

Andreas Rindarøy Bergtun, Øyvind Bang, Jøran Reinås
og Peder Hofstad Lycke

Smart Fôringsautomat

Smart Feeding System



Bacheloroppgave i Automatiseringsteknikk
Veileder: Pål Holthe Mathisen
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for teknisk kybernetikk



Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oppgavens tittel: Smart Fôringsautomat Project title: Smart Feeding System | Gitt dato: 20/05-2021 |
| | Innlevingsdato: 20/05-2021 |
| | Gradering <input checked="" type="checkbox"/> åpent <input type="checkbox"/> lukket <input type="checkbox"/> åpent fra _____ |
| | Antall sider/bilag 106/10 |
| Gruppedeltakere: (Kandidatnummer) Andreas Rindarøy Bergtun (10015) Øyvind Bang (10013) Jøran Reinås (10016) Peder Hofstad Lycke (10034) | Veileder internt (navn/email/tlf.): Pål Holthe Mathisen (410 83 804) |
| Studieretning: Automatiseringsteknikk | Prosjektnummer: E2107 |
| Oppdragsgiver: ITK - NTNU | Kontaktperson hos oppdragsgiver (navn/tlf.): Damiano Varagnolo (481 28 922) |

Sammendrag: Dette bachelorprosjektet består i å utvikle et design og en prototype av en fôringsautomat, som skal bidra til neglesjering av problemer i oppdrettsnæringen. Fôrerens skal inneholde et kontrollsystem for styring og regulering av utskytningens vinkelen. En testrigg med akvarium og strømming skal bidra til testing av fôrets bane over og under vann.

Abstract: This bachelor thesis consists of developing a design and a prototype of a feeding system, which aims towards reducing problems in the fish farming industry. The feeding system contains a control system for controlling the launch angle. A test rig with aquarium and flow will contribute to testing the path for the projectile above and below water.

Stikkord: Akvakultur, Fiskeoppdrett, Fôring, Design, Bygging, Reguleringsteknikk, Modellering, Simulering

Keywords: Aquaculture, Fish breeding, Feeding, Design, Building, Control theory, Modeling, Simulation

Forord

Denne rapporten konkluderer vår B.Sc oppgave for Elektroingeniør, retning Automatisering, hos Norges Tekniske-Naturvitenskapelige Universitet. Dette prosjektet ble utført fra Januar 2021 til Mai 2021.

Det rettes en stor takk til veileder Pål Holthe Mathisen, oppdragsgiver Damiano Varagnolo, Håvard Bjørgan Bjørkøy, Hans Alvar Engmark, Adil Rasheed, Jan Leistad, Mekanisk- og Elektrisk verksted ved institutt for teknisk kybernetikk for gode råd, veiledning og hjelp gjennom B.Sc prosjektet.

Andreas Rindarøy Bergtun, Øyvind Bang
Jøran Reinås, Peder Hofstad Lycke

Trondheim, Norge
Mai 2021

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven handler om utvikling av et design og en prototype for en smart fôringsautomat som skal kunne neglesjere problemer i dagens oppdrettsnæring. Dagens fôringsautomater har utfordringer med påvirkning av forstyrrelser som havstrøm, vind, bølger og fiskens aktivitet. Forstyrrelsene påfører overføring og tap til omgivelser. Tap av fôr til omgivelser vil gi negative konsekvenser på miljøet rundt oppdrettsanlegg samt økonomisk tap. I denne oppgaven bygges prototypen med fokus på testing for fôrplassing i forhold til strømming i vann, men gir også muligheten for fremtidig implementering av de andre forstyrrelsene.

For å kunne løse problemene er det utviklet et design som skal kunne motvirke og forbedre tapene. Prototypen bygges på bakgrunn av designet, hvor endring av utskytningsvinkelen er variabelen som endrer det utskutte fôrets landingsposisjon. Det er satt opp en tank med strømmingssystem, som skal påvirke fôret under vann. Modellen til systemet er separert som beregninger over vann og dynamikk under vann, der beregningene over vann baseres på bevegelseslikninger, mens dynamikken under vann baseres på Newtons andre lov, og videre beregninger baseres på Arkimedes og Rayleigh. Bruk av modellen gir en best mulig utskytningsvinkel for fôrkasteren, slik at ønsket posisjon under vann skal bli oppnådd.

Fôrerens styresystem styrer og regulerer endringen av utskytningsvinkelen og rotasjonen av fôrkasteren. For å realisere styringen i kontrollsysteet benyttes det to mikrokontrollere og en kontrollapplikasjon. Reguleringen av utskytningsvinkelen blir gjort med en digital PD-regulator, som styres ved hjelp av en mikrokontroller og begrunnes av simulasjoner og beregninger. Rotasjonen til fôrkasteren styres og kontrolleres av en motor og en mikrokontroller. Motoren er noe underdimensjonert i forhold til fôrkasterens vekt, men beviser fremdeles metode og hensikt.

Resultat fra utførte tester som bane over vann, bane under vann og sammensatt system gir grunnlaget for systemets virkemåte. Utskytninger over vann har problemer med konsekvent utskytning, der fôrets bane og lengde varierer mye. Testen beviser fremdeles at ved økning av utskytningsvinkel vil fôrets tilbakelagte distanse øke. Banen under vann har en god tilnærming til teorien ved lave strømminger, men vil variere mye ved større strømminger. Dette kan begrunnes med en økning i uforutsette strømminger som ikke lar seg modellere. På bakgrunn av problemer med konsekvente utskytninger vil ikke det sammensatte systemet kunne fungere optimalt. Fôret treffer ikke forventet posisjon ved vannoverflaten og vil derfor ikke treffe ønsket posisjon under vann.

Abstract

This bachelor thesis mainly revolves around development, design and construction of a prototype for a smart feeding system, which aims towards reducing problems in today's fish farming industry. The feeding systems in place today does a poor job of handling outside disturbances, such as ocean currents, wind, waves and the activity level of the fish. These disturbances ultimately cause overfeeding, aswell as lost feed to the surrounding environment. These losses contributes negatively to the surrounding environment, while also being a source of economical loss. In this project, the main idea behind the constructed prototype is feed placement in relation to the effects of water currents on an object such as fish feed. This project also establishes a framework for future development in tackling the other previously mentioned disturbances.

In order to solve the problems with the current systems, a design has been developed that attempts to diminish, and ultimately nullify the feed losses. The construction of the prototype is carried out with the developed design as it's foundation, where the launch angle is the controlled variable that determines the length of the projectile's trajectory. A water tank with a system for generating water currents is set up to simulate the effects of turbulent water on an object. The theoretical model for the system is divided into two parts. One part for the trajectory above water, and another part for the dynamic position under water while currents are present. Calculations above water is based on the equations of motion, while calculations under water is based on Newton's second law, with further calculations making use of Archimedes' principle aswell as Rayleigh's drag equation for turbulent flow. The theoretical model attempts to solve for an ideal launch angle with a given desired position at the bottom of the tank.

The control system of the feeding unit controls the launch angle, while also having some rudimentary code for driving and controlling rotation around the θ -axis. Two microcontrollers are being utilized, aswell as a control application in order to realize the control system. The control of the launch angle is done with a digital PD. The tuning of this controller is done with simulations and control theory. The θ -rotation is driven by a stepper motor and controlled with a stepper motor driver and a microcontroller. This stepper motor is insufficiently dimensioned for the weight of the feeding head. However, it still serves as a proof of concept.

A number of tests has been carried out during this project, these tests serves as a foundation for the feeding system's function. The launching and trajectory of the object above water has some issues with consistency, where the traveled length of the object has unsatisfactory large variations. The tests still shows that the average length traveled by the object in relation to the launch angle somewhat agrees with the predictions made from the mathematical model. The position under water is predicted relatively well at small currents. However, it diverges from the predictions at larger currents aswell as having huge variations at these larger levels of current. These results can mainly be attributed to randomness in the water, which is almost impossible to accurately model. Due to the aforementioned consistency issues, the system does not behave as intended. The object mostly does not travel the predicted length in relation to the launch angle, and a desired position at the bottom of the tank will not be consistently achieved.

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| 1 | Innledning | 1 |
| 1.1 | Bakgrunn | 1 |
| 1.2 | Problemstilling | 1 |
| 1.3 | Avgrensninger | 2 |
| 1.4 | Bruksområdet | 2 |
| 1.5 | Rapportens Innhold | 3 |
| 1.6 | Begrep- og Stikkordsliste | 4 |
| 1.7 | Figur- og Tabelliste | 7 |
| 2 | Teoretisk Grunnlag | 10 |
| 2.1 | Fôrer | 10 |
| 2.2 | Matematisk Modelling | 11 |
| 2.2.1 | Over vann | 11 |
| 2.2.2 | Under vann | 11 |
| 2.3 | Enhet kommunikasjon | 12 |
| 2.3.1 | Serial kommunikasjon | 12 |
| 2.3.2 | Wire kommunikasjon | 12 |
| 2.4 | Regulering | 13 |
| 2.4.1 | Tilbakekobling | 13 |
| 2.4.2 | Foroverkobling | 13 |
| 2.4.3 | PID-regulator | 13 |
| 2.4.4 | SIMULINK PID-regulator | 14 |
| 2.4.5 | Digital PID-regulator | 15 |
| 2.4.6 | Sprangresponsmetoden | 17 |
| 2.4.7 | Ziegler og Nichol's | 18 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------|-----------|
| 3 | Materialer og Metoder | 19 |
| 3.1 | Prosjektorganisering | 19 |
| 3.1.1 | Prosjektstyring | 19 |
| 3.2 | Kilde- og Informasjonsinnhenting | 20 |
| 3.3 | Valg av metode | 21 |
| 3.4 | Materialer og Komponenter | 22 |
| 3.4.1 | PVC-rør | 22 |
| 3.4.2 | Akselerometer | 22 |
| 3.4.3 | Akselerometerholder | 24 |
| 3.4.4 | Lineær Aktuator | 24 |
| 3.4.5 | Steppermotor | 24 |
| 3.4.6 | Arduino | 25 |
| 3.4.7 | Styrekretser | 25 |
| 4 | Fører | 27 |
| 4.1 | Designfase | 27 |
| 4.1.1 | Valgt Design | 28 |
| 4.1.2 | Utfordringer og usikkerheter | 28 |
| 4.1.3 | Alternative endringer på designet | 29 |
| 4.2 | Bygging | 31 |
| 4.2.1 | Bord | 31 |
| 4.2.2 | Kulelager og Flens | 31 |
| 4.2.3 | Steppermotor og Tannhjulsystem | 32 |
| 4.2.4 | PVC oppsett | 32 |
| 4.2.5 | Aktuatormontering | 33 |
| 4.2.6 | Akselerometer | 34 |
| 4.2.7 | Elektrisk oppsett | 34 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------|-----------|
| 4.2.8 | Fôr og trykk tilførsel | 34 |
| 4.2.9 | Strømningsgenerator | 36 |
| 4.2.10 | Utfordringer | 37 |
| 5 | Kontrollsystem | 38 |
| 5.1 | Matematisk Modellering | 38 |
| 5.1.1 | Over vann | 38 |
| 5.1.2 | Under vann | 43 |
| 5.1.3 | Total modell | 48 |
| 5.2 | Simulering og Regulering | 52 |
| 5.2.1 | Overføringsfunksjon | 52 |
| 5.2.2 | Sprangresponsmetoden | 54 |
| 5.2.3 | Foroverkobling | 55 |
| 5.2.4 | Simulering | 56 |
| 5.2.5 | Digitale-filtre | 59 |
| 5.2.6 | Implementering av reguleringsystem | 61 |
| 5.3 | Software | 63 |
| 5.3.1 | Oppsett | 63 |
| 5.3.2 | Kommunikasjon | 63 |
| 5.3.3 | Funksjonalitet | 65 |
| 6 | Testing | 67 |
| 6.1 | Utskytningsobjektets egenskap | 67 |
| 6.1.1 | Testoppsett | 67 |
| 6.1.2 | Resultat | 68 |
| 6.2 | Startfart og trykk | 69 |
| 6.2.1 | Testoppsett | 69 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------|-----------|
| 6.2.2 | Resultat | 70 |
| 6.2.3 | Drøfting og konklusjon | 73 |
| 6.3 | Testing av bane over vann | 74 |
| 6.3.1 | Testoppsett | 74 |
| 6.3.2 | Resultat | 75 |
| 6.3.3 | Drøfting og konklusjon | 76 |
| 6.4 | Testing av bane under vann | 77 |
| 6.4.1 | Testoppsett | 77 |
| 6.4.2 | Resultat | 79 |
| 6.4.3 | Drøfting og konklusjon | 81 |
| 6.5 | Test sammensattsystem | 82 |
| 6.5.1 | Testoppsett | 82 |
| 6.5.2 | Resultat | 83 |
| 6.5.3 | Drøfting og konklusjon | 83 |
| 7 | Diskusjon | 84 |
| 7.1 | Optimalisering | 84 |
| 7.1.1 | Steppermotor og lagerflens | 84 |
| 7.1.2 | Dimensjonering | 85 |
| 7.1.3 | Undervannsthruster | 85 |
| 7.1.4 | Design av fører | 85 |
| 7.1.5 | Sensor- og målesystem | 86 |
| 7.2 | Videre utvikling | 86 |
| 7.2.1 | Strømninger og strømmingssensor | 86 |
| 7.2.2 | Luftmotstand og vindmåler | 86 |
| 7.2.3 | Tredimensjonal matematisk modell | 87 |
| 7.2.4 | Tilbakekobling | 87 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|-----------|
| 7.2.5 | Fiskens aktivitet | 87 |
| 7.2.6 | Materialvalg | 88 |
| 7.2.7 | Valg av lineæraktuator | 88 |
| 8 | Konklusjon | 89 |
| 9 | Litteratur og Kilder | 91 |
| 10 | Vedlegg | 93 |

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I dag er Norge den største produsenten av oppdrettslaks i verden, med en årlig omsetning på omtrent 68 milliarder kroner [17]. Næringen er i stadig utvikling. Lakseoppdrett skjer hovedsakelig i store merder i saltvann. Merdene har i gjennomsnitt en diameter på 50 meter, en omkrets på omlag 150-200 meter og kan romme et totalinnhold på over en million kubikkmeter [4]. Dagens fôrere som blir brukt i oppdrettsnæringen har flere svakheter, som vil være et problem for videreutvikling av oppdrettsnæringen. Fôrerene skyter pellets ut i en sirkel spredt over hele merden, hyppigheten til fôring blir satt av en operatør på anlegget. Ved hjelp av et kamera i bunn av merden kan operatøren stille inn hyppigheten til fôringen basert på aktiviteten til fisken, altså mengden fôr som ikke blir spist. Denne typen fôring har klare svakheter. Fôringen er helt avhengig av at en operatør følger med og stiller inn riktig mengde fôr. På denne måten skjer det store tap av fôr til omgivelsene rundt merden. Tapene skjer ikke bare på grunn av aktivitet til fisken. Det er også flere årsaker til tap som havstrøm og vind. Ved å spre fôret over hele merden vil strøm og vind kunne flytte deler av fôret ut av merden før fisken får spist det. Tapene av fôr vil ha negative konsekvenser økonomisk for bedriften, samtidig som det vil påvirke økosystemet rundt oppdrettsanlegget på en negativ måte. [12]

1.2 Problemstilling

Problemstillingen for prosjektet kan deles opp i to deler. Den første delen går ut på å utrede et design som skal kunne arbeide med å løse og neglisjere de nevnte problemene med havstrøm til dagens fôrere. I den andre delen skal det bygges en prototype av designet som er utarbeidet. Designet og byggingen vil være et konsept som danner basis for videre utvikling til senere prosjekter og oppgaver. I del to skal det også settes opp et kontrollsystem, strømningsgenerator og sensorsystem. Det kan på denne måten utføres tester på en testrigg som skal være med på å kunne si hvor godt fôrerer klarer å plassere fôret på ønsket posisjon og kompensere for strøm.

Problemstillinger:

- Utrede et design for smart fôringsautomat.
- Bygge en prototype ut fra designet. Testing av fôrere med strømningsgenerator, kontroll - og sensorsystem.

1.3 Avgrensninger

Det er ønskelig å få muligheten til å drive med testing og regulering av fôrer. Det er derfor valgt å gjøre noen avgrensninger til design og bygging av fôrer. På grunn av plassmangel til uttesting av fôrer, er det valgt å se bort fra regulering av rotasjon rundt egen akse (θ). Med tanke på at rotasjon rundt egen akse er sløyfet i denne oppgaven, så blir det også naturlig å se på det helhetlige systemet som et to-dimensjonalt problem. Det er likevel ønskelig å legge til muligheten for styring og regulering til senere prosjekter og tester. Det vil derfor være bygget en fôrer med denne muligheten.

Det er valgt å fokusere på en modell for strømmingens effekt på fôret under vann. Det sees derfor bort fra forstyrrelser over vann, som vil si regulering og modellering av vind. Dette baseres på grunn av tidsbruken byggingen av målesystemene og modelleringen krever. Valget av fokus under vann er fordi det er tenkt at det vil ha størst påvirkning på posisjonen til fôret etter utskytning fra fôrkasteren. Det blir derfor lagt vekt på strømningsgenerator og dens målesystem. Dersom tiden blir en utfordring vil nettopp dette være oppgave som sløyfes først. Siden prosjektets viktigste oppgave er å bygge en fôrer som oppfyller kravene til problemstillingen. Fôrerer vil fremdeles kunne bli brukt til videre prosjekter og tester.

1.4 Bruksområdet

Det naturlige bruksområdet til prosjektet er oppdrettsnæringen. Oppgaven består i å forbedre fôring av fisk i dagens oppdrettsnæring, og vil derfor være det mest sentrale bruksområdet. Det ønskes at fôrerer er produsert slik at det er mulig å kunne bruke den på allerede eksisterende systemer som er i bruk på dagens oppdrettsanlegg. Selve konseptet kan brukes til andre fôringsanlegg som krever kasting av fôr til ønskede posisjoner, og som har omgivelser som skaper relevante forstyrrelser på fôrplasseringen.

1.5 Rapportens Innhold

Denne rapporten er inndelt som følgende:

Del 1 - Innledning: Innledningen gir bakgrunn og problemstilling for oppgaven. Der forklares avgrensninger som er satt og problemstilling og avgrensningene begrunnes. Det gis en forklaring på bruksområder for smart føreren. Til slutt kommer en oversikt over begreper og notasjoner, samt en figur- og bildeliste.

Del 2 - Teoretisk Grunnlag: Her kommer et innhold som oppsummerer det teoretiske grunnlaget som er nødvendig for gjennomføring, valg og vurderinger senere i rapporten.

Del 3 - Materialer og Metoder: Først beskrives prosjektorganiseringen som er blitt brukt. Hvordan informasjonsinnhenting og bruk av kilder blir håndtert. Samt valg av metode som blir brukt for løsning av problemstillingen. Før det til slutt gis en beskrivelse av materialer og komponenter som blir brukt til å utvikle prototypen.

Del 4 - Fører: Førerens design, alternative design, utfordringer og begrunnelse blir beskrevet. Det blir gjennomgått fremgangsmåte og det tekniske bak byggeprosessen av føreren.

Del 5 - Kontrollsystem: Det blir gått gjennom hva som inngår i kontrollsystemet til føreren. Matematisk modellering for systemet, styresystem, regulering og software.

Del 6 - Testing: Det blir gjennomgått testoppsettet for prosjektets prototype. Resultat av testene blir presentert, drøftet både positivt og negativt, før det trekkes en konklusjon av den utførte testen.

Del 7 - Diskusjon: Det gis en tilbakemelding på videre optimalisering av prosjektets prototype. Før videre utvikling av smart fører blir diskutert. Hva skal og må utvikles for å kunne løse utfordringene i dagens oppdrettsnæring.

Del 8 - Konklusjon: Her trekkes det en konklusjon over prosjektets helhet, og hvor vidt problemstillingen er løst.

1.6 Begrep- og Stikkordsliste

Begreper

Master: Arduino mega, Skriver.

Slave: Arudino nano, Mottaker.

Arduino IDE: Integrated Development Environment.

Thruster: DC-motor med propell på aksel for å generere strømning under vann.

Software: Dataprogram/Programvare.

B.Sc.: Bachelor of Science.

PVC: Polyvinylklorid, plastrør.

ZN: Ziegler og Nichol's.

PID-, PD-, PI-, P-regulator: Regulatorstype.

I2C: Seriell kommunikasjonsprotokoll.

FPS: Frames per second, bildefrekvens.

USB: Universal Serial Bus.

SCL: Serial Clock.

SDA: Serial Data.

Notasjoner

Generelt

θ : Rotasjonsvinkelen rundt førerens egen akse

α : Utskytningsvinkelen til fører, xy-planet

Utregninger akselometer

G : Gravitasjonskraft

G_x : Dekomponert G i horisontal retning

Beregning akkumulatortank

t_t : Transient varighet på luftutblåsning

V_l : Volum akkumulert luft

p_1 : maksimum tank trykk

p_2 : minimum tank trykk

p_a : atmosfæretrykk

C : luftforbruk

Baneutregninger over og under vann

g : Jordas gravitasjonsakselerasjon

S : Total forflytning

S_y : Total forflytning i y-retning

S_x : Total forflytning i x-retning

v_0 : Startfart

v_{0y} : Startfart i y-retning

v_{0x} : Startfart i x-retning

t : Tid

a : Akselerasjon

P_{0y} : Avstand fra bunnen av tank til vannoverflaten

P_{0x} : Forflytning fra origo (knekken på utskyteren) til vannoverflaten i x-retning

h : Avstand fra origo (gulv) til knekken på utskyteren i y-retning

L : Avstand fra knekken på utskyteren til utløpet, (lengden på løpet)

F_B : Oppdriften som virker på objektet

F_G : Tyngdekraften som virker på objektet

F_{Dy} : Motstandskraften som virker på objektet i y-retning

F_{Dx} : Motstandskraften som virker på objektet i x-retning

$\sum F_y$: Summen av krefter som virker på objektet i y-retning

$\sum F_x$: Summen av krefter som virker på objektet i x-retning

a_y : Akselerasjonen til objektet i y-retning

a_x : Akselerasjonen til objektet i x-retning

v_y : Hastigheten til objektet i y-retning

v_x : Hastigheten til objektet i x-retning

v_v : Hastigheten til væsken, (strømmen)

v_r : Hastighet til objektet relativ til væskehastighet

p_y : Posisjonen til objektet i y-retning

p_x : Posisjonen til objektet i x-retning

ρ_v : Massetettheten til vann

V : Volumet av objektet

m_v : Massen av vann som objektet omplasserer

m : Massen til objektet

C_D : Dragkoeffisient

A : Tverrsnittsarealet til objektet

t_{bunn} : Tiden objektet bruker på å nå bunnen av tanken fra vannoverflaten

$P_{\emptyset x}$: Ønsket posisjon ved bunnen av tanken i x-retning

PID utregninger

α_ϕ : Ønsket Utskytningsvinkel

val : Rå-verdi lest fra akselerometer

u : Pådraget i en prosess

e : Avviket i en reguleringsløyfe

y : Prosessverdi

s : Variabel i laplacedomenet

T_{ei} : Ekvivalent integrasjonstid for sprangresponsmetoden

τ_e : Ekvivalent tidsforsinkelse for sprangresponsmetoden

τ_{reg} : Forsinkelse i regulator, på grunn av digitalregulator

K_k : Kritisk forsterkning

T_k : Kritisk periodetid

T_s : Samplingstid

K_p : Forsterkning i regulator

T_i : Integraltiden i regulator

T_d : Derivattiden i regulator

n : Filterkonstant i regulator

P : Proporsjonalforsterkning i SIMULINK PID-blokk

I : Integraltiden i SIMULINK PID-blokk

D : Derivattiden i SIMULINK PID-blokk

N : Filterkonstant i SIMULINK PID-blokk

T : Samplingstid

u_P : Proporsjonalpådrag

u_I : Integralpådrag

u_D : Derivatpådrag

1.7 Figur- og Tabelliste

Figurliste

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Rotorspreder i merd. [2] | 10 |
| 2.2 | Reguleringsløyfe med negativ tilbakekobling. | 13 |
| 2.3 | Tabell til Ziegler og Nichol's, ZN-tabell. ([15] s. 46) | 18 |
| 3.1 | Accel Click | 22 |
| 3.2 | Sammenheng mellom utskytningsvinkel og akselerometer | 23 |
| 3.3 | CAD-modell Akselerometerholder | 24 |
| 3.4 | DC-motor driver. [8] | 25 |
| 3.5 | Spenningsregulator. [5] | 26 |
| 3.6 | Steppermotor drive. [7] | 26 |
| 4.1 | Design for fører. | 28 |
| 4.2 | Design Alternativ 1: Omplussing av aktuator. | 29 |
| 4.3 | Design Alternativ 2: Bøyelig 90-graders bend. | 30 |
| 4.4 | Steppermotor | 32 |
| 4.5 | Tannhjuloppsett | 32 |
| 4.6 | Ferdigstilt fører. | 33 |
| 4.7 | Tegning av ventilsystem, trykktilførsel og akkumulatortank. | 35 |
| 4.8 | Oppheng strømningsgenerator | 36 |
| 5.1 | Over vann metode 1. | 38 |
| 5.2 | Sammenligning mellom $\frac{1}{\cos(\alpha)}$ og $\sqrt{1 + \tan^2(\alpha)}$. | 40 |
| 5.3 | Over vann metode 2. | 41 |
| 5.4 | y-retning under vann. | 43 |
| 5.5 | x-retning under vann. | 46 |
| 5.6 | Total modell | 48 |

| | | |
|------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 5.7 | C_D som funksjon av Reynoldstallet [13] | 49 |
| 5.8 | Plott av ertens bane fra simulering | 50 |
| 5.9 | Plott av beregnet posisjon | 51 |
| 5.10 | Plott av simulert posisjon | 51 |
| 5.11 | Aktuatorens respons. | 52 |
| 5.12 | Aktuatorens respons, med parametere. | 53 |
| 5.13 | Sprangresponsmetoden. | 54 |
| 5.14 | Reguleringsløyfe. | 56 |
| 5.15 | P-regulator vs PD-regulator. | 57 |
| 5.16 | Prosessens simulerte forløp. | 58 |
| 5.17 | Pådrag med ratefilter | 59 |
| 5.18 | Pådrag uten ratefilter | 59 |
| 5.19 | Vinkelrespons uten filter | 60 |
| 5.20 | Vinkelrespons med filter | 60 |
| 5.21 | Filtrert steg-respons | 61 |
| 5.22 | Responen til reguleringsløyfe | 62 |
| 5.23 | Kommunikasjons struktur PC-master | 64 |
| 5.24 | Kommunikasjons struktur master-slave | 64 |
| 5.25 | Konsoll | 66 |
| 6.1 | Testoppsett for bestemmelse av trykk og utregning av startfart. | 69 |
| 6.2 | Tegning av testoppsett for bane over vann. | 74 |
| 6.3 | Illustrasjon av test for tid i y-retning, under vann. | 77 |
| 6.4 | Illustrasjon av test for distanse i x-retning under vann. | 78 |
| 6.5 | Grafisk løsning for strømning. | 80 |
| 6.6 | Testoppsett for sammensatt system. | 82 |
| 6.7 | Systemjustert vinkel | 83 |

Tabelliste

| | | |
|------|--------------------------------------------------------|----|
| 6.1 | Målinger for ertens masse. | 68 |
| 6.2 | Utskytninger med 0,5 bar. | 70 |
| 6.3 | Utskytninger med 0,6 bar. | 70 |
| 6.4 | Utskytninger med 0,7 bar. | 71 |
| 6.5 | Utskytninger med 0,8 bar. | 71 |
| 6.6 | Startfart for utskytning med fem ert. | 72 |
| 6.7 | Startfart for utskytning med én ert. | 72 |
| 6.8 | Test for utskytningens vinkel over vann. | 75 |
| 6.9 | Startfart fra gjennomsnittlig lengde. | 76 |
| 6.10 | Test for tid i y-retning under vann. | 79 |
| 10.1 | Komponent- og Materialliste | 93 |
| 10.2 | Målinger for ertens diameter. | 95 |
| 10.3 | Målinger for strømmingens påvirkning på erten. | 97 |

2 Teoretisk Grunnlag

2.1 Fôrer

Mange av dagens fôrerer er bygd opp relativt simpelt. En av de vanligste fôrerene som blir brukt idag er rotorspredere. Det er gunstig å vite hvordan disse er bygd opp og teknologien bak, når det senere i rapporten skal designes en ny fôrer som ønsker å løse enkelte problem med dagens fôrerer.

I figur 2.1 ser man hvordan rotorspredere er bygd opp. Ved hjelp av et kulelager vil endestykke rotere rundt i det fôret blir slengt ut ved hjelp av trykkluft. Stålrøret vil spinne i kulelageret på grunn av trykkluften som påtrykkes, dermed vil fôret bli slengt ut og spredt i alle retninger. Trykkluften kobles til med en slange og hentes fra en sentral som er plassert på en oppdrettsflåte. Trykkluften og fôret blir så transportert gjennom flytende slanger som kan strekke seg opp til flere hundre meter, til rotorsprederen. Det brukes spesielle system for å mate inn fôr i den trykksatte slangen. Det virker ofte relativt likt som en roterende dør. Fôret blir fylt i et kammer, kammeret lukkes og deretter åpnet slik at fôr kommer inn i røret uten store trykktap. Ved hjelp av en timer kan hyppigheten på fôringen endres, dette blir gjort manuelt av en operatør. Fôrerer har flytelement som skal holde den flytende i merden, samtidig som tau eller lenker er bundet fast til flytelementene slik at fôrerer opprettholder tilnærmet samme posisjon i merden til enhver tid. [2] [1]



Figure 2.1: Rotorspreder i merd. [2]

2.2 Matematisk Modelling

For å holde et oversiktlig system for beregningene, så ble hovedbolkene delt inn i to likninger som er tilnærmet uavhengige av hverandre. Disse to likningene er en beskrivelse av hvordan objektet (prosjektilet) beveger seg fra utløpet av føreren til vannoverflaten, altså over vann, deretter fra vannoverflaten til bunnen av tanken, da under vann. Det er gjort en forenkling i skille mellom disse to. Denne forenklingen er at en går ut i fra at objektet stopper momentant i både x- og y-retning i det objektet treffer vannoverflaten. Dette innebærer at startfarten for beregninger under vann alltid vil være null, da både i x- og y-retning. Grunnet at vekten på erten er såpass lav, så er denne forenklingen en god tilnærming til virkeligheten. Dette ble også testet og verifisert.

2.2.1 Over vann

For beregningene over vann er det kun én bevegelseslikning som gir grunnlaget for videre beregninger.

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (2.1)$$

Hvor s er total distanse som objektet tilbakelegger, v_0 er startfart, a er akselerasjon og t er tid. Denne likningen blir delt inn i et likningssett bestående av to likninger, en for x-retning og en for y-retning. Luftmotstand er ikke tatt hensyn til, dermed er akselerasjonen konstant. Denne forenklingen forsvares ved at objektet ikke vil oppnå nevneverdige store hastigheter, samt at tiden objektet tilbringer i luften er lav. For y-retningen vil akselerasjonen bli jordas gravitasjonsakselerasjon, for x-retning vil akselerasjonen bli null. Siden akselerasjonen er konstant, så vil det ikke bli noen form for dynamikk ved disse beregningene, dermed er det kun algebra som kreves for å løse de.

2.2.2 Under vann

Ved denne delen av modelleringen er det benyttet Newtons andre lov som grunnlag. Det vil si at kreftene som virker på objektet er essensielle for å sette opp likningene. Også under vann er modellen delt inn i to likninger, en for x-retning og en for y-retning. Likningen for y-retningen blir kun brukt til å beregne tiden objektet bruker på å synke til bunnen av tanken, for deretter å bli satt inn i likningen for x-retningen. Til slutt kan forflytningen til objektet som er forårsaket av strømmingen i tanken beregnes. Det er tre likninger som blir benyttet for kreftene som virker på objektet.

1. Oppdrift (Arkimedes)

$$F_B = \rho_v g V = m_v g \quad (2.2)$$

2. Turbulent drag (Rayleigh)

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_v C_D A v_r^2 \quad (2.3)$$

3. Gravitasjonskraften (Newton)

$$F_G = mg \quad (2.4)$$

Likning 2.3 forutsetter turbulent strømming, det vil si at Reynoldstallet er større enn 20000. Dette vil stort sett være tilfellet så lenge det er strøm i tanken. Ved null strømming i tanken så vil ikke tiden som er beregnet for y-retningen stemme, siden det vil være laminære forhold i tanken. Dette er ikke kritisk, siden forflytningen til objektet i x-retning vil være null, uavhengig av hvor lang tid objektet bruker på å synke.

2.3 Enhet kommunikasjon

2.3.1 Serial kommunikasjon

Serial kommunikasjon benyttes for kommunikasjon mellom master-arduino og datamaskin. Det er en innebygd datapakke i arduino som blir brukt til kommunikasjon med datamaskin eller andre enheter, i tillegg kan det brukes til avlesing i serial monitor og plotting i serial plotter av data. Man kan også som operatør gi inn parametere og beskjeder i serial monitor [11]. Alle arduino brett kommer med minst en serial port. Porten kan kobles til via USB eller designerte pins. Data sendes som bytes over serial kommunikasjon.

2.3.2 Wire kommunikasjon

Wire er et bibliotek for Arduino som gir tillatelse til å sette opp en seriekommunikasjon mellom to eller flere enheter ved hjelp av I2C-busskommunikasjon. I2C er ofte benyttet innenfor elektronikk, fordi det er lett å implementere i design som krever kommunikasjon mellom en master og én eller flere slaveenheter. Det som gjør det enkelt å implementere er at den kun krever to ledere mellom enhetene. De to lederene er henholdsvis kalt SCL (Serial Clock) og SDA (Serial Data). SCL-linjen er et klokkesignal som synkroniserer datatransaksjonen mellom enhetene på I2C-bussen og blir generert i masterenheten. SDA-linjen er den som står for selve overføringen av data. Alle slavenodene adresseres med en unik adresse, mens masteren forblir uadressert. På den måten kan det enkelt velges hvilken slavenode masteren skal kommunisere med. [6]

2.4 Regulering

Reguleringsteknikk benyttes til å automatisere prosesser. Det vil bli oppnådd økt produktivitet og bedre nøyaktighet. [10].

2.4.1 Tilbakekobling

Tilbakekobling benyttes for å oppnå et lukket reguleringsystem. Tilbakekobling virker ved å benytte avvik (e) mellom referanse (r) og målt prosessverdi (y) for å beregne pådraget (u) til prosessen. Dette tillater bruk av regulator og flere tilleggsteknikker som forbedrer responsen til prosessen. I figur 2.2 er det et eksempel på en tilbakekobling.

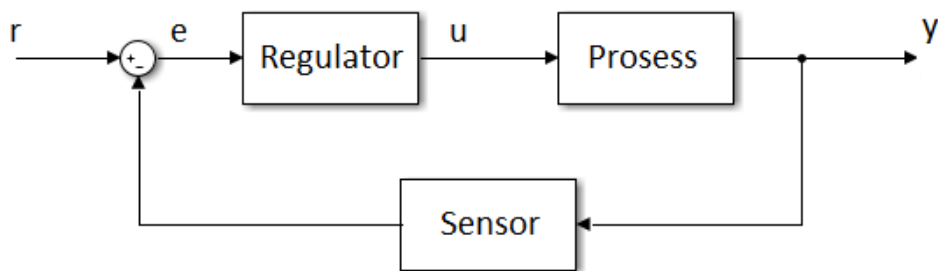


Figure 2.2: Reguleringsløyfe med negativ tilbakekobling.

2.4.2 Foroverkobling

En foroverkobling brukes til å motvirke forstyrrelser i en prosess. Forstyrrelsen måles og blir benyttet til å regulere pådraget for å motvirke effekten forstyrrelsen har på prosessen. Ideen bak en foroverkobling er å gjøre det mulig å motvirke forstyrrelsens innvirkning på prosessen. En fordel med foroverkobling er at den kan legges til uten at den vil påvirke tilbakekoblingen. Dermed kan foroverkoblings-elementet og reguleringsløyfen dimensjoneres uavhengig av hverandre. ([15] s. 241)

2.4.3 PID-regulator

PID-regulator er en mye brukt regulator, fordi den er enkel, robust og virker tilfredsstillende for de fleste behov. Regulatoren består av en proporsjonaldel (P), en integraldel (I) og en derivatdel (D). Proporsjonaldelen sin oppgave er å endre pådraget proporsjonalt med avviket. Integraldelen integrerer opp avviket, som benyttes for å fjerne stasjonære avvik. Derivatdelen sin oppgave er å motvirke endringer i prosessverdien, slik at det dynamiske avviket (oversving) blir redusert. Sammen slått blir disse tre delene til en PID-regulator. Den kan settes opp som en P-, PI- og PD-regulator og fungere med de forskjellige delene sammensatt. ([15], s. 30-44)

2.4.4 SIMULINK PID-regulator

Ved bruk av SIMULINK sin innebygde PID-regulator på parallell-form vil det være nødvendig å benytte en omgjøring, siden SIMULINK sin PID-regulator ikke har samme form som en standard PID-regulator på sumform, som blir benyttet ved sprangresponsmetoden. I likningene under vises fremgangsmåten og likningene som er nødvendig for å kunne gå fra standard PID-regulator til SIMULINK PID-regulator.

En PID-regulator i SIMULINK er satt opp som i likning 2.5, mens en PID-regulator på sumform er satt opp som i likning 2.6.

$$P + I\frac{1}{s} + D\frac{N}{1 + \frac{N}{s}} \quad (2.5)$$

$$K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d}{n} s} \right) \quad (2.6)$$

Skriver ut PID-regulatoren på sumform og gjør den om litt i henholdsvis likning 2.7 og 2.8.

$$K_p + \frac{K_p}{T_i s} + \frac{K_p T_d s}{1 + \frac{T_d}{n} s} \quad (2.7)$$

$$K_p + \frac{K_p}{T_i s} + \frac{K_p n}{1 + \frac{n}{T_d s}} = K_p + \frac{K_p}{T_i s} + K_p T_d \frac{\frac{n}{T_d}}{1 + \frac{n}{T_d s}} \quad (2.8)$$

Dersom likning 2.5 og 2.8 settes lik hverandre og leddene sammenliknes, kommer omgjøringene for de gitte parametrene for SIMULINK-blokken ut i likning 2.10-2.13.

$$P + I\frac{1}{s} + D\frac{N}{1 + \frac{N}{s}} = K_p + \frac{K_p}{T_i s} + K_p T_d \frac{\frac{n}{T_d}}{1 + \frac{n}{T_d s}} \quad (2.9)$$

$$P = K_p \quad (2.10)$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} \quad (2.11)$$

$$D = K_p T_d \quad (2.12)$$

$$N = \frac{n}{T_d} \quad (2.13)$$

2.4.5 Digital PID-regulator

Implementering av PID-regulator for et system er som oftest løst med digitale regulatorer. Digitale PID-regulatorer baseres ofte på en kontinuerlig regulator som diskretiseres. En diskretisert overføringsfunksjon løses til en differenslikning som kan implementeres i f.eks. en mikrokontroller eller PLS.

En vanlig digital regulator baseres på overføringsfunksjon til en PID-regulator gitt på sumform, vist i likning 2.14 ([15], 202). Det benyttes bakoverdifferanse, vist i likning 2.15 for å diskretisere overføringsfunksjonen [3].

$$h_{PD} = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d}{n} s} \right) \quad (2.14)$$

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T} \quad (2.15)$$

Ved å bruke en digital regulator på sumform kan leddene splittes opp og løses hver for seg. Derfor løses differenslikningene separat for proporsjonal-, integral- og derivatbidraget. Det proporsjonale pådraget er vist i likning 2.17. Utregning av integralpådraget er vist i likning 2.18-2.22 og derivatpådraget løses i likning 2.23-2.30.

$$h_P(z) = \frac{u_P(z)}{e(z)} = K_p \quad (2.16)$$

$$u_P[n] = K_p e[n] \quad (2.17)$$

$$h_I(z) = \frac{u_I(z)}{e(z)} = \frac{K_p}{T_i \frac{1 - z^{-1}}{T}} \quad (2.18)$$

$$\frac{u_I(z)}{e(z)} = \frac{K_p T}{T_i - T_i z^{-1}} \quad (2.19)$$

$$u_I(z)(T_i - T_i z^{-1}) = K_p T e(z) \quad (2.20)$$

$$u_I(z) = K_p \frac{T}{T_i} e(z) + u(z) z^{-1} \quad (2.21)$$

$$u_I[n] = K_p \frac{T}{T_i} e[n] + u[n - 1] \quad (2.22)$$

$$h_D(z) = \frac{u_D(z)}{e(z)} = \frac{K_p T_d \frac{1 - z^{-1}}{T}}{1 + \frac{T_d}{n} \frac{1 - z^{-1}}{T}} \quad (2.23)$$

$$\frac{u_D(z)}{e(z)} = \frac{K_p T_d (1 - z^{-1})}{T + \frac{T_d}{n} (1 - z^{-1})} \quad (2.24)$$

$$\frac{u_D(z)}{e(z)} = \frac{K_p T_d - K_p T_d z^{-1}}{T + \frac{T_d}{n} - \frac{T_d}{n} z^{-1}} \quad (2.25)$$

$$u_D(z) \left(T + \frac{T_d}{n} - \frac{T_d}{n} z^{-1} \right) = e(z) (K_p T_d - K_p T_d z^{-1}) \quad (2.26)$$

$$T u_D(z) + \frac{T_d}{n} u_D(z) - \frac{T_d}{n} u_D(z) z^{-1} = K_p T_d e(z) - K_p T_d e(z) z^{-1} \quad (2.27)$$

$$u_D(z) \left(T + \frac{T_d}{n} \right) = K_p T_d (e(z) - e(z) z^{-1}) + \frac{T_d}{n} u_D(z) z^{-1} \quad (2.28)$$

$$u_D(z) = \frac{K_p T_d n}{nT + T_d} (e(z) - e(z) z^{-1}) + \frac{T_d}{nT + T_d} u_D(z) z^{-1} \quad (2.29)$$

$$u_D[n] = \frac{K_p T_d n}{nT + T_d} (e[n] - e[n-1]) + \frac{T_d}{nT + T_d} u_D[n-1] \quad (2.30)$$

En metode for å minimere derivatspark er å bytte ut avviket (e), mot prosessverdien (y). Endringen i referansen vil dermed ikke føre til store endringer i derivatvirkningen.

$$u_D[n] = \frac{K_p T_d n}{nT + T_d} (y[n] - y[n-1]) + \frac{T_d}{nT + T_d} u_D[n-1] \quad (2.31)$$

I likning 2.32 står den totale differenslikningen for utregning av pådraget. PID-regulator er gitt på posisjonsform.

$$u[n] = u_P[n] + u_I[n] + u_D[n] = K_p e[n] + K_p \frac{T}{T_i} e[n] + u[n-1] + \frac{K_p T_d n}{nT + T_d} (y[n] - y[n-1]) + \frac{T_d}{nT + T_d} u_D[n-1] \quad (2.32)$$

2.4.6 Sprangresponsmetoden

Sprangresponsmetoden er et godt alternativ for Ziegler og Nichol's metode og manuell selvjustering, som krever store oscillasjoner over en lengre periode, noe som mange prosesser og system ikke tåler å bli utsatt for. Ideen med sprangresponsmetoden er å utsette reguleringsløyfa, uten regulator, for et sprang og så måle prosessresponsen. Ut fra sprangresponsen fra det påsatte spranget, tilnærmes prosessen til en integrator med tidsforsinkelse. Den beskrives av en ekvivalent integrasjonstid (T_{ei}) og tidsforsinkelse (τ_e). Disse størrelsene brukes til å regne ut kritisk forsterkning og kritisk periodetid. ([15] s.50)

$$K_k = \frac{2T_{ei}}{\tau_e} \quad (2.33)$$

$$T_k = 4\tau_e \quad (2.34)$$

Oppskriften for sprangresponsmetoden ([15], side. 50-53):

1. Trekk en tangent der prosess verdikurven er brattest.
2. Trekk en horisontalrett forlengelse av prosessverdien der spranget starter.
3. Skjæringspunktet mellom tangenten og den horisontalrette linjen markerer slutten på tidsforsinkelsen (τ_e).
4. Tidsforsinkelsen starter der spranget i pådraget kommer.
5. Finn den ekvivalente tidsforsinkelsen τ_e .
6. Finn størrelsen på det påførte spranget i pådraget.
7. Fin ut hvor lang tid tangenten til prosess verdikurven bruker på å endre seg like mye som spranget i pådraget. Dette blir den ekvivalente integrasjonstiden T_{ei} .

Med kritisk forsterkning (K_k) og kritisk periodetid (T_k), kan Ziegler og Nichol's tommelfingerregel brukes for innstilling av regulatoren.

2.4.7 Ziegler og Nichol's

Ziegler og Nichol's tommelfingerregel bygger på en tabell av konstanter. Ved hjelp av tabellen kan det regnes frem til parametrene: forsterkning (K_p), integraltid (T_i) og derivatid (T_d). Med kritisk forsterkning K_k og kritisk periodetid T_k kan tabellen brukes for å regne fram til parameterene (K_p , T_i , T_d) til den ønskede regulator typen. I figur 2.3 under er tabellen til Ziegler og Nichol's metode. ([15] s.44-47)

| Regulator type | K_p | T_i | T_d |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| P | $0,5 \cdot K_k$ | | |
| PD | $0,65 \cdot K_k$ | | $0,12 \cdot T_k$ |
| PI | $0,45 \cdot K_k$ | $0,85 \cdot T_k$ | |
| PID | $0,6 \cdot K_k$ | $0,5 \cdot T_k$ | $0,12 \cdot T_k$ |

Figure 2.3: Tabell til Ziegler og Nichol's, ZN-tabell. ([15] s. 46)

3 Materialer og Metoder

3.1 Prosjektorganisering

3.1.1 Prosjektstyring

I starten av prosjektet skulle det lages en forprosjektrapport. Der legges det opp til hvordan prosjektet er planlagt og prosjektstyringen under prosjektet. Den har blitt fulgt så godt det lar seg gjøre. Prosjektet har vært organisert med en gruppeleder, som tar seg av diverse byråkratiske oppgaver. Selv om prosjektet har blitt praktisert med en gruppeleder er det likevel valgt å praktisere en flat ledelsesstruktur, der det tas avgjørelser i fellesskap. Gjennom prosjektmøter har det blitt brukt en rotasjon på hvem som skal være møteleder og møtereferent. Dette gjøres for at alle skal få muligheten til å lære mest mulig om prosjektstyring og organisering.

Gjennom hele prosjektet har det blitt holdt prosjektmøter ca. hver 14 dag, avhengig av hva som var nødvendig til enhver tid. På grunn av pandemien covid-19, ble det valgt å gjennomføre prosjektmøter via microsoft teams, onsdager kl. 12-14. Under møtene ble det gjennomgått og diskutert statusrapport for hva gruppen hadde gjort, fremdriftsplan for prosjektet videre og spørsmål rettet til alt fra prosjektstyring og problemstilling.

For å holde tidsfrister og milepæler blir det brukt et selvlaget gant-diagram. Gant-diagrammet ble lagd under forprosjektet og var tilegnet for å holde kontroll på tidsbruk, innleveringer og milepæler. Det ble også utarbeidet arbeidspakker for å delegere hovedansvar i deloppgaver, samt estimere kostnader, resursser og tidsforbruk for hver deloppgave. For å holde kontroll på kostnader under prosjektet ble det utført en estimert kostnadplan. Kostnadplanen var grunnlaget for prosjektets budsjettet og var hele tiden sentralt for å holde kontroll og orden i innkjøpene.

Se vedlagt ZIP-fil for prosjektadministrasjonsperm, som inneholder dokumenter rettet til prosjektstyringen under prosjektet.

3.2 Kilde- og Informasjonsinnhenting

Prosjektet har krevd flere kunnskaper som gruppen ikke hadde tilegnet fra før. Ved prosjektstart delte oppdragsgiver et dokument rettet mot prosjektoppgaven. I dokumentet var det mye informasjon om hvordan oppdrettsnæringen fungerte, hvilke problemstillinger som var relatert til prosjektet, hva ønsket og hensikten med prosjektet var og hva som var tenkt for prosjektet. Dokumentet ble en grunnmur for prosjektet, og problemstillingen bygger på dokumentet. Prosjektmøtene underveis i prosjektet ble brukt til å formidle ønsker og tanker rundt prosjektet. Dette ble brukt til å spesifisere problemstillingen og oppdraget.

En viktig del av oppgaven var å designe føreren. Gruppen hadde ikke jobbet mye med mekaniske løsninger før. Derfor ble det brukt tid på å bygge kunnskap. Kunnskapinnhenting ble gjort mest fra nett, ved å se på lignende konstruksjoner og dagens føringsystem. For å komme frem til design ble gruppens kunnskap lagt frem og diskutert. Det ble utført et møte med oppdragsgivers team hvor design ble vist frem og det ble gitt tilbakemeldinger.

Fluidmekanikken som blir benyttet til beregninger under vann var stort sett nytt. Tidlig i prosjektet ble det gitt veiledning fra Håvard B. Bjørkøy og Hans A. Engmark for å definere kreftene i en enkel modell under vann. Etter egen tillæring for bedre forståelse ble hovedsaklig et papir av Ole W. Hansen [14] brukt som base for å sette opp deler av dynamikken under vann.

Mye av kunnskapen som måtte tilegnes for prosjektet var å velge komponenter, bruk av mye ny elektronikk, sette opp kontrollsystem fra bunnen av, både i form av programkode og komponenter. Også det å lage og printe en 3D-modell med et CAD program. De fleste av kildene som blir brukt er hentet fra internett, da gjerne papirer, nettsider, dokumentasjon, video og forum. Dagens forskning er ikke like avhengig av bøker og tidsskriver som tidligere, siden det er fri tilgang til internett stort sett hvor som helst. Når det leses og velges kilder er kildekritikk viktig. Hva trenges, til hvilket behov, i hvilken grad kan denne typen informasjon være feil og hvor pålitelig er kilden.

Det har vært kontakt med flere institutter ved NTNU og bedrifter for tips om og utlån av komponenter/utstyr som kunne være til prosjektets interesse og bruk. En strømningsensor var lenge en utfordring. Det ble parallelt kontaktet marinteknisk institutt og Scanmatic om strømningsensor, samtidig som det ble sett på andre strømningsensor på nett. NTNU hadde ikke mulighet til å låne ut sensor til prosjektet, og tilbudene fra Scanmatic var over budsjett. Det ble gjort meninger om hvilke typer strømningsensorer som kunne brukes, basert på virkemåte og hvor godt egnet metoden for måling passet oppsettet. Deretter ble informasjon fra datablad og produktbeskrivelse brukt til å utelukke strømningsensorer. Det ble også tatt kontakt med RS components, hvor det ble beskrevet tenkt bruk av strømningsensor og spurt om de hadde en passende sensor. Ettersom RS har rask levering til NTNU og har et større utvalg strømningsensorer.

3.3 Valg av metode

Gjennom prosjektet har det blitt gjort flere valg av teknikker og verktøy som ble brukt. I arbeidet med å regulere systemet ble Simulink brukt til å simulere reguleringsløyfen til systemet, teste og etterjustere reguleringsparametere funnet fra sprangresponsmetoden. Simulink er vellegnet for simulering, med mye funksjonalitet for å gjøre simuleringen virkelighetsnær. Det er ikke mange programmer som tilbyr akkurat samme funksjonalitet som Simulink.

Matlab ble brukt til å løse ikke-lineære differensiallikninger, simulere dynamikken under vann med ode45, plotting og verifisere løsninger fra matematisk modellering. Valget falt på bruk av Matlab grunnet erfaring og forkunnskap, samtidig som Matlab er designet til å være vellegnet for slike oppgaver. Det er mulig å oppnå mye av den samme funksjonalitet med Python, men dette krever mer oppsett og mer tid, ettersom det hadde vært helt nytt.

Fusion 360 var anbefalt av en ved MAKE ntnu. Det er velegnet til å konstruere tekniske deler, med spesifikke spesifikasjoner og er mer brukervennlig enn for eksempel Solidworks som eventuelt også kunne blitt brukt.

Valget av sensor for vinkelmåling på utskytning falt på et akselerometer. Akselerometeret kan måle vinkelen som vist i avsnitt 3.4.2. Det ble også sett på en mer konvensjonell måte ved å bruke et potensiometer som tilnærmer den variable motstanden til en vinkel. Ettersom det blir brukt en lineær aktuator hadde det vært en enkel og god løsning. Fordelen med en variabel motstand er at det er en simpel komponent og gir en mer nøyaktig måling. Valget falt likevell på akselerometeret grunnet funksjonalitet med at den måler vinkel på seg selv iforhold til horisontalplanet til jorda og ikke horisontalt med føreren som en variabel motstand ville gjort. Det kan være en fordel å benytte et akselerometer i en reell situasjon, hvor bølger vil ha kontinuerlig innvirkning på utskytningvinkelen.

Arduino har mange gode egenskaper som gjør det til et godt valg for utvikling av prototyper. Det er valgt å bruke Arduino fremfor f.eks. Raspberry Pi, grunnet enkel tilgang på kompatible komponenter og tilleggsbibliotek. I tillegg er arduino velegnet for presis kontroll av styresignal ved bruk av I/O pinner. For utvikling av eventuelle kamera systemer som er tenkt til senere prosjekter, vil trolig raspberry pi bli et bedre valg, grunnet enklere kompatibilitet med komponenter som kamera. Da kan master-arduinoen settes opp som en node og en raspberry pi kan ta over oppgavene gjort med konsollapplikasjonen. Det er mange gode og relativt enkle muligheter for å sette opp kommunikasjon mellom arduino og raspberry pi. For eksempel bruk av serial, som allerede blir brukt mellom arduino og PC. Fordelene med å fordele oppgavene på flere enheter, er at det blir mer oversiktlig og man kan benytte seg av fordelene de forskjellige mikrokontrollerne innehar.

Valget av brukergrensesnitt endte med Python konsollapplikasjon. Python konsollapplikasjon er tekstbasert. Siden det jobbes med utvikling av en prototype, som senere trolig ikke vil benytte samme brukergrensesnitt, er muligheten for enklere utvidelse av funksjonalitet sett på som viktigere enn brukervennlighet og estetikk. Derfor er Python valgt fremfor et grafisk brukergrensesnitt som man kan oppnå med for eksempel c applikasjon.

3.4 Materialer og Komponenter

For å bygge prototypen kreves det mye materialer og mange komponenter. For å sette opp en god oversikt over materialer og komponenter som er brukt i prosjektet er det satt opp en tabell som vedlegg, se tabell 10.1 i kapittel 10 om vedlegg. Tabellen gir en kort beskrivelse og viser antall/mengde av komponentene/materialet. Budsjettet for all materiale var 30 000 kr.

3.4.1 PVC-rør

Det var diskusjoner om det skulle velges stål - eller PVC-materialer. Valget falt på PVC, på grunn av tilgang på materialer på verksted og prisforskjellen. I tillegg er det enklere å jobbe med PVC enn stål. På de rette rørstykkene brukes det vanlig PVC. For å oppnå en 90 gradersbøy, brukes det et slakt 90 graders rørbend av PVC. For å oppnå ønsket endring i utskytningsvinkel brukes det et fleksibelt rør etter 90-graderen. Dimensjonen på rørene som blir brukt på føreren er 40 mm. 40 mm PVC var den minste rørdimensjonen hvor det var enkel tilgang til rørdeler.

3.4.2 Akselerometer

Akselerometeret måler akselerasjonen og gravitasjonen det blir utsatt for. Et akselerometer som ikke blir utsatt for akselerasjon i en bevegelse vil måle 1g vertikalt. Ved endring i orientering vil kreftene påført aksene endres. Vinkelen utregnet av forholdet mellom gravitasjonskraften og kraften som virker på y-aksen til akselerometeret vil være lik vinkelen akselerometeret er orientert i forhold til horisontalplanet, vist i figur 3.2. I likning 3.1 beregnes utskytningsvinkelen ved å bruke den målte kraften G_x . Enkel Pytagoras benyttes til å løse likningen med hensyn på vinkel.

$$\alpha = \arcsin \frac{G_x}{G} \quad (3.1)$$

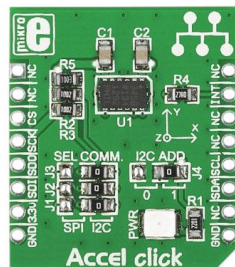


Figure 3.1: Accel Click

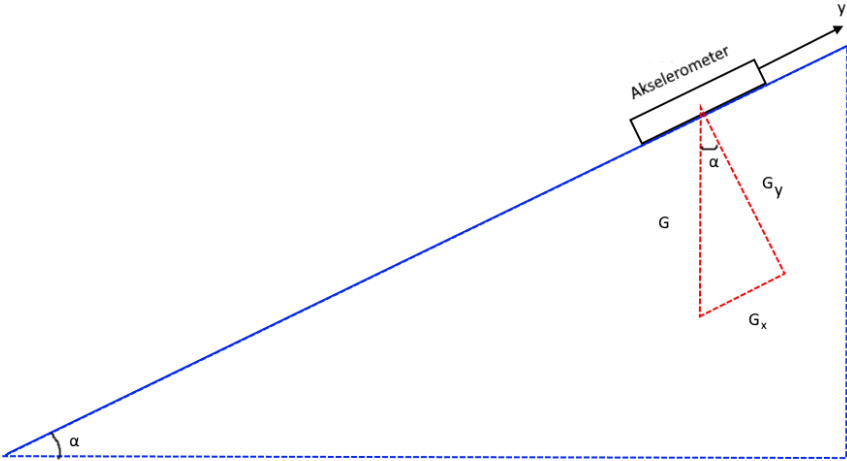


Figure 3.2: Sammenheng mellom utskytningsvinkel og akselerometer

3.4.3 Akselerometerholder

Akselerometeret er avhengig av å ligge parallelt med utkasterhodet, for å få brukbare målinger. Det ble besluttet at den beste og billigste måten å få til en god holder på var å 3D-printe. Tanken bak holderen er at akselerometeret sitter fastlåst, samtidig som at tilkoblingspinnene på undersiden er tilgjengelige. Selve holderen sitter oppå en halvsirkel som passer rundt utkasterhodet. Det hele festes til føreren ved hjelp av PVC-lim. Akselerometeret plasseres i holderen og holdes på plass av toppene foran og bak. 3D-modellen er laget i Fusion360.

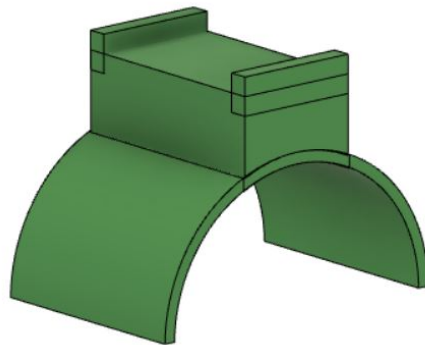


Figure 3.3: CAD-modell Akselerometerholder

3.4.4 Lineær Aktuator

Den lineære aktuatoren fungerer som et prismatisk ledd. Aktuatoren har en slaglengde på 100 mm og går på 24 V. Aktuatoren består av en DC-motor og en mekanisk del som endrer rotasjonsbevegelse til en prismatisk bevegelse. Aktuatoren kan derfor styres på samme måte som en vanlig DC-motor.

3.4.5 Steppermotor

Steppermotoren er en børsteløs DC-motor. Den benytter flere polpar i statoren som magnetiseres etter tur i "steps". Dette får rotoren til å rotere. Etersom stegene til steppermotoren er presise, er det ikke nødvendig å implementere en tilbakekobling.

3.4.6 Arduino

Arduino er en type mikrokontroller som ofte blir brukt i utvikling av prototyper til et produkt siden den er både allsidig og billig. Den har en åpen kildekode og mye brukerstøtte. En typisk Arduino er bygd opp rundt en 8-bits mikrokontroller. Dette er også tilfelle for de som blir brukt i dette prosjektet. Det har blitt tatt i bruk en Arduino mega og en Arduino nano i byggingen av føreren [19].

3.4.7 Styrekretser

DC-motor driver: Siden den lineære aktuatoren styres av en vanlig DC-motor, er den avhengig av å ha en komponent som tillater å regulere både amplituden og polariteten til inngangsspenningen. Det har derfor blitt valgt å ta i bruk en H-bro for å kunne styre dette. Driveren tåler opp til 40 V og 10 A som er tilstrekkelig til aktuatoren, som trekker maksimalt 24 V og 2,7 A.

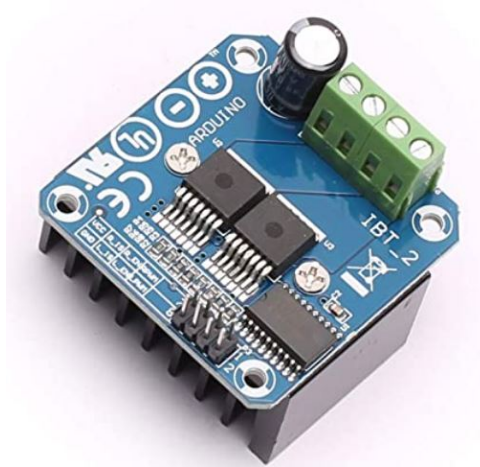


Figure 3.4: DC-motor driver. [8]

Spenningsregulator: Det er behov for en spenningsregulator som skal regulere hastigheten til DC-motoren som er testtriggens strømningsgenerator. Spenningsregulatoren består av et potensiometer som regulerer spenningen inn på DC-motoren, altså en manuell spenningsregulator. Spenningen over DC-motoren endrer turtallet, og dermed kan flere hastigheter på undervannsthrustrer enkelt testes. Spenningsregulatoren er dimensjonert til 6-90 V og tåler opp til 15 A strømtrekk.



Figure 3.5: Spenningsregulator. [5]

Steppermotor driver: Styring av steppermotorer er komplisert. Det krever at polpar blir magnetisert i riktig rekkefølge og til riktig tid. Derfor benyttes en steppermotor driver. Den forenkler prosessen med å magnetisere polpar i riktig tid og rekkefølge, til å kun påtrykke en boolsk verdi for retning og en klokkepuls som utfører "steps". Driven har max strøm på 3 A og max spenning på 36 V DC-spenning, der motoren drar maks 1,2 A og kjøres på 24 V.

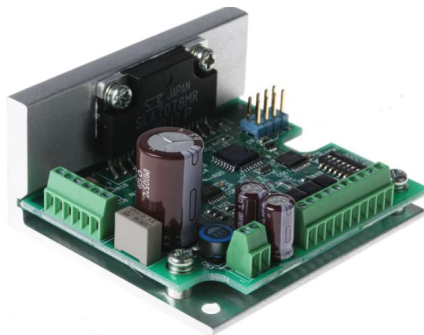


Figure 3.6: Steppermotor drive. [7]

4 Fôrer

4.1 Designfase

Det er hovedsaklig to funksjonaliteter som er viktig at ivaretas når fôrerens skal designes. Endre den totale lengden fôret tilbakelegger før det treffer vannoverflaten, og retningen på utskyting i horisontalplanet. Tilførselen med fôr og luft ønskes å beholde slik det er idag, beskrevet i avsnitt 2.1. Grunnet at det vil forenkle implementerbarhet på eksisterende anlegg og det er fortsatt gunstig at fôret oppbevares på én plass for flere merder.

Ettersom planen er å beholde systemet dagens fôrerer benytter for distribusjon og mating av fôr, vil det være tungvint å variere trykk under drift, på grunn av lengden mellom fôrer og fôrflåte. Derfor tenkes det at endring i utskytingsvinkel er en god løsning for å endre utskytningslengden til fôret med et konstant lufttrykk.

Det ble også diskutert muligheten for å lage en form for mekanisk utkasting av fôret. Det utgikk ettersom ingen gode løsninger ble tenkt fram. I tillegg var det tenkt at bruk av den eksisterende trykkluftløsningen som utskytingsmekanisme ville være hensiktsmessig med tanke på å holde fôrerens enkel. Det ble derfor fattet en beslutning om å designe fôrerens rundt ideen om utskyting ved hjelp av et konstant lufttrykk og se på løsninger for endring i utskytningsvinkel.

Endring i utskytningsvinkel α var komplisert med tanke på at et kontinuerlig rør måtte gå gjennom konstruksjonen. Valget falt på løsninger som benytter rørkonstruksjonen som fundament for oppbygging. Det ble også tenkt på eventuelle måter å bygge opp en konstruksjon rundt en slange som fôret blir skutt fra. Vanskeligheter med å designe en slik konstruksjon, i tillegg til den ekstra tiden det ville tatt å bygge, ble avvist på bakgrunn av at det trolig hadde blitt for lite tid for resten av prosjektet.

Bruken av kulelager var inspirert fra dagens rotorspredere. Det ble tidlig tenkt at en side-montert motor med tannhjul/belte mellom motor og rørkonstruksjon, ville gi funksjonaliteten tiltenkt for rotasjon.

4.1.1 Valgt Design

Det valgte designet består hovedsaklig av PVC-rør. Tilførselsslangen er koblet til på undersiden av fører. Den festes fast i en flens. På oversiden monteres et kulerlager, i kulerlager monteres et PVC-rør. PVC-røret føres videre i en slak 90 grader bøy etterfulgt av bøyelig PVC, på enden er det et lite stykke hard PVC. Et tannhjul monteres på utsiden av PVC-røret rett over kulerlageret. Et mindre tannhjul monteres på en steppermotor. Steppermotoren monteres slik at tannhjulene settes sammen, dette vil stå for endring i vinkel θ . En lineær aktuator kobles på PVC-røret ved steppermotoren og rett etter det bøyelige PVC-røret, aktuatoren blir den som står for endring i vinkel α . Tenkt design er vist i figur 4.1.

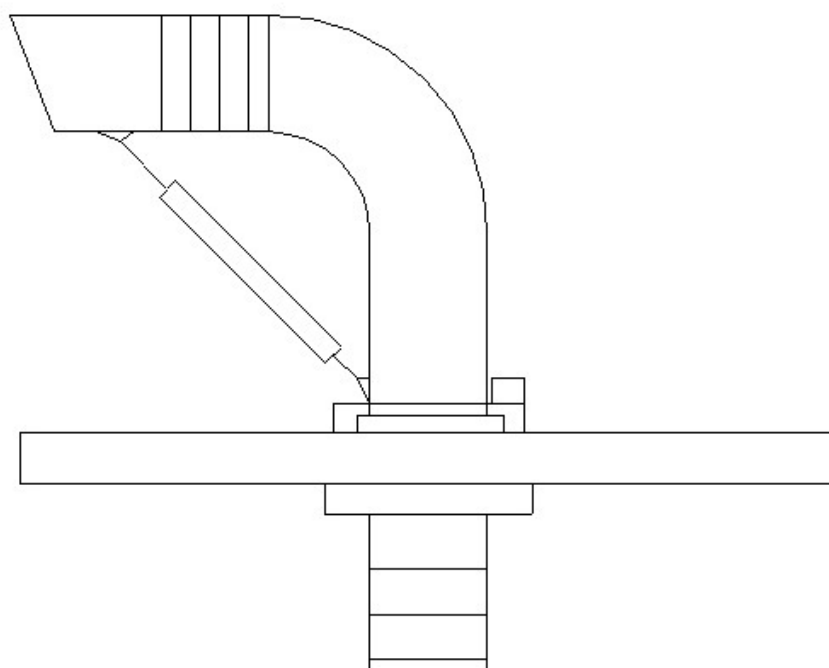


Figure 4.1: Design for fører.

4.1.2 utfordringer og usikkerheter

Det er flere usikkerheter ved hoveddesignet. Et problem kan være å oppnå trykktett kobling mellom det fastmonterte tilførselsrøret og det roterbare røret montert i kulerlageret. Et annet usikkerhetsmoment er hvordan en 90 grader inn i en eventuell bøy vil påvirke utskytningen. I tillegg er det vanskelig å si om konstruksjonen med bøyelig rør og aktuator skrått på undersiden vil klare å holde seg oppreist, på grunn av aktuatorens vekt, og hvor godt den vil endre vinkel når den går ut og inn. En siste utfordring kan ligge i stabiliteten, med tanke på at hele førerer kun blir støttet opp av kulerlageret, da tannhjuloppsettet ikke kan ha for store bevegelser mellom tannhjulene.

4.1.3 Alternative endringer på designet

Det var flere alternativer til design av fôrer. Det var spesielt to design som ble diskutert og var aktuelle under prosjektet. Det var viktig å ha alternative måter dersom det viste seg at det ønskelige designet ikke ville være optimalt eller realiserbart.

Alternativ 1: Dersom det bøyelige røret for å endre α -vinkelen ikke kunne holde vekten til aktuatoren, var det en annen plan som likevel kunne beholde hovedaspektet til designet. Ideen var da å endre plasseringen til aktuatoren slik at det bøyelige røret ikke måtte holde vekten av aktuatoren. Løsningen var å plassere aktuatoren stående under munningen. På denne måten kunne det originale designet beholdes ved å endre en liten del av byggverket. Problemet med denne løsningen er å oppnå rotasjonen θ . Løsningen kan være å plassere et hjul på enden av aktuatoren som er plassert ned mot en plate, dermed kan den rotere fritt. Utfordringer med denne utførelsen er plasseringen den krever og ekstra motstand for steppermotor. I figur 4.2 er tegningen av hvordan det alternative designet ville sett ut.

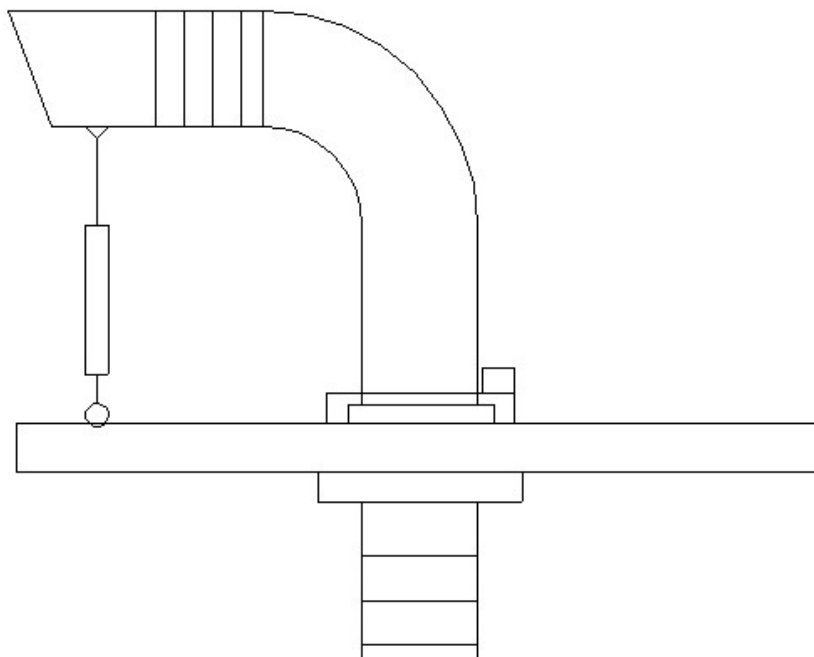


Figure 4.2: Design Alternativ 1: Omplassering av aktuator.

Alternativ 2: Dersom problemer oppsto med endring av utskytningsvinkelen α , kom det opp en mulig endring. I hoveddesignet var det valgt en fast 90-grader vinkel. Det betyr at det eneste som er fleksibelt er det fleksible rørstykket, og vil være det eneste som kan være med på å endre utskytningsvinkelen α . For å oppnå ønsket vinkel var alternativet å bruke fleksibelt rørstykke for 90-grader-stykket også. Dermed blir bøyen fordelt på et større område og den vil også kunne bøyes mer. Utfordringen med dette oppsettet vil være om den klarer å holde seg oppe. Med mer bøyelig PVC vil integriteten til konstruksjonen være en større usikkerhet. I figur 4.3 er tegningen av hvordan det alternative designet ville sett ut.

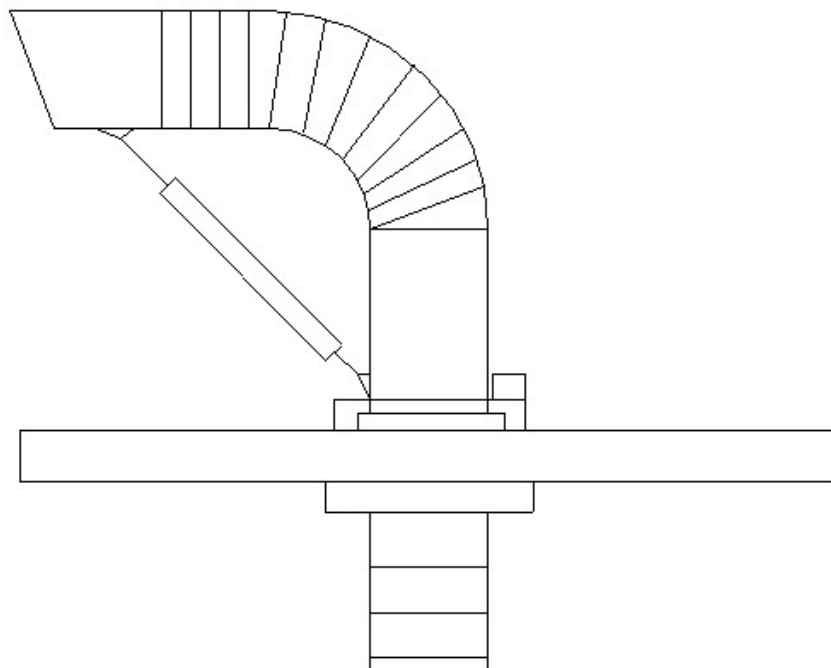


Figure 4.3: Design Alternativ 2: Bøyelig 90-graders bend.

4.2 Bygging

4.2.1 Bord

Det var behov for et form for oppsett som føreren kunne moteres på. Et bord var passende for testing. Bordet er bygd av en sponplate og 48x98 mm material (to-tom-fire). Bordet er ca. 60x60x50 cm. Bredden og lengden ble bestemt ut fra ønsket størrelse på fører. Høyden til føreren er bestemt ut fra dimensjonene til tanken. Tanken som blir brukt er 100x50x50 cm. Siden tanken og bordet er like høye, vil føreren i teorien ca. "ligge" på vannoverflate, som den ville gjort i en oppdrettsmerd.

4.2.2 Kulelager og Flens

Designet er basert på den allerede eksisterende løsningen som de fleste rotorspredere bruker i dag [2]. Tilførselrøret er montert fast på undersiden av bordet i en flens og førerens roterende del er montert i et kulelager på oversiden. Flensen er laget av to lag med sponplater. Flensen ble montert på undersiden av bordplaten. På denne måten ender flensen opp som tre lag med sponplate. Dette gir 3,6 cm flens som tilførselrøret kan monteres fast til. Kulelageret er festet fast med bolter og muttere på oversiden av bordplaten.

4.2.3 Steppermotor og Tannhjulsystem

For å kunne styre rotasjonen θ , er det satt på en steppermotor og et tannhjulpar. Det er to tannhjul, der det større tannhjul er plassert rundt PVC-røret, og det mindre tannhjul er plassert på akselen til steppermotoren. Steppermotoren monteres opp ned på et støttebord over kulelageret, inntil PVC-røret. Dette tillater steppermotoren å stå nærme nokk for at tannhjulene er i kontakt. I figur 4.4 vises montering av steppermotor. I figur 4.5 vises tannhjuloppsettet.



Figure 4.4: Steppermotor



Figure 4.5: Tannhjuloppsett

4.2.4 PVC oppsett

Fôrerens er bygd opp av PVC. Opp fra kulelageret er det plassert et 42,5 cm langt rett PVC-stykke. Her er det regnet med 5cm som vil gå ned i kulelageret og 2,5 cm som vil ligge i skjøten til 90-graderen. På toppen av det rette stykket monteres en 90-graders bøy som er 13 cm høy. Høyden av fôrerens blir da totalt fra bord 52 cm. Etter 90-graderen monteres 20 cm med bøyelig PVC. Ved å manuelt teste bøyeligheten på det fleksible røret ble det drøftet fram til at ca. 15 cm skulle være nokk for å oppnå ønskede vinkler. Skjøten på 90-graderen og skjøtemuffa er ca. 2,5 cm. Skjøtemuffa monteres på enden av den bøyelige PVC-en. En siste PVC-bit festes i enden fôrerens. Den er 7,5 cm, der 2,5 cm sitter i skjøtemuffa. Den rette rørbiten brukes for å stabilisere prosjektet før det forlater løpet.

4.2.5 Aktuatormontering

Aktuatoren er montert skrått opp, rett over tannhjuloppsettet og i enden av det bøyelige røret. Aktuatoren er festet med rørklemmer tilegnet 40 mm rør-diameter. Ved hjelp av bolter, skiver og muttere blir rørklemmene og aktuatoren festet sammen. Aktuatoren har en utstrekningslengde på 10 cm. Det er derfor nødvendig å forlenge aktuatorens stag, siden aktuatoren er for kort til føreren. Det blir brukt et stålrør med lengde 12 cm og indre diameter 21 mm for å kunne forlenge staget. På stålrøret borres det hull for M10 bolter (10 mm diameter) som skal feste stålrøret og enden av aktuatoren sammen. Aktuatoren er trekt ut 3 cm før stålrøret monteres fast i aktuatorens stag. På denne måten vil det være mulig å trekke inn 3 cm og skyve ut 7 cm. Dette gir god endring i utskytningsvinkel, samtidig som førerens utskytningsvinkel i normal tilstand vil være horisontal, som ønsket. Det er viktig å ikke stramme boltene i topp - og bunnpunkt for hardt, siden aktuatoren må kunne ha litt bevegelse i festepunktene. I figur 4.6 vises et bilde av den bygde foreren.



Figure 4.6: Ferdigstilt fører.

4.2.6 Akselerometer

Akselerometeret er montert på toppen av føreren og ligger parallelt med utskyterhodet. Dette er for å enkelt kunne skalere vinkelen ut i fra målerens (3.4.2) y-akse. Dette var også den meste praktiske måten å orientere akselerometeret på, med tanke på kabling. Den er festet til føreren ved hjelp av en egendesignet holder (3.4.3). Holderen er montert fast i føreren ved hjelp av PVC-lim. Det er brukt cat 5e kabel som signalkabel mellom akselerometeret og arduino megaen. I figur 4.6 kan man se akselerometeret montert på toppen av føreren.

4.2.7 Elektrisk oppsett

Det elektriske anlegget har blitt planlagt med funksjonalitet, plasseffektivitet, sikkerhet og estetikk som hovedelementer. Funksjonalitet og sikkerhet er det som har blitt prioritert høyest. Alle berøringsfarlige komponenter er plassert i koblingsbokser og det er én 10 A automatsikring på hovedinntaket til føreren. Kablene fra lineær-aktuatoren og vinkelsensoren er lagt opp slik de ikke skal hindre føreren i å bevege seg, samtidig som det er forsøkt å få til en god estetikk. Det har blitt valgt å dele opp boksene slik at strømforsyningene og automatsikringen får sin egen boks. Og styrekomponentene som arduinoene og resterende styremoduler får en annen boks. Dette er av praktiske hensyn. Mest fordi at det ikke er plass til én boks som rommer alle komponentene, men også med tanke på varmeutvikling. Koblingsskjema for hele anlegget ligger vedlagt. I figur 4.6 vises et bilde av den bygde foreren, med elektrisk anlegg.

4.2.8 Fôr og trykk tilførsel

For å kunne skyte ut fôret fra kasteren brukes trykkluft, den samme metoden som blir brukt i dagens oppdrettsnæring [2]. Derfor ble det lagd et system som tilnærmer det eksisterende systemet, ettersom det ikke var mulig å innskaffe dette.

Vegguttaket på NTNU leverer 6 bar med trykkluft og har derfor behov for en trykkregulator for å kunne regulere trykket ned til et konstant ønsket trykk. Det ble laget en kobling til trykkluftregulatoren ved hjelp av en hurtigplugg, PVC-cap og fleksibelt PVC-rør. Fra koblingen på trykkregulatoren går trykkluften til en akkumulatortank (mer om akkumulatortank etter figur 4.7), som bygger opp nødvendig mengde trykk. For å holde på trykket benyttes en manuell ventil. Ved hjelp av et T-stykke og en ekstra manuell ventil kan det enkelt legges inn fôr og blokkeres av. Prosedyre for utskyting er, lukk trykkluftventilen, fôrventilen åpnes, fôret slippes inn i røret, fôrventilen stenges og trykkluftventilen åpnes. I figur 4.7 er det tegnet en tegning av trykktilførsel, ventil og akkumulatortank.

Det ble funnet en akkumulator tank som var tenk passende til oppgaven. Grunnet usikkerhet rundt nødvendig størrelse og mangel på erfaring med akkumulatortanker ble det benyttet en enkel likning, 4.1, for å teste varighet på luftutblåsing. Likningen brukes ofte for å dimensjonere akkumulatortanker for luft. [18]

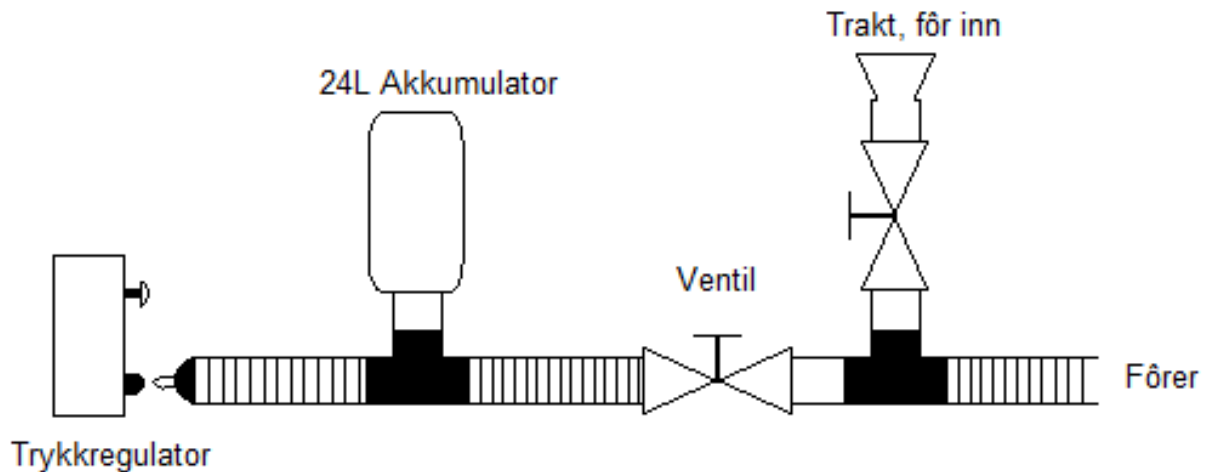


Figure 4.7: Tegning av ventilsystem, trykktilførsel og akkumulatortank.

Likningen løses først med hensyn på luftforbruket C [m^3/s]. Det baseres på gjennomført test uten akkumulatortank. Hvor varigheten på luftutblåsningen estimeres til ca. 0,1 sek og akkumulert luft er 0,5 liter. Med et kjent luftforbruk, maks tilgjengelig trykk og volumet til tanken regnes varigheten på lufttrykket til 0,6 sek. Det er vanskelig å si om dette vil være godt nokk. Med tanke på at varigheten sekdobles og at det tidligere kun var noen erter som ikke kom seg ut, blir det gått ut ifra at dette vil være godt nok.

$$t_t = \frac{V_l(p_1 - p_2)}{C p_a} \quad (4.1)$$

$$C = \frac{V_l(p_1 - p_2)}{t_t p_a} \quad (4.2)$$

$$C = \frac{0.0005 m^3 (500\,000 Pa - 100\,000 Pa)}{0.1 s \cdot 100\,000 Pa} = 0,02 m^3/s \quad (4.3)$$

$$t_t = \frac{0.024 m^3 (600\,000 Pa - 100\,000 Pa)}{0.02 m^3/s \cdot 100\,000 Pa} = 0,6 s \quad (4.4)$$

4.2.9 Strømningsgenerator

Det ble besluttet at strømningsgeneratoren skulle plasseres halveis opp langs tankveggen, for at strømmingen skal rekke å påvirke erten nok. For å oppnå dette ble det fabrikkert et oppheng som kan festes over kanten på tanken. Festet er laget av syrefast stål og er sammenføyd med sveising. Se figur 4.8. Arbeidstegning for opphenget ligger vedlagt.



Figure 4.8: Oppheng strømningsgenerator

Selve strømningsgeneratoren er en 7,2 V DC-motor med en propell på akselen. Den blir forsynt av et 8,4 V batteri som er koblet via en spenningsregulator, slik at hastigheten til motoren enkelt kan varieres. Spenningsregulatoren har blitt plassert i en koblingsboks av hensyn til berøringssikkerhet. Den er montert slik at potensiometeret er tilgjengelig utenfor boksen.

4.2.10 utfordringer

Situasjon 1: Et stabilt kulelager er viktig for å kunne få rotasjoner på kasteren uten kompromiss i stabiliteten. Kulelageret som ble valgt skulle i teorien ut fra dokumentasjon være stabilt. Da røret og kulelageret var montert sammen, oppstod det rotasjoner og bevegelser i kulelageret som ikke var ønskelig i det originale designet, slik at kasteren var ustabil. Det er flere metoder for å løse det oppståtte problemet. En mulighet var å punktsveise kulelageret slik at bevegelsen som var uønsket ble fastlåst. Ved punktsveising vil det være utfordringer med usikkerhet og mulighet for ødeleggelse av selve rotasjonen som var det ønskelig å oppnå ved et kulelager. Det var derfor nødvendig med en annen mulighet, som var å bruke bordet som steppermotoren monteres på. På denne måten kan det brukes en allerede eksisterende del av føreren til å stabilisere de uønskede bevegelsene fra kulelageret. Løsningen er å drille et 41 mm hull til det rette rørstykke, og på denne måten stabilisere føreren. Selv om det vil oppstå millimeterbevegelser, så er de så små at det ikke vil påvirke rotasjonen og utskytningsvinkelen (θ , α) nevneverdig.

Situasjon 2: Som en konsekvens av at lagerføringen var mer bevegelig enn først antatt, blir konstruksjonen tyngre å dra rundt. Dette er fordi det rette rørstykke subber bortiføringen gjennom bordet og skaper friksjon. Dette skaper problemer for steppermotoren, da den ikke lenger er sterk nok til å rotere føreren. Det ble drøftet flere mulige løsninger på problemet. Mer om dette i kapitlet diskusjon. Det ble enighet i gruppen om å ikke bruke ressurser på å utbedre dette. Siden det fremdeles er mulig å testet funksjonaliteten til stepperen, da den er sterk nok til å dra rundt føreren når lineæraktuatoren monteres av føreren. Og siden det kun skal reguleres lengde på kastet i denne oppgaven, blir det ikke sett på som essensielt at dette fungerer optimalt akkurat nå.

Situasjon 3: For å kunne skyte ut føret må systemet ha riktig trykkluft. Under de første testene av skyting med erter ble det observert at trykkluften på 2,5 bar var for lite. Dette kan forklares med at lufttrykket ikke vil være konstant 2,5 bar og at trykket vil bli et "skudd" som var lagret opp i det fleksible rørstykket, som rommet 0,5 liter. Det ble testet med trykkluft opp til 6 bar, men utskytningene var fremdeles ikke gode nok på grunn av at varigheten på "skuddet" ikke var lang nok. Utskytningene ble for variable og hadde ikke noe kontinuitet. Analytiske og metodisk metoder for å løse problemet ble brukt. Lengden på unødvendig rør var en mulig feilkilde. De ble derfor valgt å korte ned rørstykker der det ble overflødig rør-lengde. Samtidig var et godt alternativ å kjøpe inn en akkumulatortank. En akkumulatortank blir ofte brukt i industrien og var derfor et sikkert alternativ. En akkumulatortank er et energilager, som i dette tilfelle lagrer en større mengde luft, og på denne måten får bygd opp en lengre flow på utskytingen. Akkumulatortanken som ble kjøpt er 24 liter og gir mengden av trykk nok til å kunne få skyte føret slik som ønsket, se likning 4.4. For å sette akkumulatortanken til ventilsystemet, brukes det en hurtigkobling som har gjenger til å skru fast i tanken i den ene enden og PVC-tilkobling på den andre enden. Hurtigkoblingen går så inn på et T-stykke som blir koblingen til ventilsystemet.

5 Kontrollsystem

5.1 Matematisk Modellering

I denne delen av rapporten er det forsøkt å forklare fremgangsmåte for utvikling av den matematiske modellen. Fokus for denne modellen er å forutse en bane for objektet, og dermed være i stand til å finne en sammenheng mellom utskytningsvinkel og endelig posisjon for objektet under vann. Beregningene er delt opp i to deler, hvor den første delen omhandler objektets bane over vann, og den andre delen omhandler objektets bane under vann. Til slutt er det et kort delkapittel hvor disse delene blir satt sammen til en sammenhengende modell.

5.1.1 Over vann

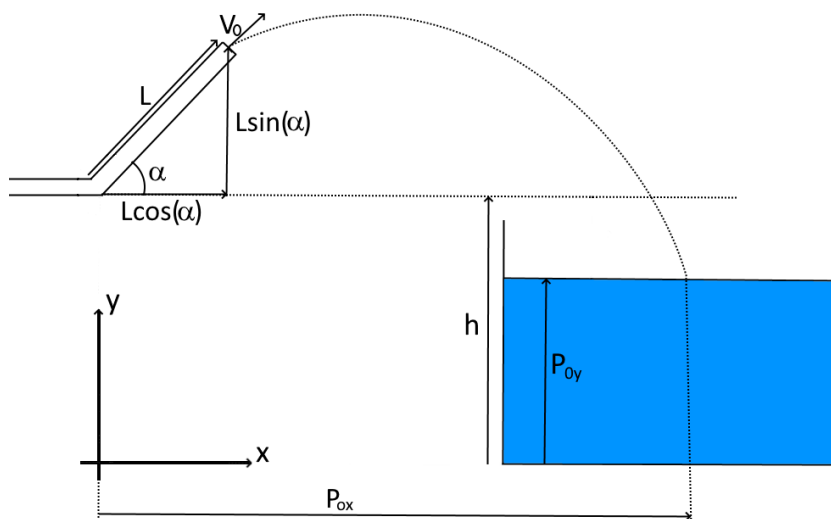


Figure 5.1: Over vann metode 1.

Tidlig ble det kommet frem til at løpet på føreren ville ha en innvirkning på starthøyden samt startlengden av utløpet. Det ble da utarbeidet likninger ved hjelp av bevegelseslikningen 2.1.

Likningssett for x- og y-retning.

$$s_y = v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2 \quad (5.1)$$

$$s_x = v_{0x}t + \frac{1}{2}at^2 \quad (5.2)$$

Videre så gjøres forenklingen om ingen luftmotstand. Vektorene for startfarten blir så dekomponert slikt at en får et uttrykk for startfarten i x- og y-retning. Positiv retning blir satt til positiv oppover og positiv mot tanken. Nullpunktet settes til knekken på føreren for x, og bunnen av tanken for y. Ender da opp med følgende likninger.

$$P_{0y} - h - L\sin(\alpha) = v_0\sin(\alpha)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (5.3)$$

$$P_{0x} - L\cos(\alpha) = v_0\cos(\alpha)t \quad (5.4)$$

Likningen for x blir brukt for å finne et uttrykk for t som kan settes inn i y, slik at det oppstår en komplett likning for banen over vann.

$$t = \frac{P_{0x} - L\cos(\alpha)}{v_0\cos(\alpha)} = \frac{P_{0x}}{v_0\cos(\alpha)} - \frac{L}{v_0} \quad (5.5)$$

$$t^2 = \frac{P_{0x}^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} - \frac{2P_{0x}L}{v_0\cos(\alpha)} + \frac{L^2}{v_0^2} \quad (5.6)$$

$$\begin{aligned} P_{0y} - h - L\sin(\alpha) = & v_0\sin(\alpha) \left(\frac{P_{0x}}{v_0\cos(\alpha)} - \frac{L}{v_0} \right) \\ & - \frac{1}{2}g \left(\frac{P_{0x}^2}{v_0^2\cos^2(\alpha)} - \frac{2P_{0x}L}{v_0\cos(\alpha)} + \frac{L^2}{v_0^2} \right) \end{aligned} \quad (5.7)$$

$$P_{0y} - h - L\sin(\alpha) = P_{0x}\tan(\alpha) - L\sin(\alpha) - \frac{gP_{0x}^2}{2v_0^2\cos^2(\alpha)} + \frac{gP_{0x}L}{v_0\cos(\alpha)} - \frac{gL^2}{2v_0^2} \quad (5.8)$$

$$P_{0x}\tan(\alpha) - \frac{gP_{0x}^2}{2v_0^2\cos^2(\alpha)} + \frac{gP_{0x}L}{v_0\cos(\alpha)} - \frac{gL^2}{2v_0^2} + h - P_{0y} = 0 \quad (5.9)$$

For å løse denne likningen med hensyn på vinkelen, så må trigonometriske identiteter benyttes.

$$\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1 \quad (5.10)$$

$$\tan^2(\alpha) + 1 = \frac{1}{\cos^2(\alpha)} \quad (5.11)$$

$$\sqrt{\tan^2(\alpha) + 1} = \frac{1}{\cos(\alpha)} \quad \alpha \in [-90^\circ < \alpha < 90^\circ] \quad (5.12)$$

Denne likningen gjelder ikke når vinkelen er mellom 90 og 270 grader. Dette grunnet at cosinus gir negative verdier i dette området. Systemet har ikke mulighet til å justere vinkelen høyere enn ca. 50 grader og ikke lavere enn ca. -10 grader. Det vil heller aldri være behov for å skyte bakover. Dermed kan denne likningen benyttes.

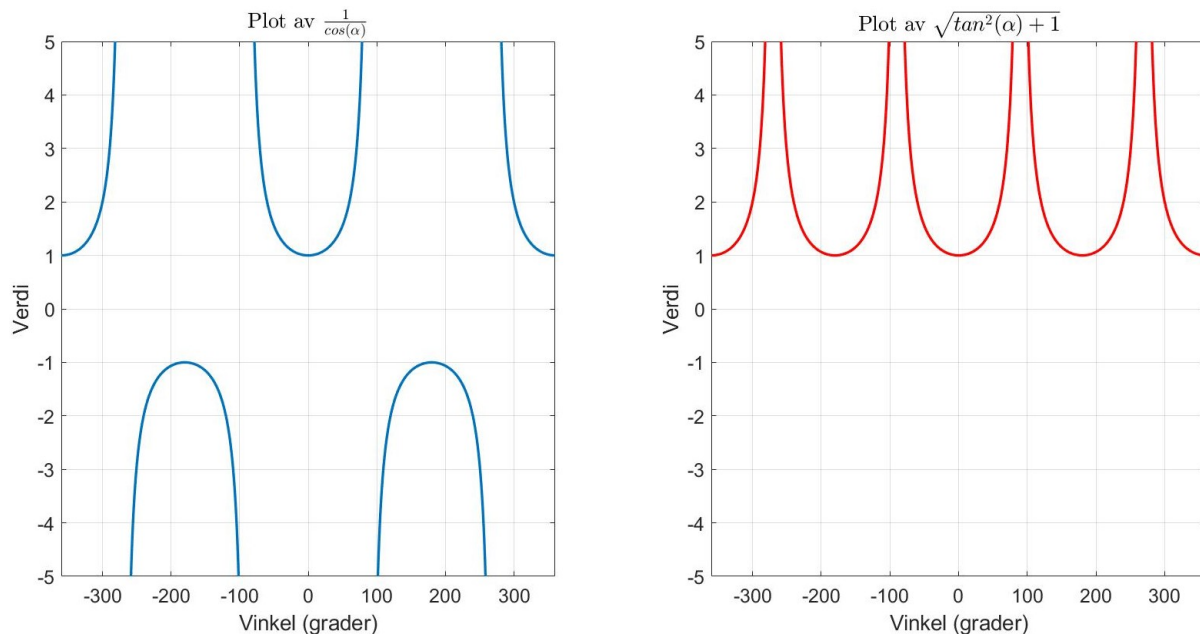


Figure 5.2: Sammenligning mellom $\frac{1}{\cos(\alpha)}$ og $\sqrt{1 + \tan^2(\alpha)}$.

$$P_{0x} \tan(\alpha) - \frac{gP_{0x}^2}{2v_0^2} \tan^2(\alpha) - \frac{gP_{0x}^2}{2v_0^2} + \frac{gP_{0x}L}{v_0} \sqrt{1 + \tan^2(\alpha)} - \frac{gL^2}{2v_0^2} + h - P_{0y} = 0 \quad (5.13)$$

Denne likningen er litt problematisk å løse med hensyn på vinkelen, men det lar seg gjøre. Et større problem ved denne utregningen er at startfarten også vil variere med vinkelen. Dette fordi ved store vinkler, så vil startfarten bli lavere grunnet gravitasjonens påvirkning på objektet fra knekken til utløpet. Ut fra dette ble det tenkt opp en ny forenkling som kan antas å være en bedre modell for virkeligheten. Denne forenklingen innebærer at prosjektilbanen starter i knekken og ikke ved utløpet. Svakheten ved denne metoden er at prosjektilbanen antageligvis vil bli lavere i den matematiske modellen enn i virkeligheten. Utslaget dette vil gi i x-retning antas å være lite, og siden det er lengden i x-retning som til slutt er interessant, så kan denne forenklingen forsvares.

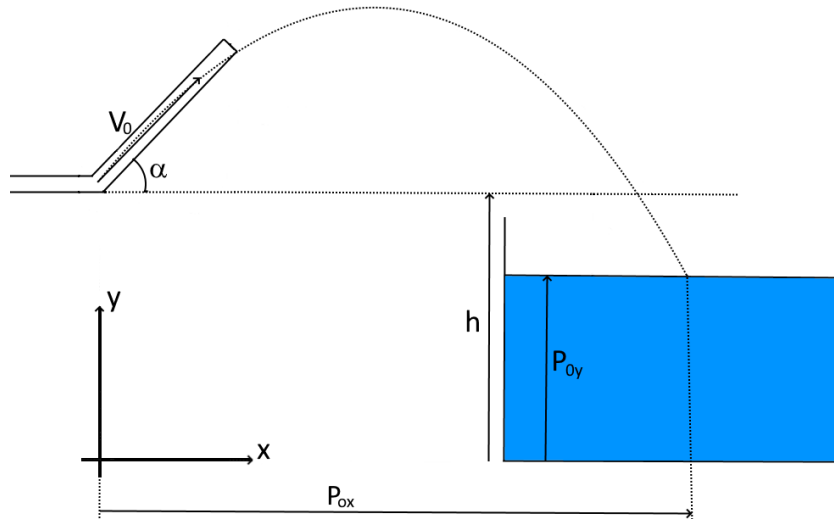


Figure 5.3: Over vann metode 2.

Matematikken ved denne metoden er mye enklere siden startlengden i x-retningen ikke lengre er en sum. Dermed dukker ikke $\frac{1}{\cos(\alpha)}$ -leddet opp i og med at det ikke er behov for kvadratsetningen ved kvadrering av t .

$$P_{0y} - h = v_0 \sin(\alpha) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (5.14)$$

$$P_{0x} = v_0 \cos(\alpha) t \quad (5.15)$$

$$t = \frac{P_{0x}}{v_0 \cos(\alpha)} \quad (5.16)$$

$$P_{0y} - h = P_{0x} \tan(\alpha) - \frac{1}{2} g \left(\frac{P_{0x}^2}{v_0^2 \cos^2(\alpha)} \right) \quad (5.17)$$

$$P_{0x} \tan(\alpha) - \frac{g P_{0x}^2}{2 v_0^2 \cos^2(\alpha)} + h - P_{0y} = 0 \quad (5.18)$$

Benytter samme trigonometriske identitet som tidligere fra likning 5.11.

$$P_{0x} \tan(\alpha) - \frac{g P_{0x}^2}{2 v_0^2} \tan^2(\alpha) - \frac{g P_{0x}^2}{2 v_0^2} + h - P_{0y} = 0 \quad (5.19)$$

$$\tan^2(\alpha) - \frac{2v_0^2}{gP_{0x}}\tan(\alpha) - \frac{2v_0^2}{gP_{0x}^2}(h - P_{0y}) + 1 = 0 \quad (5.20)$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\frac{2v_0^2}{gP_{0x}} \pm \sqrt{\frac{4v_0^4}{g^2P_{0x}^2} + \frac{8v_0^2}{gP_{0x}^2}(h - P_{0y}) - 4}}{2}} \right) \quad (5.21)$$

Dette uttrykket blir brukt for utregning av utskytningvinkelen for fôrerer. Det er alltid minste vinkel som vil bli brukt, dette fordi det er ønskelig at objektet er i luften over minst mulig tid, slik at bidraget fra luftmotstanden blir så lite som mulig. I tillegg så har ikke fôrerer muligheten til å justere inn store vinkler.

5.1.2 Under vann

Denne delen av modellen inneholder dynamikk i to dimensjoner. Den overordnede strategien som er brukt er å dele den opp i to deler. En for y-retning og en for x-retning. Som i modelleringen for banen over vann, så er det også her kun x-retningen som til slutt er interessant. Likningen for y-retning brukes til å finne et uttrykk for tiden det tar for objektet å treffe bunnen av tanken. Denne tiden kan da settes inn i likningen for x-retning. Likningene som er brukt gjelder for turbulent strømning 2.3. Kilde [14] er benyttet for beregningene i y-retning.

Under vann i y-retning.

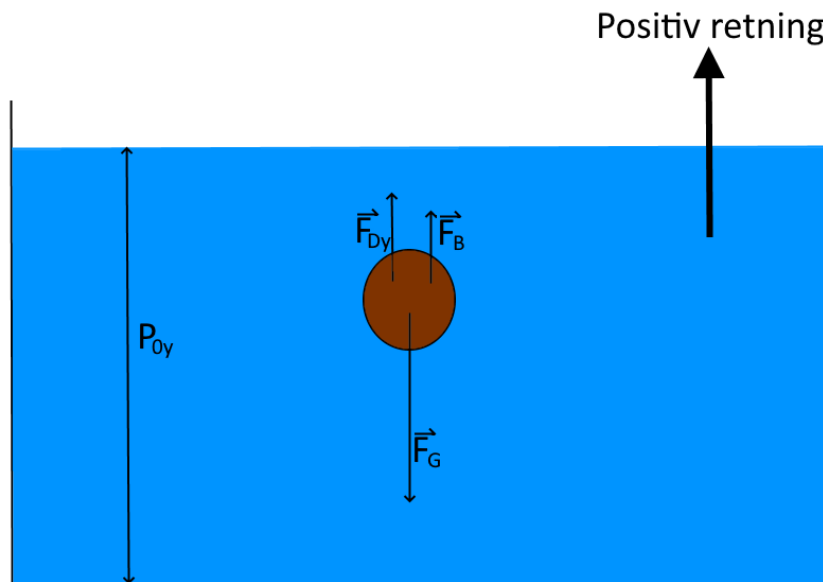


Figure 5.4: y-retning under vann.

Starter med Newtons andre lov.

$$\sum F_y = ma_y \quad (5.22)$$

$$\sum F_y = -F_G + F_B + F_{Dy} = ma_y \quad (5.23)$$

$$ma_y = -mg + m_v g + \frac{1}{2} \rho_v C_D A v_y^2 \quad (5.24)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -g + \frac{m_v}{m} g + \frac{\rho_v C_D A}{2m} v_y^2 \quad (5.25)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{m - m_v}{m} g + \frac{\rho_v C_D A}{2m} v_y^2 \quad (5.26)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{m - m_v}{m}g \left(1 - \frac{\rho_v C_D A}{2(m - m_v)g} v_y^2 \right) \quad (5.27)$$

Merk at objektet synker når massen til objektet (m) er større en massen til forflyttet vann (m_v), med andre ord når massetettheten til objektet er større enn massetettheten til vann.

Kombinerer konstanter.

$$k_1^2 = \frac{\rho_v C_D A}{2(m - m_v)g} \implies k_1 = \sqrt{\frac{\rho_v C_D A}{2(m - m_v)g}} \quad (5.28)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{m - m_v}{m}g(1 - (k_1 v_y)^2) \quad (5.29)$$

Dette er en ulineær differensiallikning, og MATLAB blir benyttet for å løse den.

$$v_y(t) = -\frac{1}{k_1} \tanh \left(k_1 \left(C_1 + \frac{m - m_v}{m} g t \right) \right)$$

Grunnet forenklingen om at objektet stopper momentant ved kontakt med vannoverflaten, så gjelder følgende startbetingelse.

$$v_y(0) = 0 \quad (5.30)$$

$$-\frac{1}{k_1} \tanh(k_1 C_1) = 0 \implies \tanh(k_1 C_1) = 0 \implies C_1 = 0 \quad (5.31)$$

En ender da opp med følgende likning for farten i y-retning.

$$v_y(t) = -\frac{1}{k_1} \tanh \left(\frac{m - m_v}{m} g k_1 t \right) \quad (5.32)$$

Det er posisjonen som er av interesse. Det er mulig å løse dette ved å sette inn posisjonen direkte i likningen ved at fart er den deriverte av posisjon. En ender da opp med en andre ordens ulineær differensiallikning. Men det ble mer oversiktlig ved å løse dette for farten, og deretter integrere.

$$\frac{dp_y}{dt} = v_y(t) \implies p_y(t) = \int_0^t v_y(t) dt \quad (5.33)$$

$$p_y(t) = \frac{m \cdot \ln \left(\cosh \left(\frac{g k_1 (m_v - m)}{m} t \right) \right)}{g k_1^2 (m_v - m)} + C_2 \quad (5.34)$$

Nullpunktet for y-retning ligger ved bunnen av tanken, dermed oppstår følgende startkrav.

$$p_y(0) = P_{0y} \implies C_2 = P_{0y} \quad (5.35)$$

$$p_y(t) = \frac{m \cdot \ln \left(\cosh \left(\frac{gk_1(m_v - m)}{m} t \right) \right)}{gk_1^2(m_v - m)} + P_{0y} \quad (5.36)$$

Kombinerer konstanter.

$$k_2 = \frac{m_v - m}{m} \quad (5.37)$$

$$p_y(t) = \frac{\ln(\cosh(gk_1k_2t))}{gk_1^2k_2} + P_{0y} \quad (5.38)$$

Denne likningen må løses med hensyn på t , og at $p_y(t) = 0$, siden 0 er posisjonen i bunnen av tanken.

$$P_{0y} + \frac{\ln(\cosh(gk_1k_2t_{bunn}))}{gk_1^2k_2} = 0 \quad (5.39)$$

$$e^{-P_{0y}gk_1^2k_2} = \cosh(gk_1k_2t_{bunn}) \quad (5.40)$$

$$t_{bunn} = \frac{\cosh^{-1}(e^{-P_{0y}gk_1^2k_2})}{gk_1k_2} \quad (5.41)$$

For at den inverse hyperbolske cosinusfunksjonen skal gjelde, så må argumentet være større eller lik 1. Det vil si at $e^{-P_{0y}gk_1^2k_2} \geq 1 \implies -P_{0y}gk_1^2k_2 \geq 0$. Dette vil alltid være tilfellet siden P_{0y} alltid vil være positiv, grunnet valg av positiv retning. Gravitasjonskonstanten g er alltid positiv selv om den vil virke mot positiv retning, dette fordi den negative verdien av g er innbakt i likning 5.24. k_2 er alltid negativ grunnet at $m_v < m$, så lenge objektet synker i vannet så må dette være tilfellet. Dermed må argumentet for den inverse hyperbolske cosinusfunksjonen alltid bli større enn 1.

Siden nevneren inneholder k_2 som er negativ, så må den negative verdien av den inverse hyperbolske cosinusfunksjonen benyttes slik at t_{bunn} blir positiv. Dette kan gjøres fordi den hyperbolske cosinusfunksjonen er en like funksjon, dermed vil den inverse gi ut både positiv og negativ verdi. Den positive verdien forkastes siden negativ tid er umulig.

under vann i x-retning.

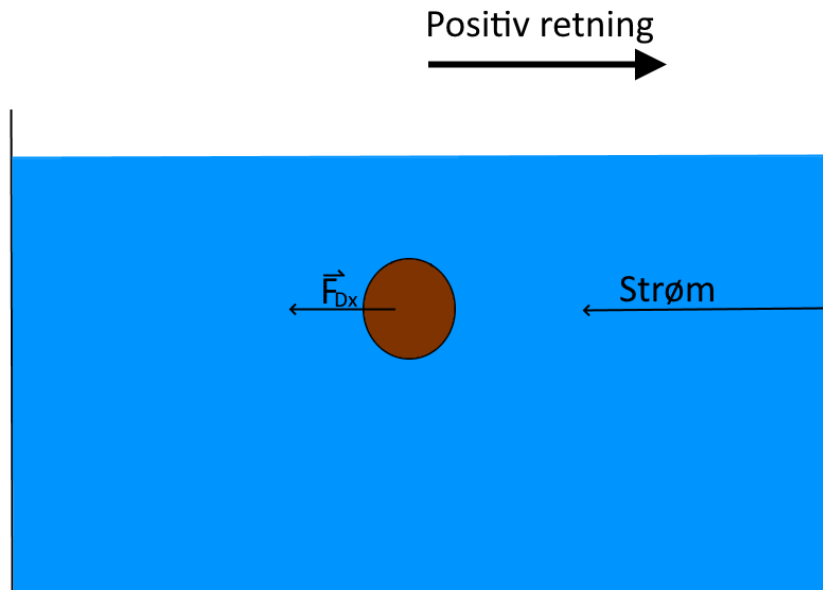


Figure 5.5: x-retning under vann.

For x-retning er det kun én kraft som virker på objektet, dette er motstanden fra vannet, altså likning 2.3. Newtons andre lov gir da.

$$\sum F_x = -F_{Dx} \quad (5.42)$$

Positiv retning blir definert mot strømmen. Dette fordi det da blir samme positive retning som over vann, og samme koordinatramme kan benyttes for sammensetning av over- og under vann.

$$ma_x = -\frac{1}{2}\rho_v C_D A (v_x - (-v_v))^2 \quad (5.43)$$

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{\rho_v C_D A}{2m} (v_x^2 + 2v_v v_x + v_v^2) \quad (5.44)$$

Kombinerer konstanter.

$$k_3 = \frac{\rho_v C_D A}{2m} \quad (5.45)$$

$$\frac{dv_x}{dt} = -k_3 v_x^2 - 2k_3 v_v v_x - k_3 v_v^2 \quad (5.46)$$

Ulineær differensiallikning, bruker dermed MATLAB til å løse den.

$$v_x(t) = -v_v - \frac{1}{C_3 - k_3 t} \quad (5.47)$$

Som for y-retningen, så gjør forenklingen om at objektet stopper momentant ved kontakt med vannoverflaten også her at startkravet må bli som følger.

$$v_x(0) = 0 \implies -v_v - \frac{1}{C_3 - k_3 t} = 0 \quad (5.48)$$

$$-v_v C_3 = 1 \implies C_3 = -\frac{1}{v_v} \quad (5.49)$$

$$v_x(t) = -v_v - \frac{1}{-\frac{1}{v_v} - k_3 t} = -v_v + \frac{v_v}{1 + k_3 v_v t} \quad (5.50)$$

$$v_x(t) = -v_v \left(1 - \frac{1}{1 + k_3 v_v t} \right) \quad (5.51)$$

$$\frac{dp_x}{dt} = v_x(t) \implies p_x(t) = \int_0^t v_x(t) dt \quad (5.52)$$

$$p_x(t) = -v_v t + \frac{\ln(k_3 v_v t + 1)}{k_3} + C_4 \quad (5.53)$$

Startkravet blir distansen fra origo i x-retning når objektet befinner seg på vannoverflaten. Altså P_{0x} fra beregningene over vann.

$$p_x(0) = P_{0x} \implies C_4 = P_{0x} \quad (5.54)$$

Setter ønsket posisjon for objektet i bunnen av tanken.

$$p_x(t_{bunn}) = P_{\emptyset x} \quad (5.55)$$

$$P_{\emptyset x} = P_{0x} - v_v t_{bunn} + \frac{\ln(k_3 v_v t_{bunn} + 1)}{k_3} \quad (5.56)$$

$$P_{0x} = P_{\emptyset x} + v_v t_{bunn} - \frac{\ln(k_3 v_v t_{bunn} + 1)}{k_3} \quad (5.57)$$

Denne likningen er da sluttproduktet av beregningene under vann. Ved hjelp av denne likningen kan P_{0x} bli beregnet og satt inn i likningen for utskytningsvinkelen α . Dermed kan forløpet fra ønsket posisjon i bunnen av tanken til vinkelen på utløpet av fôrerer beregnes.

5.1.3 Total modell

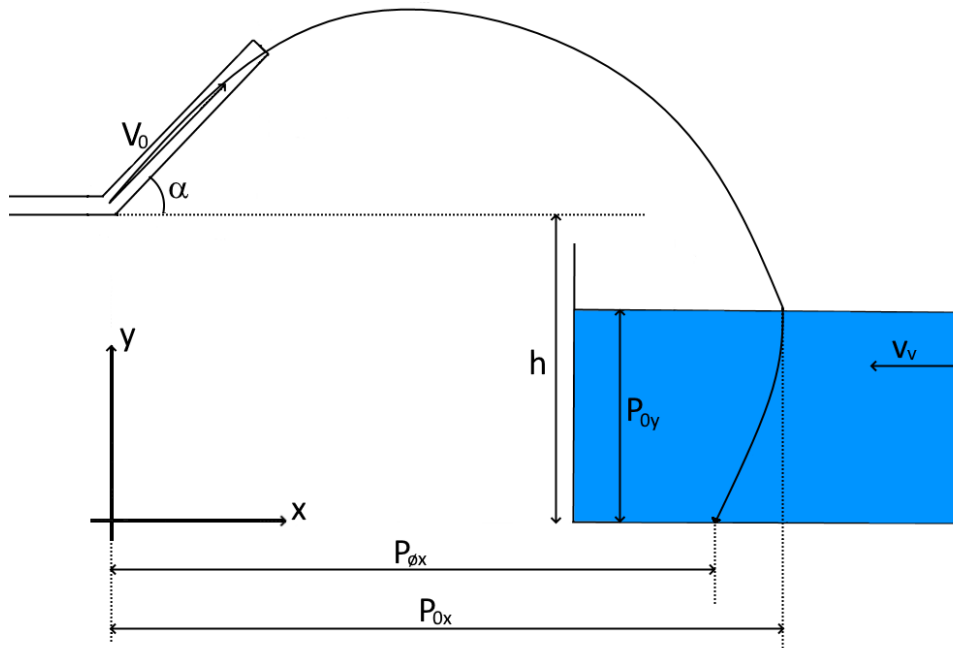


Figure 5.6: Total modell

For den totale modellen så benyttes likning 5.41, 5.57 og 5.21

$$t_{bunn} = \frac{\cosh^{-1}(e^{-P_{0y}gk_1^2k_2})}{gk_1k_2} \quad (5.58)$$

$$P_{0x} = P_{\emptyset x} + v_v t_{bunn} - \frac{\ln(k_3 v_v t_{bunn} + 1)}{k_3} \quad (5.59)$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\frac{2v_0^2}{gP_{0x}} \pm \sqrt{\frac{4v_0^4}{g^2P_{0x}^2} + \frac{8v_0^2}{gP_{0x}^2}(h - P_{0y}) - 4}}{2} \right) \quad (5.60)$$

Benytter likning 5.41 for å beregne t_{bunn} slik at likning 5.57 kan løses og gi ut P_{0x} . Til slutt settes denne verdien inn i likning 5.21. Dermed oppnås utskytningsvinkelen som funksjon av strømmen i tanken v_v , ved gitte ønskede sluttposisjoner $P_{\emptyset x}$.

Med tanke på at det ikke er tilgang til strømningsmåler så må dragkoeffisienten settes uten testing. Dragkoeffisienten brukt i beregningene ble satt til 0,5 da det er plausibelt at reynoldstallet (Re) er mellom 20000 og 80000. Ut i fra grafen i figur 5.7 for dragkoeffisienten til en sfære så er dette en god tilnærming. Det blir gått ut i fra at ertene som blir brukt er nærmere den stiplede linjen enn den heltrukne linjen, siden ertene ikke har en veldig glatt overflate.

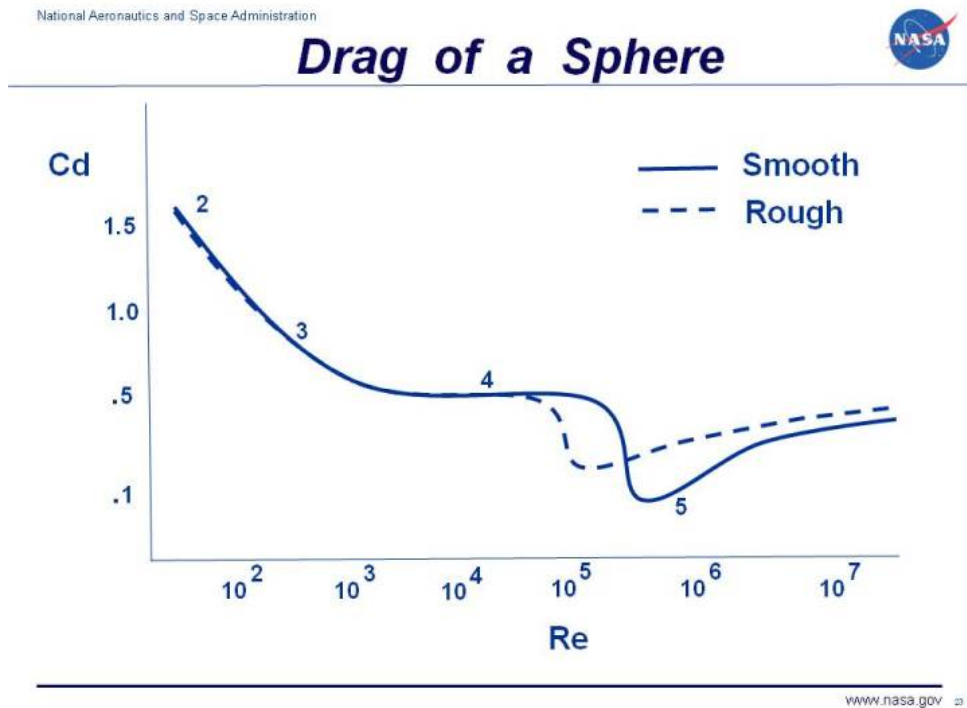


Figure 5.7: C_D som funksjon av Reynoldstallet [13]

Det er foretatt en simulering i MATLAB for den totale modellen. Denne simuleringen er gjort ved hjelp av MATLAB sin ode45-funksjon, som krever at det blir satt opp en statespace-modell av systemet. Dermed blir systemet simulert i form av to andre ordens differensiallikninger hvor posisjonen blir gitt ut direkte. Verdien for strømmingen v_v er satt til $0,3m/s$. Startkravene er satt til $1,9m$ for P_{0x} , og $0,38m$ for P_{0y} . Disse startkravene er målt fra tanken (vannstanden er $0,38m$ høy), og fra føreren (avstanden fra knekken på føreren til tanken er $1,4m$). Siden tanken er $1m$ lang, så er det simulert slik at erten treffer midt i tanken. De resterende konstantene er satt til verdier fra testing.

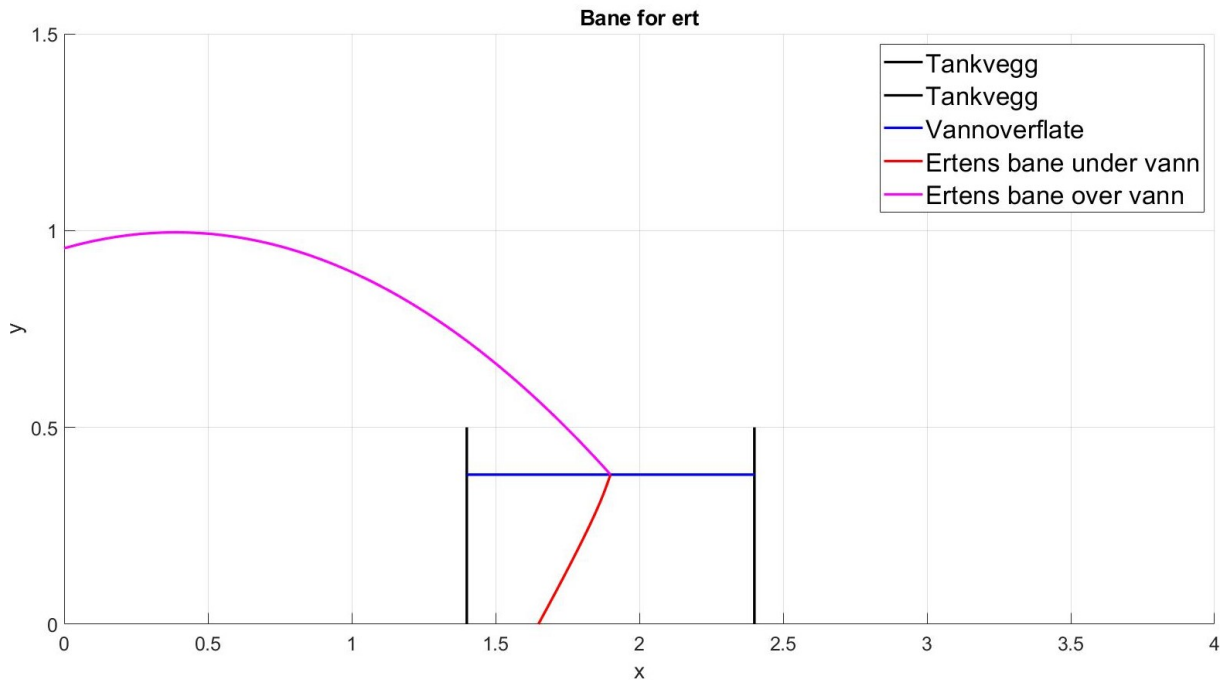


Figure 5.8: Plott av ertens bane fra simulering

Til slutt er det gjort en sammenligning mellom posisjonen som funksjon av tiden for både x- og y-retning, mellom den simulerte posisjonen, og posisjonen fra beregningene. Dette for å vise at å løse differensiallikningene direkte som to andre ordens differensiallikninger (simulering), og to første ordens differensiallikninger for deretter å integrere (beregning), vil gi samme resultat. Ved plottingen av beregnet posisjon, så blir likningene 5.38 og 5.53 benyttet.

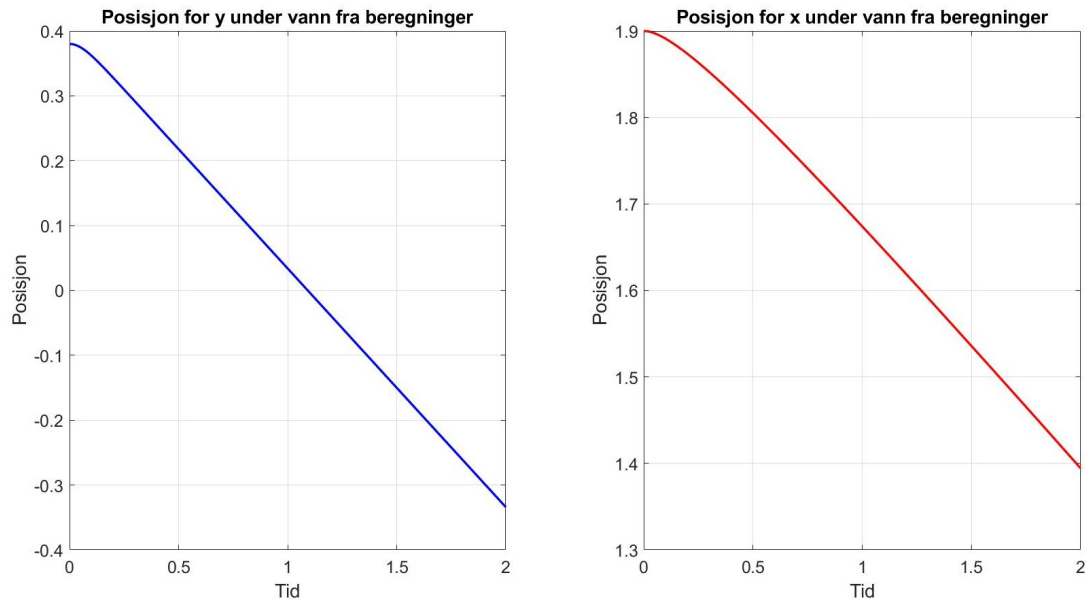


Figure 5.9: Plott av beregnet posisjon

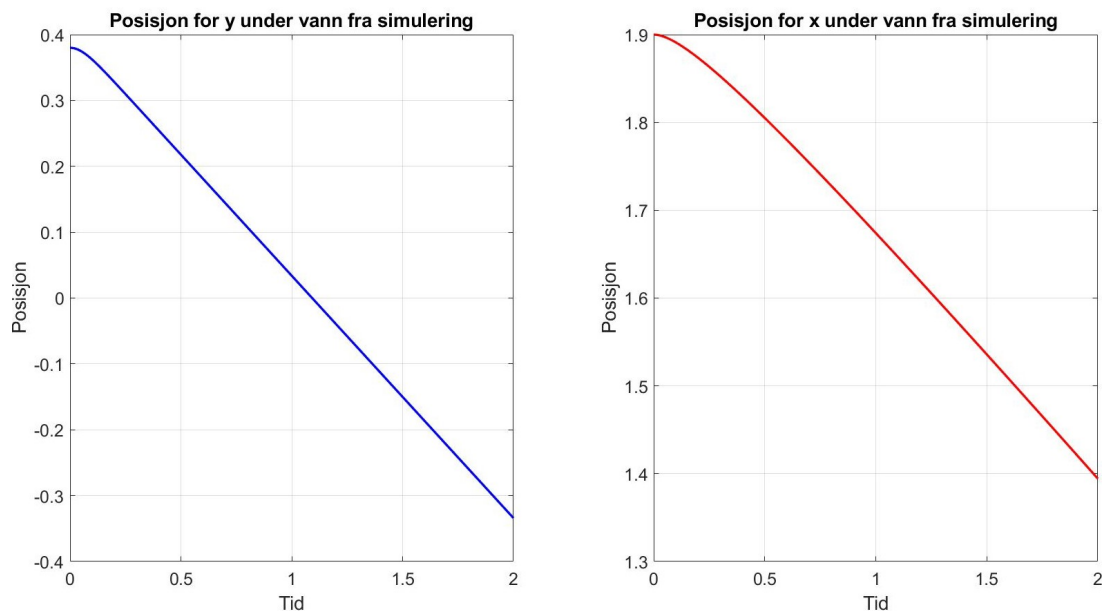


Figure 5.10: Plott av simulert posisjon

Alle MATLAB-skript som er benyttet for den matematiske modellen ligger i den vedlagte ZIP-filen.

5.2 Simulering og Regulering

5.2.1 Overføringsfunksjon

For å kunne lage et reguleringsystem for utskytningsvinkelen til føreren er det nødvendig å finne overføringsfunksjonen til aktuatoren. For å finne overføringsfunksjonen påtrykkes det fysiske systemet et sprang fra minimum til maksimum. I figur 5.11 vises vinkelrespon- sen til aktuatoren, som gir grunnlaget for utregning av overføringsfunksjonen.

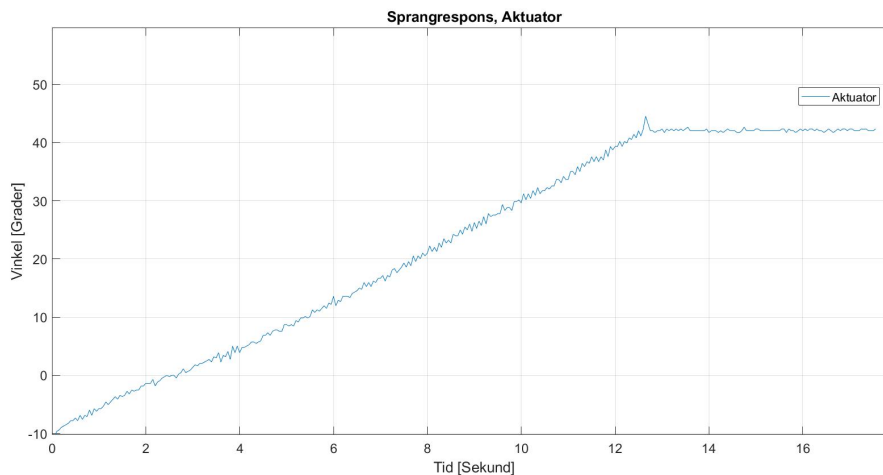


Figure 5.11: Aktuatorens respons.

Sprangresponsen kan benyttes for å komme frem til en overføringsfunksjon for aktuatoren. I figur 5.11 observeres det at responsen er tilnærmet lineær, men bruker litt tid før den oppnår linearitet. Prosessen kan da tilnærmes til en andre ordens prosess med integrator. Overføringsfunksjonen til en andre ordens prosess med integrator er gitt i likning 5.61.

$$h_{ux}(s) = \frac{x(s)}{u(s)} = \frac{1}{T_i s(1 + Ts)} e^{-\tau s} \quad (5.61)$$

Plottet og fremgangsmåten ([15], s.106) om eksperimentell modellering i tidsplanet blir benyttet for å komme frem til overføringsfunksjonen, med T_i vist i likning 5.62.

$$T_i = \frac{\Delta u}{\Delta x} \Delta t \quad (5.62)$$

Det er her nødvendig å finne verdien til Δu , Δx og Δt for å regne seg frem til tidskonstanten T_i . Dette gjøres ved å sette opp linjer for å vise endringene i spranget, pådraget og tiden det tar for aktuatoren å nå det påtrykte sprangets verdi. Spranget settes på fra min til maks, aktuatoren går da fra bunnposisjon til topposisjon med maks pådrag og en observerer hvor lang tid det tar før aktuatoren når toppen av spranget.

Fremgangsmåte:

1. Trekk en vannrett linje for å vise toppen av spranget og prosessen. (Svart linje)
2. Trekk en tangent for å vise den lineære delen av prosessen. (Svart skrå linje)
3. Trekk en loddrett linje i skjæringspunktet til tangenten og den vannrette linjen. (Rød linje)
4. Trekk en vannrett linje der prosessen starter til den røde loddrette linjen. (Grønn linje)
5. Marker skjæringspunktet mellom den grønne linjen og den svarte tangenten.

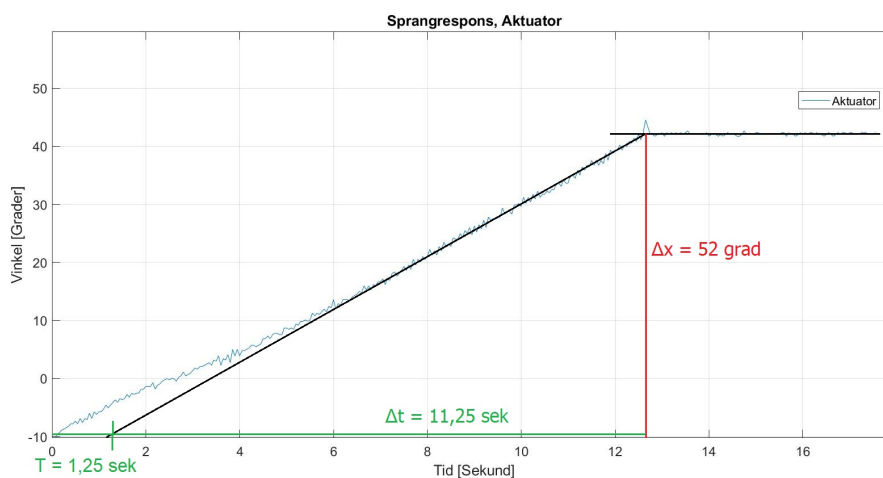


Figure 5.12: Aktuatorens respons, med parametere.

Det er nå mulig å finne verdier for parameterene til overføringsfunksjonen. Tidskonstanten (T) er tiden fra starten av prosessen til skjæringspunktet mellom tangenten og den grønne linjen. Tidsendringen (Δt) vil være tiden fra skjæringspunktet til prosessen når maks verdi. Endringen i pådraget (Δu) vil være 255 bit, siden det er pådraget som påtrykkes på aktuatorens DC-motor. Endringen i prosessverdien (Δx) vil være endringen som prosessverdien plotter, fra bunn til topp, altså $42,5^\circ + 9,5^\circ = 52^\circ$.

Fra figur 5.12 får man verdiene:

$$\Delta x = 52^\circ, \Delta u = 255 \text{ bit}, \Delta t = 11,25 \text{ sek}, T = 1,25 \text{ sek}, \tau = 0 \text{ sek}$$

Fra likning 5.61 og 5.62 kan man nå få verdiene til overføringsfunksjonen:

$$T_i = \frac{\Delta u}{\Delta x} \Delta t = \frac{255 \text{ bit}}{52^\circ} 11,25 \text{ sek} = 55 \frac{\text{bit}}{\text{grader}} \text{sek} \quad (5.63)$$

$$h_{ux}(s) = \frac{1}{55s(1 + 1,25s)} e^{-0s} = \frac{1}{55s(1 + 1,25s)} \quad (5.64)$$

5.2.2 Sprangresponsmetoden

For å kunne sette opp en regulator til systemet er det nødvendig å finne frem til noen regulatorparametere. Siden overføringsfunksjonen nå er kjent og sprangresponsen er tilgjengelig, kan sprangresponsmetoden enkelt benyttes til å regne ut regulatorparametere. Sprangresponsmetoden har en grei oppskrift som skal følges fra avsnitt 2.4.6. Ved hjelp av oppskriften får man kritisk periodetid (T_k) og kritisk forsterkning (K_k), som skal brukes til å regne ut regulatorparametere. Figur 5.13 under viser oppsettet av sprangresponsmetoden.

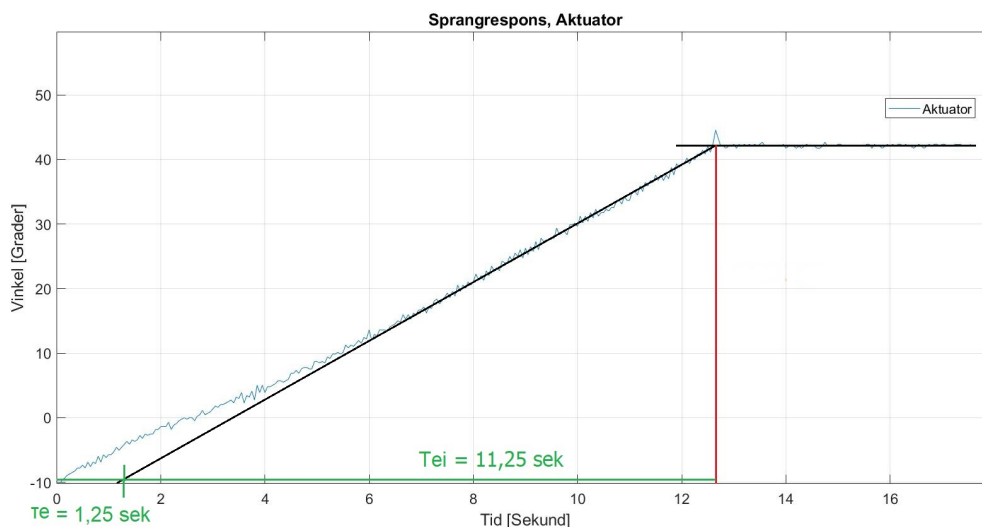


Figure 5.13: Sprangresponsmetoden.

Fra figur 5.13 får man verdiene:

$$T_{ei} = 11,25 \text{ sek}, \quad \tau_e = 1,25 \text{ sek}$$

Formlene fra avsnitt 2.4.6 kan nå benyttes til å regne ut kritisk forsterkning (K_k) og kritisk periodetid (T_k).

Reguleringsystemet til føreren benytter en digital regulator. Den digitale regulatoren er programmert i en mikroprosessor som tilfører en ekstra forsinkelse til systemet. Denne forsinkelsen kalles τ_{reg} og kan tilnærmes på følgende måte ved hjelp av samplingstiden T_s .

$$\tau_{reg} \approx 1,5T_s \quad (5.65)$$

Samplingstiden T_s burde velges ([15], s. 219):

$$T_s < \frac{T_k}{10} \Rightarrow T_s < \frac{5}{10} = 0,5 \text{ sek} \quad (5.66)$$

Fra tommelfingerregelen ([15], s. 219) må samplingstiden bestemmes til mindre enn 0,5 sek. Fra testing av systemet, bestemmes samplingstiden til $T_s \approx 10 \text{ ms}$. Det er nå nødvendig å finne den nye tidsforsinkelsen (τ_e). Deretter kan man regne ut kritisk forsterkning (K_k) og kritisk periodetid (T_k):

$$T_{ei} = 11,25 \text{ sek}$$

$$\tau_e = 1,25 + \tau_{reg} = 1,25 + 1,5 \cdot 0,01 = 1,265 \text{ sek}$$

$$K_k = \frac{2T_{ei}}{\tau_e} = \frac{2 \cdot 11,25}{1,265} = 17,8 \quad (5.67)$$

$$T_k = 4\tau_e = 4 \cdot 1,265 = 5,06 \text{ sek} \quad (5.68)$$

Med likning 5.67 og 5.68 er de nødvendige verdiene oppgitt for å kunne finne frem til noen regulatorparametere. Ziegler Nichol's (ZN) tommelfingerregel kan benyttes fra figur 2.3. Med ZNs-tommelfingerregel kan K_p , T_i og T_d bestemmes på denne måten:

$$K_p = 0,65K_k = 0,65 \cdot 17,8 \approx 11,6 \quad (5.69)$$

$$T_i = 0,5T_k = 0,5 \cdot 5,06 \approx 2,53 \quad (5.70)$$

$$T_d = 0,12T_k = 0,12 \cdot 5,06 \approx 0,6 \quad (5.71)$$

I tillegg til PID parameterene bruker regulatoren en filterkonstant (n) som ofte blir satt som $n = 10$. Aktuatorens overføringsfunksjon 5.2.1 og regulatorparameterene er nå kjent. En kan dermed sette opp reguleringsløyfen for systemet.

5.2.3 Foroverkobling

Det er ikke blitt benyttet en konvensjonell foroverkobling. Det er ikke beregnet et lead-lag element i s-planet, grunnet ulinearitet ved beregninger under vann. Prinsippet som er blitt brukt er det samme som for en foroverkobling, da at en forsøker å forutse endringer i dynamikk som er forårsaket av en forstyrrelse. Videre så blir nødvendige kompenseringer gjort i et forsøk på å nulle ut bidraget fra forstyrrelsen for en ønsket sluttverdi. Grunnet ulinearitet i dynamikken, så er samtlige beregninger gjort i tidsplanet. Det er da likningene 5.21 og 5.57 som beregner nødvendige kompenseringer. Dette er også grunnen for at simulasjonene i avsnitt 5.14 ikke blir gjort med forstyrrelser og foroverkobling. Kompensering for strøm og baneberegninger skjer før reguleringsløyfen for å beregne referansevinkelen som kommer inn i reguleringsløyfa.

5.2.4 Simulering

Reguleringsløyfen får inn en ønsket vinkel (α_ϕ). Denne vinkelen er regnet ut av en ønsket sluttposisjon for erten. Utregningene blir gjennomgått i underkapittel 5.1. Etter inputen av den ønskede vinkelen, går det inn på en regulator som skal gi ut et regulert pådrag (u) som er nødvendig for å kunne regulere aktuatoren til den ønskede vinkelen. Vinkelen som oppstår av aktuatorens prismatiske bevegelse er prosessverdien (α). Prosessverdien blir så målt av en vinkelsensor som er plassert på enden av fôrerer, og skal til enhver tid måle prosessverdien for å kunne gi informasjon til regulatoren om nødvendig regulering til aktuatoren. Det som kommer inn på regulatoren er et avvik (e) mellom ønsket vinkel og prosessverdi. Dette er systemets tilbakekobling, og blir forklart i avsnitt 2.4.1.

Regulatorforsinkelsen ble beskrevet i avsnitt 5.2.2, og inneholder en forsinkelse $\tau_{reg} = 225 \text{ ms}$. Saturasjonene er satt inn for å forhindre at verdiene skal overstige maksverdien i virkeligheten. Omgjøringen er basert på matematiske utregninger fra avsnitt 3.4.2 og gjør om innsignalet (α_ϕ) fra grader til bit, siden regulatoren og aktuatoren jobber i bit/grader, se likning 5.72-5.75. Aktuatoren har innebygd omgjøringen til grader, slik at utsignalet (α) vil ende i grader. Figur 5.14 under viser et bilde av SIMULINK-blokkdiagrammet som blir brukt for simulasjoner av prosessverdien og dens forløp. Vedlagt i ZIP-filen ligger samtlige MATLAB- og SIMULINK-skript som er benyttet for simulasjonene.

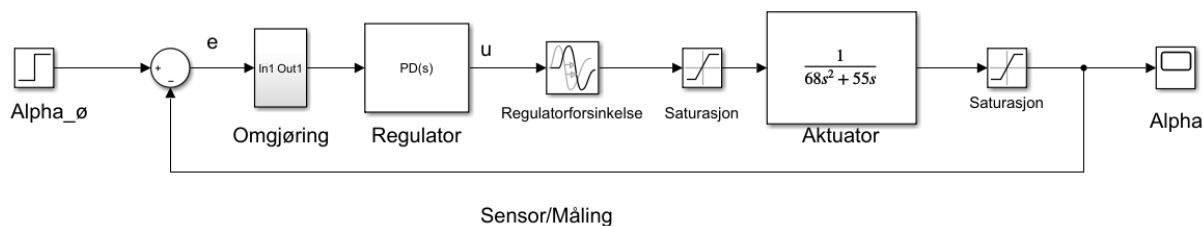


Figure 5.14: Reguleringsløyfe.

Likningen i subsystem-blokken, omgjøring, løses der $G_x = \frac{val}{256}$ og $G = 0,98$ kommer fra databladet til vinkelsensoren fra avsnitt 3.4.2. Løser likningen for sensorens målte verdi, val i likning 5.74. Siden vinkelsensoren jobber med vinkler i radianer, må vinkelen α gjøres om til radianer ved hjelp av $\frac{\pi}{180}$ og får likningen vist i 5.75.

$$G_x = G \sin(\alpha) \quad (5.72)$$

$$\frac{val}{256} = G \sin(\alpha) \quad (5.73)$$

$$val = 256 \cdot G \sin(\alpha) \quad (5.74)$$

$$val = 256 \cdot G \sin\left(\alpha \frac{\pi}{180}\right) \quad (5.75)$$

For å kunne simulere forløpet til prosessen må noen parametere være kjent. SIMULINK har sin egen innebygde regulatorblokk på parallell-form. Dermed er ikke parameterene til blokken de samme som for sumform, som blir benyttet til å regne ut K_p , T_i og T_d i avsnitt 5.2.2. Ved hjelp av utregningene fra avsnitt 2.4.4 kan parameterene bestemmes. Siden verdier fra sprangresponsmetoden er kjent fra likning 5.69-5.71. Kan omgjøringen til SIMULINK-parametere benyttes ved å bruke likning 2.10-2.13. Ut fra de kjente verdiene og omgjøringen kommer parameterene:

$$P = K_p = 11,6 \approx 12$$

$$I = \frac{K_p}{T_i} = \frac{11,6}{2,53} = 4,58 \approx 4,6$$

$$D = K_p T_d = 11,6 \cdot 0,6 = 6,96 \approx 7$$

$$N = \frac{n}{T_d} = \frac{10}{0,6} \approx 17$$

Siden aktuatorens overføringsfunksjon inneholder en integrator, er det ikke nødvendig å benytte en regulator med integrasjonstid (I). Det kan dermed sees bort fra PI- og PID-regulator. Regulatoren som skal benyttes trenger P, D og N for å kunne benytte P- og PD-regulator. Dersom systemet sammenlignes med to forskjellige regulatorer, en med PD-regulator og den andre en (ren proporsjonalregulator) P-regulator, kan det konkluderes med hvilken regulator som vil passe systemet best. I figur 5.15 under vises sammenligningen av de to regulatoralternativene. Der den røde grafen er P-regulator og den blå grafen er PD-regulatoren.

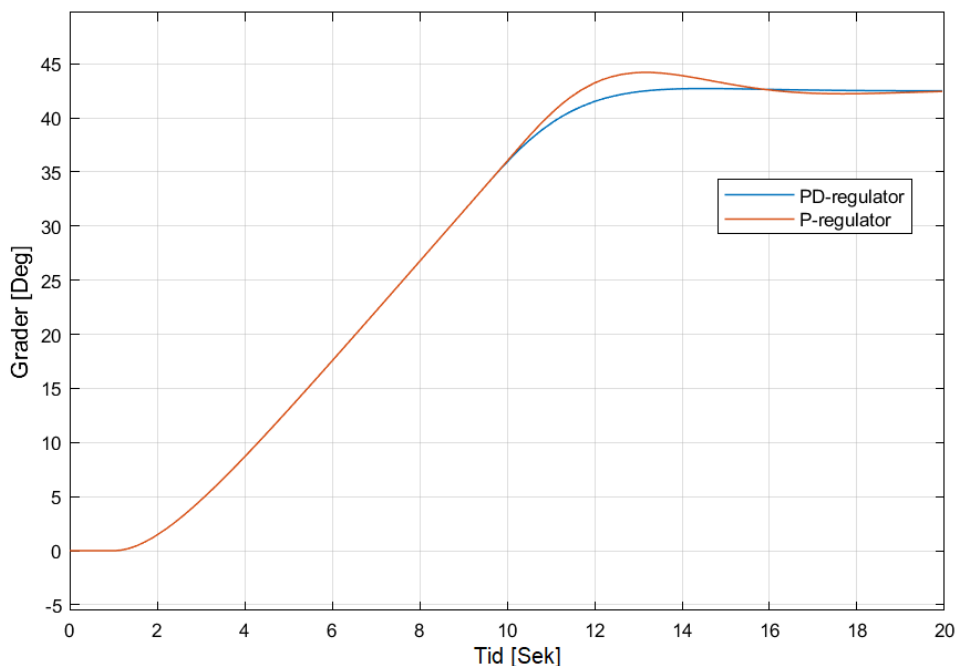


Figure 5.15: P-regulator vs PD-regulator.

Basert på sammenlikningen fra figur 5.15 kan et valgt av regulator begrunnes. P-regulatoren har et oversving som fører til at prosessen vil bruke litt lengre tid for å stabilisere seg til settpunkt. Innsvigningsforløpet med PD-regulator går raskere og rett til settpunkt, med et veldig lite oversving. På bakgrunn av sammenlikningen blir det valgt å benytte en PD-regulator, siden det er ønskelig å få et innsvigningsforløp uten oversving og så raskt som mulig oppnå stasjonsverdi.

Når $P = 12$, $D = 7$ og $N = 17$ settes inn og forløpet til prosessen blir simulert, vil forløpet som nevnt få et lite oversving. Det er ønskelig å neglisjere oversvinget helt og endrer derfor derivattiden til $D = 9$. Når det påtrykkes et sprang på $42,5^\circ$ blir resultatet et fint innsvigningsforløp for prosessen. Se figur 5.16

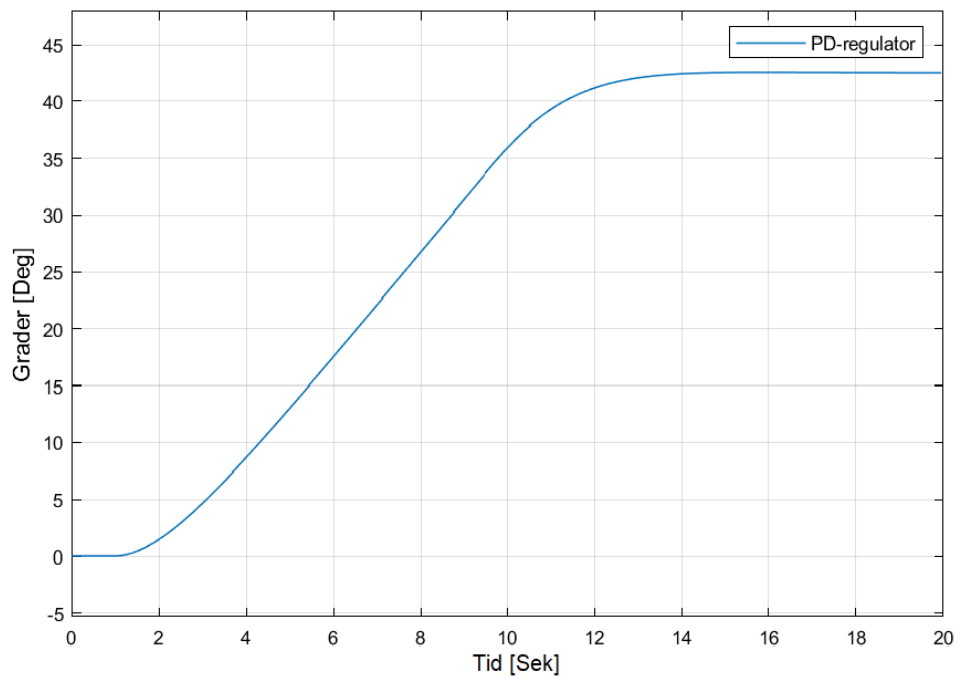


Figure 5.16: Prosessens simulerte forløp.

5.2.5 Digitale-filtre

Et ratefilter er brukt på pådraget til reguleringsløyfen. Rate-filteret setter maksgrense på endringen i målesignalet. Ved å kun tillate en viss endring i signalet vil store pulser i signalet bli neglisjert. Ratefilteret tillater systemet en høyere forsterkning uten å bli ustabil. Vist i figur 5.17 er pådrag vis med filter. Uten filter med samme forsterkning vil pådraget bli ustabil vist i figur 5.19 (Strømmen til riggen ble tatt rett før 10 sekunder).

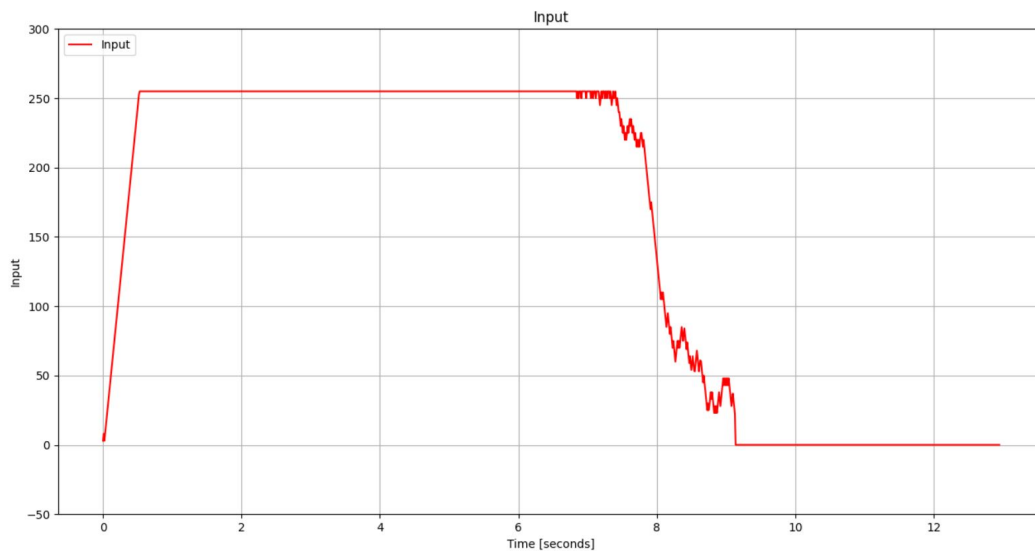


Figure 5.17: Pådrag med ratefilter

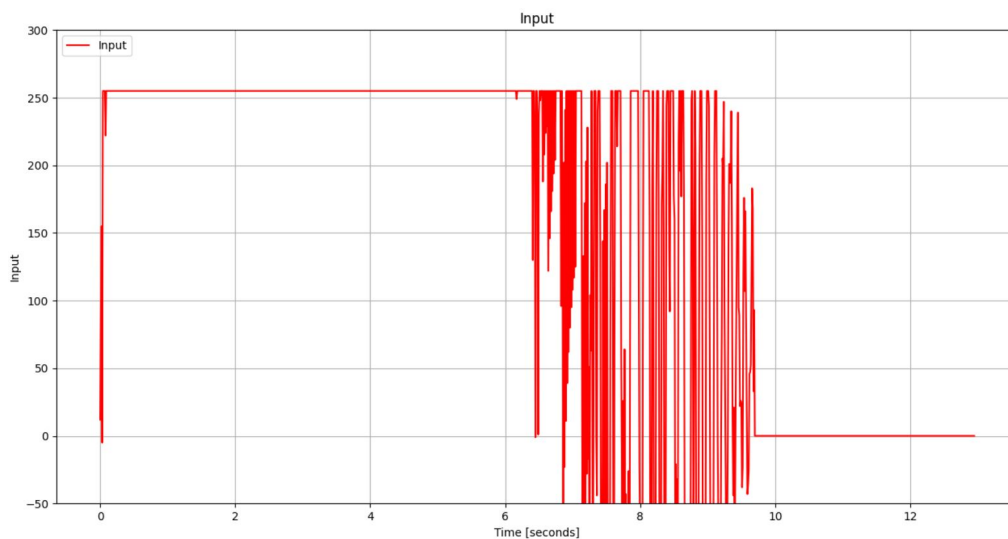


Figure 5.18: Pådrag uten ratefilter

Målingene fra akselerometeret inneholdt litt høyfrekvent støy på signalet. For å minimere effekten av støy på prosessverdien ble det programert et digitale filter for målingene. Et gjennomsnittsfiler ([9] s.321). Filtret ble kodet inn som funksjoner i master-arduinoen. Gjennomsnittsfileret bruker de 17 siste målingene og returnerer gjennomsnittet av disse. Ved oppstart blir tidligere målinger satt lik første måling for å unngå store pulser i pådrag som kan oppstå hvis verdiene hadde vært null. Målet med gjennomsnittsfileret er å glatte ut målesignalet. Det virker som et lavpassfilter ved å redusere de høye frekvensene på signalet. Figur 5.19 viser målesignalet uten filtrering og figur 5.20 viser signalet med filtrering. Sett fra grafene er det mulig å se litt effekt fra filteret. Ved å ta gjennomsnittet av et større antall målinger vil støyen kunne minimeres ytterligere, men støyen merkes ikke på systemet.

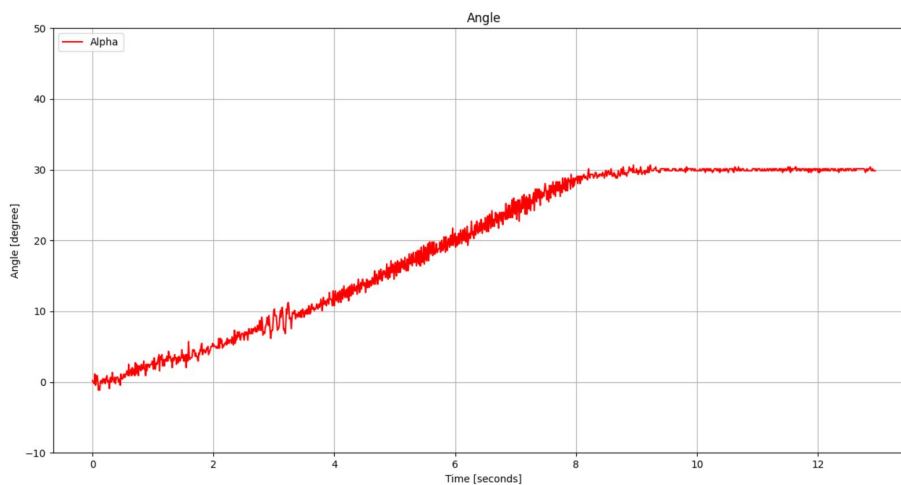


Figure 5.19: Vinkelrespons uten filter

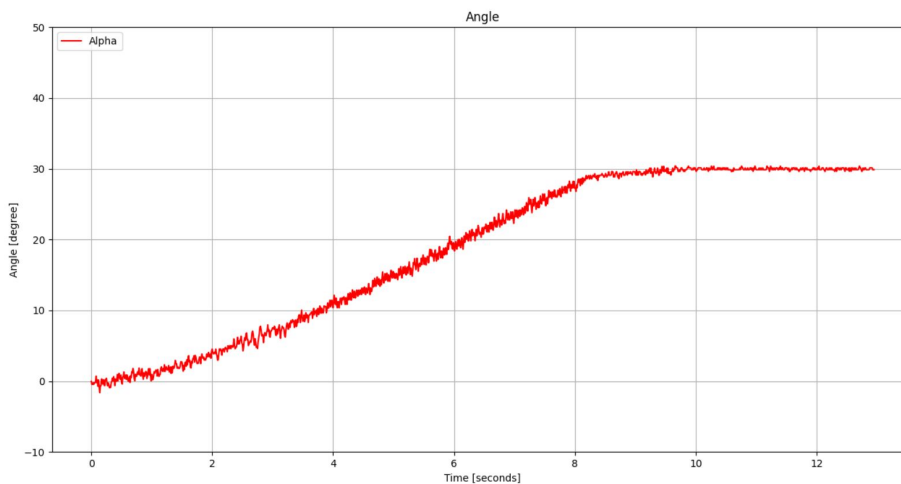


Figure 5.20: Vinkelrespons med filter

Tidligere i avsnitt 2.4.5 ble det gått gjennom en metode for å motvirke derivatpark. En tilleggs metode for å redusere derivatpark enda mer er å gradvis øke referansen, slik at referansen ikke endrer seg som en steg-funksjon. Det brukes et eksponentielt filter på settpunktet for å oppnå dette. Filteret glatter ut endringer i referansen til en eksponentialfunksjon med tidskonstanten T_f ([9], s.303). Filteret er implementert som vist i likning 5.76, hvor T_f er satt til 0,5. Figur 5.21 viser referansen påtrykt et steg på 30° i $t = 0$ etter filteret.

$$\bar{r}_n = e^{\frac{T}{T_f}} \bar{r}_{n-1} + (1 - e^{\frac{T}{T_f}}) r \quad (5.76)$$

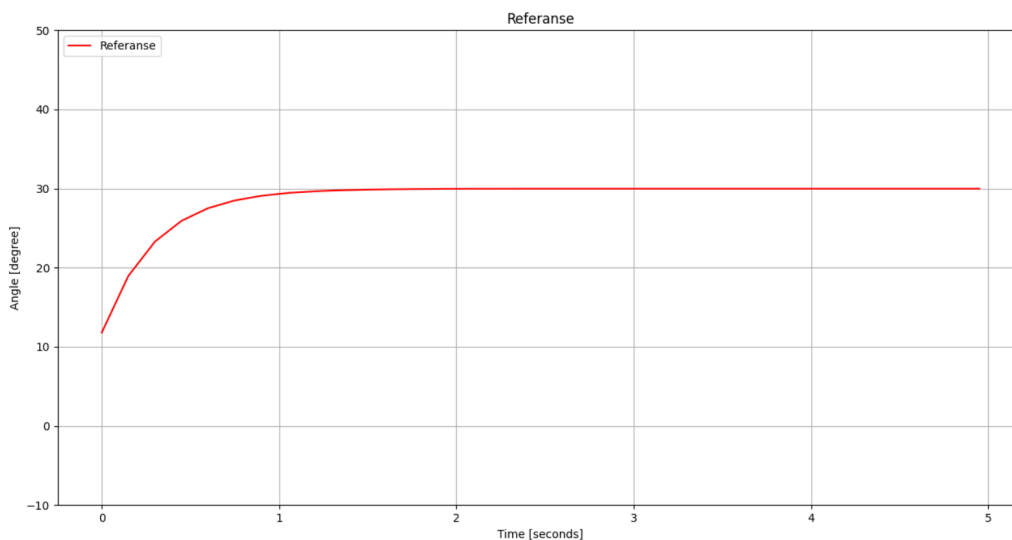


Figure 5.21: Filtret steg-respons

5.2.6 Implementering av reguleringsystem

Ved hjelp av alle avsnittene over kan det fysiske reguleringsystemet settes sammen og testes. Fra avsnitt 5.2.4 ble det begrunnet og valgt PD-regulator. Der figur 5.15 viste fordelene og hensikten med valg av PD-regulator fremfor P-regulator. På bakgrunn av dette ble det utformet en digital PD-regulator 2.4.5, som blir brukt i programvaren. Fra avsnitt 5.2.4 kommer det frem parametere for PD-regulatoren.

$$K_p = 12 \quad T_d = 0,9 \quad n = 10$$

Etter testing og etterjustering på den fysiske reguleringsløyfen ([15], s.54), ble parametrene justert til.

$$K_p = 18 \quad T_d = 0,9 \quad n = 10$$

Når systemet blir påsatt et sprang fra 0° til $42,5^\circ$, som ved prosessforløpet fra figur 5.16, får systemet følgende innsvigningsforløp.

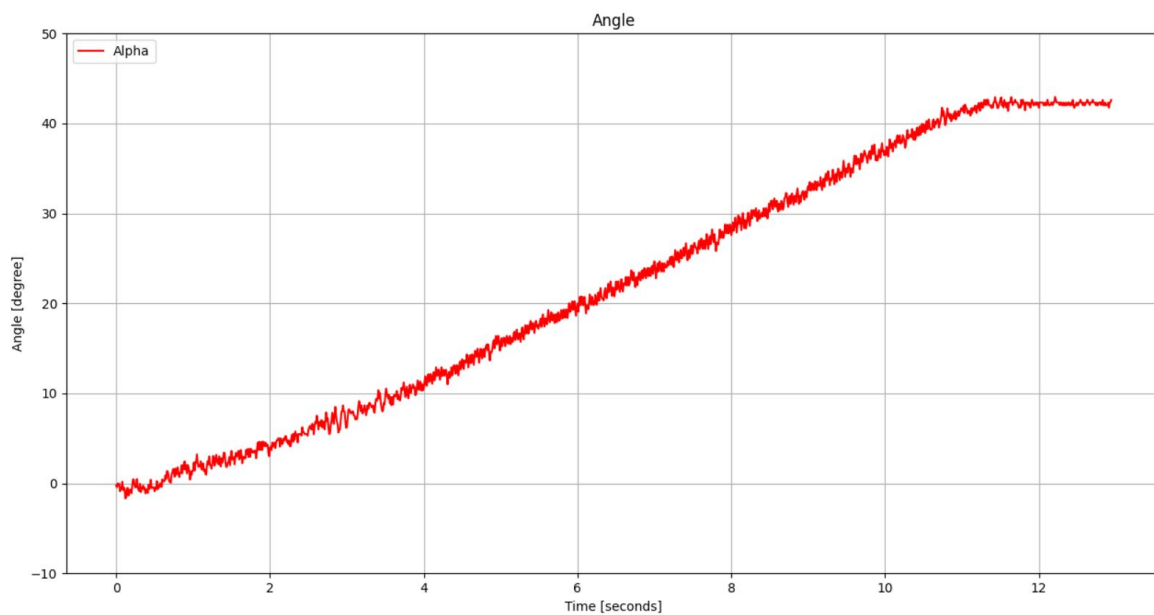


Figure 5.22: Responsen til reguleringsløyfe

Førerer bruker ca. 11 sekunder til å nå toppen av spranget, mens simulasjonene fra figur 5.16 i avsnitt 5.2.4 brukte ca. 12 sekunder. Dette kan skyldes tilnærmingen av overføringsfunksjonen, filtre og litt justerte regulatorparametere.

5.3 Software

5.3.1 Oppsett

For å realisere kontrollsystemet har det blitt tatt i bruk to arduinoer, samt lagd en konsollapplikasjon i python. Det blir benyttet en arduino mega som hoveddatabehandlingsenhet. Denne skal stå for utregninger, innhenting av data og regulering av aktuatoren. Det brukes en arduino nano til å styre stepper motoren. Denne settes opp som en slavenode og styres av master arduinoen ved hjelp av enkle kommandolinjer. Konsollapplikasjonen i python er tatt i bruk for å kunne manipulere parametere i hoveddatabehandlingsenheten uten å måtte laste opp koden på nytt. Det er valgt å benytte to mikrokontrollere slik at oppgavene kan bli utført parallelt. Se vedlagte kodefiler for full kode med kommentarer.

5.3.2 Kommunikasjon

Det blir benyttet to former for kommunikasjon i kontrollsystemet, I2C busskommunikasjon mellom master- og slave-arduino, samt akselerometer-enhet. I tillegg til serial kommunikasjon mellom PC-applikasjon og master-arduino.

Det ønskes en robust og pålitelig kommunikasjon mellom enhetene i systemet. Derfor er det satt opp en tilpasset kommunikasjonsprotokoll mellom PC og master-arduino. Masteren tar i mot meldinger med fast struktur fra konsollapplikasjonen. Meldingene deles opp i to eller tre deler. Den første delen av meldingen er en kommando som brukes til å definere hvilken enhet/variabel som skal brukes/endres. Med utgangspunkt i kommandovariabelen blir det resterende av meldingen satt opp i en eller to datavariabler. Den første byten i hver melding er alltid lik, og definerer starten på en ny melding. Siste byte er sluttbetingelsen, den forteller programmet at meldingen er ferdig. Meldingene blir besvart fra master-arduino med en verifikasjonsbyte for mottatt melding. Kommunikasjonsstrukturen er vist i figur 5.23.

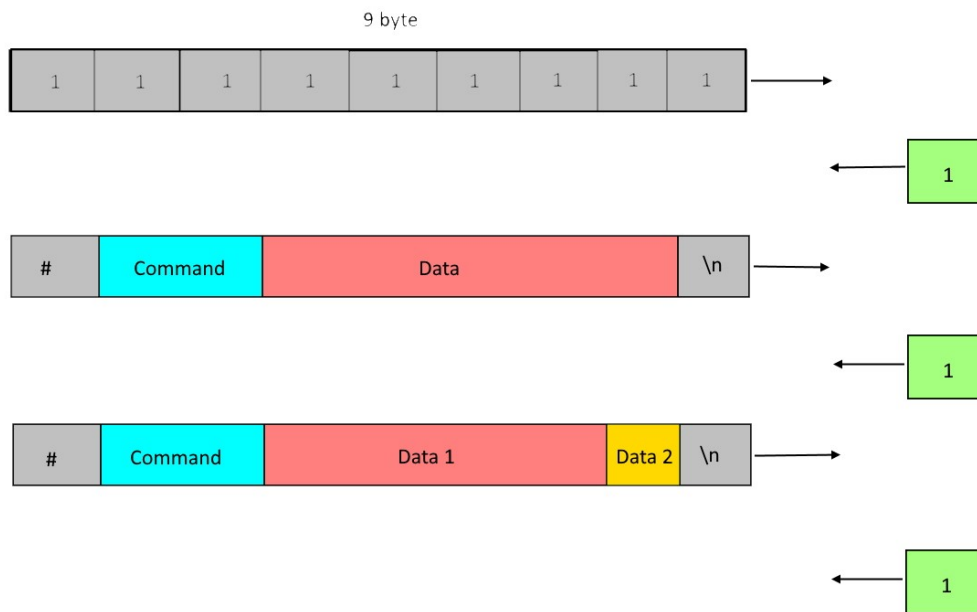


Figure 5.23: Kommunikasjons struktur PC-master

Kommunikasjonen mellom master og slave er satt opp på en annen måte. Grunnen til dette er at det ikke trengs en kommando, grunnet at slaven bare utfører én oppgave. I tillegg til at strengmanipulasjon i arduino er mer komplisert enn i python. Derfor sendes verdiene for rotasjon og retning til stepper med en definert byte mellom verdiene. Et array loopes gjennom og deler opp arrayet ved denne byen. Figur 5.24 viser oppsettet for meldinger sendt til slaven.

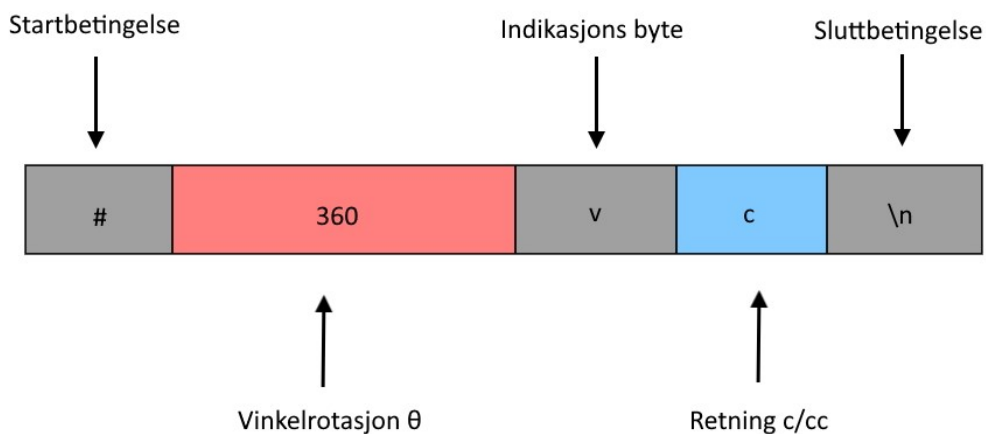


Figure 5.24: Kommunikasjons struktur master-slave

5.3.3 Funksjonalitet

For at føreren skal kunne fungere som tiltenkt, er det nødvendig at kontrollsystemet har tilstrekkelig funksjonalitet. Hovedoppgavene til kontrollsystemet er først og fremst å stille inn θ - og α -vinklene.

Master-arduinoen utfører mange oppgaver. Den digitale regulatoren fra 2.4.5, filtrene fra 5.2.5 og de matematiske utregningene for ønsket vinkel i 5.1.3 er implementert som funksjoner i master-enheten. Sammen med funksjoner for innhenting og prosessering av data fra akselerometeret, samt en funksjon for styring av lineær aktuator med pådraget fra regulator. Dette brukes til automatisk regulering av det totale systemet, kodeoppsettet er vist i listing 1.

Listing 1: Automatisk regulering av utskytningsvinkel

```

1 //sets curMillis to milliseconds since arduino start
2 curMillis = millis();
3 //time between last sample is bigger/equal to sampleTime
4 if (curMillis - prevMillis >= sampleTime) {
5   //retriving data from accelometer
6   alpha = get_alpha();
7   //filter angle data
8   fAlpha = filter(alpha);
9   //under water calculatoins
10  p0xx = under_water();
11  //over water calculatoins
12  calcAlpha = over_water(p0xx);
13  //setPoint filter
14  setPoint = pre_filter(calcAlpha);
15  //Regulator, regulating the prosess input
16  prosInput = regulator(fAlpha, setPoint, calcAlpha);
17  //send signals to actuator
18  control_motor(prosInput);
19  //sets last sample
20  prevMillis = curMillis;
21 }

```

θ justeres av en steppermotor som vist i avsnitt 4.2.3. Steppermotoren kjører basert på hvor mange pulser den mottar. For å kunne bruke den til å kjøre til en ønsket vinkel, må en først finne ut forholdet mellom antall pulser og vinkel. Dette gjøres ved å først sjekke hvor mange pulser den måtte ha for å kjøre 360° , dele svaret med 360 for å finne hvor mange pulser som kreves for å rotere én grad. Deretter gange med forholdet mellom antall tenner på tannhjulene, for å få rotasjonen overført fra steppermotoren til røret. Gjennom uttesting ble det funnet ut at 1600 pulser tilsvarte ca. 360° rotasjon på steppermotoren. Hele regnestykket ser slik ut.

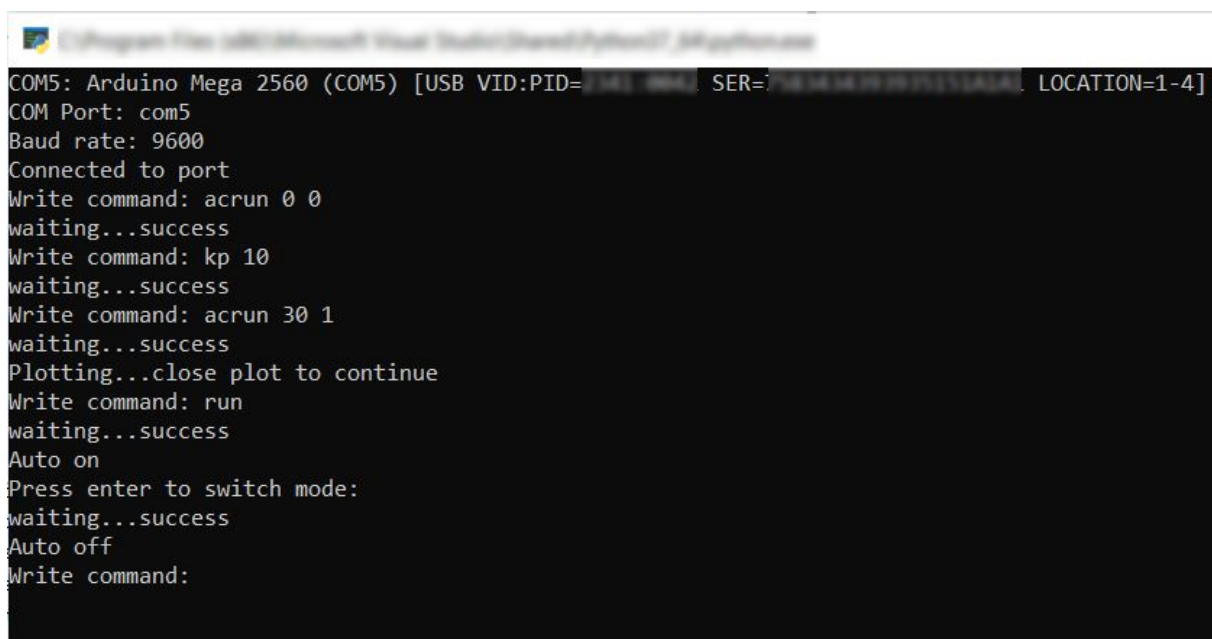
$$steps = \theta \cdot \frac{1600 \text{ pulser}}{360^\circ} \cdot \frac{60 \text{ tenner}}{28 \text{ tenner}} \approx \theta \cdot 9,52381 \frac{\text{pulser}}{\text{grader}} \quad (5.77)$$

Kjøringen basert på pulser blir realisert gjennom en for-løkke, som looper antallet pulser som ble regnet ut i likningen over (5.77). Det er også lagt inn en forrigling som skal forhindre steppermotoren å kjøre lengre enn 180° til hver av sidene. Dette er av hensyn til kablene som går til lineæraktuatoren og akselerometeret. Fullstendig kode ligger vedlagt i ZIP-filen.

For å få et brukergrensesnitt, er det tatt i bruk en python konsollapplikasjon. Dermed kan man utføre endringer mens systemet kjører. Funksjonalitet fra et brukergrensesnitt er nyttig i flere sammenhenger. Først og fremst muligheten til å kjøre og stoppe føreren. Annen funksjonalitet inkluderer manipulasjon av parametere. Mange parametere i den matematiske modellen jobbes med under testing. Det er derfor nyttig å kunne endre parametere uten å måtte laste over ny kode etter hver endring. For etterjustering av reguleringsløyfa til lineæraktuator er det nyttig å kunne justere reguleringsparametere underveis.

For justering av reguleringsløyfa er det som nevnt nyttig å kunne justere reguleringsparametere, men det er også viktig å kunne teste parameterene og lese data. Derfor er det kodet inn mulighet for å teste sprangresponsen til reguleringsløyfen uten beregninger for α , med plotting av vinkelforløpet til føreren etter innsvingning. Denne funksjonen benyttes ved å skrive en kommando, referansevinkel og $1/0$ om det ønskes plott eller ikke. Dette ble brukt for etterjustering av reguleringsløyfa. Tiden til forløpet som skal plottes kan endres i applikasjonen.

For kjøring av steppermotor er det lagd en kommando som kjører steppermotoren i en ønsket retning med en rotasjon i ønsket vinkel θ . Se vedlegg for hele kommandolisten for konsollapplikasjon med beskrivelse. Figur 5.25 illustrerer bruken av konsollen. For å se alle implementerte kommandoer, se vedlagt tabell.



```
COM5: Arduino Mega 2560 (COM5) [USB VID:PID=0x03f0:0x8399 SER=XXXXXXXXXXXXXXXXX LOCATION=1-4]
COM Port: com5
Baud rate: 9600
Connected to port
Write command: acrun 0 0
waiting...success
Write command: kp 10
waiting...success
Write command: acrun 30 1
waiting...success
Plotting...close plot to continue
Write command: run
waiting...success
Auto on
Press enter to switch mode:
waiting...success
Auto off
Write command:
```

Figure 5.25: Konsoll

6 Testing

6.1 Utskytningsobjektets egenskap

Utskytningsobjektet som blir benyttet er en tørket ert. Likningene for dynamikken til føreren er avhengig av noen kjente egenskaper til utskytningsobjektet. For å gjøre utregningene lettere, tilnærmes erten som en kule. Dynamikken trenger ertens masse, volum og tverrsnittsareal.

6.1.1 Testoppsett

Ertens masse

Ertens masse er essensiell for utregninger under vann. For å kunne måle massen til erten blir det benyttet en matvekt. Siden ertens masse er relativt liten og en matvekt ikke vil måle nøyaktig nok til å kunne måle små masser som én og én ert. Vil det være nødvendig å måle flere ertes og ta gjennomsnittet av massen til hver måling. For å teste repeterbarhet tas det flere målinger, og på denne måten få det beste resultatet på én erts masse. Ertene helles i en boks. For hver måling brukes forskjellig antall ertes og ertene skiftes ut for hver måling. Den totale vekten av ertene blir skrevet ned før antall arter blir telt. Resultatet av testen blir presentert i avsnitt 6.1.2.

Ertens volum og tverrsnittsareal

For å beregne volumet og tverrsnittsarealet til ertene må radien måles. For å gjøre dette benyttes en skyvelære til å måle diameteren til 50 ertes. Det blir gjort to målinger per ert, hvor det er forsøkt å måle de to diameterene til erten som har størst variasjon i forhold til hverandre. Deretter blir diameteren for en ert satt til gjennomsnittet av disse to målingene. Dette blir gjort siden én ert ikke er en perfekt kule. Beregningene for volum og tverrsnittsareal benytter velkjente formler for volumet til en kule og arealet til en sirkel.

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3 \quad (6.1)$$

$$A = \pi r^2 = \frac{1}{4}\pi d^2 \quad (6.2)$$

6.1.2 Resultat

Ertens masse

Det ble gjort seks målinger der resultatene ble som følger:

| Måling | Antall | Total vekt [gram] | Gjennomsnitt vekt [gram] |
|--------|--------|-------------------|--------------------------|
| 1 | 113 | 30 | 0,265 |
| 2 | 124 | 34 | 0,274 |
| 3 | 87 | 23 | 0,264 |
| 4 | 159 | 44 | 0,277 |
| 5 | 188 | 50 | 0,266 |
| 6 | 70 | 19 | 0,271 |

Table 6.1: Målinger for ertens masse.

Resultatet fra hver måling er gjennomsnittlig vekt for én ert i dens måling. For å finne gjennomsnittet for én ert for alle målingene, summeres alle de gjennomsnittlige vektmålingene og deler på antallet.

$$n = 6$$

$$m = 0,265 + 0,274 + 0,264 + 0,277 + 0,266 + 0,271 = 1,617 \text{ gram} \quad (6.3)$$

$$m = \frac{m}{n} = \frac{1,617}{6} = 0,2695 \text{ gram} \quad (6.4)$$

Fra utregningene blir hver enkelt ert sin masse $m = 0,2695 \text{ gram} = 2,695 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$. Verdiene blir benyttet i utregningene for den matematiske modellen under vann.

Ertens volum og tverrsnittsareal

Resultatet fra målingene er presentert i vedlegg 10.2. Gjennomsnittet av disse målingene ender opp på omlag $6,615 \text{ mm}$, eller $6,615 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. Ved hjelp av formlene 6.1 og 6.2, kan det gjennomsnittlige volumet, samt det gjennomsnittlige tverrsnittsarealet beregnes. Disse verdiene kommer på henholdsvis $1,5156 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$, og $3,4368 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$. Verdiene blir benyttet i den matematiske modellen for dynamikken under vann.

6.2 Startfart og trykk

6.2.1 Testoppsett

De matematiske beregningene fra avsnitt 5.1.1 er avhengig av en kjent startfart. Farten til erten som blir skutt ut, er avhengig av hvilket trykk som blir påført systemet. Det må derfor bestemmes et trykk før startfarten kan beregnes. Testoppsettet er bygd opp relativt simpelt, og i figur 6.1 er det et bilde av testoppsettet. Ved hjelp av en hvit tavle, et rutenett og et kamera kan resultatet dokumenteres og valgene begrunnes. Førerens munning blir satt ved starten av den hvite tavlen. På den hvite tavlen er det et rutenett som gjør det enklere å se lengden erten blir skutt, når videoen studeres i etterkant. Hver rute i rutenettet er 30x30 cm og har en total lengde på 120 cm. Nederst horisontalt på tavlen er det trekt en linje for å markere høyden på tanken. Horisontallinjen skal gi svaret på når og hvor erten vil treffe vannet i tanken.

For å studere resultatene er utskytningene filmet i sakte film, ca. 240 FPS. Resultatene blir dokumentert i en tabell i excel. Testene inneholder fem ertes og gjennomføres flere ganger for å se på repeterbarheten til utskytningene. Resultatene blir presentert, forklart og drøftet i henholdsvis avsnitt 6.2.2 og 6.2.3.

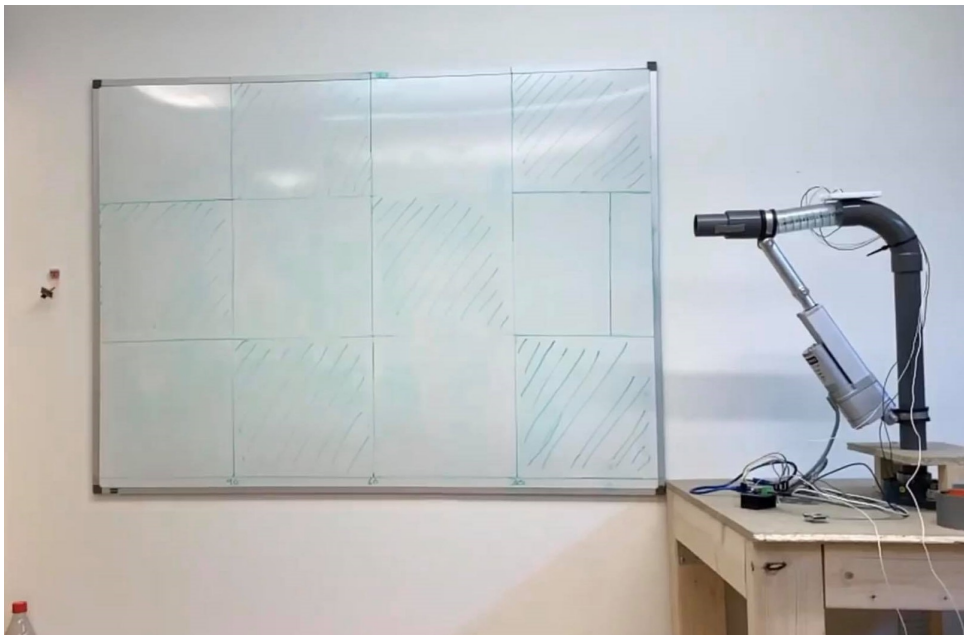


Figure 6.1: Testoppsett for bestemmelse av trykk og utregning av startfart.

6.2.2 Resultat

Trykk

For å gjøre resultatene fra testen oversiktlig og ryddig er det blitt benyttet et excel-dokument som inneholder verdier og informasjon om hver enkelt måling fra testene. Det blir gjort fem målinger for hvert trykk. Det blir benyttet trykk fra 0,5 bar til 0,8 bar. Der antall ertter som kommer ut blir dokumentert, samt en ca. lengde erten flyr.

Dersom tabellen studeres er det informasjon om nummer på måleserien og distansen ertene tilbakela. I målingene for 0,5 bar, tabell 6.2, er det en overrepresentering av ertter som havner mellom 0-30 cm eller ikke kom ut av fôrerer. Dette er ikke ønskelig. Velger derfor å foreta tester ved 0,6 bar.

| Måling [0,5bar] | 120+ cm | 90-120 cm | 30-90 cm | 0-30 cm | Kom ikke ut |
|--------------------|---------|-----------|----------|---------|----------------|
| 1 | - | - | - | 4 | 1 |
| 2 | - | - | - | 3 | 2 |
| 3 | - | 1 | - | 3 | - |
| 4 | - | - | - | 4 | 1 |
| 5 | - | - | 3 | 2 | - |

Table 6.2: Utskytninger med 0,5 bar.

For de neste fem måleseriene med 0,6 bar, tabell 6.3, kommer det frem at ertene generelt tilbakelegger en lengre distanse, selv om det er en del som fortsatt blir skutt ganske kort. På denne måten vil det gi et godt grunnlag for å tro at dersom trykket økes litt, vil målingene bli enda bedre med tanke på utskytningsdistansen. Derfor tas det fem nye måleserier med 0,7 bar og studerer resultatet.

| Måling [0,6bar] | 120+ cm | 90-120 cm | 30-90 cm | 0-30 cm | Kom ikke ut |
|--------------------|---------|-----------|----------|---------|----------------|
| 6 | 4 | - | - | 1 | - |
| 7 | 1 | - | 2 | 2 | - |
| 8 | - | 2 | 2 | 1 | - |
| 9 | 1 | 1 | - | 2 | - |
| 10 | 1 | 2 | - | 2 | - |

Table 6.3: Utskytninger med 0,6 bar.

De fem måleseriene for 0,7 bar kan studeres ved å se på tabell 6.4 nedenfor. I tabellen observeres det at ertene nå blir skutt betydelig lengre. Dersom lengden erten flyr studeres, kommer det frem at ertene har god lengde og virker å være litt mer repetitive. Måleserien har to erters som flyr ganske kort (11 og 12), men dette kan skyldes dynamikken i rørene. Så langt er 0,7 bar det beste trykket. For å kunne verifisere om 0,7 bar vil være optimalt, eller om et annet trykk kan gi bedre målinger, er det nødvendig å ta fem nye måleserier ved 0,8 bar.

| Måling [0,7bar] | 120+ cm | 90-120 cm | 30-90 cm | 0-30 cm | Kom ikke ut |
|-----------------|---------|-----------|----------|---------|-------------|
| 11 | 4 | - | - | 1 | - |
| 12 | 2 | 2 | - | 1 | - |
| 13 | 2 | 2 | 1 | - | - |
| 14 | 1 | 4 | - | - | - |
| 15 | 1 | 4 | - | - | - |

Table 6.4: Utskytninger med 0,7 bar.

Nedenfor i tabell 6.5, er en oversikt over de fem måleseriene for 0,8 bar. Dersom disse studeres kan det konkluderes med at de fleste ertene flyr godt ut av fôrerer. De to ertene som trillet ut i måling 16, kan kalles en rask trilling siden intervallet de krysset x-aksen var en annen plass en de ertene som triller normalt ut. Dette kan skyldes det samme som ved 0,7 bar, dynamikken i rørene. Studeres lengden ertene skytes ut kan det konkluderes med at dette også er et godt trykk for utskyting, og virker å være repetitive som ved 0,7 bar.

| Måling [0,8bar] | 120+ cm | 90-120 cm | 30-90 cm | 0-30 cm | Kom ikke ut |
|-----------------|---------|-----------|----------|---------|-------------|
| 16 | 3 | - | 2 | - | - |
| 17 | 4 | 1 | - | - | - |
| 18 | 1 | 3 | 1 | - | - |
| 19 | 3 | 2 | - | - | - |
| 20 | 3 | - | 2 | - | - |

Table 6.5: Utskytninger med 0,8 bar.

Etter måleserien vil det ikke være behov for uttesting ved høyere trykk en 0,8 bar, siden lengden og størrelsen på testoppsette ikke har mulighet for lengre utskytninger enn det som blir realisert med de allerede uttestede trykkene. En drøfting og konklusjon av målingene vil komme i avsnitt 6.2.3.

Startfart

Ved hjelp av bevegelseslikningen for konstant fart 6.5, kan startfarten regnes ut ved å studere filmsnuttene som blir tatt av målingene. Det blir i dette tilfelle kun foretatt beregninger på målinger ved 0,7 bar trykk, siden dette var det mest optimale trykket ut fra måleseriene over. Videoene filmens i 240 FPS og gjøres om til 30 FPS ved avlesning i videoredigeringsprogramet VideoPad. Dette gjør at videoene vil være åtte ganger lengre enn virkeligheten. Dette blir tatt hensyn til i utregningene under. Resultatet presenteres i tabell 6.6 under.

$$v = \frac{s}{t} \quad (6.5)$$

| Måling [5 erters] | Tid ved munning [s] | Tid 10 cm fra munning [s] | Fart [$\frac{m}{s}$] |
|-------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| 11 | - | - | 3,92 |
| 12 | - | - | 3,84 |
| 13 | - | - | 3,36 |
| 14 | - | - | 4,08 |
| 15 | - | - | 3,6 |

Table 6.6: Startfart for utskytning med fem erters.

I tabellen er det tatt gjennomsnittet fra startfarten til de fem ertene. Derfor vil ikke den gjennomsnittlige farten til målingene variere så mye som ved én og én ert. Farten til målingene varierer med +8,6 % og -10,6 % fra den gjennomsnittlige hastigheten fra alle målingene. Den gjennomsnittlige hastigheten av de 25 ertene er vist under.

$$v_0 = \frac{3,92 + 3,84 + 3,36 + 4,08 + 3,6}{5} = 3,76m/s \quad (6.6)$$

Det ble utført en tilleggstest som benyttet utskytning av én og én ert. Resultatet blir dokumentert i en tabell som ved fem erters, vist under. Gjennomsnittlig startfart til ertene er beregnet i likning 6.7.

| Måling [1 ert] | Tid ved munning [s] | Tid 10 cm fra munning [s] | Fart [$\frac{m}{s}$] |
|----------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| 21 | 8,07 | 8,31 | 3,36 |
| 22 | 2,35 | 2,52 | 4,72 |
| 23 | 7,64 | 8 | 2,4 |
| 24 | 10,79 | 10,98 | 4,48 |
| 25 | 6,03 | 6,3 | 3,04 |

Table 6.7: Startfart for utskytning med én ert.

$$v_0 = \frac{3,36 + 4,72 + 2,4 + 4,48 + 3,04}{5} = 3,6\frac{m}{s} \quad (6.7)$$

6.2.3 Drøfting og konklusjon

Det ble utført litt få målinger ved hvert trykk. Selv om man ser tendenser i resultatet, hadde flere målinger hjulpet for å minimere usikkerheten. Det ble tatt hensyn til dette senere i testene.

Trykk

Fra resultatet i avsnitt 6.2.2 er det mulig å foreta en konklusjon for valg av konstant trykk. Fra målingene kan det raskt ses bort fra 0,5 bar, basert på at majoriteten av ertene ble liggende igjen i føreren. De fem neste målingene ved 0,6 bar ble bedre, men vil fremdeles ende opp med for dårlig resultat siden for mange ertene triller sakte ut av rørets munning. Det velges å benytte 0,7 bar. Grunnlaget baseres på at ertene ved både 0,7 og 0,8 bar kommer konsekvent ut av løpet. Men på grunn av størrelsen til førerens testoppsett, vil det være mest gunstig å velge 0,7 bar, ettersom testlokale ikke var stort nok for lengre utskytninger.

Startfart

Startfarten ble beregnet basert på målingene ved 0,7 bar. Ut fra testen som ble gjort i avsnitt 6.3.2 var startfarten $v_0 = 3.76 \text{ m/s}$ for lav. Startfarten stemmer ikke godt nok overens med forventet måling fra beregningene over vann. Ettersom v_0 er den mest usikre variabelen blir den undersøkt mot teorien. Ved å løse likning 5.20 med hensyn på v_0 og sette inn de resterende relativt trygge variablene fra testen, burde startfarten ligge rundt $4,5 \text{ m/s}$ (se vedlagt Matlab fil).

Det konkluderes med at det var for mange usikre elementer ved testen. Manuell avlesning av tid og strekning var ikke ideelt, samt perspektivet i forhold til plassering av kamera bidro til et mer usikkert resultat. I forhold til beregningene er startfarten tenkt å begynne i knekken av bøyen på førerens utløp som vist i figur 5.3. Det vil derfor være en feilkilde da testen beregner startfarten rett etter utløpet, ettersom det ikke er mulig å se ertene i knekken. Det ble derfor tenkt nødvendig å komme frem til en bedre måte å beregne startfart, hvor elementene over ikke har like stor innvirkning på startfarten.

6.3 Testing av bane over vann

6.3.1 Testoppsett

Til å teste banen over vann blir føreren plassert slik at det er mulig å skyte over hele lengden til rommet den står i. Det er da ca. tre meter mellom munningen til føreren og veggen. Det ble utført 20 skudd hver på fire forskjellige vinkler. Det ble skutt ut én ert av gangen for å ha mulighet til å observere hvor den landet. Etter hver utskytning ble det markert hvor ertene landet på gulvet med en tusj. Da 20 skudd var foretatt, ble avstanden mellom punktene og føreren målt opp. Resultatene ble ført opp i en tabell i et excel-dokument. Deretter ble det regnet ut en gjennomsnittlig lengde for hver av vinklene. Resultatet blir presentert senere.

På grunn av at lokalet føreren befinner seg i ikke er optimalt for utførelse av tester, brukes tre meter som en indikator på lengden til de ertene som treffer veggen. Det ble beregnet gjennomsnittlig startfart av måling for hver vinkel, som planlagt skulle benyttes fremfor den tidligere testen i 6.2.

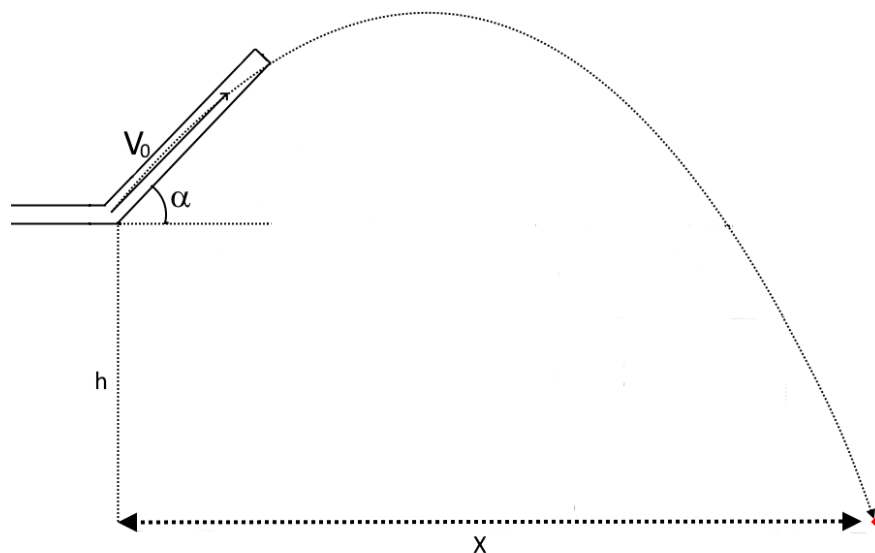


Figure 6.2: Tegning av testoppsett for bane over vann.

6.3.2 Resultat

I tabell 6.8, kolonne 2-5 presenteres henholdsvis resultatet fra testene med vinkel 0° til 45° . I kolonne 2 dokumenteres alle verdier for de 20 målingene som ble gjort med utskytningsvinkel $\alpha = 0^\circ$. Målingene har stor variasjon fra kortest til lengst. Det er stor spredning i lengden, der gjennomsnittslengden til de 20 målingene blir 1,63 m.

Kolonne 3 inneholder alle verdier for de 20 målingene som ble gjort med utskytningsvinkel $\alpha = 15^\circ$. Det er også her variasjoner fra korteste til lengste måling. Flere erter treffer veggen enn i målingene fra kolonne 2 ved $\alpha = 0^\circ$. Beregnet gjennomsnittlig lengde blir 1,97 meter.

Kolonne 4 inneholder verdier fra de 20 målingene med utskytningsvinkel $\alpha = 30^\circ$. Det observeres også her at det er stor spredning mellom korteste til lengste utskytning, og at det skytes litt flere erter i veggen enn målingene ved $\alpha = 15^\circ$. Det er fler lengre skudd, som førte til at gjennomsnittslengden ble 2,45 meter.

Kolonne 5 er resultatet fra de 20 målingene med utskytningsvinkel $\alpha = 45^\circ$. Studeres verdiene i tabellen, observeres det at det er store forskjeller mellom kort og lang utskytning. Det er her færre erter som blir skutt i veggen enn ved $\alpha = 30^\circ$. Gjennomsnittslengden ble 2,03 meter. Litt lengre en gjennomsnittslengden ved utskytningsvinkel $\alpha = 15^\circ$.

| Måling | Lengde [m], 0° | Lengde [m], 15° | Lengde [m], 30° | Lengde [m], 45° |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 2,11 | 1,58 | 3 | 1,07 |
| 2 | 1,11 | 3 | 2,03 | 0,48 |
| 3 | 1,53 | 3 | 2,7 | 1,3 |
| 4 | 1,36 | 1,34 | 3 | 3 |
| 5 | 1,81 | 1,26 | 1,3 | 3 |
| 6 | 1,33 | 0,96 | 3 | 0,83 |
| 7 | 0,72 | 1,79 | 3 | 1,46 |
| 8 | 3 | 2,96 | 2,02 | 3 |
| 9 | 0,96 | 1,53 | 3 | 2,46 |
| 10 | 2,82 | 0,33 | 3 | 1,53 |
| 11 | 0,53 | 3 | 3 | 2,28 |
| 12 | 0,93 | 1,52 | 1,16 | 2,77 |
| 13 | 2,09 | 0,81 | 3 | 3 |
| 14 | 0,63 | 1,5 | 2,88 | 0,74 |
| 15 | 1,86 | 2,52 | 2,14 | 3 |
| 16 | 1,87 | 3 | 1,98 | 1,07 |
| 17 | 2,35 | 3 | 2,68 | 2,15 |
| 18 | 1,28 | 3 | 1,9 | 3 |
| 19 | 3 | 1,34 | 1,94 | 1,51 |
| 20 | 1,33 | 1,93 | 2,01 | 3 |
| Gjennomsnitt | 1,63 | 1,97 | 2,45 | 2,03 |

Table 6.8: Test for utskytningsvinkel over vann.

Startfart: Ved hjelp av likning 5.20 ble det utarbeidet en likning for startfarten, som vist under.

$$v_0 = \sqrt{\frac{gP_{0x}^2(\tan^2 \alpha + 1)}{2(\tan \alpha P_{0x} + h - P_{0y})}} \quad (6.8)$$

Dermed kan de gjennomsnittlige verdiene for lengden P_{0x} ved de forskjellige vinklene settes inn, og startfarten beregnes. I tabell 6.9 er resultatet av utregningen ved hjelp av likning 6.8 presentert.

| Måling | 0° | 15° | 30° | 45° |
|---------------------|------|------|------|------|
| Gjennomsnitt [m] | 1,63 | 1,97 | 2,45 | 2,03 |
| Startfart [m/s] | 4,77 | 4,30 | 4,43 | 3,95 |

Table 6.9: Startfart fra gjennomsnittlig lengde.

6.3.3 Drøfting og konklusjon

Observert fra tabell 6.8 er det store forskjeller fra de korteste til de lengste utskytningene. Dette er som nevnt tidligere i rapporten trolig, delvis knyttet til usikkerheten rundt dynamikken i rørene, der ertter kan kollidere med hverandre og veggen. Samtidig som luften kan ta tak i erten forskjellig fra utskytning til utskytning. Basert på målingene i tabellene kan man konkludere med at ved høyere vinkel, vil gjennomsnittslengden også øke, frem til omlag 35°.

Gjennomsnittlige resultater stemmer godt med den matematiske modellen. Fra modellen vil maksimal distanse som objektet tilbakelegger oppstå ved en utskytningsvinkel på omlag 35°. Ved denne vinkelen vil objektet tilbakelegge en distanse på ca. 2,75m, i følge modellen. Med tanke på at luftmotstanden ikke er tatt hensyn til i modellen, så er det ikke overraskende at teorien forutser en lengre tilbakelagt distanse, enn det som blir målt fra testing. Samtidig så kan det observeres at for gjennomsnittlige målinger så er modellen god.

Startfart

Resultatet fra tabell 6.9 om startfart gir fire gjennomsnittlige startfarter, en for hver vinkel som ble brukt. Startfarten varierer litt, basert på forskjellig luftmotstand på erten for de forskjellige utskytningsvinklene, der $\alpha = 45^\circ$ vil bli påvirket mer av luftmotstand enn ved $\alpha = 0^\circ$. For å få en felles startfart for erten ved de forskjellige vinklene, tas gjennomsnittet av de fire startfartene. Startfarten fra gjennomsnittet av alle målinger ble $v_0 = 4,36 \text{ m/s}$. Dette stemmer mer overens med skråkast-beregningene, som er forventet, ettersom startfarten ble beregnet basert på matten for skråkast og lengden oppnådd i testen. For at modellen skal forhåpentligvis kunne virke så godt som mulig ble det valgt å gjøre det på denne måten. Ettersom det jobbes med en enkel modell over vann, brukes startfarten til å still inn modellen for å passe med virkeligheten, siden det viktigste er at den klarer å plassere føret best mulig.

Det kunne blitt benyttet målepapir som lager merker når det blir utsatt for et trykk (som når erten treffer papiret). Det kan legges på gulvet for å presist markere treffpunktet til ertene. Målepapir hadde fjernet en feilkilde, ettersom testen som ble utført er avhengig av at en person klarer å se hvor erten lander. For eventuelle senere tester er dette en forbedring.

6.4 Testing av bane under vann

Testen under vann består av to deler. En del for å teste tiden erten bruker for å treffe bunnen av tanken, og en del for å sette en gjennomsnittlig verdi for strømmingen i tanken ved ulike pådrag til undervannstrusteren.

6.4.1 Testoppsett

Test for tiden objektet bruker til bunnen av tanken

Til å teste banen under vann, ble det sluppet én ert i tanken fra så nært vannoverflaten som mulig og tiden den brukte på å nå bunnen av tanken ble målt. Det ble foretatt 20 målinger hver på tre forskjellige strømningsstyrker. Det ble sluppet én og én ert av gangen for å lettere kunne observere når den traff bunnen av tanken. Resultatet ble ført opp i en tabell i et excel-dokument. Deretter ble det regnet ut gjennomsnittlig tid for hver av strømningshastighetene. Figur 6.8 viser en illustrasjon av testoppsettet.

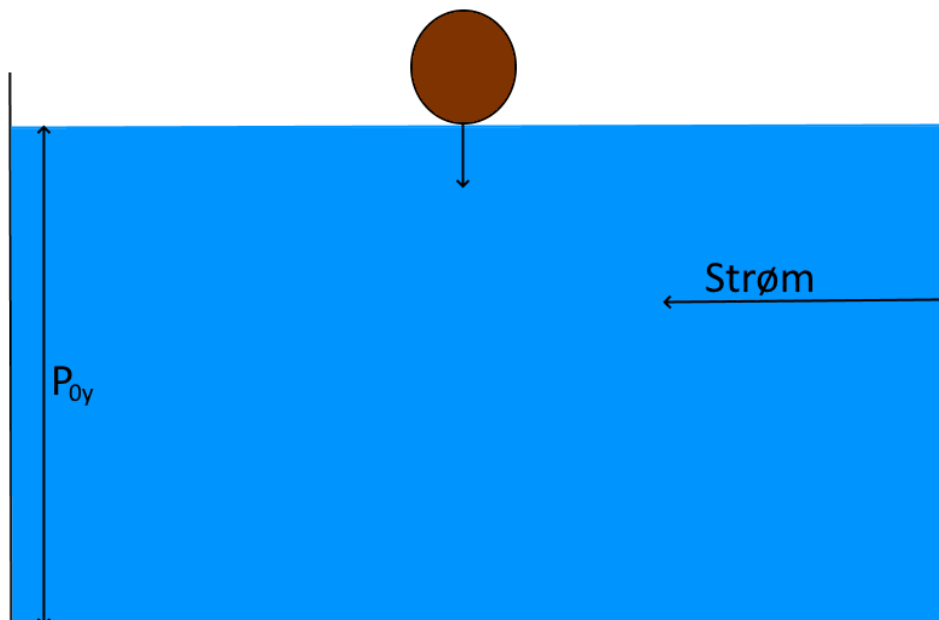


Figure 6.3: Illustrasjon av test for tid i y-retning, under vann.

Test for distanse i x-retning

For å kunne si noe om sammenhengen mellom posisjonen til potensiometeret på thrusterdriveren og strømmingen i tanken, så ble det forsøkt å måle distansen objektet forflyttet seg i x-retning fra vannoverflaten til bunnen av tanken. Denne distanse er problematisk å måle. Det ble derfor plassert en plastboks i bunnen av tanken. Denne boksen er 20 cm lang og plassert 40 cm fra enden av tanken.

Én og én ert ble sluppet fra vannoverflaten, 30 cm fra enden av tanken. Det ble gjort observasjoner om erten landet oppi boksen eller ikke, om erten ble dradd over boksen, eller om erten traff bunnen før den kom frem til boksen. Ertene som ikke kom frem til boksen tilbakela en distanse mellom 0 cm og 10 cm, ertene som traff oppi boksen tilbakela en distanse mellom 10 cm og 30 cm og ertene som ble dradd over boksen tilbakela en distanse som er mer enn 30 cm.

Ved hjelp av estimerte mål ble disse intervallen satt til 6 cm om erten ikke kom frem til boksen, 15 cm om den traff oppi boksen og 40 cm om den ble dradd over boksen. Det ble foretatt 50 målinger for to potensiometerposisjoner. Disse posisjonene var $1/8$ av full styrke, og $1/4$ av full styrke. Til slutt ble gjennomsnittet av disse 50 målingene regnet ut. Verdiene for gjennomsnittlig distanse blir da differansen mellom P_{0x} og $P_{\emptyset x}$. Likning 5.57 blir benyttet og løst med hensyn på v_v . Dette blir gjort grafisk, siden likningen er noe tungvint å løse analytisk.

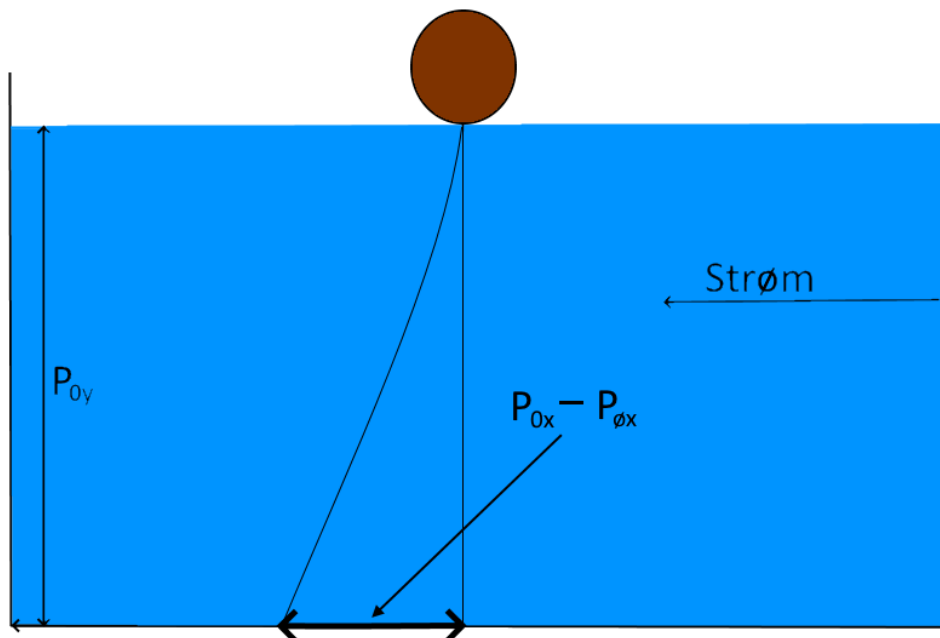


Figure 6.4: Illustrasjon av test for distanse i x-retning under vann.

6.4.2 Resultat

Resultat for tiden objektet bruker til bunnen av tanken

Resultatet i tabell 6.10 viser verdiene for forløpt tid erten bruker fra vannoverflaten til bunn av tanken, med turbulent strømning, der det testes med tre forskjellige styrker på thrusteren. Resultatet blir drøftet og konkludert i avsnitt 6.4.3 under.

| Måling | Tid [s], 1/8 motorkraft | Tid [s], 1/4 motorkraft | Tid [s], 3/8 motorkraft |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 1,99 | 2,6 | 2,35 |
| 2 | 2,13 | 1,9 | 2,8 |
| 3 | 2,5 | 1,85 | 1,6 |
| 4 | 1,75 | 1,6 | 2,3 |
| 5 | 2,35 | 1,95 | 1,8 |
| 6 | 2,5 | 2,6 | 1,65 |
| 7 | 2,19 | 2,8 | 1,45 |
| 8 | 2,35 | 2,0 | 1,5 |
| 9 | 1,55 | 2,0 | 1,8 |
| 10 | 1,76 | 1,8 | 1,5 |
| 11 | 1,8 | 2,6 | 1,35 |
| 12 | 2,3 | 1,45 | 1,7 |
| 13 | 1,7 | 1,9 | 1,75 |
| 14 | 2 | 1,6 | 2,5 |
| 15 | 2 | 1,7 | 1,6 |
| 16 | 2,95 | 2,1 | 1,9 |
| 17 | 1,75 | 2,0 | 1,7 |
| 18 | 2,8 | 2,0 | 1,6 |
| 19 | 1,56 | 2,4 | 2,1 |
| 20 | 1,7 | 1,9 | 2,5 |
| Gjennomsnitt | 2,08 | 2,04 | 1,87 |

Table 6.10: Test for tid i y-retning under vann.

Resultat for distanse i x-retning

Ved 1/8 av maksimal styrke på thrusteren ble det observert at ingen erter ble dradd over boksen. Det ble notert 36 erter som traff oppi boksen og 14 som traff bunnen før de kom til boksen. Gjennomsnittlig tilbakelagt distanse ble dermed.

$$\frac{6 \cdot 14 + 15 \cdot 36}{50} = 12,48 \text{ cm} \approx 0,125 \text{ m} \quad (6.9)$$

For 1/4 av maksimal styrke på thrusteren ble det observert at 5 erter ikke kom frem til boksen, 15 erter ble dradd over boksen, og 30 erter landet oppi boksen. Gjennomsnittlig tilbakelagt distanse ble dermed.

$$\frac{5 \cdot 6 + 15 \cdot 40 + 30 \cdot 15}{50} = 21,6 \text{ cm} = 0,216 \text{ m} \quad (6.10)$$

Ved hjelp av plotting i MATLAB hvor likning 5.57 i avsnitt 5.1.2 blir skrevet litt om, løses likningen grafisk. Likningen som er plottet er.

$$v_v t - \frac{\ln(k_3 v_v t + 1)}{k_3} - (P_{0x} - P_{\phi x}) = 0 \quad (6.11)$$

Ved å studere hvor dette plottet krysser x-aksen, altså hvor verdien av funksjonen er null, ble strømmingen ved disse potensiometerposisjonene satt til $v_v = 0,093 \text{ m/s}$ ved 1/8 av maksimal styrke på thrusteren, og $v_v = 0,145 \text{ m/s}$ for 1/4 av maksimal styrke på thrusteren. 6.5

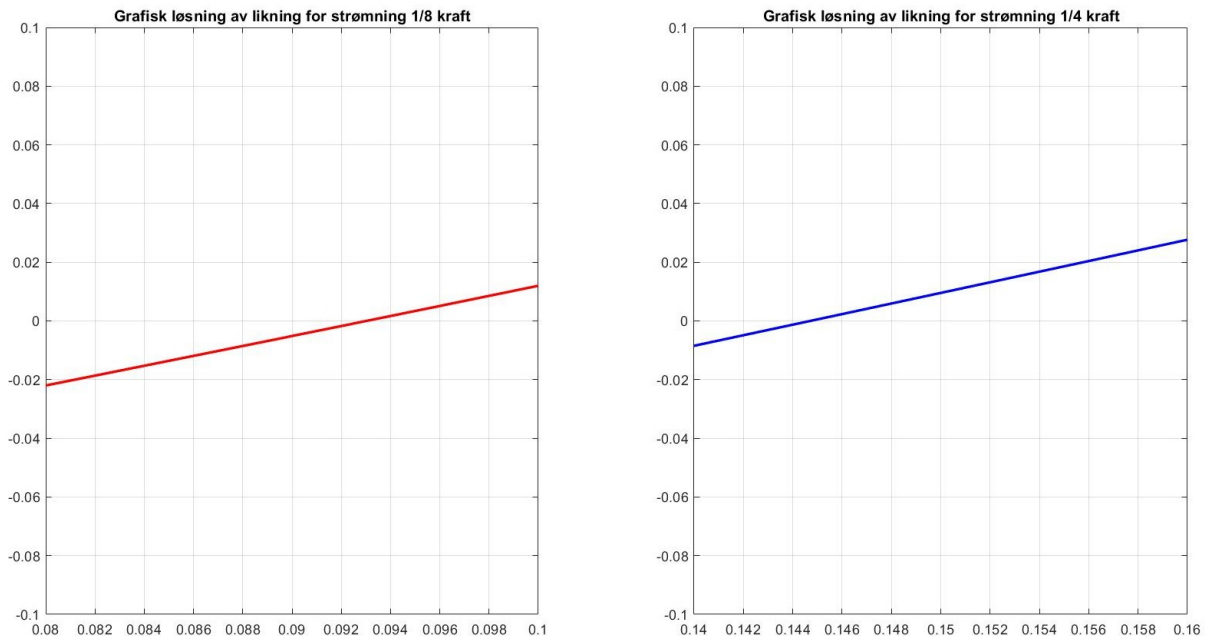


Figure 6.5: Grafisk løsning for strømming.

6.4.3 Drøfting og konklusjon

Drøfting og konklusjon for tiden objektet bruker til bunnen av tanken

Fra likning 5.41 ble det teoretiske resultatet på tiden erten bruker i y-retning, altså fra vannoverflaten til bunn av tanken med strømming, ca. 1,1 sekund. Når dette testes i virkeligheten bruker erten langt lengre tid med 2,08 sekunder, 2,04 sekunder og 1,87 sekunder. Dette kan forklares med at den matematiske modellen kun har strømming i en bestemt retning, rett frem fra thrusteren. Mens i realiteten vil strømmingene i tanken komme fra alle retninger og blir ofte reflektert fra vegger i tanken. Både i teorien og det praktiske forsøket er det gått ut i fra turbulent strømming. Det konkluderes med at det fysiske resultatet fra testen er det som må brukes i videre forsøk og tester, siden det teoretiske resultatet ikke stemmer med realiteten.

Drøfting og konklusjon for distanse i x-retning

Måten denne testen er gjort på, gjør at den ikke er veldig nøyaktig. Dette fordi distansen ikke måles direkte. Distansen måles ved å observere om erten treffer et område, om den går for langt eller for kort i forhold til dette område. Videre så blir det satt faste verdier som tilsvarer disse observasjonene. Realiteten er at distansen kan variere innenfor disse tre mulighetene, og dette blir ikke tatt hensyn til. Siden det ikke er tilgang på nødvendig måleverktøy for å gjennomføre denne testen på en mer nøyaktig måte, så ble den gjennomførte metoden ansett som god nok i forhold til tilgjengelige ressurser. Ideelt sett så skulle distansen blitt målt ved hjelp av verktøy som sonar eller andre liknende distansemålere for bruk under vann.

6.5 Test sammensattsystem

6.5.1 Testoppsett

Føreren er plassert slik at fra knekken i utskytningsvinkelen til kanten av akvariet er det 1,4 meter. Lengden er basert på at ved $\alpha = 0^\circ$ vil utskytningene skytes til omlag starten av akvariet, og ved $\alpha = 30^\circ$ vil utskytningene skytes til omlag enden av akvariet. Systemet er satt opp med en strømning i tanken på $1/8$ styrke, der v_v er satt til $0,093 \text{ m/s}$. Verdien på strømningen kommer fra kapittel 6.4. Boksen fungerer som ønsket sluttposisjon og er plassert 40 cm fra akvarieveggene, altså midt i tanken. Ved hjelp av likning 5.57 fra avsnitt 5.1.2, så er det regnet ut at for en ønsket sluttposisjon $P_{\phi x} = 1,8 \text{ m}$ så blir $P_{0x} = 1,925 \text{ m}$, og for $P_{\phi x} = 2,0 \text{ m}$ så blir $P_{0x} = 2,125 \text{ m}$. $P_{\phi x}$ ble satt til $1,9 \text{ m}$ som ville være midten av boksen, med den verdien blir $P_{0x} = 2,023 \text{ m}$. Dette medfører at utskytningsvinkelen skal bli beregnet til $\alpha = 15,7^\circ$ fra likning 5.21. Ut fra oppsettet skal føreren nå skyte erten ca. 2 meter, og erten skal ende opp i boksen. Figur 6.6 beskriver testoppsettet.

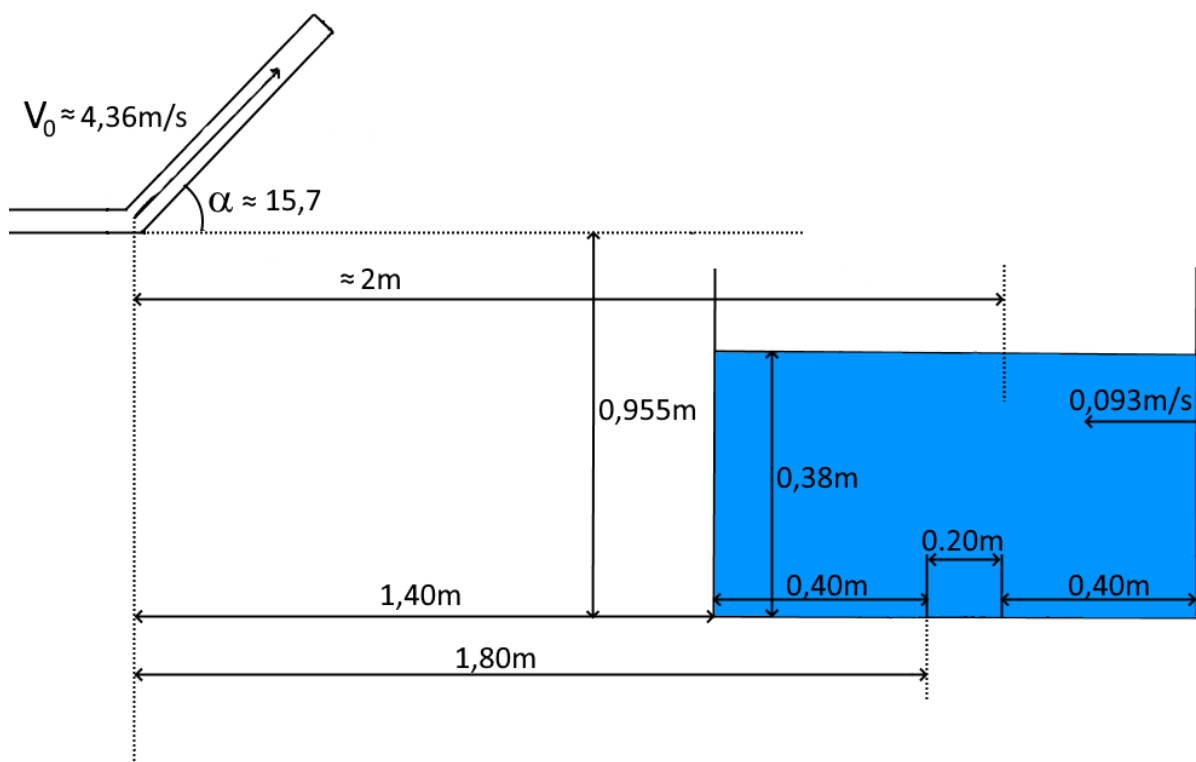


Figure 6.6: Testoppsett for sammensatt system.

6.5.2 Resultat

Med innlagte verdier for testen justerte føreren seg inn til riktig verdi, verifisert i figur 6.7 ved å lese av vinkel etter innjustering.

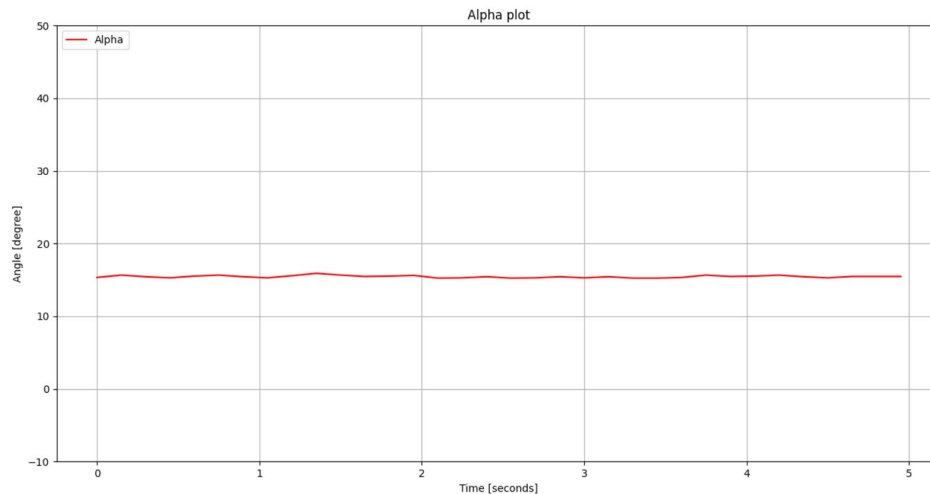


Figure 6.7: Systemjustert vinkel

Etter 10 utskytninger med en ert, bommet alle på boksen i bunn av tanken. Kun et par erters traff oppi akvariet. Det ble utført et par utskytninger av en neve med erters, der spredningen på ertene var en del større enn vanntanken. Det var flere erters som traff oppi tanken og enkelte klarte å treffe boksen i tanken, men dette er ingen indikasjon på en god test, da med så mange skutte erters er det tilfeldigheter som gjør at noen traff oppi boksen.

6.5.3 Drøfting og konklusjon

Dette ble som antatt basert på test for over vann 6.3. Nøyaktigheten på utskytningene til føreren er ikke god nok til å treffe på så små distanser som blir testet i dette prosjektet. Spredningen til ertene er ganske stor i forhold til distansene det ble skutt. Fra tidligere testing, hvor over og under vann ble testet isolert, så er det konkludert med at det i hovedsak er over vann som er årsaken til unøyaktigheten. Det må nevnes at ved mange nok utskytninger, så vil gjennomsnittlig landingsposisjon bli relativt nærme ønsket posisjon, men alt i alt er ikke dette godt nok. I diskusjon vil det bli diskutert flere grunner og løsninger på problemet.

7 Diskusjon

7.1 Optimalisering

7.1.1 Steppermotor og lagerflens

Som nevnt tidligere i avsnitt 4.2.10 er ikke steppermotoren sterk nok til å rotere føreren slik den er nå. Dette er problematisk med tanke på videreutvikling av modellen, da dette blir en essensiell del av funksjonaliteten. Det har blitt drøftet frem et par mulige løsninger på problemet. Det kan lønne seg å starte å se på muligheter for å få avstivet lagerflensen. Dette vil fjerne friksjonen røret har mot støttebordet, og det kan være nok til å gjøre motoren i stand til å rotere føreren. En måte å oppnå dette på kan være å sveise fast lageret til lagerhuset, eller å montere et par settskruer på lagerhuset som klemmer fast utsiden på kulelageret. Sveising er kanskje det mest effektive, men også vanskeligst å gjennomføre. Grunnet at man må sammenføye rustfritt stål og støpejern, i tillegg kreves det presisjon for å unngå å sveise i stykker kulelageret, og for mye varme kan få oljen i kulelageret til å koke.

Om løsningen over ikke er tilstrekkelig, må nok steppermotoren oppgraderes til en større motor med mer kraft. Dette kan medføre at driveren til steppermotoren også må byttes ut. Eventuelt kan en DC-motor med en roterende enkoder brukes. Ettersom DC-motorer har større dreiemoment, spesielt i bevegelse, enn en steppermotor. Fordelen med en steppermotor er at den vil være mer presis enn en DC-motor med enkoder, og uten mulighet for å måle posisjon til motoren vil den ofte trenge manuell kalibrering. Ettersom det ikke er nødvendig med alt for høye krav på posisjon kan en nullpunktsensor være godt nok. Dermed kan man sette opp kontrollsystemet slik at det kalibrerer seg selv i oppstart eller etter behov. Bruk av steppermotor kan også med fordel benytte nullpunktsensor, selv om steppermotoren burde være nøyaktig nok, kan det skje uforutsette hendelser som ødelegger kalibreringen.

7.1.2 Dimensjonering

I avsnitt 3.4.1 ble det forklart hvorfor 40 mm ble valgt som dimensjon på PVC-rør. Med tanke på resultat fra testen over vann 6.3.2 burde rørdiameteren ideelt vært mindre for økt repeterbarhet på utskytingene. Det reduserer overflødig volum i forhold til prosjektilet, og tar dermed bort en del tilfeldigheter i utskytingen, som å redusere tilfeldige kollisjoner i rørveggen og med andre erter. Det er også veldig tilfeldig hvor godt luftstrømmen klarer å ta tak i erten med rørdimensjonen som er i bruk nå. En reduksjon av rørdimensjonen vil også gjøre dette aspektet med utskytingen mer konsekvent.

Det største problemet med tanke på denne oppgaven, er at det blir alt for stor spredning på fôret i forhold til størrelsen på tanken og resten av testtriggen. Det vil si at uansett hvor god beregningen på utskytningsvinkelen er, vil det bli for tilfeldig om det faktisk blir truffet der det er tiltenkt. Med tanke på lokalene som er tilgjengelig for denne oppgaven, burde hele fôrerens vært skalert ned for å passe bedre til testtriggen.

7.1.3 Undervannsthruster

Undervannsthrusteren som blir brukt er en vanlig DC-motor med en propell montert på staget. Den er ikke ment for bruk under vann, men fungerer fremdeles bra. Det ble funnet ut i etterkant at den ikke er godt egnet til å stå under vann over en lengre periode, siden oljesmørningen til motoren begynte å lekkke. Det anbefales å bytte den ut med en vanntett motor som er bedre egnet til å stå under vann over en lengre periode. Løsningen med batteri er heller ikke ideell, og bør byttes ut med en strømforsyning som er i tråd med spenningen og strømtrekket til en eventuell ny thruster.

7.1.4 Design av fôrer

Som diskutert i avsnitt 4.2.10 var det en bekymring rundt bærestyrken til det fleksible røret og hvorvidt det var i stand til å bære vekten av lineæraktuatoren. Dette var en av hovedgrunnene til at nåværende design 4.1 ble tatt i bruk. Det har i ettertid blitt funnet ut at det fleksible røret antageligvis er sterkt nok til å holde vekten av lineæraktuatoren. Med informasjonen tatt i betraktning, ville nok alternativt design 4.3 vært en bedre løsning enn det nåværende designet. Da det antageligvis ville gitt en litt bedre bane for utskytningsprosjektilet på vei ut av fôrerens, spesielt ved høye utskytningsvinkler, siden en da unngår en s-krue på utløpet som vil føre til at prosjektilet kan kollidere med vegg og andre erter, som igjen kan føre til tapt starthastighet.

7.1.5 Sensor- og målesystem

Under prosjektet var anskaffelse av strømningsensor lenge en sentral del. For prosjektets testoppsett var det behov for en sensor som kunne måle strømninger i en "åpen" tank. Det ble sett på flere type målere. De som ble mest diskutert var ADCP-, ADV- målere og turbin-strømningsmåler. På grunn av pris og vanskeligheter måtte dette sees bort fra. De fleste strømningsensorer er dimensjonert for å måle strømninger i rør eller har ekstern elektronikk, som ikke tåler å stå i vann. Reguleringsystemet til fôrerer i kontrollsystemet har allerede implementert muligheten for bruk av strømningsensor. Alt som skal til er å lese inn data. Det vil derfor være naturlig å gå til anskaffelse av en strømningsensor, slik at fôrerens utskytninger kan bli testet med kontinuerlig og varierende strømninger. Dette er en fin optimalisering av fôrerer og dens reguleringsystem. Situasjonen er nevnt i avsnitt 3.2.

7.2 Videre utvikling

7.2.1 Strømninger og strømningsensor

Systemets reguleringsystem har som nevnt allerede implementert reguleringen rettet mot strømning under vann og trenger derfor en sensor for å kunne måle strømningene under vann. I virkeligheten vil strømningen variere i både styrke og retning ved forskjellige nivåer i havet. Det vil derfor være nødvendig å implementere et system som kan håndtere strømninger i flere nivåer og retningen på de. For at fôrerer skal kunne ta inn disse strømningene er det nødvendig med en eller flere sensorer som kan måle de nevnte parameterene som nivå og retning. Det vil da være nødvendig å endre dynamikken til foroverkoblingen, siden den er utarbeidet for strømning i én retning og høyde. Altså sette opp dynamikken under vann i tre dimensjoner, istedet for den allerede eksisterende to-dimensjonale modellen.

7.2.2 Luftmotstand og vindmåler

For å kunne teste realistiske forstyrrelser på fôrerer over vann, hadde en god ide vært å teste den med luftmotstand. Vind er en realistisk forstyrrelse som vil være til stede ved en oppdrettsmerd, i både kraftige og svake styrker. Realiseringen av dette vil være å utsette fôrerer for vind og luftmotstand, der en vindmåler er montert for å måle styrken og retningen på vindkastene. Implementeringen av forstyrrelsen kan gjøres på samme måte som ved strømning under vann, altså ved hjelp av en foroverkobling som skal jobbe mot forstyrrelsen som vindens dynamikk påfører fôrerens utskytning over vann.

7.2.3 Tredimensjonal matematisk modell

For at systemet skal kunne implementeres i realiteten, så må det tas hensyn til tre dimensjoner. Altså at vinkelen θ også er en variabel som inngår i likningene for posisjonen. I dette prosjektet er det kun jobbet i xy-planet, men videre må også z-aksen introduseres. Det naturlige valget vil være å sette z-aksen som høyde, det vil si å bytte ut y-aksen som er brukt så langt med z-aksen, og derfra følge høyrehåndsregelen. Å sette strømmen konstant, både i hastighet og retning, i en reell fiskemerd vil ikke være en god forenkling. Den matematiske modellen for et reelt system vil dermed bli betraktelig mer komplisert. Det vil da bli behov for dynamikk i tre dimensjoner, og det vil antageligvis oppstå ikke-lineære partielle differensiallikninger.

7.2.4 Tilbakekobling

For videreutvikling av systemet, så er en tilbakekobling for fôrets posisjon et konsept som kan være meget interessant. Implementering av en slik tilbakekobling kan bli en utfordring, men om det lar seg gjøre å implementere en tilbakekobling parallelt med foroverkoblingen så vil dette gjøre systemet betraktelig mer nøyaktig og robust. Implementering av tilbakekoblingen kan muligens gjøres ved å benytte kameradeteksjon under vann som sensorer, og dermed generere et avvikssignal for ønsket posisjon.

Ved å benytte kun foroverkoblingen slik som det er gjort i dette prosjektet, så oppstår det et problem i form av unøyaktighet i modellen av den turbulente væsken. En turbulent væske er et såkalt kaotisk system [16], hvor strømmen ikke vil være konstant slik som det er modellert, men denne strømmen vil variere i både styrke og retning ved forskjellige punkter i væsken. Å modellere denne dynamiske strømmen er svært utfordrende da dette vil være meget sensitivt til startkrav. For at en foroverkobling skal fungere godt, så bør modellen for forstyrrelsen være god. I dette tilfellet vil det være meget krevende å sette opp en modell som er god nok for at systemet skal oppnå en tilfredsstillende regulering kun ved hjelp av en foroverkobling.

7.2.5 Fiskens aktivitet

En stor innvirkning på overføring er fiskens appetitt. Det kan trekkes en tråd mellom fiskens appetitt og aktivitet. For å kunne måle aktiviteten og posisjonen til fisken, kan det være nødvendig med et kamerasystem som kan se og observere fisken under vann. Informasjonen fra kamerasystemet kan prosesseres og da regulere hyppigheten på fôringen i en merd. Posisjonen til fisken kan også bli brukt til plassering av fôret på vannoverflaten, slik at fôret treffer den mest optimale plassen for best mulig fôring. Kamerasystemet som ser på aktiviteten og plassering til fisken kan trekkes sammen med et eventuelt kamerasystem for realisering av tilbakekobling, som nevnt over i avsnitt 7.2.4. For å kunne benytte kamerasystem vil det muligens være nødvendig å bytte mikrokontroller fra Arduino til Raspberry pi, siden grensesnittet til Raspberry pi er mer gunstig for bruk av kamera og enkelte sensorsystem.

7.2.6 Materialvalg

Prototypen som er bygd under dette prosjektet er bygd av PVC. Begrunnelsen for valget av PVC var rettet mot enkelhet og tilgjengelighet. Dersom føreren skulle bli satt ut i virkeligheten, ville det vært nødvendig å finne materialer som tåler vær- og vindforhold der oppdrettsmerden er plassert. Alternativer kunne vært rustfritt stål eller syrefast stål. Det ville samtidig vært nødvendig å finne en god beskyttelse til elektronikken som tilhører føreren. Dersom designet som blir brukt i dette prosjektet skal videreføres, med annet materiale. Kunne det være en fordel å finne en annen måte å endre utskytningvinkelen α , siden det fleksible rørbendet også er laget av PVC og kan lettere påføres slitasjeskader og lignende.

7.2.7 Valg av lineæraktuator

Forstyrrelsene som påvirker systemet kan variere i stor grad. En stor innvirkning på utskytningvinkelen α er bølger. Bølger gjør at utskytningvinkelen vil avvike fra den ønskede vinkelen. Med lineæraktuatoren som er montert på føreren idag, vil ikke systemet kunne motvirke hyppigheten på endringene til bølgene. Det vil si at lineæraktuatorens båndbredde vil være for lav i forhold til endringene som blir påført systemet på grunn av bølger. En løsning på dette vil være å endre aktuatoren til en aktuator med høyere båndbredde, altså en aktuator som har raskere endringsrate. Aktuatoren som er montert i dag har en maksimal endringsrate på omlag 10 mm/s . Ved anskaffelse av en ny aktuator burde det undersøkes nærmere hvor stor båndbredde som trenges for at aktuatoren skal klare å kompensere for bølger. Det kan være en ide å undersøke nærmere frekvens og amplitude på havbølger som er vanlig i området rundt oppdrettsanlegg.

8 Konklusjon

Slik førersystemet er ved ferdigstilling, så er ikke den fysiske funksjonen ved å treffe en ønsket posisjon i bunnen av vanntanken god nok. Dette skyldes i hovedsak, som nevnt tidligere at banen over vann ikke blir tilstrekkelig nøyaktig på grunn av veldig varierende utskytninger. Forslag for å løse dette problemet er diskutert i avsnitt 7.1.2. Enda en kilde til variasjoner er den manuelle ventilen som blir brukt for å åpne for trykkluften i føreren. Små endringer i hvordan denne ventilen åpnes kan gi store utslag i den endelige lengden av prosjektilet. Dette vil ikke være en utfordring for et eventuelt realiserbart system, da dette vil ha automatiske ventiler. Automatiske ventiler i form av magnetventiler kan være et godt alternativ for denne prototypen, da det kan bidra til å gjøre testingen av det sammensatte systemet bedre og mer konsekvent.

Når det kommer til teorien bak dette prosjektet så ser det ut som at dette fungerer nogenlunde bra i forhold til observasjoner fra testing. Selv om testingen over vann har store variasjoner, så stemmer gjennomsnittet for lengden relativt bra med den matematiske sammenhengen mellom lengde og vinkel. Den matematiske modellen forutsier posisjonen under vann bedre enn forventet, men kun ved relativt lave strømminger. Forenklingen om at strømmingen kun går i én retning og er likt fordelt i samtlige høyder i tanken viser seg å fungere overraskende bra. Som nevnt tidligere i avsnitt 7.2.3, så vil en tredimensjonal modell være nødvendig for en reell implementering. Siden volumet av en fiskemerd er mye større enn volumet i vanntanken, så kan en gå ut i fra at forenklingen om konstant strøm ikke vil bli like god i en merd som i vanntanken. Før systemet kan implementeres i en merd, så bør dette utbedres. Da ved å se på strømmingen som varierende i forskjellige punkter, i tillegg til at modellen bygger på tre dimensjoner.

Reguleringen av utskytningvinkelen fungerer meget godt. Utløpet på føreren reguleres fint inn mot ønsket utskytningvinkel, uten noen store svingninger eller oversving, ved hjelp av en PD-regulator. Denne reguleringen har også muligheten til kontinuerlig regulering, slik at ved endringer på vinkelen til basen av føreren så vil utløpet kontinuerlig forsøke å regulere seg inn på riktig vinkel. Dette kan da brukes for å motvirke effekten av bølger på føreren, slik at vinkelen vil være konstant. I prototypen som er produsert, så er aktuatoren for treg for at den skal kunne være anvendbar i omgivelser med realistiske bølger. Dette er diskutert i avsnitt 7.2.7.

Designet av føreren som ble foretatt tidlig i prosjektet har en del problemer som er blitt oppdaget i ettertid. Det største problemet er rørdimensjonene som er for store i forhold til objektet som skal skytes. Dette designproblemet ble tatt med videre inn i byggingen av føreren, og dette førte til slutt til at det ikke er mulig å forutsi hvor langt objektet skytes med nødvendig nøyaktighet. Å rette opp i dette er en noe omfattende operasjon, da samtlige rørdeler av føreren må byttes ut, samt en del andre deler som er i kontakt med rørene som eventuelt også må byttes. Et annet problem som ble oppdaget var at trykkutjevningen mellom trykket i føreren og trykket til omgivelsene skjedde alt for raskt i forhold til å skape repeterbarhet for hvert skudd. Dette problemet burde ha blitt belyst i designfasen av føreren, men ble altså ikke tenkt på. Dette ble forbedret under bygging og testing av føreren, hvor det ble kjøpt inn en akkumulatortank og enda et t-stykke.

Alt i alt er det designet og bygget en fôrerer som fungerer til å teste en rekke situasjoner som kan være av interesse for en eventuell reell implementering. Sluttproduktet fra dette prosjektet er et godt fundament for videre utvikling mot det endelige målet om et realiserbart system for kommersielt bruk. I løpet av prosjektet er det blitt erfart at selve reguleringen ved hjelp av klassisk reguleringsteknikk ikke er den store utfordringen. Utfordringen ved prosjektet er å produsere en god modell for oppførselen til objektet, da spesielt over vann. Modelleringen over vann burde muligens også vært produsert slik at luftmotstand var en faktor, dette ville da ha blitt meget likt med modelleringen under vann, og siden dette allerede er gjort så er det trolig at denne forbedringen ikke ville tatt veldig lang tid å gjennomføre. Denne forbedringen vil ikke løse problemet med unøyaktigheten over vann, da dette stort sett skyldes selve fôrerer, og er et problem som oppstår før prosjektet er i luften.

I løpet av dette prosjektet er det gjort gode erfaringer med tanke på generelt prosjektarbeid og arbeidsmetoder. Det er blitt tilegnet mye ny kunnskap om oppdrettsnæringen i Norge. Det er også blitt gjort erfaringer i form av prosedyrer for innkjøp og budsjett. Det meste av innkjøp til dette prosjektet er blitt gjort av gruppen, med hjelp fra veiledere og andre ansatte ved NTNU. Det er også gjort grundige undersøkelser av produkter for bruk i prosjektet, som strømningsmåler og andre produkter, ved å kontakte bedrifter og andre fakulteter ved NTNU. Disse erfaringene er meget verdifulle erfaringer å ha med videre som studenter og ingeniører.

9 Litteratur og Kilder

Kildeliste

- [1] Akvagroup. *Merdbasert akvakultur [Internett]*. Aquagroup. 2017. URL: https://www.akvagroup.com/Downloads/MERD%5C%20NO%5C%2011_08%5C%202017.pdf.
- [2] Akvagroup. *Rotorspreder [Internett]*. Akvagroup. 2021. URL: <https://www.akvagroup.com/merdbasert-oppdrett/f-ringsanlegg/rotorspredere>.
- [3] Torleif Anstensrud. *Forelesninger - Sanntids datateknikk*. NTNU, 2020.
- [4] Misund B. *Fiskeoppdrett [Internett]*. Store norske leksikon. Feb 2021. URL: <https://snl.no/fiskeoppdrett>.
- [5] CenryKay. *CenryKay Motor Speed Controller 6V-90V 15A Universal PWM Controller DC Motor Speed Controller Supports PLC (Green) [Internett]*. CenryKay. Unknown. URL: https://www.amazon.com/dp/B07RQPH339/ref=pe_825000_114665720_TE_item.
- [6] Dejan. *How I2C Communication Works and How To Use It with Arduino*. How To Mechatronics. Unknown. URL: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-i2c-communication-works-and-how-to-use-it-with-arduino/>.
- [7] Sanyo Denki. *Sanyo Denki US1D200P10 Stepper Motor Controller 3 A [Internett]*. Sanyo Denki. Unknown. URL: <https://no.rs-online.com/web/p/motor-controllers/8293556/>.
- [8] DEVMO. *DEVMO BTS7960B 43A Double DC Stepper Motor Driver Module H-Bridge PWM Smart Car Compatible with Ar-duino,Raspberry Pi [Internett]*. DEVMO. Unknown. URL: https://www.amazon.com/dp/B07SZ4T699?ref_=pe_386300_442715960_E_406_dt_1.
- [9] Seborg D. Edgar T. F. Mellichamp D. A. Doyle F. J. *Process Dynamics and Control*. USA: John Wiley Sons Inc, 2019.
- [10] Gravdahl J.T. *Reguleringsteknikk*. Store norske leksikon. Des. 2020. URL: <https://snl.no/reguleringsteknikk>.
- [11] Chris Liechti. *serial.tools.list_ports [Internett]*. Pyserial. 2017. URL: https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/tools.html#module-serial.tools.list_ports.
- [12] Bjørgan Bjørkøy H. Alvar Engmark H. Rasheed A. Varagnolo D. Føre M. Alver M. *Smart fôringsautomat: Bachelor- og Master-forslag*. Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet. Nov 2020. URL: <https://folk.ntnu.no/damianov/Teaching/MScThesesProposals/2020/smart-feeding-systems.pdf>.
- [13] NASA. *Drag of a Sphere [Internett]*. National Aeronautics and Space Administration. 2021. URL: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/dragosphere.html>.

- [14] Witt Hansen O. “Examples of the Differential equations of Physics”. In: (2008), pp. 8–11. URL: http://olewitthansen.dk/Physics/differential_equations_of_physics.pdf.
- [15] Bjørvik K. Hveem P. *Reguleringsteknikk*. Trondheim: Høgskolen i Sør-Trøndelag, 2014.
- [16] Meridian International Research. *Observations on The Application of Chaos Theory to Fluid Mechanics*. Meridian International Research. 2003. URL: <http://www.meridian-int-res.com/Aeronautics/Chaos.pdf>.
- [17] SSB. *Akvakultur*. SSB. 29. oktober 2020. URL: <https://www.ssb.no/fiskeoppdrett>.
- [18] Vmac. *How to size an air reciver tank [Internett]*. Vmac. Unknown. URL: <https://www.vmacair.com/blog/sizing-air-receiver-tank/>.
- [19] Wikipedia. *Arduino*. Wikipedia. Mars 2021. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>.

10 Vedlegg

Komponent-og Materialliste

| Komponent | Antall/Mengde | Beskrivelse |
|---------------------|---------------|------------------------------------|
| Lineæraktuator | 1 stk | Prismatisk ledd |
| Steppermotor | 1 stk | Roterende ledd |
| PVC-rør | 2 meter | 40 mm rør |
| PVC-bøy | 1 stk | Slak 90 ° rør |
| Fleksibelt PVC-rør | 5 meter | 40 mm bøyelig rør |
| PVC-T rør | 2 stk | 2 stk T-rør |
| PVC-ventil | 2 stk | 40 mm manuell ventil |
| PVC-skjøtemuffe | 2 stk | 40 mm muffe |
| PVC-cap | 1 stk | Kobling til trykkluft |
| Flens | 1 stk | 40 mm flens |
| Kulelager | 1 stk | 40 mm rørdiameter |
| Tannhjul | 2 stk | Rotasjonsoverføring |
| Rørklemme | 2 stk | Montering av aktuator |
| Akkumulator tank | 1 stk | 24 L tank |
| Hurtigkobling | 1 stk | Kobling til akkumulator tank |
| Sponplate | 1 stk | Plate til bord |
| Plank | 4 meter | Bein til bord |
| Koblingsboks | 3 stk | For alt el-system |
| Automatsikring | 1 stk | 10 A automatsikring |
| Div kabler | | Kraftforsyning og signaloverføring |
| Vinkelsensorholder | 1 stk | 3D-printet |
| DC-motor | 1 stk | Strømningsgenerator |
| Propell | 1 stk | Plastpropell på motor |
| Batteripakke | 1 stk | Forsyning til motor |
| Thrusterholder | 1 stk | Holder til thruster |
| Arduino Mega | 1 stk | Master-arduino |
| Arduino Nano | 1 stk | Slave-arduino |
| H-bro | 1 stk | Styring av aktuator |
| Hastighetsregulator | 1 stk | Styring av thruster |
| Stepperdriver | 1 stk | Styring av steppermotor |
| Akselerometer | 1 stk | Vinkelsensor, utskytningsvinkel |
| Spenningsforsyning | 2 stk | 24 V og 5 V |
| Akvarium | 1 stk | Tank til testrigg |

Table 10.1: Komponent- og Materialliste

Resultat for ertens diameter

| Målinger | Diameter 1 [mm] | Diameter 2 [mm] | Gjennomsnittlig diameter [mm] |
|----------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | 6,3 | 7,0 | 6,65 |
| 2 | 6,7 | 6,9 | 6,8 |
| 3 | 6,0 | 6,9 | 6,45 |
| 4 | 7,0 | 7,8 | 7,4 |
| 5 | 5,1 | 6,4 | 5,75 |
| 6 | 6,9 | 6,0 | 6,45 |
| 7 | 6,2 | 7,0 | 6,6 |
| 8 | 6,6 | 5,8 | 6,2 |
| 9 | 6,1 | 6,9 | 6,5 |
| 10 | 5,1 | 6,7 | 5,9 |
| 11 | 7,0 | 6,9 | 6,95 |
| 12 | 6,0 | 6,2 | 6,1 |
| 13 | 6,9 | 6,0 | 6,45 |
| 14 | 6,1 | 7,1 | 6,6 |
| 15 | 7,2 | 6,2 | 6,7 |
| 16 | 7,0 | 5,6 | 6,3 |
| 17 | 6,9 | 6,0 | 6,45 |
| 18 | 7,0 | 8,0 | 7,5 |
| 19 | 6,9 | 6,0 | 6,45 |
| 20 | 7,0 | 8,0 | 7,5 |
| 21 | 7,1 | 6,0 | 6,55 |
| 22 | 6,2 | 7,1 | 6,65 |
| 23 | 6,8 | 6,5 | 6,65 |
| 24 | 5,7 | 7,8 | 6,75 |
| 25 | 7,0 | 6,0 | 6,5 |
| 26 | 6,0 | 6,8 | 6,4 |
| 27 | 6,3 | 7,0 | 6,65 |
| 28 | 6,4 | 6,0 | 6,2 |
| 29 | 6,5 | 7,9 | 7,2 |
| 30 | 7,5 | 6,3 | 6,9 |
| 31 | 6,9 | 6,1 | 6,5 |
| 32 | 7,0 | 7,3 | 7,15 |
| 33 | 6,0 | 6,9 | 6,45 |
| 34 | 5,8 | 6,2 | 6,0 |
| 35 | 6,2 | 6,0 | 6,1 |
| 36 | 6,4 | 6,6 | 6,5 |
| 37 | 6,1 | 7,9 | 7,0 |
| 38 | 5,1 | 6,4 | 5,75 |
| 39 | 6,5 | 7,1 | 6,8 |
| 40 | 6,3 | 8,1 | 7,2 |
| 41 | 6,7 | 8,2 | 7,45 |
| 42 | 6,1 | 7,3 | 6,7 |
| 43 | 6,1 | 7,0 | 6,55 |

| | | | |
|----|-----|-----|------|
| 44 | 6,0 | 6,7 | 6,35 |
| 45 | 7,7 | 6,1 | 6,9 |
| 46 | 5,2 | 7,0 | 6,1 |
| 47 | 7,4 | 7,8 | 7,6 |
| 48 | 6,9 | 5,1 | 6,0 |
| 49 | 6,8 | 7,1 | 6,95 |
| 50 | 7,0 | 6,1 | 6,55 |

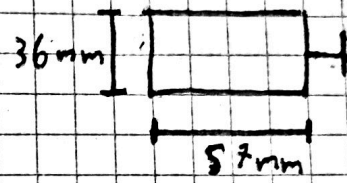
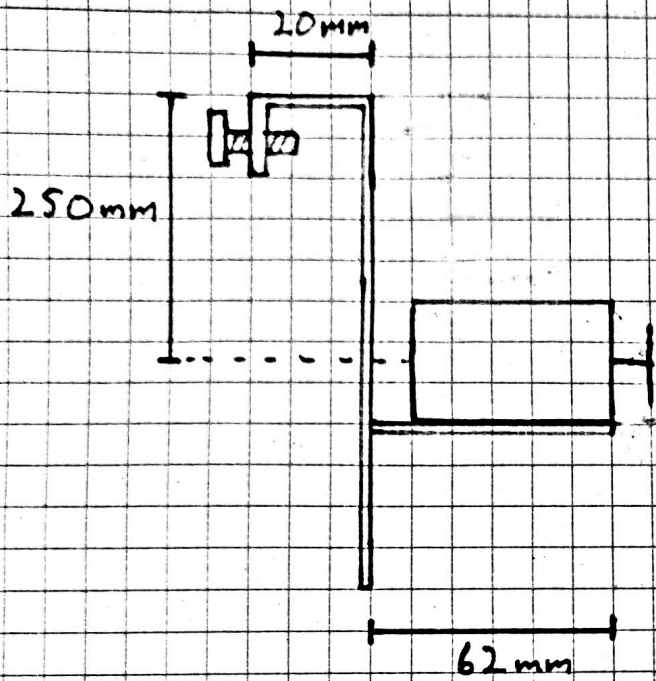
Table 10.2: Målinger for ertens diameter.

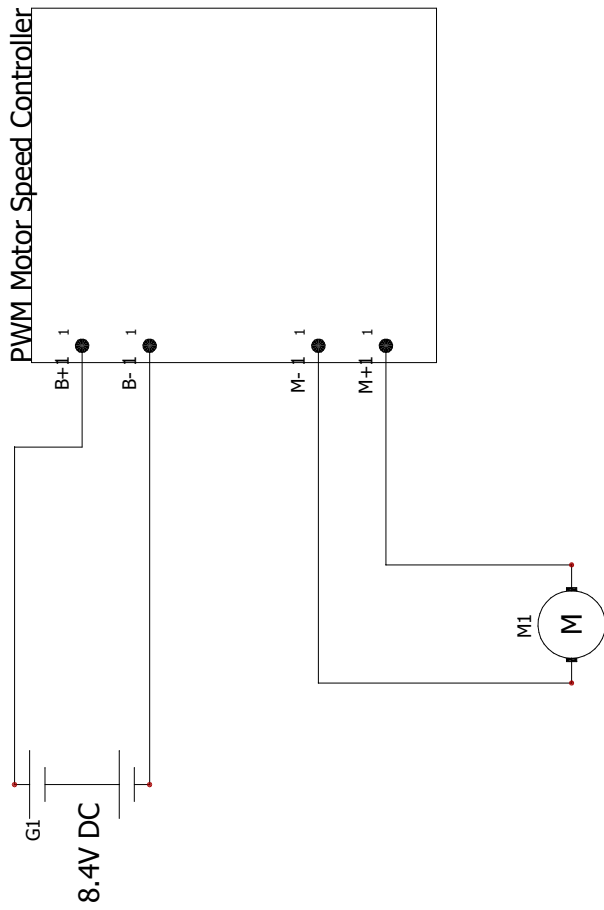
Resultat for strømningstest

| Målinger | Distanse [cm] (1/8 styrke) | Distanse [cm] (1/4 styrke) |
|----------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 6 | 15 |
| 2 | 6 | 15 |
| 3 | 15 | 15 |
| 4 | 15 | 40 |
| 5 | 15 | 15 |
| 6 | 15 | 6 |
| 7 | 15 | 40 |
| 8 | 15 | 6 |
| 9 | 6 | 40 |
| 10 | 15 | 15 |
| 11 | 6 | 15 |
| 12 | 6 | 15 |
| 13 | 15 | 15 |
| 14 | 15 | 15 |
| 15 | 15 | 15 |
| 16 | 15 | 15 |
| 17 | 15 | 40 |
| 18 | 15 | 15 |
| 19 | 6 | 6 |
| 20 | 15 | 15 |
| 21 | 15 | 15 |
| 22 | 15 | 6 |
| 23 | 6 | 15 |
| 24 | 15 | 15 |
| 25 | 6 | 40 |
| 26 | 15 | 15 |
| 27 | 15 | 40 |
| 28 | 6 | 40 |
| 29 | 6 | 40 |
| 30 | 15 | 15 |
| 31 | 15 | 15 |
| 32 | 6 | 40 |
| 33 | 6 | 15 |
| 34 | 15 | 15 |
| 35 | 15 | 40 |
| 36 | 15 | 40 |
| 37 | 15 | 6 |
| 38 | 6 | 40 |
| 39 | 6 | 15 |
| 40 | 15 | 15 |
| 41 | 15 | 40 |
| 42 | 15 | 15 |
| 43 | 15 | 15 |

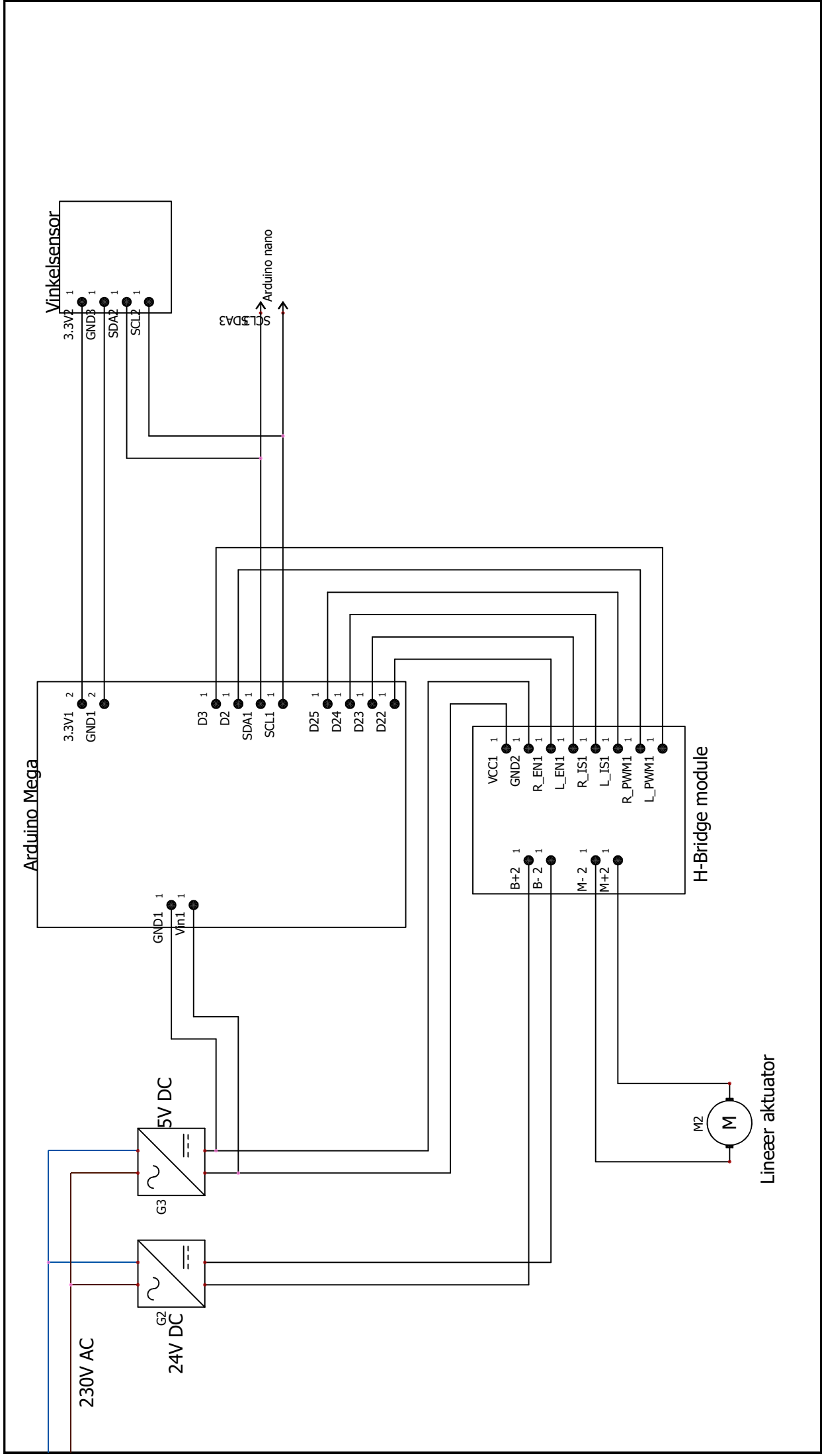
| | | |
|----|----|----|
| 44 | 15 | 40 |
| 45 | 15 | 15 |
| 46 | 15 | 15 |
| 47 | 15 | 15 |
| 48 | 15 | 40 |
| 49 | 15 | 15 |
| 50 | 15 | 15 |

Table 10.3: Målinger for strømmingens påvirkning på erten.





| | | | | | | | |
|-------------------|------------|--------------|-------------|------------------------|--------|----------|--|
| CONTRACT: | | LOCATION: L1 | | Main electrical closet | | REVISION | |
| Undervannstruster | | | | | | 0 | |
| REV. | DATE | NAME | CHANGES | | SCHEME | | |
| 0 | 10.03.2021 | Reina | User data 2 | | 04 | | |
| User data 1 | | User data 1 | | | | | |



CONTRACT:

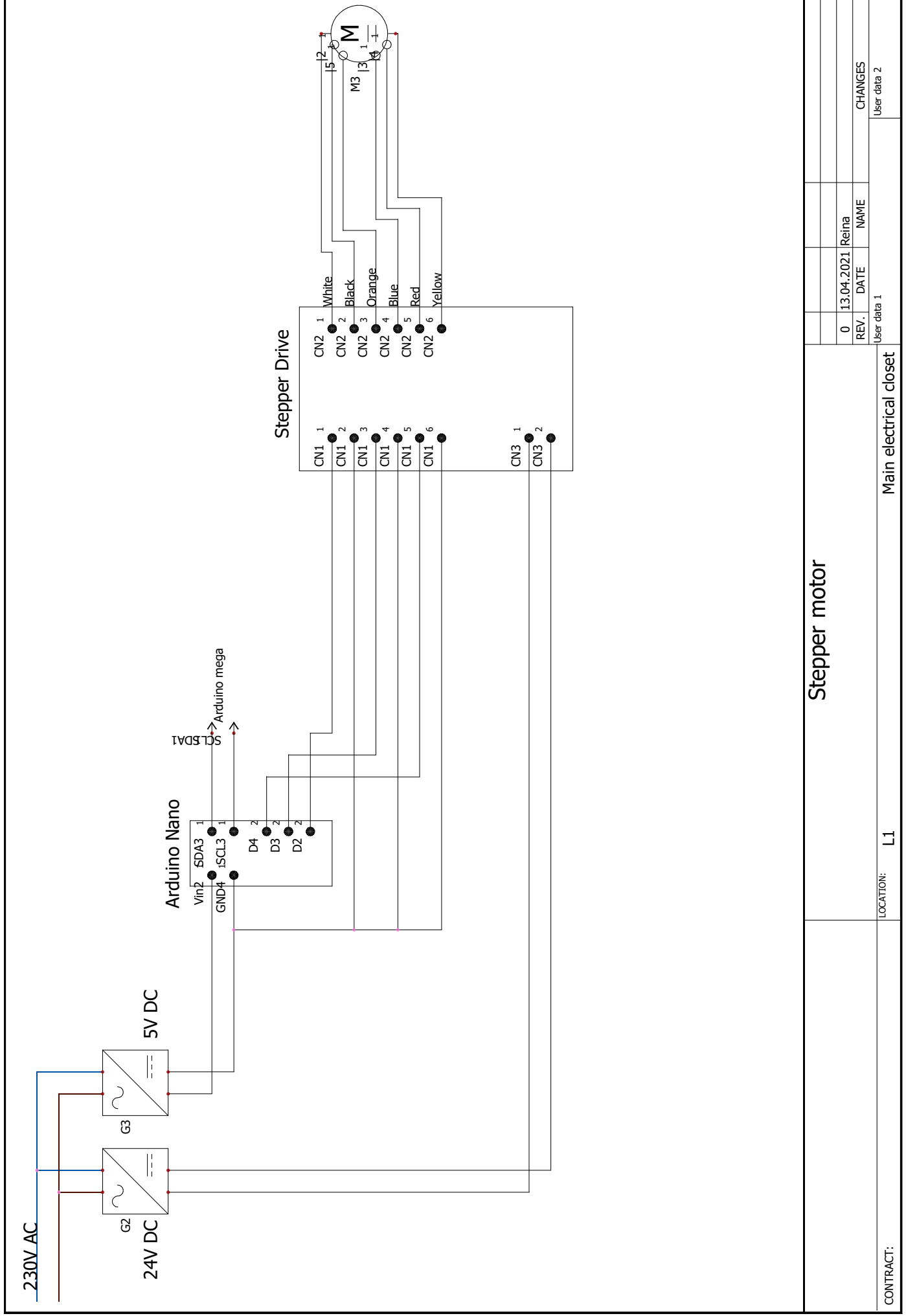
LOCATION: L1

Lineær aktuator og vinkelsensor

Main electrical closet

| REV. | DATE | NAME | CHANGES |
|-------------|------------|-------|-------------|
| 0 | 10.03.2021 | Reina | |
| User data 1 | | | User data 2 |

REVISION 0
SCHEME 05



Stepper motor

| | |
|----------|----|
| REVISION | 0 |
| SCHEME | 06 |

| | | | |
|-------------|------------|-------|-------------|
| REV. | DATE | NAME | CHANGES |
| 0 | 13.04.2021 | Reina | User data 2 |
| User data 1 | | | |

LOCATION: L1
Main electrical closet

CONTRACT:

| Cmd | Beskrivelse | Data1 | Beskrivelse | Data2 | Beskrivelse |
|---------|--------------------------------------------|--------|-----------------------|-------|---------------------------------|
| run | Kjør automatisk modus | x | | x | |
| acrun | Endre alpha | 00.00 | Referansevinkel | 0/1 | plotter on/off |
| stprun | Endre tetha | 00.00 | Referansevinkel | c/a | retning clockwise/anticlockwise |
| kp | Endre verdi Kp | 000.00 | Verdi | x | |
| td | Endre verdi Td | 000.00 | Verdi | x | |
| n | Endre verdi filterkonstant derivatvirkning | 000.00 | Verdi | x | |
| s | Endre verdi samplingtid | 000.00 | Verdi [millisekunder] | x | |
| vwater | Endre verdi hastighet vann | 000.00 | Verdi [meter/sekund] | x | |
| pox | Endre verdi ønsket posisjon bunn av tank | 000.00 | Verdi [meter] | x | |
| v0 | Endre verdi startfart | 000.00 | Verdi [meter/sekund] | x | |
| h | Endre verdi høyde | 000.00 | Verdi [m] | x | |
| tbottom | Endre verdi tid til bunn av tank | 000.00 | Verdi [sekunder] | x | |
| plotime | Endre verdi tid som plottes | 000.00 | Verdi [millisekunder] | x | |