



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:
Maskiningeniør – Bachelor

Vårsemesteret, 2022

Åpen / Konfidensiell

Forfatter:
Henrik Welde
Sindre R. Torsteinsen

Henrik Welde, Sindre Torsteinsen
.....
(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Hirpa Lemu Gelgele

Veileder(e): Hirpa Lemu Gelgele

Tittel på bacheloroppgaven:
Konstruksjon av manipulator for marin fornybar energi applikasjoner

Engelsk tittel:
Construction of manipulator for marine renewable energy applications

Emneord:
Manipulator, ROV, Subsea, MATE

Sidetall:*85*.....

+ vedlegg/annet:*N/A*.....

Stavanger,*29/5-22*.....
dato/år

Forord

Denne bacheloren er en oppsummering av all kunnskap som har blitt oppnådd i et 3 årig studie innenfor maskiningeniør. Vi vil takke alle emneansvarlige og professor Hirpa Lemu Gelgele, som har bistått som vår veileder til denne bacheloren. Vi vil også gi en stor takk til de ansatte på verkstedet, som har bistått med maskindeler og produksjon, og Subseateamet for forslag og løsninger. Samtidig så vil vi gi en stor takk til tidligere studenter som har delt deres arbeid på tidligere subsea prosjekter.

Forkortelser og Ordbeskrivelser

MATE Marine Advanced Technology Education

ROV Fjernstyrt Undervannsfartøy (Remotely Operated Vehicle).

CAD Computer-Aided Design

UiS Universitetet i Stavanger

FCC Face-centered cubic

BCC Body-centered cubic

α Alpha

β Beta

π pi

μ Friksjonskonstant

σ_b bøyespenning [Pa]

τ skjærspenning [Pa]

ω rotasjonshastighet [s^{-1}] eller [om/sek]

Δ Delta

P power [J/s]

k Fjærkonstant [N/m]

x Forflytning [m]

F Kraft [N]

M Moment [Nm]

R_i Innerradius [m]

R_o	Ytterradius [m]
D_i	Innerdiameter [m]
D_o	Ytterdiameter [m]
$\text{Sin}()$	Sinus
$\text{Cos}()$	Cosinus
$\text{Tan}()$	Tangens
m_z	Modul
z	Antall tenner tannhjul
v	Hastighet [m/s]
m	Masse [kg]
a	Akselerasjon [m/s^2]
w	Tverrsnittsareal [m^4]
V	Volum [m^3]
i	Tannforhold
KV	Relasjonen mellom rotasjonshastighet og volt [RPM/volt]

Sammendrag

Denne teksten har drøftet designet til en manipulator for en ROV i relasjon med UiS Subsea. En ROV er et fjernstyrt undervannsfartøy som brukes til arbeid under vann; ergo Subsea.

Manipulatoren er en robotarm med diverse funksjoner og anvendelser, som for eksempel å gripe eller kutte.

Målet med dette designet var å redusere vekten til manipulatoren enda mer enn fjorårets. Den skulle være enklere å håndtere og navigere med. Designet ble litt simplere hvor leddene til manipulatoren ble erstattet av en teleskopfunksjon.

Det ble testet forskjellige konsepter for hvordan kloen skulle se ut og hvordan den skulle være i stand til å gripe samtidig som den roterte.

Til prototypetesting ble det laget forskjellige testtrigger for å se om mekanikkene fungerte. Det ble lagd en testtrigg til teleskopfunksjonen. Til gripefunksjonen og rotasjonsmekanismen ble testet under siste tørr-test.

Til Motorvalget valgtes dronemotorer. Tre totalt. De ble kalt Eaglepower KV390 og veide ca 80 gram hver. Motorene som ble brukt til dette designet var betydelig mindre enn forrige designet. Det ble tatt mange tester hvor feilene ble rettet på og analysert. Forbedringer ble gjort slik at manipulatoren ble mer effektiv. Det er fremdeles forbedringspotensial.

Innholdsfortegnelse

Innhold

.....	7
1 Innledning.....	7
1.1 UiS Subsea.....	9
1.2 Farkostene.....	11
1.2.1 ROV.....	11
1.2.2 Fenris.....	12
1.2.3 Flyter.....	13
1.2.4 Frøya.....	14
1.3 MATE – Marine Advanced Tehchnology Education.....	15
1.4 Overordnet system.....	30
1.5 Prosjektinndeling.....	31
1.5.1 Elektro.....	32
1.5.2 Maskin.....	34
1.5.3 Data.....	35
1.5.4 Økonomi.....	35
1.6 Regulering og styring av motorsystem.....	36
2. Teori.....	37
2.1 Subsea-Teknologi og ROV.....	37
2.2 Kraft og moment.....	37

2.3 Gjengestang til teleskop og klypemekanisme	38
2.4 Bowden kabel	39
2.2 Motorvalg:	40
2.5 Aluminium og Stål.....	44
2.6 Belastning og slitasje	46
2.7 Trykk/Overflatespenning.....	47
2.8 Tannhjul og gjengestang	48
2.9 Snekkedrift og dens funksjon.....	50
2.10 3D-Printing	52
2.11 Fjær	55
2.12 Mekaniske lager	57
3. Problemstilling.....	59
4. Metode	59
4.1 Prototypetesting.....	59
4.2 Produksjon og print av klo.....	59
4.3 Produksjon av teleskopet	62
5. Analyse.....	63
5.1 Testtrigg	64
5.2 Belastningsskader.....	66
5.3 Rotasjonsbevegelsen	68
5.4 Kloen	68
5.5 Støttevegg.....	69
5.6 Utstikker belastninger	69

6. Resultat	72
6.1 Forbedringer	72
6.2 Vekt	74
6.3 Kalkulasjoner	75
7. Diskusjon	80
7.1 Testrigger	80
7.2 Belastningskade.....	81
7.3 Rotasjonsmekanismen.....	81
7.4 Klemmemekanisme.....	81
7.5 Teleskopmekanisme	81
7.6 Kalkulasjoner oppsummering	82
8. Konklusjon.....	83
Referanseliste	84
Bibliografi	84

1 Innledning

Jordens overflate består omtrent av 70% vann, men det er kun en liten brøkdel som har blitt utforsket per dags dato. Havet har mye potensiale for fremtidig bærekraftig utvikling, innenfor industri, energi og klima. Innen 2050 vil havet antakelig bli tatt mer i bruk, innen forskning, næringsliv og økonomi (Hoff, 2015). Dette er for eksempel innovative løsninger som vindkraft, tidevannsteknologi og fiskeoppdrett. Alle disse eksemplene vil det i mer eller mindre grad kreve undervannsarbeid, som en ROV er i stand til å gjøre.

Til tross for at det finnes en rekke muligheter, som havet har å by på, har det oppstått nye problemer på grunn av vår levemåte. Havet blir mer og mer forurensset som følge av mangel på bærekraftig utvikling og forsøpling. Det resulterte i at hele økosystemer ikke har blitt utforsket enda, har blitt utslettet. Man ser allerede endringer i havet i områder som “The Great Barrier Reef” hvor korallrevene dør ut og habitatene, som det bor flere tusen forskjellige arter, må endre sin levemåte eller dø ut [1]. Arter som avhenger av kamuflasje, og som tidligere passet til revet, er nå blitt overflødige som følge av korallrevets endring i fargetone, med økende temperatur i havet. Det krever ikke mer enn et par grader høyere sjøtemperatur enn nå for å utslette slike habitat. På bakgrunn av dette, er vi mennesker nødt til å begrense CO2 utslipp og forsøpling.

Denne bacheloroppgaven er en del av et større prosjekt, som baserer seg på design, utvikling og bygging av undervannsfarkoster. Utgangspunktet for prosjektet er deltakelse i den internasjonale konkurransen, MATE ROV Competition [2]. Kapitlet vil presentere organisasjonen UiS Subsea, hvilke typer undervannsfarkoster som skal utvikles, samt oppgavene de designes etter. Deretter vil det overordnede systemet presenteres med inndeling av ansvarsområder for de ulike bachelorgruppene. Oppgaven fokuserer på en multifunksjonell og lett manipulatorarm som skal kunne gripe, rotere og skyves ut eller inn. Denne har ett totalvektmål på under 3 kg. Introduksjonskapitlet er skrevet av gruppen med ansvar for styrings- og reguleringssystemet, og er delt med alle gruppene i prosjektet. Kapitlet er felles for alle gruppene ettersom det presenterer prosjektet i sin helhet.

1.1 *UiS Subsea*

UiS Subsea er en studentorganisasjon ved Universitetet i Stavanger, som siden 2013 har engasjert studenter i undervannsteknologi. UiS Subsea har som mål å gi studentene erfaring med å jobbe i et større prosjekt på tvers av fagområder.

Organisasjonen har gjennom flere år bygget ROV-er for å delta i MATE-konkurransen. Dette gir grunnlag for et prosjekt som krever at de involverte løser utfordrende tverrfaglige oppgaver. Formålet med dette er å skape et miljø hvor studentene får utviklet sine tekniske ferdigheter, samt evne til å samarbeide med andre studenter. UiS Subsea er en organisasjon som muliggjør et tett samarbeid mellom studenter og næringslivet. En rekke bedrifter er involvert og interessert i dette prosjektet, og bidrar med utstyr og andre ressurser gjennom sponsoravtaler. For å dyrke dette samarbeidet, vil det i 2022, for første gang, arrangeres Subsea-dagen. Her vil næringslivet inviteres til universitetet for å presentere sine bedrifter.

I tidligere år har det manglet kontinuitet i organisasjonen, da den hvert år har blitt overtatt av et helt nytt kull med bachelorstudenter. I fjor ble organisasjonen restrukturert ved at styret ble adskilt fra selve prosjektet, med formål om å muliggjøre drift uavhengig av prosjektdeltakere. Dette åpner også mer opp for deltakelse fra studenter i andre perioder av utdanningsløpet. Fjorårets leder og nestleder har valgt å sitte en periode til, for å redusere belastningen på bachelorstudentene, og for å videreføre tidligere erfaringer.

Nytt for årets prosjekt, er at også en bachelorgruppe av økonomistudenter innehar en rolle i driften av organisasjonen. Dette bidrar med kunnskap innenfor økonomi og markedsføring i styret.

Årets styre består av følgende roller med tilhørende innehavere:

- **Styreleder:** Daniel Vasshus
- **Nestleder:** Geir Arne Solland Kindingstad

- **Økonomiansvarlig:** Sina Brunnes
- **Markedsføring:** Sanna Sørskår og Åse Jortveit Sagebakken
- **Sponsoransvarlig:** Maren Lovise Jåsund og Otto Nessa Ljosdal
- **Styremedlem:** Tage Mellemstrand

Grunnet restruktureringen, er det opprettet en egen prosjektledelse med ansvar for det tekniske. Prosjektledelsen fungerer som et bindeledd mellom organisasjonen og prosjektdeltakerene.

Prosjektledelsen med roller og innehavere er:

- **Prosjektleder:** Tomas Royal Choat
- **Teknisk ansvarlig programvare:** Christoffer Næss
- **Teknisk ansvarlig maskinvare:** Mats Røste

1.2 Farkostene

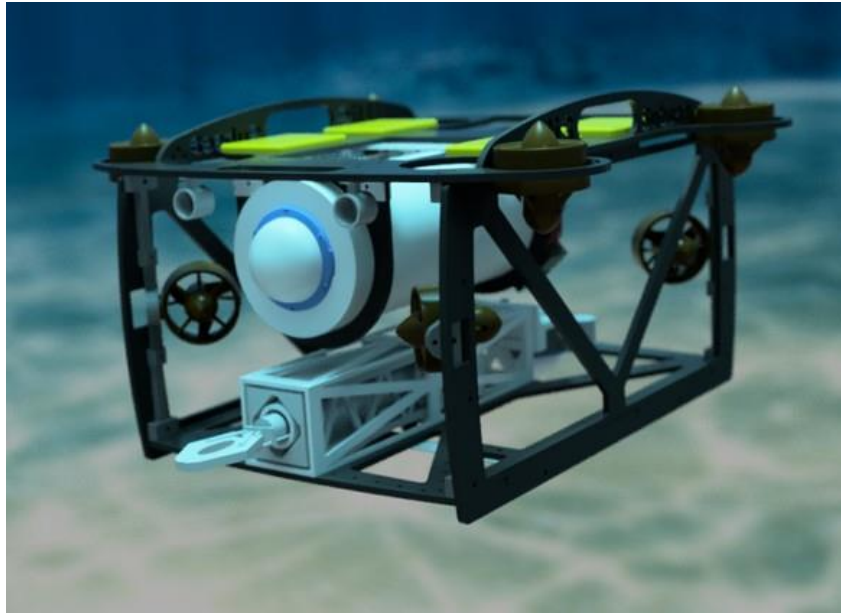
1.2.1 ROV

En Remotely Operated Underwater Vehicle (ROV) er en fjernstyrt undervannsfarkost. ROV-en er et hjelpemiddel som muliggjør undervannsoperasjoner uten behov for dykkere. Utviklingen av denne typen undervannsroboter har åpnet dørene for en rekke operasjoner under vann som ikke var mulig før, da man ikke lenger trenger å risikere menneskeliv. Dette utvider rekkevidden under vann, og forenkler operasjonene, siden de kan gjennomføres i mindre skala. Ny teknologi gjør det mulig å operere ROV-er fra land, som reduserer kostnader av å utføre operasjoner offshore.

Utviklingen av ROV-er har på grunn av offshore-næringen vokst kraftig siden midten av 1980-tallet [3], da dette medførte utplassering av store installasjoner og behov for operasjoner på dybder man ikke kunne nå med dykkere. Eksempler på dette fremheves av årets konkurranse, med oppgaver som inspeksjon av fiskemerder og havvindmøller.

1.2.2 Fenris

ROV-en som utvikles i år, Fenris, er en frittstående ROV med navlestreng, vist i figur 1.

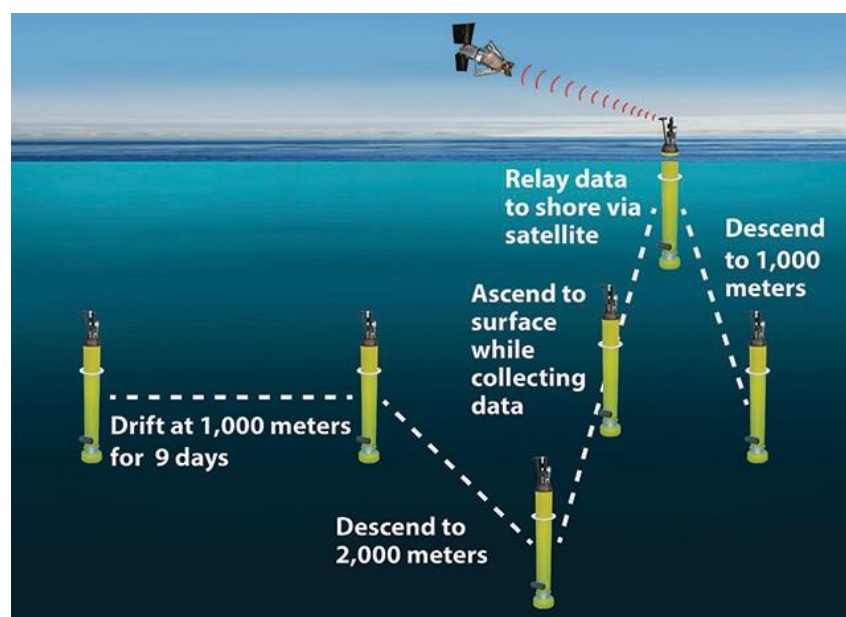


Figur 1 3D-modell av Fenris.

Fenris styres fra et operatørgrensesnitt på land, og kommuniserer gjennom navlestrengen. Navle- strengen utgjør også kraftforsyningen til ROV-en. Målet er at ROV-en skal være i stand til å nå en dybde på 50 meter. Fenris er designet etter oppgavene i MATE ROV Competition, og er derfor utstyrt med en manipulatorarm for å løse disse. For å tilrettelegge for videreutvikling på ROV-en, er den designet modulært, slik at alt enkelt kan byttes ut. Dette gjør at Fenris kan brukes som en base for eventuell fremtidig utvikling.

1.2.3 Flyter

Nytt for årets prosjekt er at det skal bygges en flyter, inspirert av float -teknologi utviklet av forskningsprosjektet GO-BGC [4]. En flyter er en autonom undervannsfarkost som har i hovedoppgave å overvåke områder under vann. For å utføre dette, er den utstyrt med biologiske og kjemiske sensorer. I tillegg har den en innebygd mekanisme som endrer volumet til farkosten, og dermed kan oppdriften reguleres. Et eksempel på syklusen til en flyter demonstreres i figur 2.

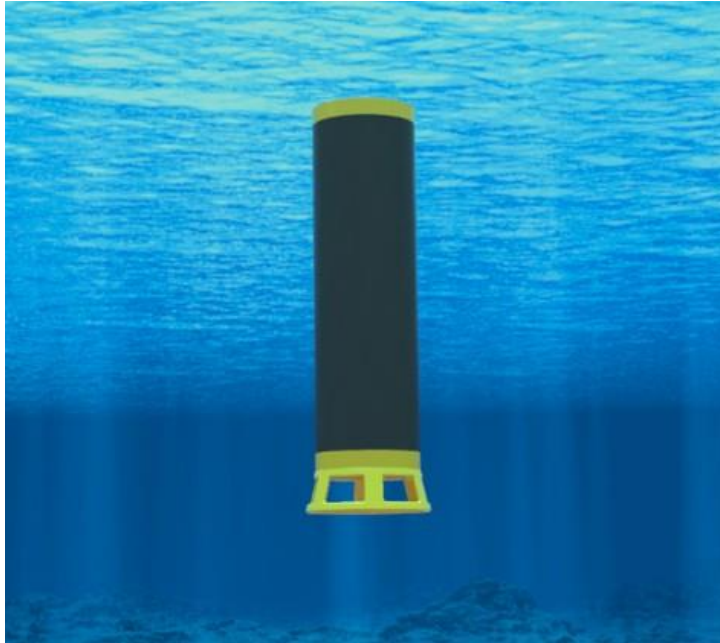


Figur 2 Eksempel på syklusen til en flyter. Hentet fra [7].

Flyteren kan dykke ned til flere tusen meters dybde, og returnere til overflaten på egenhånd. Når flyteren når overflaten, sendes innhentet data via satellitt, og slik skal den kunne fortsette ubemannet i opptil 5 år.

1.2.4 Frøya

Flyteren som utvikles i år, Frøya, er vist i figur 3



Figur 3 3D-modell av Frøya.

Dette er en prototype av en flyter, hvor fokuset er rettet mot den dynamiske oppdriftsmekanismen, og den er ikke utstyrt med biologiske eller kjemiske sensorer. Dybden den befinner seg på måles med en trykksensor, og reguleres gjennom en oppdriftsmotor. Oppdriftsmotoren er realisert ved hjelp av en pumpe som forflytter luft ut i en ballong på undersiden av flyteren. Av sikkerhetsmessige årsaker, må batteriene i flyteren være alkaliske. Dette begrenser hvor lenge den kan operere. Målet er at flyteren skal være i stand til å gjennomføre 2 vertikale profiler innenfor en tidsramme, etter at den er blitt plassert i vannet av ROV-en. I konkurransen tilsvarer en vertikal profil et dykk fra overflaten, ned til bunnen og tilbake.

1.3 MATE – Marine Advanced Tehchnology Education



Informasjonen under er hentet fra arrangørens hjemmeside [5].

Figur 4 The MATE Center sin logo. Hentet fra hjemmesiden deres

Prosjektet gjennomføres, som tidligere nevnt, med hovedfokus rettet mot en internasjonal konkurranse innen utvikling av robotiserte undervannsfarkoster. Arrangøren bak konkurransen er forskningssenteret The Marine Advanced Tehchnology Education (MATE) Center, som er et samarbeid mellom flere organisasjoner i USA, med et felles mål om å forbedre utdanning innen marin teknikk. Senterets logo er vist i figur 4. Forskningssenteret jobber i tett samarbeid med flere skoler og universiteter, men også med bedrifter. Gjennom dette samarbeidet kan de tilby utdanning av studenter, basert på etablerte retningslinjer fra bedriftene, og sørge for direkte kontakt mellom student og arbeidsgiver under utdanningen. Et av hovedformålene med The MATE Center er å gi studenter et læringsutbytte, som senere kan være med på å utvikle hele næringen. I den sammenheng arrangeres konkurransen MATE ROV Competition hvert år. UiS Subsea stiller i utforskerklassen, som er klassen med høyest vanskelighetsgrad.

MATE ROV Competition

Informasjon om konkurransen er hentet fra konkurransemanualen [6]. Konkurransen har også sin egen logo, vist i figur 5, under.



Figur 5 MATE ROV Competition logo. Hentet fra konkurransens nettside.

Årets utgave av konkurransen vender oppmerksomheten mot FNs havforskningstiår (2021-2030), som er et initiativ fra FN med bakgrunn i de 17 bærekraftsmålene. Motivasjonen bak MATEs engasjement er å snu den nedadgående trenden til havets helse, og i den forbindelse vil de utfordre studenter globalt til å komme med nyskapende løsninger på problemet. Oppgaven går ut på å bygge en ROV som bidrar i arbeidet mot klimaendringer, legger til rette for ren energi, sørger for mat til en voksende populasjon, overvåker havets helse og bevarer maritim historie. MATE konstaterer at gjennom dette arbeid vil man skape «havet vi trenger, for fremtiden vi ønsker».

Poenggivning

Under konkurransen deles det ut poeng i tre hovedkategorier. I del 1 gjennomgår man en produkt demonstrasjon. Her kontrolleres vekt og fysiske mål. I denne delen skal også ROV-en og flyteren gjennom de praktiske oppgavene som tester deres operative egenskaper. I konkurransen er det tre separate oppgaver man skal løse, hvor hver oppgave har en tidsramme på 15 minutter. I tillegg belønnes struktur og effektivitet under demonstrasjonen. Man får 1 poeng ekstra for hvert minutt, og 0.01 poeng for hvert sekund, man fullfører før den avsatte tiden i hver oppgave. I del 2 får man poeng for teknisk dokumentasjon av farkostene, samt kommunikasjon og markedsføring fra organisasjonens (UiS Subsea) side. I del 3 får man poeng for å ta hensyn til sikkerhet. Dette innebærer skriftlig sikkerhetsdokumentasjon, men også det å vise aktsomhet under operasjoner med ROV-en.

Under gjennomgås de praktiske oppgavene, med tilhørende poengfordeling. Oppgaver, poengfordeling og restriksjoner er gjengitt fra konkurransemanualen [7].

Oppgave 1: Maritim fornybar

energi FNs bærekraftsmål:

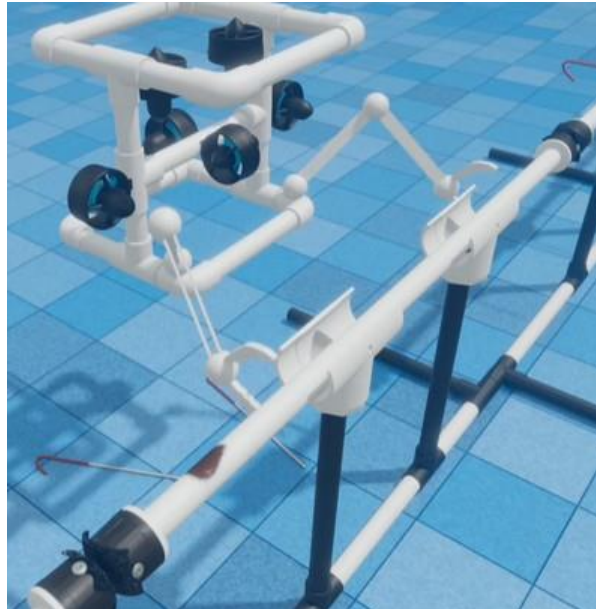
#7 Ren energi for alle

#12 Ansvarlig forbruk og produksjon

Oppgaven er utformet for å representere arbeidsoppgaver som er nødvendige for å utføre ved- likehold på offshore havvind. Man skal blant annet reparere en skadet strømkabel, erstatte en ødelagt oppdriftsmodul og fjerne et fiskegarn som har satt seg fast på en av vindturbinenes understell. Utover dette skal det også plasseres ut en hydrofon for å overvåke tilstedeværelsen av sjøpattedyr. Til slutt skal ROV-en kjøre autonomt inn i en dokking-stasjon. Alle arbeidsoppgavene er simulert ved hjelp av konstruksjoner laget av PVC-rør. Under er oppgavebeskrivelsene gjengitt, med tilhørende poengfordeling.

1.1 Erstatte en skadet del av en strømkabel

Figur 6 viser hvordan deler av oppgaven kan løses.

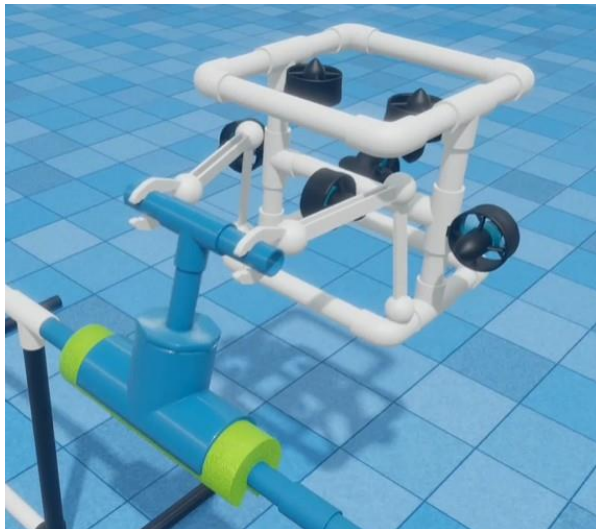


Figur 6 Fjerning av skadet del av kabel. Skaden er markert med en brun flekk. Låsepinnen vises rett til venstre for den brune flekken på røret. Hentet fra [6].

- Utføre en visuell inspeksjon av kabelen: **5 poeng**.
- Kutte kabelen på begge sider av den skadede delen. Simulert ved å dra ut en låsepinne på hver side: **10 poeng**.
- Fjerne den skadede delen av kabelen (PVC-rør), og bringe den til overflaten: **5 poeng**.
- Installere en ny kabelseksjon (PVC-rør), og feste denne med tilhørende festemekanisme: **5 poeng** for hver ende av røret, totalt **10 poeng**.

1.2 Erstatte en skadet oppdriftsmodul på en strømkabel tilhørende en havvindmølle

Figur 7 viser hvordan deler av oppgaven kan løses.

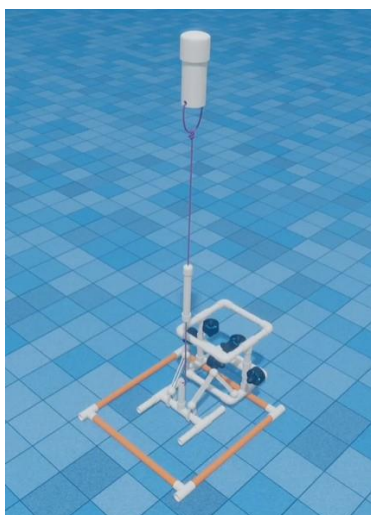


Figur 7 Fjerning av skadet oppdriftsmodul. Den nye oppdriftsmodulen er lik den som fjernes, men har borrelås som lar den festes på røret. Hentet fra [6].

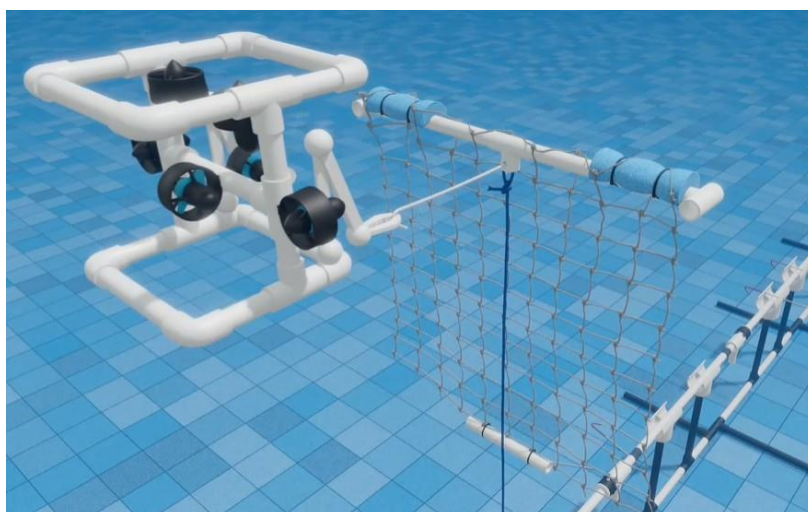
- Fjerne den skadede oppdriftsmodulen ved å rotere festet 180 grader: **5 poeng**.
- Frakte den skadede oppdriftsmodulen til kanten av bassenget, slik at den kan plukkes opp fra land: **5 poeng**.
- Plassere en ny oppdriftsmodul på kabelen: **5 poeng**.
- Feste oppdriftsmodulen ved hjelp av borrelås: **5 poeng**

1.3 Overvåke miljøet

Figur 8 viser hvordan første del av oppgaven kan løses. Figur 9 viser hvordan andre del av oppgaven kan løses.



Figur 8 Utplassering av hydrofon. Om- rådet på 40 cm 40 cm er representert av de oransje PVC-rørene. Hentet fra [6].

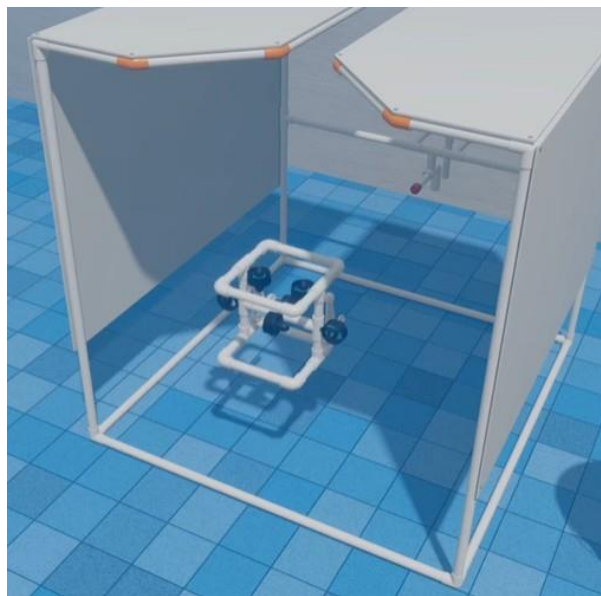


Figur 9 Fjerning av fiskegarn. Garnet vil flyte opp til vannoverflaten når låse-pinnen dras ut. Hentet fra [6]

- Utplassere en hydrofon, simulert av et PVC-rør, for å oppdage og registrere tilstedeværelsen av sjøpattedyr.
 - Plassere hydrofonen i et angitt område på $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$: **5 poeng.**
 - Plukke opp hydrofonen etter 5 minutter i vannet og frakte den til bassengkanten: **5 poeng.**
- Fjerne et fiskegarn som er fanget på vindturbinens understell.
 - Dra ut en låsepinne som holder en flytende ramme med fiskegarn under vann: **10 poeng.**
 - Fjerne fiskegarnet fra vannet ved å frakte det til bassengkanten, og plukke det opp fra land: **10 poeng.**

1.4 Styre ROV-en inn i en dokking-stasjon

Figur 10 viser hvordan oppgaven kan løses.



Figur 10 Parkering av ROV i dokking-stasjon. Hentet fra [6].

- Styre ROV-en autonomt inn i dokking-stasjonen: **15 poeng.**
- Styre ROV-en manuelt inn i dokking-stasjonen: **5 poeng.**

Oppgave 2: Offshore akvakultur og blå karbon FNs bærekraftsmål:

#2 Utrydde sult

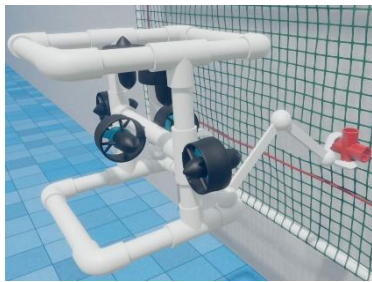
#13 Stoppe

klimaendringene #14 Liv under vann

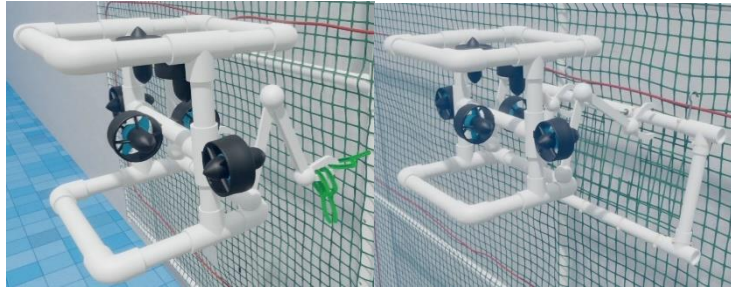
Oppgaven er utformet for å representere arbeidsoppgaver som er nødvendige for å utføre vedlikehold på en fiskemerd, og å bidra til en sunn havhelse. Man skal blant annet reparere en skadet del av en fiskemerd, og fjerne uønsket algevekst. Oppgaven innebærer også å autonomt skille død fisk fra levende, og å kunne måle størrelsen på fisken. Utover dette skal dødt sjøgress fjernes, og det skal videre plantes nytt. Alle arbeidsoppgavene er simulert ved hjelp av konstruksjoner laget av PVC-rør. Under er oppgavebeskrivelsene gjengitt, med tilhørende poengfordeling.

2.1 Inspisere en offshore akvakultur fiskemerd

Figur 11, viser hvordan noen av deloppgavene kan løses.



(a) Reparasjon av skadet del av nettet.



(b) Fjerne innkapslende marin vekst.

(c) Fjerne algevekst.

Figur 11 Alle hentet fra [6].

- Inspisere nettet for å identifisere skadede områder.
 - Kjøre en transektlinje for å identifisere skadede områder: Autonomt: **25 poeng**. Manuelt: **10 poeng**.
 - Identifisere og telle skadede områder av nettet: **5 poeng**.
- Reparere en skadet del av nettet: **10 poeng**.
- Fjerne marin vekst.
 - Fjerne innkapslende marin vekst, simulert med et PVC-kryss: **5 poeng**.
 - Fjerne algevekst, simulert med 3 piperensere: **5 poeng**.

2.2 Opprettholde et sunt miljø

Oppgaven som innebærer oppsamling av død fisk, er vist i figur 12.



Figur 12 Plassering av død fisk i oppsamlingsrør[6].

- Håndtere fiskedød ved å fjerne død fisk, simulert av en gummifisk, fra bunnen av bassenget.
 - Lage et program som kan skille døde fra levende fisk. Man får utdelt en video, og programmet skal merke døde fisk med røde rammer: **10 poeng**.
 - Plukke opp en død fisk: **5 poeng**.
 - Legge fisken i et oppsamlingsrør, simulert av en bøtte: **5 poeng**.

2.3 Måle fiskestørrelser

Et eksempel på hvordan man kan løse denne oppgaven er vist i figur 13.



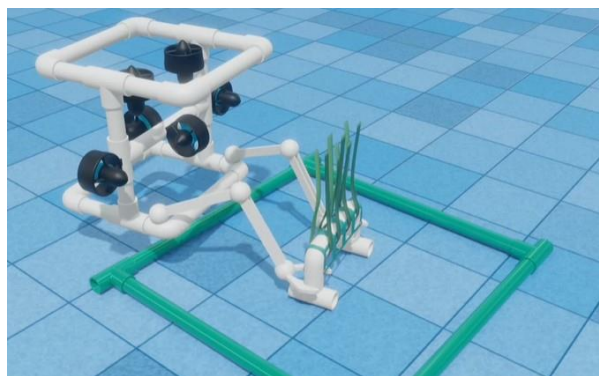
Figur 13 Måling av fiskelengde. Hentet fra [6].

- Beregne gjennomsnittsstørrelsen på en fiskekohort (tre gummifisker av ulik lengde) med maksimalt 2 cm feilmargin: **15 poeng**.
- Beregne biomassen av fiskekohorten: **5 poeng**.

2.4 Dyrke sjøgress

Planting av nytt sjøgress er vist i figur 14.

- Luke et eksisterende sjøgressbed: **5 poeng**.
- Plante et nytt sjøgressbed: **5 poeng**.



Figur 14 Planting av nytt sjøgress. Sjøgresset som skal lukes er simulert av en lignende konstruksjon, men denne skal fjernes fra det markerte området. Hentet fra [6].

Oppgave 3: Da og nå – *Endurance*22 og MATE

Floats! FNs bærekraftsmål:

#13 Stoppe klimaendringene

Første del av oppgaven representerer det å hente inn en «GO-BGC»-flyter, for så å plassere ut vår egenproduserte flyter i et angitt område. Flyteren vår skal deretter gjennomføre 2 vertikale profiler, altså traversere dybden av bassenget to ganger. Andre del av oppgaven handler om å kartlegge posisjonen til vraket av skipet *Endurance*, som sank i Antarktis. Deretter skal det autonomt lages en fotomosaikk av vraket, og videre skal lengden av det måles. Både «GO-BGC»- flyteren og vraket av *Endurance* er simulert ved hjelp av PVC-rør. Under er oppgavebeskrivelsene gjengitt, med tilhørende poengfordeling.

3.1 MATE Floats!

Utplassering av flyter i et angitt område er vist i figur 15.



Figur 15 Plassering av selvlagd flyter i angitt område.
Hentet fra [6].

- Hente inn en GO-BGC flyter.
 - Beregne hvor flyteren dukker opp fra vannet: 5 poeng.
 - Plukke opp flyteren, simulert av et PVC-rør: 10 poeng.
- Design og konstruksjon av en operativ flyter for vertikal profilering.
 - Bygge en flyter før konkurransen starter: 5 poeng.
 - Plassere flyteren i et angitt område ved hjelp av ROV-en: 5 poeng.
 - Flyteren fullfører vertikal profilering.
 - * To ganger: 25 poeng.
 - * Én gang: 15 poeng.

3.2 Endurance22

Kartlegging av området der vraket av Endurance ble funnet, se figur 16.



Figur 16 Området der vraket av Endurance er plassert. Vraket er simulert med den brune PVC- strukturen. Hentet fra [5].

- Finne og kartlegge posisjonen til Endurance.
 - Kjøre en transektlinje over området der vraket er. Vraket er simulert av PVC-rør: **10 poeng.**
 - Indikere på et kart hvor vraket er: **5 poeng.**
- Lage en fotomosaikk av vraket.
 - Ta bilder av alle delene av vraket: **5 poeng.**
 - Autonomt sette bildene sammen til en fotomosaikk: **20 poeng.**
 - Manuelt sette bildene sammen til en fotomosaikk: **10 poeng.**
- Måle lengden av vraket fra baug til akterende.
 - Innen 10 cm av den sanne lengden: **10 poeng.**
 - Innen 10.1 til 20 cm av den sanne lengden: **5 poeng.**

Videre vil ROV-en veies, og belønnes med 10 ekstrapoeng dersom egenvekt i luft er mindre enn 20 kg, og 5 ekstrapoeng med egenvekt under 28 kg. Det deles ikke ut poeng dersom ROV-en er tyngre enn 28 kg, og veies den til over 35 kg resulterer det i diskvalifikasjon. Nytt for året er at det ikke tas størrelsesmål av farkosten. Likevel begrenses størrelsen på ROV-en av dokking-stasjonen på én kubikkmeter.

Oversikt over poengfordeling

Det går ikke inn på detaljer rundt poenggivning i forhold til dokumentasjon og sikkerhet, da det ikke har betydning for den tekniske delen av prosjektet. Tabell 1, under viser en oppsummering av den totale poengfordelingen i konkurransen.

Produktdemonstrasjoner	
Oppgave 1-3	300 + tidsbonus
Vektrestriksjoner	10
Organisatorisk effektivitet	10
Prosjektering og kommunikasjon	
Teknisk dokumentasjon	100
Produktpresentasjon	100
Markedsføring	50
Bedriftens spesifikasjonsark	20
Bedriftsansvar	20
Bruk av VR-utstyr	25
Sikkerhet	
Gjennomgang av sikkerhet og dokumentasjon	20
Sikkerhetsinspeksjon	30
Sikker jobbanalyse	10
Totalt	695 + tidsbonus

Tabell 1 Samlet poengfordelingen til konkurransen.

Begrensninger og restriksjoner

Fysiske begrensninger for ROV-en omfatter ikke flyteren, da denne regnes som en egen enhet.

I utforskerklassen spesifiseres det at deltakere skal designe en ROV, uten eksterne komponenter, for å løse de praktiske oppgavene. Alle deler og komponenter skal være festet i ROV-ens ramme. Thrusterene skal ha beskyttelse som ikke tillater fingre å berøre propellene. Farkosten skal operere i klorert ferskvann med temperaturer i området 15 °C - 30 °C. Det nevnes også at uforutsette strømninger i vannet kan oppstå på grunn av bassengets filtreringssystem. Bassenget oppgis til å være maksimalt 6 meter dypt, og alle oppgaver utføres innenfor 10 meter fra bassengkanten. Stasjonen for skjermer og styresystem vil maksimalt være plassert 3 meter fra bassenget. Lengde på navlestreng må altså beregnes etter disse målene. Vinsj eller kran for sjøsetting er ikke tillatt. Dette utføres manuelt.

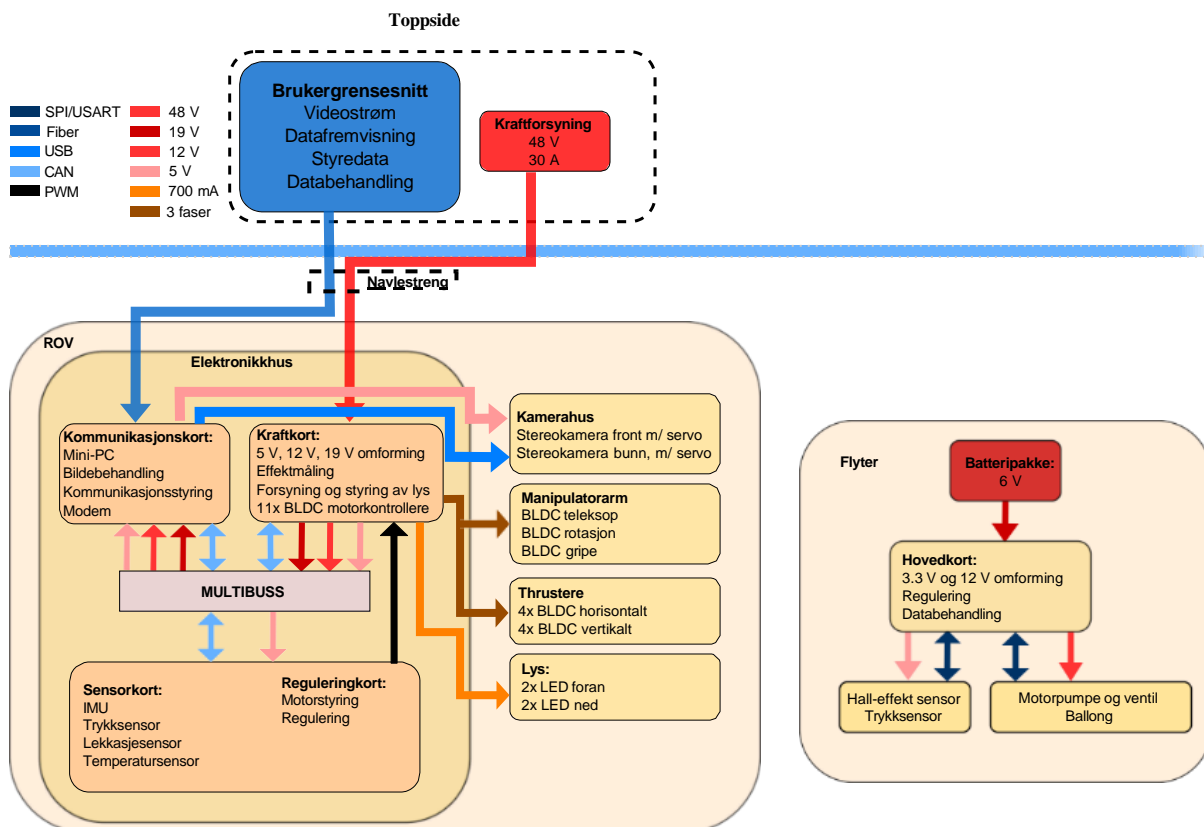
Arrangøren stiller med kraftforsyning, og dette er den eneste forsyningen man har tilgang til. Ekstra batterier og lignende tillates ikke. Kraftforsyningen leverer en nominell spenning på 48 VDC. I år er også deltakere pålagt å bruke en av MATE sine elektriske sikringer på 20 A, 25 A eller 30 A. Dette begrenser altså effektforbruket til 1440 W. All spenningsregulering skal foregå i elektronikkhuset til ROV-en, og kan ikke overgå 48 VDC. I tillegg er det oppgitt at koblinger og motorer som er eksponert i vann skal vanntettes, og ha en minimum resistans på 10 MΩ til vannet.

Flyteren skal være bygget fullstendig adskilt fra ROV-en, og skal fungere som en egen enhet. Størrelsen på flyteren er begrenset til 1 m i høyde, og 18 cm i diameter. Batterier ombord brukes som kraftforsyning. Her angir arrangøren en maksimal spenning på 12 VDC, og maksimalt strømtrekk på 6 A. Det kreves i tillegg en sikring på 7.5 A, som maksimalt kan plasseres 5 cm fra positiv pol på batteripakken.

1.4 Overordnet system

Figur 17 viser et blokkskjema av det overordnede systemet. ROV-en styres fra et brukergrensesnitt på toppsiden. Herfra sendes det styredata, i tillegg til at det vises videostrøm og status fra ROV-en. Kraftforsyning og fiberkommunikasjon fra toppsiden går gjennom en navlestreng. Kraftforsyningen går direkte inn på kraftkortet. Her foregår omforming til nødvendige spenningsnivåer, og distribuering av disse. Lys, motorer og motorkontrollere forsynes direkte fra kraftkortet. Fiberkommunikasjonen går inn på en mini-PC, som behandler data og organiserer kommunikasjonen i systemet. Kommunikasjonssignalene går inn på et kommunikasjonskort, via USB, og sendes videre over den lokale CAN-bussen. Mini-PCen er også koblet direkte til kamera- ene, og driver kontinuerlig bildebehandling. Både kommunikasjon og kraftforsyning sendes ut til det interne systemet i elektronikkhuset, via en felles multibuss. Det siste kortet er et kombinert sensor- og reguleringskort. Sensordelen av kortet leser og behandler data fra de ulike sensorene i systemet. Reguleringsdelen sørger for styring av thrustere og manipulatormotorer basert på styredata fra toppsiden. I tillegg utføres regulering av thrustere fra sensordataen. Pådragsdata sendes videre via motorkontrollerne på kraftkortet, og ut til aktuelle motorer.

Flyteren drives av en batteripakke på 6 V, som går direkte inn på et hovedkort. Her omformes spenningen fra 6 V til både 3.3 og 12 V. I tillegg gjennomføres databehandling og regulering i mikrokontrolleren på kortet. Sensordataen hentes fra to eksterne sensorkort, som inkluderer én hall-effekt-sensor, og én trykksensor. Mikrokontrolleren sender også styredata til motorpumpen og luftventilen, som sammen med en ballong utgjør oppdriftsmotoren.



Figur 17 Overordnet blokkdiagram av ROV-en.

1.5 Prosjektinndeling

Prosjektet er delt opp i flere oppgaver, hvor hver bachelorgruppe er tildelt et eget ansvarsområde. Totalt utgjør dette 9 bacheloroppgaver, hvor 5 av disse er innen elektro, 2 innen maskin, 1 innen data og 1 innen økonomi. Nedenfor presenteres hver oppgave i korte trekk, med ansvarsområde og gruppe-medlemmer.

1.5.1 Elektro

Kraftforsyningskort – Carl Henrik Preber Ettesvoll, Nicolai Jensen Narvesen og Jon Arve Andersen:

Oppgaven handler om å utvikle et kraftforsyningskort til ROV-en. I konkurransen skal ROV-en få elektrisk forsyning fra land via en navlestreng. Konkurransemanualen oppgir at det blir tilført 48 V spenning, og at strømbegrensningen er på 30 A. Kortet skal sørge for at all elektronikk blir tilført riktig spenningsnivå, og at effektforbruk overvåkes der det er nødvendig. Det skal også kunne prioritere kritiske prosesser, ved hjelp av digitalt styrte sikringskretser. Kraftkortet må ha rask responstid, kombinert med et robust design.

Maskinsyn og kommunikasjon – Christoffer Næss, Mats Røste og Tage Mellemstrand:

Oppgaven er todelt. Maskinsyn-delen går ut på å hente ut informasjon fra stereokameraene. Dette innebærer blant annet avstands- og størrelsesmåling, gjenkjenning av objekter og nødvendig informasjon for å løse de autonome oppgavene. Kommunikasjonsdelen går ut på å lage et robust kommunikasjonssystem i samarbeid med brukergrensesnittgruppen. Systemet skal kunne motta kommandoer fra toppsiden, behandle disse og sende dem videre til mikrokontrollere, som styrer de lokale prosessene i ROV-en. I tillegg skal systemet hente bilder fra kameraer, og sender dem tilbake til toppsiden, med så lite forsinkelse som mulig.

Sensorkort – Jørgen Hemnes Johannessen:

Oppgaven handler om å utvikle et sensorsystem til ROV-en. Dette innebærer å hente inn rådata fra sensorer, behandle dem og distribuere dem videre over kommunikasjonssystemet. Sensordata som behøves til reguleringen, er vinkelhastighet og -posisjon, samt dybden ROV-en befinner seg på. Det må i tillegg være mulig å detektere kritiske feil, som for eksempel vannlekkasje eller overoppheting. For å realisere systemet, må det utvikles et kretskort med en mikrokontroller som sørger for tilfredsstillende databehandling. Vinkeldata leses fra en *Inertial Measurement Unit* (IMU) som settes på kortet. Resterende data leses fra eksterne sensorer. Dette innebærer trykk- og temperaturmåling, i tillegg til lekkasjedeteksjon.

Styrings- og reguleringsystem – Tomas Royal Choat, Kristian Birkeland og Otto Nessa Ljosdal:

Oppgaven går ut på å utvikle et motorsystem for ROV-en. Dette består av thrustere for manøvrering, samt elektriske motorer for bevegelse av manipulatorarmen. Det skal utvikles et robust styringssystem for alle motorer. Dette må kunne motta manuell styredata fra toppsiden, eller autonom styredata fra mini-PCen, og generere motorpådrag etter ønsket oppførsel. For å forenkle manøvreringen, skal det i tillegg utvikles et reguleringsystem, bestående av tre PID-regulatorer. Disse skal sørge for at ROV-en automatisk kan holdes ved en ønsket dybde, og at den ligger stabilt i vannet. Sistnevnte oppnås ved å motvirke rotasjon fremover, bakover og sideveis.

Utvikling av smart flyter – Malin Harr Overland og Hanne Lovise Berger:

Oppgaven går ut på å utvikle en trådløs flyter, som automatisk kan manøvreres i vertikal retning. Manøvreringen realiseres ved hjelp av et styresystem, og en oppdriftsmotor. Motoren består av en pumpe og en solenoidventil, som endrer oppdriften ved å forflytte luft fra innsiden av flyteren, og ut i en ballong. For at styresystemet skal vite når motoren må aktiveres, kreves et sensorsystem. Dette inkluderer en trykkmåler for avlesing av dybdeendring, og en hall-effektsensor for å detektere om flyteren holdes av ROV-en. Flyteren skal i tillegg drives på batterier, og systemet må derfor tilpasse spenningsnivå til de ulike formålene. Dette gjøres på et hovedkort, som også sørger for tilfredsstillende styring og databehandling.

1.5.2 Maskin

Design og montering av ROV og flyter - Christine Nordal og Sandra Nygård:

Oppgaven går ut på å designe og bygge rammen til ROV-en, samt den indre- og ytre konstruksjonen til flyteren, ved å følge produktutviklingsprosessen. Den indre konstruksjonen til flyteren inkluderer oppdriftssystemet. Fokuset ved designet er å sikre at farkostene er godt egnet til å utføre oppgavene i konkurransen. I år rettes det også et økt fokus mot bærekraft og miljø. Det vil derfor bli lagt vekt på konseptet *Design for environment* (DFE) i utviklingsprosessen. Målet er å redusere miljøpåvirkningen i utviklingen av produktene. Effektiv bruk av DFE kan også bidra til reduserte kostnader og produksjonstid, i tillegg til å øke kvaliteten på produktet. Oppgaven inneholder også materialvalg, dimensjonering, strukturell analyse, flytanalyse og beregning av oppdrift og stabilitet. Dette for å sikre at produktene er stabile, har riktig oppdrift og er lette å manøvrere.

Design og produksjon av manipulator – Henrik Welde og Sindre Rød Torsteinsen:

Oppgaven går ut på å designe en manipulator som er i stand til å gripe tak i objekter. Fokuset for designet er å gjøre den så enkel som mulig, uten at dette går på bekostning av funksjonaliteten. Dette vil forenkle demontering, i tilfelle vedlikehold må utføres. Samtidig skal det tilstrebes å produsere armen så lett som mulig, da redusert vekt vil bidra til både bedre manøvrerings- egenskaper, og poeng i konkurransen. Klypen må være i stand til å gripe objekter av forskjellige størrelser og former. I tillegg skal den ha mulighet for rotasjon og teleskopbevegelse.

1.5.3 Data

Operatørgrensesnitt og kommunikasjon – Vebjørn Lia Riiser og Åse Jortveit

Sagebakken:

Oppgaven som skal løses, er å utvikle et system for å styre og overvåke ROV-en. Det må derfor implementeres et system for å sende kommandoer og styringsdata fra toppsiden til mini-PCen i ROV-en, som gjøres i samarbeid med maskinsyn-gruppen. I tillegg må det designes et brukergrensesnitt som presenterer videostrøm i sanntid, og sensordata. Hovedfokuset for grensesnittet er brukervennlighet, som innebærer fremvisning av nødvendig informasjon på en oversiktlig måte.

1.5.4 Økonomi

Endringsprosess i UiS Subsea – Maren Lovise Jåsund, Sina Brunnes og Sanna Sørskår:

UiS Subsea er i år utvidet ved å involvere en gruppe fra økonomi og administrasjon. Målene fremover er blant annet å utvide organisasjonen til å involvere flere fagfelt, og ha flere pågående prosjekter samtidig. Ved hjelp av John P. Kotters 8-steps modell, skal gruppen se på hvordan UiS Subsea på best mulig måte kan fortsette endringsprosessen av organisasjonen. Hovedsakelig innebærer dette organisering av de økonomiske og administrative oppgavene. UiS Subsea er hovedkilden. For å få et større perspektiv på økonomi og administrasjon, intervjues i tillegg tre andre bedrifter som organiserer disse oppgavene på forskjellige måter. Innhentet informasjon legger grunnlaget for videre analyser av hvordan UiS Subsea på best mulig måte kan organiseres med flere medlemmer og prosjekter. De strategiske analysene som skal gjennomføres, er *SWOT* - analyse og strategierret. Analysemetodene vil gi god innsikt i bedriftene, og et godt grunnlag for å sammenligne dem.

1.6 Regulering og styring av motorsystem

Fokuset for denne oppgaven er å designe et regulering- og styresystem for ROV-en. Dette innebærer å velge ut thrusterer samt motorer for manipulatorarmen. Det er et mål å gjøre ROV-en så lett som mulig for å oppnå ekstra poeng i konkurransen. Motorer og thrusterer må derfor velges ut med dette som bakgrunn.

Det er nødvendig å kunne styre motorene, og det må derfor velges ut motorkontrollere som har ønsket funksjonalitet samt passer til disse motorene. For å kommunisere med motorkontrollerene og resten av ROV-en, må det også designes et kretskort som realiserer denne kommunikasjonen.

Det skal utvikles et styresystem som mottar styredata fra toppsiden eller fra maskinsyn-PC og genererer motorpådraget til hver thruster. Det skal i tillegg utvikles et reguleringssystem som stabiliserer ROV-en i vannet. ROV-en skal autonomt holdes ved en ønsket dybde i vannet og ikke tilte fremover, bakover eller sideveis. For å realisere dette kreves det en matematisk modell av hele systemet som gjør det mulig å simulere ROV-ens oppførsel både med og uten regulering.

Manipulator vi har laget for Subsea teamet skal gjøre spesifikke oppgaver som er blitt oppsatt av MATE ROV. Konkurransen har visse regler som vi må følge, en av disse er hvor tung ROV-en kan være. Dette året er maksvekt for ROV-en 35kg og ikke større enn en kvadratmeter[m²]. Målet for gruppen er å få en samlet vekt under 20 kg. Autodesk Inventor ble brukt for å dimensjonere deler som ikke var standarder. 3D-printing av deler ble brukt til prototyper for testing.

2. Teori

2.1 Subsea-Teknologi og ROV

I alle undervannsoperasjoner ble det tidligere bare brukt dykkere. Dette var effektivt ettersom dykkeren kunne inspisere problemet med egne øyner, og så diskutere en løsning sammen med teamet. Men å sende dykkere ned i dypt vann, og opp igjen kan være livsfarlig, og kan ta tid. På slutten av 70-tallet, ble vi først introdusert til ROV-ene. I starten var disse ROV-ene hovedsakelig i bruk til inspeksjon, så dykkerne fikk en bedre oversikt over arbeidet. Men i 1989 på EKOFISK ble det tatt i bruk ROV-er med 2 manipulatorer, og flere undervannskameraer. Dette førte til at operasjoner kunne bli utført av ROV-ene alene (NORSK OLJEMUSEUM, 2017).

2.2 Kraft og moment

Kraft og moment er to fundamentale begrep innenfor analyse av strukturer.

$$\sum M = F * r \quad (1)$$

$$\sum F = m * a \quad (2)$$

Disse formlene blir anvendt til disse formlene i vår spenningsanalyse til de utsatte områdene i teleskopleddene, som er de to nest ytterste. Følgende formel for bøyemoment er gitt:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{w_b} \quad (3)$$

Hvor σ_b er bøyespenningen, M_b er bøyemomentet og w_b er tverrsnittsmodulem til den målte akslingen. Tverrsnittsformelen for et rør er følgende:

$$w = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad (4)$$

Hvor D er ytre diameter og d er indre diameter.

MATE konkurransen spesifiserer at objekter som skal løftes og forflyttes ikke overstiger 15[N]. Derfor har vi bestemt oss for at designet skal tåle ca 30 [N] uten brudd. Slik at vår sikkerhetsfaktor for brudd er følgende:

$$n_b = \frac{\sigma_{sikkerhet}}{\sigma_{maks}} \quad (5)$$

2.3 Gjengestang til teleskop og klypemekanisme

M10

For å drive manipulatorene fremover, bruktes en motor til å rotere en gjengestang. Motoren er festet i bakre lokket på aluminiums-rammen. Dette gir en stabil og horisontal bevegelse utover og tilbake. Gitt en rotasjon så ble kraften i vertikal retning høy. Dataene for gjengestang til teleskopfunksjon kan man se på tabell 2:

Dekorasjon/Finish	Naturlig
Lengde	1000 mm
Produksjonsstandard	RS components produkt
Material	Rustfritt stål (A2)
Material spesifikasjon	Rustfritt stål (A2)
Metrisk/Imperisk	Metrisk
Gjengestigning	2 mm
Gjengestørrelse	M10

Tabell 2 Dataene er hentet fra RS components hjemmeside

M4

For å åpne og lukke kloen brukes en m4 gjengestang med en vanlig m4 mutter. På tabell 3 kan man se data oppgitt for produktet:

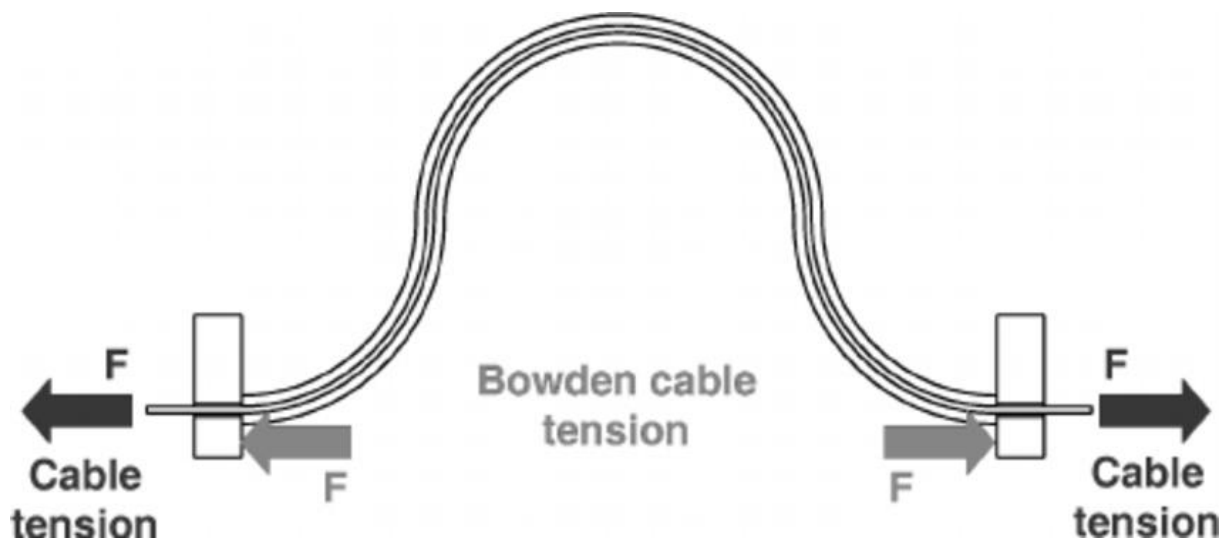
Dekorasjon/Finish	Naturlig
Lengde	1000 mm
Produksjonsstandard	DIN 975
Material	Rustfritt Stål (A2)
Material spesifikasjon	Rustfritt stål (A2)
Metrisk/Imperisk	Metrisk
Gjengestigning	0.7 mm
Gjengestørrelse	M4 (4mm)

Tabell 3 Dataene er hentet og oversatt fra ACCU

2.4 Bowden kabel

Bowden kabel er en mekanisk funksjon som gjør det mulig å overføre krefter ved en fleksibel kabel. Den fungerer slik at du har en indre kabel som ligger på innsiden av en ytre kabel, så når du dra i den ene siden av den indre kabelen så vil du skape et moment i andre siden av kabelen, som illustrert i figur 18. Bowden kabel er da en grei løsning for å overføre kraft, uten å ta opp så mye plass. Dette gjør at en kan plassere motoren helt bak i rammeverket.

[8]



Figur 18 Modell av prinsippene bak Bowden kabel.

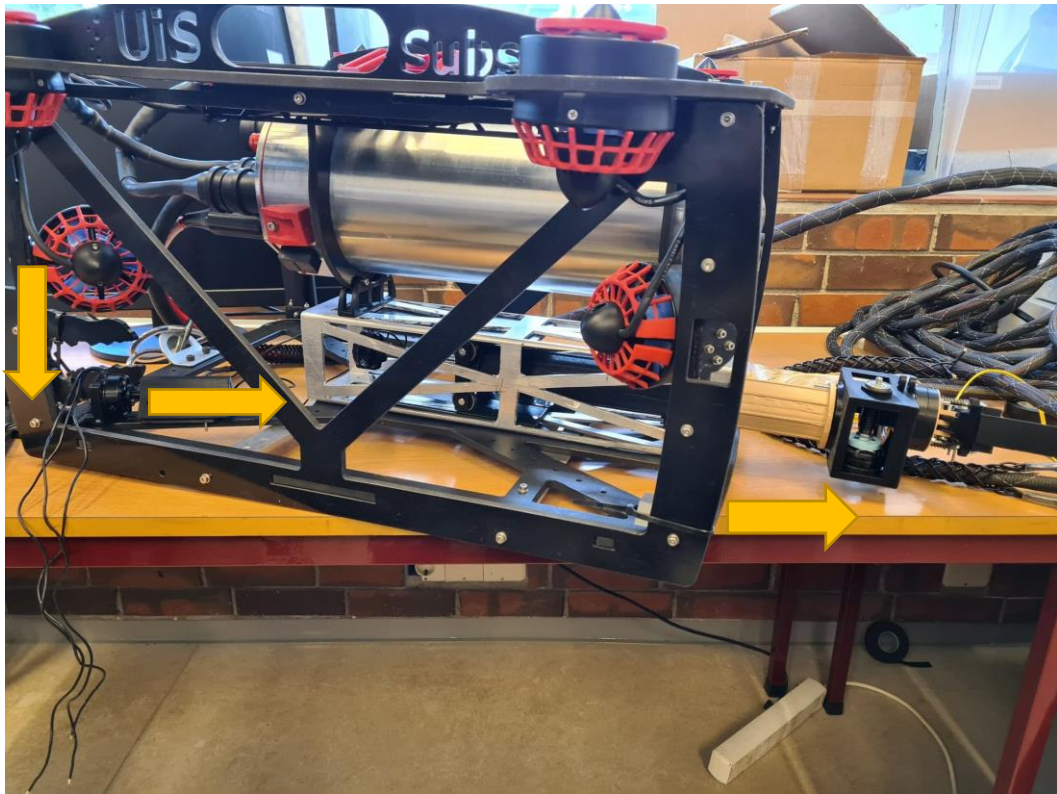
2.2 Motorvalg:

Følgende motor har blitt brukt til alle bevegelsene:

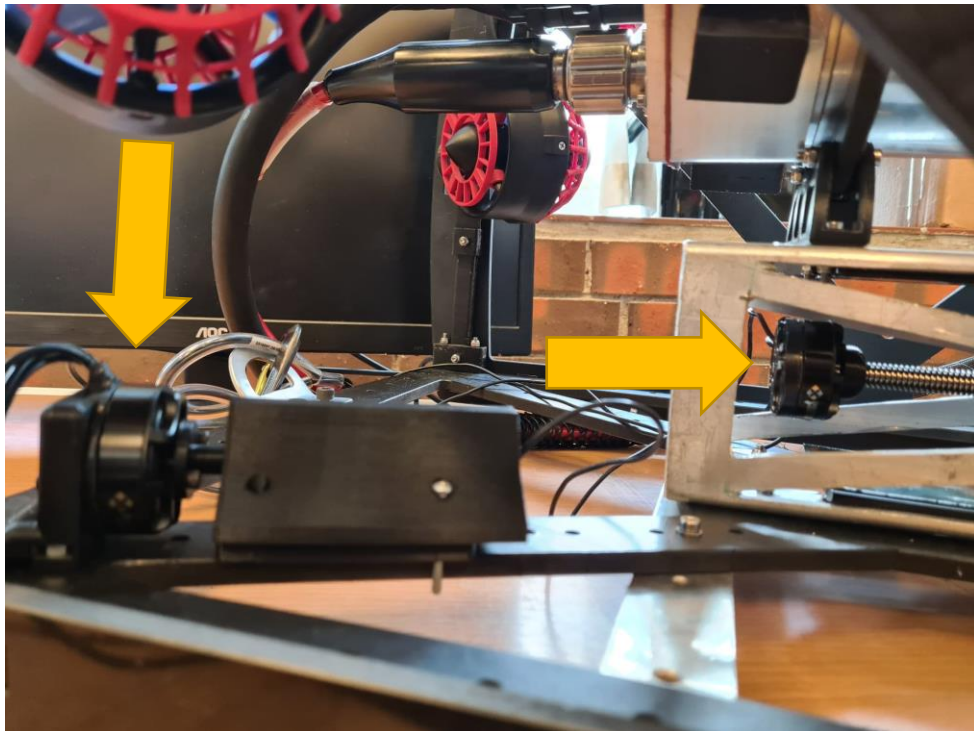
- Eaglepower LA3508 KV390

Motoren vil bli tilført en spenning på 12 Volt. Alle leddene bruker samme type motor.

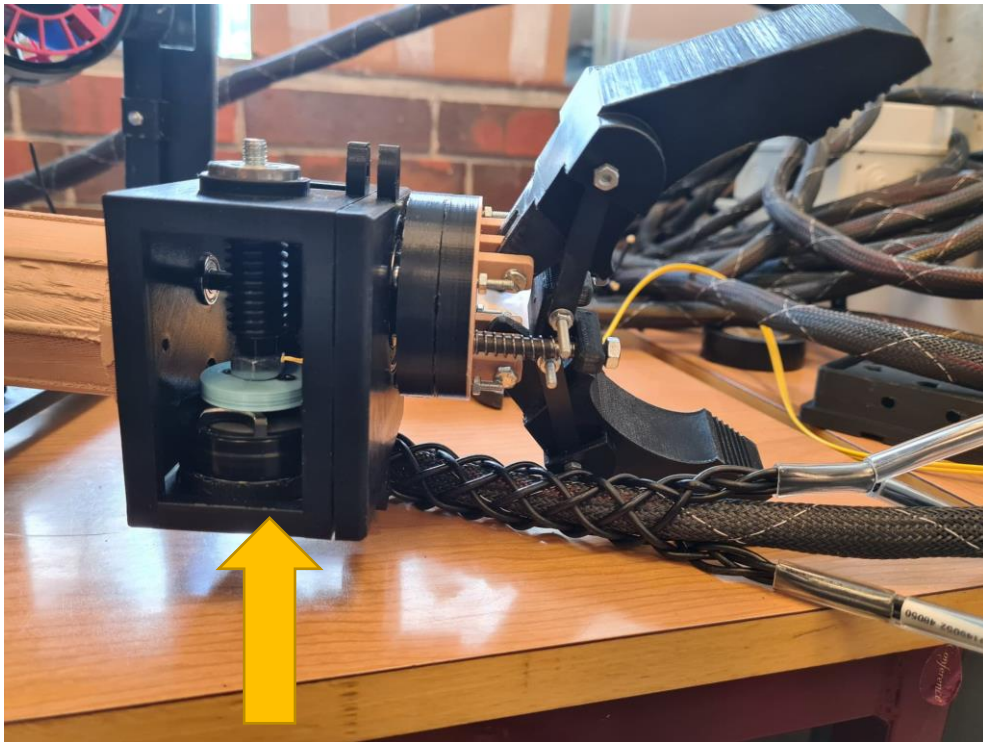
Rotasjonsbevegelsen befinner seg i ytterste ledd på manipulatore. Motoren som brukes til horisontal bevegelsen og til klypemekanismen befinner seg bakerst i manipulatore. På figur 19 er det illustrert med gul pil hvor motorene sitter. Se figur 20 og 21 har ett nærmere bilde.



Figur 19 Bilde av manipulatoren plassert i ROV-en med alle dens motorer montert.



Figur 20 Klypemekanismen med motor helt til venstre og teleskopfunksjonen med motoren uten bakre lokk montert, til høyre.



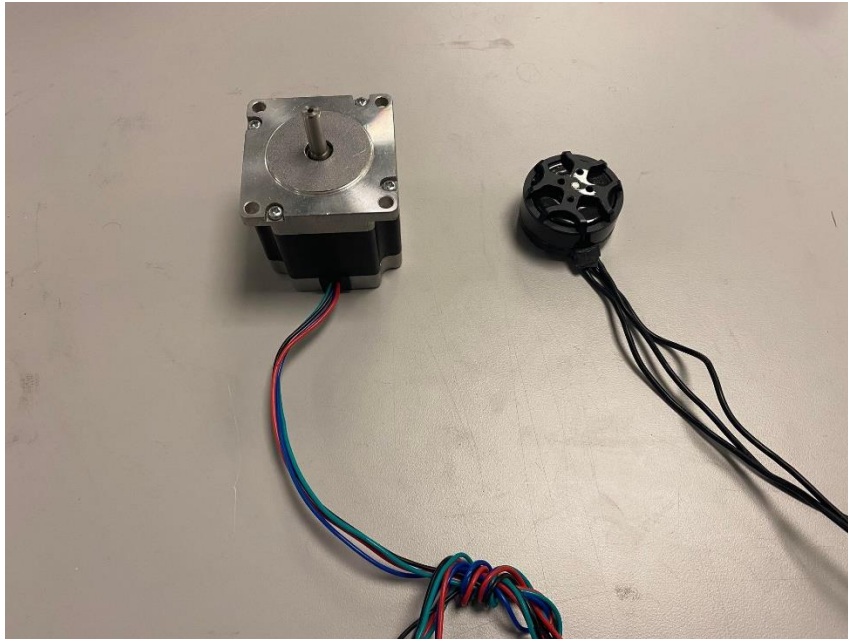
Figur 21 Motoren befinner seg nederst i rotasjonshuset.

$$\tau = \frac{P}{\omega} \quad (6)$$

Hvor ω er rotasjonshastighet [rad/s], P er effekt tilført i watt [J/s] og τ er moment [Nm].

Stepper motor

Stepper motorer er en kraftig børsteløs motor, som flytter seg stegvis. Dette fører til at de har et høyere holdemoment og kan tilføre mer kraft enn de børsteløse motorene uten holdemoment. På figur 22 ser man fjorårets- og årets motor. Forskjellen mellom de to motorene er størrelse og kraft. Valget av årets motor ble den lettere varianten. I tillegg så ble tetningsprosessen av de store stepper motorene mye mer arbeid enn de mindre variantene. Dette ettersom fjorårets motor måtte ha ett ekstra motorhus, som er grunnen til dens vekt. Fjorårets design brukte stepper motorer og kunne løfte mer enn designet vårt, til ulempe for den ekstra vekten på ROV-en.



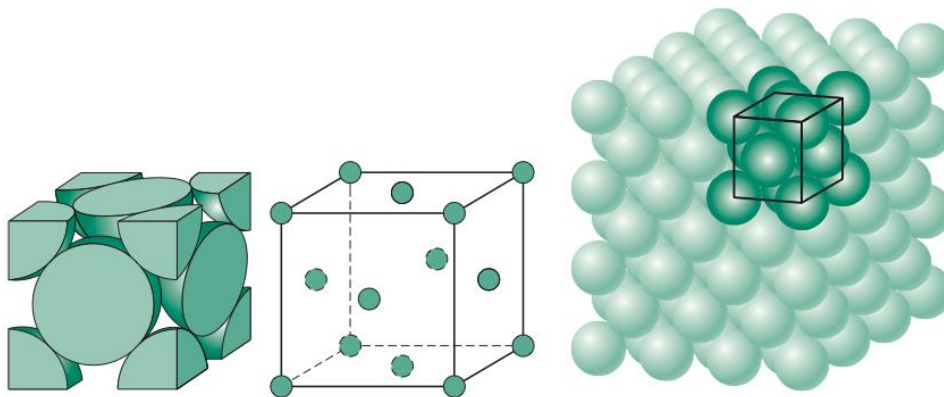
Figur 22 Fjorårets motor til venstre, og årets til høyre

2.5 Aluminium og Stål

Aluminium

Aluminium er materialet som er valgt som ytterramme til manipulatoren. Vi har valgt dette materialet ettersom det er et sterkt, billig og ikke minst et lett material. Det brukes i mange forskjellige konstruksjoner som krever lettere vekt. Det har en duktil oppbygning og har en lav flytegrense. Vil derfor kunne se at materialet er på vei til et brudd, før det faktiske bruddet. Siden belastningen til manipulatoren ikke er høy, så er aluminium godt egnet.

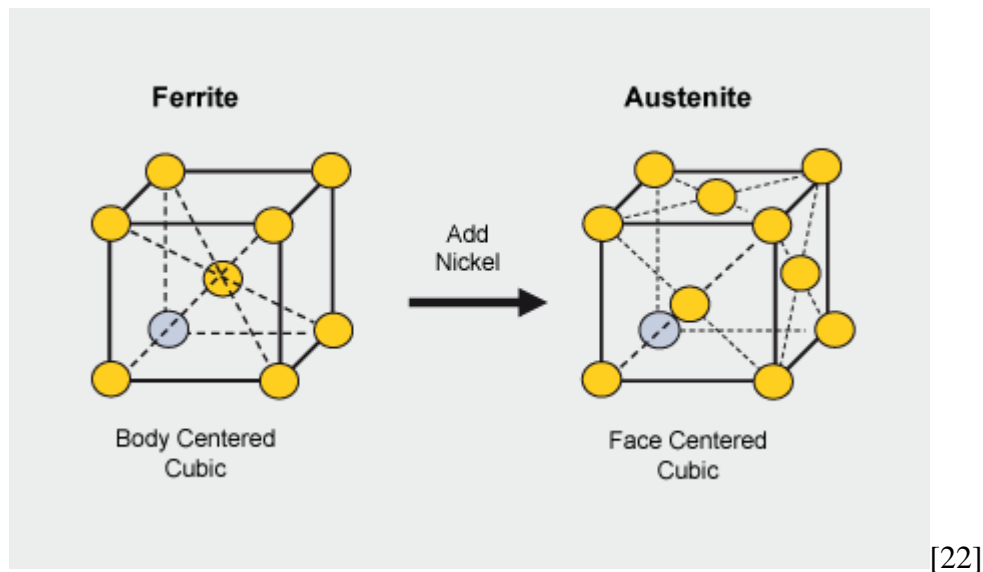
Strukturen til materialet er en FCC (Face-Centered Cubic) og har en smeltetemperatur på rundt 660 °C. FCC innenfor materialteknologi er en krystallstruktur som har atomer på hvert hjørne og hvor det er atomer på hver flate i strukturen. Figur 23 nedenfor viser en FCC struktur. Totalt opptar FCC strukturen per kube 4 atomer.



Figur 23 En modell av FCC struktur.

Stål

Stål er en legering bestående av jern, karbon og ofte andre grunnstoffer for å endre dens egenskaper. Det er det mest brukte materialet til konstruksjon som følge av dens allsidige egenskaper. Det er sterkt, utholdende og duktilt. Til manipulatoren brukes stål til de komponentene som krever høyest styrke. Blant annet til skruene, mutterene, fjær, kulelager og gjengestang. Stål sin atomstruktur er mer varierende enn aluminium. Strukturen til materialet blir bestemt av karboninnholdet (%) til materialet og varmebehandlingen. Ferritt som er en av stålstrukturene med lavest andel karbonatomer (0.008%-2.14%) er en BCC. Den består av jern- og karbonatomer som opptar ca 2 atomer per kube. Austenitt er også blant de med lavest (0-2%) men er blitt varmebehandlet med høyere temperatur og tilført nikkel for høyere styrke og duktilitet. Dette konverterer strukturen til en FCC, som man kan se på figur 24.



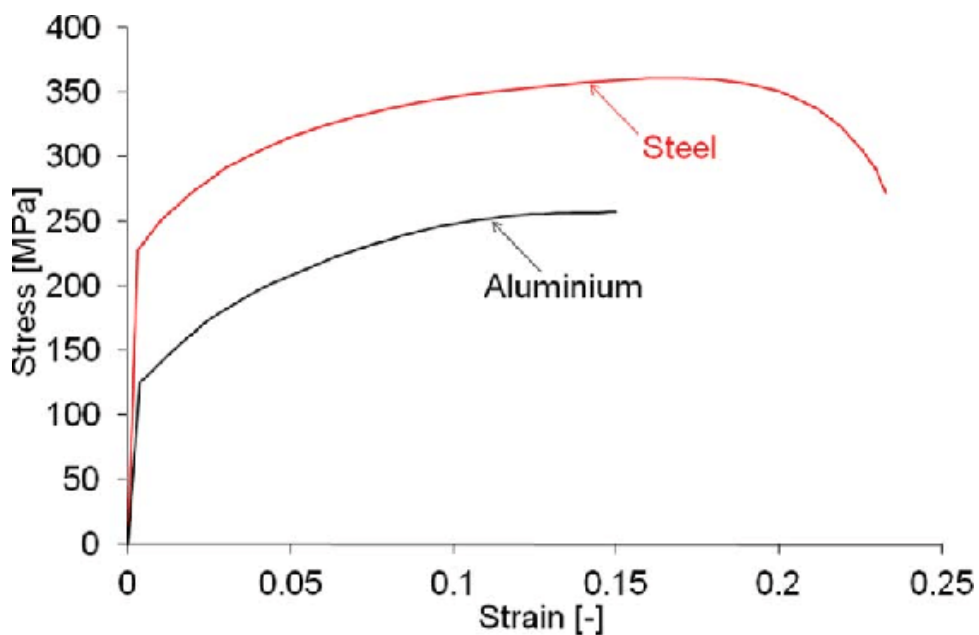
Figur 24 Modell som viser hva som skjer ved feritt når man legger til nikkell

Formelen for antall atomer i en FCC eller BCC strukturen er følgende:

$$N = N_i + \frac{N_f}{2} + \frac{N_c}{8} \quad (7)$$

Hvor N er antall atomer, N_i er antall i sentrum av kube, N_f er antallet på flatene til kubene og N_c er antall atomer på hjørnene til kubene.

Figuren nedenfor viser en sammenligning mellom stål og aluminium. Som man ser på figur 25, vil aluminium gi oss et kortere forvarsel før det oppstår brudd enn stål. På tross av dette så vil mesteparten av belastningen i vårt tilfelle, ikke være i nærheten av flytegrensen til det aktuelle materialet.



Figur 25 Graf over hvordan styrken til stål og aluminium, påvirkes av trykk [19].

2.6 Belastning og slitasje

Følgende intervaller har blitt brukt til sikkerhetsfaktorer:

Sikkerhetsfaktor mot brudd, $n_b = 2.0-3.0$

Teleskopfunksjonen har komponenter som blir utsatt for belastning. Det er viktig at disse delene er sterke nok til å motstå kreftene til funksjonen. Delene ble forsterket med å tilføre mer massetetthet i 3D-printen. Teleskopfunksjonen blir utsatt for en vinkelrett og enakset spenningstilstand. Følgende formel blir brukt:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Hvor σ er spenningen [Pa], F er kraften [N] og A er arealet [mm^2]. Under mer avanserte spenninger hvor spenningen er i flere retninger er følgende formel gitt.

$$\tau = \frac{\mathbf{F} * \sin(\Theta)}{A_{snitt}} \quad (9)$$

Hvor τ er skjærspenning [Pa], F er kraften [N], $\sin(\theta)$ er sinus til en gitt vinkel og A_{snitt} er arealet til utsatt område.

$$\sigma_n = \frac{\mathbf{F} * \cos(\Theta)}{A_{snitt}} \quad (10)$$

Hvor σ_n er normalspenningen [Pa], F er kraften [N], $\cos(\theta)$ er cosinus til en gitt vinkel og A_{snitt} er arealet til utsatt område. Siden manipulatorene blir utsatt for enakset spenning blir førstnevnte brukt til belastningsanalysen.

2.7 Trykk/Overflatespenning

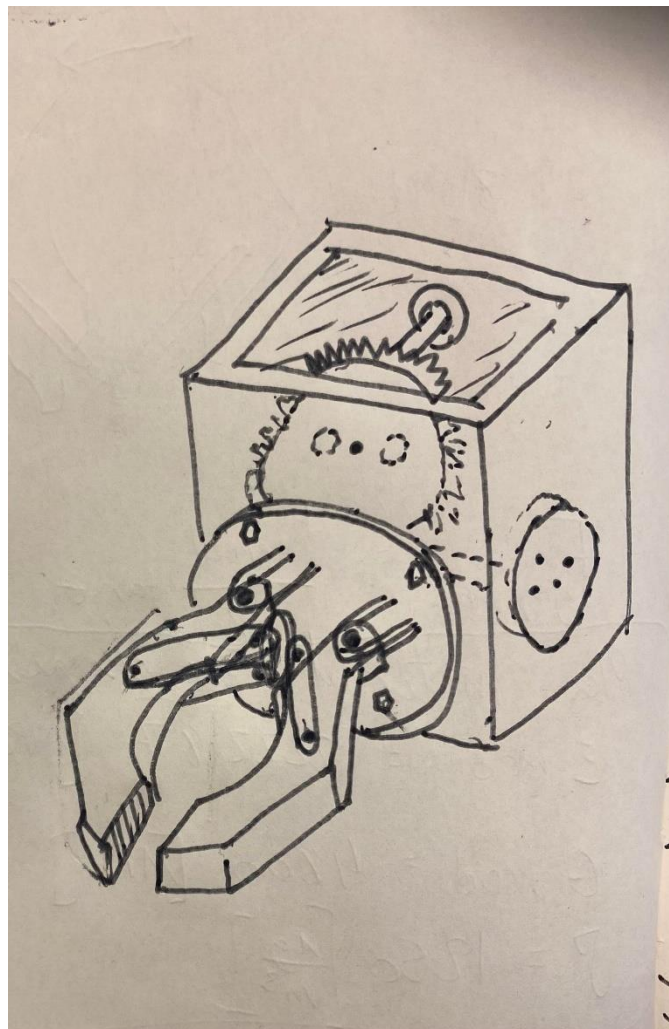
Trykk eller overflatespenning er kraft/vekt over et visst areal. Dette måles i newton per kvadratmeter eller $(\text{kg} * \text{m} / \text{s}^2) / \text{m}^2 = [\text{N} / \text{m}^2]$. Formelen for konstant tetthet er $P = (\text{density} * \text{gravity} * \text{height})$ Dette blir også kalt pascal [Pa]. Atmosfæren er omtrent 101000 pascal avhengig av temperatur og hvor på kloden man er. På overflaten er det luft som lager trykket, men dette blir målt annerledes siden det blir mindre massetetthet, om man øker høyden over overflaten. På toppen av Mt. Everest er det 1/3 av trykket som er ved havoverflaten. Det vil si at vann koker på 68°, og ikke 100° som det gjør ved havoverflaten.

Når man går under havoverflaten så øker trykket, desto dypere man går. Trykket i denne sammenhengen blir bestemt av hvor mye vann som er mellom objektet og overflaten. Hvis man er 1000 meter under havoverflaten så blir det rundt 9,81 mega-pascal, som er nesten 100 ganger mer trykk enn det man blir utsatt for på overflaten. Derfor er valg av materialer og

utforming av fartøyet for slike oppdrag viktig. MATE ROV konkurransen vil se vekk fra denne utfordringen siden dybden er på bare rundt 4 meter. Dette vil ikke påvirke de fleste materialer.

2.8 Tannhjul og gjengestang

Designet til manipulatoren skal være enklere og lettere å håndtere enn de tidligere. Denne har en gjengestang, som får manipulatoren til å stikke ut i horisontal retning. Kloen vil basere seg på en klypemekanisme, bestående av en vaier for å lukke og en fjær for å åpne. Den skal ha ett rotasjonshus, hvor kloen fritt kan rotere 360°. Rotasjonshuset ser man illustrert på figur 26. Vi ble enige i Subseateamet at det beste ville være å lage manipulatoren med kun en akset forflyttelse. Slik at mesteparten av de vertikale og horisontale bevegelsene blir gjort med selve ROV-en og thrusterne.



Figur 26 Modell av rotasjonshuset.

Komposisjonen til gjengestaven er stål (Carbon Steel C45). Den er 1 meter lang med en stigning på 2 millimeter per omdreining og veier 460 gram per meter. Den ble levert av RS Components. Gjengemutteren ble bestilt på samme sted. Vekten er 150 gram cirka og har den samme stigningen. Gitt dataene så blir stigningen til gjengestangen:

$$\begin{aligned} \tan(\beta) &= \frac{s}{\pi d_p} \\ \tan(\beta) &= \frac{s}{\pi d_p} \end{aligned} \quad (11)$$

Hvor s er stigning per rotasjon, d_p er middeldiameteren til gjengestangen. Vinkelen til gjengestangen blir da:

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{s}{\pi d_p}\right) \quad (12)$$

Momentet til gjengestangen er gitt følgende likning:

$$M = Vr_p \left(\frac{(\mu_{st} + \tan \beta)}{(1 - \mu_{st} \tan \beta)} + \frac{r_c}{r_p} \mu_c \right) \quad (13)$$

Hvor M er moment tilført, V er vekt[N], r_p er innerradiusen til stangen, r_c er radiusen til midtpunktet av gjengene, μ_{st} er friksjonskoeffisienten til skruen og mutteren, μ_c er friksjonskoeffisienten mellom skrue og underlaget den glir langs og $\tan(\beta)$ er vinkelen til gjengene

For en selvlåsende effekt mellom skrue og underlag brukes ligningen nedenfor:

$$\mu_s \geq \tan \beta = \frac{s}{\pi d_p} \quad (14)$$

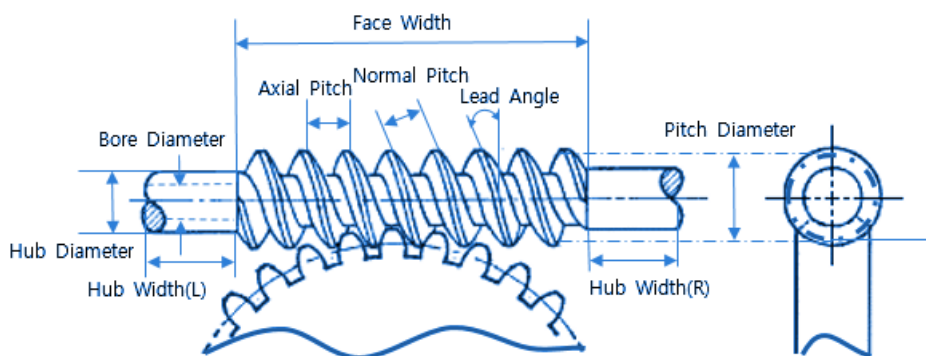
Hvor μ_s er friksjonskonstanten til stål i tilfellet, β er stigningsvinkelen til skruen, s er stigningen og d_p er middeldiameteren.

2.9 Snekke-drift og dens funksjon

Snekke-drift er en drift som sørger for at en rotasjon eller bevegelse i en akse blir flyttet til en annen. Den sørger for høyere moment og lavere turtall. Dette konseptet er godt egnet for mekanismer som krever lav omdreining og høyt moment. Figur 27 nedenfor viser snekke-driftens mekanisme med navnsetninger. Dette er også passende for motorer som mangler holdemoment. Eaglepower KV390 har ikke holdemoment som gjør snekke-drift konseptet egnet til disse motorene og deres anvendelser til manipulatorene. Motoren må posisjoneres vinkelrett siden kraften blir overført til en ny akse med dette konseptet. Formelen for fartsraten, i er følgende:

$$i = \frac{N_{\text{tannhjul}}}{N_{\text{snekkeskrue}}} \quad (15)$$

Hvor i er fartsraten, N_{tannhjul} er antall tenner på tannhjølet og $N_{\text{snekkeskrue}}$ er antall tenner på snekke-driften.



Figur 27 Her kan man se en modell på hvordan en snekke-drift fungerer/ser ut.

Snekkedriften som er blitt valgt til denne oppgaven er bestilt fra RS. Det er en PRO Steel0.8 Module. På tabell 4 kan man se dimensjonene for bår snekkedrift.

Egenskap	Verdi
Modul	0.8
Material	Stål
Drift retning	Høyre
Antall start ender	1, 12 vindinger
Total lengde	30 [mm]
Diameter m/tenner	15.6 [mm]
Diameter u/tenner	14 [mm]
Pressvinkel	20°

Tabell 4 Dataene til snekkedriften er hentet fra RS components sine hjemmesider.

Tannhjulet til girsystemet er blitt dimensjonert, og printet på UIS. I tabell 5 kan man se de ulike dimensjonene.

Egenskap	Verdi
Modul	0.8
Material	PLA
Diameter ytre	42.5 [mm]
Diameter indre	40.9 [mm]
Antall tenner	50

Tabell 5 Dataer for tannhjulet, laget på Autodesk Inventor

Snekkedriften sin stigning er gitt ved følgende formel:

$$\tan(\beta) = \frac{mz_1}{d_p} \quad (16)$$

Hvor m er modulen til snekkeskruen, z er antall tenner og d_p er middeldiameteren til gjengen som er [modulen] – [total diameteren]

2.10 3D-Printing

3D-printing, også kalt additiv produksjon er en produksjonsmetode som brukes til prototypetesting. Materialet som brukes til 3D-printing er hovedsakelig PLA. Styrken til PLA er godt egnet for konstruksjoner som krever lav belastning. Derfor er ikke denne type 3D-print, egnet for deler eller konstruksjoner som krever høy belastning, til for eksempel akslinger til bil. Det finnes forskjellige metoder for additiv produksjon. Blant annet filament, pulver og fotokjemisk. Tegningen som skal 3D-printes blir sendt til et program hvor den blir printet lagvis.

Stereolitografi er en metode i 3D-utskrivning som brukes til å lage prototyper. Dette er en fotokjemisk metode innenfor additiv produksjon. Prototypene som har blitt produsert er lagt i en væske. Ved kontakt med lys blir monogomerer og polygomerer krysset med hverandre og danner polymerer. Stereolitografi er en god metode for å lage prototyper på kort tid. De er meget nøyaktige og krever lite tid for å få en utskrift produsert.

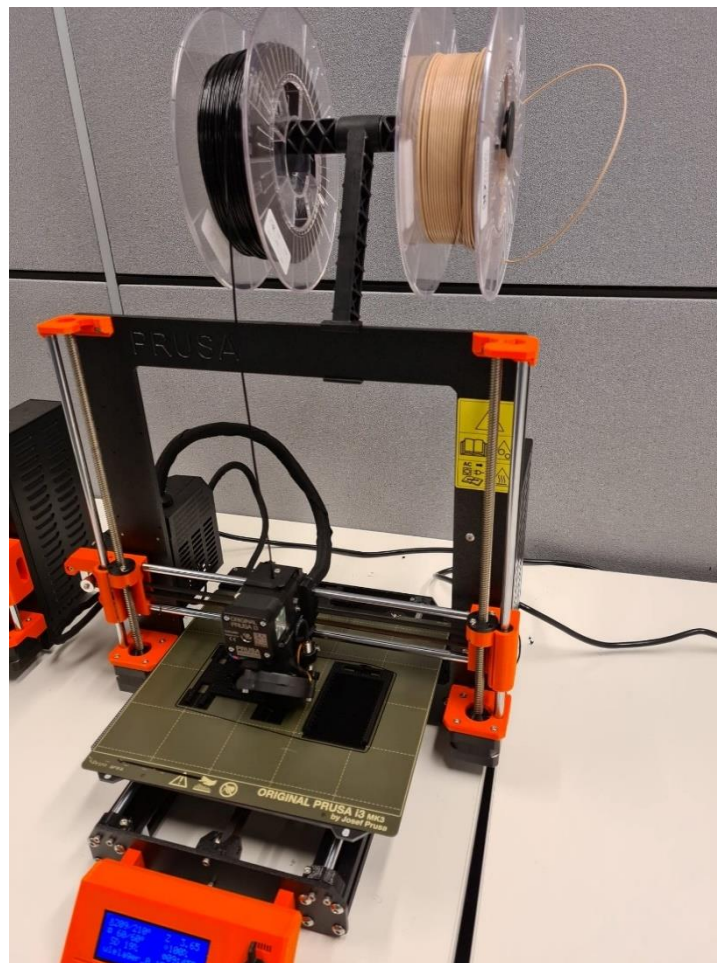
Til prototypetestingen for manipulatorene ble det brukt filamentsmelting. Også kjent som fused deposition modeling (FDM). Her blir plastikk smeltet og påført med en dyse, lag for lag. Lagene kan variere i tykkelse. Ved høyere tykkelse på filamentet, printes modellen raskere, men nøyaktigheten blir lavere. Ved en lavere tykkelse skjer motsatt. Da blir modellen mer nøyaktig, men produksjonen tar mer tid. Dysen er laget av messing i de fleste tilfellene selv om stål også blir brukt. Dette er på grunn av deres evne til å lede varme, samt smelte filamentet. Gitt en flate A_i og tiden per lag T_i den bruker på å 3D-printes så gjelder følgende formel:

$$T_i = \frac{A_i}{vD} + T_r \quad (17)$$

Hvor A_i er flaten på laget, v er farten til dysen langs overflaten, D er diameteren hvor filamentet kommer ut og T_r er reposisjonerings tiden til startpunktet for neste.

De vanligste materialene som blir brukt er PLA eller ABS, som er plasttyper. Det finnes mer avanserte skrivere som kan bruke andre typer plast også. Plasttypene har forskjellige temperaturer til printing.

For å kunne 3D-printe må man bruke slicer-programmer. Dette programmet konverterer en 3D-fil til en g-kode. En g-kode er instruksjoner for hvordan programmet skal orientere seg på en flate. Da kan skriveren fritt legge filamentet langs overflaten. Det finnes forskjellige instruksjoner for hvordan filamentet skal legges. Under på figur 28, kan du se hvordan printerens vi har brukt ser ut



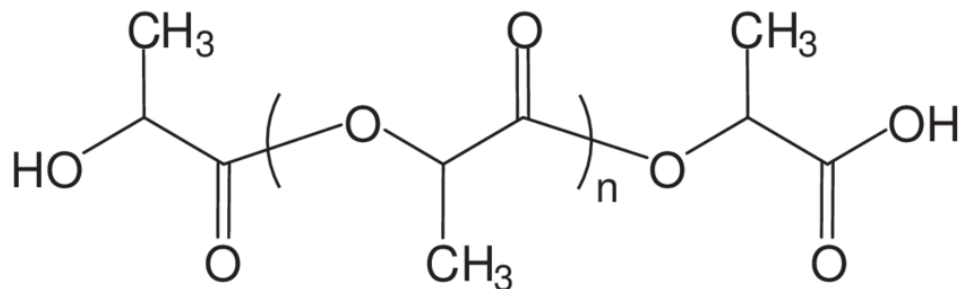
Figur 28 Bilde av Prusa-slicer i3 MK3S+ i arbeid.

Fordelen med 3D-printing er at man får et mer detaljert resultat av en modell enn hvis man bruker maskineringsutstyr. I tillegg så krever det mindre materiale og mengden materialsvinn blir kraftig redusert.

Materialet som har blitt brukt i dette prosjektet har for det meste vært PLA (polylactic acid) som er en form for plastikk. Dette materialet har lav vekt og er lett å 3D-printe med. Det har en tetthet på omtrent 1250 kg/m^3 .

PLA er et egnet material å bruke, ettersom dets relative styrke er bra nok for oppgavene. Det er noen ting vi må ta ekstra hensyn til for å få sterkest mulig deler. Det er viktig å tenke over retningen delene blir printet. Det har mye å si for hvor sterk den blir. F.eks når man printer en hvilken som helst del, vil den tåle en stor normalkraft, mens langs printen så vil den tåle mindre. Styrken avhenger av prosentandelen med infill i delen. Ved 15% så er delen lett knekkelig, men ved 90% tåler den mer. Ved fuktig filament, kan filamentet få en mer uthulet konsistens. De ferdig printede delene bør holde under 50° , ettersom materialet kan bli for duktilt.

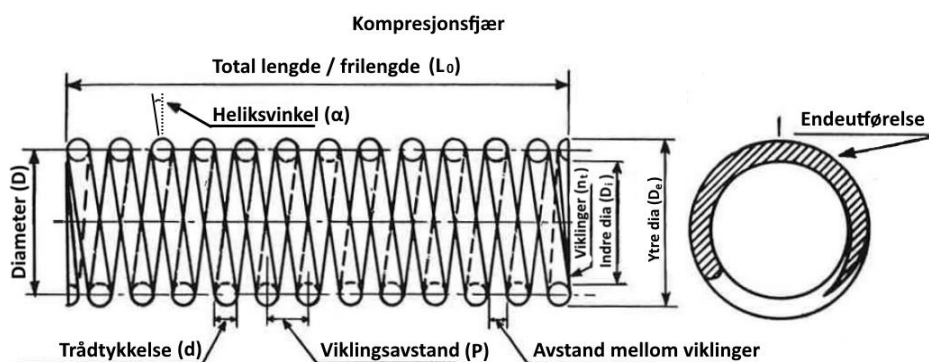
PLA er et nedbrytbart som følge av dens kjemiske struktur. Årsaken til dette er at mange av dens ingredienser består av biomateriale som for eksempel sukkerrør og maisenner som består av mye stivelse. Under passende forhold så kan det brytes ned på rundt 3 måneder, men på en søppelfylling så kan det ta mellom 100-1000 år. Derfor er det viktig at dette blir sendt til fasiliteter som er i stand til å gjøre denne jobben mer effektivt. Den kjemiske strukturen til PLA er vist på figur 29.



Figur 29 Polylactic acid, PLA molekyl

2.11 Fjær

Fjær er en innredning som brukes til å lagre energi eller oppta støt. De deformerer seg elastisk og egner seg derfor godt til maskiner og verktøy, som mottar sykliske spenninger. Men det fungerer også til å holde noe åpent eller lukket. Her blir fjæra fremme på kloa til manipulatoren, brukt til å holde den åpen. Materialet fjæra er laget i er som regel stål, ettersom dette er et sterkt og utholdende material.



Figur 30 En modell av kompresjonsfjær

En fjærs oppbygning består av en ståltråd som er viklet sirkulært med en viss vinkel kalt heliksvinkelen gitt α , en total lengde L_0 , viklingsavstand p (pitch), trådtykkelse d , antall viklinger n og en indre og ytre diameter D_i og D_o . På figur 30 ser man illustrert hvordan en fjær ser ut.

Fjærindeks er en indeks som sier noe om formen til en fjær og dens egenskaper. Vanligvis er denne indeksen mellom 6 og 12. Følgende formel blir brukt for å finne fjærindeksen, C .

$$C = \frac{D}{d}$$
$$C = \frac{D}{d} \quad (18)$$

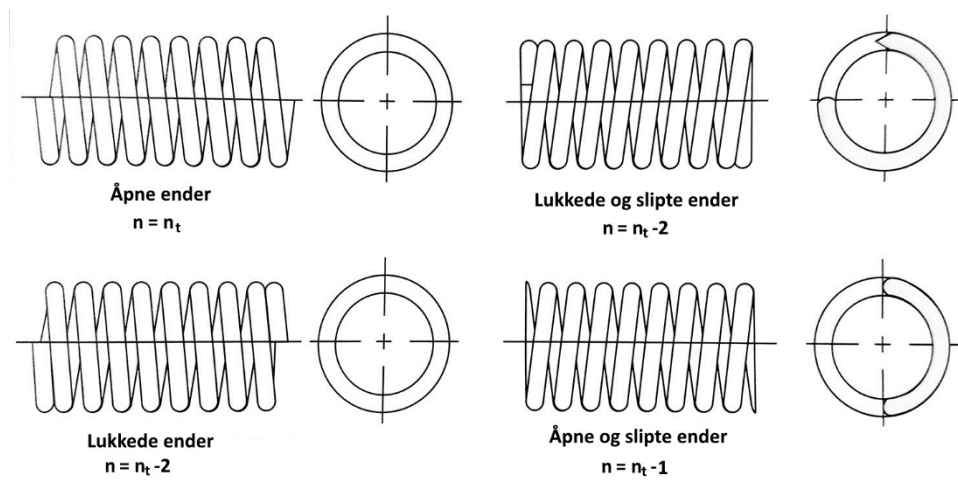
Hvor D er diameteren til fjæren uten trådtykkelsen, d er diameteren til tråden (trådtykkelsen).

Til testrigger brukte vi fjær som en indikator for hvor mye kraft motoren var i stand til å skape. Formelen er som følger:

Hvor k er fjærkonstanten, mens x er endring i forflytning. Integrerer man denne formelen vil man få arbeidet W til en fjær.

Det finnes forskjellige ender på fjærer. Åpen ende hvor $n = n_t$, Lukket ende hvor $n = n_t - 2$, åpen og nedslipt hvor $n = n_t - 1$ og lukket og nedslipt hvor $n = n_t - 2$ hvor n er antall viklinger til en gitt fjær.

$$F = -kx \quad (19)$$



Figur 31 Modell av de ulike typer fjærer vi har

Primært til vår oppgave vil vi bruke kompresjonsfjærer spesifikt til kloens åpne mekanisme og til testriggeren. Testriggeren har en fjær med lukket og nedslipte ender. Følgende formel blir brukt:

$$n = n_t - 2 \quad (20)$$

Kloen sine fjær vil være med en åpen ende og en nedslipt ende, som gir oss formelen:

$$n = n_t - 1 \quad (21)$$

2.12 Mekaniske lager

Det finnes to typer lager; glidelager og rullingslager. Glidelager har to flater som gnir mot hverandre med lav friksjon. Denne type lager egner seg ikke godt til standardisering.

Rullingslager er den vanligste. Det er en fellesbetegnelse for alle lager som har rullende elementer som for eksempel kuler og ruller. Kulelager er et rullelager ved at den har et lager som gjør det mulig å holde fast en aksling, som for eksempel på en bil, og rotere uten belastning på denne akslingen. Kulelager består av en indre ring og en ytre ring. Mellom ringene finnes det kuler som ruller om man roterer på kulelageret.

Manipulatoren bruker kulelager mellom delene for å redusere friksjon under rotasjon. Til gjengestangen blir kulelageret 6000-RSH brukt. Med en indre diameter d 10 millimeter og en ytre diameter D 26 og en tykkelse B 8 millimeter, er dette et godt egnet lager til hullene hvor gjengestangen går gjennom. Gjengestangen, som den blant annet blir brukt til, har en dynamisk lagerbelastning. Det vil si at den blir utsatt for både en radiell kraft under rotasjon og en aksial kraft under forflytningen. Følgende formel blir brukt:

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad (22)$$

Hvor X er radialkraftfaktor, Y er aksialkraftfaktor, F_r er radiell belastning og F_a er aksial belastning. SI enheten er newton [N].

Kulelageret som blir brukt til veggen som yttersteledd hviler på, er 608-Z. Kulelageret har en indre diameter d 8 millimeter og en ytre diameter D 22 millimeter og en tykkelse B 7 millimeter. Det er 4 kulelager som skal holde leddet oppe. Kreftene hvert kulelager blir utsatt for er lavere enn hva det kan tåle. Levetiden til hvert kulelager L_{10} er gitt:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^a \quad (23)$$

Hvor C er den dynamiske bæreevnen, P er ekvivalent lagerbelastning og a er kulelagerkonstanten. Siden dette er et kulelager så er konstanten 3.

Til kloa sin rotasjonsmekanisme brukes kulelageret 6005-2RSL. Den har en indre diameter d , 25 millimeter, en ytre diameter D 47 millimeter, med en tykkelse B på 12 millimeter.

2.13 Oppdrift

Under vann fungerer kreftene på et legeme annerledes. Årsaken til dette er at vann (H_2O) er en væske. Væskens tetthet er høyere under vann, enn luft på overflaten. Tettheten til vann er omtrent 1000 kg/m^3 . Om en del “flyter” i vann, vil det forklares med at delen har en lavere massetetthet enn vann. Tettheten til luft på overflaten er derimot lavere, omtrent 1.2 kg/m^3 . Det er få grunnstoffer som har en lavere tetthet enn dette. Noen av disse er hydrogen og helium som har tetthet på ca $0,09 \text{ kg/m}^3$ og $1,1 \text{ kg/m}^3$. Arkimedes prinsipp forklarer at oppdriftskraften på en del som står stille, er like stor som vekten på det området den rommer. Følgende formel blir brukt for å finne oppdrift:

$$F_b = \rho g V \quad (24)$$

Hvor F_b er mengden kraft oppdriften kan utøve, ρ er tettheten til stoffet som blir brukt og V er volumet til objektet. Oppdriften blir målt i Newton [N].

I tillegg til oppdrift så brukes relativ tetthet for å bestemme et stoffs flyteevne. Enheten for relativ tetthet er følgende:

$$SG = \frac{\rho_{Legemet}}{\rho_{H_2O}} \quad (25)$$

Hvor ρ er tettheten til både vann og legemet som blir plassert i vann. Enheten til relativ tetthet (specific gravity) er prosent [%].

3. Problemstilling

Problemstillingen er å designe en manipulator som er optimal og lett anvendelig for de spesifikke oppgavene som den er blitt satt opp til å gjøre. Konkurransen som Subsea teamet har deltatt i kalles MATE ROV og den består av 3 oppgaver som ROV-en skal utføre. Den første er å erstatte en ledning, den andre er å samle opp død fisk og skille mellom levende og døde, i samme oppgave skal man også være i stand til å kunne plante sjøgress som er effektive for å bekjempe co2 utslipp. Den siste oppgaven handler om utforskning under is, hvor man skal flytte ROV-en fra et punkt til et annet.

MATE ROV er en årlig konkurranse hvor firma og lag konkurrerer med ROV som de selv har designet. Hvert år kommer det nye oppgaver og utfordringer som ROV-en må løse. Disse baseres på reelle utfordringer som undervanns-fartøy møter på under arbeid.

4. Metode

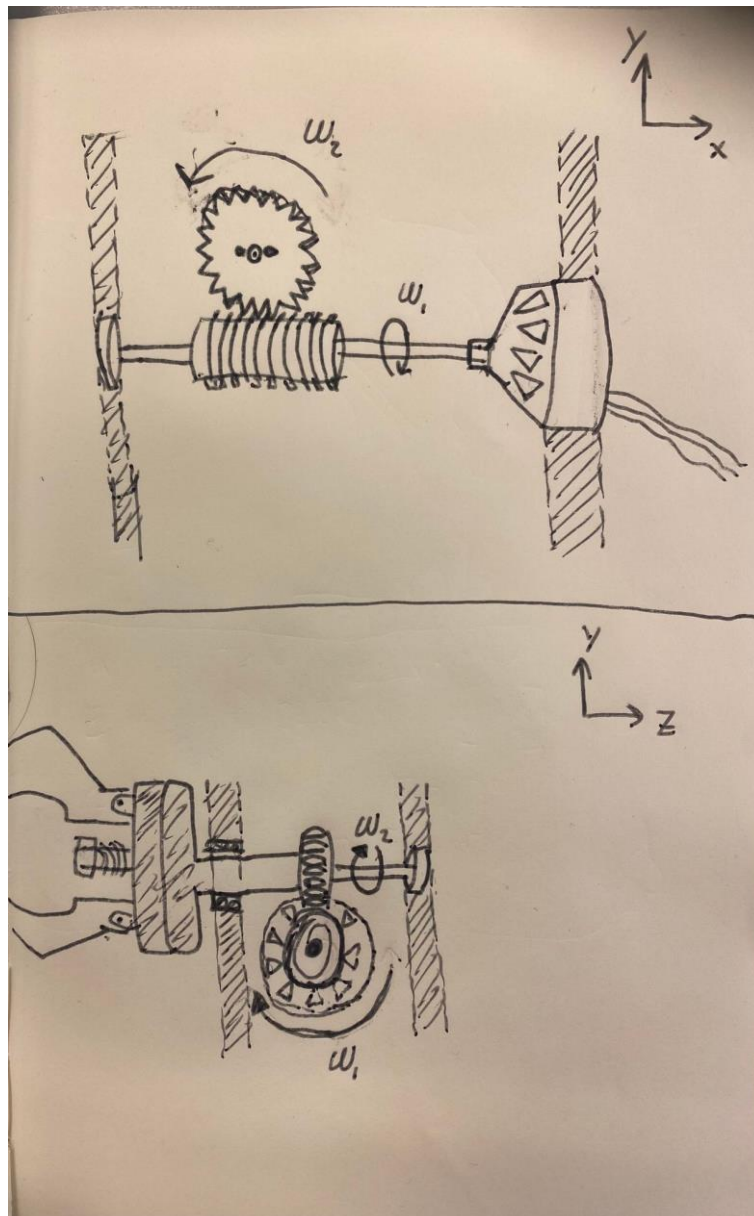
4.1 Prototypetesting

Under prototypetestingen ble materialet PLA (Polylactic acid). Dette er et polyamid og brukes som filament til 3D-printeren. Innfyllingen er lavere i en prototypetesting enn delen som skal brukes til konkurransen. Årsaken til dette er for å spare tid og materiale. Ved montering vil PLA fremdeles bli brukt til delene, men hulrommet på innsiden av de vil bli mindre og materialet sterkere.

4.2 Produksjon og print av klo

Vanligvis består en ROV av 2 manipulatorer; en til grovarbeid, en til finarbeid. I denne oppgaven så var ikke to armer nødvendig ettersom ROV-en blir påført minimalt av krefter. Armen skulle ha noen visse funksjoner, noen av disse er muligheten til å gripe, skyve/dra og rotere. Vi ville prøve å få flest mulig av motorene bak i manipulatorarmen, men motoren til roteringsmekanismen ble til slutt flyttet helt fremst på armen, i et «roteringshus». Dette kan man se bedre på figur 33. Den fungerer ved at motoren er festet til en vegg og har en snekkedrift festet til seg, i andre enden av snekkedriften har vi festet til ett kulelager i andre

enden av «huset». Kloen er festet til ett tannhjul, som skal være på innsiden av roteringshuset, på figur 26, kan du se hvordan dette ser ut. Tannhjulet har deretter en den som går videre ned i enda ett kulelager. Dette gjør at det er to holdeplasser for både tannhjulet og snekkedriften. Dette kan ses på figur 32, vises en tegning på hvordan snekkedriften og tannhjulet sitter i huset.



Figur 32 Illustrasjon av rotasjonsmekanisme.



Figur 33 Den første komplette prototype før test.

Det ble utviklet 3 forskjellige design i løpet av design-perioden. Ved det første designet, ble vekt den største faktoren. Evnen til å plukke opp objekter langs vannbunnen var fokuset ved design nummer 2. Det siste designet var en mer utviklet variant av den første, bare kraftigere og med en bedre klemmekraft. Rotasjonsmekanismen er fremdeles den samme. Materialet som er brukt er PLA. Klodesignet gikk gjennom forskjellige varianter. På figur 34 ser man et av designene til hvordan kloen kommer til å se ut til konkurransen. På figur 35 vises de forskjellige designene som er blitt testet gjennom dette prosjektet. På figur 36 på neste side er det endelige designet på kloen blitt fastmontert på ROV-en.



Figur 34 Ett av designene av kloen



Figur 35 Alle de ulike designene som er blitt utviklet i kronologisk rekkefølge fra venstreside.



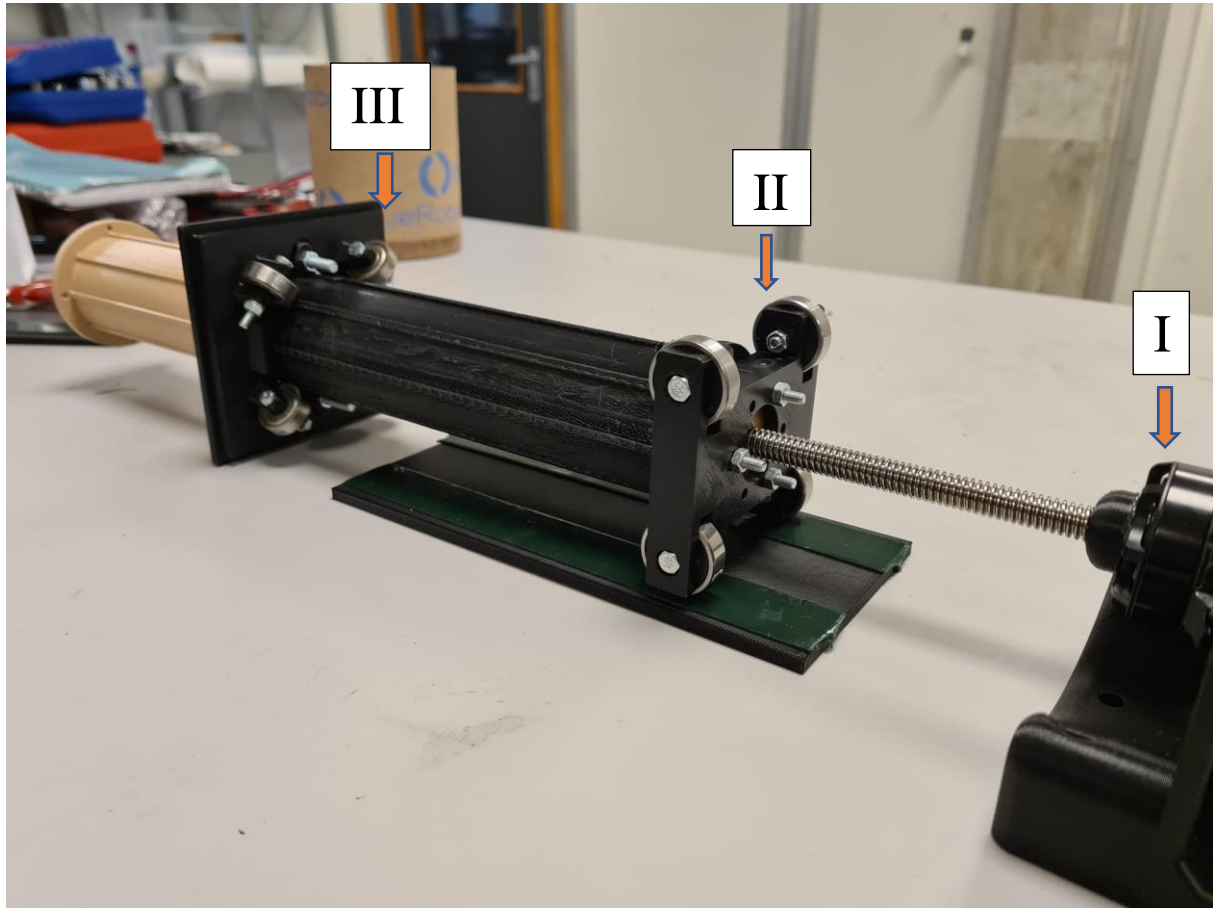
Figur 36 Bilde av Rammeverket med manipulatoren fastmontert

4.3 Produksjon av teleskopet

Vi var lenge usikre på hvilken funksjon årets manipulator skulle ha, men etter noen møter med teamet ble vi enige. Vi skulle gå for en teleskopfunksjons-klo, ettersom vi har god styring på farkosten. Farkosten har gyroskop-sensorer, som gjør det mulig for den å måle tilten. For å plukke opp noe som ligger på bunnen, måtte enten farkosten tiltes, eller så kunne det blitt lagd en funksjon, som kunne gjøre at vinkelen til armen endres etter hvor den skulle stikke ut. Dette siste fikk vi ikke tid til å gjennomføre.

Teleskop-funksjonen-konstruksjonen ble lagd slik at en tube, som er 3D-printet, er festet i en

gjengemutter. Gjengemutteren er festet på et gjengestag, som blir rotert rundt av en motor. Det har deretter blitt lagd festepunkter for tuben, slik at når gjengestaget roterer så vil tuben ikke roteres. Gjengemutteren vil da skyve hele tuben fremover eller bakover. Dette er illustrert ved figur 37.



Figur 37 Teleskopfunksjonen alene, her kan du se motoren festet i gjengestaget bak(I), samt støtteveggen ved tuben (II). Rotasjons-festepunktene for tuben foran (III).

5. Analyse

Fra tidligere design i Subsea så har ROV-en bestått av kun en arm. Årsaken til dette er at det er lettere å designe, samt at det ikke trengs. Våre oppgaver er en forenkling av noen reelle problemer som oppstår ved subsea-bedriftene. Disse løses under gunstige forhold, og er såpass enkle at årets, og tidligere oppgaver, har gått for en arm. Armen skal f.eks kutte ledning. I stedet for en faktisk ledning, er det borrelås på ett PVC-rør. Forsøket skal utføres i et basseng på 5 meters dybde, uten noen slags ytre påvirkning, som for eksempel tidevannsstrøm og lignende. Dette er bedre forklart under [1.3- Mate]

For å spare vekt, kan man bytte ut elmotorene med pneumatiske funksjoner. Dette måtte vi se bort ifra, ettersom dette ikke var lovlig, etter konkurransens reglement. Grunnlaget for dette forslaget er at det kreves liten kraft for å løfte legemer i konkurransen (Ca. 10 [N]). Ved mye tyngre løft vil hydraulikk være anbefalt, som følge av væskeformen i sylindrerne og slangene. Vi ble enige om å fortsette med motorer, bare mindre kraftige, siden det ikke er nødvendig med slik kraft i denne sammenhengen. Det samme gjelder for dimensjonene på leddene i manipulatorene, som ikke trenger å være så kraftige som vi hadde planlagt. Dette for å optimalisere vekt/kraft-forholdet. Fjorårets design var tyngre enn årets, dette kan du se på figur 38.



Figur 38 Bilde av fjorårest manipulator-design (5kg vekt)

5.1 Testtrigg

Vi har lagde en testtrigg for motorene vi skal bruke i armen, denne kan du se på figur 39. I armen skal det være 3 motorer; en for rotasjon, en for å gripe og en for å skyve armen inn eller ut. I testtriggen testet vi styrken på motoren ved ut-skyving. Prinsippet på selve testtriggen er enkel. Det ble brukt en gjengestag for å skyve en gjengemutter ut. Gjengestaget er festet direkte til en motor, som igjen er montert i en vegg. Gjengemutteren er festet til en blokk, som

gjør at den ikke roterer. I enden har vi en vegg med et kulelager. Kulelageret skal støtte opp gjengestaget. Mellom blokken og den ytterste veggen, fester vi en fjær. Fjæren har en gitt fjærkonstant som gjør at vi kan måle antall newton motoren generer.



Figur 39 Testrigg for teleskopfunksjonen.

Motoren på testriggen ble også testet under vann Selv om farten ble lavere under vann så fungerte komponentene som de skulle. På figur 40 ser man testriggen testet under vann.



Figur 40 Testriggen testet i en balje med vann

5.2 Belastningsskader

Underveis i utviklingen har det oppstått en rekke uventede feil. Vi har hatt en del feil ved 3D-printerne.

Under en av testene av manipulatorens, fikk vi en skade på et av leddene til teleskopfunksjonen. Dette tror vi muligens skyldes printerretningen og fillamentmengden. På figur 41 kan man se skade på leddet. Printerretningen har mye å si for skjærestyrken av delene. Dette har vi senere tatt høyde for ved printing av de fleste deler. Det er oppstått rust på gjengestaget etter flere tester i klorbasseng. Vann med klor sørger for en høyere rustfart for gjengestangen. Dette kan du se på figur 42, hvor rustoppsamlingen har påvirket gjengestagets funksjon.



Figur 41 Skjærkraften fra gjengestangen klarte å sprekke det ene av de to leddene. Som man ser på bildet så er adskillelsen mellom de helt ren.



Figur 42 Rustoppsamlinger langs gjengestangen har antakelig påvirket friksjonen mellom gjengestang og gjengemutter.

Årsakene til dette var følgende:

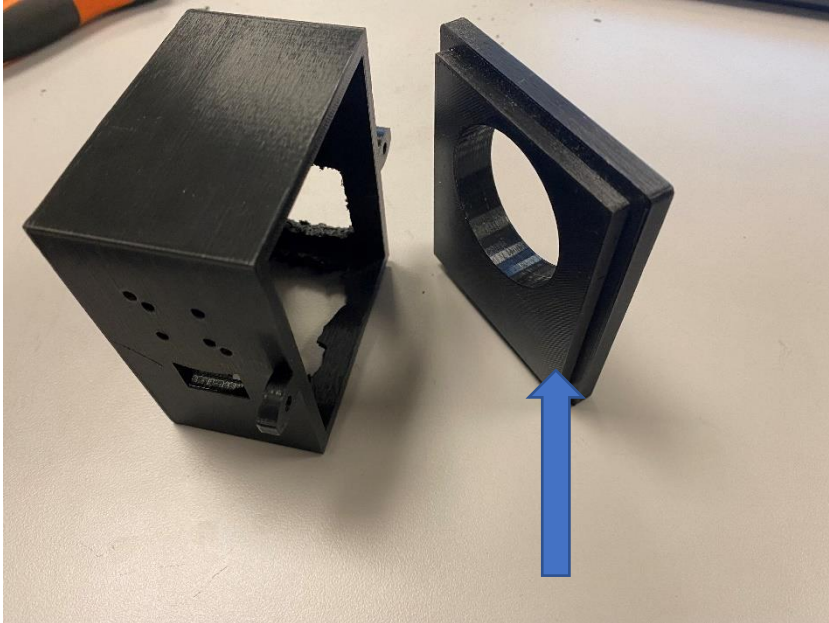
- PLA til leddet var ikke sterkt nok. Innfill eller densiteten til oppbygningen var 15 prosent, som vil si at over halvparten av delen var oppbygget av luftrom
- Retningen til delen ble printet vertikalt, som vil si at den er mer utsatt for skjærkraft vinkelrett fra retningen den blir forflyttet mot.
- For mye friksjon mellom gjengestang og gjengemutter.
- For lite stabilitet rundt gjengestang
- Feste fra motor til gjengestang var ustabil

Dette ble gjort for å forbedre funksjonen:

- Tettheten til materialet under print ble økt fra 15 prosent til 90 prosent. Dette resulterte i at delen ble forsterket, massen økte og oppdriften ble redusert.
- Printerretning ble endret fra vertikal til horisontal. Dette gjør at printlagene blir parallelle med retningen til gjengestangen, som igjen skaper høyere belastningsevne.
- Ny gjengestang, med mer motstand mot rust, ble montert
- En ny del, som skal lage støtte bakerst på tuben.
- Feste fra motor til gjengestang er blitt redimensjonert slik at rotasjonsbevegelsen blir mer sentrert i rammen.

5.3 Rotasjonsbevegelsen

I en senere test ble det problemer med rotasjonsmekanismen.



Figur 43 Lokket til rotasjonsmekanismen kom i kontakt med motoren.

Årsaken til dette:

- Lokket til rotasjonshuset var ikke kalibrert i forhold til motoren slik at oppsto kontakt mellom motoren og lokket vist på figur 43.

Dette ble gjort for å forbedre funksjonen.

- En seksjon av lokket er blitt fjernet for å gi mer plass til motoren på innsiden av huset.
- Det er blitt montert og dimensjonert et hull på baksiden av rotasjonshuset til et kulelager, for å stabilisere snekkedriftet og tannhjulet.

5.4 Kloen

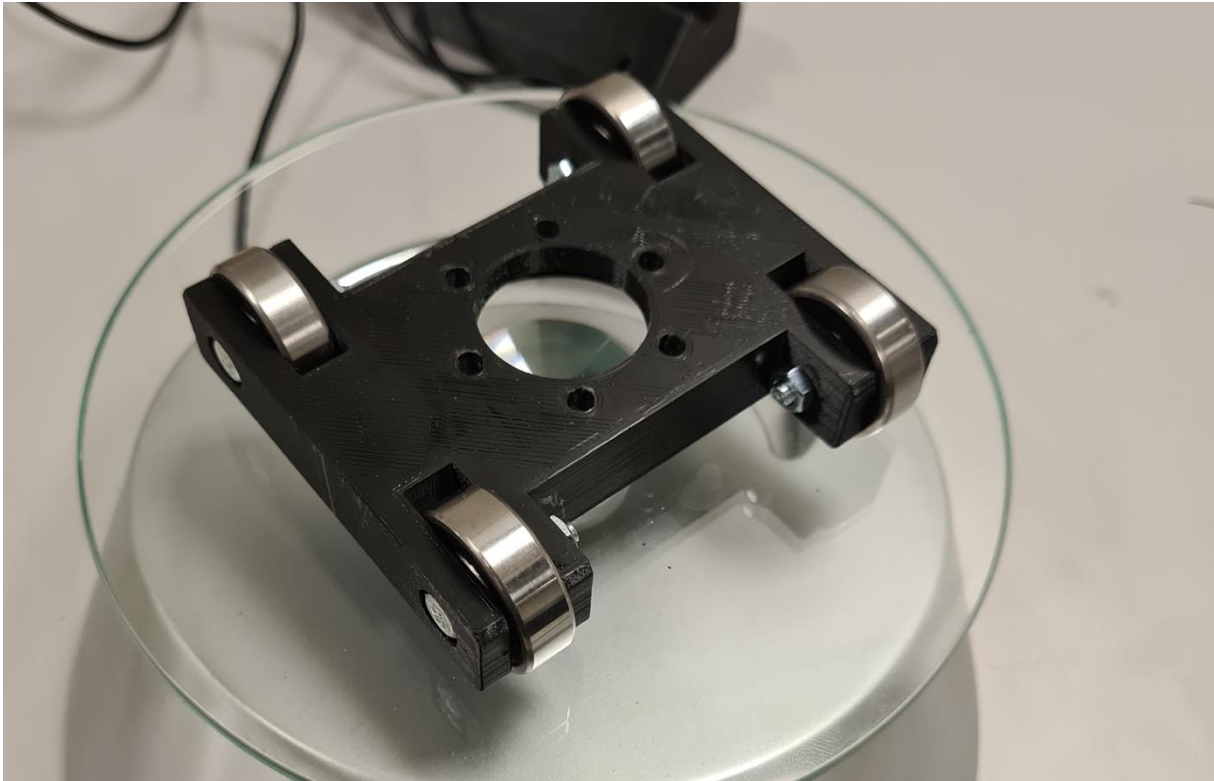
Det oppsto problemer med åpningen av kloen. Årsaken til dette var altfor lav fjærkonstant k i fjærene.

Dette ble gjort for å forbedre funksjonen:

- Fjærene ble skiftet ut med nye fjær. Fjærkonstanten på de nye er høyere.
- Skruen som fjæren er tvinnet rundt er blitt pusset ned slik at friksjonen blir lavere.

5.5 Støttevegg

Den nye delen for å skape bedre stabilitet er en slags støttevegg. Den er har 2 kulelager oppe og nede, som vist på figur 44. Disse kulelagrene skal ha press og ruller på noen vegger. Dette sørger for økt stabilitet til teleskopfunksjonen.



Figur 44 Støtteveggen, skal festet bak på tuben.

5.6 Utstikker belastninger

Dataene som er blitt tilført til Inventor analysen er følgende:

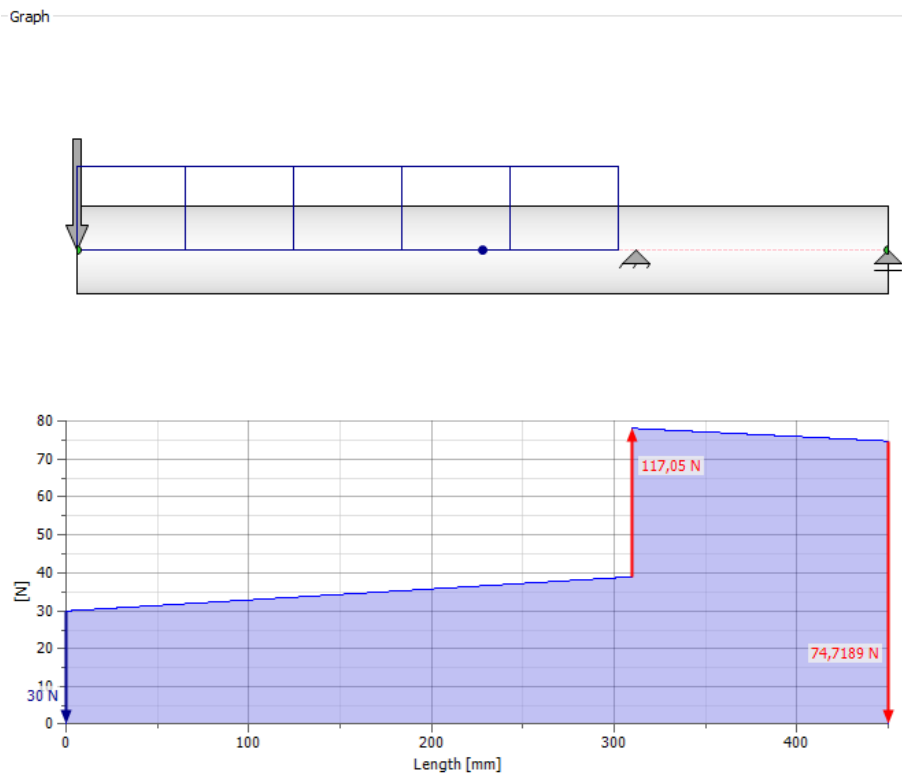
E-modulus = 2222.87 [Mpa] [9]

G-mod = 4800 [Mpa] [10]

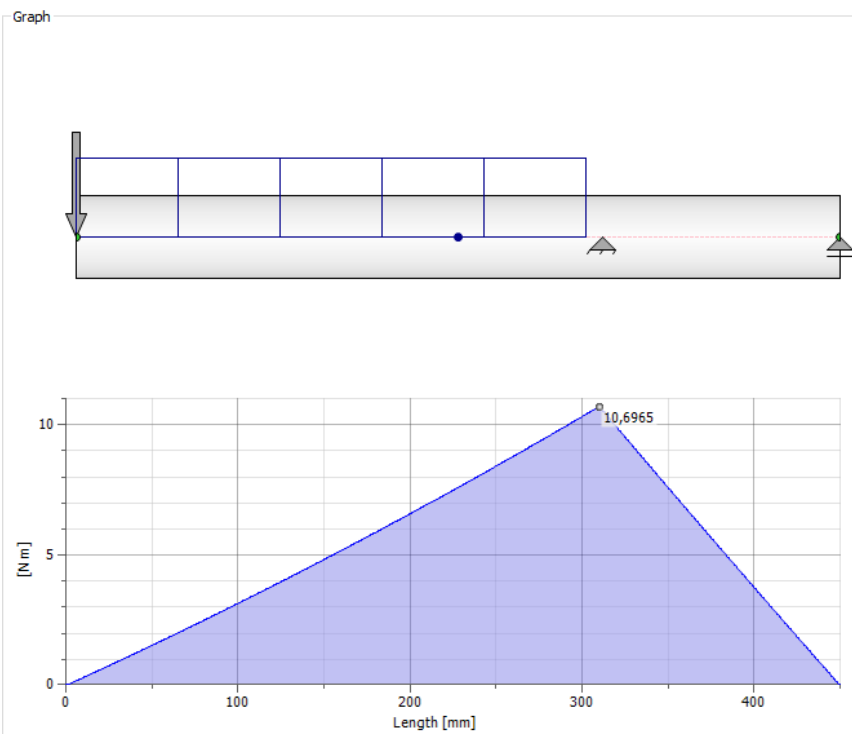
Tetthet = 1250[Kg/m³]

Kraft = 30 [N] + 1.5[N]/310[mm]

På figur 45 og 46 nedenfor vises resultatene analysen utførte.



Figur 45 Skjærspenning diagram hentet fra Autodesk Inventor



Figur 46 Bøyemoment diagram hentet fra Autodesk Inventor

Maks bøyemoment til tuben blir da:

70

Vedtatt av dekan 30.09.21
Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

$$M_b = F * r = (30[N] * 310 [mm]) + (1.5[N] * 155[mm]) = 9532.5[Nmm] = 9.53[Nm]$$

Tverrsnittsarealet w_b til tuben blir ut fra formel 4 følgende:

$$W_b = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi(50^4 - 45^4)[mm^4]}{32 * 50 [mm]} = 42202 [mm^3]$$

Slik at skjærspenningen fra formel 3, på tuben blir:

$$\sigma_{sikkerhet} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{9532.5[Nmm]}{42202[mm^3]} = \left[\frac{N}{mm^2} \right] = 0.226[Mpa]$$

mens den egentlige skjærspenningen til tuben blir:

$$\sigma_{maks} = \frac{M_b}{w_b} = \frac{15[N] * 310 [mm]}{42202[mm^3]} = 0.116 [Mpa]$$

Sikkerhetsfaktoren for brudd blir da:

$$n_b = \frac{\sigma_{sikkerhet}}{\sigma_{maks}} = \frac{0.226}{0.116} = 1.953$$

Dette er litt lavere enn det vanlige intervallet til sikkerhetsfaktoren (2.0-3.0).

NB! Feilkilde. Den faktiske beregningen (9.53[Nm]) i forhold til dataanalysen (10.70[Nm]) er annerledes. Antakelig siden analysen beregnet tuben som et solid objekt. Dette førte til at massen til tuben ble høyere som igjen førte til ekstra moment i analysen kontra vanlig utregning. Årsaken er gravitasjon.

Sikkerhetsfaktor for brudd er blitt blir følgende

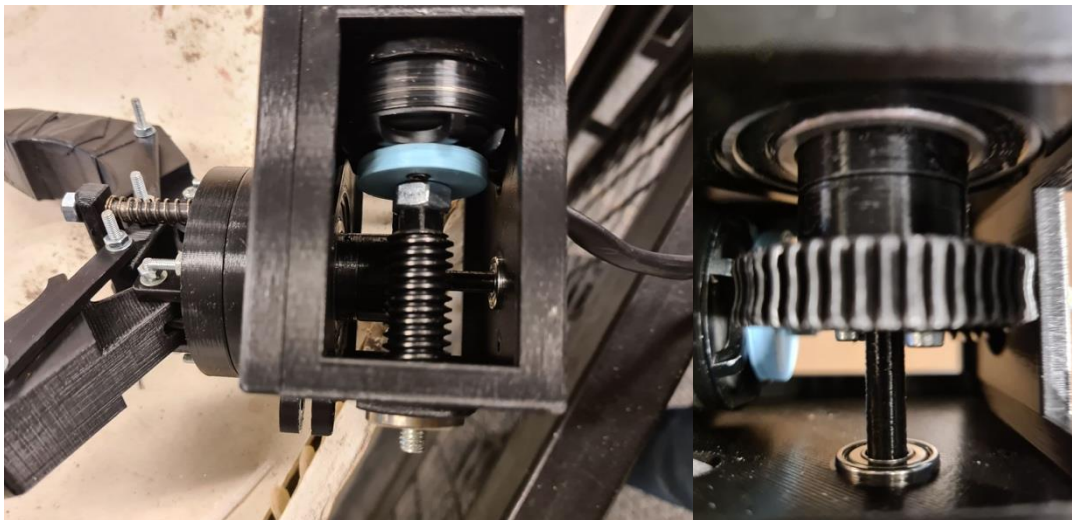
6. Resultat

6.1 Forbedringer

Det ble endte opp med en klo som har noe likt klypemekanisme, som fjorårets. Den hadde også en bowden-kabel som blir dratt av en motor. Roteringsmekanismen er en stor oppgradering ifra fjorårets, ettersom den hadde mer slark, og skulle lite til for å hoppe i sporene, som man ser på figur 47. Dette har med at både snekkedriftet og tannhjulet bare har ett holdefeste. Årets design har holdefeste fra to steder på både snekkedriftet og på tannhjuloverføringen, som vist på figur 48 A og B. Det har i tillegg blitt valgt en mindre motor, men likevel et større moment (se utregning på 6.3 kalkulasjoner). Fjorårets design fikk ett moment på 0,43Nm. En annen endring er konverteringen til teleskop-funksjonen. Verken fjoråret eller siste tidligere grupper, har praktisert teleskop-funksjonen. Siste gruppe som brukte teleskopfunksjon var prosjektgruppa fra 2016. Her ble det hentet inspirasjon til å utvikle teleskopfunksjonen [28]. Teleskop-funksjonen er simpel og effektiv, og har fungert bra til oppgavene.



Figur 47 Fjorårets design.



Figur 48 Årets design. A ser man festepunkter for snekkedrifte, B ser man festepunkt for tannhjulet.

6.2 Vekt

På figur 26 kan du se vekten til de ulike delene som er blitt produsert til manipulatorarmen. Her har det blitt vekt i luft i fokus, som vil være det som er viktig for konkurransens retningslinjer, og vekten i vann, som er det som er viktig for funksjonaliteten. Det har i tillegg blitt tatt med relativ tetthet, som vist ved formel 25. Relativ tettheten sier hvor mye av legemet vil prosentvis flyte eller hvor mye det synker. Er tallet over 1 så vil det flyte, er det under synker det.

Når en ser på disse tallene, tenkes det at noen av vektene kan være feil ettersom:

- PLA er vannabsorberende, så vekten i vann kan bli feil ettersom den faktiske vekten kan øke.
- Den faktiske vekten til Aluminiums-rammen er ikke lik den som er blitt beregnet med. Ut ifra tegninger har den hatt ett volum på ca 385000 mm³. Da skal vekta være 1,04kg, men veiting, var rammen 0,9kg. Dette kan være ettersom materialet ikke har blitt frest nøyaktig nok.

Del:	Vekt i luft(N):	Relativ tetthet ift. vann:	Vekt i vann(N):
Aluminiums-ramme	10,33	2,70	6,50
Bakre lokk (inkl motor)	2,17	0,47	-2,46
Fremre lokk	1,02	0,71	-0,42
Støttevegg (inkl kulelager)	1,23	1,13	0,14
Tak/gulv (inkl tape)	2,12	0,59	-1,45
Gjengestag	2,02	8,00	1,77
Gjengemutter	1,53	8,90	1,35
Selve-kloen (inkl motor, snekkedrifte, mutter og skrue).	5,37	1,10	0,5
Tube	2,1	1,05	0,1
Bowden kabelen	0,79	3,19	0,54

Klype-hus (inkl motor)	2,11	2,22	1,16
Total vekt:	2,948kg (ifra disse tallene) 28,92N	irrelevant	8,03

Tabell 6 Vekt-tabell for ferdigstilte manipulatorarmen

6.3 Kalkulasjoner

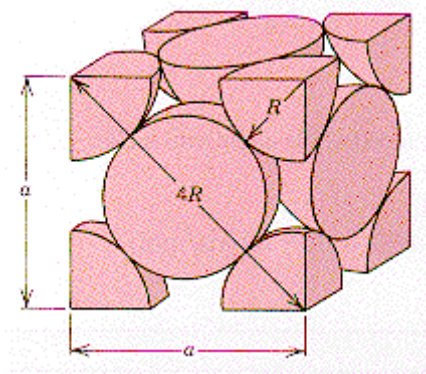
Rotasjonsmekanisme

En av de tre mekanismene på manipulatoren er rotasjonen. Rotasjonen måles i moment [Nm] Ifra Testriggen ble resultatet, at motoren hadde en faktisk rotasjonshastighet på 3000 rotasjoner/minutt. Vi får da $\omega = 3000 * 2\pi / 60 = 100\pi$. Effekten (P) blir 120, ettersom det motoren har 12 volt og 10 A. $P = 12v * 10A = 120Watt$

I fra formel 6: får vi $\tau = P / \omega = 120W / 100\pi = 0,382Nm$. Dette blir da momentet i snekkedrift, dette er overført til et tannhjul. Snekkedriften har en radius på 7,6mm, og tannhjulet på 20,4mm.

Momentet i selve kloen blir da: $\tau * 20,4 / 7,6 = 1,025Nm$.

Aluminium og FCC



Figur 49 En modell av FCC struktur

Med en gjennomsnittlig atomvekt på omtrent 26.98 amu (atomic mass unit) som er 26.98 gram per mol som tilsvarer 26.98 gram per $6.022 * 10^{23}$ atomer, siden 1 mol er $6.022 * 10^{23}$.

Atomradiusen, R til aluminium er 0.143 nanometer, som er $0.143 * 10^{-9}$ meter per atom, slik at lengden og bredden a, er følgende

$$a = 2R\sqrt{2} \rightarrow 2 * 0.143 * 10^{-9} * 2\sqrt{2} = 4.045 * 10^{-10}$$

Volumet av en enkelt FCC-kube hos aluminium blir da.

$$V = a^3 \rightarrow (4.045 * 10^{-10})^3 = 6.617 * 10^{-29} [m^3]$$

På figur 49 kan man se en modell av en FCC-kube. Dataene til aluminium er hentet fra læreboken Callister's Materials Science (henviser til referansene). Volumet og antallet til alle atomene i kubene er ut ifra formel 7 følgende:

$$N = 0 + \frac{6}{2} + \frac{8}{8} = 4$$

Hvor N_i = atomer i sentrum i kubene, N_f som er antall atomer langs flaten og N_c er atomene på hjørnene. Totalvolumet av atomene i kubene blir da:

$$V_{atomer} = N * \frac{4\pi r^3}{3} \rightarrow 4 * \frac{4\pi(0.143 * 10^{-9})^3}{3} = 4.899 * 10^{-29} [m^3]$$

Hvor N er antall hele atomer og r er radiusen til aluminium atomet. Ledig tomrom i kubene vil bli:

$$V_{tomrom} = V_{kube} - V_{atomer} = (6.617 - 4.899) * 10^{-29} = 1.718 * 10^{-29} [m^3]$$

Kulelager-levetid:

$P = F_r$ ettersom det ikke er noen aksiale belastninger. Blir det:

$$L_{10} = \left(\frac{3,45 * 10^3 N}{0,62 N} \right)^3 * 1,72 * 10^{11} \text{ omdreininger på kulelagerne, 608-Z.}$$

På kulelageret, 6005-2RSL vil det bli:

$$L_{10} = \left(\frac{11,9 * 10^3 N}{0,5 N} \right)^3 * 1,35 * 10^{13} \text{ Omdreininger}$$

3D-printens hastigheten

Hastigheten og tiden til 3D-print varierer av mange faktorer, men for å gjøre det enkelt så har det blitt regnet ut av en ukomplisert manipulator-komponent. Dette er gulvet som støtter manipulatorens teleskopfunksjon. Tiden den bruker på en print er 2 timer og 28 minutter med en dysediameter på 0.2 [mm], med dimensjonene 200 * 90 * 4.5 [mm]. Delen er et prisme. Volumet blir da:

$$V = 200 * 90 * 4.5 = 81000 [mm^3]$$

Tiden T_i er 2 timer 28 min som blir

$$T[sek] = \left(2 + \frac{28}{60}\right) [timer] * 60 \left[\frac{min}{time}\right] * 60 \left[\frac{sek}{min}\right] = 8880[sek]$$

Den gjennomsnittlige printerhastigheten, v blir:

$$v = \frac{V}{T_i} = \frac{81000[mm^3]}{8880[s]} = 9.12 \left[\frac{mm^3}{s}\right]$$

Hvor V er totalvolumet av prismet og T_i er totaltiden til å printe delen. Farten i denne utregningen tar ikke hensyn til tiden T_r printen tar for å reposisjonere seg.

Antall lag i denne delen er da:

$$N_{lag} = \frac{H}{D_{dyse}} = \frac{45[mm]}{0.2 \left[\frac{mm}{lag}\right]} = 225[lag]$$

Hvis man antar at dysen legger filamentet en konstant høyde per lag tilsvarende dysediameteren som 0.2 [mm] og at det ikke er noe reposisjoneringstid så er antall lag lik:

$$T_{flate} = \frac{T_{totalt}}{N_{lag}} = \frac{8880[sek]}{225[lag]} = 39.47 \left[\frac{sek}{lag}\right]$$

For å finne tiden T_r som er tiden printeren tar for å repositionere seg er ikke så lett. Siden man ikke vet den eksakte hastigheten v så kan man ikke regne ut totaltiden til repositioneringen.

Låsemekanisme i gjengestang og snekkedrifte

Gjengestangen har en ytter diameter D_p på 10 [mm] og en stigning på 2 [mm/om]. Siden gjengemutter er laget i bronse og gjengestang i rustfritt stål får man en friksjonskoeffisient μ_s mellom 0.10-0.16. hvis man antar at friksjonskoeffisienten μ_s er da 0.13 og en friksjonskoeffisient til flensene μ_c er omtrent 0.08. stigningen er da:

$$\tan(\beta) = \frac{p}{\pi * D_p} = \frac{2}{\pi * 9} = 0.071$$

Vinkelen til gjengestangen og gjengemutteren vil da bli.

$$\tan(\beta)^{-1} = \tan(0.071)^{-1} = 4.046^\circ$$

Gitt vinkelen vil en få en selvlåsende mekanisme dersom:

$$\tan(\beta) \leq \mu_s \rightarrow 0.071 \leq 0.1$$

Samhandlingen mellom gjengestang og gjengemutter er selvlåsende, denne har blitt hentet fra formel 14.

Gjengestangens moment M er gitt fra formel 13.

Fra tidligere beregninger vet man at $M=1.025$ [Nm] = 1025 [Nmm]. For å finne kraften motoren er i stand til å løfte, omformulerer formelen for V .

$$V = \frac{M}{r_p \left(\frac{\mu_s + \tan(\beta)}{1 - \mu_s \tan(\beta)} + \frac{r_c}{r_p} \mu_c \right)} = \frac{1025 [Nmm]}{4.5 \left(\frac{0.13 + 0.071}{1 - 0.13 * 0.071} + \frac{4}{4.5} 0.08 \right) [mm]} = 831 [N]$$

Dette er en maks styrke under gunstige forhold.

Skaden på tuben, som er henvist til i seksjon 5.3, er en følge av kraften tilført av gjengestangen. Siden spenningen er enakset blir kraften F over Arealet A følgende:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{831[N]}{408.34[mm^2]} = 2.035 [Mpa]$$

Dette er kraften tilført under gunstige forhold. I realiteten er antakelig kraften tilført halvert som følge av rust, lite støtte og kalibrering. Disse faktorene er blitt forbedret i en senere testing hvor det ikke oppsto noe belastningsskade

Snekkedrift

Stigningsvinkelen til snekkedriften er gitt fra formel 16:

$$\tan(\beta) = \frac{0.8 \cdot 1}{15.6} = 0.051$$

I grader blir vil vinkelen bli:

$$\beta = 2.93^\circ$$

Formel for selvlåsende mekanisme gir:

$$\tan(\beta) \leq \mu_s \rightarrow 0.051 \leq 0.1$$

For å finne tannhjuloverføringen blir:

$$i = \frac{50}{1}$$

Det er 50 tenner på tannhjulet som er den drevende, og snekkeskruen som er driveren, er en enkeltgjenget skru, som vil si at den forskyver 1 tann per omdreining. Dette fører til at rotasjonshastighet vil bli nedsatt 50 ganger.

Fjær

Fjæren som er blitt brukt har en lengde l_f på 30 [mm] og en målt fjærkonstant k som er 0.85 [N/mm]. Ved åpen posisjon er fjæren komprimert med 2 [mm] og i lukket posisjon er fjæren komprimert med 23 [mm]

Kraften til klo i åpen posisjon er gitt følgende:

$$F_{fjær1} = -2k(x_2 - x_1) = -2 * 0.85 \left[\frac{N}{mm} \right] * (30 - 28)[mm] = -3.4 [N]$$

Kraften til klo i lukket posisjon:

$$F_{fjær2} = -2 * 0.85 \left[\frac{N}{mm} \right] * (30 - 7)[mm] = -39.1[N]$$

Maks gripekraft blir da hvis man antar at bowden kabelen har en trekraft på 100[N](60% av 2021 design) og en vinkel 48.6° til kloba så får man ut ifra formel:

$$F_{maks} = \frac{F_{bowden} - F_{fjær2}}{2} \tan(\beta) = \left(\frac{100 - 39.1}{2} \right) * \tan 48.6^\circ = 34.53[N]$$

Fjærindeksen fra formel 18 gitt:

$$C = \frac{0.5[mm]}{5[mm]} = 10$$

7. Diskusjon

7.1 Testriggeren

Testriggeren som testet hvor mye gjengestangen, kunne løfte ga oss gode resultater. Fjærene som den ble testet med hadde fjærkonstanter mellom 0.5 og 0.8 N/mm. Begge disse ble i stor grad presset helt inn. Gjengestang konseptet overgikk alle forventninger. Det ble så testet med en bagasjevekt. Den fikk ett resultat på 18.5kg, som tilsvarer ca 180N. Rotasjonshastigheten var rundt 1800 omdreininger per sekund. Det ble antatt et par hundre omdreininger.

Gjengestangen har en stigning på 2 millimeter per sekund. Horisontalshastigheten til testriggeren er 6 cm per sekund. Hvis man bruker disse dataene til teleskop-funksjonen så tar det bare litt over 6 sekunder å strekke armen helt ut.

7.2 Belastningskade

Under tørr-test oppsto det et tilbakefall hvor mye forståelse for friksjon og materialstyrke ble tilegnet. Det endelige designet klarte målene som ble spesifisert på starten av året. Men designet ble endret litt underveis av praktiske årsaker som for eksempel friksjon mellom komponenter, styrke av materialer og posisjonering av de forskjellige mekaniske delene.

7.3 Rotasjonsmekanismen

Rotasjonsmekanismen ble forbedret underveis og er i slutten av prosjektet den beste mekaniske delen av manipulatoren. Hastigheten til motoren er blitt redusert 50:1 ved hjelp av snekkedriv. Dimensjonene til tannhjulet som mottar overføring ble dimensjonert med rundt 50% økning i størrelse på diameter. Dette førte til et bedre feste mellom snekkedreven og tannhjulet som roterer ktoa. Samtidig så har tannhjulet snekkedreven overfører bevegelse til blitt forankret i begge akser for bedre stabilitet.

7.4 Klemmemekanisme

Klemmemekanismen har også gjennomgått endringer underveis i prosjektet. Forbedringen som ble gjort var å minke størrelsen på hele konseptet som er basert på fjorårets. Gjengestangen som ble brukt til fjoråret var størrelse M6. Den ble nedjustert til M4 og til en kortere lengde, slik at den opptok mindre plass og veide mindre. Motorvalget er også blitt nedjustert til en børsteløs motor som redusert vekten fra et par hundre gram til omtrent 80 gram per motor. Forbedringer som kan bli gjort til seinere utvikling ville vært å øke klypemekanismens kraft med sterkere materialer.

7.5 Teleskopmekanisme

Teleskopmekanismen til ROV-en er ny, men konseptet ble allerede bestemt fra starten av prosjektet. Dette førte til at det ikke kunne sammenlignes med tidligere Manipulator-design. Forbedringer som kunne blitt gjort til teleskopfunksjon ville antakelig vært å øke motorkraften. Siden gjengestangen som ble brukt var festet til resten av manipulatoren fører dette til en større belastning for motoren til sammenligning med de andre mekanismene.

7.6 Kalkulasjoner oppsummering

Rotasjonsmekanisme sine data virket meget akseptable med lite slark og en bra hastighet til rotasjon.

FCC strukturen til aluminium er godt egnet som følge av sin styrke og lette vekt. Ut ifra kalkulasjonen får man hvor mange atomer man får plass til i hver kube. Som følge av dens lave densitet, vil hver kube veie mindre enn andre relevante materialer. Dette er på grunn av dens antall protoner og nøytroner i kjernen.

Kulelager sine data er såpass høye at det ikke vil oppstå komplikasjoner. Derfor kan de brukes til vårt design uten utskiftninger.

3-D printens hastighet og detalj har vært rask og presis nok til vårt prosjekt. Delene som har blitt printet er nøyaktige nok til at deler kan settes sammen.

Gjengestangens stigning er såpass lav at den har en selvlåsende mekanisme i vertikal retning. Momentet til gjengestangen er som forventet og vekten den er i stand til å skyve er god nok til teleskopfunksjon og klypemekanisme.

Snekkedriftsfunksjonen er selvlåsende og med en akseptabel tannhjuloverføring som sørger for optimal rotasjonshastighet.

De første stålfjærene som ble brukt var fra fjorårets manipulator, med en fjærkonstant på 0.11 [N/mm]. Dette ble for lavt i vårt tilfelle. Derfor øktes kloas fjærkonstanten til 0.85 [N/mm] slik at kraften som krevdes for å åpne den ble høyere, på bekostning av lavere klemmekraft.

8. Konklusjon

Manipulatoroppgaven startet med følgende mål; Vektreduksjon, som skulle redusere vekten til ROV-en under 20kg. Fokuset til å ha en simpel og demonterbar klo, samtidig å tilfredsstillende de ulike kravene som trengs for oppgaven. Det som står igjen nå er en fullstendig arm, som har egenskapene til å skyve ut, gripe og rotere. Sammenlagt med tidligere oppgaver så har motorene vært meget bra. De er lettere og opererer på en styrke som er akseptabel. Det ble fjernet slark, med at det er mer støtte rundt alle komponenter.

Underveis i produksjonen og testingen oppsto en rekke uforventede feil. Det var en del problemer med 3D-printing. Løsningen for dette var å tenke på printerretning slik at lagene ble parallelle med kraftretning. Andre problemer som friksjon oppsto. Dette måtte pusses ned, og det ble endret på noen konsepter. Det oppsto rust på gjengestag, ettersom testingen foregikk i klor-basseng.

Det er likevel en rekke forbedringspotensialer, det kunne være lurt med ett sterkere materiale, siden det har oppstått en del knekk i løpet av oppgaven. Det kunne være lurt med enda mindre friksjon i utskyvning av armen, det kreves litt av motorene å operere med denne friksjonen. Tilting av arm kan være en forbedring av vårt konsept, ettersom det kan bli enda lettere å sikte seg inn på det man skal gripe. Klypekraftene som kreves i konkurransen er ok siden vekten under vann vil ikke overskride 15 [N]. Passerer man 15 [N] bør designet omgjøres i klypemekanismen siden den teoretiske makskraften ikke overskrider 30[N]

Til neste gang prosjektet iverksettes finnes det flere faktorer, som kan forbedre manipulatordesignet. Den første feilen man kan finne er fremdeles mangelen på friksjonsnedsettende komponenter. Gode eksempler er blant annet rustfritt stål tilsatt friksjonsnedsettende midler (smøring), mer posisjonering og kalibrering av gjengestang og kulelager til å støtte mekanismen ville også bidratt til en bedre samhandling mellom komponentene. Neste punkt er materialvalg til design av klemmemekanisme som gir begrenset maks kraft av klypemekanisme. Bowden kabelen tåler mer spenning enn PLA komponenten. Når M4 gjengestangen bakerst trekker Bowden kabelen tilbake vil komponenten som lukker kloa bli utsatt for stort trykk. Derfor kan denne komponenten knekke hvis motoren tilfører nok moment til gjengenstangen. Materialet til de utsatte komponentene må forsterkes. Gjengestangkonseptet er godt egnet fremdeles. Det finnes ingen spesifikke behov til Rotasjonsmekanismen for å endre designet. Dimensjonene ble forstørret

og stabilisert med akslinger som støttes langs veggene i x og z akse til rotasjonshuset, se figur 26 og 39. Dette for å unngå manglende kontakt mellom snekkedreven og tannhjuloverføringen av kloa. Planetargir ville også vært et godt alternativ. Kanskje bedre hvis ytterdiameteren ikke hadde vært stor nok. Rotasjonshastigheten til de valgte motorene begrenser alternativene man har for et simpelt design.

Referanseliste

Bibliografi

- [1] Great Barrier Reef Foundation, «RESTORING REEF ISLAND HABITATS,» 08 2020. [Internett]. [Funnet 03 01 2020].
- [2] MATE, «Hjemmeside mate center,» [Internett]. Available: <https://www.marinetech.org/>. [Funnet 30 01 2022].
- [3] Wikipedia, «Remotely operated underwater vehicle,» 2022. [Internett]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle#Educational_outreach. [Funnet 31 01 2022].
- [4] GO-BGC, «Float technology,» [Internett]. Available: <https://www.go-bgc.org/floats>. [Funnet 01 04 2022].
- [5] MATE, «Hjemmeside mate rov competition,» [Internett]. Available: <https://materovcompetition.org/>. [Funnet 30 01 2022].
- [6] Mate, «Explorer product demonstration prop building instructions,» 2022. [Internett]. Available: https://files.mate.rovcompetition.org/2022/EXPLORER_prop_building_instructions_2022.pdf. [Funnet 01 04 2022].
- [7] MATE, «Mission_flythrough_2022_explorer,» 2022. [Internett]. Available: <https://vimeo.com/679543161>. [Funnet 01 04 2022].
- [8] K. Kyriakopoulos, «ResearchGate,» 01 2008. [Internett]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Working-principle-of-the-Bowden-cables-in-the-static-condition-the-forces-exerted-by-the_fig8_220671712. [Funnet 20 05 2022].

- [9] M. Z. W, K. P. K, N. F. G, H. S. A. Golicha, N. R og N. G. N., «Polylactic acid (PLA) viscoelastic properties and their,» academicJournals, Kenya, 2015.
- [1 V. Pinto, T. Ramos, S. Alves, J. Xavier, P. Tavares, P. Moreira og M. G. RUI,
0] «Comparative Failure Analysis of PLA, PLA/GNP and PLA/CNT-COOH Biodegradable Nanocomposites thin Films,» ScienceDirect, 04 08 2015. [Internett]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815016434?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=71278c009a721bfe. [Funnet 26 04 2022].
- [1 IMO A, «IMO A.info,» [Internett]. Available: <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/metallurgy-of-molybdenum-in-stainless-steel.php>.
- [1 Mbari, «Float profil,» 2020. [Internett]. Available: <https://www.mbari.org/go-bgc-2-release/>. [Funnet 01 31 2022].
- [1 C. L. Hewitt og M. L. Campbell, «Barrierreef.org,» 08 2020. [Internett]. Available:
3] <https://www.barrierreef.org/uploads/Hewitt-and-Campbell-COTS-Program-REVIEW-FINAL-GBRF-LOGO.pdf>. [Funnet 03 01 2022].
- [1 Hoff, «Our World UNU Envision 2050: The Future of Ocean,» 09 06 2015. [Internett].
4] Available: <https://ourworld.unu.edu/en/envision-2050-the-future-of-oceans> . [Funnet 15 03 2022].
- [1 NORSK OLJEMUSEUM, «Industriminne EKOFISK, Dykking,» [Internett]. Available:
5] <https://ekofisk.industriminne.no/nb/dykking/>. [Funnet 12 02 2022].
- [1 P. H. L. Gelgele, Dimensjonering av maskinelementer-Kompediumfag MSK210,
6] Stavanger, 2020.
- [1 Lunar and Plantary Institute, «All About Water and Ice Background,» USRA, 2022.
7] [Internett]. Available: <https://www.lpi.usra.edu/education/explore/ice/background/allAboutWater/>. [Funnet 25 03 2022].
- [1 SKF, «Hjemmesiden,» [Internett]. Available: <https://www.skf.com/group>. [Funnet 01 04 8] 2022].
- [1 C. G. Soares, «Failure characteristics of strength-equivalent aluminium and steel plates in
9] impact conditions,» [Internett]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Engineering-stress-strain-curves-of-aluminium-and-steel-material_fig1_259177104. [Funnet 29 03 2022].
- [2 J. Jansen, «EVENTYR I MEKANIKKENS VERDEN,» [Internett]. Available:
0] <http://jrjen-jansen.squarespace.com/jorgen?offset=1519688907482>. [Funnet 08 05 2022].
- [2 C. & R. 5e, «Face centered cubic (fcc) structure,» [Internett]. Available: <https://www.education.psu.edu/matse81/node/2133>. [Funnet 25 04 2022].
- [2 A. BARRETT, «All You Need To Know About PLA,» [Internett]. Available:
2] <https://bioplasticsnews.com/2019/07/02/all-you-need-to-know-about-pla/>. [Funnet 28 04 2022].
- [2 Engineers Edge, LLC, «AGMA Worm and Spur Gear Design Equations and
3] Calculators,» [Internett]. Available: https://www.engineersedge.com/calculators/agma_worm_and_spur_gear_design_equations_and_calculators_15310.htm. [Funnet 12 05 2022].
- [2 IMO A, «Metallurgy of Mo in stainless steel,» [Internett]. Available:
4] <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/metallurgy-of-molybdenum-in-stainless-steel.php>. [Funnet 13 05 2022].

- [2 S. Fjermedal og J. S. Merenyi, «Design and Control of ROV manipulator,» University og
5] Stavanger, Stavanger, 2021.
- [2 S. W. Tofteberg og S.-E. L. Vestergaard, «Utvikling av styresystem for manipulator i
6] fjernstyrt undervannsfartøy,» University of Stavanger, Stavanger, 2016.