Videre arbeid

Videre utvikling av produktet er nødvendig før det kan tas i bruk på et profesjonelt nivå.

- Størrelsen på utstyret ved dykker er nødt til å reduseres for at det ikke skal være til hindring under dykket. Hvis systemet kan forsynes med strøm fra land kan batteripakken fjernes og kretskortet kan bygges mer kompakt. Dette vil føre til en kraftig reduksjon i størrelse.
 - Det kan gjøres ved å kjøpe ny Y-splitt ved dykker der 12VDC fra spenningsforsyningen til videokameraet er lasket til det ene ledningsparet i kabelen til systemet ved dykker. På grunn av den korte lengden på kabelen hadde spenningsfallet vært neglisjerbart.
- Optimalisere styringskoden og investere i servomotorer av høyere kvalitet for å øke presisjonen. Håndtering av sensorverdier i Madgwickfilteret kan optimaliseres for å møte krav om hurtighet og nøyaktighet enda bedre.
- Erstatte dagens laser med en som er bedre egnet. Laseren som brukes i dag er ikke bygget for å være på over lengre perioder. Dette fører til varmeutvikling i laseren, svekket laserstråle og økt strømtrekk. En laser som er bygget for å være på over lengre perioder bør derfor brukes.
- Programmere muligheter for å kalibrere bevegelsessensor uten å gjøre fysiske endringer på systemet.
- Lage systemet fysisk mer robust, og enklere å reparere dersom noe skulle gå galt
 - Bare bruke syrefast eller plastisk materiale i kapsling, da det kan oppstå kondens inne i kapslingen som kan føre til erosjon/rust.
 - Lage systemet i kapsling vannrett dersom det skulle komme vann inn i kapslingen. Dette kan gjøres med støpning av kretskort med et silikonbasert støpemiddel eller lignende, og ville begrenset eventuelle skader betydelig.
- Forbedre koden slik at den både blir mer robust og raskere.
- Implementere en større skjerm på land som gjør det enklere å bruke.

8 Referanser

- [1] Wikipedia, «Wikipedia,» [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/H%C3%B8gskulen_p%C3%A5_Vestlandet#Dykkerutdanning. [Funnet 21 Januar 2019].
- [2] HVL, «HVL,» [Internett]. Available: <https://www.hvl.no/studier/dykkerutdanning/>. [Funnet 21 Januar 2019].
- [3] FridaLCD, *Specifications TFT-LCD module*, Shenzhen: Frida LCD, 2017.
- [4] Adafruit Industries, *Introducing Pro Trinket*, Adafruit Industries, 2018.
- [5] S. M. E. W. Deon Reynders, *Practical Industrial Data Communications : Best Practice Techniques*, Elsevier Science & Technology, 2004.
- [6] F. Leens, «IEEE,» 27 Januar 2009. [Internett]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.galanga.hvl.no/document/4762946/authors#authors>. [Funnet 15 Februar 2019].
- [7] Texas Instrument, «Texas instrument,» [Internett]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/snla049b/snla049b.pdf>. [Funnet 20 Februar 2019].
- [8] Esterline, *Catalog M Series*, 2016.
- [9] R. M. Pope og E. S. Fry, «Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements,» *Optical Society of America*, 1997.
- [10] Tolldirektoratet, «Toll,» 28 Februar 2018. [Internett]. Available: <https://www.toll.no/no/varer/laserpekere/>. [Funnet 26 Mars 2019].
- [11] Helse- og omsorgsdepartementet, *Forskrift om strålevern og bruk av stråling*, 2019.
- [12] J. E. Ormbostad, *Montørhåndboka*, Elforlaget, NELFO, 2014.
- [13] STMicroelectronics, *LOW DROP FIXED AND ADJUSTABLE POSITIVE VOLTAGE REGULATORS*, STMicroelectronics, 2005.

- [14] Kjell & Co, *Pinoutdata på 36-110 og 36-111 DIL rele*, 2003.
- [15] G. Gangster, «Instructables,» [Internett]. Available:
<https://www.instructables.com/id/Accelerometer-Gyro-Tutorial/>. [Funnet 13 Februar 2019].
- [16] LuxorParts, *SG90 Datasheet*, LuxorParts, 2017.
- [17] H. Ormestad, «Store Norske Leksikon,» 14 Mars 2018. [Internett]. Available:
<https://snl.no/gyroskop>. [Funnet 10 Mars 2019].
- [18] G. Andresen, «Store Norske Leksikon,» 26 Januar 2018. [Internett]. Available:
<https://snl.no/akselerometer>. [Funnet 10 Mars 2019].
- [19] J. A. Holtet, «Store Norske Leksikon,» 20 Februar 2018. [Internett]. Available:
<https://snl.no/magnetometer>. [Funnet 10 Mars 2019].
- [20] Bolder Flight Systems, «Github,» 25 Desember 2018. [Internett]. Available:
<https://github.com/bolderflight/MPU9250>. [Funnet 28 Januar 2019].
- [21] C. Konvalin, «www.sensormag.com,» 1 Desember 2009. [Internett]. Available:
<https://www.sensormag.com/components/compensating-for-tilt-hard-iron-and-soft-iron-effects>. [Funnet 22 Februar 2019].
- [22] National Centers for Environmental Information, «ngdc.noaa,» [Internett]. Available:
<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml?#igrfwmm>. [Funnet 15 Mars 2019].
- [23] The Pearl Cave Project, «The Pearl Cave Project,» 22 Mai 2015. [Internett]. Available:
<https://thecavepearlproject.org/2015/05/22/calibrating-any-compass-or-accelerometer-for-arduino/>. [Funnet 4 Februar 2019].
- [24] P. B. Andersen, «Store Norske Leksikon,» 26 Januar 2018. [Internett]. Available:
<https://snl.no/kalmanfilter>. [Funnet 10 Mars 2019].
- [25] S. O. Madgwick, «An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays,» 2010.

- [26] Wikipedia, «Wikipedia,» [Internett]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Quaternion>. [Funnet 24 Mars 2019].
- [27] Aster94, «Github,» [Internett]. Available: <https://github.com/aster94/SensorFusion>. [Funnet 16 Mars 2019].
- [28] NELCO, *Datablad 1-polet bryter*, NELCO.
- [29] Cortland, *Fibron BX Cable Datasheet*, Cortland.
- [30] Maxim, *Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*, Maxim, 03.
- [31] Maxim Integrated Products, «Maxim Integrated,» 25 06 2006. [Internett]. Available: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3884>. [Funnet 21 05 2019].
- [32] InvenSense Inc, *MPU-9250 Product Specification*, InvenSense Inc, 2016.
- [33] Wikipedia, «Wikipedia,» 03 April 2019. [Internett]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>. [Funnet 27 April 2019].
- [34] Sci Supply, «Sci supply,» [Internett]. Available: <https://www.sci-supply.com/Green-Laser-Pointer-5mW-532nm-p/ss1178.htm>. [Funnet 5 April 2019].
- [35] A. Fan, «www.analog.com,» Februar 2018. [Internett]. Available: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/how-to-improve-the-accuracy-of-inclination-measurement-using-an-accelerometer.html>. [Funnet 12 Februar 2019].

Appendiks A Lister

A.1 Figurliste

Figur 3.1-1 Utkast til systemoversikt	12
Figur 3.2-2 Oversikt over valgt løsning	15
Figur 4.1-1 "Plug and play" prinsipp	16
Figur 4.2-1 Oversikt over terminering av RS485 kommunikasjonslinjene	21
Figur 4.3-1 absorpsjonsspekter i vann Pope 93	23
Figur 4.3-2 Slingrebøyle for styring av laser i to akser	26
Figur 4.3-3 Tenkt sirkel ved endring i yaw.....	27
Figur 4.3-4 radius for tenkt sirkel	27
Figur 4.3-5 Avstand fra servomotor til seter av tenkt sirkel.....	28
Figur 4.3-6 Servomotor i to posisjoner.....	29
Figur 4.3-7 Koblingskjema til laser	31
Figur 4.3-8 Brakett for servomotorer	33
Figur 4.3-9 Illustrasjon akselerometer i ro [15].....	35
Figur 4.3-10 Illustrasjon akselerometer i bevegelse [15]	35
Figur 4.3-11 Illustrasjon gyroskop [33].....	35
Figur 4.3-12 Illustrasjon akser av gyro og akselerometer [32].....	35
Figur 4.3-13 Magnetometer rådata 3D	37
Figur 4.3-14 Rød:XY, Blå:XZ, Grønn:YZ	39
Figur 4.3-15 Skjermklipp Magneto v1.2 rådata	40
Figur 4.3-16 Korrigerte magnetometerverdier	40
Figur 4.3-17 Rød:XY, Blå:XZ, Grønn:YZ	41
Figur 4.3-18 Skjermklipp Magneto v1.2 kalibrert data.....	42
Figur 4.3-19 Magneto v1.2 akselerometerdata.....	43
Figur 4.3-20 Blå:XY, Orange:XZ, Grå:YZ	43
Figur 4.4-2 Koblingskjema Mini-TV kabel	46
Figur 4.4-3 Koblingskjema i koblingsboks på land	46
Figur 4.4-4 Koblingskjema i kapsling ved dykker	47
Figur 5.2-1 Oversikt over testoppsett	54
Figur 5.2-2 Spenningsforskjell mellom retning på melding.....	55
Figur 5.2-3 Spenningsforskjell på melding fra dykker til land	55
Figur 5.4-1 Oppsett for spenningstest fra dykkerskap	56

A.2 Bildeliste

Bilde 3.1-1 Dykker med SuperLite dykkerhjelme	13
Bilde 3.1-2 SuperLite dykkerhjelme med kamera og lys	13
Bilde 4.1-1 Adafruit Pro Trinket [4]	18
Bilde 4.2-1 Inverse signal mellom linje A og linje B	20
Bilde 4.2-2 Sammenheng mellom overføringshastighet (data rate) og kabel lengde [7]	21
Bilde 4.3-1 Kapsling med kuppel	22
Bilde 4.3-2 Laserpeker [36].....	24
Bilde 4.3-3 Laserenhet.....	24
Bilde 4.3-4 Test av laser i dykkertank	25
Bilde 4.3-5 Måling av strømtrekk til laser	31
Bilde 4.3-6 Kretskort i kapsling v.1	32
Bilde 4.3-7 Kretskort i kapsling v.2	32
Bilde 4.3-8 Servomotor SG90	33
Bilde 4.3-9 Servomotorer i brakett.....	34
Bilde 5.1-1 Test av oppløsning.....	50
Bilde 5.1-2 Test av utslag - 90 grader	52
Bilde 5.1-3 Test av utslag - Yaw 45 grader	52
Bilde 5.1-4 Test av utslag - Yaw 135 grader	52
Bilde 5.1-5 Test av utslag - Pitch 45 grader	53
Bilde 5.1-6 Test av utslag - Pitch 135 grader	53
Bilde 5.4-1 Kompassstest del 1	57



Bilde 5.4-2 Kompassstest del to

Bilde 5.5-1 undervannstest	59
Bilde 5.5-2 Kapsling stropet til båtshake for håndtering under våttest.....	59
Bilde 7.1-1 Informasjon på skjerm	77

Bilde 7.1-2 Feilmelding ved kommunikasjonsbrudd 77

Bilde 7.1-3 Melding om opprettet kommunikasjon 77

A.3 Tabelliste

Tabell 4.1-1 Mikrokontroller på dykker.....	17
Tabell 4.1-2 Mikrokontroller på land:	17
Tabell 4.1-3 Funksjonalitet på mikrokontrollere.....	17
Tabell 4.2-1 Oversikt over kommunikasjonsalternativer	19
Tabell 4.3-1 MPU-9250 innstillinger.....	36
Tabell 4.3-2 Ingeniørvitenskaplige verdier	36
Tabell 4.3-3 Soft-iron distortion rådata.....	39
Tabell 4.3-4 Estimat for magnetiskfeltstyrke, Bergen.....	40
Tabell 4.3-5 Soft-iron distortion kalibrert	41
Tabell 4.4-1 Strømutrekning ved dykker.....	45
Tabell 4.4-2 Strømutrekning på land.....	45
Tabell 4.4-3 Spenningstap over eventuell forsyningskabel.....	45
Tabell 4.5-1 Komponentoversikt.....	48
Tabell 5.1-1 Testresultater oppløsning.....	49
Tabell 5.1-2 Motorslark test.....	51
Tabell 7.1-1 Oversikt over kommandoer.....	78

Appendiks B Forkortelser og ordforklaringer

AHRS	Attitude and heading Reference System
Baud	Bit/s
EMI	Electromagnetic interference
GPIO	General Purpose Input/Output
mA	Milli Ampere
mAh	Milli Ampere Hour
PWM	Pulse Width Modulation
STP	Shielded Twisted Pair
TP	Twisted Pair

Appendiks C Prosjektledelse og styring

C.1 Oppdatert fremdriftsplan

#	Aktivitet	Start Dato	Slutt Dato	Fram drift	Uke	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	w11	w12	w13	w14	w15	w16	w17	w18	w19	w20	w21	w22	w23	w24
						Ansvarlig											SU?							Påske				
1	Forstudie arbeid	7/1	31/1	100 %	K/S																							
1.1	Møte med intern veileder	10/1	10/1	100 %	K/S																							
1.2	Møte med Hvl Dykk.Utd.	18/1	18/1	100 %	K/S																							
1.3	Fremdriftsplan	10/1	17/1	100 %	S																							
1.4	Systemforståelse	10/1	24/1	100 %	K/S																							
1.5	Kravspesifikasjon	21/1	24/1	100 %	K/S																							
2	Metode undervisning	8/1		100 %	Institutt																							
3	Forstudie innlevering	31/1		100 %	K/S																							
4	Bacheloroppgave arbeid			100 %	K/S																							
4.1	Teoristudie	14/1	28/2	100 %	K/S																							
4.2	Bestilling av site komponent	28/2		100 %	K/S																							
4.3	Arbeid med prototype	1/2	13/5	100 %	K/S																							
4.4	Arbeid med kode til system	1/2	13/5	100 %	K/S																							
4.5	Testing	1/3	13/5	100 %	K/S																							
4.6	Første utkast prototype	1/3		100 %	K/S																							
4.7	Ferdig prototype	13/5		100 %	K/S																							
5	Midtveis presentasjon	4/4		100 %	K/S																							
6	Bachelor dokumentarbeid	1/4	31/5	100 %	K/S																							
7	Bachelor oppgave seminar	10/5		100 %	K/S																							
9	Bachelor oppgave innlevering	31/5		100 %	K/S																							
10	Bachelor oppgave presentasjon	7/6		0 %	K/S																							
11	EXPO / Avslutningsfest	13/6		0 %	K/S																							

Beskrivelse til tabell:

K=Kristian Auestad

S=Sverre Fjæra

◆ =Milepæl

SU=Studieuke

C.2 Oppgaveliste

Oppgave	Kategori	Ansvarlig	Status
Sette seg inn i Fusion 360	Teori	Kristian	Fullført og godkjent
Kjøpe powerbank	Bygging	Begge	Fullført og godkjent
kjøpe koblingsboks	Bygging	Begge	Fullført og godkjent
Lage kretskort	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Lage motorbraketter	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Lage holder til laser	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Lage El. Tray	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Joystick håndtak	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Lodding av amphenolkabel	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Skissere systemoversikt	Dokumentasjon	Begge	Fullført og godkjent
Kode kommunikasjon	Koding	Sverre	Fullført og godkjent
Teste kommunikasjon	Testing	Sverre	Fullført og godkjent
Kode styring av laser	Koding	Sverre	Fullført og godkjent
Kode retningsvisning på skjerm	Koding	Kristian	Fullført og godkjent
Full systemtest	Testing	Begge	Fullført og godkjent
Kutte kapsling	Bygging	Begge	N/A
Borre hull i kapsling	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Terminere amphenol kabel mellom boks og dykkerstasjon	Bygging	Kristian	Fullført og godkjent
Frese spor til O-ring	Bygging		N/A
Lage midtveispresentasjon	Dokumentasjon	Begge	Fullført og godkjent
Lage sluttpresentasjon	Dokumentasjon	Begge	Ikke påbegynt
Ta nøyaktige mål av kapsling	Bygging	Begge	Fullført og godkjent
Lage stabil 3.3 volt spenningskilde	Bygging	Sverre	Fullført og godkjent
Hvordan forsyne laser?	Bygging	Sverre	Fullført og godkjent
Skrive rapport	Dokumentasjon	Begge	Pågående
Begrunne valg av mikrokontroller	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Begrunne valg av type motor	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Begrunne valg av laser	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Begrunne valg av bevegelsessensor	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Begrunne valg av kommunikasjonsprotokoll.	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent
Skrive om valg av kapsling	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent
Detaljert systemoversikt	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent
Prinsipper og tanker for systemdesign	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent
Utrekninger strømtrekk.	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent
Utarbeide koblingsdiagrammer	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Sammendrag	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Økonomi	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent
Forord	Dokumentasjon	Kristian	Fullført og godkjent
Prosjektledelse og styring	Dokumentasjon	Sverre	Fullført og godkjent

C.4 Timelogg Kristian

Dato	Kristian	Timer
09.01.2019	Planlagt møte med Mathias/Inge	4
10.01.2019	Holdt oppstartsmøte med Mathias/Inge	1
11.01.2019	Planlagt møte med HVL Dykk.Utd.	1
12.01.2019	Arbeid med tidsplan	2
17.01.2019	Planlegging av møte	1
18.01.2019	Testing av gyro	2
18.01.2019	Første møte HVL dykkerutdanningen	2
19.01.2019	Prototyp jobbing	3
21.01.2019	Arbeid med forstudie	4
23.01.2019	Arbeid med forstudie	4
24.01.2019	Arbeid med forstudie	4
26.01.2019	Prototyp jobbing	3
27.01.2019	Arbeid med forstudie	3
29.01.2019	Studie av relevant teknologi (gyro osv)	5
30.01.2019	Arbeid med forstudie	4
31.01.2019	Arbeid med forstudie	4
06.02.2019	Bachelor jobbing	5
08.02.2019	Koblinger og kapsling	4
11.02.2019	Bestilling, laser og powerbank	5
14.02.2019	Demontering av laser og lodding av mikrokontroller	4
21.02.2019	Oppsett av VS for komm med Adafruit + levering av arbeidstralle	4
25.02.2019	Opplæring og testing i Fusion 360	5
05.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	7
06.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	7
08.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	9
09.03.2019	Teori kalibrering av IMU	8
12.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor + skjerm	7
13.03.2019	Kommunikasjon og servostyring + presentasjon	6
15.03.2019	Kompasskalibrering og sensorfusion	6
19.03.2019	Kompasskalibrering og sensorfusion	8
20.03.2019	Feilsøking	9
22.03.2019	Feilsøking	10
26.03.2019	Programmere skjerm	9
27.03.2019	Retningsvisning på skjerm	9
29.03.2019	Lage kretskort, systemtest med skjerm, hente 3D-printer	8
02.04.2019	Midtveispresentasjon og prototype	9
03.04.2019	Midtveispresentasjon og prototype	9
04.04.2019	Midtveispresentasjon	3
08.04.2019	Rapport	5
09.04.2019	Kabel, koblinger, koblingsboks	9
10.04.2019	Kabel, koblinger, koblingsboks	9
11.04.2019	3D-printing	4

BO19E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker

12.04.2019	Koblingsboks, testing, kretskortdesign	8
19.04.2019	Forord, sammendrag	4
23.04.2019	Prototype, administrativt	7
26.04.2019	Slingrebøyle m/stag -> med hjul	7
28.04.2019	Modellering av braketter	3
29.04.2019	3D-printing	4
02.05.2019	Teori, sensorfusion	6
03.05.2019	Teori, sensorfusion	6
05.05.2019	Testing, sensorfusion	5
07.05.2019	Testing, sensorfusion	7
08.05.2019	Implementering av sensorfusion	8
09.05.2019	Rapportarbeid	7
10.05.2019	Rapportarbeid	7
21.05.2019	Rapportarbeid	8
22.05.2019	Systemtesting +rapportarbeid	8
23.05.2019	Systemtesting + rapportarbeid	8
24.05.2019	Systemtesting + fiksing av feil + rapportarbeid	8
25.05.2019	Systemtesting + fiksing av feil + rapportarbeid	4
26.05.2019	Rapportarbeid	5
27.05.2019	Rapportarbeid	8
28.05.2019	Rapportarbeid	10
29.05.2019	Rapportarbeid	9
30.05.2019	Rapportarbeid	9
Totalt		381

C.5 Timelogg Sverre

Dato	Sverre	Timer
09.01.2019	Planlagt møte med Mathias/Inge	4
10.01.2019	Holdt oppstartsmøte med Mathias/Inge	1
11.01.2019	Planlagt møte med HVL Dykk.Utd.	1
12.01.2019	Arbeid med tidsplan	2
17.01.2019	Planlegging av møte	1
18.01.2019	Testing av gyro	2
18.01.2019	Første møte HVL dykkerutdanningen	2
21.01.2019	Arbeid med forstudie	3
22.01.2019	Arbeid med forstudie	2
23.01.2019	Arbeid med forstudie	3
31.01.2019	Arbeid med forstudie	4
06.02.2019	Bachelor jobbing	5
08.02.2019	Koblinger og kapsling	4
11.02.2019	Bestilling, laser og powerbank	5
14.02.2019	Demontering av laser og lodding av mikrokontroller	4
21.02.2019	Oppsett av VS for komm med Adafruit	4
05.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	7
06.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	7
08.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	9
12.03.2019	Kommunikasjon og bevegelsessensor	7
13.03.2019	Kommunikasjon og servostyring + presentasjon	6
15.03.2019	Kompasskalibrering og sensorfusion	6
19.03.2019	Kompasskalibrering og sensorfusion	8
20.03.2019	Kode styring av laser	9
22.03.2019	Feilsøking	10
23.03.2019	Skissere koblingsskjema	6
26.03.2019	Programmere skjerm	9
27.03.2019	Feilsøking	9
29.03.2019	Lage kretskort, systemtest med skjerm, hente 3D-printer	8
02.04.2019	Midtveispresentasjon og prototype	9
03.04.2019	Midtveispresentasjon og prototype	9
04.04.2019	Midtveispresentasjon	3
05.04.2019	Rapportskriving/kommunikasjon	3
08.04.2019	Modbus	5
09.04.2019	Modbus	9
10.04.2019	Kabel, koblinger, koblingsboks	9
11.04.2019	Rapport	3
12.04.2019	Koblingsboks, testing, kretskortdesign	8
20.04.2019	Kommunikasjonsprotokoll, systemoversikt	5
23.04.2019	Prototype, administrativt	7
24.04.2019	Økonomi, systemoversikt, prinsipper og tanker for design	4

BO19E-19 Fjernstyrt og gyrostabilisert laserpeker

25.04.2019	Kode ny styring, skissere kretskort på land	2
26.04.2019	Lodde kretskort land, slingrebøyle	7
27.04.2019	Rapport	2
02.05.2019	Modellering av brakett	4
03.05.2019	Bugfiksing styringskode	6
04.05.2019	Programmering av alarmer	7
05.05.2019	Programmering av alarmer	8
07.05.2019	Forbedre kommunikasjonskode	6
08.05.2019	Programmere temperaturalarmer	7
09.05.2019	Testing av alarmer	7
12.05.2019	Rapportarbeid	6
13.05.2019	Rapportarbeid	6
21.05.2019	Rapportarbeid	7
22.05.2019	Systemtesting + rapportarbeid	7
23.05.2019	Systemtesting + rapportarbeid	8
24.05.2019	Systemtesting + fiksing av feil + rapportarbeid	9
25.05.2019	Systemtesting + fiksing av feil + rapportarbeid	9
26.05.2019	Rapportarbeid	7
27.05.2019	Rapportarbeid	7
28.05.2019	Rapportarbeid	8
29.05.2019	Rapportarbeid	7
30.05.2019	Rapportarbeid	7
Totalt		370

Appendiks D Brukerdokumentasjon

D.1 Koble opp systemet

Ved nåværende dykkerstasjon skal dykkerleder koble mini-TV kablen fra dykker inn i koblingsboksen. Videre skal det kobles en kabel fra koblingsboksen til dykkerstasjonen for å sammenkoble nåværende system med tilleggsutstyret. Spenning til video-kameraet må være slått på ved dykkerskapet for at koblingsboksen skal få spenning.

På dykker monteres kapslingen på hjelm. Y-splitten kobles til den andre enden av Mini-TV kablen på dykkersiden og fra Y-splitten kobles fire-lederen («depth» kablen) til mottakeren på kapslingen. Batteripakken må da være oppladet og tilkoblet inne i kapslingen.

Når spenning er slått på vil begge systemene prøve å opprette kommunikasjon. Status blir kontinuerlig oppdatert på skjerm.

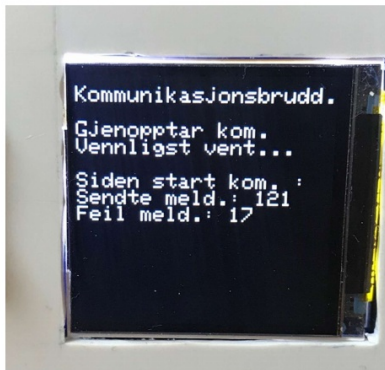
D.2 Bruksanvisning

Ved oppstart initialiseres styring av laser i manuell styring, laser deaktivert og kjørt til midtposisjon. Informasjon om dykkerens retning, temperatur inne i kapsling, status på både laser og styremodus vises på skjerm. I tillegg er det laget en kompasspil for å visualisere retningen til dykkeren. For å starte styringen føres joysticken helt ned til venstre, og bruker kan da justere laseren i x- og y-retning. Dersom joystick trykkes ned og holdes nede i mindre enn 1 sekund, skifter bruker styremodus. Holdes joystick nede over 1 sekund, og mindre enn 5 sekund skrues laser av eller på. Holdes joystick nede i mer enn 5 sekund, aktiveres «reset» kommando.



Bilde 7.1-1 Informasjon på skjerm

Dersom kommunikasjonen blir brutt, kommer det feilmelding på skjermen mens systemet forsøker å gjenoppta forbindelsen. Dette kan oppstå dersom det er brudd på kabel, eller avslått enhet ved dykker. Bruker får ny melding på skjerm dersom forbindelsen opprettes igjen.



Bilde 7.1-2 Feilmelding ved kommunikasjonsbrudd



Bilde 7.1-3 Melding om opprettet kommunikasjon

Oversikt over kommandoer:

Tabell 7.1-1 Oversikt over kommandoer

Joystick	Kommando
Holdes nede i < 1 sekund	Skifter styremodus
Holdes nede i > 1 sekund og < 5 sekund	Skrur laser av/på
Holdes nede i > 5 sekund	Reset
Føres i x- og y-retning	Laser beveger seg i x- og y-retning

Manuell styring: Tillater bruker å styre laser ved hjelp av joysticken.

Autonom styring: Servomotorene kompenserer for dykkerens bevegelse slik at laseren peker på valgt punkt. Valgt punkt er punktet som laser peker på idet man går over til autonom styring.

Reset: Parametere blir satt tilbake til utgangsverdier på begge mikrokontrollere, i tilfelle noe skulle gå galt.

D.3 Drifts- og vedlikeholdsdokumentasjon

- Mikrokontrolleren i koblingsboks må inneholde følgende:
 - Kode
 - Master.ino (F.1)
 - Bibliotek
 - SimpleModbusMaster.h
 - Adafruit_GFX.h, forfatter: Adafruit
 - Adafruit_ST7789.h, forfatter: Adafruit
 - SPI.h, forfatter: Arduino
- Mikrokontrolleren ved dykker må inneholde følgende:
 - Kode
 - Slave.ino (F.1)
 - Bibliotek
 - SimpleModbusSlave.h
 - Wire.h, forfatter: Arduino
 - MPU9250.h, forfatter: Brian Taylor
 - Servo.h, forfatter: Arduino
 - SensorFusion.h, forfatter: Vincenzo G.

SimpleModbusMaster og SimpleModbusSlave må lastes ned fra

<https://code.google.com/archive/p/simple-modbus/> . Last ned SimpleModbusSlaveV10 og

SimpleModbusMasterV2rev2.

Appendiks E Vedlegg

Følgende filer er vedlagt i zip mappen: Vedlegg BO19E-19

- E.1 Catalog_M_Series.pdf**
- E.2 SimpleModbusMasterManual.pdf**
- E.3 STL filer**
- E.4 Møtereferater.pdf**
- E.5 Master.ino**
- E.6 Master.pdf**
- E.7 Slave.ino**
- E.8 Slave.pdf**

Appendiks F Kildekode, skjemadesign, Bill Of Materials mm

F.1 Kildekode

Følgende kildekodefiler er vedlagt i zip mappen: Vedlegg BO19E-19

- Master.ino
- Master.pdf
- Slave.ino
- Slave.pdf

F.2 Endring av bibliotek

Dersom enheten ved dykker ikke har hatt kommunikasjon med land på over 10 sekund, aktiveres reset kommando. Se D.2 for ytterligere forklaringer. For å oppnå denne funksjonen er biblioteket «SimpleModbusSlave» oppdatert med noen få kodelinjer. I «SimpleModbusSlave.cpp» legges følgende kodelinjer inn ved tilhørende kodelinjennummer.

```
22 //Tilleggsvariabel
23 unsigned long Tid1;
```

```
78 Tid1 = millis(); //Tilleggskode
79 errorCount = 0; //Tilleggskode
```

```
233 if (millis() - Tid1 > 10000)//Tilleggskode
234 {
235     return 10000;
236 }
```

Appendiks G Testresultater

G.1 Kommunikasjonstest

Test av ulike kommunikasjonsfunksjoner over 20 m amphenolkabel med y-splitt.		
Testmetode	Forventet resultat	Godkjent/Ikke godkjent
Opprette kommunikasjon. Først land, deretter hos dykker.	Kommunikasjon opprettes uten alarm.	Godkjent
Opprette kommunikasjon. Først dykker, deretter land.	Kommunikasjon opprettes uten alarm.	Godkjent
Strøm tilkobles etter å ha vært frakoblet på land i >10s.	Kommunikasjon opprettes igjen og parameter blir resatt.	Godkjent
Strømbrudd på land >10s	Laser deaktiveres og kjøres til utgangsposisjon	Godkjent
Strøm tilkobles i alarmstatus på land	Få beskjed om tilkoblet kommunikasjon, og funksjonaliteten gjenopptas	Godkjent
Strømbrudd på land <10s	Kommunikasjon skal gjenopptas uten alarm	Godkjent
Strømbrudd hos dykker/kommunikasjonsbrudd >10s	Alarm om kommunikasjonsbrudd	Godkjent
Kommunikasjonsbrudd <10s	Kommunikasjon skal gjenopptas uten alarm	Godkjent
Aktivere joystick >5s	Tilbakestilling av parametre på begge mikrokontrollere. Observeres om laser kjøres tilbake til utgangsposisjon og om skjerm oppdateres	Godkjent
Opprette kommunikasjon, deretter føre joystick ned/venstre.	Servomotorer skal begynne kjøre etter joystickens bevegelser	Godkjent
Aktivere joystick <1s	Skifte av modusvisning på skjerm, og styremodus ved dykker	Godkjent
1s<aktivere joystick<5s	laser skrur av eller på	Godkjent