

Forbedring og testing av byggemetode for skipsmodeller

Daniel Mjåseth Kapstad
Even Rindheim
Ole Martin Spissøy

Bacheloroppgave i Marinteknikk
Bergen, Norge 2020



Forbedring og testing av byggemetode for skipsmodeller

Daniel Mjåseth Kapstad
Even Rindheim
Ole Martin Spissøy

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: Testing and improving building method for ship models

Forfatter(e), studentnummer:	Daniel Mjåseth Kapstad	h248118
	Even Rindheim	h571634
	Ole Martin Spissøy	h571625

Studieprogram:	Marinteknikk
Dato:	Mai 2020
Rapportnummer:	IMM 2020-M31
Veileder ved HVL:	Gloria Stenfelt
Oppdragsgiver:	HVL
Oppdragsgivers referanse:	Gloria Stenfelt

Antall filer levert digitalt:	3 + M31_2020.zip / 4
-------------------------------	----------------------

Forord

Denne oppgaven er laget i samarbeid med Høgskulen på Vestlandet (HVL) ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) våren 2020. Oppgaven er skrevet av Daniel Mjåseth Kapstad, Even Rindheim og Ole Martin Spissøy i samarbeid med MarinLab.

Vi hadde tidlig sett for oss at vi ville jobbe med en oppgave som kunne gi en blanding mellom teoretisk og praktisk arbeid. Vi tok derfor opp arbeidet fra en tidligere bacheloroppgave, for å ta denne videre og se på ulike løsninger som vil gjøre løsningen bedre. Etter flere samtaler med studentkoordinator for Marinteknikk, Gloria Stenfelt kom vi frem til en plan for hva vi skulle forske på. Prosjektet omhandler forbedring av byggemetoder for skipsmodeller for HVL.

Det å skrive bacheloroppgave sammen har vært svært lærerikt samt frustrerende i perioder. Vi startet denne prosessen med godt mot, og hadde mange gode ideer for problemstillinger som kunne løses. Vi hadde laget en fremdriftsplan for hva skulle gjøres, med tanke på bygging av en ny type skipsmodell med avtagbar 3D-modellert bulb, som vi tenkte ville gjøre det lettere å frese ut en skipsmodell med tanke på nøyaktighet. Men, en faktor man ikke kunne ta høyde for var Covid-19 pandemien som møtte oss i mars, som førte til at fasilitetene vi hadde behov for å kunne utføre oppgaven vår ble borte. Vi måtte derfor gjøre ting litt annerledes enn hva som var planlagt.

Takk til:

Gloria Stenfelt, *Førsteamanuensis*, Intern veileder og kontaktperson ved IMM

Harald Moen, *Overingeniør*, Intern veileder for hjelp ved kontainer og ressurser

Bernt Hustad Hembre, *Avdelingsingeniør*, intern veileder for bruk av bølgetank

Sammendrag

I denne bacheloroppgaven jobbes det videre med en tidligere oppgave ved Institutt for maskin- og marinfag (IMM), oppgaven vil fortsette å utforske deres metoder og forske videre på deler av byggeprosessen av et modellskip. Modellen som oppgaven baseres på blir kalt Duisburg Test Case (DTC). Modellen ble først tegnet i et CAD-program (*Computer Aided Design*) før modellen ble frest ut.

Før arbeidet på denne bacheloroppgaven kunne settes i gang, ble det brukt god tid på å sette seg inn i hva som hadde tidligere blitt gjort, hva som ikke ble gjort, og hva som kanskje burde blitt sett mer på. Først og fremst se om en kunne fortsette på lik basis som dem eller begynne å se etter nye alternativer. Kort tid etter oppstart av oppgaven ble det tatt en beslutning om å forkaste deres metode på grunn av unøyaktige resultat, det ble valgt å starte med blanke ark. Gruppen hadde stor tro på å kunne frese ut modellen i en uten bulb, og bruke 3D-printer til å lage bulb for å få denne delen av modellen så nøyaktig som mulig. For å forske på dette ble analyseprogrammet ANSYS brukt for å finne hvor store krefter som skal til for å oppnå 1,8 mm defleksjon i en *Snap Fit* mekanisme og hvor stor kraft en 3D-printet skinnemekanisme tåler.

Det ble utført slepetest på modellen som ble bygget av gruppen i fjor. Dette for å sjekke hvor stor innvirkning unøyaktighetene hadde på motstandskurven. Slepetesten ble sammenlignet opp mot en motstandskurve fra samme modell i en annen vanntank og skala. Etter utført testing, utregning og sammenligning, kunne vi se en klar forskjell mellom modellen fra DTC testen og HVL sin 2019 modell. Det kan være flere grunner til dette, men den store og mest åpenbare grunnen er at 2019-modellen er svært unøyaktig.

Resultatene fra ANSYS analysene viser at designet for glidemekanismen vil holde langt over kraften den vil bli utsatt for ved en slepetest. Det viser at en kraft på 1650 N er nødvendig før det oppstår brudd. Sannsynligheten for at denne festemekanismen blir utsatt for over 170 kg anses som svært liten. *Snap Fit* mekanismen som blir testet har også stort potensiale for videre testing. Her blir det presentert to versjoner som er mest aktuelle å ta videre til prototyping, V1 og V3. Noe som ikke ble mulig å utføre grunnet nedstengingen av HVL grunnet CoVid-19.

Abstract

Shipbuilding require pin-point accuracy to acquire the right hydrodynamic properties of the hull. Since building a full-scale ship everytime you want to test a new hull design just is not feasible, one builds a small ship model to scale instead. In this project, we build on a bachelors thesis from the previous year, to study their ways of ship model building, and use their findings and our own ideas to improve the building process for our school, making it more accurate and easier to do.

The model we build is based on the Duisburg Test Case, which is a hull design based on a typical container ship, developed at the *Institute Of Ship Technology, Ocean Engineering and Transport Systemts (ISMT)*.

We acquired the drawings and 3D-models from the previous years students, and the hull already cut out. The plan was to build a new and improved hull, and then test both of them in a towing tank, to see if the new building process was superior to the earlier ones.

Due to unforeseen circumstances, in this case the corona pandemic, the new building method never made it past the theoretical stage. The group then made it their project to guide next years students, to see what and where it went wrong. Since the old hull had already been towed, the results were compared to another paper from *SVA Potsdam*.

One part of the new building process that did make it through, however, was the detachable bulbous bow. In this paper, a method of building a shipmodel with a detachable bulbous bow is presented, with results from computer simulation and from the towing tank test.

Innhold

Forord.....	V
Sammendrag.....	VII
Abstract	IX
1. Innledning.....	1
2. Metode.....	2
2.1 Testobjekt.....	2
2.2 Teoretisk fremgangsmåte	3
2.3 Eksperimentell metode	7
2.3.1 Oppsett av stille vanns slepetest.....	7
2.3.2 Gjennomføring av slepetest.....	8
2.3.3 Fremgangsmåte modellbåtbygging	9
2.3.4 Utstyr tilgjengelig.....	11
2.3.5 Prøvestykker	12
2.3.6 3D-printing av Bulb.....	13
2.4 Feilkilder	17
3. Resultater.....	19
3.1 Slepetesting	19
3.2 Festemekanisme til utskiftbar bulb.....	22
4. Diskusjon.....	27
4.1 Slepetest	27
4.2 ANSYS.....	27
4.3 Valg av metode.....	28
4.3.1 MakerSpace	28
4.3.2 Fresing av bulb	28
4.3.3 Alternative materialer.....	29
5. Konklusjon	29
5.1 Avsluttende ord	29
Referanser.....	30
Vedlegg	31

1. Innledning

Når nye skipsdesign er under produksjon blir det ofte bygget skalamodeller som testes i en bølgetank. Dette for å finne de hydrostatiske egenskapene til modellen, og hvordan den vil oppføre seg i vannet. Det kreves svært høy nøyaktighet av disse modellene for at resultatet de produserer vil stemme overens med ett skip i fullskala. Derfor ønsker Institutt for maskin- og marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL) en ny og forbedret byggemetode som øker nøyaktigheten for skipsmodellene. Det har i lang tid blitt bygget slike modellskrog for å teste de hydrodynamiske egenskapene. Resultatene disse testene produserer vil da skaleres opp slik at de viser effektiviteten til skroget i fullskala. Her er nøyaktigheten til modellskroget svært viktig for det ferdigstilte skipet.

Oppgaven vil derfor ta for seg hvordan en kan forbedre de forskjellige momentene og nøyaktigheten rundt byggingen av en modell. Den bygger også videre på en oppgave av gruppe M31 2019 der de bygget en Duisburg Test Case (DTC) modell med sin nye byggemetode som endte med relativt store avvik fra CAD (*Computer Aided Design*) filen som ble brukt. DTC modellen fra i fjor blir derfor slepetestet for å sjekke forskjellene som oppstår når den sammenlignes med en ny, nøyaktig DTC modell.

Grunnet CoVid-19 pandemien ble det ikke produsert en ny modell. Gruppen så derfor på hvor unøyaktighetene kommer fra og hvordan man kan eliminere disse. Det å frese modellen uten avanserte geometrier, som bulber, er ett av hovedpunktene til oppgaven. Dette vil da forenkle byggemetoden, og gi muligheter for 3D-printing av forskjellige bulber og en festemekanisme for enkel utskifting. Her blir det presentert teori rundt hvordan dette utføres, samt delene til festeplaten blir analysert for å verifisere at de tåler kreftene de blir utsatt for. Det blir presentert en foreslått fremgangsmåte for å finne den mest nøyaktige byggemetoden ved hjelp av prøvestykker. Slepetest av den unøyaktige DTC modellen blir utført, samt metoden og teorien rundt dette.

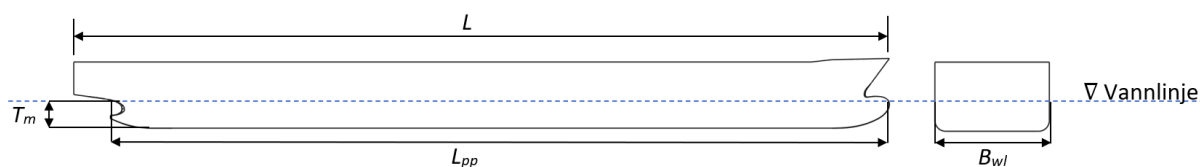
Denne oppgaven bør derfor sees på som en pilotstudie for videre arbeid ettersom tilgang til HVL og lab er nødvendig for å oppnå resultatene en er ute etter.

2. Metode

Oppgaven handler om å øke nøyaktigheten til modellbyggingsprosessen. Her finnes det mange krav som må tilfredsstilles for å kunne benytte resultatene som kommer frem ved sammenligning av modellbåt og fullskala skip. Kravene for skipsmodeller er stilt av International Towing Tank Conference (ITTC). Her må bredde og tykkelse ha en nøyaktighet på ± 1 mm. Lengden på modellen må også ha en nøyaktighet på ± 1 mm eller 0,05% av lengde fra perpendikulær til perpendikulær. Dette kravet er avhengig av hvilken som gir størst verdi. ITTC kommer også med krav på overflateruheten til modellen. Her skal overflaten være slipt og ha en finhet tilsvarende P300 til P400 sandpapir [1]. Dette kapittelet presenterer den teoretiske og den eksperimentelle fremgangsmåten for slepetesting og hvordan en kan øke nøyaktigheten når det bygges skipsmodeller.

2.1 Testobjekt

Modellen som er bygget er et containerskip med navn Duisburg Test Case (DTC). Dette er et skip som er brukt til validering (*benchmarking*) over hele verden. Skipet er utviklet av *Institute of Ship Technology, Ocean Engineering and Transport Systems (ISMT)*, for nettopp *benchmarking* og validering av numeriske utregningsmetoder. [2] Det var tiltenkt å være et interessant skip for HVL å ha siden det finnes mange gode måleresultater på skipet som kan brukes til fremtidig forskning for skolen [3]. Målene til skipet er vist i Figur 1.



Figur 1 - Oversikt over skipsdimensjonene

Her er L_{pp} lengden mellom perpendikulærene, T_m er middel dypgang og B_{wl} er bredden ved vannlinjen. Dimensjonene for CAD-filen (*Computer Aided Design*) til DTC-skipet er presentert i Tabell 1. CAD-filen er i skala 1:202.

Tabell 1 - Hoveddimensjoner for benchmark skipet DTC

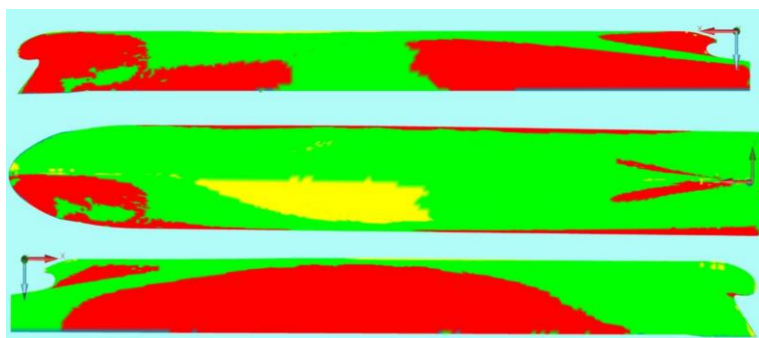
Skip, DTC (CAD)	Modell	Fullskala
L_{pp} [m]	1,75	355
T_m [m]	0,0717	14,5
B_{wl} [m]	0,25	51
Våt overflate [m ²]	0,5399	22032
Neddykket volum [m ³]	0,0210	173467
Skala	1:202	1:1

Ettersom det ble oppdaget avvik på målene mellom CAD filen og den faktiske modellen er dimensjonene til ferdigstilt modell presentert i Tabell 2.

Tabell 2 - Hoveddimensjoner for ferdigbygget DTC modell

Skip, DTC (2019)	Modell	Fullskala
L_{pp} [m]	1,842	355
T_m [m]	0,075	14,5
B_{wl} [m]	0,252	51
Våt overflate [m ²]	0,5915	22032
Neddykket volum [m ³]	0,0241	173467
Totalvekt skip	11,1 kg	-
Ballastering	13,0 kg	-
Skala	1:193	1:1

Det er nesten 10 cm forskjell i lengde på CAD-filen og faktisk modell. Dette blir tatt hensyn til under slepetesting som blir presentert i Kapittel 3.1. Figur 2 viser hvor på modellen det er størst avvik.



Figur 2 - Ferdigbygget DTC modell

Områdene i rødt viser hvor på testobjektet det er størst avvik. Her er det et standard avvik på 1,134 mm, størst avvik på 6,479 mm og et gjennomsnittlig avvik på 0,895 mm [3]. Modellen fra gruppe M31 2019 blir ferdigstilt ved å påføre mer sparkel, pusse til riktig overflatefinhet og male i signalgul.

2.2 Teoretisk fremgangsmåte

En del av oppgaven var å se på forskjellen mellom den ferdigstilte DTC modellen ved HVL og sammenligne denne med resultatene fra *Ship Technology Research* som ble utført i 2012 [2]. Ved slepetesting ønsker en som oftest å komme frem til hvordan skipet oppfører seg i vannet ved forskjellige hastigheter. Med en lastcelle ville en få tall på hvordan motstanden forandrer seg med hastigheten, og

dersom en har regneark eller andre regneprogram klar, kan en få en graf som viser motstandskurven til skipet ved de forskjellige hastighetene.

Før en starter testingen, må en regne ut Froudes-tallet for skipsmodellen. Froudes-tall brukes for sammenligning av skip og modell som er geometrisk like, men med ulik størrelse. Når det er likt Froudes-tall er bølgekoeffisienten og bølgesystemet likt ved skip og modell av samme skrog. Det vil si at forholdet mellom treghetskraftene og tyngdekraftene på skroget er likt for skipet og modellen. Med hastighet som V og lengden på modellen som L , der g er tyngdekraften, finner en Froudes-tall ved

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

Dersom hastigheten er bestemt for skipet i fullskala, er en nødt til å gjøre det om til modellskala før testing. Her er skipets hastighet V_s , og lengden på skipet og modellen er henholdsvis L_s og L_m . En får modellens fart ved

$$V_m = V_s \times \sqrt{\frac{L_m}{L_s}} \quad (2)$$

For å forenkle Formel 2 noe, brukes skalaen mellom skip og modell istedenfor. Da substitueres L_m og L_s for λ , ved

$$\frac{L_s}{L_m} = \lambda \quad (3)$$

Videre finner man Reynoldstallet. Reynoldstallet uttrykker forholdet mellom treghetskraftene og de viskøse kraftene, om strømmingen er laminær eller turbulent. Utregningen for dette er likt for fullskala skip og modell, en bare substituerer V_m og L_m for V_s og L_s . Formelen for Reynoldstallet er

$$R_N = \frac{V \times L}{\nu} \quad (4)$$

der ν er symbolet for kinematisk viskøsitet og er ved en vanntemperatur på 15 grader lik $1,18 \cdot 10^6$.

Når en kjenner til Reynoldstallet, kan man starte utregningen av de forskjellige motstandene. Det er flere kilder til motstand for et skip, og for å forenkle utregningen deles de inn i komponenter. For å finne totalmotstanden må en først finne det som kalles friksjonsmotstanden, og addere denne med restmotstanden. Restmotstanden er bygd opp av flere komponenter, blant annet bølgeomotstand og luftmotstand.

Først ut er friksjonsmotstanden, som man finner ved

$$C_{F,m} = \frac{0.075}{(\log(R_{N,m}) - 2)^2} \quad (5)$$

Denne formelen er dimensjonsløs, og ble fastsatt av ITTC i 1957. Den er derfor kjent som ITTC-formelen. Dette er en empirisk formel, og en tilnærmet beregning av friksjonsmotstanden. Det er ikke mulig å finne friksjonsmotstanden på et skip teoretisk med utgangspunkt i fluidmekaniske lover [4], dersom man ønsker et korrekt resultat.

Totalmotstanden er friksjonsmotstand og restmotstand addert. I stedet for å finne restmotstand for å finne totalmotstand, brukes heller totalmotstanden for å finne rest. Dette er fordi en kan bruke formelen

$$C_{T,m} = \frac{R_{T,m}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_m \cdot S_m \cdot V_m^2} \quad (6)$$

for å finne totalmotstanden. R_T er motstanden, funnet etter utført testing, ρ er vannets tetthet og S er skipets våte overflate.

Etter å ha regnet ut friksjonsmotstanden og den totale motstanden, kan en finne restmotstanden. Den finnes ved

$$C_{R,m} = C_{T,m} - C_{F,m} \quad (7)$$

Formlene frem til Formel 7 brukes på resultatene man får ved modelltesting. Når en kommer til Formel 7, kan en starte utregningen for fullskala skipet, siden C_R er lik for både fullskala skip og modell,

$$C_{R,m} = C_{R,s} \quad (8)$$

Man vil da regne ut C_F for skipet ved å benytte formel 5, med Reynoldstallet for fullskala. Med kjent C_F og C_R finner en den totale motstanden for skipet, C_T , ved

$$C_{T,s} = C_{R,s} + C_{F,s} + C_A \quad (9)$$

Hvor C_A er konstant, og satt til $4 \cdot 10^{-4}$.

Når alle utregningene er utført, og man har funnet skipets totale motstandskomponent, kan man finne skipets motstand i Newton. Dette gjøres ved hjelp av Formel 10

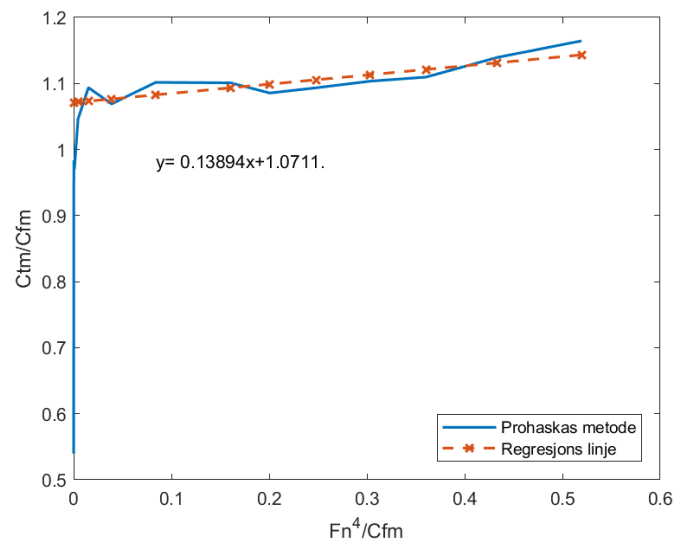
$$R_{T,s} = C_{T,s} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_s \cdot V_s^2 \quad (10)$$

$R_{T,s}$ blir gitt i Newton.

Dette er metoden for å finne skipsmotstand ved bruk av ITTC, også kjent som Froudes metode. Det er to metoder til som brukes, for sammenligning av resultatet og for å ta hensyn til skrogets tredimensjonale form. Metodene er kjent som Prohaskas metode og Hughes metode. Forskjellen mellom metodene er nøyaktigheten ved høye og lave hastigheter.

For å bruke Prohaskas metode må en først finne formfaktoren. En finner denne ved å sette opp en graf med totalmotstanden og friksjonsmotstanden mot Froudes tall og friksjonsmotstanden. Som sett i Figur

3. For å finne formfaktoren må en gjøre en lineær tilpasning av grafen fra 0,05 til 0,15 på x-aksen. Formfaktoren settes til verdien der y-aksen krysses. På dette datasettet er formfaktoren satt til 1,071.



Figur 3 - Hvordan en finner formfaktor

For Prohaskas metode må en videre finne bølgemotstanden og viskøsmotstanden.

Viskøsmotstanden er gitt ved

$$C_V = R_P \cdot C_F \quad (11)$$

R_p er formfaktoren prohaska og C_f er friksjonsmotstanden.

Bølgemotstanden er gitt ved

$$C_W = F_N^4 \quad (12)$$

Og F_N er Froudes tall.

Bølgemotstanden og viskøsmotstanden utgjør de to komponentene i totalmotstanden for modellen ved Prohaskas metode.

$$C_{TP} = C_W + C_V \quad (13)$$

C_w er lik for modell og skip. For å finne totalmotstanden for skipet, bruker en dermed friksjonsmotstanden for skipet i formel 11 for å finne viskøsmotstanden, og setter det inn i formelen for totalmotstand for skip ved Prohaska,

$$C_T = C_W + C_V + C_A \quad (14)$$

For å gjøre dette om til Newton for skipsmotstand, benyttes Formel 10.

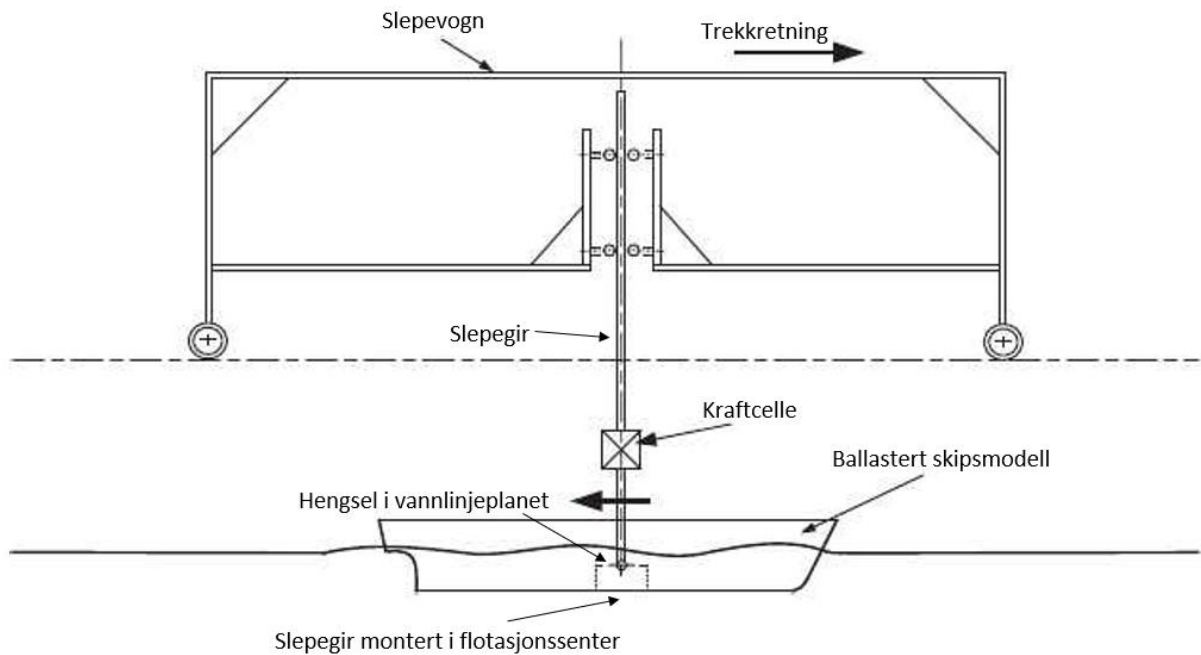
Det anbefales å lage et regneark eller benytte seg av et regneprogram med alle formlene, før en starter testing, slik at en kan få opp resultater hele veien for validering underveis. Når en har alt dette klart, kan en gå over på den praktiske delen, som blir gjennomgått i 2.3.1 Slepetesting.

2.3 Eksperimentell metode

I dette kapitlet vil det bli presentert de diverse eksperimentelle metodene som skal bli gjort for å få et bedre overblikk over hva som skal til for å øke nøyaktigheten når en lager skipsmodeller. Her tar rapporten for seg noen problemstillinger for tidligere metode, samt en foreslått ny metode. Det blir sett på hvordan en skal tilegne seg kunnskaper ved hjelp av prøvestykker, hvordan en festemekanisme kan lages ved hjelp av 3D-printing, og oppsettet og gjennomføringen av slepetesting.

2.3.1 Oppsett av stillevanns slepetest

Den fullførte DTC-modellen blir klargjort for slepetesting ved at kjernen til modellen blir skjært ut for å få slepegiret plassert i riktig punkt og høyde. Slepegiret er innretningen som blir montert i modellen. Denne festes til en snor som sleper modellen gjennom tanken ved hjelp av en motor. Plasseringen til slepegiret skal være i flotasjonssenteret, også kalt vannlinjeplanetets arealsenter. Når dette er funnet blir det limt en treplate fast i bunnen av skroget, slik at slepegiret kan monteres. Slepegiret er hengslet, og denne hengselen skal plasseres i samme høyde som ønsket dypgang til modellen slik at modellen kan bevege seg fritt. I dette tilfellet er hengselen montert 75 mm opp fra bunnen av skipsmodellen. Figur 4 viser et generelt oppsett for slepetesting. Denne viser et slepegir som er festet til en slepevogn, og hvordan slepegiret er montert i skipsmodellen.



Figur 4 – Generelt oppsett av slepetesting

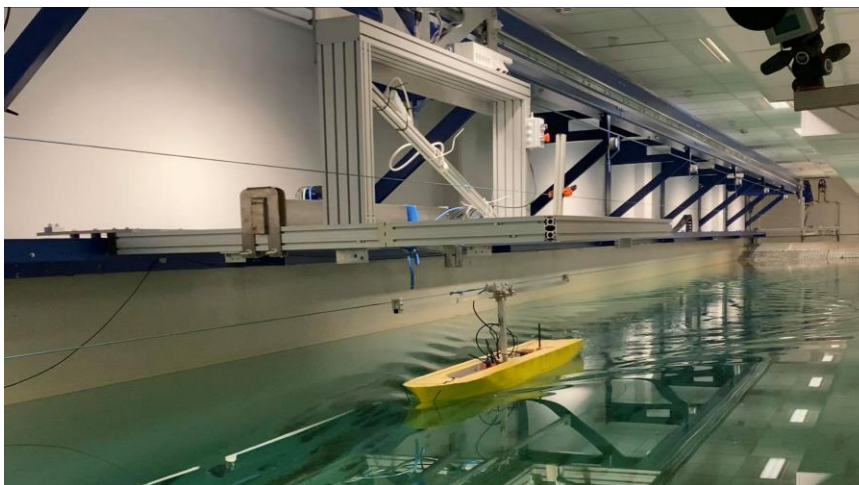
Når slepegiret er montert i riktig punkt og høyde blir modellen plassert i bølgetanken. Modellen blir veid etter alt utstyr er montert for å finne hvor mye ballast som skal plasseres i skroget. Her blir den ballastert i henhold til utregningene som ble gjort fra deplasementet til modellen i Tabell 2, dette for å oppnå riktig vektdeplastement. Ballasteringen på 13 kg blir lagt i modellen slik at det oppstår tilnærmet null krenkning og trim. Det blir montert en turbulator etter ITTC sine retningslinjer [5]. Slepevognen kan stilles inn til nøyaktige hastigheter. Kraftcellen blir montert på slepegiret, denne måler motstanden under slepetesten ved å måle kreftene som virker på snoren. Dataen denne cellen gir blir brukt til å fremstille en motstandskurve som blir presentert i Kapittel 3.1.

2.3.2 Gjennomføring av slepetest

Før man kan starte gjennomføring av slepetest, må man først finne vanntemperatur i vanntanken. Dette for å kunne regne ut tetthet og viskositet til vannet, dette brukes i senere utregninger. Snoren som brukes til slepetesten festes så under to trinser og festes i hver ende av stangen for så å skru denne fast. Deretter festes snoren i slepevognen som blir styrt kjørt av en motor.

Modellen slepes via slepevognen frem og tilbake i vanntanken ved ulike hastigheter for å måle motstanden på modellen. Noe som er spesielt viktig med tanke på slepingen, er at man må vente i tilstrekkelig tid mellom hver kjøring, dette for å sikre ro i tanken og så lite bølger som mulig, dette for å sikre så like kjøreforhold som mulig. Ved store hastigheter ble det ventet opp mot 5-7 minutter. Figur

5 viser gjennomføring av slepetesten med modellen. Her ser en slepegiret som er montert i skroget, og hvordan snoren er festet til slepevognen.

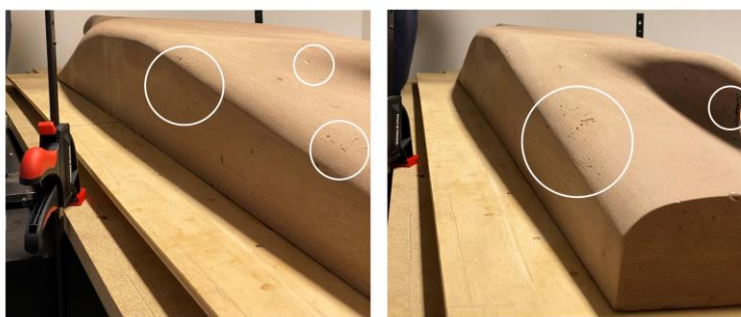


Figur 5 - Gjennomføring av slepetest med DTC modell

Det ble totalt utført 28 slepetester, med laminær strømming og turbulator, noen hastigheter ble kjørt flere ganger, dette for å validere motstanden ved usikkerhet eller stort avvik i forhold til nærliggende hastigheter. Det ble valgt å kjøre tilstrekkelig med hastigheter slik at det kunne fremstilles en god og fullstendig motstandskurve [5].

2.3.3 Fremgangsmåte modellbåtbygging

Ett av de største problemene fjorårets oppgave oppdaget var hvor vanskelig det var å påføre sparkelen. Sparkelen som ble brukt i 2019 var av typen RenPaste [3]. Denne viste seg å være svært tykk, og ble svært porøs etter størkning. Dette førte til mye etterarbeid siden alle de små hullene man kan se i Figur 6 måtte tettes.



Figur 6 - Hull i sparkellag grunnet luftbobler i sparkelmasse

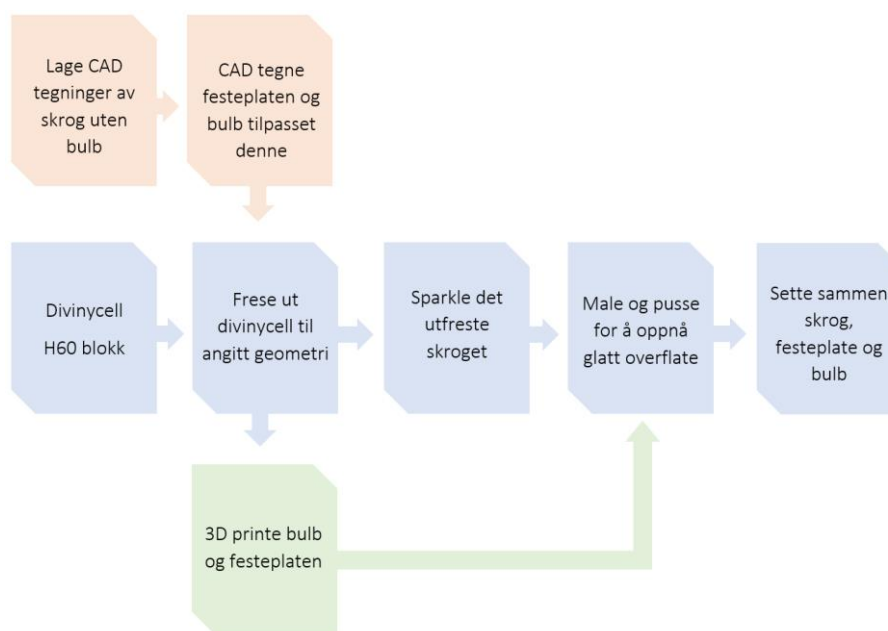
Denne rapporten ønsker derfor å finne en ny sparkelmasse som er enklere å påføre og som skaper mindre luftbobler i overflaten. Dette pluss å frese modellen i ett stykke for å så lime fast 3D-printet avansert

geometri gir et håp om økt nøyaktighet. Fjorårets bacheloroppgave hadde fremgangsmåten som blir sett i Figur 7.



Figur 7 - Fremgangsmåte for "gammel" modellbåtbygging

Her begynner modellen som to blokker Divinycell H60 materiale, der de blir frest ut til babord og styrbord side av modellen. Grunnen til at den blir frest i to halvdel er at CNC-fresen ikke greier å frese den avanserte geometrien i bulben i ett stykke siden den kun har bevegelighet i tre akser. Gruppe M31 2019 konkluderte også at en nyere og bedre fres med fem akser hadde gjort utfresingen mer nøyaktig og lettere. Etter den er frest i første omgang blir den tatt ut av fresen, sparklet med et tykt lag sparkel, satt tilbake i fresen for ny utfresing, så limt sammen til en fullstendig modell. Tiltenkt fremgangsmåte for årets oppgave ser man i Figur 8 under.



Figur 8 - Fremgangsmåte for ny modellbåtbygging

Årets fremgangsmåte tar ut den største feilkilden som er CNC-fresen. Det å måtte ta modellen ut for å bli sparklet, gjør det vanskelig å sette modellen tilbake på nøyaktig samme plass. Dette ser man på modellen som ble laget at sparkellaget ikke er jevnt over hele modellen. Noe av det viktigste med en modell for skalatesting er fronten. Derfor vil bruk av en 3D-printer med svært høy nøyaktighet hjelpe for å nå kravet på ± 1 mm. Hvordan 3D printeren fungerer og hvordan den skal brukes til å produsere festemekanismen og bulben blir sett nærmere på i kapittel 2.3.4 og 2.3.6.

2.3.4 Utstyr tilgjengelig

I Tabell 3 er utstyret som er brukt av M31-2019 og utstyret som skulle bli brukt av årets gruppe presentert. I år er det kjøpt inn en ny sparkeltype, samt det skal testes ett nytt kjernemateriale med høyere tetthet.

Tabell 3 - Utstysrliste modellbåtbygging 2019 og 2020

Utstyr	Type
Gammel sparkel (brukt av IMM 2019-M31)	RenPaste SV427-2/HV427-1
Ny sparkel	Carsystem MULTI (art.nr. 132.214)
3D-skanner	Hexacon Romer Absolute Arm 7320SI
3D-printer	3D Systems MPJ 3600
Kjernemateriale (brukt av IMM 2019-M31)	Divinycell H60 (tetthet 60kg/m^3)
Kjernemateriale (tiltenkt bruk av teststykker)	Divinycell H100 (tetthet 100kg/m^3)

Det skal lages prøvestykker for å sjekke om ny sparkeltype og nytt kjernemateriale gjør byggemetoden enklere og mer nøyaktig. Dersom det viser seg fra prøvestykkene at den nye sparkeltypen, det nye materialet eller bruk av sprøytesparkel gjør prosessen enklere og mer nøyaktig, vil dette være noe å ta med seg videre til produksjon av DTC modellen som skal slepetestes. Det skal eksperimenteres med bruk av 3D-printing av avanserte geometrier, Tabell 4 viser maks størrelse i XYZ-planet 3D-printeren til Høgskulen på Vestlandet har kapasitet til [6].

Tabell 4 - Maks størrelse kapasitet i XYZ retninger og printer nøyaktighet [6]

Projet MJP 3600 moduser	X	Y	Z	Nøyaktighet
HD modus	298 mm	185 mm	203 mm	$\pm 0,025-0,05$ mm
UHD modus	203 mm	185 mm	203 mm	$\pm 0,025-0,05$ mm
XHD modus	203 mm	185 mm	203 mm	$\pm 0,025-0,05$ mm

Disse målene må derfor bli tatt hensyn til når det modelleres komponenter til skipsmodeller. Tabell 4 viser og at printer nøyaktigheten er på $\pm 0,025-0,05$ mm i alle de forskjellige modusene.

Fremgangsmåten for 3D-printing blir presentert senere i kapittelet. Materialene som kan brukes av 3D-printeren HVL har tilgjengelig er presentert i Tabell 5 [6].

Tabell 5 - Materialer som kan brukes av 3D-printeren til HVL

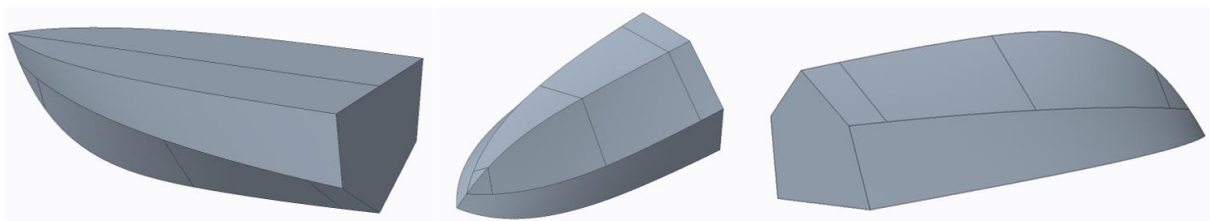
ProJet MJP 3600 materiale	<i>Tensile</i> <i>Strength</i>	<i>Tensile</i> <i>Modulus</i>	<i>Flexural</i> <i>Strength</i>
VisiJet M3-X	49 MPa	2168 MPa	65 MPa
VisiJet M3 Black	35,2 MPa	1594 MPa	44,5 MPa
VisiJet M3 Techplast	22,1 MPa	866 MPa	28,1 MPa

Siden 3D Systems ikke kommer med fullstendige data for materialene de produserer blir det funnet lignende plastikkmaterialer når det utføres analyser i struktur-beregningsprogrammet ANSYS senere i oppgaven.

2.3.5 Prøvestykker

For å finne ut hvilke materiale og sparkelmasse som er aktuelt å bruke til en fullstendig skipsmodell på bør det lages prøvestykker. Gruppen i 2019 hentet ned en CAD-modell av et skrog og brukte denne som prøvestykke. Her bør det testes med de forskjellige kjernematerialene HVL har tilgjengelig, som er Divinycell H60 og Divinycell H100. Siden Divinycell H100 har en mye større tetthet er hypotesen at dette vil gi en mye finere overflate etter utfresing. Dette vil videre føre til lettere sparklingsprosess siden overflaten ikke trenger like mye sparkelmasse for å få tettet åpningene i Divinycell materialet.

Prøvestykkene vil gi en god forståelse for de forskjellige variablene som inngår i byggeprosessen. Som hvordan sparkelmassen skal påføres best mulig, hvilke pussemåter som gir best resultat og om sprøytesparkel er aktuelt å bruke på større modeller. CAD-modellen som ble hentet fra nettet ble bearbeidet til en 30x10x17,6 cm modell som sett i Figur 9.



Figur 9 – CAD modell av prøvestykket

Sprøytesparkel vil bli testet på to av prøvestykkene etter bruk av bilsparkelen, for å se om dette vil være riktig retning å gå for å øke nøyaktigheten. Planen var å se på 4 forskjellige prøvestykker med forskjellige materialer og om sprøytesparkel skal brukes, som vist i Tabell 6. Det kan også være aktuelt å se etter andre materialer og sparkeltyper enn de HVL bestilte inn til dette prosjektet.

Tabell 6 - De forskjellige prøvestykkene som skal lages

Teststykke	Divinycell	Sprøytesparkel?
Nr. 1	H60	Nei
Nr. 2	H60	Ja
Nr. 3	H100	Ja
Nr.4	H100	Nei

Det viktigste å se på her er hvilket materiale som er lettest å få fin overflate på av H60 og H100, samt om sprøytesparkelen har stor nok effekt på nøyaktigheten i forhold til bare bruk av Carsystem MULTI sparkelen.

2.3.6 3D-printing av Bulb

Hensikten med en bulb er å skape et motstående bølgesystem i motsatt fase av det som dannes av skroget. En godt utformet bulb vil kunne oppnå vesentlig reduksjon i skipets totalmotstand [7]. Derfor vil det være aktuelt å kunne teste flere forskjellige bulb-design ved modellskala testing. Ved å bruke samme skrogform og en festemekanisme for utskiftbar bulb vil man redusere kostnader og tidsbruk. Dette vil også forenkle utfresingen av skroget, ettersom den avanserte geometrien er tatt ut av bilde og man kan frese modellen i ett stykke. Festemekanismen vil så bli limt fast til utfrest skrog, og skjøtene mellom bulb og festemekanismen tettes med fugemasse.

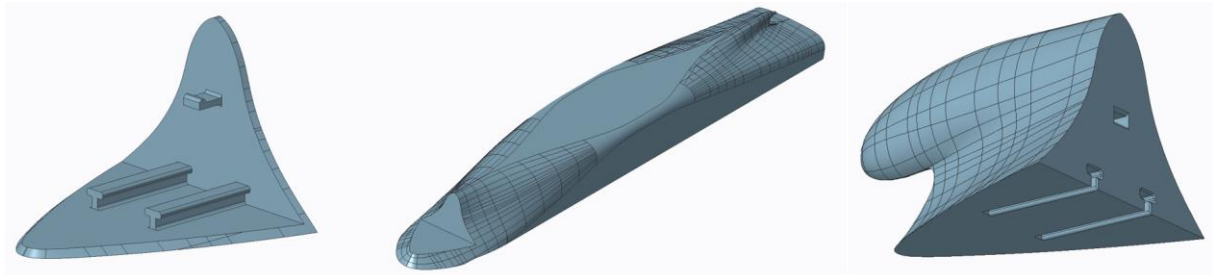
3D-printing er en produksjonsmetode der det blir laget tredimensjonale gjenstander fra en digital CAD fil. Her blir materiale, som regel plastikk, bygget opp lag på lag. Hvert av disse lagene blir sett på som ett horisontalt tverrsnitt av CAD filen. Denne metoden bygger opp materiale, i stedet for å fjerne det slik som med en CNC fres [8]. Når man produserer deler som skal passe sammen med 3D-printing bør man ta stilling til toleransene. I Tabell 7 ser man de generelle toleransene som brukes [9].

Tabell 7 - Toleranser for 3D printing

Mekanisme	Toleranser
Tettsittende	0,2 mm
Skinne	0,4 mm
<i>Snap Fit</i>	0,3 mm

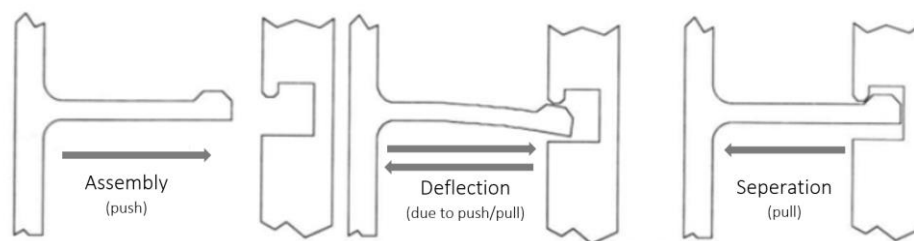
For festemekanismen til bulben blir det brukt 0,4 mm toleranse til glidemekanismen og 0,3 mm toleranse til *Snap Fit* mekanismen. CAD-filene til skroget modifiseres slik at bulben blir frest bort. Deretter lages det to nye filer for festemekanismen og for bulben. Figur 10 viser hvordan de tre forskjellige delene vil

se ut. Bulben og festeplaten blir dimensjonert i henhold til 3D-printerens kapasitet som ble presentert i Kapittel 2.3.4, Tabell 4.



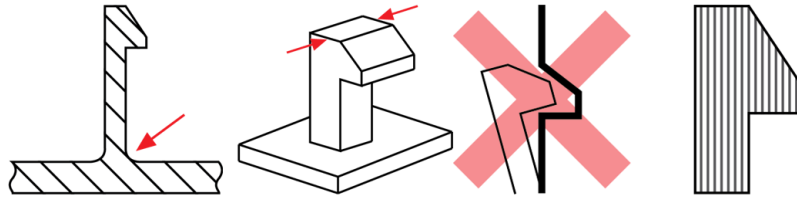
Figur 10 - hvordan CAD-filene ser ut når det er laget en festemekanisme

For å skifte bulben raskt er det tiltenkt en *Snap Fit* mekanisme som holder bulb delen fast i festeplaten. Her er det nødvendig å lage prototyper og teste hvilken utforming av mekanismen som fungerer best. En *Snap Fit* mekanisme er en krok som blir bøyd under montering når man setter den inn i parrings delen. Komponenten presses på plass og avbøyes under sammenføyingsprosessen og fanger en kant i parrings komponenten [10]. Hvordan mekanismen fungerer vises i Figur 11.



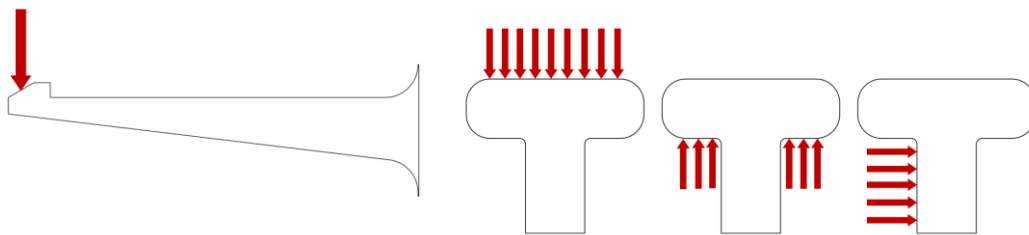
Figur 11 - Hvordan en *Snap Fit* mekanisme fungerer

Utviklingen av en god *Snap Fit* mekanisme går veldig mye ut på prøving og feiling. Det er derfor en del tips som kan hjelpe å korte ned testfasen. For at mekanismen ikke skal bryte av festeplaten er det ønskelig med en avrunding ved basen av mekanismen. Her bør radiusen være $0,5x$ av tykkelsen. Vidden bør være minst 5 mm. Dette vil hjelpe på styrken av designet. For å redusere stress og øke styrken er det viktig at partene kan være sammenkoblet uten at det er noe defleksjon i mekanismen. Måten 3D printerer bygger opp lagene må også ta hensyn til. Fra Figur 12(d) ser man lagoppbyggingen som gir høyest styrke [11].

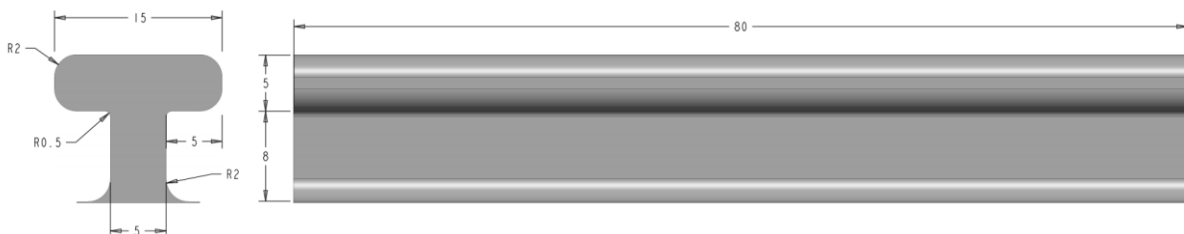


Figur 12 - (a) 0,5x fillet, (b) øke vidden, (c) ingen defleksjon når sammenkoblet, (d) Lagoppbygging

Det blir kjørt analyser på forskjellige *Snap Fit* design med forskjellige parameter. Dette med hensikt å skaffe ett overblikk over hvordan endringer påvirker styrken til mekanismen. Oppsettet for hvordan kreftene skal virke på *Snap Fit* mekanismen og skinnmekanismen når de blir analysert i ANSYS vises i Figur 13. *Snap Fit* mekanismen blir testet med de forskjellige materialene presentert i Tabell 9. Her blir det satt en kraft på ytterste ende, som sett i figur Figur 13(a). Formålet med denne analysen er å finne hvor store krefter som må til for å få en defleksjon som er større enn krokens høyde. I dette tilfellet er krokens høyde 1,8 mm som sett i Figur 15.

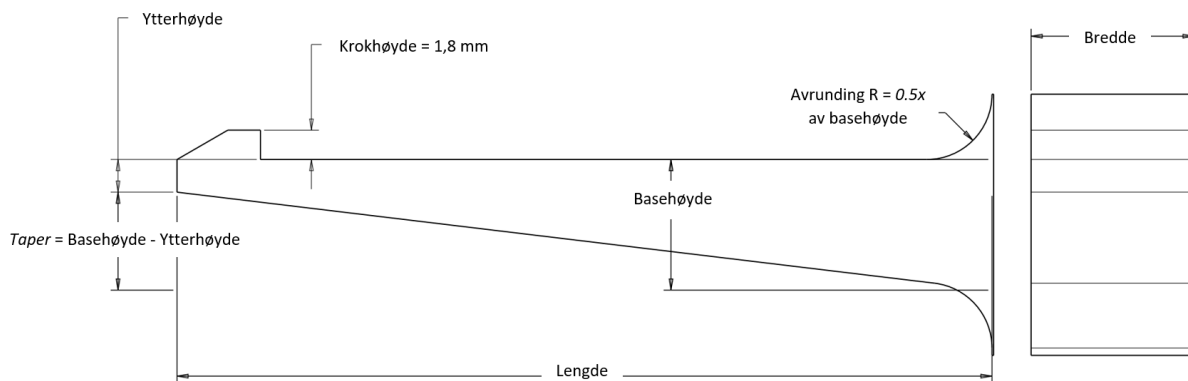


Figur 13(a) Plassering av krefter på *Snap Fit* mekanismen, 10(b) Plassering av krefter på skinnmekanismen
 Skinnmekanismen til festeplaten blir testet i ANSYS som en kan se i Figur 13(b). Her blir det testet mye kraft fra oversiden den tåler, hvor stor kraft fra undersiden og hvor mye kraft fra siden den tåler før det ender i plastisk deformasjon, og den overskrider bruddstyrken til materialene. Figur 14 viser målene på skinnmekanismen som blir analysert.



Figur 14 - Skinnmekanisme

Figur 15 viser de forskjellige parameterne som kan endres på i en *Snap Fit* mekanisme.



Figur 15 - Parameter som kan endres på en *Snap Fit* mekanisme

Parameterne som blir sett på er basetykkelse, lengde, bredde og avsmalning. Hensikten med å endre disse er å se på endringen i kraft nødvendig for å klare 1,8 mm og hvor mye endring i stress det blir på mekanismen. De forskjellige versjonene av denne mekanismen er presentert i Tabell 8 under. Her er parameterne som er endret fra versjon 1 uthevet.

Tabell 8 - Oversikt over *Snap Fit* parameter som skal analyseres

<i>Snap Fit</i>	Høyde	Bredde	Lengde	Taper
V1	8 mm	10 mm	50 mm	6 mm
V2	8 mm	10 mm	40 mm	6 mm
V3	8 mm	5 mm	50 mm	6 mm
V4	10 mm	10 mm	50 mm	6 mm
V5	8 mm	10 mm	50 mm	4 mm

Siden 3D Systems ikke kommer med fullstendige data for materialene de produserer blir det funnet lignende plastikkmaterialer i Ansys fra Granta Design Sample Materials. Disse blir presentert i Tabell 9.

Tabell 9 - Materialelegenskapene til materialene i ANSYS

Ansyes materiale	Tensile Strength	Tensile Modulus
PPE+PS Plastic	49,1 MPa	2370 MPa
Polystyrene (PS)	34,5 MPa	2370 MPa
Polypropylene (PP)	26,2 MPa	915 MPa

ANSYS sitt *Static Structural* analyseprogram blir brukt for å sjekke CAD-designet av festemekanismen og *Snap Fit* mekanismen. Her blir CAD-filene importert, *meshet*, og tilegnet de forskjellige materialene for å sjekke hvilke forskjeller som oppstår. Resultatene blir presentert i Kapittel 3.2.

2.4 Feilkilder

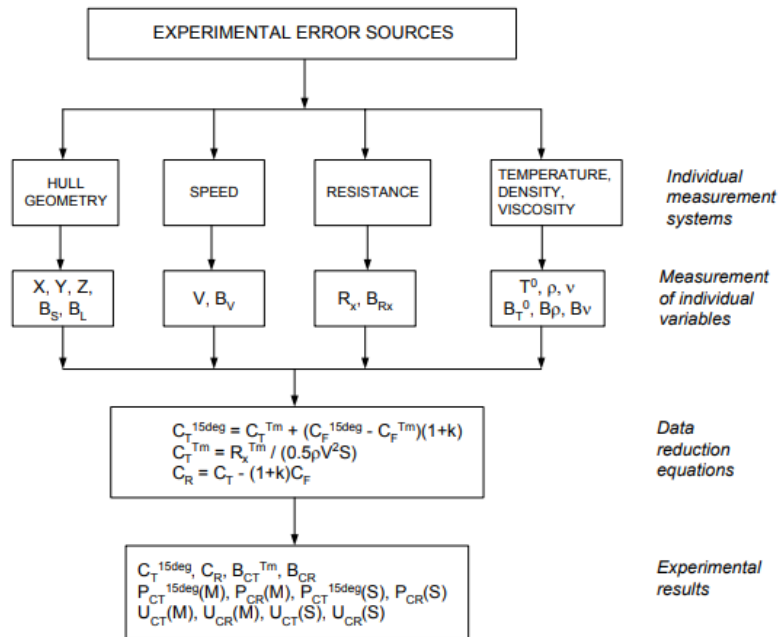
Modellen som ble bygget av Gruppe M31 2019 hadde flere unøyaktigheter. Metoden som ble brukt gikk ut på å frese ut skroget i to halve deler, som skulle limes sammen. Ved å gjøre det på denne måten, ville de få en mer nøyaktig bulb, ettersom CNC-maskinen ved HVL kun kan frese i tre akser. For å få en mest mulig nøyaktig overflate, ble skroget og frest ut 2 mm mindre enn tegningene, dette for å kunne få et jevnt lag med sparkel over hele.

Etter endt fresing, endte de opp med to halvdeler av skroget som gikk an å lime og jobbe med, men etter å ha påført det første laget med sparkel, skulle modellen inn i fresen igjen. Ved innsetting ble skroget feilplassert, noe som førte til en skjevhet i baugen og i akterenden. Skjevheten var svært alvorlig, og det ble kommet frem til at det ikke var verdt tiden å prøve og fikse skroget slik at det ble så nøyaktig som ITTC sier, som er rundt 2 mm.

I 2020, før slepetesting av skroget i vanntanken, ble modellen ferdigstilt og klargjort. Et nytt lag med sparkel ble påført og slipt ned, og det ble lagt på et par strøk med maling. Skroget ble ikke behandlet med nok vanntettende middel, noe som førte til litt lekkasje under testingen.

Før testingen, under oppsettet, ble det oppdaget en feil i skroget, da det ikke var mulig å plassere festemekanismen som skulle dra båten gjennom tanken, skikkelig. Dette førte til at slepelinen var i strekk under testingen, noe som kan ha påvirket resultatet og lastcellen noe.

Feilkilder som kan oppstå under slepetesting er presentert i Figur 16. Her vises de forskjellige feilene og hvordan de påvirker resultatet til slutt [12].



Figur 16 - Feilkilder slepetesting [12]

Fra slepetesten som ble gjennomført med DTC modellen er geometrien til skroget den største feilkilden. Endringen i lengde ble tatt hensyn til ved å beregne skalaen til skipet på nytt. Den store skjevheten i skroget gikk ikke an å reparere, dette vil nok føre til avvik under utregning til fullskala motstandskurve.

Når det 3D-printes blir materialet bygget opp lag på lag. Måten disse lagene ligger er med på å bestemme styrken på delen som blir produsert. Ettersom dette ikke blir tatt hensyn til i ANSYS blir dette en stor feilkilde. Dersom mekanismen blir printet i feil lagretning vil den være mye mer utsatt for brudd siden den er svakest langs lagene. For videre utvikling bør mekanismene 3D-printes for videre testing og validering av styrke.

3. Resultater

I denne seksjonen av rapporten blir resultatene av slepetesten og resultatene fra ANSYS analysene presentert. For slepetesten er resultatene basert på beregningene gjort ved metoden presentert i Kapittel 2.2. Utrekningene for resultatene presentert finnes i Vedlegg 1 og 2, her vises fullstendig metode for utledingen av resultatene. Etter resultatene for slepetesten vises resultatene for analysene gjennomført på *Snap Fit* mekanismen og skinnemekanismen til festeplaten. Her presenteres alt i tabellform med noen illustrasjoner. Disse resultatene viser hvilke design som er mest optimalt for videre testing av prototyper, samt hvor store krefter som kan virke på skinnesystemet før det oppstår brudd.

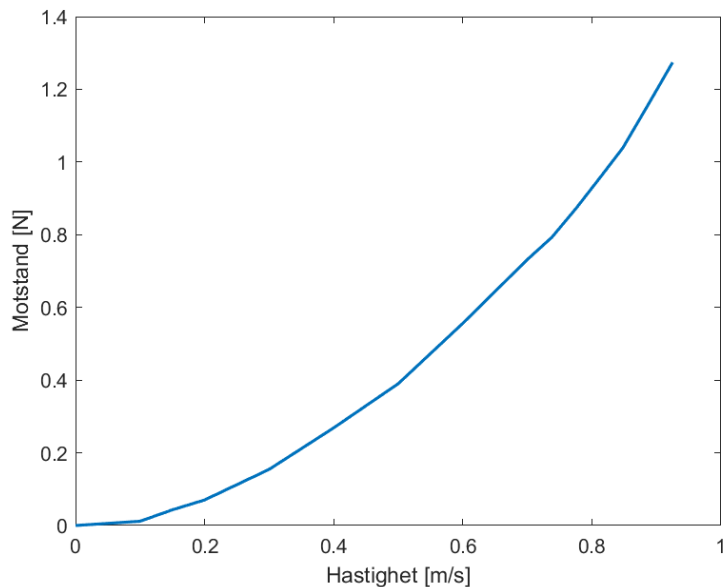
3.1 Slepetesting

Resultatene for slepetesten er presentert i Tabell 10. Her vises hastigheten for modellen og dataene som ble hentet fra kraftcellen. Dette blir så beregnet og presentert videre som grafer.

Tabell 10 - Resultater slepetest med turbulator

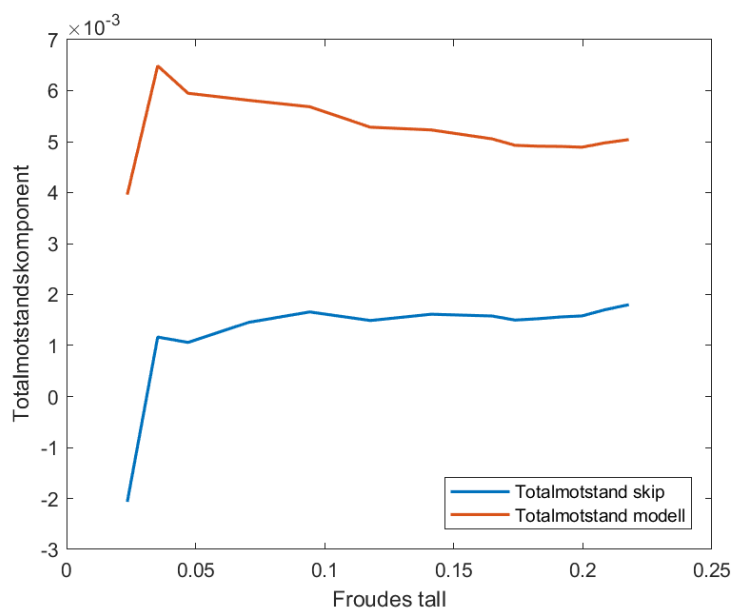
Hastighet [Fraudes tall]	Heile [N]	Begynnelse [N]	Midt [N]	Slutt [N]	Gjennomsnitt [N]
0,1	0,01170	0,003430	0,01440	0,01428	0,0110
0,15	0,04312	0,04110	0,04629	0,03591	0,0416
0,2	0,07030	0,06778	0,07162	0,07050	0,0701
0,3	0,1545	0,1465	0,1573	0,1578	0,1540
0,4	0,2687	0,2645	0,2688	0,2713	0,2683
0,5	0,3902	0,3845	0,3867	0,3928	0,3886
0,6	0,5562	0,5543	0,5638	0,5598	0,5585
0,7	0,7317	0,7341	0,7308	0,7354	0,7330
0,738	0,7929	0,7847	0,7936	0,7927	0,7910
0,776	0,8736	0,8758	0,8667	0,8769	0,8733
0,814	0,9603	0,9597	0,9526	0,9617	0,9586
0,848	1,039	1,033	1,049	1,045	1,0415
0,886	1,154	1,141	1,159	1,166	1,1550
0,925	1,274	1,272	1,272	1,280	1,2745

I Figur 17 vises motstandskurven for modellen etter sleping i vanntanken på MarinLab ved de forskjellige hastighetene som ble kjørt.



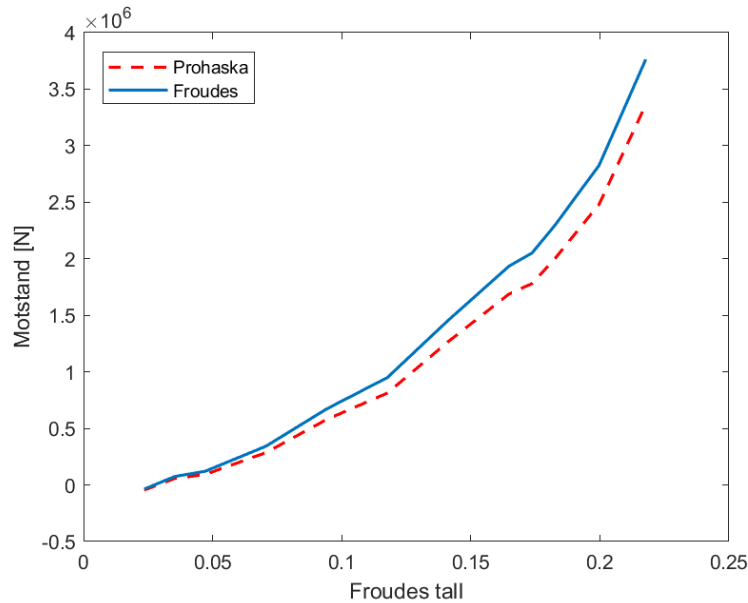
Figur 17 - Motstandskurven for HVL modellen

Her blir motstanden presentert i Newton, satt opp mot hastigheten i meter per sekund. Dataene er for modellskala. Videre vises de totale motstandskomponente for skipet i fullskala og i modellskala i Figur 18, regnet ut med Prohaskas metode.



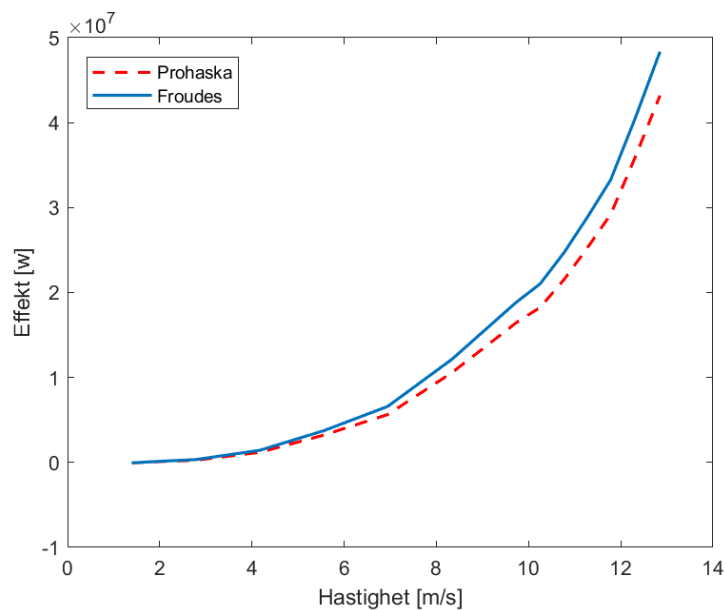
Figur 18 - Totalmotstandskomponentene for skip og modell, som funksjon av F_n

Motstandskomponentene er dimensjonsløse, og er satt opp mot Froudes tall. I Figur 19 er den totale utregnede motstanden for fullskala skipet vist ved både Prohaskas- og Froudes metode.



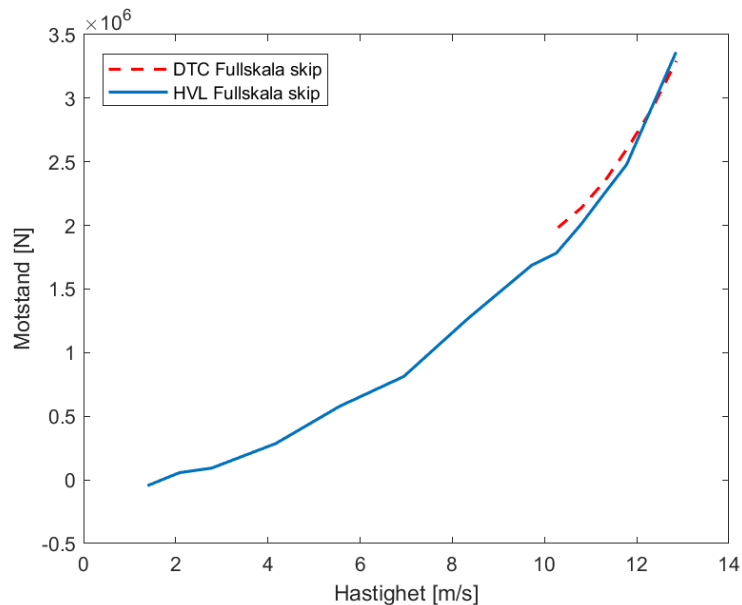
Figur 19 - Motstandskurve for fullskala HVL skip for Froudes og Prohaska, som funksjon av F_n

På grafen kan en se hvordan det forekommer en den avvik imellom metodene, spesielt ved høyere hastigheter. Her er motstanden satt opp mot Froudes tall. Videre vises oversikten over slepeeffekten for fullskala skipet i Figur 20.



Figur 20 - Slepeeffekten for fullskala HVL skip for Froudes og Prohaska, som funksjon av hastigheten

Her er den oppnådde effekten, i Watt, satt opp mot hastigheten, i m/s. Grafen viser hvordan de forskjellige metodene gir et annet resultat ved høyere hastighet. HVL sin modell ble sammenlignet med en DTC-modell bygget og testet i Tyskland, for å sjekke nøyaktigheten på HVL-modellen. Ved å gjøre om dataene fra begge testene for modellene til fullskala skip, kan de sammenlignes. I Figur 21 er motstanden satt opp mot hastigheten for fullskala skipene.

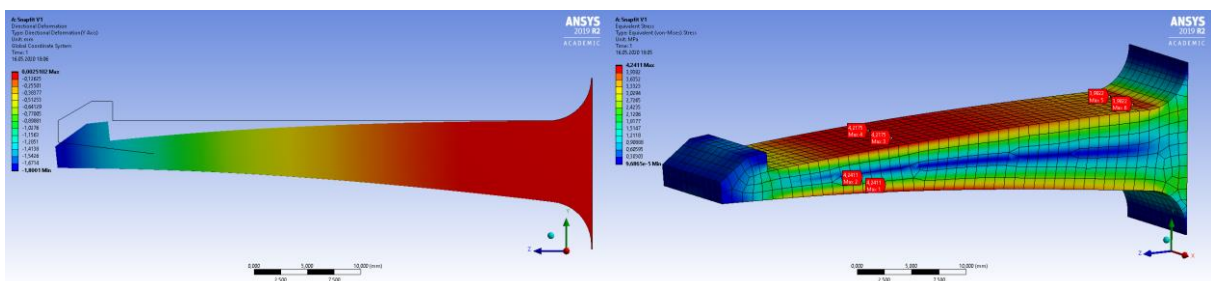


Figur 21 - Motstandskurve for fullskala skip DTC og HVL, som funksjon av hastighet

Siden det ikke ble utført tester ved lave hastigheter i Tyskland, starter sammenligningen etter 10 m/s. En ser fra Figur 21 at motstandskurvene blir relativt like ved hastighetene som kan sammenlignes. Dette selv om DTC modellen som ble brukt i vanntanken på HVL hadde store unøyaktigheter og skeivheter i skroget, noe som kan ha bidratt til forskjellen som oppstår.

3.2 Festemekanisme til utskiftbar bulb

Fremgangsmåten for ANSYS analysene av *Snap Fit* mekanismen ble presentert i Kapittel 2.3.6. De forskjellige versjonene av mekanismen ble analysert med de tre forskjellige materialene som ble presentert i Tabell 9. Til å begynne med blir resultatene for å oppnå ønskelig defleksjon presentert, sammen med maks spenning i hver versjon. Etter dette blir forskjellen på nødvendig kraft i de forskjellige materialene presentert. Figur 22(a), (b) viser resultatene fra ANSYS.



Figur 22(a), (b) - Resultat hentet fra ANSYS som viser (a) defleksjon og (b) maks spenning i modellen

Figurene viser at mekanismen har en defleksjon i ytterste punkt som er nok til å klare høyden på kroken som er 1,8 mm høy. Maks normalspenning finner sted på oversiden ved avrundingen, langs

oversiden og langs undersiden. Områdene for maks spenning gjentok seg på alle de forskjellige versjonene og materialtypene som ble analysert. Tabell 11 under viser resultatene for analysen ved bruk av PP (PolyPropen) materialet.

Tabell 11 - Resultater ved bruk av PP materialet i ANSYS

Snap Fit (PP Materiale)	Krefter for 1.8mm defleksjon	% vis endring fra V1 defleksjon	Maks Stress (MPa)
V1	7,354 N	-	4,2411 MPa
V2	14,712 N	+100,05%	6,6674 MPa
V3	3,66 N	-50,23%	4,2248 MPa
V4	19,04 N	+158,90%	6,6569 MPa
V5	11,38 N	+54,74%	5,8637 MPa

Ved bruk av PP holder maks normalspenning seg langt innenfor bruddgrensen til materialet. Samt kreftene for å oppnå ønsket defleksjon er relativt små. En kan også se i Tabell 11 prosentvis endring i krefter nødvendig når man sammenligner de med *Snap Fit* V1. Her blir det observert en økning i krefter nødvendig for defleksjon når man bruker parameterne til V2, V4 og V5. Det observeres også rundt halvering av nødvendig kraft i V3 i forhold til V1. Deretter endres materialet til PS (Polystyrene) og analysen blir kjørt på nytt. Resultatet ved bruk av PS presenteres i Tabell 12.

Tabell 12 - Resultater ved bruk av PS materialet i ANSYS

SnapFit (PS Materiale)	Krefter for 1.8mm defleksjon	% vis endring fra V1 defleksjon	Maks Stress (MPa)
V1	21,9 N	-	12,628 MPa
V2	43,7 N	+99,54%	19,808 MPa
V3	10,9 N	-50,23%	12,581 MPa
V4	56,7 N	+158,90%	19,906 MPa
V5	33,7 N	+53,88%	17,404 MPa

Når man endrer materialet til PS ser man igjen at de kreftene mekanismen er utsatt for er godt innenfor bruddgrensen til materialet. Her ser en også at krefter nødvendig for 1,8 mm defleksjon øker og minker mellom de forskjellige designversjonene på samme måte som ved bruk av PP i Tabell 11. Her ser en også den prosentvise endringen er tilnærmet identisk mellom PP og PS. Analysen kjøres igjen med PPE+PS (Polyphenylene oxide + Polystyrene blanding) som presenteres i Tabell 13.

Tabell 13 - Resultater ved bruk av PPE+PS materialet i ANSYS

SnapFit (PPE+PS Materiale)	Krefter for 1,8 mm defleksjon	% vis endring fra V1 defleksjon	Maks Stress (MPa)
V1	19,04 N	-	10,979 MPa
V2	38,0 N	+99,57%	17,224 MPa
V3	9,48 N	-50,21%	10,942 MPa
V4	49,3 N	+158,93%	17,311 MPa
V5	29,3 N	+53,89%	15,129 MPa

PPE+PS materialet holder seg igjen godt innenfor bruddgrensen når mekanismen blir utsatt for kreftene nødvendig for 1,8 mm defleksjon. Resultatene kan igjen sammenlignes med de tidligere analysene, der en ser en tilnærmet identisk prosentvis endring fra kraften nødvendig i V1 til de andre versjonene.

Tabell 14 viser endringen i nødvendig kraft for å oppnå ønsket defleksjon når man endrer materialet i analyseprogrammet. Her observeres det at PPE+PS og PS er veldig like når det kommer til nødvendig kraft, og at PP er det materialet som trenger minst krefter for å oppnå defleksjonen.

Tabell 14 - Kraftendringene mellom de forskjellige materialene brukt

SnapFit Versjon	PP til PS	PS til PPE+PS	PP til PPE+PS
V1	+14,546 N	-2,5 N	+11,686 N
V2	+28,988 N	-5,7 N	+23,288 N
V3	+7,24 N	-1,42 N	+5,82 N
V4	+37,66 N	-7,4 N	+30,266 N
V5	+22,32 N	-4,4 N	+17,92 N

For alle de forskjellige materialene observeres det like endringer i kraft for å oppnå defleksjonen på 1,8 mm når en endrer parameterne til *Snap Fit* mekanismen. Fra V1 til V2 er lengden på mekanismen redusert med 10 mm. Her oppstår det en 100% økning i kraft som trengs for å oppnå defleksjon, uansett hvilket materiale som blir brukt. Dette kommer nok av *taper* vinkelen som blir mye større enn ved V1. Dette gir en tykkere mekanisme som må presses ned. Fra V1 til V3 er bredden til mekanismen redusert til halvparten, altså 5 mm bred. Dette fører til en 50% reduksjon i nødvendig kraft for 1,8 mm defleksjon, uansett materiale brukt.

Når høyden til mekanismen øker, øker også avrundingen ved basen. Dette førte til nesten 160% økning i kraft nødvendig grunnet denne ekstra tykkelsen i V4. I V5 var det kun *taper* som ble endret. Her minket den fra 6 mm til 4 mm. Dette førte til en økning i kraft på rundt 54%. Det er ikke ønskelig å måtte utøve for mye kraft for å presse bulben fast i festemekanismen. Derfor går det an å konkludere med at *Snap*

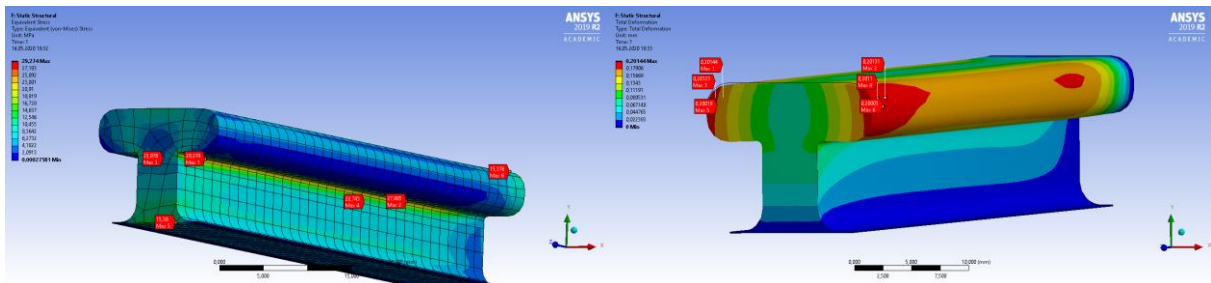
Fit V1 og V3 er designet en bør satse videre med. Her er forskjellen bredden på mekanismen. V1 kan være den beste her ettersom det skaper mye mer stivhet i breddegraden. Når det kommer til valg av materiale, bør dette testes videre med det faktiske materialet til 3D printeren. Alle mekanismene var godt innenfor bruddgrensen til materialene det ble kjørt analyser på. Derfor går det an å se videre på å redusere den totale størrelsen på mekanismen slik at kreftene som trengs for å feste bulben blir mindre.

Glidemekanismen blir analysert i henhold til det som ble beskrevet i Kapittel 2.3.6. Resultatene for hvor stor kraft som skal til for at det oppstår brudd i PP materialet blir presentert i Tabell 15 under. Normalspenningen PP tåler er 26,2 MPa.

Tabell 15 - Resultater for analyse av glidemekansime for å oppnå brudd i materialet

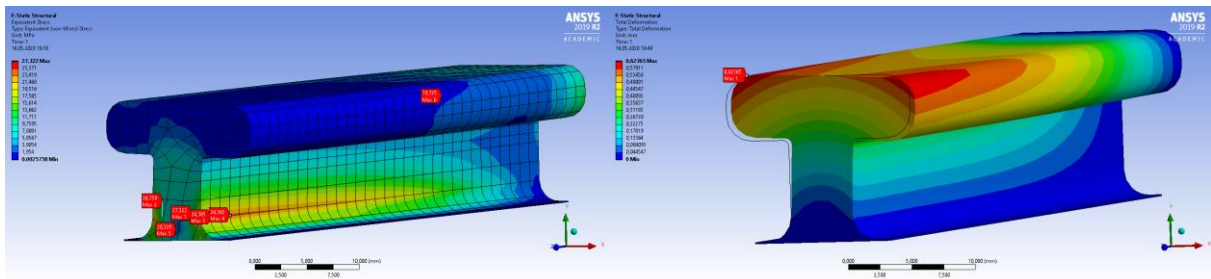
Glidemekanisme (PP)	Kraft for brudd [N]	Defleksjon ved brudd [mm]
Kraft ovenfra	3800	0,201
Kraft på siden	1650	0,625
Kraft fra undersiden	2680	0,158

Fra Tabell 15 ser en at kraften nødvendig for brudd er langt over det en modell kommer til å bli utsatt for i en slepetest. Derfor testes ikke dette designet videre med de andre materialene. Figur 23(a) viser punktene med høyest normalspenning i modellen når den blir utsatt for en kraft på 3800 N fra oversiden.



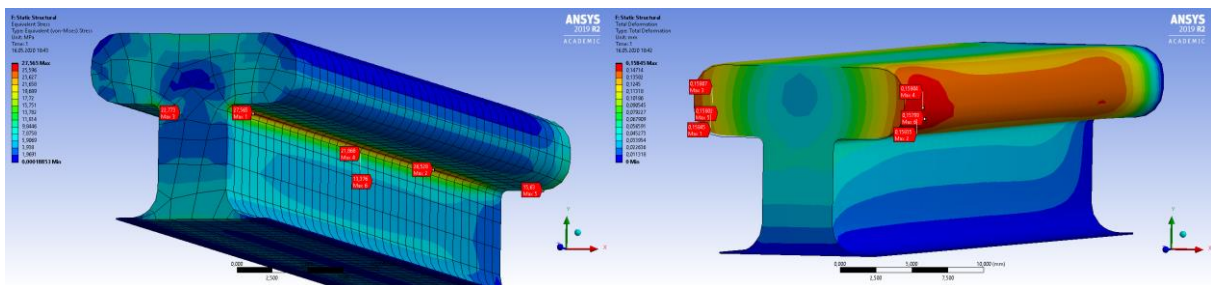
Figur 23(a) Plassering for hvor brudd vil oppstå ved kraft fra oversiden, (b) Hvor størst defleksjon oppstår ved kraft fra oversiden

Ved de røde pilene i figuren vil det oppstå brudd først. Figur 23(b) viser defleksjonen målt millimeter når modellen blir utsatt for 3800 N. Defleksjonen i dette tilfellet er totalt 0,201 mm før det går i brudd. I Figur 24 ser man punktene med høyest spenning og punktene det vil oppstå brudd først når modellen blir utsatt for en kraft på 1650 N fra siden.



Figur 24(a) Plassering for hvor brudd vil oppstå ved kraft fra siden, (b) Hvor størst defleksjon oppstår ved kraft fra siden

Figur 24(b) viser defleksjonen når modellen blir utsatt for disse kreftene. Totaldefleksjonen før brudd her er 0,625 mm. Når modellen blir utsatt for 2680 N fra undersiden fører det til høyest stress ved markørene i Figur 25(a). Før brudd viser Figur 25(b) at maks defleksjon er 0,158 mm.



Figur 25(a) Plassering for hvor brudd vil oppstå ved kraft fra undersiden, (b) Hvor størst defleksjon oppstår ved kraft fra undersiden

Resultatene fra ANSYS analysene viser at designet for glidemekanismen vil holde langt over kraften den vil bli utsatt for ved en slepetest. Her er det svakeste materialet PP brukt, og det viser at en kraft på 1650 N er nødvendig før det oppstår brudd. Sannsynligheten for at denne festemekanismen blir utsatt for over 170 kg anses som svært liten. Dette designet ville derfor vert aktuelt å ta videre for å lage prototyper for å sjekke hvor mye innvirkning lagoppbyggingen til 3D-printeren har å si på styrken.

4. Diskusjon

4.1 Slepetest

Etter utført testing, utregning og sammenligning, kan en fra resultatene se en forskjell mellom modellen fra DTC testen og HVL sin 2019 modell, spesielt ved de lavere hastighetene som ble kjørt for DTC. Det er nok en del grunner som spiller inn i det faktum at grafene ikke holder lik fasong og utvikler seg på samme måte.

En av de mest åpenbare grunnene til feil i resultatet er fasongen på selve modellen som ble bygd i 2019. Det ble lagd gode tegninger, der det ble lagt opp for å få et jevnt lag med sparkel over hele for å få en modell med en høy nøyaktighet. Dette gikk dessverre ikke som planlagt, og resultatet var en modellbåt med et skjevt skrog, blant annet. På noen steder, spesielt i baugen på barbord side, ble det målt en forskjell på 6,5 mm fra modell og tegning. I tillegg til dette, endte skroget opp for kort i forhold til det som var planlagt, siden tegningen var lagt opp i skala 1:202. Etter modellen ble målt i ettertid, viste den seg å være 10 cm for lang, med en skala på 1:193.

Selve slepetestingen gikk som planlagt, men ettersom det ikke var lagt opp for festemekanismer i bunnen av modellen, endte en opp med en slepeline i strekk. Det ble tatt et gjennomsnitt av resultatet etter hver testing, for å minske påvirkningen av denne linen.

Selv med slike feil i både byggeprosess og oppsett, ble det presentert et resultat som ikke var alt for ulikt resultatet fra Tyskland. Det er en klar forskjell, men ved høyere hastighet får man to kurver som ligner. Ettersom resultatene er såpass like etter testing av en båt som viste seg å være svært så unøyaktig, anbefales det å se på hvor nøyaktig en modellbåt faktisk trenger å være for å gi gode resultater.

4.2 ANSYS

Resultatene fra testingen av de forskjellige Snap Fit krokene kom med lovende resultater for videre testing og produisering av prototyper. Fra resultatene ser man at materialene brukt hadde stor innvirkning på hvor mye kraft som var nødvendig for å oppnå den nødvendige defleksjonen. Det som er mer interessant å se på er den prosentvise endringen mellom de fem designene sett i Tabell 8.

Siden styrken til mekanismen vil bli kraftig påvirket av lagoppbyggingen til 3D printeren, må det utvikles prototyper som testes manuelt. Her vil disse resultatene komme godt med. Påvirkningen til de forskjellige parameterne er funnet etter analyseringen i ANSYS, og dette vil hjelpe med å finne riktig design som både holder bulben godt nok fast, og gir en mulighet for å bytte bulben uten at festemekanismen knekker.

Denne type festemekanisme må 3D-printes og testes, noe som gjør det til et segment som er nødvendig å gjøre videre undersøkelser og arbeid for å forbedre metoden. Her kan det være aktuelt å se på andre *Snap Fit* mekanismer som *ball joint* mekanismer. Det må også gjøres tester med hvilke innvirkninger lagoppbyggingen til printerens har på styrken. Siden det uansett må legges noe materiale i sømmen mellom festeplaten og bulben, så er spørsmålet om det trengs noe *Snap Fit* mekanisme i det hele tatt. Dette må igjen testes dersom oppgaven videreføres.

4.3 Valg av metode

Denne bacheloroppgaven kan bli sett på som en guide for studenter i ettertid. Målet har vært å kutte ned på tiden som ble brukt til å bygge modeller, og det er ønskelig å se hvor en kan gjøre forbedringer. I denne oppgaven ble det foreslått å 3D-printe bulben for seg selv, samt frese hele modellen i ett stykke. I tillegg til dette, skulle en også teste forskjellige typer sparkel, siden sparkeltypen som ble brukt i 2019 viste seg å være svært vrien å jobbe med.

Hvor nøyaktig modellen må være, bør og testes. I følge ITTC [1] skal DTC-skipet ha en nøyaktighet på rundt 1 mm, men det er ikke sikkert at andre modellbåter trenger en slik nøyaktighet. Her kan en endre på hvor mye sparkel som blir brukt, og hvor fin overflaten til sluttproduktet blir.

4.3.1 MakerSpace

Det ble foreslått å ta i bruk MakerSpace sine fasiliteter på Marineholmen. De driver i samarbeid med HVL, og har en laser som kan være til nytte. I stedet for å bruke en fres til å lage en hel modell, kan en skjære ut 9-12 spant i millimeter presisjon, og lime de fast med en guidestang. Om en kan finne en pålitelig festemetode som passer på at alt henger godt sammen med god nøyaktighet, så antar en at det kan bygges en modellbåt på rundt 2 dager med denne metoden.

Med denne metoden kommer nøyaktighet inn i bildet. En vil trolig ikke treffe ITTC sitt krav på 1 mm nøyaktighet, men om nøyaktigheten ikke er et stort krav for andre modellbåter, vil denne metoden være et godt alternativ.

4.3.2 Fresing av bulb

Et alternativ til 3D-printingen, er å frese ut bulben for seg selv. En vil gå frem med samme metode som sett på i denne oppgaven, men istedenfor å lage en bulb av plast, vil den bli lagd i samme materiale som resten av båten. En fordel med denne metoden vil være en lavere kostnad, avhengig av hvilket materiale som blir brukt, og prisen på plast. Det er også mulig at denne metoden gjør byggeprosessen enklere, ved at bulb og skrog vil trenge like mye behandling på overflaten.

4.3.3 Alternative materialer

Noe som kom frem i bacheloroppgaven 2020 var materialet som blir brukt. Frem til i dag har det hovedsakelig gått i DIAB sitt Divinycell H60, som er et skumkompositt materiale. Dette er et materiale som er enkelt å frese, med lav vekt og tetthet, som gir gode flyteegenskaper. En ulempe med materialet er hvordan overflaten blir etter fresing. På grunn av den lave tettheten, vil en få en svært ujevn overflate, som krever mye behandling i ettertid, noe som har ført til at en må bruke en del sparkel. I 2020 oppgaven skulle en lage prøvestykker i Divinycell H100, som har en høyere tetthet og vil derfor gi en finere overflate etter fresing. Med disse prøvestykkene skulle en og teste noen forskjellige sparkeltyper, for å finne en som er enklere å bruke, uten at det går utover flyteevenen.

5. Konklusjon

Slepetesten viser at resultatene ikke er langt unna resultatene de blir sammenlignet med. Her oppstår det noen forskjeller når begge testresultatene er skalert opp til fullskala. Dette kommer av at modellen som ble testet ved HVL hadde store unøyaktigheter grunnet feil ved utfresing. Resultatet her skulle sammenlignes med den nye modellen som skulle bygges, etter at prøvestykkene viste hvilken metode som var enklest og mest nøyaktig.

3D-printing av bulb vil øke nøyaktigheten betraktelig på de avanserte geometriene. Dette gjør også fresejobben mye lettere siden resten av modellen freses i ett stykke. Ut fra resultatene presentert i Kapittel 4.1.2 ser man at en festemekanisme har stort potensiale. Skinnemekanismen vil tåle langt over kreftene den blir utsatt for før det oppstår brudd. Dette må derimot testes med 3D-printede prototyper. *Snap Fit* designet viser også stort potensiale for videre testing. Av de forskjellige versjonene står da V1 og V3 ut som de beste kandidatene ettersom de krever minst krefter for å oppnå 1,8 mm defleksjon.

5.1 Avsluttende ord

Utførelsen av denne oppgaven ble hardt rammet grunnet Coronapandemien. Den originale planen måtte forkastes og problemstillingen måtte endres. For videre arbeid bør det utvikles prototyper for de 3D-printede delene, ettersom resultatene fra ANSYS ikke bruker de faktiske materialeegenskapene til 3D Systems sitt materiale. En ny forbedret DTC modell bør bygges og slepetestes for å sammenligne resultatene fra denne rapporten, og sjekke hvor store avvik det blir.

Referanser

- [1] *ITTC - Recommended Procedures and Guidelines: Ship Models*, 7.5-01-01-01, 2017. Tilgjengelig: <https://www.ittc.info/media/7975/75-01-01-01.pdf>, Hentet: 14. april 2020
- [2] O. Moctar, V. Shigunov, T. Zorn, «*Duisburg Test Case: Post-Panamax Container Ship for Benchmarking*» Schiffstechnik: Ship Technology Research, August 2012.
- [3] S. Aadland, H. Sande og M. Trodahl, «*Gjennomgang og utvikling av båtbyggings-prosedyre ved Høgskulen på Vestlandet*,» Bachelor, Institutt for Maskin- og Marinfag, Høgskulen på Vestlandet, Bergen, 2019.
- [4] H. Holm, S. Steen, «*Havromsteknologi – Motstand og framdrift*». Trondheim: NTNU, Institutt for marin teknikk, 2014.
- [5] *ITTC - Recommended Procedures and Guidelines: Resistance Test*, 7.5-02-02-01, 2017. Tilgjengelig: <https://www.ittc.info/media/8001/75-02-02-01.pdf> Hentet: 14. april 2020
- [6] 3D Systems, «*MultiJet Plastic Printers*», [Nettside]. Tilgjengelig: <https://www.3dsystems.com/sites/default/files/2018-11/3d-systems-proJet-mjp-3600-plastic-tech-specs-usen-2018-11-08-web.pdf> , Hentet 14. april 2020
- [7] E. K. Ottesen, *Om bulber på skip*. Trondheim: Norges tekniske høgskole, Skipsmodelltanken, 1965.
- [8] 3D Printing.com, «*What is 3D Printing?*» [Nettside] Tilgjengelig: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>, Hentet: 14. april 2020
- [9] D. Evans, «*How to Design Snap Fit Components*» 2020. [Nettside]. Tilgjengelig: <https://www.fictiv.com/hwg/design/how-to-design-snap-fit-components>, Hentet: 14. april 2020
- [10] 3D Systems, «*Snap Fits*,» [Nettside]. Tilgjengelig: <http://infocenter.3dsystems.com/bestpractices/mjp-best-practices/projet-mjp-2500/snap-fits>, Hentet: 14. april 2020
- [11] J. Low, «*How to design snap-fit joints for 3D printing*,» 2020. [Nettside]. Tilgjengelig: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-design-snap-fit-joints-3d-printing/>, Hentet: 3. mai 2020
- [12] *ITTC – Recommended Procedures, Testing and Extrapolation Methods Resistance Resistance Test 7.5-02 -02-02*, 2002. Tilgjengelig: <https://itc.info/media/1818/75-02-02-02.pdf>, Hentet: 14. april 2020

Vedlegg

Vedlegg 1 – Excel dokument for motstandsberging

Vedlegg 2 – MatLab skript for motstandsberging og oppskalering til fullskala

Vedlegg 3 – Komprimert mappe med CAD-filer og ANSYS analyser

