



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Vannstrømningskammer for Rheotaxis i Ciona Intestinalis

Karsten Muren

Emil Nøstbakken

Dawit Teklu Girmatsion

Automatisering med robotikk

Fakultet for ingeniør- og naturvitskap

30/05/2022

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Dokumentkontroll

<i>Rapportens tittel:</i> BO22EB-05 Vannstrømningskammer for Rheotaxis i Ciona Intestinalis	<i>Dato/Versjon</i> 30. mai. 2022/0.13
	<i>Rapportnummer:</i> B022EB-05
<i>Forfatter(e):</i> Karsten Muren Emil Nøstbakken Dawit Teklu Girmatsion	<i>Studieretning:</i> AUTB
	<i>Antall sider m/vedlegg</i> 6262
<i>Høgskolens veileder:</i> Yngve Thodesen	<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Eventuelle Merknader:</i> Vi tillater at oppgaven kan publiseres.	

<i>Oppdragsgiver:</i> Sars internasjonale senter for marin molekylær biologi	<i>Oppdragsgivers referanse:</i> Jørgen Høyer
<i>Oppdragsgivers kontaktperson(er) (inkludert kontaktinformasjon):</i> Jørgen Høyer. Email-adresse: jorgen.hoyer@uib.no . Telefon: 41636030	

Revisjon	Dato	Status	Utført av
0.11	7.02.2022	Forstudie	Karsten, Emil og Dawit
0.12	12.05.2022	Første utkast av rapport	Karsten, Emil og Dawit
0.13	30/05/2022	Endelig versjon av rapport	Karsten, Emil og Dawit

Forord

Denne rapporten dokumenterer vårt arbeid gjort i forbindelse med bachelorprosjekt i automasjon med robotikk ved Høgskulen på Vestlandet.

Bachelorprosjektet har gitt oss innblikk og erfaringer med arbeid på et større prosjekt. Gruppearbeid fra skolen har gitt god forkunnskap, men et prosjekt i denne grad har gitt sine utfordringer. Vi har lært nye kunnskaper innenfor lodding, 3D-printing og laserkutting. Tidligere erfaringer som oppkobling av krets, programmering og bruk av ulike elektroniske komponenter var sentralt i løsning av oppgaven.

Under prosjektarbeidet har vi tilbrakt mesteparten av tiden ved Sars Internasjonale Senter. Her har vi fått mye hjelp i form av forslag, tilbakemeldinger, bestillinger og engasjement. Vi vil gjerne takke Marios Chatzigeorgiou, Jørgen Høyer og Athira Athira som er ansatte ved Sars. Marios har hjulpet mye under selve testingen og vært hyppig med forklaringer av sentrale emne. Jørgen, vår eksterne veileder har hjulpet oss med fremgang og komt med gode idéer gjennom hele prosjektet. Athira har hjulpet oss med DeepLabCut og forklart mye hvordan programmet fungerer.

Vi vil gi en takk til Yngve Thodesen, vår interne veileder fra HVL og Xavier Paul Bonete fra HVL-Læringslab. Yngve har hjulpet oss med å strukturere rapporten og gitt konstruktive tilbakemeldinger. Xavier introduserte oss for 3D-printing og hjalp oss med å få tilgang til laserkutter.

Sammendrag

Sars Internasjonale Senter for Marin Molekylærbiologi studerer biologiske prosesser i maritime organismer med søkelys på evolusjon og utvikling. Forskningsgruppe S13, som vi samarbeider med, studerer organismen *Ciona Intestinalis* (grønnsekkdyr) i larvestadiet. Forskningsgruppa ønsket å utvikle et system for å undersøke rheotaxis (biologiske organismers respons på vannstrømning).

Vårt prosjekt har vært å lage et system for eksperimentering og videoinnsamling av forskningsdyret påvirket av vannstrømning. Systemet måtte være spesialtilpasset *Ciona Intestinalis* i larvestadiet, et mikroskopisk dyr som går i dvale under eksponering av «synlig» lys. Kameraoppsett og belysning måtte da bli spesialtilpasset forskningsdyret, ved bruk av infrarødt lys.

Det ferdige systemet består av et kammer med en egen observasjonsseksjon som blir filmet av et kamera. Observasjonsseksjonen er belyst av IR-dioder, da dyret ikke blir påvirket av infrarødt lys. I endene av kammeret er det koblet på en pumpe som lager vannstrømning. Pumpa blir styrt av et elektrisk anlegg, som igjen blir styrt av mikrokontrolleren Arduino UNO. Det elektriske anlegget har en egen 3D-printet innkapsling, med to knapper, et potensiometer og et display festet på lokket. Knappene starter og stopper pumpa, potensiometeret stiller strømningshastigheten, og displayet viser relevant informasjon til brukeren.

Mye av arbeidet gikk til 3D-printing av forskjellige deler og design av kammer. Det har blitt prøvd ut flere forskjellige kammerdesign for å få best mulig resultat, med mest mulig lineær strømning. Innkapslingen til elektronikken hadde også flere utkast, da vi hele tiden så nye forbedringer som kunne gjøres. Problemer som uønsket vibrasjon fra pumpen, turbulent vannstrømning og dårlig bildekvalitet krevde mye tid for å løse. Forskjellige deler måtte designes på nytt for å løse disse problemene.

Etter videoinnsamling fra rheotaxissystemet, ble dataen analysert i «Deep Learning»-rammeverket DeepLabCut. Vi brukte DeepLabCut til å trene en modell som, ved hjelp av maskinlæring, kunne gjenkjenne og spore bevegelsene til *Ciona Intestinalis*. Denne modellen kan senere bli brukt av forskningsgruppa til Sars for gjenkjennelse av larver i nye videoer.

De fleste krava i kravspesifikasjonen ble oppnådd, med unntak av «mulighet for lagring av parametere», grunnet forsinket leveringstid. Det er også mulighet for forbedring av systemet (se kap. 8.2).

1 Innhold

Dokumentkontroll	2
Forord	3
Sammendrag	4
1 Innhold.....	5
Figurliste	7
Tabelliste	9
2 Innledning.....	10
2.1 Organisering av rapporten	10
2.2 Oppdragsgiver	10
2.3 Problemstilling.....	11
2.4 Hovedidé for løsningsforslag	11
3 Kravspesifikasjon	12
3.1 Liste over kravspesifikasjon.....	12
3.2 Tilleggskrav	13
4 Analyse av problemet.....	13
4.1 Utforming av mulige løsninger	14
4.1.1 3D-printer løsning.....	14
4.1.2 Laserkutter løsning	14
4.2 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter	15
4.3 Konklusjon	16
5 Realisering av valgt løsning	17
5.1 Komponenter	17
5.1.1 Mikrokontroller	17
5.1.2 L298N Motor Driver.....	18
5.1.3 Brytere	18
5.1.4 Potensiometer	19
5.1.5 Temperatursensor	19

5.1.6	DC-Pumpe	20
5.1.7	LCD med modul	20
5.1.8	Strømforsyning	21
5.1.9	Infrarød LED	21
5.1.10	Kamera.....	21
5.2	Arduino-kretsen.....	23
5.2.1	Beskrivelse	23
5.2.2	Lodding av kretsen	24
5.2.3	Programvare	24
5.3	Laserkutting	25
5.3.1	Feil i designet.....	26
5.4	Kammer	27
5.4.1	Løsninger til turbulent vannstrømning.....	29
5.4.2	Konklusjon	30
5.5	Belysning.....	30
5.6	3D-Printing.....	32
5.6.1	Innkapsling til elektronikk	32
5.6.2	IR-diode beholder og IR lysfordeling	35
5.6.3	Kammerbeholder.....	38
5.6.4	Pumpeslangefører	40
5.6.5	Resterende slangefører	41
6	Testing	42
6.1	Testing av pumpe	42
6.2	Testing av kammeret.....	43
6.2.1	Testing av første kammerkonspekt.....	43
6.2.2	Testing av andre kammerkonspekt.....	45
6.2.3	Testing av endelig kammerkonspekt.....	46
6.3	Testing av IR-lys	46

6.4	Testing og erfaring med 3D-printing	48
6.5	Testing av kamera.....	49
6.6	Testing med dyr	50
6.6.1	Agarose.....	50
6.6.2	Testing med vannstrømning.....	51
7	DeepLabCut	52
7.1	Invertering av video.....	52
7.2	Markering av dyr	52
7.3	Trening av modell.....	53
7.4	Resultat.....	53
8	Diskusjon	54
8.1	Fremdriftsplanen.....	54
8.2	Forbedringer.....	54
9	Konklusjon	55
	Referanser	56

Figurliste

Figur 1: Sars-logo [1].....	10
Figur 2: Deler til kammeret (fra Instructables)[3]	15
Figur 3: Arduino UNO[9].....	17
Figur 4: L298N Motor Driver[10]	18
Figur 5: Trykkbrytere[11].....	18
Figur 6: Potensiometer[12]	19
Figur 7: DS18B20 Temperatursensor[14]	19
Figur 8: 12V DC-Pumpe[15]	20
Figur 9: LCD med LCM1602 modul[16]	20
Figur 10: IR-LED diode[17].....	21
Figur 11: DMK 33UP1300 Kamera[18]	22
Figur 12: NMV-35M1 Kameralinse[19].....	22

Figur 13: Koblingsskjema.....	23
Figur 14: GCC LaserPro Spirit GX ved Marineholmen Makerspace	25
Figur 15: Delene til det endelige kammeret.....	26
Figur 16: Loctite Super Glue	27
Figur 17: Første kammerdesign.....	28
Figur 18: Tre nye kammerkonspt	29
Figur 19: Diodebeholderne.....	31
Figur 20: Kamerabilde uten og med IR-belysning	31
Figur 21: Krets for IR-belysning	32
Figur 22: Første utgave av elektronikkinnkapsling.....	33
Figur 23: Andre utkast av elektronikkinnkapsling, med bunn og lokk separat	33
Figur 24: Andre versjon av bunnen	34
Figur 25: Siste versjon av lokket.....	34
Figur 26: Siste versjon av bunnen	35
Figur 27: Første konspt for IR-diode beholder	36
Figur 28: Viser IR-diode lysfordeling over PLA	36
Figur 29: Endelig IR-diode konspt sett bakfra.	37
Figur 30: Endelig IR-diode konspt sett forfra.	37
Figur 31: Endelig IR-diode beholdere (ferdig lakkert).	38
Figur 32: Skisse av tenkt løsning.....	38
Figur 33: Første utkast av kammerbeholder sammen med første kammerkonspt.	39
Figur 34: Andre kammerbeholder konspt.	39
Figur 35: Første slangefører konspt.	40
Figur 36: Endelig slangespor/beholder.	41
Figur 37: Resterende slangefører.....	41
Figur 38: Graf fra pumpetest.....	42
Figur 39: Ved oppstart.....	43
Figur 40: Ett minutt etter oppstart.....	44
Figur 41: To minutt etter oppstart.	44
Figur 42: Andre kammerkonspt.....	45
Figur 43: Endelig kammerkonspt.....	46
Figur 44: IR-lyset av.	47
Figur 45: IR-lyset på.....	47
Figur 46: Hvordan observasjonsseksjonen blir belyst.	47
Figur 47: Første 3D-print.	48

Figur 48: Illustrering av kameraets synsfelt.	49
Figur 49: Petriskål med lag av agarose i bunnen. (vanskelig å se)	51
Figur 50: Før og etter invertering av video.....	52
Figur 51: Markering av dyr som skulle brukes til å trene opp nettverket.....	53

Tabelliste

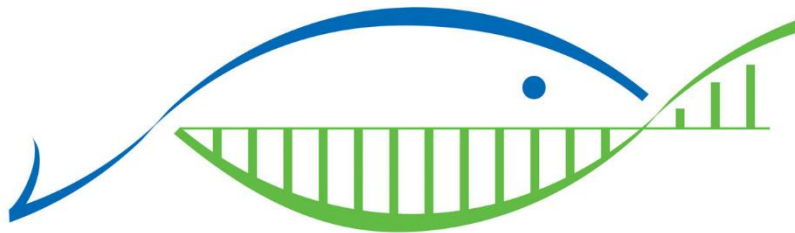
Tabell 1: Kravspesifikasjon	12
Tabell 2: Resultat fra pumpetest	42
Tabell 3: Kostnader.....	60

2 Innledning

2.1 Organisering av rapporten

Vi bruker standarden til «Institute of Electrical and Electronics Engineers» (IEEE*) for kildehenvisning. I setninger der kilder er brukt, vil det bli markert med firkantede parenteser (slik [x]) som henviser til kildene. Ord, begrep og forkortelser som krever ytterlig forklaring vil være markert med en stjerne (slik *), og listet opp i 9Appendiks A

2.2 Oppdragsgiver



Figur 1: Sars-logo [1]

Oppdragsgiver for dette prosjektet var Sars internasjonale senter for marin molekylærbiologi, som holder til ved Høyteknologisenteret i Bergen. Her studerer de biologiske prosesser i marine organismer med søkelys på evolusjon og utvikling. Senteret ble etablert i 1997 og er finansiert av Norges forskningsråd, kunnskapsdepartementet og Universitet i Bergen. Navnet Sars kommer fra de to anerkjente norske far-og-sønn marinbiologer, Michael Sars (1805-1869) og Georg Ossian Sars (1837-1927)[2]. Senteret er for øyeblikket organisert i åtte forskningsgrupper, der gruppe S13 var vår arbeidsgiver, ledet av Marios Chatzigeorgiou. Ansatte på Sars er internasjonalt, så språket foregår hovedsakelig på engelsk.

2.3 Problemstilling

Oppgaven vår, og dermed vår problemstilling, er å utvikle et system for å undersøke rheotaxis* hos forskningsdyret «Ciona Intestinalis*» i larvestadiet, som forskningsgruppa S13 skal bruke i sin forskning.

Larvene er av mikroskopisk størrelse og trenger spesialiserte oppsett for å studeres skikkelig. Forskerne vil studere hvordan dyret reagerer på vannstrømning, om det svømmer med eller mot strømmen, eller om det ikke reagerer i det hele tatt. Når de har studert mange nok dyr, kan de lage en statistikk for hvordan dyret beveger seg i vannstrømning. Design og oppsett av systemet skal ta utgangspunkt i prosjektet «Fish Flume»* fra Instructables*[3], som er tilpasset sebrafisk i larvestadiet. Det må derfor gjøres noen endringer for å tilpasse systemet til vårt forskningsdyr. Dyret skal studeres ved å legge det i et kammer med saltvann som har mulighet for vannstrømning. Et IR-kamera vil filme dyrets bevegelse. Her er det viktig å få god nok bildekvalitet slik at dyret kan studeres. Filmen kan også bli analysert ved å ta i bruk «Deep Learning»-rammeverket DeepLabCut. Det kan da trenes en modell ved hjelp av innsamlet data fra systemet som blir bygget.

2.4 Hovedidé for løsningsforslag

Oppdragsgiver ville ha et gjennomskiktig kammer som kunne inneholde vann over lengre tid. Vi tenkte at plexiglass eller PLA* (plast brukt ved 3D-printing) kunne være bra material. Kammeret skulle ha ulike seksjoner der det midterste er observasjonsseksjonen* hvor dyret skal befinne seg og reagere på vannstrømningen. Observasjonsseksjonen skulle ha meshfilter* ved åpningene slik at larvene holder seg innenfor kameraets synsområde. Meshfilteret skulle også sørge for en laminær* vannstrømning i observasjonsseksjonen, noe som er essensielt for forskningen. En pumpe skulle pumpe vannet i kammeret for å lage vannstrømning. Pumpen skulle bli styrt av en mikrokontroller, tilkoblet start- og stoppbrytere, samt et potensiometer for hastighetsstyring av pumpa. Hele det elektriske systemet skulle være skjult i en innkapsling slik at det ser ryddig ut.

3 Kravspesifikasjon

Under er en tabell med korte oppsummeringer av de nødvendige kravspesifikasjonene som det ferdige produktet vil holde seg til. Kravene er hovedsakelig de samme som originalt ble gitt i oppgaven, men det kom noen tilleggskrav etter hvert som vi jobbet med prosjektet. Kravene er laget i samarbeid med kontaktperson fra Sars.

3.1 Liste over kravspesifikasjon

Krav	Spesifikasjon
Gjennomsiktig kammer	Kammeret skal være laget av gjennomsiktig materiale
Ulike strømningshastigheter	Det skal være mulighet for å endre strømningshastigheten til vannet i tanken
Laminær vannstrømning	Vannstrømningen som blir påført forskningsdyret skal være laminært
Videoinnsamling med IR-kamera	Systemet skal ha et oppsett for videoinnsamling av larvenes respons ved hjelp av IR-kamera
Temperaturmåling	Systemet skal måle temperaturen i vannet
Logging av parametere	Systemet skal inkludere mulighet for logging av parametere fra hvert eksperiment
Trene «Deep-Learning»-modell	Dataen fra systemet skal bli analysert ved å ta i bruk «Deep-Learning»-rammeverket «DeepLabCut». Det skal trenes en modell ved hjelp av innsamlet data fra systemet som blir bygget.
Kildekode med dokumentasjon	Kode og eventuell datainnsamling skal dokumenteres på GitHub eller tilsvarende
Prosjektlogg og timelister	Det skal føres jevnlig prosjektlogg og timelister i løpet av prosjektet

Tabell 1: Kravspesifikasjon

Etter første samtale med oppdragsgiver konkluderte vi med at kammeret måtte være gjennomsiktig. Dette kravet ble da lagt til. Originalt var det også et krav om mulighet for å endre strømningsretning i kammeret. Etter vurdering fra oppdragsgiver besluttet vi at det ikke var nødvendig.

3.2 Tilleggskrav

- Tidlig i prosjektet ville arbeidsgiver ha en innkapsling for elektronikken. Altså en innkapsling som skjuler ledninger, koblinger og elektriske komponenter som brukeren av systemet ikke trenger å se.
- En presentasjon for veileder og gruppeleder på Sars er obligatorisk ved slutten av prosjektperioden. Presentasjonen må gjennomføres på engelsk.
- Forskningsdyret reagerer på vanlig lys, derfor ble det et tilleggskrav om belysning med infrarødt (IR*) lys.
- For å få best mulig bilde fra IR-kameraet, måtte det være kontrast mellom forskningsdyret og underlaget. Det ble derfor et tilleggskrav å ha svart bunn i kammeret.
- Senere i prosjektet oppdaget arbeidsgiver at det ble mye vibrasjon fra pumpen som kunne forstyrre forskningsdyret. Vi måtte derfor finne en løsning for dette.

4 Analyse av problemet

Kammeret må være av gjennomsiktig materiale slik at dyrene i observasjonsseksjonen kan bli belyst fra en lyskilde gjennom kammerveggen. Kammeret må også tåle saltvann, og den må være så robust at den holder samme kvalitet over lengre tid med eksperimenter. Siden forskningsdyret er av mikroskopisk størrelse, må kammeret ha en optimal størrelse som er tilpasset larvens dimensjoner og kameraets synsfelt.

Det er viktig å få en riktig vannstrømningshastighet. Pumpen må derfor levere en vannstrømningshastighet som er tilpasset forskningsdyret. Ved en svak vannstrømning vil ikke dyret bli påvirket, mens en sterk vannstrømning vil bare skylle vekk dyret uten at det får sjans til å svømme med/mot vannstrømmen. Størrelse av kammeret vil også være en faktor her, da større volum i kammeret vil gi en lavere gjennomstrømning i vannet.

Systemets formål er å filme forskningsdyret, så valg av kamera og linse er viktig for å få bra kvalitet på opptakene. Kameraet må ha god nok oppløsning og bildefrekvens (bilder per sekund). Her er det også viktig at observasjonsseksjonen er belyst slik at vi får et bra bilde av dyret. Når forskningsdyret er utsatt for «vanlig» lys (sollys, lys fra lamper, PC-skjermer osv.), går dyret i en slags dvale der den ikke beveger seg. Dette er ugunstig for vårt prosjekt, da dyret må være aktivt for at vi kan studere det.

For å trene en modell i DeepLabCut, må det være kontrast mellom forskningsdyret og omgivelsene. Programmet må enkelt kunne skille mellom larvene og bakgrunn. Bildekvaliteten må være god nok til at vi kan skille mellom hodet og halen til larven.

4.1 Utforming av mulige løsninger

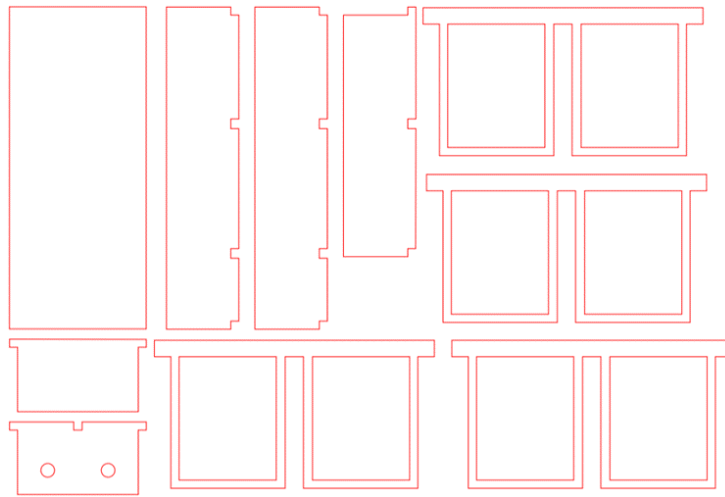
Siden systemet vi skulle utvikle var basert på et annet eksisterende prosjekt, var det ikke så mange forskjellige måter vi kunne løse oppgaven på. Etter første møte med ekstern veileder fikk vi tildelt mikrokontrolleren Arduino UNO*, en 12 volts pumpe og andre elektriske komponenter som var nødvendig. Vi hadde tidlig en god plan på hvordan vi skulle løse oppgaven. Design og oppbygging av kammeret var det som var mest diskutert i begynnelsen, om den skulle lages med en 3D-printer eller skjære ut delene med en laserkutter.

4.1.1 3D-printer løsning

Det er mulig å bruke en 3D-printer til å bygge kammeret ved å bruke vanntett plastmateriale som byggemateriale. Instructables-prosjektet har vedlagt dimensjonene til deres kammer, som kan bli brukt til å designe en 3D-modell av kammeret. 3D-modellen kan da bli konvertert til en filtype som en 3D-printer kan bruke for å bygge kammeret.

4.1.2 Laserkutter løsning

Et alternativ til 3D-printing er å gjøre det samme som i Instructables-prosjektet. De brukte en laserkutter til å skjære ut delene til kammeret. Her vil pleksiglass være et ypperlig materiale, da det både er vanntett og gjennomsiktig. I Instructables-prosjektet er det lagt ved ferdige tegninger for kammeret vi trenger. Disse tegningene kan bli konvertert til G-kode, slik at laserkutteren kan skjære ut de ønskede delene.



Figur 2: Deler til kammeret (fra Instructables)[3]

Deretter kan delene limes sammen med et vanntett lim. Meshfilteret limes på delene til høyre i Figur 2.

4.2 Vurderinger i forhold til verktøy og HW/SW komponenter

Mikrokontrolleren vi valgte å bruke var en Arduino UNO. Den var naturlig å bruke da vi hadde tidligere erfaring med den fra faget «Programmering og mikrokontrollere» (ELE102*), og egne hobbyprosjekt. Arduino* er en populær mikrokontroller, som gjør det enkelt å finne hjelp på internett om det skulle oppstå problem. Vi kunne også brukt en Arduino Nano*, en mindre versjon av Arduino Uno som er tilpasset slik at en kan lodde fast ledningene til den. Vi kom fram til at det var best at ledningene til mikrokontrolleren var løse, slik at de enkelt kunne byttes ut. Derfor valgte vi å bruke en Arduino Uno.

Istedenfor for å bruke (eller om vi ikke fikk tilgang til) en laserkutter, foreslo veileder at vi kunne bruke en Dremel3000[4] for å skjære ut kammerdelene. Dette ville, med god presisjon, få et tilsvarende resultat som ved bruk av laserkutter. Sars hadde en Dremel3000 vi kunne bruke. Før vi begynte med prosjektet bestilte vi inn kutteskiver som var tilpasset plast. Da vi fikk tilgang til laserkutter hos Makerspace, endte vi opp med å ikke bruke Dremel3000-løsningen.

Det ble tidlig forstått at vi kom til å bruke 3D-printer i prosjektet vårt. Læringslaben til HVL* hadde tilgang til en rekke forskjellige 3D-printere, Sars hadde to forskjellige printere og Makerspace hadde 3D-printere av typen Prusa[5]. Etter eksperimentering med 3D-printing fikk vi best resultat med printere av merket Prusa og Ultimaker S5[6].

For modellering av 3D-objekt brukte vi hovedsakelig programmene TinkerCAD[7] og Fusion 360[8]. TinkerCAD var et enkelt og nybegynnervennlig program, som ble brukt til å modellere enkle deler. Fusion 360 ble brukt for deler som var mer innviklet og som trengte mer presisjon.

4.3 Konklusjon

Da vi skulle bygge kammeret, hadde vi to forskjellige løsninger; laserkutter- eller 3D-printer-løsning. Det ble bestemt å gå for laserkutter-løsningen, da vi trengte et kammer av et materiale som tåler mange eksperiment over lengre tid. Pleksiglass har bedre holdbarhet enn plasten som 3D-printeren bruker. Det måtte også være mulighet for å bruke forskjellige kjemikalier i vannet under eksperimenta. Kammeret måtte ha gjennomsiktige vegger. Pleksiglass ble da et ypperlig materiale for kammeret.

En ulempe med å 3D-printe kammeret var at det ville oppstå mønster i materialet, noe som var ugunstig på flere måter; dyra kunne henge seg fast i mønstrene, og bildene fra kameraet kunne blitt dårligere. Laserkutting var mer nøyaktig enn 3D-printing, som gjorde at kammeret ville sett mer profesjonell ut. Det var også mer tidseffektivt, da det bare tok noen minutter å laserkutte delene, fremfor å 3D-printe et kammer, som ville tatt mange timer. Etter vi innså disse fordelene, var det åpenbart at vi skulle bruke laserkutter-løsningen.

For det elektriske anlegget endte vi opp med å bruke komponentene vi fikk utdelt av veileder tidlig i prosjektet. Vi kunne nå måla våre med disse komponentene, vi så derfor ingen stor grunn til å bytte de ut.

5 Realisering av valgt løsning

5.1 Komponenter

Vi har brukt en rekke forskjellige elektriske komponenter. De fleste fikk vi fra Sars mens noen måtte bestilles eller kjøpes på butikk. I starten av prosjektet kunne vi kjøpe fra de fleste nettsider og leverandører, men vi fant raskt ut at lang leveringstid ble lammende på arbeidseffektiviteten. Vi holdt oss derfor til norske leverandører eller fysiske butikker, da dette var mest tidseffektivt.

5.1.1 Mikrokontroller

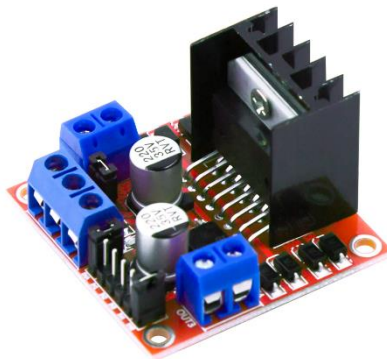
For styring av pumpesystemet valgte vi å bruke en Arduino UNO. Mikrokontrolleren har 14 digitale og 6 analoge inn/utganger. 6 av de digitale utgangene har muligheter for pulsbreddemodulasjon (PBM*), noe vi trenger for å styre pumpehastigheten. Arduinoen tar inn signal fra en startbryter, en stoppbryter, et potentiometer og en temperatursensor, og sender ut signal til et LCD* og en motordriver. Den skal også lagre forskjellige parametere til et SD-kort. Arduinoen er relativt enkel å programmere, og den blir programmert i et eget program som heter Arduino IDE*.



Figur 3: Arduino UNO[9]

5.1.2 L298N Motor Driver

Vi valgte å bruke en L298N Motor Driver for å styre hastigheten til pumpa, siden denne passer utmerket sammen med en Arduino. Motordriveren kan bli brukt for å styre hastigheten og rotasjonsretningen til 2 forskjellige dc-motorer. Den kan endre rotasjonshastigheten ved hjelp av en H-bridge, men siden vi bare trenger en rotasjonsretning bruker vi ikke alle funksjonene og inngangene til modulen. Modulen blir hovedsakelig brukt for å forsterke spenningen fra Arduinoen (0V-5V) til en maksspenning på 12V som pumpa trenger.



Figur 4: L298N Motor Driver[10]

5.1.3 Brytere

Vi har to brytere i systemet vårt, en for å starte pumpa og en for å stoppe. Bryterne vi endte opp med å kjøpe er to enkeltpolet, returnerbare trykkbrytere fra Kjell og Company. De er små, enkle å lodde på ledninger, kan festes i lokket på innkapslingen og har lysdiode i midten som kan kobles inn separat.



Figur 5: Trykkbrytere[11]

5.1.4 Potensiometer

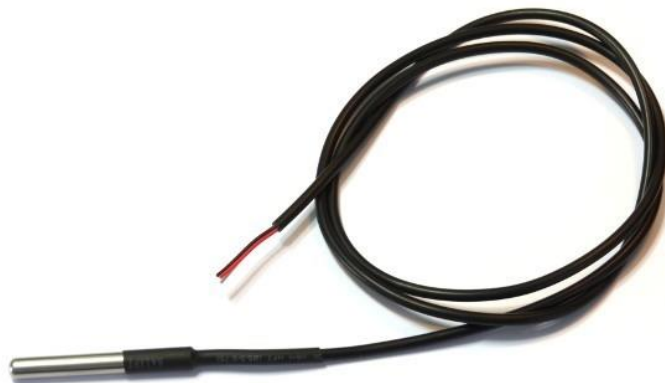
Komponenten som styrer farten på pumpen var potensiometeret. Vi valgte et helt standard potensiometer (10k Ω) da den var mer enn god nok for vårt bruk. Potensiometeret kan enkelt festes i lokket på innkapslingen, og det var lett å lodde fast ledninger på tilkoblingene.



Figur 6: Potensiometer[12]

5.1.5 Temperatursensor

Det blir brukt en DS18B20[13] digital temperatursensor for å måle temperaturen i vannet. Vi ble anbefalt å bruke denne sensoren av oppdragsgiver siden den er vanntett og enkel å bruke. Sensoren er egnet til bruk opptil 125°C, og har en nøyaktighet på $\pm 0,5$ °C (over store deler av måleområdet). Den fungerer bra med 3-5V-systemer, som er perfekt for vårt system med Arduino Uno.



Figur 7: DS18B20 Temperatursensor[14]

5.1.6 DC-Pumpe

Pumpa vi valgte å bruke er en 12V DC-pumpe. Den har et maksturtall på 5000 rotasjoner per minutt og kan gi en gjennomstrømningsrate på 100mL i minuttet. Siden forskningsdyret er så små, var dette mer en god nok gjennomstrømning for vårt formål.



Figur 8: 12V DC-Pumpe[15]

5.1.7 LCD med modul

I lokket på innkapslingen har vi festa et LCD som viser pumpehastighet og pumpestatus. Vi bruker en standard LCD som passer til Arduino. Displayet kommer med en LCM1602 modul, som gjør at vi kun trenger å koble fire ledninger mellom display og Arduino, istedenfor tolv. Modulen gjør det enklere å koble til displayet, og også å programmere det.



Figur 9: LCD med LCM1602 modul[16]

5.1.8 Strømforsyning

For å gi strøm til motordriveren, brukte vi en ekstern strømforsyning. Den får inn en vekselspanning på 230 volt og omformer den til en likespenning på 12 volt, som var riktig spenning for motordriveren.

5.1.9 Infrarød LED

For belysning til systemet bruker vi IR-LED dioder. De gir en bølgelengde på 850nm, bruker en spenning på 1.2V – 1.5V og har en pærestørrelse på 10mm.



Figur 10: IR-LED diode[17]

5.1.10 Kamera

Kameraet vi brukte var av merket «The Imaging Source» og modellen DMK 33UP1300[18]. Det hadde en oppløsning på 1280 x 1024 (1.3 megapiksler) og en bildefrekvens på opptil 210 bilder per sekund (engelsk: FPS*, frames per second). Vi filmet med 30fps, så bildefrekvensen var mer enn god nok. Kameraet var relativt lite, med en høyde på 29mm, bredde 29mm og lengde 43mm. Den hadde også en vekt på kun 65 gram. Kameraet hadde mulighet for å se IR-lys, noe som var nødvendig for vårt prosjekt.

Påkoblet kameraet hadde vi en linse av merket «Navitar» og modellen NMV-35M1. Linsen hadde en brennvidde på 35mm, som passet bra for å få observasjonsseksjonen i synsfeltet til kameraet.



Figur 11: DMK 33UP1300 Kamera[18]

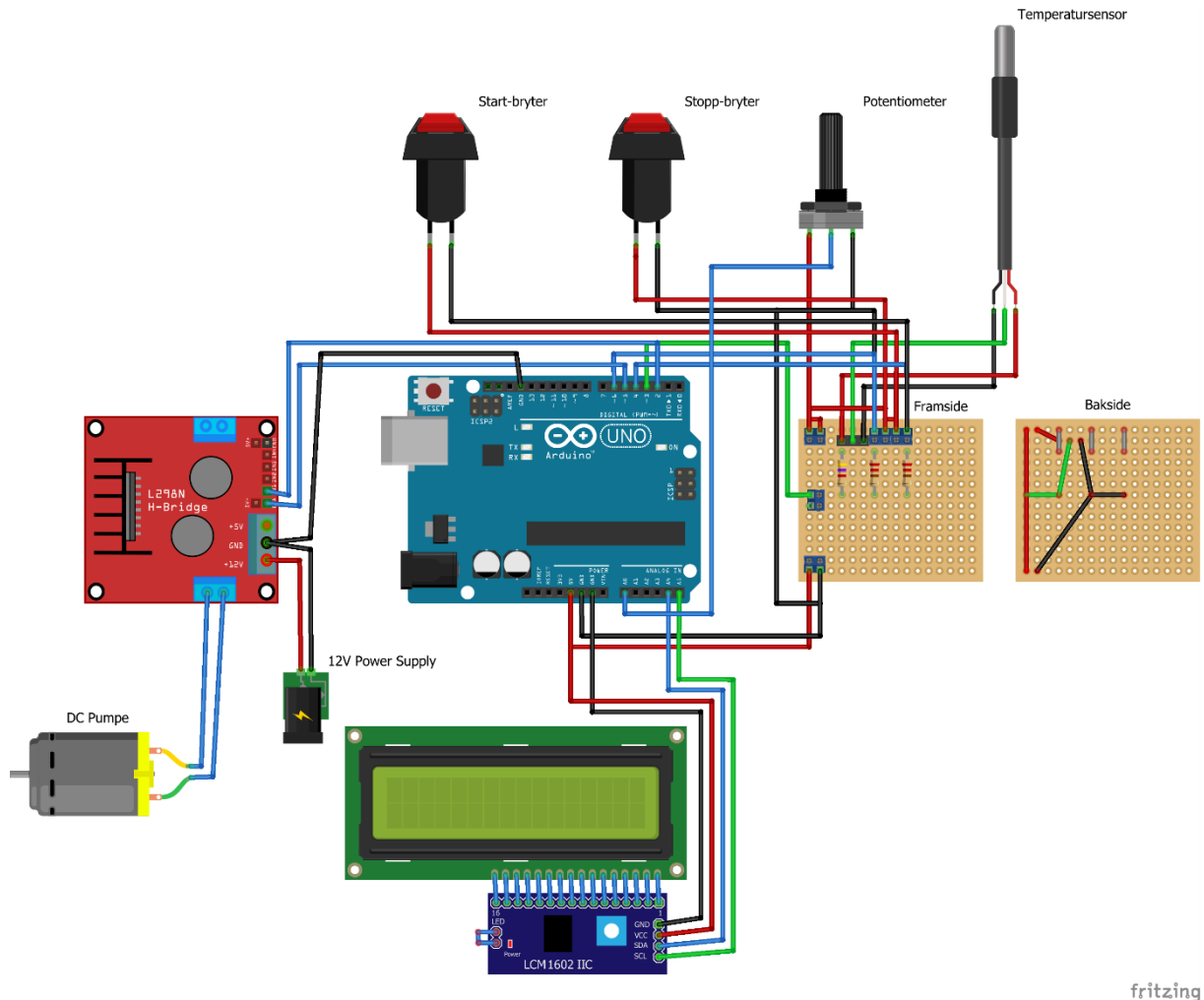


Figur 12: NMV-35M1 Kameralinse[19]

5.2 Arduino-kretsen

Kretsen ble tegnet i programmet Fritzing*[20] og viser hvordan de forskjellige komponentene er koblet sammen.

5.2.1 Beskrivelse



Figur 13: Koblingsskjema

Koblingsskjemaet viser alle komponentene som var koblet til Arduinoen. Her kan vi se at vi kun brukte to kontrollinnganger til motordriveren slik at vi ikke utnyttet H-bruas funksjon. Motordriveren får 12 volt likespenning fra den eksterne strømforsyningen, og en DC-pumpe var koblet til utgangen til motordriveren.

Displayet ble koblet til I2C-modulen slik at vi kun trengte fire ledninger til Arduinoen; to ledninger for spenning og jording, og to ledninger for kommunikasjon med Arduino.

Start-bryter, stopp-bryter, potentiometer og temperatursensor ble koblet til et kretskort. Koblingsskjemaet viser fremsiden og baksiden til kretskortet med skruekoblinger, ledninger, motstander og kobling til temperatursensor. Det ble brukt to 220Ω motstander til bryterne og en $4.7k\Omega$ motstand til temperatursensoren.

5.2.2 Lodding av kretsen

På Sars hadde de en egen loddestasjon med utstyr for lodding, så vi valgte å lodde kretsen der. To av oss på gruppen hadde tidligere erfaring med lodding, så det var enkelt å begynne. Loddingen gikk fint, uten noe særlige problemer. Det var litt dårlige tupper til loddebolten, så det var ikke alltid loddetinnnet smeltet slik som vi ville, men ved å endre på temperaturen til loddebolten ble det bedre. Noen av ledningene som vi loddet fast i forskjellige komponenter var av dårlig kvalitet, så det hendte at de ble slitt og vi måtte lodde på nytt. For oss var det første gang vi loddet på kretskort, så det var litt vanskelig å begynne, men etter hvert fant vi gode metoder som ga bra resultat.

5.2.3 Programvare

Som nevnt i kapittel 5.1.1 brukte vi Arduino IDE for å programmere Arduinoen. Noe av koden hentet vi fra Instructables-prosjektet, men det ble gjort mange endringer for å tilpasse vårt system. Vi importerte tre forskjellige bibliotek; `LiquidCrystal_I2C*`, `OneWire*` og `DallasTemperature*`. `LiquidCrystal_I2C`-biblioteket inneholdt enkle funksjoner for å styre displayet. `OneWire` og `DallasTemperature` hjalp med utregninger og håndtering av temperatursensoren. Programvaren ligger i 9Appendiks D og er godt forklart med kommentarer.

Programmet kunne blitt delt opp i to deler; ett for styring av pumpen og ett for temperatursensor. Den første delen håndterte alt med start- og stoppbryterne, potentiometer, LCD og pumpehastighet. Delen for temperatursensor håndterte mottak av data fra sensoren og omregning til celsius. `DallasTemperature` hadde en funksjon «`requestTemperatures()`» som hentet temperaturen fra sensoren. Denne funksjonen «fryste» programmet i omtrent ett sekund, noe som kunne blitt et problem for resten av programmet. Det ble derfor en utfordring å implementere denne delen inn i programmet for pumpestyring. Vi løste dette med at programmet hentet temperaturen fra sensoren ved oppstart av Arduino, og etter stopp-bryteren blir aktivert og pumpa stopper. Ved disse tidspunkta skulle det ikke være noe problem å «fryse» programmet i ett sekund.

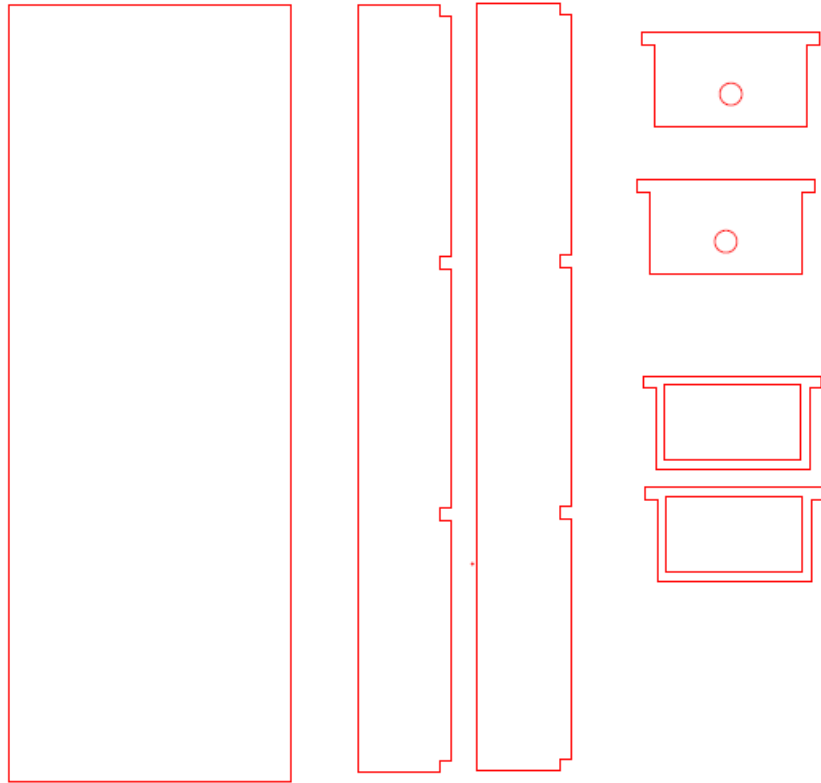
5.3 Laserkutting

Etter anbefaling fra Xavier (fra HVL Læringslab), besøkte vi Marineholmen Makerspace. Makerspace var et verksted med mye forskjellige utstyr, der privatpersoner kunne kjøpe medlemskap. De hadde en laserkutter av typen «GCC LaserPro Spirit GX», så vi kjøpte medlemskap hos dem. Vi fikk raskt veiledning i bruk av laserkutter og programvare som tilhørte laserkutteren.



Figur 14: GCC LaserPro Spirit GX ved Marineholmen Makerspace

På dette tidspunktet brukte vi TinkerCAD til å tegne kammerdelene, men etter anbefaling fra ansatte ved Makerspace, bytta vi til programmet Fusion 360. Det ble da mye enklere å få nøyaktige mål, og designe deler som passet med hverandre.



Figur 15: Delene til det endelige kammeret

5.3.1 Feil i designet

Det viste seg at vi hadde gjort noen feil i målene til noen av delene. Da vi skulle sette sammen delene, oppdaget vi at de ikke passet sammen. Vi endret på målene og prøvde på nytt, men også andre gangen hadde vi modellert feil. Målene måtte da endres igjen, og etter et tredje forsøk passet de perfekt. Dette resulterte i mye tidstap, da laserkutteren ikke alltid var tilgjengelig og måtte reserveres i forveien.

5.4 Kammer

Kammeret var den viktigste delen i prosjektet vårt. Det var kammeret som var mest kompleks og nøyaktig av alt vi har designet. Vi konstruerte en rekke forskjellige design og redesignet etter tilbakemeldinger og observasjon av feil og mangler.

Tidlig bestemte vi oss for å bruke superlim til å feste sammen kammerdelene. Uten noen forkunnskaper med superlim gikk vi for en kjent merkevare, «Gorilla Glue». Denne limen var vannbasert, som betydde at vi måtte tilsette vann på limen for at den skulle fungere. Limen hadde også en festetid på 60 minutt, som var problematisk da vi måtte holde trykk på delene mens limen tørket. Da limen størknet var det overflod av lim og den var ikke slitesterk nok til vårt formål. Vi kjøpte et nytt superlim, «Loctite Super Glue». Dette limet hadde bare 10-30 sekunder festningstid, var sterkere, og vi trengte ikke bruke like mye lim for en ønskelig effekt.

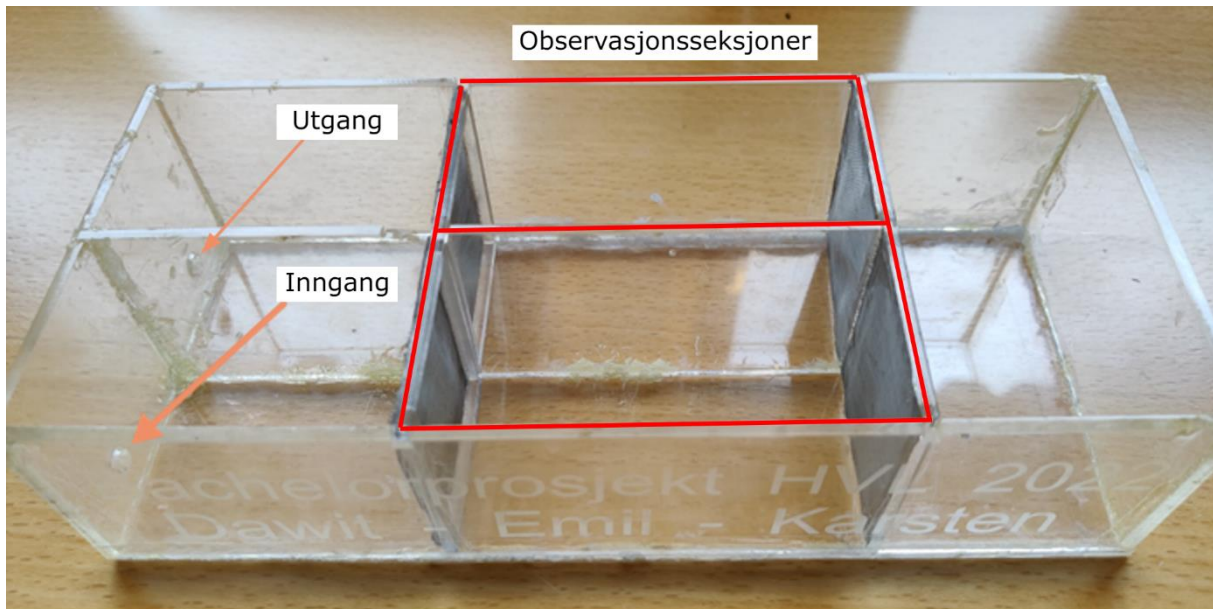


Figur 16: Loctite Super Glue

Kammeret er designet rundt ideen å ha en observeringsseksjon som er sentrert i posisjon for å være under kameraet med formål å overvåke dyrene som skulle befinne seg i denne seksjonen. Det var to andre seksjoner til kammeret, inngang- og utgangskammer. De skulle stabilisere vannstrømningen og vibrasjoner fra inngangskammeret inn til observasjonsseksjonen. Slik ville resultatet fra observasjonsseksjonen bli av den ønskede varianten med laminær vannstrømning, uten andre ytre forstyrrelser.

Seksjonene var skilt ved hjelp av to mesher som var avtakbare slik at de kunne vaskes eller byttes ved nødvendighet. Dette var fordi maskeavstanden til meshen bare var 120µm, som resulterte i at den ble skitten og tett. Stoffet var av rustfritt stål og dermed slitesterkt. Dette ga mulighet for rengjøring av filteret, slik at de kunne rengjøres med for eksempel etanol og trykkluft. Meshens hovedoppgave var å holde larven innenfor observasjonsseksjonen av kammeret, men hjalp også med å danne laminær vannstrømning.

Første kammer prototypen som ble ferdig fremstilt ble alt for stort i volum, slik at kameraet hadde problem med å fokusere på dyra ettersom de befant seg på ulike dybder. Samtidig var limingen av kammeret dårlig utført, som resulterte i et kammer med formen som et parallelogram, og et kammer som lekket vann på forskjellige steder. Siden kammeret ble skeivt, var det en utfordring å bruke de fleksible meshene som virket som skillevegger.



Figur 17: Første kammerdesign

Dette første kammeret hadde et annerledes design enn sluttdesignet, siden den var basert på designet fra prosjektet «Fish Flume» hadde den flere seksjoner og den buet på enden slik inn- og utseksjonene ble ved siden av hverandre. Dette ble forandret da vi kom fram til at halve kammeret ikke var nødvendig ettersom vi klarte å fremstille laminær vannstrømning med et kammer som går rett frem.

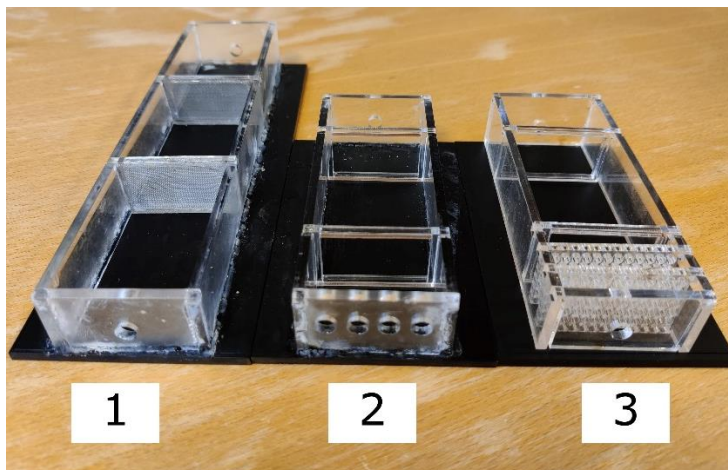
Det andre kammeret vi bygde tok vi utgangspunkt i et mye enklere og mindre design. Etter tilbakemelding om stort volum og vanskeligheter med å observere larven i det første kammeret prøvde vi oss på et kammer som var minst mulig. Vi målte hvor stort synsfelt kameraet hadde og baserte observasjonsseksjonen på dette, dermed resten av kammeret rundt observasjonsseksjonen. Resultatet ble et kammer som bare var noen få centimeter i høyde, observasjonsseksjonen fikk gunstigere størrelse basert på kameraets synsfelt, mens inn- og utgang-seksjonene ble kraftig redusert.

5.4.1 Løsninger til turbulent vannstrømning

Det kom raskt frem under testing at den laminære vannstrømningen ikke var til stede lenger. Vi måtte da ha en idédugnad om hvorfor og hvordan dette problemet kunne løses. Totalt kom fire forskjellige design frem:

1. Et lenger kammer slik at vannstrømningen klarte å stabilisere seg fra innstrømningen til observasjonsseksjonen.
2. Et kammer med fire inngang hull for pumpen, med hensikt å fordele inngangsstrømningen slik turbulent* vannstrømning blir forebygd. Tankegangen var at ett hull ga en fokusert vannstrømning som gikk for rask i forhold til tiden det tok før vannstrømningen nådde observasjonsseksjonen.
3. Et kammer med ekstra skillevegger i inngangsseksjonen. I disse skilleveggene var det en rekke små hull med formål å roe vannstrømningen før observasjonsseksjonen.

Vi brukte laserkutteren og lagde klart til at disse tre nye kammerkonseptene skulle settes sammen og klargjøres for testing av hvilke løsninger som ga best laminær vannstrømning.



Figur 18: Tre nye kammerkonsept

Under testing av den første, «lange» løsningen fikk vi resultatet som var ønsket; laminær vannstrømning. Vi valgte derfor å bruke kammerkonseptet nummer en. Selv om vi fikk laminær vannstrømning i et helt rent og nytt kammer, kan vannstrømningen bli turbulent under testing. Etter bare noen minutter med testing ville larvene og rusk tette deler av meshen og forhindrer jevnlig vannstrømning. Dette resulterte i noe turbulent vannstrømning i videoopptakene.

Tegning med dimensjoner på endelig kammerdesign ligger i 9Appendiks D

5.4.2 Konklusjon

Vi konkluderte med at den laminære vannstrømningen ble brutt på grunn av kort reisetid på vannet fra inngangsseksjonen til observasjonsseksjonen, slik at turbulent vannstrømning forstyrret vannet i observasjonsseksjonen. En annen teori var at meshen før utgangseksjonen ikke var ren og dermed sperret for vannstrømning å flyte jevnt gjennom.

Vi har til slutt ingen annen løsning for tett mesh enn å ta de ut å vaske etter bruk. Etanol kan brukes og har god effekt, men limen som holder meshen lider av dette og kan til slutt gi etter. Kammeret er sett sammen av samme limet. Her også lider kammeret av etanolbruk. Løsninger til dette har blitt vurdert, men er ikke testet eller realisert siden det er tidkrevende og vi vet ikke om det hadde funket selv om vi hadde prøvd.

Kammeret ga ønsket resultat; klart bilde, tilnærmet laminær vannstrømning og larvene holdes innenfor observasjonsseksjonen. Derimot hadde vi noen mangler: Ustabil vannstrømning etter noen minutter med testing som gjorde at meshene og kammeret måtte renses ofte. En løsning kunne være å skifte retning på vannstrømningen. Ved å skifte retning ville vannstrømningen frigjort larvene og rotet samlet i meshen, samt gitt mer resultat i et og samme videoopptak. Dette var ikke nødvendig, men i teorien kunne dette vært en løsning for å redusere tid mellom vask av meshene.

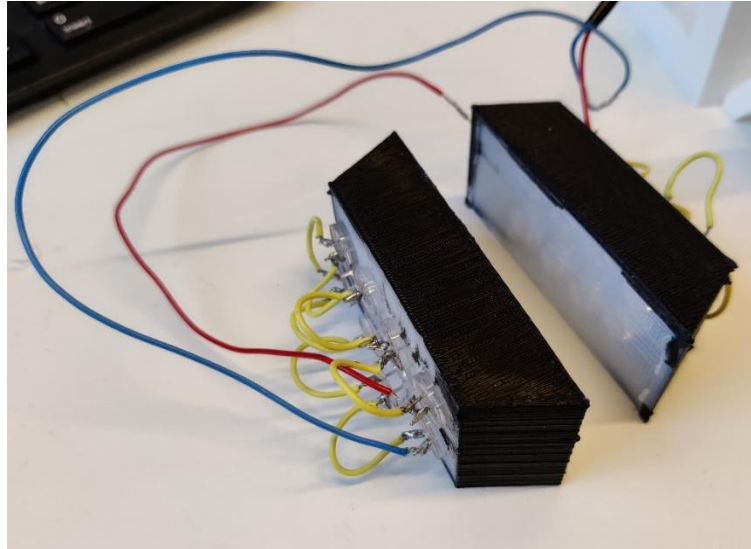
5.5 Belysning

Belysning var en sentral del av prosjektet, siden larvene ble påvirket av «synlig» lys. For å få best mulig resultat måtte vi da beskytte observasjonsseksjonen fra alt lys utenfra. Løsningen til dette var et overheng rundt hele anlegget som forebygger refleksjoner og annet lys utenfra. En lettere løsning var å skru av lyset på hele laben, men det var ugunstig da det kunne forstyrre andre ansatte på laben.

I starten hadde vi en kammerbeholder laget av hvit PLA. Gulvet i kammeret var av gjennomsiktig pleksiglass slik at kameraet filma ned på den hvite plasten. Siden larvene var hvite, var det umulig å observere de over den hvite overflaten. En løsning for dette var å 3D-printe kammerholderen i svart PLA, men deler laget med 3D-printing har små mønster i materialet. Vi fikk tilbakemelding om at overflate med mønster ville gi utfordringer senere med sporing av dyrene i DeepLabCut senere. Idéer som å plassere et tøyestykke eller en svart plastbit med jevn overflate under observasjonsseksjonen ble diskutert. Disse løsningene ga dårlig resultat ettersom tøyestykket ville krølle seg. Plastbiten vi testet var skitten og hakkete som viste godt igjen på kameraet under observasjon.

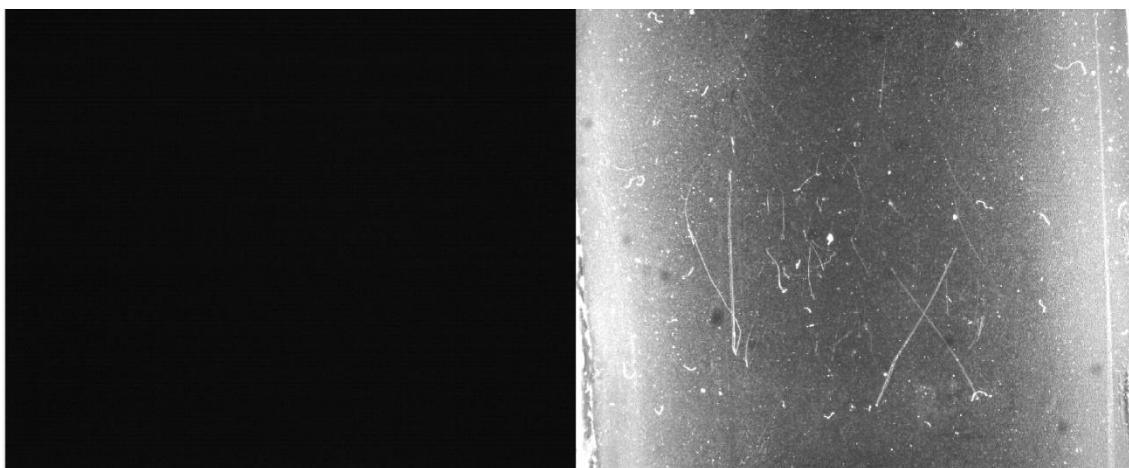
Løsningen som ga best resultat var å bruke en matt svart spraylakk, kjøpt hos Clas Ohlson. Vi lakket bunnen til kammeret og resultatet var en overflate som var matt og reflekterte lite lys.

Uten «synlig» lys, trengte vi en annen lyskilde for å observere larvene. Infrarødt lys ble da løsningen, siden dyrene ikke kunne se lyset og vi kunne observere dyret ved hjelp av IR-kamera. Oppsettet ble to 3D-printede lyskaster/diodeholdere, med seriekoblede dioder montert bak et tynt lag med hvit PLA. Diodene fordelte da lyset over den tynne hvite overflaten. Originalt var disse lyskasterne helt hvite, men under testing var det hvitt lys som skinte tilbake på kameraet midt i observasjonsseksjonen. Etter undersøkelse kom vi frem til at dette lyset kom fra lyskasterne. Vi konkluderte derfor med å lakke disse matt svart, dette fjernet den uønskede refleksjonen.

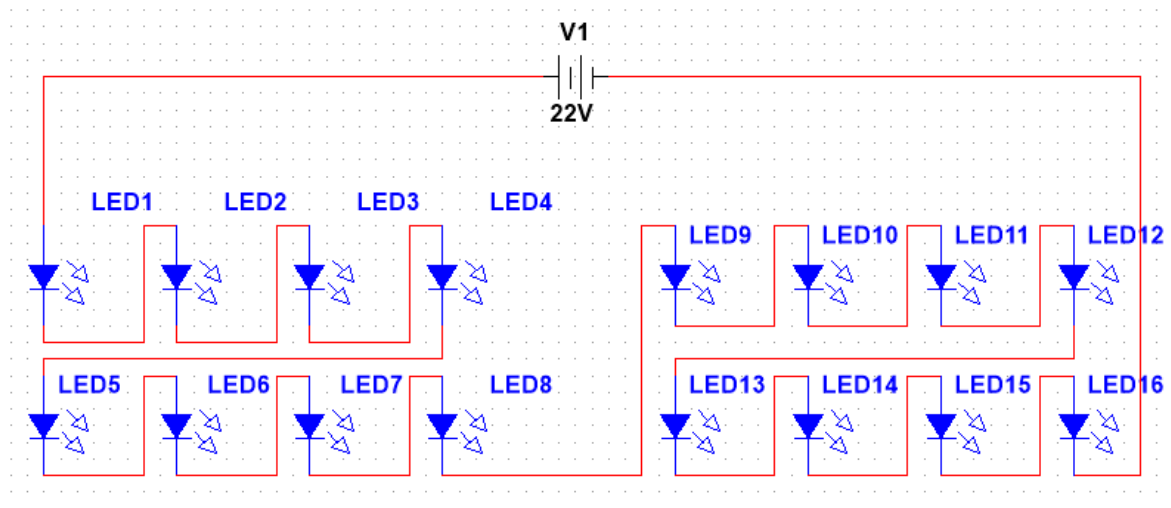


Figur 19: Diodebeholderne

I konklusjon klarte vi å lage et produkt uten ytre lysforstyrrelser, en overflate som reflekterer lite lys i kameraet og oppsett med IR-dioder med godt fordelt og sterkt lys.



Figur 20: Kamerabilde uten og med IR-belysning



Figur 21: Krets for IR-belysning

5.6 3D-Printing

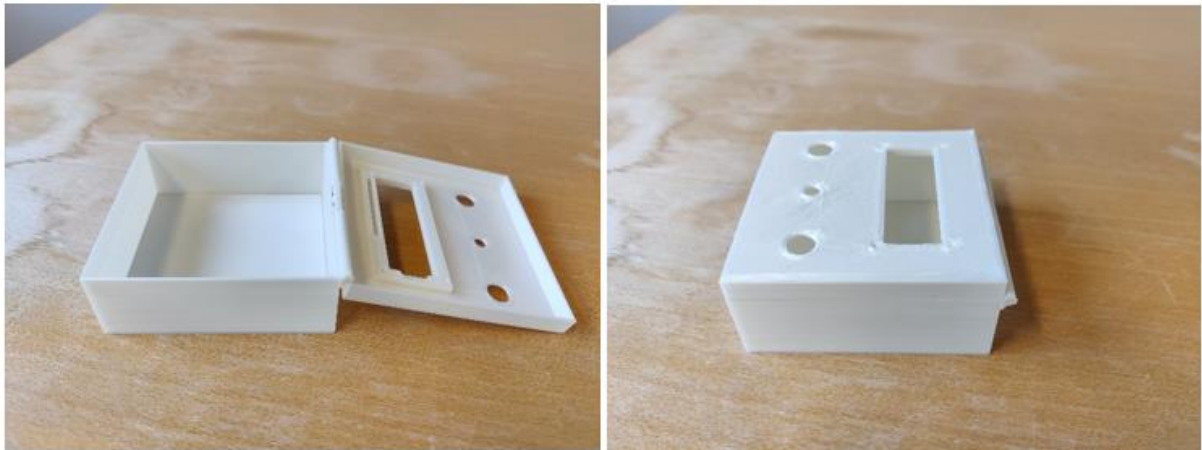
En liste over produkt vi har 3D-printet for diverse bruk. Vi har brukt tilstrekkelig med 3D-printede objekt med hensikt å oppbevare elektronikk, holde kammeret stødig, holde diodene i ønsket posisjon, fordele lys med PLA og stabilisere vannslangene i forebygging av vibrasjoner.

5.6.1 Innkapsling til elektronikk

Den elektroniske innkapslingen var ment for å ha et enkelt og ryddig anlegg. På utsiden var det enkle interaktive komponenter og et LCD som gir nødvendig informasjon til brukeren. Innkapslingen var en av de første komponentene vi 3D-printet, så vi hadde ikke så mye erfaring med 3D-printing på det tidspunktet.

5.6.1.1 Første utkast

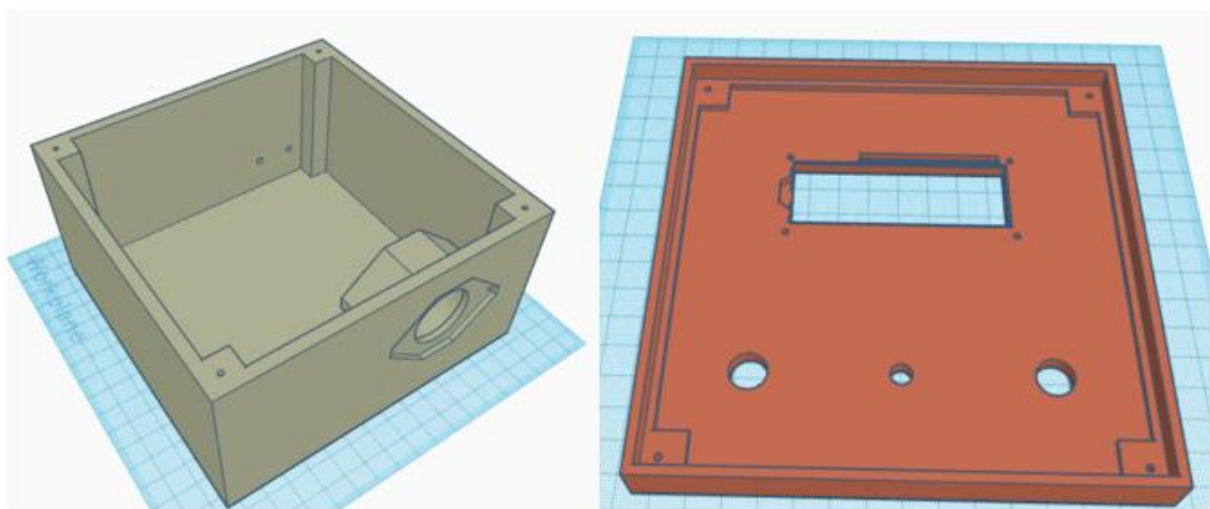
Vi prøvde først å lage en innkapsling med hengsler, slik at det ble enkelt å åpne og lukke den. Denne innkapslingen ble for liten, da det ikke var plass til alle komponentene. Både lokket og bunnen måtte 3D-printes samtidig på samme printeplate. Dette var den største innkapslingen vi kunne 3D-printe på printeplaten vi hadde tilgang til.



Figur 22: Første utgave av elektronikkinnkapsling.

5.6.1.2 Andre utkast

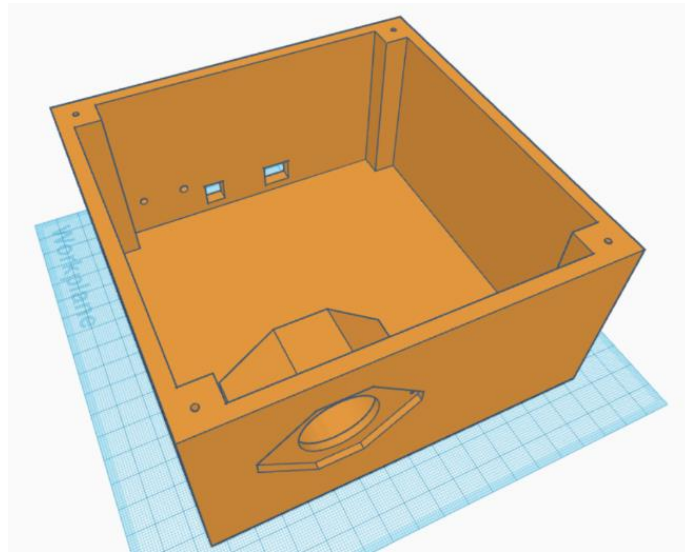
I andre utkast økte vi størrelsen til innkapslingen, derfor måtte vi gå bort i fra idéen med hengsler. Innkapslingen ble delt opp i to deler; et lokk og en bunn. Lokket skulle ha hull til LCD, potentiometer og brytere, samt skruehull for å feste lokket til bunnen. Bunnen skulle kunne inneholde alle de elektriske komponentene, samt ha hull til pumpen og andre ledninger som skulle være på utsiden av boksen.



Figur 23: Andre utkast av elektronikkinnkapsling, med bunn og lokk separat

Da vi hadde 3D-printet denne modellen, fant vi ut at vi trengte hull for strømforsyningsinngangen og USB-porten til Arduinoen. Vi prøvde å bore hull med en drill, men det ble fort veldig stygt. Det ble da bestemt å modellere en ny bunn.

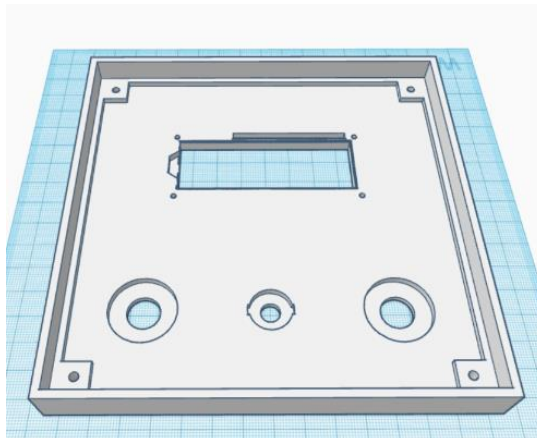
5.6.1.3 Tredje utkast



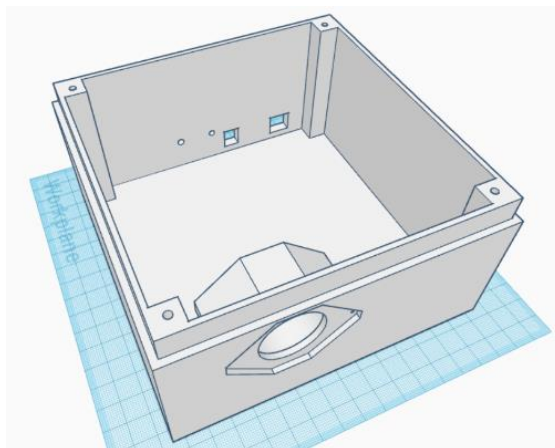
Figur 24: Andre versjon av bunnen

I den andre versjonen av bunnen har vi flyttet åpningen til pumpa, da dette passet best med plasseringen av de elektriske komponentene. Hullene til Arduinoen passet perfekt. Lokket fra første utkast passer med denne bunnen, så den ble ikke forandret.

5.6.1.4 Siste versjon



Figur 25: Siste versjon av lokket



Figur 26: Siste versjon av bunnen

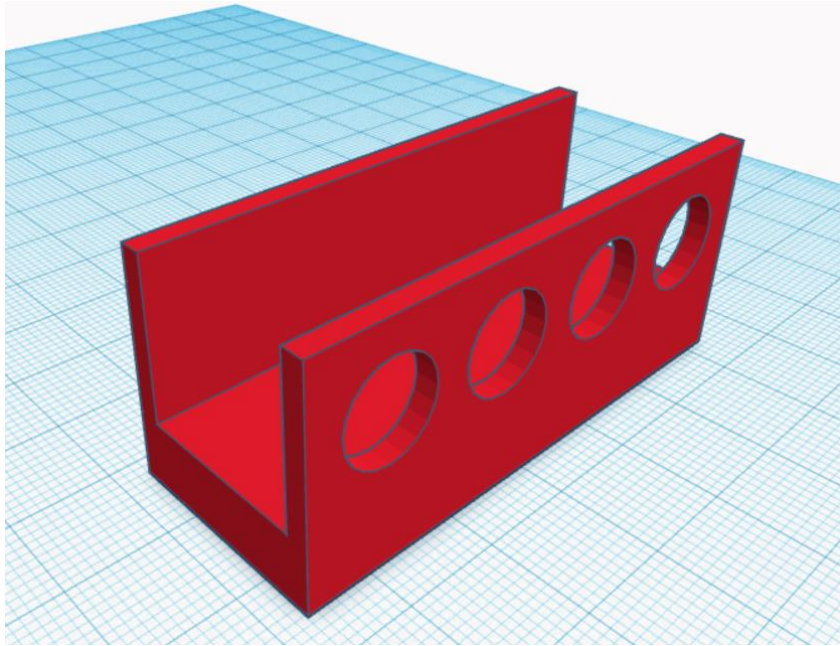
Dette ble siste versjon av innkapslingen. Bunnen og lokket ble modifisert slik at det var enklere å skru fast lokket til bunnen. Kantene øverst på bunn-delen passet med kantene til lokket, slik at skruehullene stemmer overens når lokket legges på. Det ble også laget inngraveringer i festepunkta til bryterne og potentiometeret, slik at de ble enklere å feste.

5.6.2 IR-diode beholder og IR lysfordeling

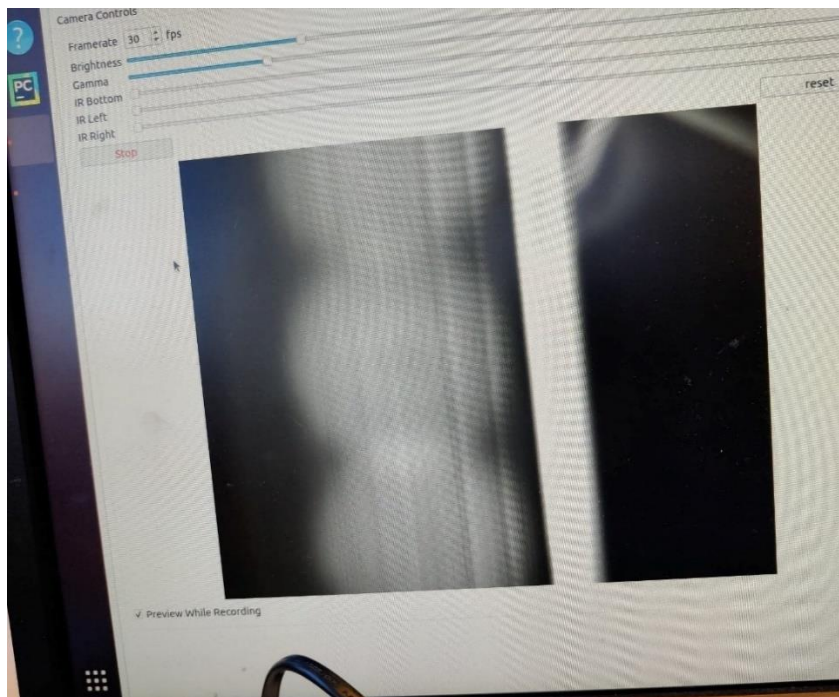
Belysning med IR-lys var sentralt i prosjektet for å kunne observere dyret ordentlig. For å ikke forstyrre larven med synlig lys var IR-dioder nødt til å ha et oppsett slik observasjonsseksjonen ble godt belyst i videoopptakene.

5.6.2.1 Første utkast

Første idéen var å bore hull i kammerbeholderen og montere IR dioder i den, men idéen ble fort byttet ut med å ha IR-belysning fra sidene. For at lyset skulle bli fordelt nok før det nådde kammeret, 3D-printet vi et objekt som kunne holde 4 dioder på en rekke. Etter testing og tilbakemelding om at lyset ble alt for konsentrert, foreslo Jørgen å ha et tynt lag med PLA foran diodene slik lyset ble fordelt på denne overflaten.



Figur 27: Første konsept for IR-diode beholder

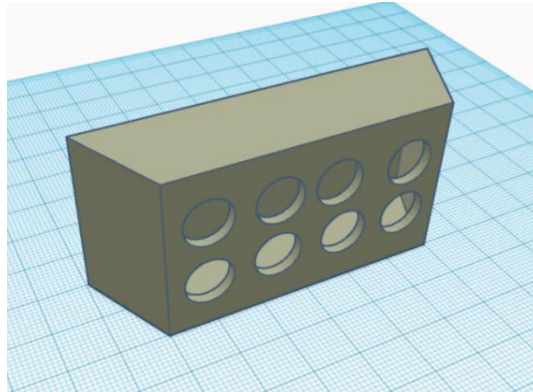


Figur 28: Viser IR-diode lysfordeling over PLA

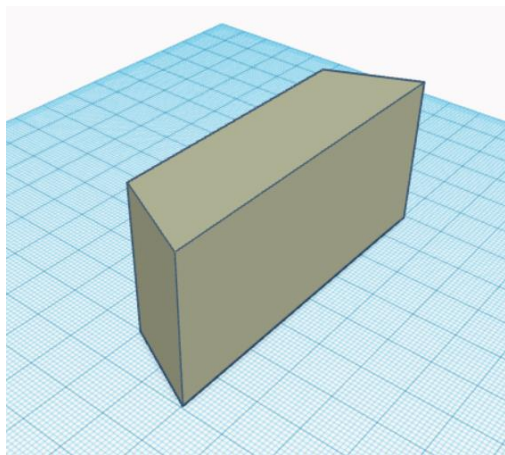
Forbedringspotensialet til dette designet var tynnere vegg fremme, ettersom vegg ble litt tykk og lite lys fikk skinne gjennom plasten. Fordelingen virket bra og vi var optimistiske til løsning med tynnere vegg. Selv med en tynnere vegg ville vi ha mer styrke på belysningen og trengte da et design med plass til flere dioder.

5.6.2.2 Siste versjon

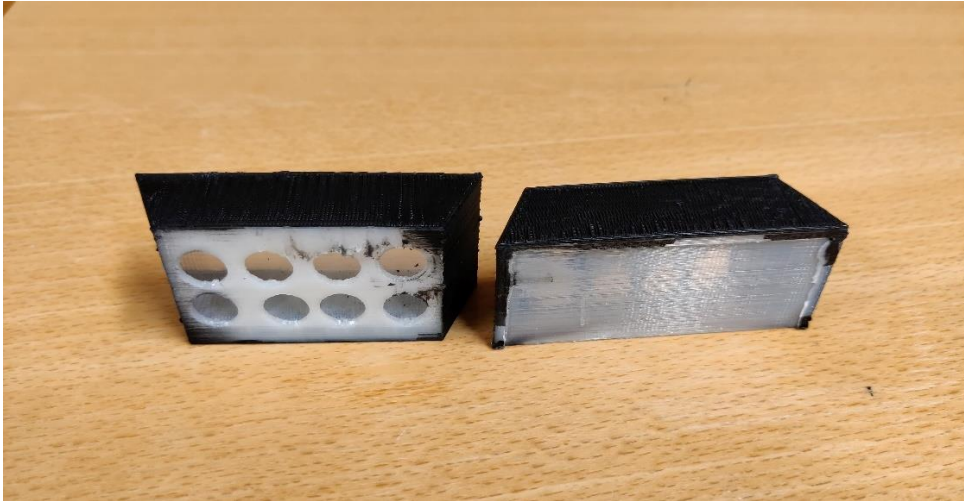
Det nye designet ble dobbelt så høyt for å få plass til dobbelt så mange dioder, uten at dette gikk utover hvor belysningen ble konsentrert på observasjonsseksjonen. Vi lagde også til at diodene ble helt innestengt av PLA, mens laget med PLA fremme er bare et tynt, nesten gjennomsiktig, lag. Slik blir lyset mest konsentrert fremme og innkapslingen hjalp å forskyve lyset fremover. Sideveggen på innkapslingen var satt på en vinkel, slik fronten ble lenger enn baksiden og vi ville få mest effekt ut av belysningen.



Figur 29: Endelig IR-diode konsept sett bakfra.



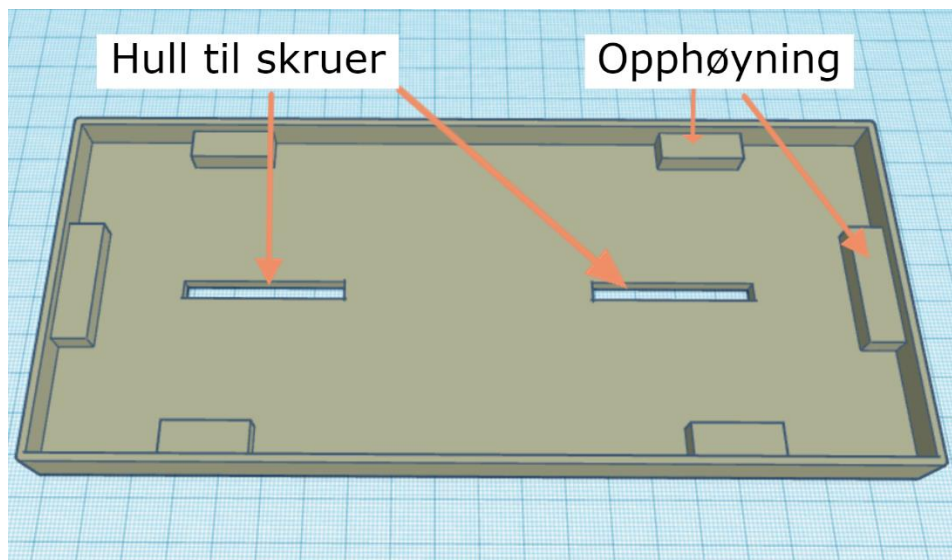
Figur 30: Endelig IR-diode konsept sett forfra.



Figur 31: Endelig IR-diode beholdere (ferdig lakkert).

5.6.3 Kammerbeholder

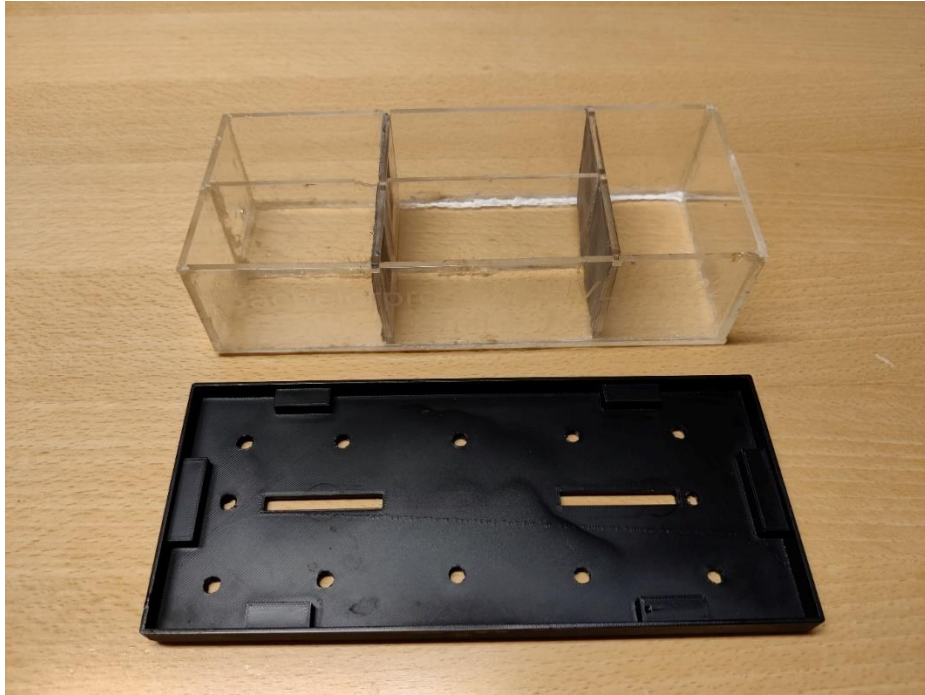
Stativet kameraet er fast i er sett opp til å feste objekt i. For å ha et stabilt kammer i ønsket posisjon under kameraets synsfelt, ble vi nødt til å lage en beholder som kunne holde kammeret stødig. Beholderen er designet med opphøyninger slik at det var plass til å skru kammeret fast i stativet.



Figur 32: Skisse av tenkt løsning

5.6.3.1 Første utkast

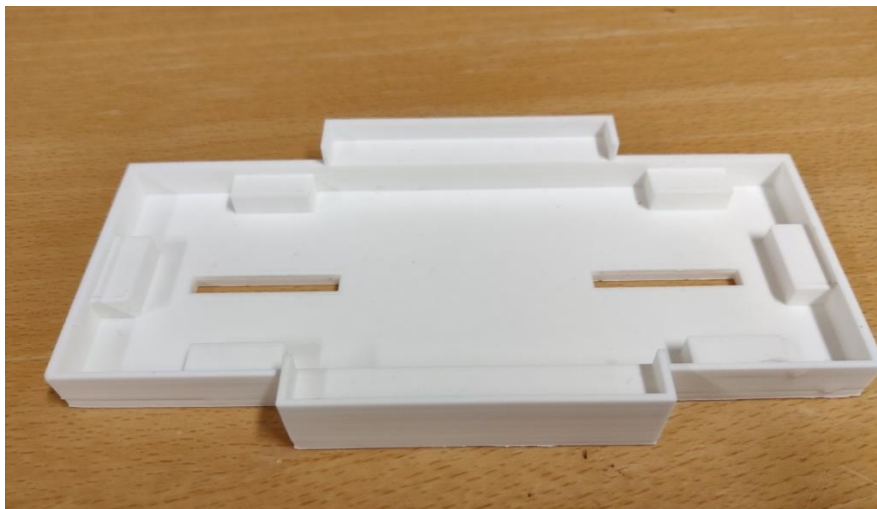
Beholderen ble designet med premiss at kammeret skulle passe uten uønsket slingringsmonn. Dimensjonene til beholderen hadde som formål å få observasjonsseksjonen i riktig posisjon under kameraets synsfelt. Første utkast ble designet med dimensjonene til det første kammer-designet.



Figur 33: Første utkast av kammerbeholder sammen med første kammerkonsert.

5.6.3.2 Siste versjon

Det første utkastet av beholderen oppnådde sitt formål godt. Grunnen til vi 3D-printet en ny beholder var fordi kammeret hadde fått et nytt design. Derfor ble vi nødt å skalere holderen etter det nye kammeret. Integriteten til beholderen forble det samme, men vi hadde støtt på et nytt problem; vi måtte ha en løsning for å holde lyskasterne fast i ønsket posisjon. Når vi allerede måtte 3D-printe en ny beholder på grunn av ny kammerstørrelse, så vi muligheten til å løse problemet ved hjelp av beholder til kammeret. Derfor la vi til 2 seksjoner på beholderen som lyskasterne kunne stå i.



Figur 34: Andre kammerbeholder konsept.

5.6.4 Pumpeslangefører

Den laminære vannstrømningen ble bra og vi var tilfredse med hvordan prosjektet hadde blitt. Det var et problem vi ikke var klar over, som oppsto senere. Vi fikk beskjed av Marios at det var mye vibrasjon i slangene og dermed kammeret. Dette var noe vi ikke var klar over som et problem, men Marios informerte oss at larvene merket forstyrrelsene i vannet slik som vibrasjon. Med vibrasjon i kammeret ble resultatene mulig annerledes og uønsket.

5.6.4.1 Første utkast

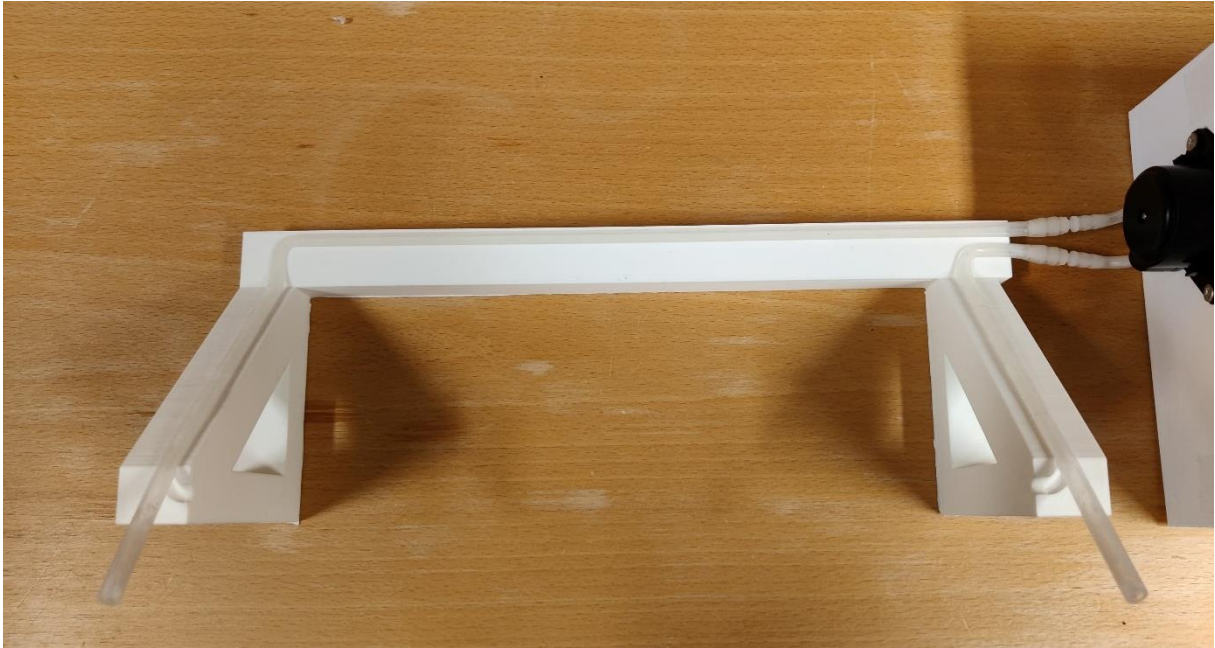
Tanken var å designe en leder av PLA med spor som slangene skulle gå i et lite stykke, for å forebygge vibrasjonen før slangene gikk inn i kammeret. Vi trodde vibrasjonen oppsto på grunn av pumpen, men etter testing var det fortsatt uønsket vibrering i slangene når de gikk fra holderen til kammeret. Slangene virket stille da de var i sporene til plasten, men det var fortsatt litt for mye vibrering. Planen ble da å lage et design som førte slangene helt fra pumpen og inn til kammeret.



Figur 35: Første slangefører konsept.

5.6.4.2 Siste versjon

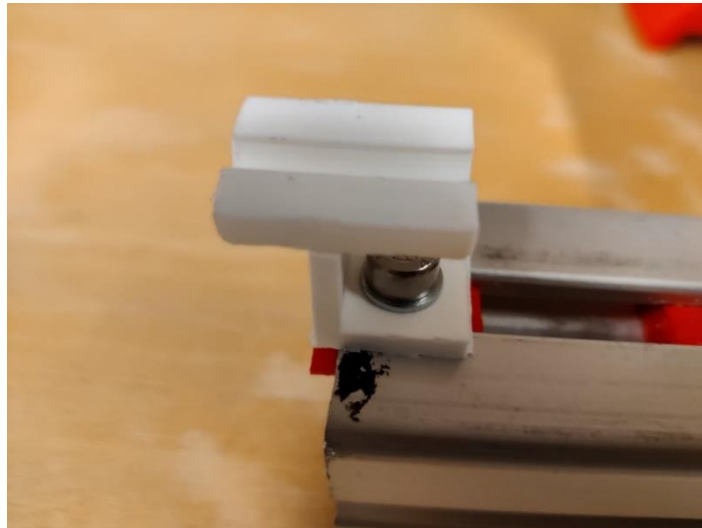
Neste design førte slangen helt frem til bare noen centimeter fra kammeret. Mye bedre resultat og mindre vibrasjoner, men fortsatt vibrasjoner i de centimeteren før kammeret. Vi trengte noe lite som førte slangene den siste distansen for å få best mulig resultat.



Figur 36: Endelig slangespor/beholder.

5.6.5 Resterende slangefører

For å føre slangene og forebygge vibrasjoner i de siste centimeterne lagde vi to utvidelser til den originale slangeføreren. Slik fikk vi redusert vibrasjonene kraftig, selv om det fortsatt er noe vibrasjon er observasjonsseksjonen rolig nok til å få tilfredsstillende resultat.



Figur 37: Resterende slangefører.

Disse er skrudd på stativet slik de ligger helt inntil kammeret for minst mulig slingringsmonn for slangen å skape vibrasjoner.

6 Testing

Det ble utført forskjellige tester gjennom prosjektet. Her er tester som er sentrale for å ha god fremdrift i prosjektet. De har gitt mye tilbakemeldinger og oppgaven har blitt bedre på grunn av disse testene.

6.1 Testing av pumpe

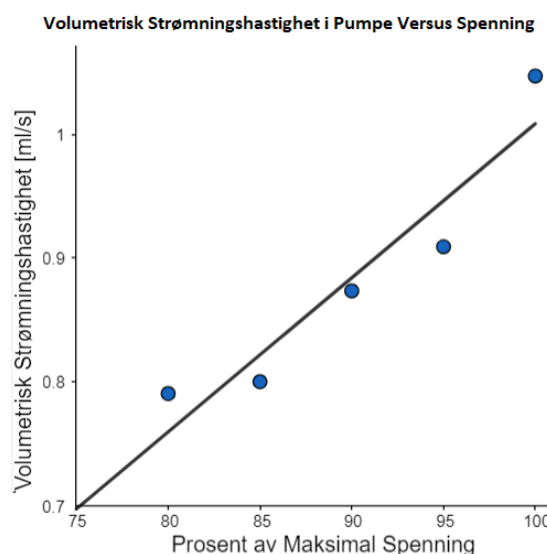
Ut fra beskrivelsen av pumpa, skulle den levere en gjennomstrømningsrate på 0-100mL i minuttet. Siden forskningsdyrene var så små (rundt 0.5mm lange) skulle det ikke mye vannstrømning til for å få en reaksjon fra dem. Vi utførte en test for å måle hvor stor gjennomstrømning pumpa leverte. Vi brukte følgende utstyr:

- 2 beholdere
- Kjøkkenvekt
- Stoppeklokke
- Vann
- Ferdig koblet pumpesystem (Arduino kobling)

Vi begynte med å måle og fylle en beholder med 200 gram vann. Deretter la vi en slange fra pumpa i hver beholder og kobla på spenningen til Arduino-systemet. Så brukte vi potentiometeret til å stille pumpespenningen til 100%, og starta pumpen og stoppeklokka samtidig. Da beholderen var tom, stoppa vi stoppeklokken og registrerte tid og spenningsprosent for eksperimentet. Vi gjentok denne prosessen med spenningsprosenten satt til 95%, 90%, 85% og 80%. Dette ble resultatene:

Spenning%	Tid[s]	mL/s	mL/min
100%	191	1.04712	62.82723
95%	220	0.909091	54.54545
90%	229	0.873362	52.40175
85%	250	0.8	48
80%	253	0.790514	47.43083

Tabell 2: Resultat fra pumpetest



Figur 38: Graf fra pumpetest

Fra resultatene kan vi se at pumpen leverte en maksimal gjennomstrømning på 63mL i minuttet, altså kun 63% av effekten som den var beskrevet til å kunne levere. En stor grunn til den lave

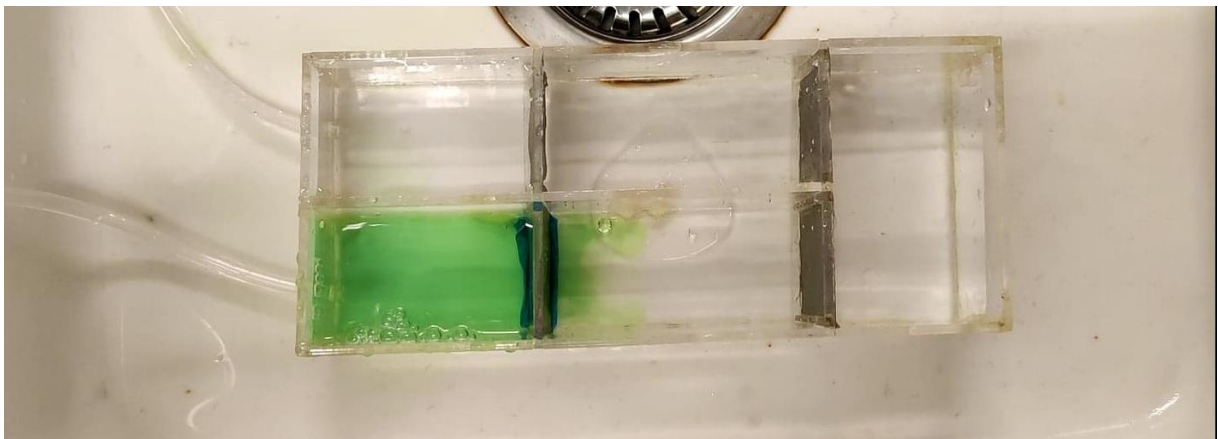
effekten skyldes nok spenningsfallet på 2 volt som oppsto over motordriveren (L298N). Dette gjorde at det kun ble 10 volt over pumpa, og den fikk ikke brukt sitt fulle potensial. Selv etter alt effekttapet, skulle det være mer enn nok gjennomstrømning for dette prosjektet.

6.2 Testing av kammeret

Kammeret ble designet med tanke om å ha en observasjonsseksjon hvor larvene skulle befinne seg i en laminær vannstrømning. Kammeret skulle ha svart underflate, slik videoopptakene fra kameraet ovenfra skulle stå i kontrast med de hvite larvene i opptakene. Den laminære vannstrømningen var for å ha et fast utgangspunkt å ta i betraktning under analyse av opptakene. Når kammeret ga tilfredsstillende bilder og vannstrømning kunne vi begynne testingen av kammeret.

6.2.1 Testing av første kammerkonssept

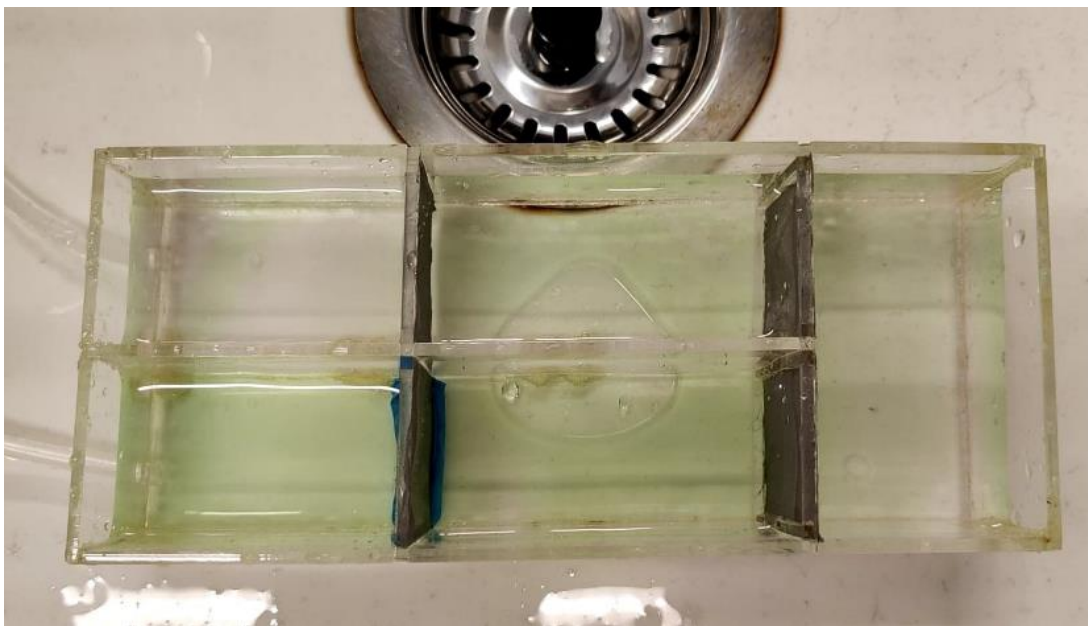
Testing av første kammeret var primitivt og enkelt. Vi koblet pumpen opp til en strømforsyning, hadde vann i kammeret og skulle finne ut om vannstrømningen var laminær. Med inspirasjon fra «Fish Flume»-prosjektet i instructables, testet vi vannstrømningen ved å tilføre konditorfarge i inngangsstrømningsseksjonen.



Figur 39: Ved oppstart.



Figur 40: Ett minutt etter oppstart.



Figur 41: To minutt etter oppstart.

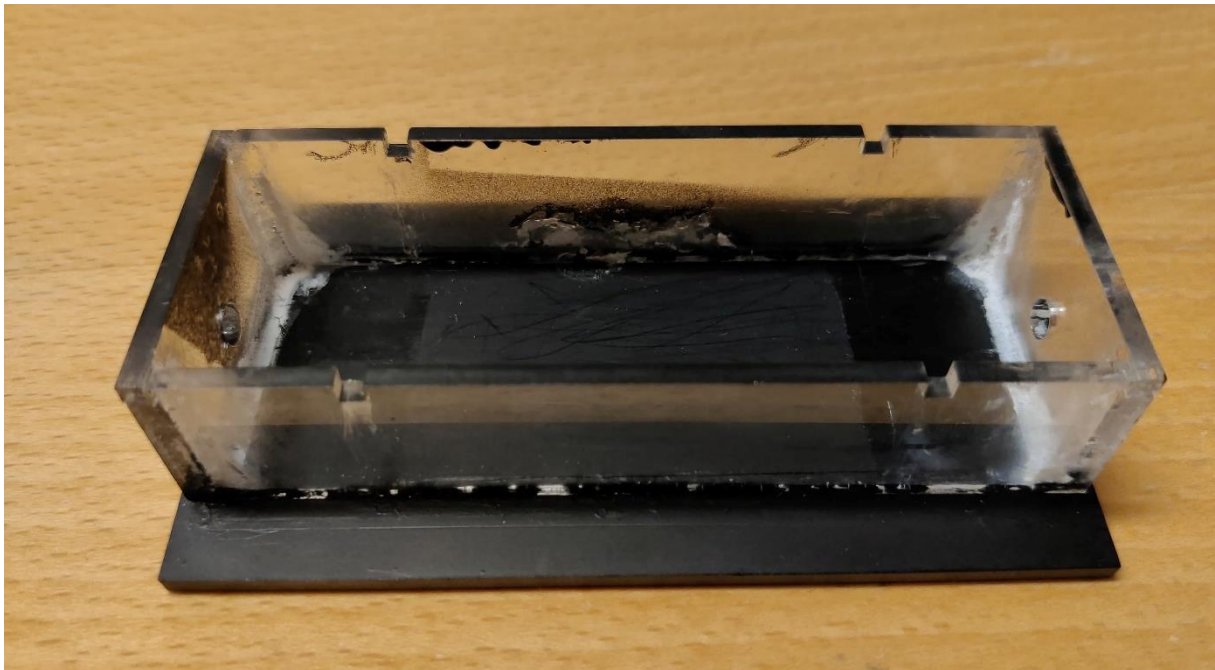
Vi var bekymret fordi vannstrømningen virket svak og treg, men Jørgen opplyste oss om at vannstrømningen var bra og kanskje til og med litt sterk. Han informerte oss om at larvene var skjøre og påvirkes lett av ytre krefter. Siden vannstrømningen var så treg betydde dette at den ville bli laminær når den hadde nådd observasjonsseksjonen, siden vannet hadde roet seg nok til å bare flyte jevnt gjennom kammeret. Noen problemer som kom frem under denne testingen var at det var uønsket avstand mellom mesh-holderne og bunnen på kammeret, som skyldes feil mål. Kammeret

var ikke helt tett og hadde flere lekkasjer. Dette medførte mye liming av områder med lekkasjer og kammeret ble uprofesjonelt.

Etter testing med larver under kamera kom det frem at kammeret rommet for stort volum. Det ble vanskelig for kameraet å fokusere på larvene ettersom de hadde stor variasjon i dybde og kunne befinne seg på altfor stort område. Kammeret var også påvirket av vibrasjoner fra slangene til pumpen.

6.2.2 Testing av andre kammerkonsept

Det andre kammerdesignet baserte seg på resultatet og tilbakemelding fra testingen av det første kammeret. Et mindre og kortere kammer ville løse problemstillinger som stort volum og unødvendige seksjoner, siden vi bare trengte inngang- og utgangsseksjon samt observasjonsseksjon.

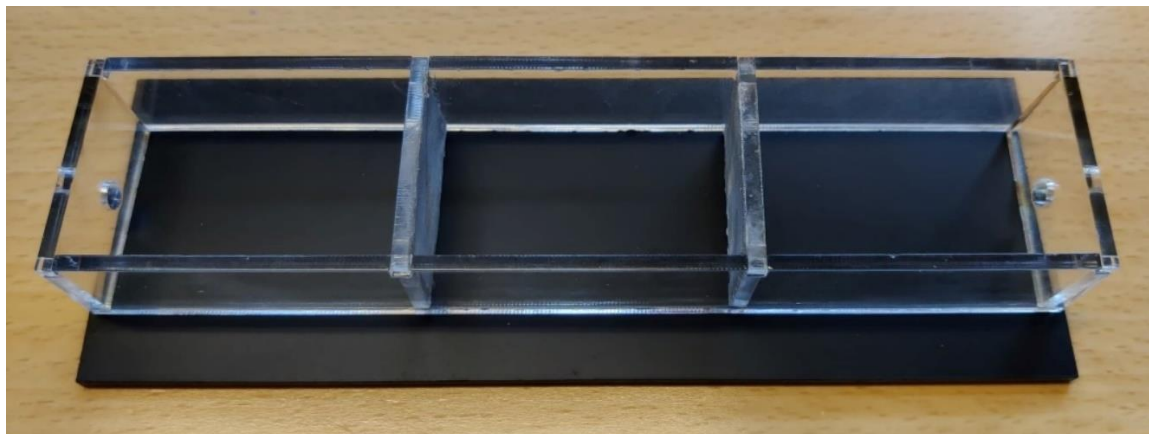


Figur 42: Andre kammerkonsept.

Under testing av dette nye designet ble fokuset på larvene i videoopptakene mye bedre. Vi kunne observere spesifikke dyrs oppførsel gjennom hele prosessen, på grunn av mindre volum. I forhåndsvisningen til kameraet kunne vi se et nytt problem. Vannstrømningen i observasjonsseksjonen ble forstyrret og det oppsto turbulent vannstrømning.

6.2.3 Testing av endelig kammerkonsept

Siste konseptet fikk en lenger inngang- og utgangsseksjon med formål å roe vannet før det nådde frem til observasjonsseksjonen. Etter testing fikk vi den laminære vannstrømningen vi var ute etter og dette kammeret forble konseptdesignet vi ville levere som siste utkast.



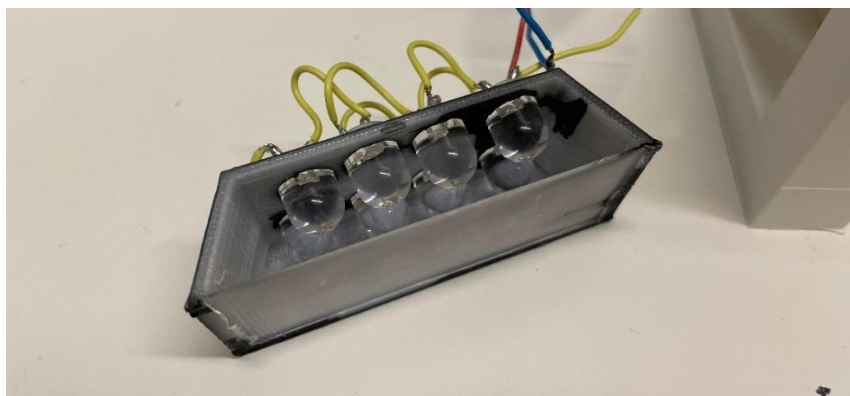
Figur 43: Endelig kammerkonsept

Til slutt hadde vi et vanntett kammer med tilnærmet laminær vannstrømning. Største resterende mangel til kammeret var en gunstig måte å rengjøre det på, ettersom limen ikke tålte sterke middel som 70% etanol. Meshen kan rengjøres med etanol om man er presis ved bruk.

6.3 Testing av IR-lys

Ekstern veileder informerte oss tidlig om at vi kommer til å trenge IR belysning, godt fordelt over observasjonsseksjonen. Grunnen for å bruke IR belysning var fordi larvene går i dvale når de ble eksponert for synlig lys.

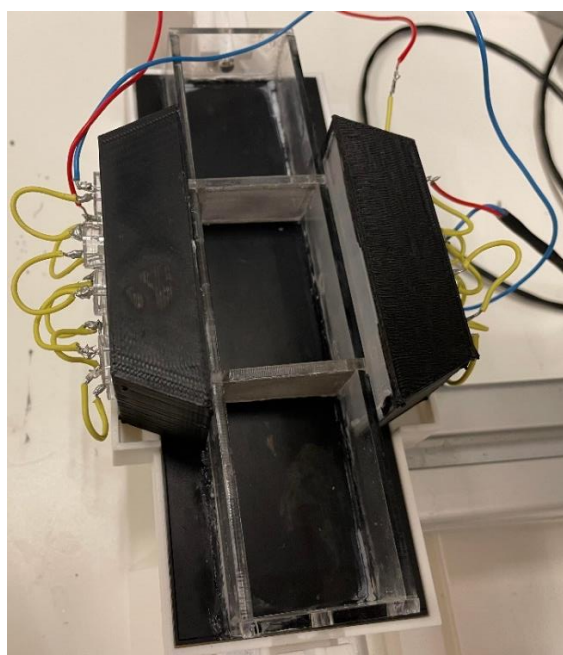
Vi brukte noen dioder med bølgelengde på 850 nanometer som tålte en spenning på 1.2V – 1.5V. Flere idéer kom frem som vi testet. Først koblet vi åtte dioder i serie og festet de i bunnen av kammerholderen, disse skulle lyse opp kammeret fra undersiden. Denne idéen ble raskt avsluttet, ettersom bunnen på kammeret skulle lakkas svart. Her oppdaget vi at diodene hadde konsentrert lys og fordelte lyset dårlig. Dette løste vi ved å bytte ut diodene med noen som var større med samme lysstyrke, som ga bedre lysfordeling.



Figur 44: IR-lyset av.



Figur 45: IR-lyset på.

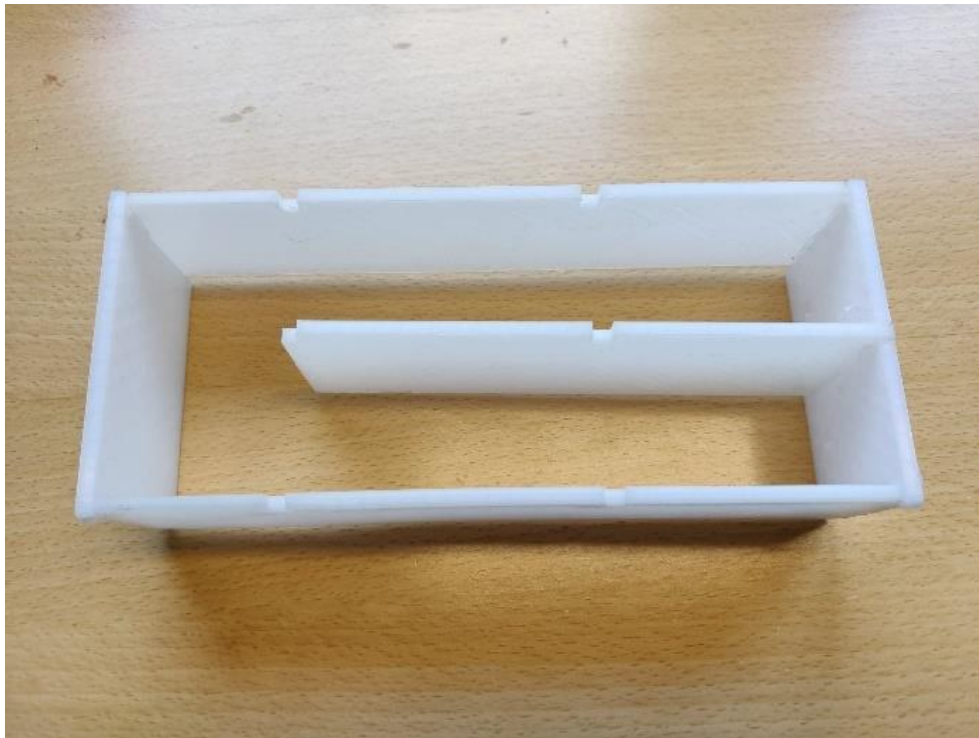


Figur 46: Hvordan observasjonsseksjonen blir belyst.

Neste idé var å la diodene skinne inn fra siden og satt fokus på observasjonsseksjonen, hvor vi tidligere lyste opp hele kammeret. Jørgen kom med forslaget å 3D-printe en beholder med hvit PLA fremfor diodene, siden i teorien ville det at plasten var hvit være med på at lyset ble bedre fordelt på en større overflate, uten at diodene kom for nære kammeret. Vi gikk for et lyskaster-lignende design. Tanken var at det skulle være to lyskastere, en på hver side av observasjonsseksjonen, med fire dioder per. Istedenfor å ha diodene fordelt over hele kammeret som tidligere, skjønte vi at det bare var nødvendig med lys innenfor kameraets synsfelt.

6.4 Testing og erfaring med 3D-printing

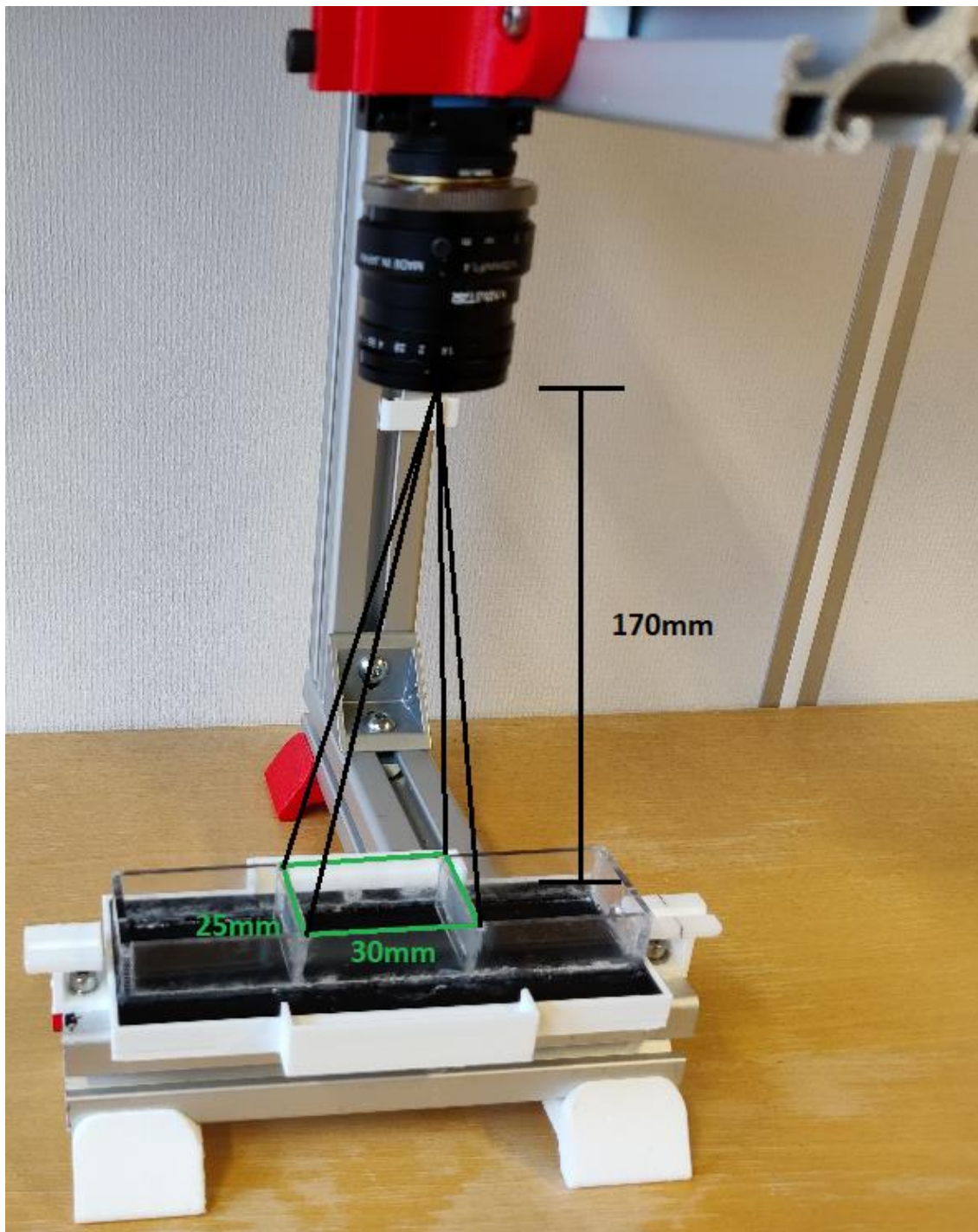
Siden ingen av oss hadde noe erfaring med 3D-printing var vi nødt til å prøve oss frem. Det ble dermed bestemt at vi skulle lage en grov skisse av hvordan kammeret skulle se ut, for deretter å se hvordan det var å 3D-printe. Xavier fra læringslaben ved HVL var til stor hjelp her. Til modellering foreslo han bruk av program som TinkerCAD eller Fusion 360. For at printeren skulle forstå hvordan modellen skulle bygges, måtte vi «slice» modellen. Program som «slicer» var avhengig av hvilket merke 3D-printeren hadde. Xavier viste oss hvordan vi kunne «slice» til en Prusa-printer, og hvilke parametere som var best å bruke. Vi fikk da printet en første prototype, som ga oss god erfaring for senere modeller som skulle 3D-printes. Denne testen var derfor veldig nyttig for å gjøre oss kjent med 3D-printing.



Figur 47: Første 3D-print.

6.5 Testing av kamera

Da vi begynte prosjektet, fikk vi tildelt et kamera av oppdragsgiver. Da vi testet kameraet første gang, så vi at vi fikk et synsfelt som var for stort. Bildet fra kameraet viste hele kammeret, mens vi skulle kun filme observasjonsseksjonen i kammeret. Med et så stort synsfelt, fikk vi ikke bra nok bilde av dyra. Oppdragsgiver fant da et nytt kamera vi kunne prøve. Dette kameraet ga oss et synsfelt på 25mm i lengden og 35mm i bredden, som illustrert under.



Figur 48: Illustrering av kameraets synsfelt.

6.6 Testing med dyr

For å kunne teste med dyr, måtte fertiliseringen bli gjort to døgn i forveien, da larvene trengte omtrent 36 timer fra en-celle-stadiet til nyklekt larve. På Sars fertiliserte biologene ofte dyr, slik at vi hadde mulighet til å teste med dyr flere ganger i uken.

Larvene var mulig å se med øynene under direkte lys, men det brukes mikroskop for å fastslå om de var aktive nok til å brukes for forskning. Når larvene var under kameraets synsfelt, ble de godt synlige og lett å observere. Om vi fikk mange aktive og synlige larver under kameraets synsfelt, startet vi testingen. En batch med larver kunne variere mye, selv om de ble produsert på samme måte i laben. Dersom fertiliseringen ikke gikk bra, ville larvene være mindre aktive og derfor ugunstige for vannstrømningstesten. Larvene beveger seg etter instinkt og søker alltid, ved å føle og lukte seg frem, til en overflate å feste seg til.

For å få best mulig bilde av larvene, var det viktig at det ikke kom andre partikler i observasjonsseksjonen til kammeret. Ved overføring av larvene fra petriskål til kammeret, var det en risiko for at det kom med ikke-fertiliserte egg og andre rester fra fertiliseringen. Det var derfor viktig å være nøyaktig med å kun plukke dyr fra petriskålene dyrene utviklet seg i.

6.6.1 Agarose

For å forhindre at larvene festet seg i overflatene hadde oppdragsgiver Marios ordinært en løsning. Dette var å bruke en geléløsning som heter agarose. Geléen skulle originalt helles opp i kammeret og smøre overflatene. Da vi hadde larvene oppi kammeret, var overflatene glatte og dyrene festet seg ikke til dem. Allerede før vi hadde testet med agarose var Marios skeptisk. Agarosen var kokende varm på 100 grader celsius, og så snart vi hadde geléløsningen i kammeret oppsto det sprekkelyster fra kammeret og tegn til ødeleggelse. Vi konkluderte med at limen og pleksiglasset ikke tålte denne temperaturen som var nødvendig for at agarosen skulle danne ett glatt lag på overflatene. Marios foreslo at vi kunne prøve å kjøle ned agarosen før tilførsel, men agarose under 45-50 grader celsius ville størkne og bli vanskelig å tilføre kammeret.



Figur 49: Petriskål med lag av agarose i bunnen. (vanskelig å se)

Vi konkluderte derfor med at agarosen ikke var gunstig til vårt kammerkonssept, siden det besto av pleksiglass og lim. Et kammer laget av et annet materiale hadde kanskje vært en optimal løsning her. Da ville vi hatt agarose tilgjengelig og dermed fått et bedre resultat med mer aktive dyr.

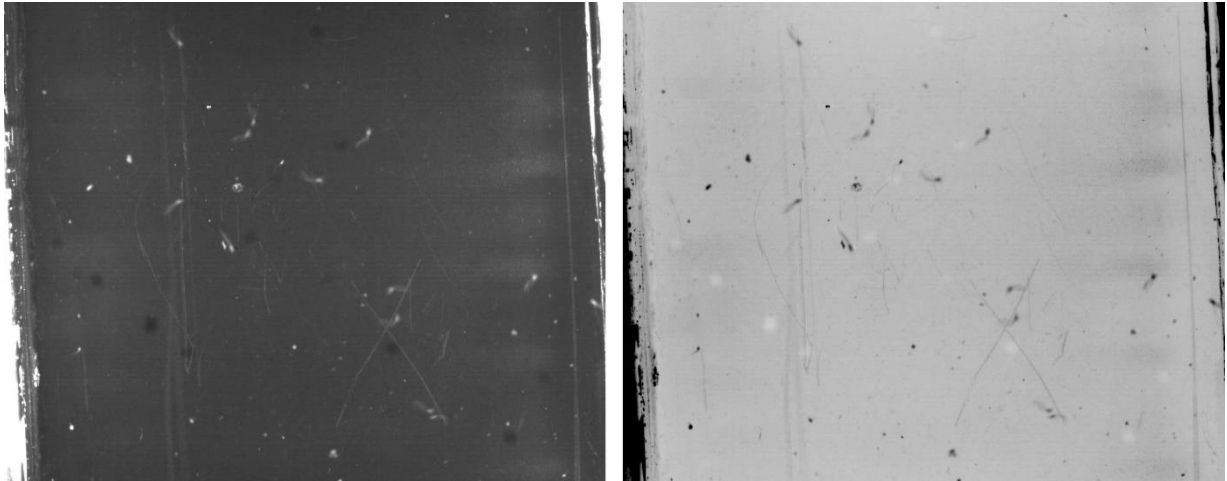
6.6.2 Testing med vannstrømning

Da vannstrømningen startet, ble det raskt en tydelig reaksjon fra dyrene. De ville fortsette med sin tilsynelatende formålsløse bevegelse, men mange av de viste et forsøk på å holde seg innen samme område. Dette betyr at dyret jobbet aktivt mot vannstrømmen. Det var også observert dyr som svømte både med og direkte mot vannstrømmen. Disse kunne tilsynelatende endre svømmeretning, og dermed bruke hele svømmearealet. Larvene var ikke i bevegelse lenge, fordi bare i løpet av noen minutter hadde mange av larvene festet seg. Dyrene sluttet da å søke, og de som ikke var ordentlig festet vil flyte inn i meshen. Siden meshene var så tynne at larvene ikke kom gjennom, betydde dette at de immobile og døde dyrene ville tette hullene på meshene. Smuss og immobile dyr gjorde da at den laminære vannstrømningen ble forstyrret i observasjonsseksjonen. Videoer av testingen ligger i 9Appendiks D

7 DeepLabCut

7.1 Invertering av video

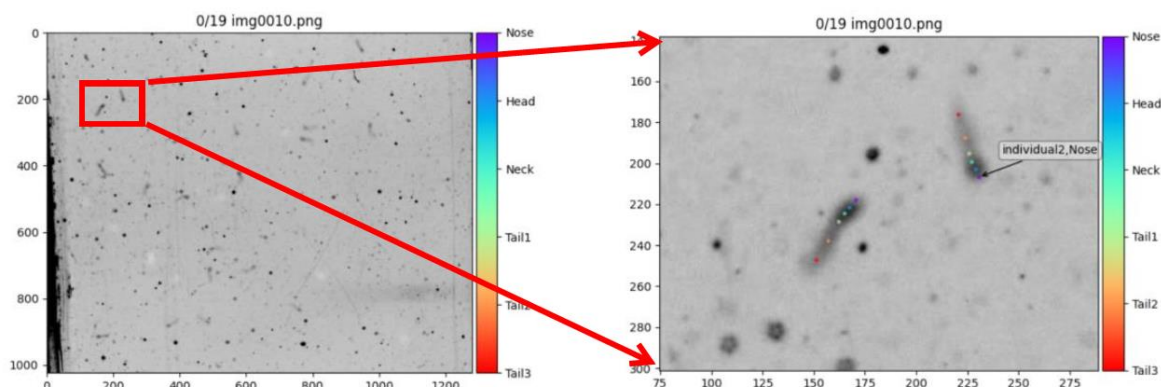
For å kunne bruke en video i DeepLabCut, måtte den inverteres. Videoene fra kameraet ble i svart-hvitt, der larvene er hvite med svarte omgivelser. Sars hadde en inverteringsprogramvare som vi brukte. Programvaren bruker «Enhance Local Contrast (CLAHE*)»[21] for å forsterke kontrastene til bildet. Dette resulterte i video med svarte larver i hvit omgivelse.



Figur 50: Før og etter invertering av video

7.2 Markering av dyr

For at DeepLabCut skulle prosessere dataen og lære seg larvenes oppførsel, måtte vi manuelt markere dyrene på visse bilder i videoopptaket. Etter vi lastet opp videoopptaket til DeepLabCut, ga programmet oss en rekke med tilfeldige bilder fra opptaket, omtrent hvert tjuende bilde i videoen. I disse bildene markerte vi opp til tre dyr om gangen, hvor hver av larvene skulle markeres med seks punkt. I DeepLabCut gjorde vi det klart at det var tre individ: «individual1», «individual2» og «individual3». For hvert individ var det seks undermarkeringer: «Nose», «Head», «Neck», «Tail1», «Tail2» og «Tail3». Se figur under.



Figur 51: Markering av dyr som skulle brukes til å trene opp nettverket.

Da alle bildene var markert, ble videoopptaket klargjort til videre prosessering.

7.3 Trening av modell

Etter at alle bildene var ferdigmarkert, ga vi de ferdigmarkerte videoene-filene videre til en ansatt ved Sars. Filene ble lastet opp på en kraftig PC, da DeepLabCut trenger et sterkt grafikkort med minst 8GB minne[22]. Hadde vi brukt våre egne PC-er til treningen, ville prosessen tatt over en uke.

DeepLabCut startet da arbeidet med å lære seg gjenkjenning av larven. Programmet får inputs fra markeringsdatasettet og beregner millionvis av parametere basert på disse inndataene. Deretter får vi en output som er ekspert på gjenkjennelse og sporing av dyret. Vi kan derfor si at vi har «trent» en modell. Opplæringen av modellen tok cirka en dag, selv med kraftig PC. Når DeepLabCut har trent ferdig modellen, gir vi den en video. Modellen vil da registrere og markere alle larvene den gjenkjenner. Gir vi flere videoer til modellen, kan den forbedre gjenkjennelsen enda bedre, som å skille mellom en larve og et støvkorn som ligger i vannet.

7.4 Resultat

Vi matet vår opptrente modell videoer fra rheotaxissystemet. Modellen klarte å gjenkjenne de fleste larvene fra videoene, men det var fortsatt rom for forbedring. Ekstern veileder var fornøyd med resultatet, og ville bruke modellen i videre forskning. Video med resultat ligger i Appendiks 9D.1 Når Sars skal ta i bruk prosjektet vårt senere, kan de bruke vår trente modell, uten å måtte markere dyra manuelt og trene opp et nytt nettverk.

8 Diskusjon

8.1 Fremdriftsplanen

Mye av fremdriften gikk slik som planlagt. I gantt-skjemaet skilte vi mellom viderekommende- og grunnleggende design, men det viste seg å være mindre differanse på disse enn vi hadde sett for oss, da de blandet seg litt inn i hverandre. I tillegg tok design og oppkobling lenger tid enn forventet på grunn av hyppig testing og mange forslag til forbedringer. Fremdriftsplanen ble da forskjøvet, som resulterte i mindre tid til rapportskriving.

Covid-19 har rammet fremdriften, ettersom hvert gruppemedlem har hatt Covid-19 på forskjellige tidspunkt. Influensa har også lammet progresjon da en på gruppen var syk i to uker.

8.2 Forbedringer

Når vi nærmer oss sluttfasen, er det noen feil og mangler vi ikke har hatt tid eller tilstrekkelig utstyr og kunnskap til å realisere før leveringsfristen. Mangler og forbedringer vi kunne utført med mer tid inkluderer disse:

1. Den laminære vannstrømningen var god, men varte ikke lenge, siden etter kort tid med testing ble meshene tett, og det oppsto turbulent vannstrømning. Dette kunne potensielt bli løst ved innkjøp av ny mesh med annen størrelse, men leveringstiden ble for lang.
2. Vi hadde ingen gunstig måte å rengjøre kammeret på, da meshene måtte behandles forsiktig med etanol. Dette skyldes limen som ble brukt ikke tåler sterke midler, som etanol.
3. Selv om vi har fjernet mye av vibrasjonene på kammeret ved hjelp av slangeføreren, kan det fortsatt oppstå noe vibrasjon i observasjonsseksjonen. Vi vurderte å bestille en gelé som kunne redusere vibrasjon, men grunnet lite tid og usikkerhet om løsningen hadde fungert ble idéen skrapet.
4. Ytre lyskilder påvirket dyret, derfor måtte observasjonsseksjonen være skjermet for lys. Dette kunne blitt løst med et overheng av tøy som henger over anlegget.
5. Selv om elektronikkinnkapslingen får plass til alle komponentene, og ser ryddig ut fra utsiden, er innsiden rotete og vanskelig å navigere seg i, siden kabler kan løsne eller bli brutt. Komponentene ligger veldig tett, og lokket har komponenter tilkoblet ledninger som kan bli løse om en åpner boksen. Vi skulle hatt en større og bedre planlagt innkapsling, der komponentene hadde egne seksjoner og mer plass til at ledningene kunne ligge skikkelig uten risiko å bli dratt ut.

6. Kravspesifikasjonen spesifiserer at det skal være mulighet for lagring av parameter for hvert eksperiment. Vi la inn en bestilling for SD-kort og SD-kortleser til Arduino, men leveringa kom ikke i tide. Dette kravet ble da strøket, men er en mulighet for forbedring av systemet.
7. Mulighet for å endre pumperetningen. Dette var en funksjon som var foreslått tidlig i prosjektet, men som vi vurderte var unødvendig. Vi så i ettertid at det kunne gitt eksperimenta mer variasjon, i tillegg til å fjerne støv som har tettet seg i meshen bak observasjonsseksjonen.

9 Konklusjon

Vi designet og bygget et kammer som skulle simulere tilnærmet laminær vannstrømning, med formål å få best mulig kvalitet på videoopptak. Det gikk mye tid på å designe et optimalt kammer, både i størrelse og med ønsket funksjonalitet. Det var krevende å få perfekt laminær strømning, minimalisere vibrasjon i kammeret og få optimal IR-belysning. Tross disse utfordringene, fikk vi gode videoopptak av dyra med ønsket påvirkning fra vannstrømningen. Opptaka ble brukt til å trene en «Deep-Learning» modell som oppdragsgiver var fornøyd med.

De fleste krava i kravspesifikasjonen ble oppnådd, med unntak av «logging av parametere» da leveransen av nødvendige komponenter ble forsinket. Det var også andre problemstillinger utenom kravspesifikasjonene vi ikke ble ferdige med, se 8.2. Alt i alt er vi i gruppen fornøyd med resultatet og ekstern veileder ga tilbakemelding om at de var veldig fornøyde med systemet, og de ville ta det i bruk i forskningen sin.

Referanser

- [1] 'Former Groups of Sars Centre', *University of Bergen*. <https://www.uib.no/en/sarssenteret/114912/former-groups-sars-centre> (accessed May 26, 2022).
- [2] 'Sars Centre History', *University of Bergen*. <https://www.uib.no/en/sarssenteret/114929/sars-centre-history> (accessed Jan. 19, 2022).
- [3] BrownUniversityENG, 'Fish Flume', *Instructables*. <https://www.instructables.com/Fish-Flume/> (accessed Jan. 18, 2022).
- [4] 'Dremel 3000'. <https://www.dremel.com/no/no/p/dremel-3000-3000-15-v485>
- [5] 'Original Prusa i3 MK3S+ 3D printer | Original Prusa 3D printers directly from Josef Prusa'. <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-i3-mk3s-3d-printer-3/> (accessed May 08, 2022).
- [6] 'Ultimaker S5: Reliability at scale', <https://ultimaker.com>. <https://ultimaker.com/3d-printers/ultimaker-s5> (accessed May 08, 2022).
- [7] 'Tinkercad | Create 3D digital designs with online CAD', *Tinkercad*. <https://www.tinkercad.com/> (accessed Feb. 04, 2022).
- [8] 'Fusion 360 | Free Software for Students and Educators | Autodesk'. <https://www.autodesk.com/campaigns/education/fusion-360> (accessed May 26, 2022).
- [9] 'Arduino Uno', *Wikipedia*. May 08, 2022. Accessed: May 26, 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino_Uno&oldid=1086736316
- [10] 'L298N Stepper Motor Driver Board Red', *Kuongshun Electronic Shop*. <https://kuongshun.com/products/l298n-stepper-motor-driver-board-red> (accessed May 26, 2022).
- [11] 'Trykkstrømbryter fra-(til) - Trykkstrømbrytere | Kjell.com'. <https://www.kjell.com/no/produkter/elektro-og-verktoy/elektronikk/electromechanics/strombryter-for-elektronikk/trykkstrombrytere/trykkstrombryter-fra-til-rod-belysning-p36064> (accessed May 26, 2022).
- [12] '5PCS Potentiometer Resistor 3 Pin B10K Ohm Linear Taper Rotary Potentiometer – kjøp til lave priser i nettbutikken Joom', *Joom*. <https://www.joom.com/nb/products/5d6cead18b45130101df23f7> (accessed May 26, 2022).
- [13] 'Waterproof Digital temperature sensor DS18B20 plus extras - Digital Impuls Oslo AS'. <https://www.digitalimpuls.no/adafruit/141496/waterproof-digital-temperature-sensor-ds18b20-plus-extras> (accessed Feb. 04, 2022).
- [14] 'DS18B20 digital temperature sensor – NTAS STORE'. <https://ntas-store.cm/produit/ds18b20-digital-temperature-sensor/?lang=en> (accessed May 26, 2022).
- [15] 'Amazon.com: Gikfun 12V DC Dosing Pump Peristaltic Dosing Head with Connector For Arduino Aquarium Lab Analytic Diy AE1207 : Pet Supplies'. https://www.amazon.com/dp/B01IUVHB8E/ref=ped_c_PrimeClub_acquisition-desktop-prime-btf-recommendations_s-1_10?th=1 (accessed May 26, 2022).
- [16] '15.7US \$ | 5Pcs/Set 1602 LCD Module Display 5V Serial IIC/I2C/TWI For Arduino UNO R3 MEGA2560 Nano Freeshipping| Demo Board Accessories | - AliExpress', *aliexpress.com*. [//www.aliexpress.com/item/2251832610136704.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=AAae2f6&aff_platform=aaf&aff_trace_key=c804e025588b40ae87260306d74a989c-1653561901827-05361-AAae2f6&af=officeproducts0075&cv=32796451456&cn=06102017&dp=Demo Board & Accessories](https://www.aliexpress.com/item/2251832610136704.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=AAae2f6&aff_platform=aaf&aff_trace_key=c804e025588b40ae87260306d74a989c-1653561901827-05361-AAae2f6&af=officeproducts0075&cv=32796451456&cn=06102017&dp=Demo Board & Accessories) (accessed May 26, 2022).
- [17] '20x 10mm Triple Chip 200mW Infrared IR LED Night Vision', *eBay*. <https://www.ebay.co.uk/itm/231174071412> (accessed May 26, 2022).
- [18] 'DMK 33UP1300 - USB 3.0 monochrome industrial camera'. <https://www.theimagingsource.com/products/industrial-cameras/usb-3.0-monochrome/dmk33up1300/> (accessed May 09, 2022).

- [19] 'Navitar NMV-35M1 1" 35mm F1.4 Manual Iris C-Mount Lens, 2 Megapixel Rated', *RMA Electronics, Inc.* <https://www.rmaelectronics.com/navitar-nmv-35m1/> (accessed May 26, 2022).
- [20] 'Fritzing'. <http://fritzing.org/> (accessed May 26, 2022).
- [21] 'Enhance Local Contrast (CLAHE)', *ImageJ Wiki*. <https://imagej.github.io/plugins/clahe> (accessed May 11, 2022).
- [22] 'How To Install DeepLabCut — DeepLabCut'. <https://deeplabcut.github.io/DeepLabCut/docs/installation.html> (accessed May 24, 2022).

Appendiks A Forkortelser og ordforklaringer

Arduino	Billig og populær mikrokontroller
Arduino IDE	Software for å programmere mikrokontrolleren Arduino
Arduino UNO	En populær modell av Arduino
Arduino Nano	En mindre modell av Arduino
Ciona Intestinalis	Et grønnsekkdyr, vårt forskningsdyr
CLAHE	Enhance Local Contrast
DallasTemperature	Arduino-bibliotek for utrekning av temperatur
ELE102	Fag fra 2. semester, «Programmering og mikrokontrollere»
Fish Flume	Prosjekt fra Instructables som vårt prosjekt er basert på
FPS	Frames per second
Fritzing	Åpen kildekode program for design av elektronisk maskinvare
HVL	Høgskulen på Vestlandet
IEEE	«Institute of Electrical and Electronics Engineers».
Instructables	Nettsted som inneholder brukeropprettede og opplastede gjør-det-selv-prosjekter
IR	Infrarødt
Laminær vannstrømning	Ved laminær vannstrømning vil partiklene bevege seg tilnærmet langs en rettlinjert bane. Det er ingen turbulens i vannstrømningen.
LCD	Liquid Crystal Display
LiquidCrystal_I2C	Arduino-bibliotek for LCD
Mesh (Meshfilter)	Et tynt filter laget av rustfritt stål. Bare 120µm mellomrom. Brukes som filter
Observasjonsseksjon	Område hvor forskningsdyret skal befinne seg i kammeret
OneWire	Arduino-bibliotek for temperatursensor
PBM	Pulsbreddemodulasjon
PLA	Plastfilament av polymelkesyre til 3D-printer. Det vanligste materialet å bruke for 3D-printing.
Rheotaxis	Biologiske organismers respons på vannstrømning
Turbulent vannstrømning	Turbulens er uregelmessige og tilsynelatende tilfeldige variasjoner i væskers og gassers bevegelse.

Appendiks C Utgifter

Beskrivelse	Antall	Pris (nok)	Totalt
Mesh filter i nylon, 50 micron	1	438	438
Mesh filter i rustfritt stål, 130 micron	1	289	289
Multipurpose cutting tool til Dremel verktøy	1	223	223
Kutteskive til Dremel verktøy	1	145	145
Clear Plastic Sheet, 500mm x 300mm x 3mm	3	272	816
Matt svart spraylakk	1	100	100
Gorilla Glue	1	72	72
Loctite super glue	3	85	255
Konditorfarge	1	40	40
PLA filament hvit	1	283	283
Makerspace medlemskap 2 måneder	1	500	500

3161

Tabell 3: Kostnader

Appendiks D Kildekode, Brukerdokumentasjon og Videoer

Kildekode til Arduino, brukerdokumentasjon og annet relevant vedlegg for prosjektet:

<https://github.com/EmilNostbakken/Chamber-for-Rheotaxis-Study/>

D.1 Videoer

Video fra testing med dyr:

<https://www.youtube.com/watch?v=3kqfPvU5IXw>

DeepLabCut videoer:

<https://www.youtube.com/watch?v=hyoOEz6zRVQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=t5ImJpFWrEw>

Appendiks E Endelig produkt

