

Katamaran med trykkluft som fremdriftssystem

Arne Gjerde
Lena Grønstøl
Mads Ekkeren

Bacheloroppgave i Marinteknikk
Bergen, Norge 2020



Katamaran med trykkluft som fremdriftssystem

Arne Gjerde
Lena Grønstøl
Mads Ekkeren

Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

English title: Catamaran with compressed air as propulsion system

Forfatter(e), studentnummer: Arne Gjerde, 571618
Lena Grønstøl, 152072
Mads Ekkeren, 571627

Studieprogram: Marinteknikk
Dato: Mai 2020
Rapportnummer: IMM 2020-05.25 M36
Veileder ved HVL: Gloria Stenfelt og David Lande-Sudall, HVL ansatt
Oppdragsgiver: Rwpower AS
Oppdragsgivers referanse: Torger Tveter

Antall filer levert digitalt: 2

Sammendrag

I dagens samfunn er fokuset på kreative og innovative løsninger som bidrar til mindre eller målet, som er ingen forurensing i fokus. Det finnes allerede mange miljøvennlige løsninger som er i bruk den dag i dag. Denne rapporten tar for seg en katamaran som bruker trykkluft som fremdriftsmiddel, denne løsningen er veldig interessant, ikke bare med tanke på at den kommer til å være miljøvennlig og billig i drift, men fordi det ikke finnes fartøy som benytter luft på samme måte. Prosjektet fikk inspirasjon ifra ett tidligere prosjekt der det ble sett på ett enkeltskrog som benyttet trykkluft som fremdriftsmiddel. I dette prosjektet er hovedfokuset å se på hastigheter ved forskjellig trykk. Etter tester blir det observert at modellen og fremdriftssystemet fungerer dog med hastigheter rundt 1-3 knop ved de forskjellige trykkene.

Abstract

Today's society focuses on solutions which are creative, innovative and contribute to less contamination. We already have several solutions deployed today in the ship-industry. This project contains a propulsion system of compressed air on a catamaran. This is not only interesting because the system is environmentally friendly and economic, but because no other vessel uses anything like this as a propulsor. This project takes inspiration from an earlier bachelor where the test object was a single hull with the same propulsion system. The main purpose of this concept is to see the velocity difference between various pressure values. After the test-runs it was discovered that the velocity reaches values between 1-3 knots.

Innhold

| | |
|--|-----|
| Sammendrag | VII |
| Abstract | IX |
| 1. Innledning..... | 1 |
| 1.1 Bakgrunn og tidligere prosjekt..... | 2 |
| 1.2 Litteraturstudie | 2 |
| 1.2.1 Eksisterende fremdriftssystemer | 2 |
| 1.2.2 Miljøvennlige løsninger | 4 |
| 1.2.3 Luft som fremdriftsmiddel | 5 |
| 2. Metode..... | 5 |
| 2.1 Teoretisk fremgangsmåte | 5 |
| 2.2 Eksperimentell metode | 7 |
| 2.2.1 Beskrivelse av modell | 7 |
| 2.2.2 Testplan | 8 |
| 2.2.3 Feilkilder | 10 |
| 3. Resultat og diskusjon..... | 11 |
| 3.1 Resultat modell..... | 11 |
| 3.2 Resultat strekningsberegning | 14 |
| 3.3 Diskusjon og forbedringspotensialer..... | 14 |
| 4. Konklusjon | 15 |
| 5. Takk til | 15 |
| 6. Kilder..... | 16 |
| Vedlegg 1 | 17 |

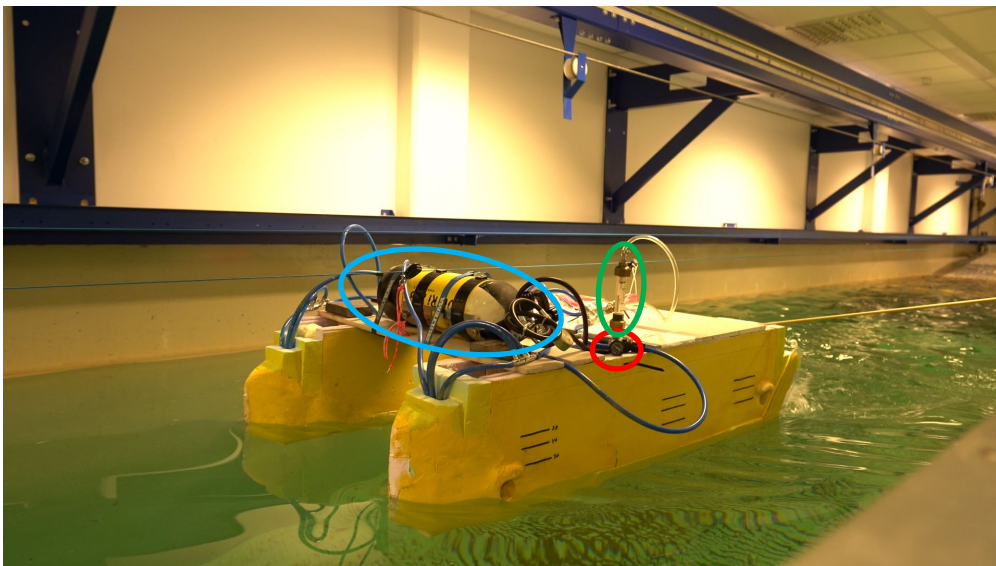
1. Innledning

Dette prosjektet går ut på å teste en katamaran som bruker trykkluft som fremdriftsmiddel. Hvis dette kan realiseres kommer det både til å ha et miljøvennlig og rimelig fremdriftssystem. Norge har i mange år vært en skipsnasjon og visjonen er å bli verdensledende på miljøvennlig og effektiv kystfart. De store klimautfordringene i dagens samfunn er et alvorlig problem, derfor er det svært viktig å forske på kreative og innovative løsninger.

Skipsindustrien er den største når det kommer til transport av gods noe som også fører til at maritim næring står for store utslipp av skadelige klimagasser. Likevel er det ikke bare skipsindustrien som står for utslipp av klimagasser, men også oppdrettsnæringen, transportnæringen osv. Hvis man kan klare å utvikle og realisere en katamaran som går på trykkluft som krever minimalt med energi kan dette være svært viktig for skipsfartens fremtid med miljøet i fokus.

Hovedfokuset med dette prosjektet er å finne ut ved hjelp av tester i MarinLab ved HVL om det er reelt å bruke trykkluft som fremdriftsmiddel og om det kan realiseres i dagens samfunn. Det ble hentet dykkertanker hos dykkerutdanningen i Loddefjord som ble benyttet i testingen. Det ble bestemt tre forskjellige dypganger som skulle testes ved fire ulike trykk ved ulike trim.

Modellen som man kan se under i Figur 1 er i utgangspunktet rettet mot oppdrettsnæringen, hvor det tenkes at denne type båt skal brukes i og rundt oppdrettsanleggene. Modellskalaen er satt til 1:10. Intensjonen med hele oppgaven er å se om denne type miljøvennlig og energibesparende fartøy kan realiseres.



Figur 1 – Modell katamaran med dykkerflaske (blå sirkel) montert på lille dekk med trykkregulator (rød sirkel) og flowmåler (grønn sirkel) på babord side av modellen.

1.1 Bakgrunn og tidligere prosjekt

Oppfinneren Torger Tvetter som har skrevet patent på luftsystemet sitt startet våren 2015 sammen med en gruppe studenter et prosjekt «Aeris-luftdrevet båt», som gikk ut på å utvikle et enkeltskrog med trykkluft som fremdriftssystem. Høsten 2015 ble dette prosjektet videreført av en student og Torger, hvor de videreutviklet den opprinnelige modellen som ble brukt vår 2015. Her konkluderes det med at modellen ikke er optimal per i dag, og at teknologien vil egne seg best for hybride løsninger.

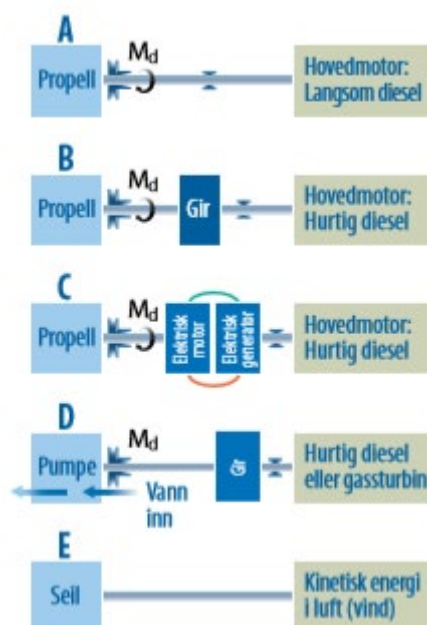
Våren 2020 etter kontakt med Torger Tvetter ble det bestemt at denne gruppen skulle se på en katamaran med trykkluft som fremdriftssystem. Denne oppgaven er noe annerledes enn de to nevnte, hvor de var med og utviklet en modell mens i dette prosjektet ble det levert en ferdigstilt modell klar for testing.

1.2 Litteraturstudie

Under i dette kapittelet vil det kort bli representert noen av de eksisterende miljøbevisste og luftinspirerte fartøyene som finnes i dagens samfunn. Det vil i hovedsak handle om elektriske fartøy, luftdrevne fartøy og et fartøy som bruker luft som hjelpemiddel for å redusere forbruket.

1.2.1 Eksisterende fremdriftssystemer

Som en stor sjøfartsnasjon har Norge god erfaring med å utvikle fremdriftssystemer som ligger på topp internasjonalt både når det kommer til reliabilitet og innovasjon. Felles for alle fremdriftssystemer er behovet for en energikilde som kan drive fartøyet. Med dagens klimautfordringer er det ønskelig å få disse energikildene så «grønn» og effektive som mulig. Dette kan gjøres ved å bygge bedre fremdriftssystemer og øke virkningsgradene til allerede eksisterende fremdriftssystemer. Det er også viktig å kunne minimere effektbehovet til fartøyet. Den største faktoren for energibruken til et fartøy er motstanden som oppstår i vann og luft. I dag har vi primært fem forskjellige fremdriftssystemer til sjøs, disse er vist i Figur 8. Her vises også de tre mest vanlige formene å skape fremdrift; propell, vannjet og seil.



Figur 2 - Mest vanlige fremdriftssystemer

Propelldrif er den mest utbredte måten å generere skyvkraft. Det finnes mange forskjellige propelltyper, men prinsippet er det samme: En energikilde setter propellen i bevegelse ved hjelp av en roterende aksel, alt etter hvilken vei propellen går vil den generere skyvkraft enten fremover eller bakover.

Vannjet som er det mest vanlige fremdriftssystemet for hurtiggående fartøy i dag da et slikt fremdriftssystem ikke blir påvirket av kavitasjon i like stor grad som propeller ved høye hastigheter. En vannjet vil også ha større virkningsgrad enn propelldrif ved så høye hastigheter. Et vannjetssystem er også tradisjonelt et lettere system [1].

På grunn av global oppvarming har skipsindustrien i de siste årene måttet lete etter alternativer til de tradisjonelle fremdriftssystemene for å minimere co2-utslippet. Bruk av batterier, LNG (Liquid Natural Gas) og hybridløsninger blitt prøvd og delvis funnet veien inn i den moderne skipstrafikken.

På samme måte som i bilindustrien er batteriene på full fart inn i skipsindustrien grunnet strengere miljøkrav. Bedre, billigere og mer bærekraftige batteriteknologier blir utviklet. En stor fordel med batterier er at de kan brukes alene eller som en hybridløsning i kombinasjon med en tradisjonell dieselmotor eller gassturbin.

En hybridløsning går ut på at en diesel- eller gassmotor og batterier kombineres. Dette gjøres enten ved å lade batteriene ved kai, eller koble motoren sammen med batteriene via en generator for ladning. Hybriddrift har blitt vanlig på både ferger og på turskip, dette gjør det mulig å kjøre på batteridrift i bebygde områder og unngå unødvendig luftforurensing. «Viking energy» er et supply-skip som ble utstyrt med hybriddrift for å kutte kostnader og co2 utslipp. Her brukes batterikraften i hovedsak når skipet ligger i havn til å erstatte hovedmotoren ved DP-operasjoner (dynamisk posisjonering, når skipet holdes på plass ved hjelp av propeller istedenfor ankre) [2].



Figur 3 – Supply skipet "Viking Energy" [3]

Ammoniakk som drivstoff er en helt ny måte å oppnå 100% utslippsfri drift over lange distanser. I 2024 skal «Viking Energy» brukes i et forskningsprosjekt som skal utvikle og teste brenselceller som benytter ammoniakk som drivstoff. Dette blir det første skipet i verden som tester dette i stor skala. [4]

1.2.2 Miljøvennlige løsninger

«MF Ampere» som vises under i Figur 4 er verdens første batteridrevne ferge som ble bygget i 2014, den har en kapasitet på 350 passasjerer med 120 biler og 8 vogntog om bord. Fergen har katamaran skrog og er 80,8 meter lang og 20,8 meter brei med en operasjonsfart på 10 knop og maks hastighet 14 knop. Fergen er drevet av to hovedmotorer på 450 kW [5].

«GMV Zero» som vises i Figur 5 er verdens første elektriske røkterbåt, den er bygget som en katamaran og vil ha en maksfart på over 10 knop og en rekkevidde på over 26 nautiske mil ved 8 knop. Når det kommer til miljø, vil dette fartøyet spare miljøet for omtrent 900 kg NO_x og 90 tonn CO₂ årlig. Sammenlignet med en tradisjonell dieselbåt kan man spare store årlige drivstoffkostnader. Hovedmotorer er 2stk elmotorer på 107 kW [6].

«Monte Carlo 27», som vises i Figur 6, er en fransk båt, skroget har to små metallrør på skutesiden med åpning forover et såkalt «air step system» som er illustrert i Figur 7. Når luften kommer inn på skutesiden og går under båten skal dette minske vannmotstanden til skroget, også kalt «smøreeffekt» dette fører til lavere drivstofforbruk enn tradisjonelle skrog. Ifølge produsenten Beneteau skal denne effekten være merkbar etter bare 8 knop [7].



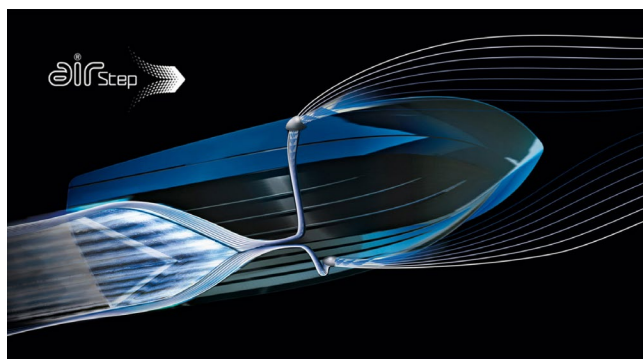
Figur 4 – «MF Ampere», helelektrisk ferje med katamaran skrog



Figur 5 – «GMV Zero», helelektrisk røkterbåt med katamaran skrog



Figur 6 – «Monte Carlo 27», bruker luft som smøreeffekt



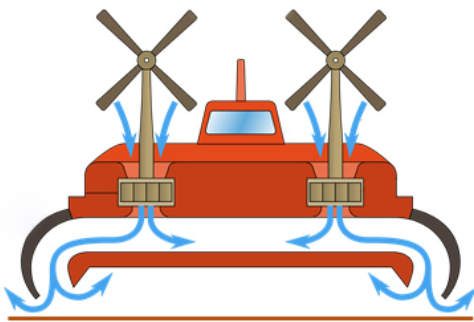
Figur 7 – «Air step system», her vises det hvordan luften går inn på sidene og ut under båten [8]

1.2.3 Luft som fremdriftsmiddel

Det er ikke første gang luft har blitt sett på som et godt fremgangssystem for båter. Allerede på 1700-tallet ble den første luftputebåten beskrevet, men det var ikke før på 1950-1960-tallet det første praktiske designet ble utviklet i Storbritannia.

En luftputebåt, vist i Figur 8 under, slik vi kjenner den i dag bruker en eller flere motorer for å drive vifter som skaper løftetrykket under skjørtet og en eller flere motorer som driver propeller for fremdrift.

I Figur 9 vises en sump-båt. Den blir på samme måte som en luftputebåt drevet fremover ved hjelp av en stor vifte. Fordelen med en slik båt er at det ikke er noen operasjonskritiske deler som stikker under vannoverflaten, noe som gjør den godt egnet til bruk i grunne farvann.



Figur 8 - Luftputebåt konsept [9]



Figur 9 – Sumpbåt som blir drevet fremover ved hjelp av en stor vifte [10]

2. Metode

I denne delen av oppgaven presteres metoder. Dette prosjektet bygger i hovedsak på en eksperimentell metode, men har også en seksjon med teori. I den eksperimentelle delen beskrives blant annet testobjektet og hvordan modellen er tilpasset for å prøve ut fremdriftssystemet, hvilke fremgangsmetoder som er benyttet og en testplan som går dypere inn i selve utførelsen av forsøkene. Samtidig presenteres en teoretisk del av oppgaven som gir ytterligere forståelse av konseptet i form av beregning som støtter opp under enkelte resultater som er viktige å ha med for en helhetlig konklusjon.

2.1 Teoretisk fremgangsmåte

I denne delen av oppgaven presenteres det teoretiske bak konseptet i oppgaven. Teorien bygger opp under de praktiske løsningene og utførelsene og gir god referanse til hvorfor akkurat de valgte metodene er benyttet. Dette presenteres i hovedsak i form av formler siden metodevalgene som er gjort kun krever beregninger og omregninger. Denne seksjonen er relativt kort da gruppen har valgt å fokusere mest på fremdrift og hastighet og dette krever minimal beregning. I avsnittet under presenteres formlene med kort beskrivelse.

Hastigheten til modellen blir beregnet med

$$V_m = \frac{S}{t}, \quad (1)$$

hvor V_m er modellfarten, S er strekning og t er tid.

Videre beregnes modellhastigheten om til fullskalamodell

$$V_s = V_m \cdot \sqrt{\lambda}, \quad (2)$$

hvor V_s er skipsfarten og λ er modellskalaen

Videre beregnes hvor langt modellen kan kjøre på en full dykkertank

$$\frac{\text{masse}}{\text{flow}} \cdot 1000 = \text{minutt}, \quad (3)$$

hvor $flow$ er volumstrømmen som multipliseres med $1000 \frac{\text{liter}}{\text{m}^3}$ for å få enheten i liter per minutt, og $masse$ er tankvolumet som rommer 10 000 liter.

Dette omgjøres videre til sekunder ved

$$\text{minutt} \cdot \frac{60 \text{ sekund}}{\text{minutt}} = \text{sekund}, \quad (4)$$

Denne tiden tilsvarer en strekning på

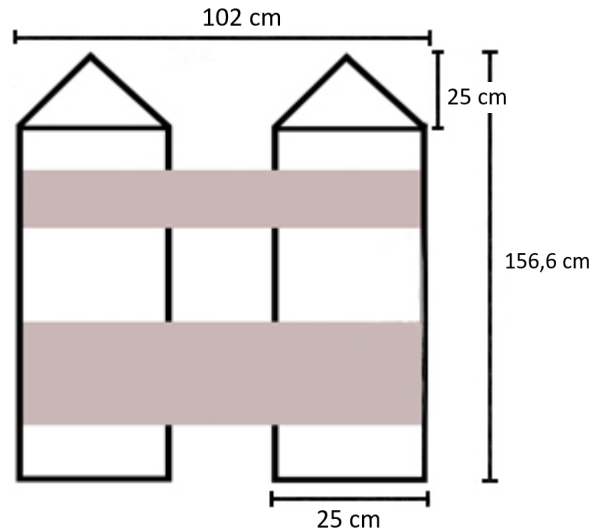
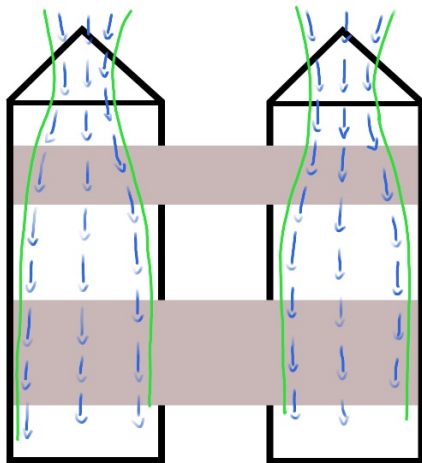
$$V_m \cdot \text{sek} = \text{strekning}, \quad (5)$$

2.2 Eksperimentell metode

I dette kapitlet av oppgaven presenteres det eksperimentelle ved oppgaven. Først en beskrivelse av modellen med vedlagte figurer for å tydelig vise hva konseptet innebærer. Deretter beskrives en testplan med utførelsen av forsøkene i MarinLab og til slutt feilkilder som forekommer i prosjektet.

2.2.1 Beskrivelse av modell

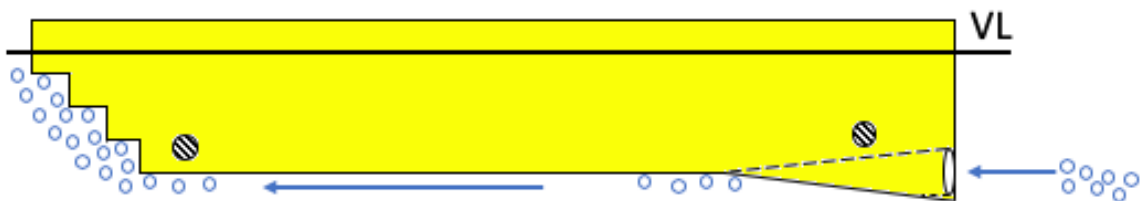
Testobjektet i denne oppgaven er en katamaran-modell. Modellen er ferdig konstruert av gruppens eksterne veileder, Torger Tveter, og det er ikke nødvendig med videre modifikasjoner på modellens ytre for gjennomføringen av testene. Figur 10 under viser modellen sett ovenfra med strømlinjer for vannet og luften under båten. Målene av modellen vises i Figur 11. De grå feltene representerer to dekk som settes ned i skrogene for å binde de sammen. Vekt av modellen og disse dekkene presenteres i Tabell 1.



Figur 10. Modellen sett ovenfra med vannets- og luftens strømlinjer.

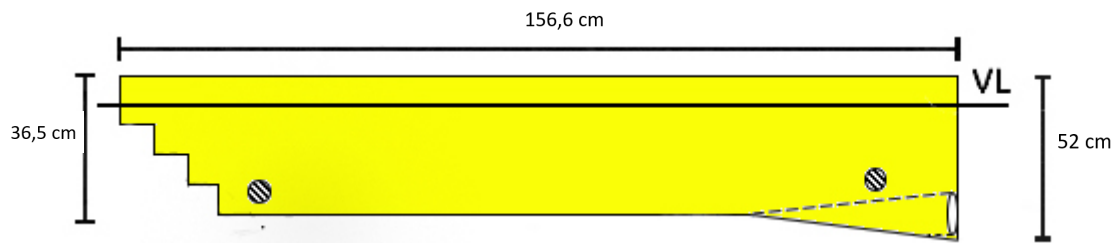
Figur 11. Modellens mål i cm

Selve utformingen på modellen skiller seg ut fra tradisjonelle katamaraner. Dette er modifikasjoner som er nødvendige for at fremdriftssystemet med luft skal realiseres. Det er blant annet 2 åpninger med dyser i fremkant som tar inn vann, som vist i Figur 13. Med tilførsel av luft gjennom dysene vil luften i vannet gli under skroget og skape både en løfte- og skyvekraft, også kalt «smøring». For å oppnå mest mulig skyvekraft er hekken utformet med en skrå helning med riller som tar opp luften og gir ekstra fremdrift.



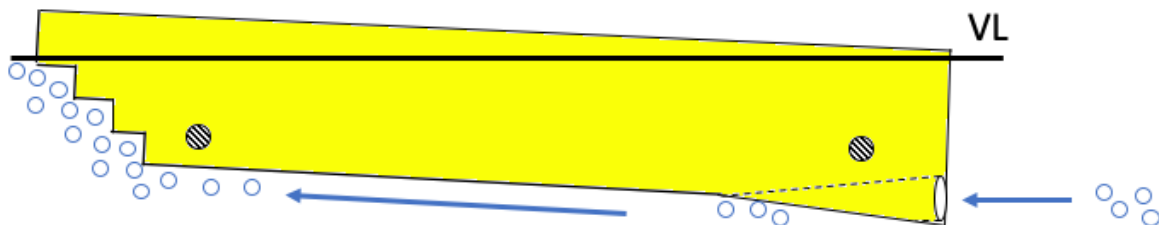
Figur 12 – Modellen sett fra siden

Modellen har også «tilleggsfunksjoner» som gjør det mulig å manøvrere båten. Her er det fire hull som på det ene skroget er fremme på utsiden, og bak på innsiden, og symmetrisk på det andre skroget. Dette gjør at når lufttilførselen strømmer ut i for eksempel styrbord skrog i baugen vil tilførsel fra babord skrog i hekken være med å øke effektiviteten av manøvreringen.



Figur 13. Modellen sett fra siden med mål i cm

Hovedmålet med testingen av modellen er å finne ut ved hvilke tilpassinger det oppnås størst hastighet. Her gjelder det å se på påvirkende faktorer som trim, dypgang, trykk, ballast osv. Det antas at modellen oppnår større hastighet med en forlig trim og bakgrunnen for antagelsen tar utgangspunkt i modellens utforming og hvordan luft beveger seg i vann. Luft i vann vil alltid prøve å komme seg til overflaten og med en forlig trim på modellen antas det at luften vil gli lettere mot overflaten og skape større skyvekraft. I tillegg vil luftboblene samle seg i rillene på hekken som gir et løft og til slutt frigjøres og gi ekstra fremdrift. Utformingen av hekken er laget slik for å kunne utnytte disse kreftene ved fremdriften. Dette vises i en illustrasjon under på Figur 14.

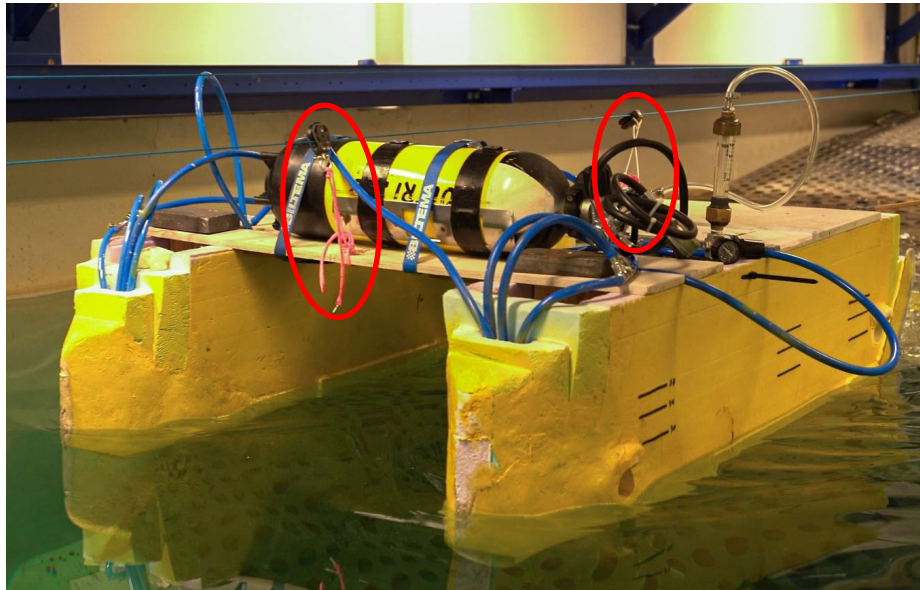


Figur 14. Luftens bevegelse under skroget

I og med at det i dette prosjektet skal testes med et dobbeltskrog må det tas hensyn til ulikhetene i utformingen av modellen. Dermed brukes ikke nødvendigvis de samme test verdiene som i forrige prosjekt. Gruppen har på forhånd målt opp tre ulike dypganger som er interessante å utføre testene ved. Disse er henholdsvis 30 cm, 34 cm og 37 cm.

2.2.2 Testplan

Det aller første som undersøkes er om modellen er tett, og her oppdages det at den tar inn vann, hovedsakelig i fremkant men også litt på midten. Dette løses med silikon som tetningsmiddel og modellen sjøsettes igjen etter tørking. Videre oppdages det at modellen fremdeles tar inn vann og en ny metode må anvendes. Det påføres deretter fugeskum som gir ekstra tetning og som må stå til tørking på nytt. Ved ny sjøsetting er modellen tett og klar til ballastering. Her veies vektene opp og det noteres hvor mye vekt som tas oppi for å få ønsket dypgang. Dette presenteres i Tabell 1 under. Alle tre dypgangene kjøres både med og uten trim med akkurat de samme trykkverdiene for å analysere teorien om at hastigheten vil øke med en forlig trim. I tillegg må modellen festes i et slepetau for å få så nøyaktige målinger som mulig, og for å unngå avvik ved selvmanøvrering under kjøring. For å sikre nøyaktigheten festes et tau på midten i to punkt, baug og akter. Dette vises i Figur 15 under.



Figur 15 – Modellen festes med slepetau i to punkt, vises med røde sirkler

Tabell 1 – Vekten av modellens deler og ballast vekten for hver dyppgang.

| VEKT AV MODELL | | kg | | |
|----------------------|--------------|-------------------|----------|----------|
| Styrbord skrog | | 6.8537 kg | | |
| Babord skrog | | 6.6604 kg | | |
| Lite dekk | | 3.3413 kg | | |
| Stort dekk | | 6.0571 kg | | |
| Tanker med slanger | | 17.2 kg | | |
| LETTSKIPSVEKT | | 40.1125 kg | | |
| BALLAST | BABORD SKROG | STYRBORD SKROG | TOTALT | TRIMVEKT |
| T= 37 cm | 51.96 kg | 46.44 kg | 98.4 kg | 6.78 kg |
| T= 34 cm | 42.18 kg | 33.22 kg | 75.4 | 3.99 kg |
| T= 30 cm | 36.11 kg | 24.93 kg | 61.04 kg | 3.99 kg |

Tabell 1 viser en oversikt over vektene som plasseres som ballast, og vekten til de ulike delene av modellen. Den første dyppgangen modellen skal testes med er den dypeste, altså 37 cm. Totalt sett plasseres 98.4 kg fordelt i begge skrogene, med litt avvik grunnet ulik egenvekt av hvert skrog. For å minimere avviket brukes en digital vinkelmåler som settes på midten av modellen og gir verdier på at båten ligger i vater både på tvers (krenge) og på langs (trim). Ved denne dyppgangen er det et lite utslag i trim, samt det beste ut av flere tilfeller med justeringer. Trykkverdiene kjøringene testes ved er henholdsvis 0.1, 1.6, 2 og 2.5 bar og er de samme for alle dyppgangene både med og uten trim. Etter testingene for dyppgang 37 cm uten trim, justeres ballasten, samtidig som det må ytterligere 6.78 kg til for å få ønsket trimvinkel på 1 grad. Dette dobbeltsjekkes med den digitale vinkelmåleren og modellen kjøres på nytt.

Når alle testene ved dyppgang 37 cm er utført må modellen ballasteres på nytt for ny dyppgang. Prosedyren og klargjøringen for testkjøringene foregår på samme måte som for dyppgang 37 cm. Neste kjøring er ved dyppgang 34 cm og det oppdages ved ny ballastering at modellen tar inn vann i fremkant fremdeles. Vannet pumpes ut men på grunn av tidsmangel kan ikke dette tettes på nytt, og må dermed legges inn som feilkilde. Videre er den nåværende vekten av ballasten 75.4 kg for dyppgang 34 cm og testene kjøres. Ved ballast-justeringene for trim legges til 4 kg i fremkant. Deretter er det klart for testing av siste

dypgang, altså 30 cm. Samme prosedyre for klargjøring utføres og ballastvekten tilsvarer nå 61.04 kg. For å få ønsket trimvinkel legges 4 kg til i fremkant også for denne dypgangen.

Testplanen legges opp slik for å få oversiktlige resultater med verdier fra varierende faktorer. På denne måten gir resultatene et tydelig bilde på hvilke parametere som kan eller må justeres for å oppnå ønskede verdier. Samtidig er tilgjengeligheten av Marinlaben begrenset og dermed viktig at de mest nødvendige testene utføres først. På grunn av dette blir testkjøringene begrenset til fire kjøring per forsøk, dvs., 24 kjøring totalt.

2.2.3 Feilkilder

I laborasjonen kan det oppstå flere feilkilder både før, under og etter testing som er med på å påvirke resultatet. I denne seksjonen presenteres generelle og utslagsgivende feilkilder for dette forsøket. Ukalibrert måleutstyr (vekt, vinkelmåler) kan føre til unøyaktige målinger og avvik i verdiene. Menneskelige feil som å lese feil av på verdier. Dette kan for eksempel oppstå når hastigheten skal måles. På bestemte punkt i tanken som utgir en konstant distanse tas tiden av modellen og hvor lang tid den bruker fra A til B og tiden regnes om til hastighet. Her kan det oppstå unøyaktige målinger ved å ikke starte og stoppe tidsuret til samme tid/punkt hver gang. På grunn av manglende utstyr er det også vanskelig å måle luftforbruket til dykkertankene. Dette medfører mangel på en viktig faktor i flow-beregningene og de to siste testkjøringene på alle forsøkene fra Tabell 2 til 7 står uten flow verdi. Som nevnt tidligere lakk også modellen. Den største lekkasjen ble tettet, men det lakk fremdeles inn små mengder vann som er med på å påvirke blant annet trim, kreng og dypgang. Dette kan skape selvmanøvrering av modellen som gir utslag/avvik i modellens kjørebane. For å minske dette utslaget og for å få modellen til å kjøre mest mulig i rett bane ble slepetauet i tanken benyttet. Her oppstår det minimalt med friksjon i de to taljene tauene til modellen festes i, men kan være med å påvirke resultatet likevel. Selv om taljene blir benyttet går ikke modellen i en tilfredsstillende bane, dermed blir det også benyttet, om nødvendig, ett kosteskraft. Kosteskraftet brukes til å dytte eller dra modellen i stabiliserende retning for å få den til å gå mest mulig i rett linje.

- Ukalibrert utstyr
- Manglende utstyr til å måle luftforbruk
- Lekkasje
- Friksjonsmotstand
- Modellens bane

3. Resultat og diskusjon

I dette kapitlet presenteres resultat og diskusjon. Resultatene baseres på totalt 24 testkjøringer av modellen som analyseres hvor resultatene også blir drøftet. Hovedfokuset i denne oppgaven er å se på modellens hastighet ved ulike trykkverdier. Nedenfor presenteres resultatene i tabeller for de ulike dyppangene som en enkel oversikt over hastighetene ved gitte parametere.

3.1 Resultat modell

For å få et ytterligere bilde av hvordan dette konseptet vil fungere i fullskala er hastighetene på modellforsøkene også regnet om til knop. Testforsøkene av modellen viser også at akselerasjonshastigheten er relativt konstant i starten av kjøringene noe som gjør det enklere å sammenligne de ulike resultatene.

T= 37 cm

I Tabell 2 og 3 presenteres endringene i hastighet ved de ulike trykkverdiene både med og uten trim. Det er tidligere antatt at hastigheten vil øke med en forlig trim, og resultatene støtter opp under denne teorien med minimale marginer. Dette grunner av at trimvinkelen ikke kan justeres høyere, som igjen resulterer i mindre utslag. Likevel gir dette en indikasjon på at hastigheten kan øke med en høyere trimvinkel. Sett at differansen i trim ved forsøkene ikke er mer enn 0.70 grader er det ikke uventet at utslaget av dette vil bli minimal. Den høyeste hastigheten som oppnås ved denne dyppangen er 2.76 knop, med trim, fra Tabell 3.

Tabell 2 –Testing fra dyppang 37 uten trim

| Trykk [bar] | Flow [m ³ /min] | Hastighet [m/s] | Hastighet fullskala [m/s] | Hastighet fullskala [knop] |
|-------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| 0.2 | 0.1 | 0.1846 | 0.5837 m/s | 1.13 knop |
| 1.6 | 0.28 | 0.3629 | 1.1476 m/s | 2.23 knop |
| 2 | | 0.3954 | 1.2504 m/s | 2.43 knop |
| 2.5 | | 0.4228 | 1.3370 m/s | 2.60 knop |

Tabell 3 - Testing fra dyppang 37 med trim

| Trykk [bar] | Flow [m ³ /min] | Hastighet [m/s] med trim = 0.95 grader | Hastighet fullskala [m/s] | Hastighet fullskala [knop] |
|-------------|----------------------------|--|---------------------------|----------------------------|
| 0.2 | 0.1 | 0.2013 | 0.6366 m/s | 1.24 knop |
| 1.6 | 0.28 | 0.3659 | 1.1571 m/s | 2.25 knop |
| 2 | | 0.4096 | 1.2953 m/s | 2.52 knop |
| 2.5 | | 0.4489 | 1.4195 m/s | 2.76 knop |

T= 34 cm

I denne forsøksrunden observeres resultatene fra Tabell 4 og 5. Hastighetene øker noe ved denne dyppangen. Forskjellene i verdiene i disse sammenligningene er ikke store, men nok til å kommentere forskjellene tross vekten av fartøyet. Forsøket med 2.5 bar og 1 grader trim viser seg også å være den raskeste hastigheten modellen oppnår gjennom alle testene. Dette tilsvarer 3.10 knop. Fra Tabell 5.

Tabell 4 - Testing fra dyppgang 34 uten trim

| Trykk [bar] | Flow [m ³ /min] | Hastighet [m/s] | Hastighet fullskala [m/s] | Hastighet fullskala [knop] |
|-------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| 0.2 | 0.1 | 0.2058 | 0.6508 m/s | 1.27 knop |
| 1.6 | 0.28 | 0.3734 | 1.1808 m/s | 2.30 knop |
| 2 | | 0.4103 | 1.2974 m/s | 2.52 knop |
| 2.5 | | 0.4777 | 1.5106 m/s | 2.94 knop |

Tabell 5 - Testing fra dyppgang 34 med trim

| Trykk [bar] | Flow [m ³ /min] | Hastighet [m/s] med trim = 1 grader | Hastighet fullskala [m/s] | Hastighet fullskala [knop] |
|-------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 0.2 | 0.1 | 0.2563 | 0.8105 m/s | 1.60 knop |
| 1.6 | 0.28 | 0.4003 | 1.2659 m/s | 2.46 knop |
| 2 | | 0.4484 | 1.4180 m/s | 2.76 knop |
| 2.5 | | 0.4971 | 1.5720 m/s | 3.10 knop |

T= 30 cm

Som nevnt tidligere er endringene minimale. Likevel observeres det fra Tabell 6 og 7 at hastighetene ligger på omtrent samme verdier som for dyppgang 34 cm. Dette betyr at vekten av fartøyet kan variere i stor grad uten at det vil påvirke hastigheten noe særlig. Fordelen med akkurat det er at fartøyet kan lastes ganske tungt, uten at det gir tap i hastigheten. På grunn av dette ekspanderer mulighetene for å anvende denne typen skip på flere områder.

Tabell 6 - Testing fra dyppgang 30 uten trim

| Trykk [bar] | Flow [m ³ /min] | Hastighet [m/s] | Hastighet fullskala [m/s] | Hastighet fullskala [knop] |
|-------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| 0.2 | 0.1 | 0.2275 | 0.7194 m/s | 1.40 knop |
| 1.6 | 0.28 | 0.4036 | 1.2763 m/s | 2.48 knop |
| 2 | | 0.4545 | 0.1437 m/s | 2.80 knop |
| 2.5 | | 0.4950 | 1.5653 m/s | 3.04 knop |

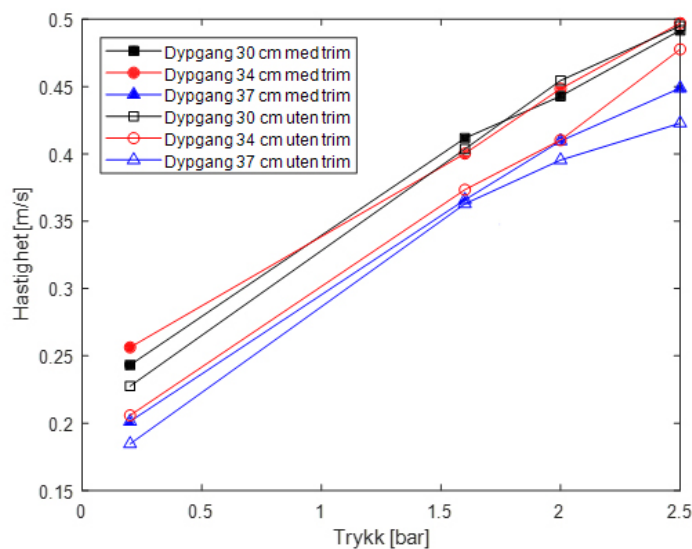
Tabell 7 - Testing fra dyppgang 30 med trim

| Trykk [bar] | Flow [m ³ /min] | Hastighet [m/s] med trim = 1 grader | Hastighet fullskala [m/s] | Hastighet fullskala [knop] |
|-------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 0.2 | 0.1 | 0.2432 | 0.7691 m/s | 1.50 knop |
| 1.6 | 0.28 | 0.4117 | 1.3019 m/s | 2.54 knop |
| 2 | | 0.4429 | 1.4005 m/s | 2.72 knop |
| 2.5 | | 0.4918 | 1.5552 m/s | 3.02 knop |

Figur 16 under representerer alle testforsøkene som er utført i dette prosjektet. Her går de øverste kurvene litt om hverandre og gjenspeiler kjøringene for dyppgang 30 cm og 34 cm. Dette reflekterer igjen teorien om at modellen kan lastes noe mer uten å tape hastighet under kjøring fordi forskjellene ikke er særlig store. Det observeres også at resultatene er mer eller mindre delt i to. De tre øverste kurvene representerer henholdsvis dyppgang 34 cm uten trim og dyppgang 30 cm med og uten trim. Resultatene gir oss at kurven for dyppgang 34 cm med trim oppnår den høyeste hastigheten av alle testforsøkene.

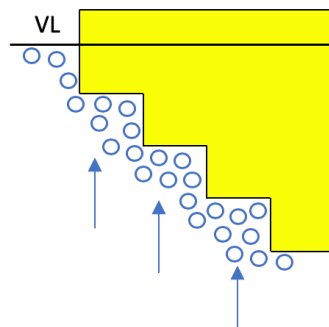
Dette tilsvarer 3.10 knop i fullskala, kjørt på 2.5 bar. Videre representeres de tre nederste kurvene kjøringene fra dypgang 34 cm uten trim og dypgang 37 cm både med og uten trim. Her er det et mye større avvik i de to testforsøkene med dypgang 34 cm. Forskjellene i resultatene for kjøring med og uten trim gir et større avvik enn de andre dypgangene. Kurven for dypgangen med trim ligger i øvre sjiktet av diagrammet, mens kurven uten trim havner i nedre sjiktet de første kjøringene. Likevel observeres det at ved forsøket på 2.5 bar oppnår modellen høyere hastighet og havner i øvre sjiktet i diagrammet.

Som nevnt tidligere oppnår forsøket ved dypgang 34 cm med trim den høyeste hastigheten av alle kjøringene. Dette skyldes at modellen har liten vekt og luften fra tanken som tilføres i vannet har kortere vei til overflaten og gjør at luften unngår å samle seg under skroget. Luften får en jevn og fin gli som gir fartøyet en større effekt av skyvekraften som vist i Figur 13. Samme fenomen oppstår for dypgang 34 cm uten trim, som illustreres i Figur 14 over. Vekten er nå er litt tyngre, men gir ikke mye tap i hastighet. Begge testforsøkene med denne dypgangen, ligger i øvre sjiktet i diagrammet og oppnår god effekt av skrogets utforming.



Figur 16 – Diagram av alle dypgangene med og uten trim, totalt 24 testforsøk.

Ved dypgang 37 cm er modellen nå tyngre og grafen i Figur 16 gjenspeiler hastigheten deretter. Luften har lengre vei til overflaten og effekten av skyvekraften reduseres. Dette er fordi luften i større grad vil samle seg under hekken, som vises i Figur 17 nedenfor. Som nevnt tidligere er det ikke overraskende at begge forsøkene fra dypgang 37 cm oppnår lavest hastighet. Dette skyldes den tunge vekten av ballasten som nå ligger på over 100 kg, og trykkverdiene modellen kjøres med er ikke store nok til å få den opp i hastighet. Dermed vil bidraget til løfte- og skyvekraften minske betraktelig



Figur 17 – Luften samler seg i rillene i hekken og gir en skyvekraft.

3.2 Resultat strekningsberegning

Ut fra formlene (3) til (5) i kapittel 2.1 gir beregninger resultater som vises i Tabell 8. Resultatene viser hvor langt modellen kan kjøre på en full dykkertank med flow-verdi på både 0.1- og 0.28 m³/min. En full dykkertank rommer 10 000 liter og resultatene varierer på grunn av at forsøkene testes med flere dypganger som dermed medfører differanser i modellens hastighet. Med flow på 0.1 m³/min viser beregninger at dypgang 34 med trim oppnår lengst strekning og tilsvarer 549.2 meter. Ved kjøring med flow på 0.28 m³/min gir beregninger at den lengste strekningen er 864.9 meter som er ved dypgang 30 cm uten trim. Dette tilsvarer en strekning på nesten det dobbelte noe som er svært effektivt i forhold til at flow-verdien har minimal økning.

Tabell 8 – Beregninger på hvor langt modellen kan kjøre på en hel dykkertank med flow på 0.1- og 0.28 m³/min

| Dypgang [cm] | Flow [m ³ /min] | Tid [sekund] | Hastighet [m/s] | Strekning [m] |
|--------------|----------------------------|--------------|-----------------|---------------|
| 37 | 0.28 | 2142.9 | 0.3629 | 777.7 |
| 37 med trim | 0.28 | 2142.9 | 0.3659 | 784.1 |
| 34 | 0.28 | 2142.9 | 0.3734 | 800.2 |
| 34 med trim | 0.28 | 2142.9 | 0.4003 | 857.8 |
| 30 | 0.28 | 2142.9 | 0.4036 | 864.9 |
| 30 med trim | 0.28 | 2142.9 | 0.4117 | 882.2 |
| Dypgang [cm] | Flow [m ³ /min] | Tid [sekund] | Hastighet [m/s] | Strekning [m] |
| 37 | 0.1 | 2142.9 | 0.1846 | 395.6 |
| 37 med trim | 0.1 | 2142.9 | 0.2013 | 431.4 |
| 34 | 0.1 | 2142.9 | 0.2058 | 441.0 |
| 34 med trim | 0.1 | 2142.9 | 0.2563 | 549.2 |
| 30 | 0.1 | 2142.9 | 0.2275 | 487.5 |
| 30 med trim | 0.1 | 2142.9 | 0.2432 | 521.2 |

3.3 Diskusjon og forbedringspotensialer

Resultatene over viser at modellen ikke er et hurtiggående fartøy noe som vil få store konsekvenser for tidsbruk og effektivitet. Dermed er ikke denne modellen gunstig enda for bruk i dagens samfunn. I løpet av prosjektet har det blitt observert at luft som fremdriftsmiddel er mulig men det vil være veldig interessant å se på dette systemet som en hybrid løsning.

Det er flere store forbedringspotensialer når det kommer til modellen, ved hjelp av en bedre hydrodynamisk utforming vil fartøyet kunne gli lettere på sjøen med mindre motstand og oppnå høyere hastighet samt få bedre effekt av lufttilførselen. Dette er en forholdsvis enkel men viktig endring for å kunne realisere konseptet på en mer optimal måte. Dysene som ble benyttet er heller ikke optimale, ved hjelp av andre dyser vil det være mulig og få en forbedret luftleveranse i form av dyser som et høyere utblåsingstrykk.

4. Konklusjon

Prosjektet «luftdrevet katamaran» er ett vellykket, men samtidig ett stort forbedrings prosjekt. Hovedfokuset i dette prosjektet var og se om denne løsningen fungerte på ett katamaranskrog noe som via mange tester viser seg å fungere. Hastighetene ble som antatt lave og varierer fra 1-3 knop ved fullskalamodell hvor 3.10 knop er den hurtigste. I realiteten vil dette være vanskelig å realisere i dagens samfunn da effektivitet og tidsbruk er en viktig faktor.

Som nevnt har dette prosjektet ett stort forbedringspotensial, og det ville vært interessant å se på denne modellen som en hybrid løsning. Det er også store forbedringspotensialer når det kommer til det hydrodynamiske og valg av dyser. Med disse faktorene og en hybrid løsning antas det at denne modellen vil kunne gi ett mye mer tilfredsstillende resultat og vært ett steg nærmere å bli realisert i dagens samfunn.

5. Takk til

I dette prosjektet vil det rettes en stor takk til veilederne Gloria Stenfelt og David Lande-Sudall for gode og nyttige tilbakemeldinger underveis.

Torger Tveter takkes for god hjelp, modell og støtte gjennom prosessen.

Stor takk til dykkerutdanningen i Loddefjord for lånet av dykkertanker.

Rettes også en takk til Bernt Hustad Hembre for anskaffelse av utstyr og hjelp på lab.

6. Kilder

- [1] Amdahl Jørgen et al., Havromsteknologi | Et hav av muligheter, Forbedret utgave. Bergen: Fagbokforlaget 2014.
- [2] Equinor, 2018. Hentet fra <https://www.equinor.com/no/magazine/battery-hybrid-supply-ship.html> Lastet ned: 01.03.2020.
- [3] NRK, 2020. Hentet fra: https://www.nrk.no/vestland/_viking-energy_-blir-verdens-forste-utslippsfrie-offshoreskip-1.14871162 Lastet ned: 23.04.2020
- [4] Equinor, 2020. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/news/2020-01-23-viking-energy.html> 01.04.2020
- [5] Fjellstrand, *Zerocat 120*. Hentet fra: http://www.fjellstrand.no/flyers/flyer_1696.pdf. Lastet ned: 06.04.2020.
- [6] Grovfjord mek. Verksted, *GMV zero- til salgs eller utleie*, Hentet fra: <https://www.gmv.no/portfolio-item/bnr-138-gmv-zero/>. Lastet ned: 06.04.2020.
- [7] Jørn Finsrud, *Ny fransk luftbåt*, 2008, Hentet fra: <https://www.vg.no/forbruker/bil-baat-og-motor/i/0M7AG/ny-fransk-luftbaat>. Lastet ned: 06.04.2020.
- [8] Beneteau, Hentet fra: <https://www.beneteau.com/en/page-innovation/air-stepr> Lastet ned 11.02.2020
- [9] Wikipedia, 2007 Hentet fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Hovercraft#/media/File:Hovercraft_-_scheme.svg Lastet ned 03.03.2020
- [10] Elefun, *Cajun commander sumpbåt 2.4G RTR*. Hentet fra: <https://www.elefun.no/p/prod.aspx?v=32083>. Lastet ned 10.04.2020

Vedlegg 1

Under i Tabell 9 vises fremgangsmåten for ballasteringen. Skrogene deles inn i styrbord og babord og lodd veies opp før de plasseres. Det noteres ned i runder hvor mye som legges i for å lettere kunne justere og korrigere vektene etter ønsket dypgang. Nederst i tabellen noteres hvor mye vekt som ligger i hvert av skrogene samt totalvekten for hver dypgang. Et lite avvik i vektfordelingen oppstår grunnet ulik egenvekt av skrogene. Deretter legges ytterligere vekt til for å få trimvinkel på modellen og disse er henholdsvis 6.78 kg og 3.99 kg.

Tabell 9 – Oversikt over vektfordeling ved ballastering

| BALLAST | BABORD | STYRBORD | TIL SAMMEN |
|------------------|----------|----------|------------|
| 1 | 10.09 kg | 10.00 kg | |
| 2 | 9.97 kg | 10.00 kg | |
| 3 | 10.04 kg | 10.05 kg | |
| 4 | 10.05 kg | 10.05 kg | |
| 5 | 9.99 kg | 6.13 kg | |
| 6 | 1.57 kg | 0.21 kg | |
| TOTALT FOR T= 37 | 51.96 kg | 46.44 kg | 98.4 kg |
| TOTALT FOR T= 34 | 42.18 kg | 33.22 kg | 75.4 |
| TOTALT FOR T= 30 | 36.11 kg | 24.93 kg | 61.04 kg |

Trimvekt for dypgang 37 = 6.78 kg

Trimvekt for dypgang 34 = 3.99 kg

Trimvekt for dypgang 30 = 3.99 kg

