

# Laminering av et lukket oppdrettsanlegg

HENRIK HØIDAL  
JONAS NYGÅRD  
JENS MARTIN GJÆRUM

Bacheloroppgave i Marinteknikk  
Bergen, Norge 21





# Laminering av et lukket oppdrettsanlegg

Henrik Høidal  
Jonas Nygård  
Jens Martin Gjørum

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 Lümmer

*English title:* Lamination of a closed fishfarm

Forfatter(e), studentnummer: Henrik Høidal 161643  
Jonas Nygård 578090  
Jens Martin Gjærum 577852

Studieprogram: Marinteknikk  
Dato: 25. Mai 2021  
Rapportnummer: IMM 21-M31  
Veileder ved HVL: Gloria Stenfelt  
Oppdragsgiver: Hauge Aqua AS  
Oppdragsgivers referanse: Åsmund Hellesøy

Antall filer levert digitalt: 1

## Forord

I denne seksjonen så vil vi takke veileder Gloria Stenfelt for god oppfølging og hjelp. En stor takk rettes også til Hauge Aqua AS som har levert oss en så interessant oppgave som var krevende både praktisk og teoretisk. Hauge Aqua AS har også stilt med veileder Halvor Aga som har vært til stor hjelp og sensor Åsmund Hellesøy. En annen stor bidragsyter som fortjener takk er verkstedpersonell ved HVL, Harald Moen, Nafez Ardestani og Frode Wessel Jansen, for eksepsjonell veiledning og hjelp på verkstedet. Vi vil også rette en takk til Sverre Idar Nordtvedt fra Herde Komposit AS som tok oss imot på omvisning og delte mye kunnskap om laminerings metoder og fremgangsmåte.



### Sammendrag

I denne oppgaven redegjøres det for laminering av en modell av ett lukket oppdrettsanlegg som er designet av Hauge Aqua AS. Hovedoppgaven var å laminere en modell etter tegningene som ble gitt, dette blir gjort for å finne en best mulig måte å lage modellen på. Videre blir modellen testet i en bølgetank for å se hvordan den beveger seg i vannet.

Modellen ble lagd ved hjelp av glassfiber og polyester etter en del testing av materialer. Videre ble en flytekrage rundt modellen frest ut av materialet Divinycell for at modellen skulle flyte. Egenperioden ble testet i vanntanken samt utregnet for hånd for sammenligning og en digital modell i Sesam ble modellert for å sammenligne vekt, skalering, o.l med modellen.

Oppgaven konkluderes med at gruppen kom frem til en god løsning på oppgaven ved selve modelleringen. Dette på grunn av god tykkelse, oppdrift og dyppgang. Videre er det sett på måter som kunne ha gitt et bedre resultat som for eksempel vakuuminjisering.





## Abstract

In this paper the lamination of a model of the closed fish farm Egget, designed by Hauge Aqua AS is explained. The main task was to laminate a model after the drawings given by the company. The reason for doing this is to find the best way of making the model. Further the model was tested in a wave tank to look at how it moves in water.

The model was made with fiberglass and polyester after some testing of different materials. A floating collar around the model was made by milling it out from the material Divinycell. The eigenperiod was tested in the wave tank and calculated by hand to compare the two. In Sesam a digital model was made to compare the weight, scaling etc with the physical model.

The conclusion of this paper is that the group came up with a satisfying way of making the model. This is because of the thickness, buoyancy and draft were accurate compared to the fullscale model. Further it has been looked at different ways of modelling which could have given a better result, for example vacuum injection.



## Innhold

Forord.....	V
Sammendrag.....	VII
Abstract.....	IX
1. Innledning.....	1
2. Teoretisk metode.....	2
2.1 Beskrivelse av modell.....	2
2.2 Laminering.....	2
2.3 Strekkprøving.....	4
2.4 Hydrostatikk.....	6
2.5 Skalering og geometriske verdier for Egget.....	8
2.6 Egenperiode.....	9
2.6.1 Manuell utregning av egenperioden i hiv.....	10
2.7 De seksfrihetsgradene.....	12
3. Eksperimentell metode.....	12
3.1 Herde Kompositt besøk.....	12
3.2 Numerisk metode.....	13
3.3 Laminering.....	15
3.4 Testing i MarinLab.....	23
3.4.1 Krengeprøve.....	24
3.4.2 Decaytester.....	24
3.5 Feilkilder.....	26
4. Resultater.....	26
4.1 Strekkprøving.....	26
4.2 Hydrostatiske numeriske resultater.....	28
4.2.1 Deplasement.....	28
4.2.2 Metasenter.....	29
4.2.3 Vannlinjeareal.....	29
4.2.4 Oppdriftssenter.....	30
4.3 Hydrostatiske resultater.....	30

4.3.1	Ferdig produkt .....	30
4.3.2	Krengprøve .....	31
4.3.3	Egenperiode.....	31
4.4	Diskusjon.....	35
5.	Konklusjon .....	36
6.	Referanser.....	37





## 1. Innledning

Oppdrett har vært en storindustri i Norge siden 1992 [1]. Siden pionerene på 1950-tallet begynte så smått med oppdrett av fisk har det gradvis gått over til å bli industri. Etter hvert ble flere og flere oppdrettsanlegg satt ut langs hele kysten og laksen ble en dominerende art i anleggene. Med økende volum kom også et økende antall problemer til næringen. Noen ble tatt hånd om gjennom vaksiner, mens andre fortsatt forårsaker bekymringer i næringen. Lus, rømming og svinn er noen av disse. Dette er problemer som har skapt mye hodebry, men løsningen kan være nærmere enn man tror.

Lukkede oppdrettsanlegg i havet pumper inn vann fra dypet for å unngå lus og har en jevn gjennomstrøm av rent vann som er tilsatt oksygen. Dette vannet går ut gjennom forskjellige avløp og på grunn av dette sikres et godt miljø for fisken. Lukkede anlegg kan også gjenbruke overflødig fôr og fiskens avføring som i et vanlig anlegg ville ha sunket til bunn og gått til spille.

Noe av hovedtanken bak et lukket oppdrettsanlegg er at man skal forhindre lakselusen. Om man klarer å forhindre lakselus, forhindrer man at mye av laksen dør under behandling av lakselus. I vanlige merder i dag er det vanlig med opptil syv lakselus behandlinger. Dette medfører at fisken får mindre oksygen slik at de mister appetitten og ikke spiser over en uke. Naturligvis er det mange fisk som dør i denne prosessen. Ifølge SNL så dør ca. 15% av oppdrettslaksen grunnet dette problemet [2]. Med lukkede oppdrettsanlegg så løses forhåpentligvis dette problemet. Man skal heller ikke ha behov for rensfisk som spiser opp lus med dette anlegget.

I denne oppgaven skal det lages en modell av ett lukket oppdrettsanlegg for Hauge Aqua AS. Hovedfokuset i oppgaven skal være å lage Egget så korrekt som mulig med tanke på tykkelse, størrelse og vekt fordeling. Egget skal også testes i MarinLab på HVL. I Figur 1.1 vises en konsepttegning av hvordan Egget er designet. Modellen som skal produseres i oppgaven skal ikke ha med søylen som er i midten av Egget. En av grunnene til at oppdrettsanlegget er formet som ett egg er fordi dette er en naturlig form som antas å bevege seg lite i vannet.



Figur 1.1 Konsepttegning av Egget.

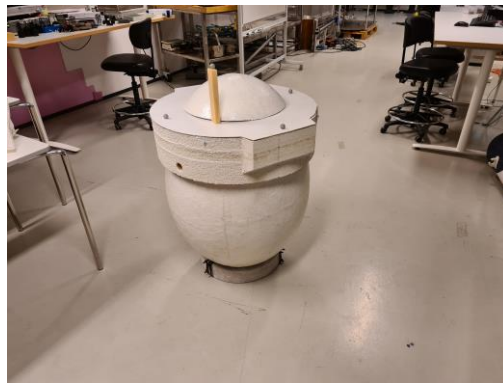
## 2. Teoretisk metode

Dette kapittelet tar for seg det teoretiske aspektet som er brukt i oppgaven. Det blir redegjort for valg av materiale for laminering, strekkprøving, hydrostatikk, skalering, beregning av egenperiode og de seksfrihetsgradene for Egget. Selve modellen blir beskrevet kort i dette avsnittet.

### 2.1 Beskrivelse av modell

Modellen som er blitt laget i denne oppgaven er av ett lukket oppdrettsanlegg formet som et egg. Egget er designet av Hauge Aqua AS.

Denne modellen består av et glassfiberskall og ett lag med gelcoat på utsiden. I flytekragen så er det frest ut rom for lodd slik at modellen kan ballasteres riktig, selve kragen er laget i Divinycell. I bunnen er det festet en betongring for ballast og stabilitet. Det bores tre hull med Ø32mm i både kragen og bunnen slik at vannet inne i Egget kan reguleres av seg selv uten hjelp fra pumper. Som vist i Figur 2.1 er det også festet på reflektorer, slik at bevegelerskamasystemet [3] i MarinLab kan ta opp bevegelsene til Egget.



Figur 2.1: Modell med tilhørende reflektorer

### 2.2 Laminering

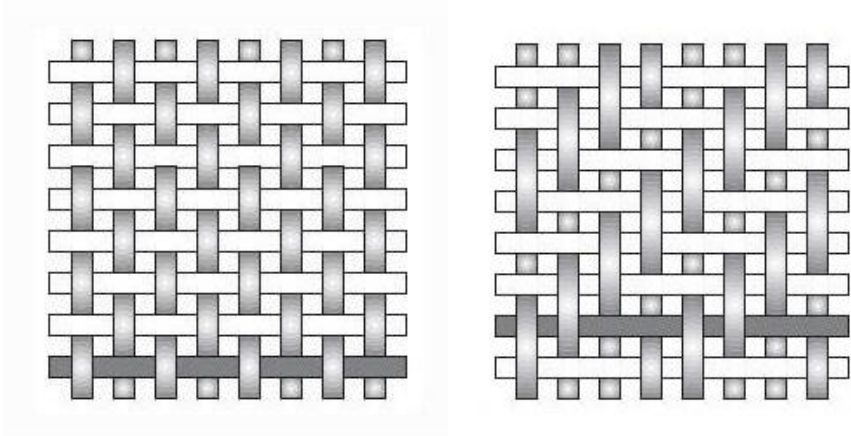
Mesteparten av Egget er ett glassfiberlaminat, og det krever mye kunnskap om laminering i forkant av lamineringen. Ett laminat er ett resultat av flere lag av ett materiale som er ‘sveiset’ sammen, enten med en type lim, eller varmebehandling. I denne oppgaven er det laminering av glassfiber som er aktuelt, og det er dette som blir vektlagt her.

Laminering av glassfiber er en krevende prosess, som avhenger av hvor nøyaktig en er med blandingsforhold og temperatur i rommet. Styrken til materialet er avhengig av hvilken fibertype som blir valgt, og hvor mange lag som lamineres. Det finnes mange ulike fibermatter, og valget av riktig matte er en viktig del av lamineringsprosessen.

Det er hovedsakelig to typer fibermatter, chop strand matter (CSM) og flettede matter. CSM er en mattetype der alle fibrene er lagt på hverandre i vilkårlig retning, og holdt sammen med et lett bindingslim. CSM mattene er isotropiske, og det ferdigbehandlede laminatet er lett å pusse ned til en fin og jevn overflate. Av denne grunn, er det praktisk å benytte CSM for det innerste og ytterste laget i glassfiberkonstruksjoner.



CSM matter tåler derimot ikke like mye belastning som flettede matter, derfor er det lurt å kombinere disse to mattetyper når man laminerer en glassfiberkonstruksjon. Styrken til flettede matter vil avhenge av hvilket flettemønster matten har, i Figur 2.2 er det avbildet to eksempler, enkel fletting og 'twill'



Figur 2.2 "Plain weave" og "Twill weave" [4]

For flettede matter er det typisk at de tåler mer belastning i to bestemte retninger som vist over i  $0^\circ$  og  $90^\circ$ . [5] For hvert flettemønster finnes det flere underkategorier, hvor det er variasjon i hvilken retning som tåler mer belastning. Vinkelen som fibrene har på hverandre, hvor mange tråder det er i mønsteret, o.l. er ting som påvirker slitestyrken til mattene.

En annen fordel med flettede matter, er at noen av dem er veldig lette å forme etter krumme overflater, noe som er veldig relevant for lamineringen som blir gjort i dette prosjektet. Å velge riktig glassfibermatte vil påvirke hvor sterk konstruksjonen blir, og vil også ha noe å si for hvor mange lag man trenger for å oppnå ønsket tykkelse. For å velge riktig type matte er det viktig å ha kunnskap om de eksisterende produktene på markedet, samt fordeler og ulemper knyttet til disse.



Figur 2.3 CSM matte benyttet for ytre og indre lag

CSM blir ikke benyttet for hele skallet, ettersom flettede matter har en bedre slitestyrke. [5] Egget skal holde i flere år, og i løpet av disse årene vil konstruksjonen bli utsatt for dynamiske laster, det er da

ønskelig å ta i bruk materialer som er egnet for dette. Det er en god ide å bruke en kombinasjon av CSM matter og flettede matter, for å oppnå ønsket styrke på konstruksjonen.

For det bærende laget, flettede matter, gir det mening å gå for en matte som er lett å forme etter krumme flater. Her er det flere alternativer, blant annet twill og biaksielle matter, begge disse har en tilfredsstillende slitestyrke og formes lett etter krummede overflater. Det er kjent at biaksielle matter er vanskeligere å jobbe med, siden de ikke trekker inn polyestere like lett (pga. flettemønsteret). Valget havner da på twill matter, det er samme pris som biaksielle matter, men det er lettere å jobbe med.



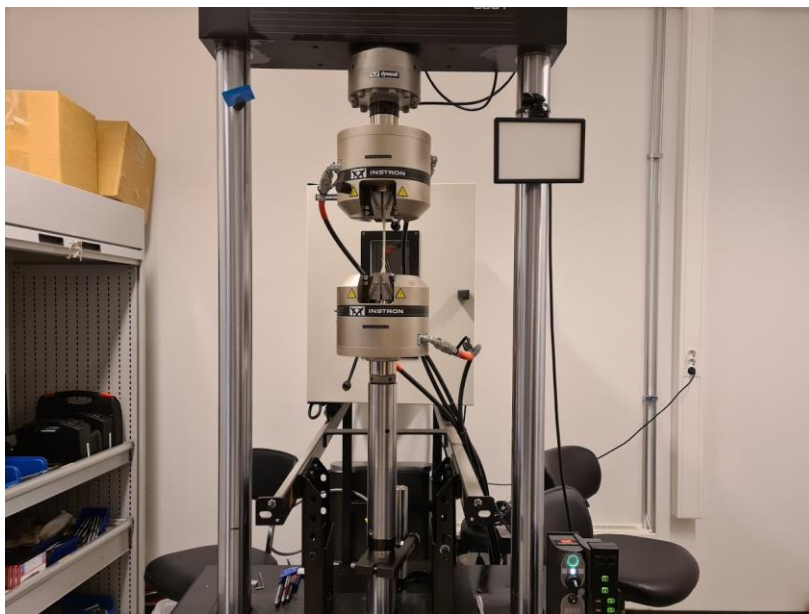
Figur 2.4 Biaxial fibermatte på Egget

Dessverre ble det gjort en feilbestilling, og gruppen endte opp med biaksielle fibermatter. Den største ned siden med dette, er at selve lamineringen blir mer krevende. Denne feilbestillingen vil ikke påvirke styrken, eller kostnadene til Egget.

### 2.3 Strekkprøving

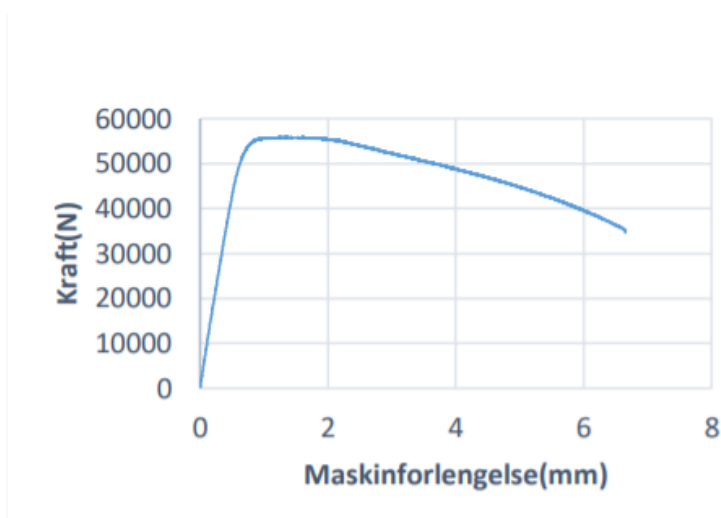
For å finne egenskapene til et materiale er det ulike tester man kan utføre. Dette for å finne blant annet nominell spenning, nominell tøyning, flytegrense og elastisitetsmodul [6]. Dette er for å kunne få informasjon om hva et materiale tåler og hvilke belastninger det kan utsettes for. I denne rapporten blir det utført en strekkprøve av materialet som brukes i modellen.

En strekkprøve blir utført ved hjelp av en hydraulisk drevet prøvemaskin som løper ved en jevn hastighet for å beregne tøyningen i prøvestaven [6]. Kraften maskinen bruker, avleses under forsøket og kan sammen med forlengelsen importeres inn i et regneark for å få ut ønsket diagram. Det er også vanlig å feste på et ekstensiometer som måler hvordan tverrsnittet endrer seg, men det er ikke brukt i denne oppgaven etter tips fra lab ansatt. Prøvemaskinen kan brukes til både strekkprøving, trykkprøving og bøyepøving og er fremstilt i Figur 2.5



Figur 2.5: Prøvemaskin på Høgskulen.

Etter hvert som maskinen beveger seg og tøyer prøvestykket, følges det med på dataskjermen hvor kraft fortløpende kommer i et diagram som en funksjon av forlengelsen. Forlengelsen er da hvor langt maskinen beveger seg. Et slikt diagram kan se ut som i Figur 2.6.



Figur 2.6: Kraft som funksjon av forlengelse for kaldtrukket stål.

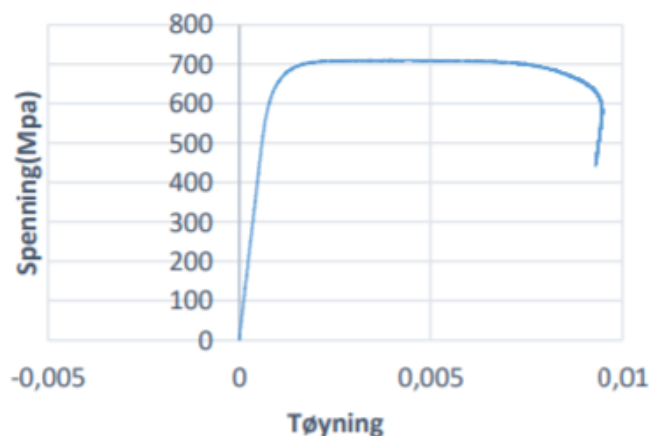
Fra et slikt diagram er det mulig å regne seg frem til ulike materialegenskaper. Dette gjøres ved å endre diagrammet til et spenning-tøyningdiagram. Da regnes den nominelle spenningen  $\sigma$ , ved hjelp av formelen,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

Der  $F$  er kraften og  $A$  er tverrsnittarealet til prøvestykket. For å finne tøyningen til prøvestaven benyttes,

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Der  $L$  er lengden til staven under/etter strekkprøvingen og  $L_0$  er den opprinnelige lengden til prøvestaven. Deretter legges de nye verdiene inn i et diagram som er vist i Figur 2.7.



Figur 2.7: Eksempel på spenning-tøyningsdiagram for kaldtrukket stål

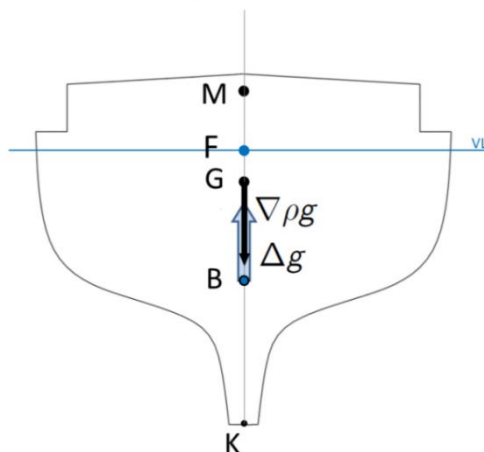
Ut fra dette diagrammet kan det leses av blant annet strekkfasthet, som er den høyeste spenningen prøvestaven tåler før brudd og leses av på toppunktet til grafen. For denne rapporten er det strekkfastheten og elastisitetsmodulen som er i fokus. Elastisitetsmodulen  $E$ , blir regnet ut ved å finne stigningen på grafen i det lineære området på grafen. Den regnes ut ved bruk av formelen,

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.3)$$

Der  $\Delta\sigma$  er endringen i spenning og  $\Delta\varepsilon$  er endring i tøyning.

## 2.4 Hydrostatikk

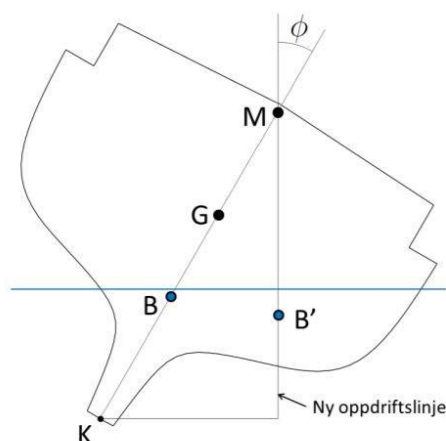
I hydrostatikken er det noen hydrostatiske betegnelser som er viktige å vite om, disse er vist i Figur 2.8.



Figur 2.8: Visuell fremstilling av hydrostatiske punkter [7]

I Figur 2.8 er  $G$  flyterens tyngdepunkt, det geometriske senteret av den totale massen.  $F$  er flyterens flotasjonscenter, det geometriske senteret av legemets vannlinjeareal.  $B$  er oppdriftspunktet, og er det geometriske senteret av det neddykkede volumet.

Flyterens oppdrifts- og tyngdepunkt, skal ligge på den samme vertikale linjen. Dette kaller man oppdriftslinjen eller senterlinjen  $BG$ . Denne oppdriftslinjen er viktig når det kommer til metasenterets opprinnelse, siden det er kryssningspunktet mellom ny og gammel oppdriftslinje som definerer metasenteret. Dette er vist i Figur 2.9



Figur 2.9: Kregende legeme [7]

Fra Figur 2.9 kan det defineres en avstand  $GM$ , også kalt metasenterhøyden. Denne er essensiell når det kommer til hydrostatikk, siden det er  $GM$  som er med å bestemme den rettende armen til flyteren. Er  $GM > 0$  vil flyteren kunne rette seg opp igjen etter en kregning, men om  $GM < 0$  vil flyteren kante. I spesielle tilfeller der  $GM = 0$  ( $G = M$ ) vil flyteren oppnå en hydrostatisk likevekt, der den vil opprettholde sin posisjon.  $GM$  er en viktig avstand å regne ut, Formel ((2.4) viser den generelle utregningen av  $GM$ .

$$GM = KM - KG \quad (2.4)$$

$KM$  er avstanden fra kjøll til metasenter, og  $KG$  er avstand fra kjøll til tyngdepunkt. Å finne  $GM$  fra  $KM$  er derimot krevende, så en tar derfor i bruk forholdet,

$$GM = KB + BM - KG - GG_2 \quad (2.5)$$

der  $KB$  er avstanden fra kjøll til oppdriftscenter,  $BM$  er avstanden fra oppdriftscenter til metasenter og  $GG_2$  er effekten av fri væskeoverflate.

$$GG_2 = \frac{i_x \cdot \rho_{vann}}{\Delta} \quad (2.6)$$

Hvor  $i_x$  er arealtrehetsmomentet for fri væskeoverflate og  $\rho_{vann}$  er tettheten på vannet.

## 2.5 Skalering og geometriske verdier for Egget

Skaleringen som er brukt i denne oppgaven er geometrisk likhet. Det som menes med geometrisk likhet er at formen har likt forhold både i lengderetning og bredderetning. Måten man regner ut skaleringsfaktor er,

$$\lambda = \frac{L_{Fullskala}}{L_{Modell}} \quad (2.7)$$

For modellen er det brukt Froude-skalering som bruker formlene som er listet opp i Tabell 2.1 [8]. Denne typen skalering er mest vanlig for skip og konstruksjoner, og for massedominerte bølgelaster. Det er også listet opp verdier for fullskala, beregnet modell og hvordan modellen blir med pluggen.

I Tabell 2.1 er også en liste over de mest aktuelle dataene som er brukt i oppgaven. I tabellen presenteres både fullskalaverdi og den skalerte verdien, samt hvordan den virkelige modellen som ble produsert endte opp. Dette er da med en skaleringsfaktor på 20.

Fysisk parameter	Benevning	Formel	Fullskala	Skalamodell	Virkelig modell
$H, d, T$	[m]	$L_{modell} = \frac{L_{egget}}{\lambda}$	20.7, 14.07, 16.5	1.03, 0.7, 0.825	0.95, 0.69, 0.785
$A_{VL}$	[m <sup>2</sup> ]	$A_{modell} = \frac{A_{egget}}{\lambda^2}$	92.3	0.23	0.19
$\nabla$	[m <sup>3</sup> ]	$V_{modell} = \frac{V_{egget}}{\lambda^3}$	2162	0.27	0.25
$\Delta$	[kg]	$\Delta_{modell} = \frac{\Delta_{egget}}{\lambda^3}$	266192.5	33.27	24.9
$T_e$	[s]	$t_{modell} = \frac{t_{egget}}{\sqrt{\lambda}}$	12.17	2.72	1.96
$F_{\uparrow}, F_{\downarrow}$	[kN]	$F_{modell} = \frac{F_{egget}}{\lambda^3}$	21739.5, 2611.3,	2.65, 0.33	2.45, 0.24
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	-	1025	1000	1000

Tabell 2.1: Skaleringsformler for Froude-skalering og gitte verdier for Egget samt beregninger

## 2.6 Egenperiode

Egenperiode i hiv forteller oss hvor hyppig konstruksjonen beveger seg langs sin egen z-akse. Tiden det tar for konstruksjonen å flytte seg fra startposisjon og tilbake, er egenperioden. Denne er essensiell når det kommer til dimensjonering, ettersom en resonans mellom egenperioden og lastens periode (med last menes da bølger, vind, og andre uforutsette krefter som kan påvirke perioden til plattformen), fører til store dynamiske krefter. Det sier seg selv at en vil unngå unødvendige store krefter på en konstruksjon til havs, og ved å ta i bruk demping, kan resonansutslagene minimeres. Utrekning av egenperioden til en konstruksjon til havs ser slik ut,

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{A + M}{C}} \quad (2.8)$$

der  $M$  er massedepasementet, og  $A$  er tilleggsmassen. (Tilleggsmassen er en viktig størrelse å ha med, dette bidraget kommer av at massen til konstruksjonen setter vannmassen rundt seg i bevegelse). Egenperioden til Egget skal regnes ut for hånd, og måles i tanken. Observeres det at disse to verdiene ligger innenfor en tilfredsstillende nøyaktighet, er det mulig å konkludere med at resultatene er rimelige.

Når en flytende konstruksjon har en negativ forskyvning langs z-aksen, vil dypgangen til konstruksjonen øke. Med en økning i dypgangen øker også oppdriften, dette kalles for vannplanstivhet, eller fjærstivheten  $C$ . Vannplanstivheten kan regnes ut slik,

$$C = A_{VL}\rho g \quad (2.9)$$

der  $A_{VL}$  er vannlinjearealet til konstruksjonen, Formel (2.9) satt inn i (2.8) gir da

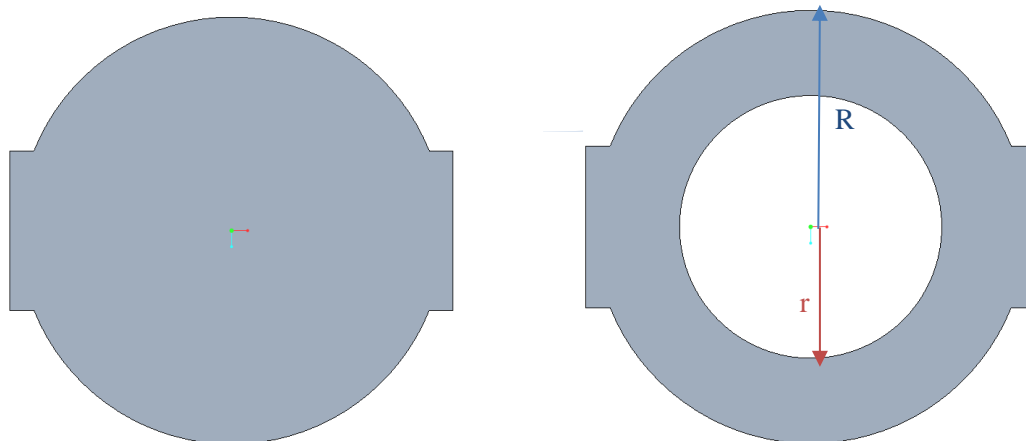
$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{A+M}{A_{VL}\rho g}}, \quad (2.10)$$

hvor  $C$  er satt inn. Her kan det observeres at det er to parametere som spiller en rolle for egenperioden, massen og vannlinjearealet.

### 2.6.1 Manuell utregning av egenperioden i hiv

Et manuelt overslag av egenperioden til Egget vil være nyttig for å sjekke om resultatene fra tester i tanken er rimelige.

Egget vil ha en operasjonsdypgang på 15.7m og vannlinjearealet vil se ut som ett av de to alternativene i Figur 2.10.



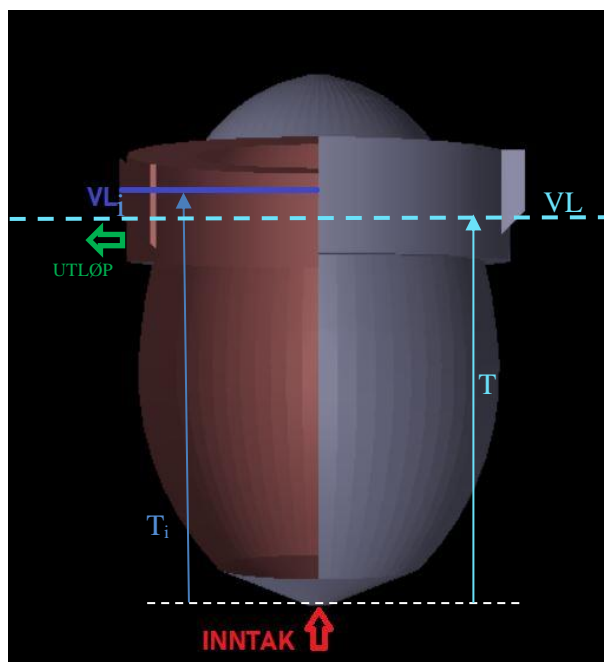
Figur 2.10 Visualisering av vannlinjeareal

Dette er ett komplisert vannlinjeareal, og det er derfor rimelig å forenkle arealet. Kaiene på sidene av kragen blir derfor sett vekk ifra under den manuelle beregningen av Egget. Ved å ta i bruk Formel (2.10) er det mulig å si at,

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{A + M}{\pi(R^2 - r^2)\rho g}} \quad (2.11)$$

hvor  $R$  og  $r$ , er henholdsvis radiusen til ytre, og indre del av kragen. I Formel (2.11) er det gjort en antagelse om at vannlinjearealet er kun arealet av kragen og skallet. Denne antagelsen er gjort siden Egget har et inntak i bunnen, som fører til at vannmassens overflate beveger seg med vannoverflaten.





Figur 2.11 Illustrasjon av vannmassen i Egget ( $VL_i$  er indre vannlinje)

Figur 2.11 viser en forenklet illustrasjon av hvordan vannlinjen til vannmassen forholder seg til havoverflaten. Dette påvirker vannplanstivheten, og tas som sagt hensyn til ved hjelp av en reduksjon av vannlinjearealet. Denne antagelsen er gjort på bakgrunn av tidligere oppgaver, og utregninger hos Hauge Aqua.

For denne oppgaven antas tilleggsmassen å være lik den totale massen til Egget, dette er nok en ganske grov antagelse, og det kan være lurt å se nærmere på denne verdien ved videre testing. AMC verdiene er basert på informasjon hentet ut fra DNV-RP-H103, [9]

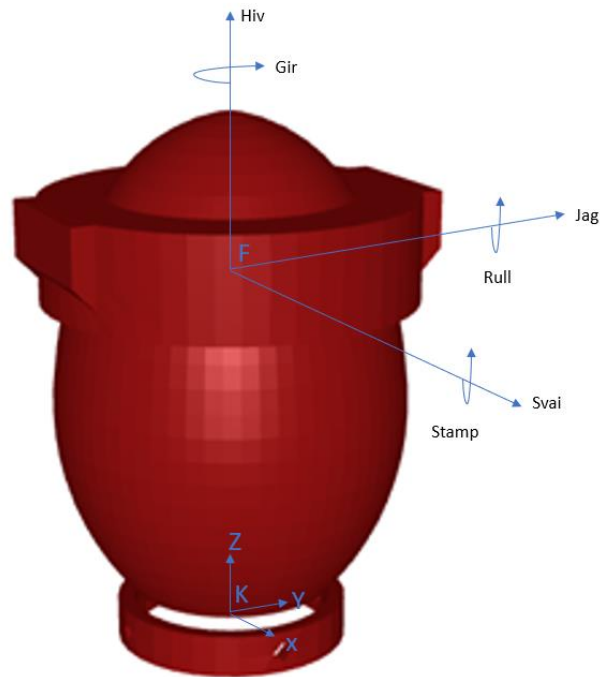
Spheroids	Lateral or axial	$a/b$	$C_A$		$\frac{4}{3} \pi b^2 a$
			Axial	Lateral	
		1.0	0.500	0.500	
		1.5	0.304	0.622	
		2.0	0.210	0.704	
		2.5	0.156	0.762	
		4.0	0.082	0.860	
		5.0	0.059	0.894	
		6.0	0.045	0.917	
		7.0	0.036	0.933	
		8.0	0.029	0.945	

Tabell 2.2 AMC basert på DNV sine forskrifter

og utfra Tabell 2.2, er det mulig å finne koeffisienten til å være 0.622. For å være på den sikre siden er denne AMC'en sammenlignet med en bok av Christopher E. Brennen (s.63) der det er gjort rede for tilleggsmassen for ellipsoider. [10] Det observeres at verdiene er omtrent like, det kan med andre ord konkluderes at AMC'en er rimelig.

## 2.7 De seks frihetsgradene

Marine konstruksjoner blir utsatt for både dynamisk last og respons. De seks frihetsgradene (DOF – Degrees of freedom) forklarer responsen til en konstruksjon som blir utsatt for vind, strøm og bølger. Frihetsgradene for E2000 modellen er vist i Figur 2.12.



Figur 2.12: Visualisering av frihetsgradene på Egget

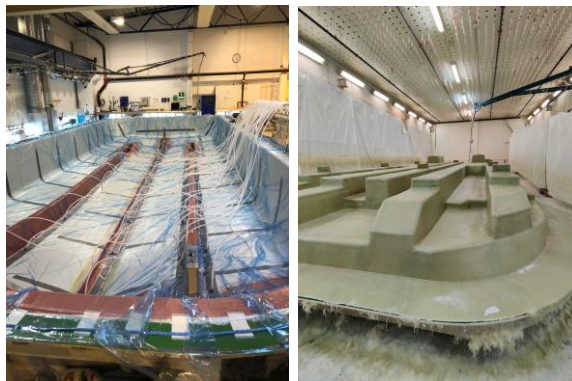
## 3. Eksperimentell metode

I dette kapittelet presenteres de eksperimentelle metodene som er utført i oppgaven, samt en tur til Herde Kompositt. Dette innebærer fremgangsmåten som er brukt for å laminere Egget, strekktestingen, og testingen i bølgetanken på HVL. Det er også beskrevet en numerisk fremgangsmåte for å modellere Egget.

### 3.1 Herde Kompositt besøk

For å få mer kunnskap om hvordan gruppen skulle laminere Egget så ble det arrangert en tur til Herde Kompositt i Ølve. Dette er bedriften som skal lage Egget i fullskala.

Besøket startet med en omvisning på lokalet. Der fikk gruppen innblikk i hvordan de jobbet, og hva de lagde. Det ble også gitt ett lynkurs i ulike lamineringsmetoder, blant annet vakuuminjisering og manuell laminering (legge lag for lag og rulle ut luftbobler). Dette var til stor nytte for videreføring av oppgaven, og mye av tipsene som ble gitt ble tatt godt i bruk.



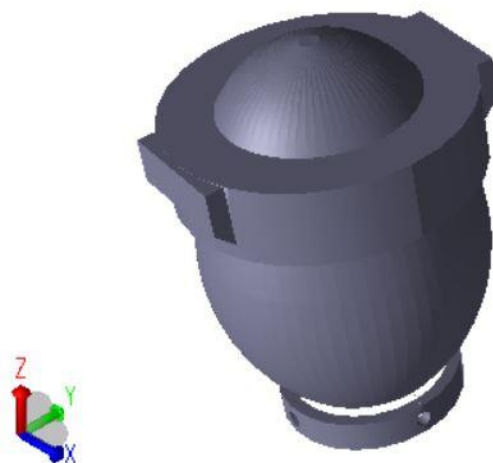
Figur.3.1: Vakuuminjisering

Etter omvisningen var det åpent for å prate med fagarbeidere. Her var det mye god kunnskap å hente, spesielt med tanke på bruk av slippmiddel. Det ble gitt innblikk i teorien bak laminatsveiser og fremgangsmåte når man laminerer for hånd.

Avslutningsvis tilbudte bedriften materialer til testingen, og slippmiddelet 'Frequote', noe som var til stor nytte.

### 3.2 Numerisk metode

Både for den digitale og fysiske modellen blir det brukt 3D-modellering. I Sesam Manager brukes det GeniE for modellering av Egget for videre analyser i HydroD. Her blir det modellert etter en tegning som er gitt av Hauge Aqua. Siden Egget er symmetrisk om x- og y-aksen blir det modellert en kvart av modellen og deretter speiles den om begge aksene. Dette gir grunnlag for strukturmodellen som er illustrert i Figur 3.2.



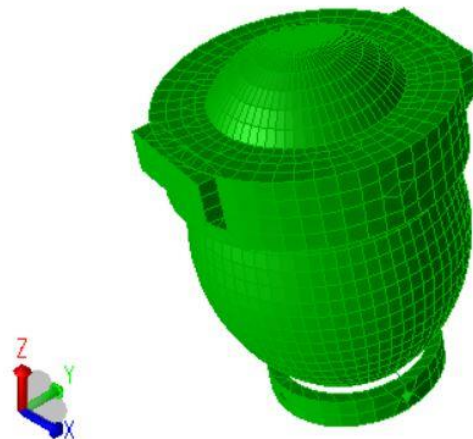
Figur 3.2: Strukturmodell i GeniE

I den digitale modellen av Egget er det noen åpne tanker som skal fylles med vann eller bare luft. Disse blir ved hjelp av verktøy i GeniE skilt ut og en compartmentmodell blir lagd. Denne modellen viser de ulike tankene på innsiden av modellen og er illustrert i Figur 3.3 Denne figuren er litt feil med tanke på at betongringen under Egget og kaiene på siden ikke er en compartment. Bare selve Egget og flytekragen er åpne rom i modellen.



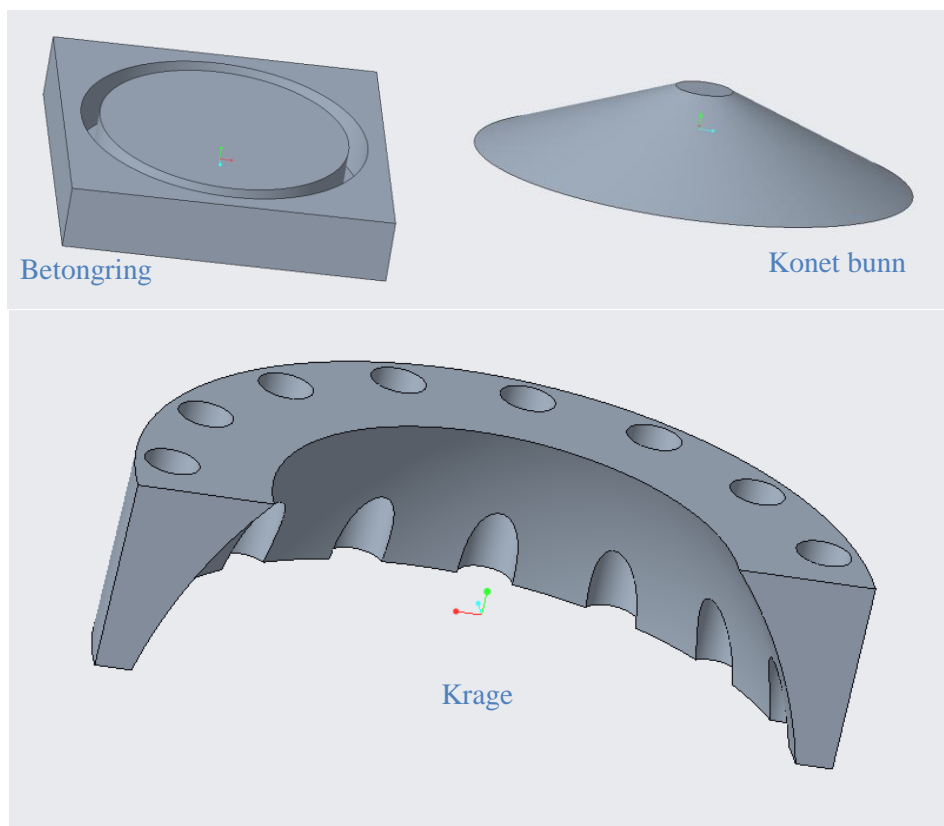
Figur 3.3: Compartmentmodell for Egget.

Når struktur- og compartment modell er ferdig gjenstår det å legge et mesh på modellen. Dette er for å kunne analysere den på en god måte. Her er det viktig å få et så bra rutenett som mulig for å få de beste resultatene i videre analyser. Ferdig rutenett er illustrert i Figur 3.4.



Figur 3.4: Rutenett på strukturmodell

For den fysiske modellen er det blitt brukt Creo Parametric for modellering av krage, bunn og betongring. Disse modelleres fordi de skal freses ut på verkstedet i CNC-fresen på Høyskolen. Dette gjøres ved å først modellere i Creo Parametric for så å sende filene over til verkstedet for fresing. Kragen freses i to halve deler i materialet Divinycell. Konen og betongringen freses ut som en form som det kan lamineres og støpes over. Alle disse modellene er illustrert i Figur 3.5.



Figur 3.5: 3D-tegning av former for betongring og bunn, samt krage.

### 3.3 Laminering

I dette kapittelet står det om fremgangsmåten som ble gjort for å modellere Egget. Valg av glassfiber står nevnt i kapittel 2.2.

#### Test 1

Startet med å smøre inn voks på formen, her ble det brukt Meguiars Formvoks for støping. Det klippes til CSM matter til formen slik at de ligger klare og polyester blandes med 1.5% herder. Pensler først ett lag med polyester på formen, så blir det første laget med CSM lagt og penslet med polyester. Dette blir repetert helt til det er fem lag med CSM. Etter alle lagene er lagt, så skal formen størkne i minimum fem-seks timer.



Figur 3.6: Resultat av første test

I denne testen ble det observert at voksingen av formen ikke var god nok. Laminatet satt altfor godt fast i formen, så godt at formen av metall ble ødelagt i forsøket på å løsne den. Utenom det så var resultatet av første test en bolle med tykkelse på 2.1mm.

### Test 2

Før andre test var turen til Herde Kompositt gjennomført som nevnt i Kapittel 3.1. På denne turen hadde gruppen mottatt noen tips, som for eksempel å la det første laget med CSM størkne slik at det ble lettere å plassere twill matten på.

For denne testen ble det brukt materialer som Herde Kompositt ga til gruppen. Dette laminatet består av ett lag med CSM i bunn, ett lag med twill DB 621 og til slutt ett lag med CSM på toppen, totalt tre lag.



Figur 3.7: Resultat av tredje test

Testen ga et tilfredsstillende resultat med tanke på metode, og at støpen slapp formen lett. Selve laminatet ble kun 1.6mm tykk og er for tynn.

### Test 3

Denne testen består av ett lag med CSM 300 i bunn, to lag med twill DB 621 og ett lag med CSM 300 på toppen.



Figur 3.8: Resultat av fjerde test

Tykkelsen med 4 lag glassfiber ble imellom 2.2-2.4mm. Dette er veldig nærme ønsket tykkelse på 2.1mm og dette blir derfor valget som blir brukt for laminering av selve modellen.

#### Test 4

Denne testen så er det fokus på å få laminatet til å slippe formen. Så med denne testen ble det satt av to punkter hvor det ble brukt release wax og frecote for å se hvilken som slapp lettest.

Det ble også laget 5 prøvestykker for strekktesting for å bekrefte at materialet er sterkt nok for å produsere Egget.

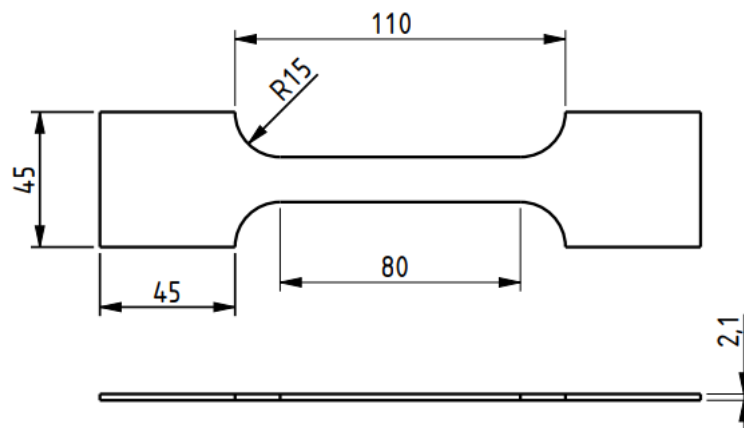


Figur 3.9: Resultater fra femte test

Det ble observert at begge metodene slapp formen veldig lett. Etersom det er mer release wax tilgjengelig enn frecote så faller valget på at dette blir slippmiddelet som brukes. Resultat av strekktestingen er i Kapittel 4.1.

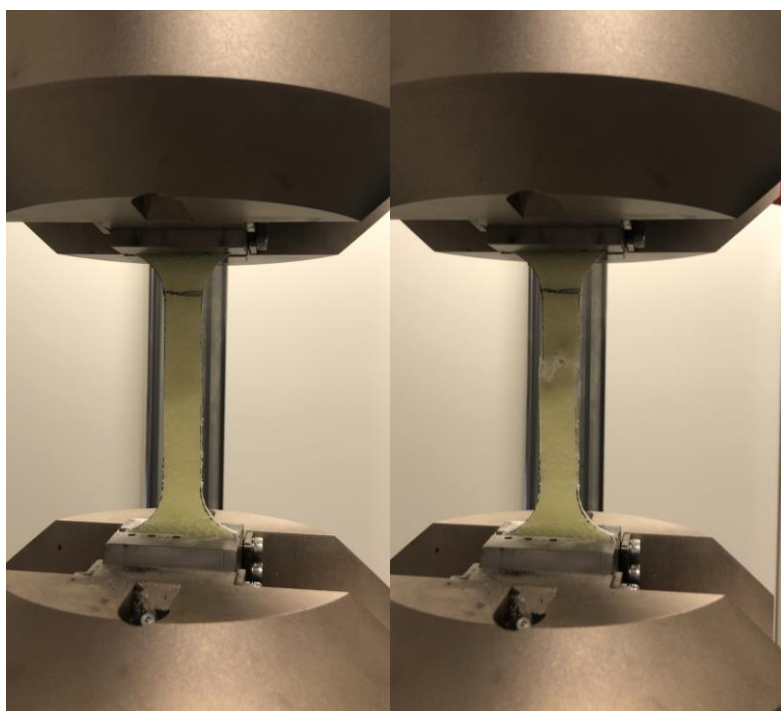
#### Strekkprøving

Ved strekkprøving lages prøvestykkene ved å laminere med samme glassfiber som brukes i modellen i en rektangelform. Deretter blir de kuttet med båndsgag etter en mal på hvordan de skal være. Den ferdige formen på prøvestavene med dimensjoner er illustrert i Figur 3.10.



Figur 3.10: Arbeidstegning av prøvestykke i millimeter.

Prøvestavene blir så lagt inn prøvemaskinen som er satt inn med et bestemt trykk for å ikke knuse prøvestavene før de i det hele tatt er testet. Deretter blir prøvestavene utsatt for strekk med konstant fart helt til et brudd oppstår som fremstilt i Figur 3.11. Dette kommer da inn i programmet som viser et diagram som vist i Figur 2.6. Dette viser da hvor mye kraft som virker etter hvert som prøvestavene forlenges.



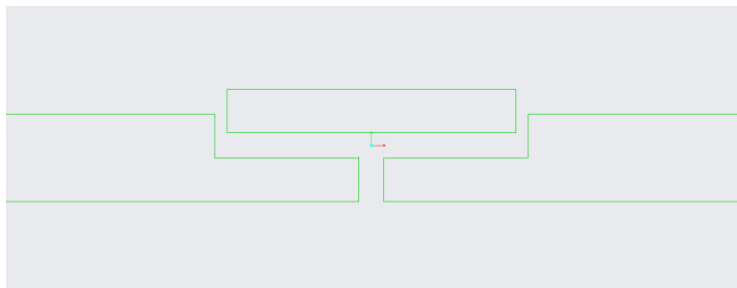
Figur 3.11: Prøvestav før og etter brudd

Verdiene som kommer ut av strekkprøvingen blir eksportert inn i et regneark slik at diagrammet kan gjenskapes og bli lagt inn i rapporten. Der blir det lest av og regnet på elastisitetsmodul og strekkfasthet.



### Test 5

Denne testen går ut på å teste hvordan skjøtemetoden for å sette sammen Egget fungerer. I Figur 3.12 er konseptet av sammenføyningsmetoden illustrert. Denne består av tre deler hvor de to nederste representerer halvdelene og rektangelet på toppen er selve skjøten. I kanten av Egget er det kun et lag med CSM og et lag twill. Skjøten består også av et lag CSM og et lag twill. Det testes også hvordan det er å skjære med kniv rundt pluggen for å få rette kanter før lamineringen størkner.



Figur 3.12: Konsept av sammenføyningsmetoden

Denne testen ga tilfredsstillende resultat både i skjøtemetoden og hvordan det var å skjære langs kanten av pluggen. Selve skjøten holdt veldig godt.



Figur 3.13: Resultat av sammenføyningsmetode med sorte tusj merker

### Laminering av første halvdel

Første forsøk på å laminere halve Egget. Viktigste fokuset her er at alt ligger klart når polyesterene blir blandet. Alle lagene med glassfiber kuttes til og alle i gruppen har fått en arbeidsoppgave som skal følges under laminering.



Figur 3.14: Underveis og resultat av halve Egget

Det ble brukt ganske mye mer polyester enn forventet. Det ble også observert at det første laget med CSM flyttet litt på seg når laget med twill ble lagt på. Dette blir tatt hensyn til ved neste laminering ved å la det første laget med CSM størkne først. På grunn av at lagene flyttet litt på seg så ble det en del luftlommer i Egget som gjør at halvdelen ikke er helt optimal og tykkelsen er litt ujevn, men Egget er fortsatt brukelig. Pluggen må også heves litt for å få mer polyester på kantene. Egget slapp pluggen veldig lett.

### Laminering av andre halvdel

Etter første test lærte gruppen at det var lurt å la det første laget med CSM størkne litt slik at delene ikke flyttet på seg når det ble lagt på twill. Denne gangen ble det også målt opp hvor mye polyester og glassfiber som ble brukt i vekt. Utenom disse to detaljene ble den andre halvdelen laget på samme måte som den første.

Resultatet av den andre halvdelen ser marginalt bedre ut enn den første. Dette er på grunn av det første laget med CSM størknet først. Forskjellen er såpass liten at det konkluderes med at begge halvdelene er gode nok for sammenføring. På denne delen så ble det brukt 2402g polyester og glassfiberen veide 1746g. Det vil si 57.9% polyester og 42.1% glassfiber.

### Kutting av halvdelene

Etter begge halvdelene er laminert så må de kuttes til. Før delene kuttes så tegnes det opp på et papir hvor delene skal kuttes. Utfra strekene som er målt opp på papiret, så brukes det en laser for å tegne inn rette streker på hver halvdel. For å kutte av bunnen og toppen så brukes det en vinkelsliper med diamantskive.



Figur 3.15: Metode for å måle hvor Egget skal kuttes

### Laminering av konet bunn

For å laminere bunnen som er kon formet, så freses det ut en kon av isopor som brukes som en form. Etter formen er frest ut, legges det teip på formen slik at lamineringen skal slippe lett. Tegningen av formen er i Figur 3.5.

Når bunnen er blitt laminert, blir den kuttet til med vinkelsliper med diamantskive og kanten pusses ned slik at den passer resten av modellen.



Figur 3.16: Laminering av bunn

### Fresing av flytekrage

Materiale som er brukt til flytekragen heter Divinycell H60 som er 50mm tykke. Selve kragen freses ut ved hjelp av ansatte ved HVL som bruker en CNC fres. Ettersom selve kragen er 190mm høy, så limes det først 4 biter Divinycell sammen. For at fresen skal kunne lage delene må det også lages noen tegninger i Creo. Tegningen som kragen ble laget av er Figur 3.5.

Metoden for å lage denne kragen er at den lages i to deler for så å limes sammen på Egget til slutt. Kragen skal også ha 16 lommer for lodd slik at ballasteringen kan bli gjort synkront over i hele flytekragen. Den første kragen som ble frest ut passet ikke med modellen. Dette beviste at 3D-modellen som gruppen har ikke stemmer overens med pluggen. Verken i bredde, lengde eller krumning som vist i Figur 3.17. På grunn av dette ble det målt omkrets på fire forskjellige punkter ifra toppen. Ved hjelp av disse målingene ble det beregnet en ny krumning for den nye kragen.



Figur 3.17: Første krage

### Sammenføyning av modell

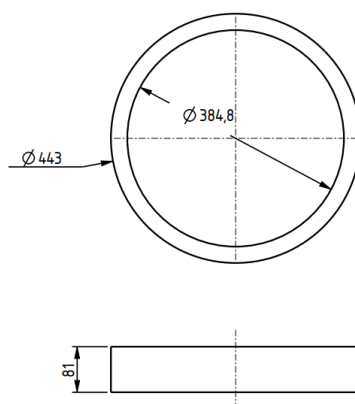
Sammenføyningen av modellen startet med å feste de to kuttete halvdelene sammen med gaffateip slik at de skal holde formen under lamineringen. Metoden som brukes for å feste halvdelene sammen fremstilles i Figur 3.12 og Figur 3.13. Etter at halvdelene størkner sammen blir konen i bunn laminert fast. Måten den festes på er at den blir lagt på hullet i bunn og det lamineres ett lag CSM på utsiden og ett lag på innsiden. Dette gjør at Egget blir litt tykkere akkurat i skjøten av bunnen. Videre for å lime fast kragen så blir det brukt Tek7. Det legges på et godt lag med lim på hele innsiden av kragen som skal inn mot Egget og kantene som skal settes sammen. Alt dette blir satt sammen med Egget liggende opp ned slik at kragen og Egget ligger rett. For at dette skal feste seg ordentlig brukes det en jekkestropp for at kragen skal holde formen til den er ferdig størknet. Når Egget er ferdig sammenføyd, males det hvitt ved bruk av gelcoat. Se Figur 4.7 for ferdig resultat.



Figur 3.18: Maling av Egget

### Støping av betongring

For å støpe betongringen så freses det ut en form ved hjelp av CNC-fresen som er tilgjengelig på HVL. Formen som betongringen ble støpt etter er modellert i Figur 3.5. Denne betongringen skal veie 7.23kg og sementen som brukes er tørrbetong B30. Størrelsen på ringen blir 443mm i ytre diameter, 384.8mm på indre og høyden blir 81mm.



Figur 3.19: Dimensjoner på betongring

### Kutting av lodd

For å kunne ballastere Egget korrekt så trengs det lodd. Utfra vektberegningen i Kapittel 2.5 så trengs det vekt på 12.66kg. Måten dette løses på er å kutte til et rundtstål Ø50 av S304 på 62.2mm, disse veier da 1kg. Det skal også sveises på et lite stag på alle loddene slik at de er lett å ta ut og inn av kragen. For de resterende 0.66kg brukes det ballast som er tilgjengelig på marinlaben. Disse loddene skal i kragen som forklart i kapittelet om Fresing av flytekrage.

### 3.4 Testing i MarinLab

HVL har ett hydrodynamisk testfasilitet, MarinLab hvor det er mulig å teste hvordan bølger påvirker forskjellige modeller, eller se hvordan bølger oppfører seg. Dette er en tank som er 50m lang, 3m bred og har en dypgang på 2.2m [11]. Det er også en bølgegenerator i den ene enden og en passiv absorberende strand i den andre enden.



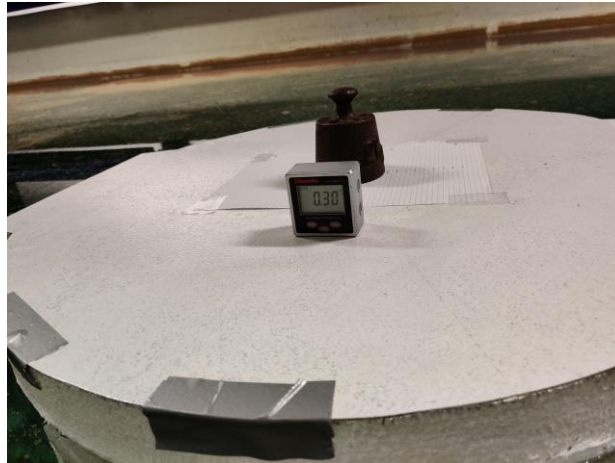
Figur 3.20: MarinLab på HVL

Det hydrodynamiske testfasilitetet har ett program som heter Qualisys. Dette er ett bevegelskammersystem som er laget for å logge bevegelse på modeller i tanken. Programmet Qualisys ble i denne oppgaven brukt for å måle egenperiode på konstruksjonen. For at programmet skal fungere må den ha noen reflekterende punkter som vist i Figur 3.22.

Modellen testes i MarinLab mellom 12. til 14.mai. Målet med testingen er å ballastere Egget til ønsket dypgang, ta en krengeprøve og finne egenperioden.

### 3.4.1 Krengeprøve

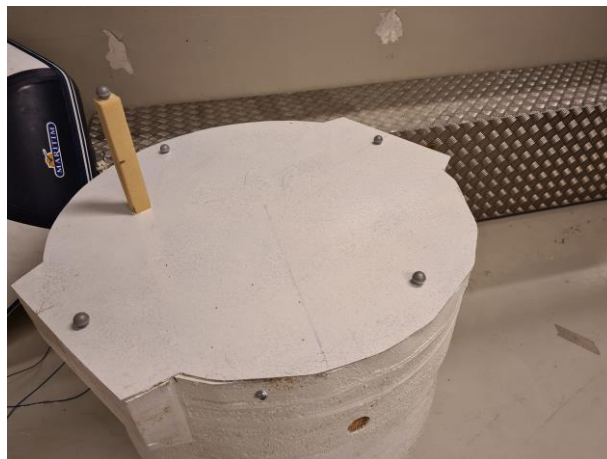
Krengeprøven gjøres ved hjelp av et millimeterpapir, en vekt og en krengeomåler. Måten dette gjøres på er at millimeterpapiret legges på Egget når det er ferdig ballastert, deretter legges vekten på og krengeomåleren skal vise null. Så flyttes vekten ett gitt antall mm hver gang, likt hver vei og krengevingen måles på hvert punkt. Momentet finnes deretter med å multiplisere lengde og vekt for så å legges inn i MATLAB som funksjon av tangens til krengevingkelen.



Figur 3.21: Krengeprøve

### 3.4.2 Decaytester

For å kunne måle decaytestene brukes Qualisys som er ett bevegelseskamerasystem i MarinLab. Dette består av fire kamera som tar opp bevegelse. For at den skal kunne ta målinger trengs det noen reflekterende punkter på modellen. I Figur 3.22 vises oppsettet av reflektorer.



Figur 3.22: Oppsett av reflektorer

### Hiv

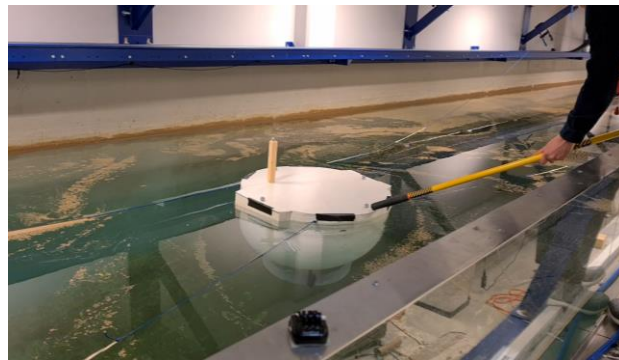
For å måle bevegelsen i hiv retning så presses Egget ned med ett stag fra ønsket dypgang på 78.5cm til kanten av kragen som er på 83.5cm. Deretter slippes Egget samtidig som Qualisys måler bevegelsen. Resultatet vises i Kapittel 4.3.3



Figur 3.23: Testmetode for hiv

### Rull

Denne testen utføres på samme metode som i hiv, bare at denne gangen presses Egget ned på siden som vist i Figur 3.24.



Figur 3.24: Testmetode i Rull

### Stamp

Denne testen utføres på samme metode som i rull bare at denne gangen presses Egget ned på den ene kaien som vist i Figur 3.25.



Figur 3.25: Testmetode i Stamp

### 3.5 Feilkilder

Tykkelsen på Egget er en feilkilde ettersom det ikke er 100% jevnt over hele. Dette skyldes pålegging av glassfiberduk som ikke blir helt nøyaktig. Dukene er veldig lett å flytte på før de størkner helt, hvilket gjør det enda vanskeligere å holde riktig tykkelse hele veien.

Metoden med at det ble lagt glassfiber på manuelt gir enda en feilkilde på siden dette vil gi modellen mer vekt ettersom det blir brukt mer polyester enn man hadde gjort ved vakuuminjisering. Dette fører videre til at man må justere vekten på betongringen for å få riktig tyngdepunkt.

Vekten av malingen og limet for å feste kragen blir ikke tatt høyde for da betongringen blir laget. Dette vil gjøre hele konstruksjonen enda litt tyngre enn målt.

Kragen til Egget som har lommer hvor lodd kan plasseres tar inn vann. Dette gjør at vekten ikke er kontrollerbar og ballasteringen har blitt en feilkilde. I tillegg vil det være en fri væskeoverflate i kragen som skaper usikkerhet i egenperiode. Vekten av vannet er beregnet til ca. 700g.



Figur 3.26: Kragen som har tatt inn vann i ballastlommene

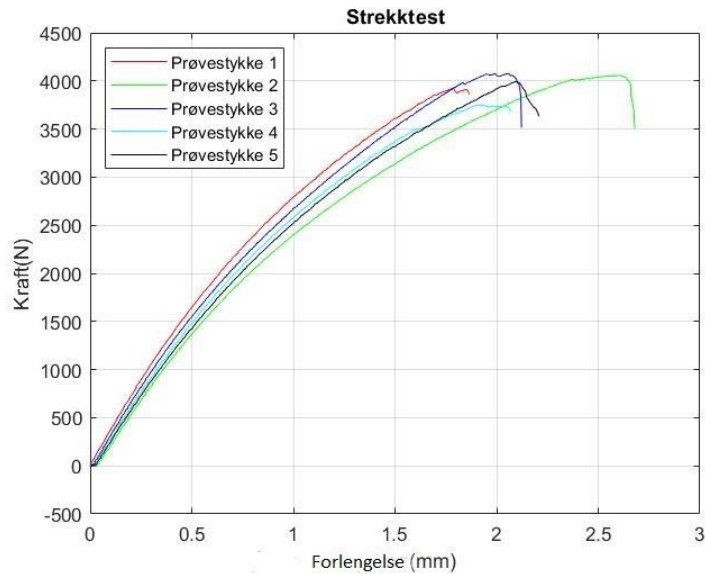
## 4. Resultater

I dette kapittelet blir resultatene fra strekkprøving, modellering og krengeprøve presentert.

### 4.1 Strekkprøving

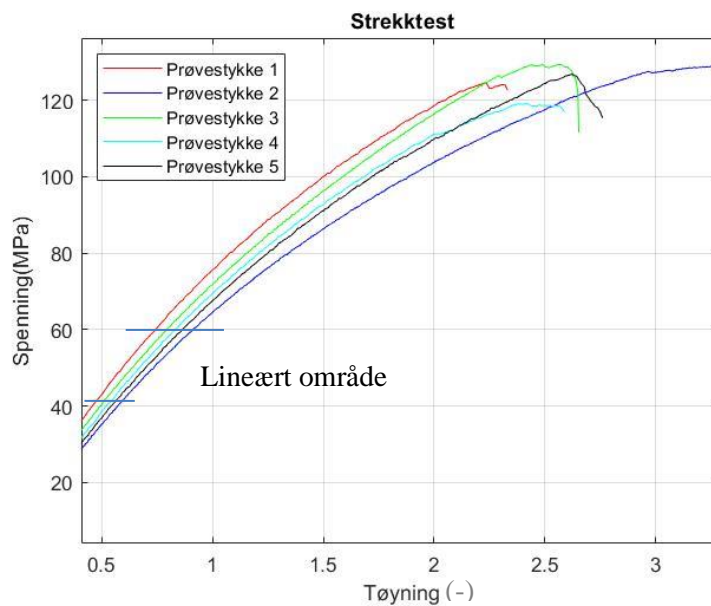
Ut fra diagrammet i Figur 4.1 som viser kraft som funksjon av forlengelsen er det tydelig at alle prøvestykkene tåler over 3500 N, som med et tverrsnittsareal på  $31.5 \text{ mm}^2$  er sterkt. Dette er en bruddstyrke som enkelt skal kunne tåle de bølgestene denne modellen kan utsettes for. Det viser da at modellen burde tåle ulike belastninger som kan oppstå ved senere tester.





Figur 4.1: Kraft/Forlengelse diagram for strekkprøving

Ved å bruke Formel (2.1) og (2.2) i Matlab genereres et spenning-tøyningsdiagram som skal brukes til å finne ønskede materialegenskaper. Dette diagrammet er presentert i Figur 4.2 og videre beregninger bygger på dette.



Figur 4.2: Spenning/Tøyning diagram for strekkprøving.

Ut fra dette diagrammet observeres det at prøvestykkene har en ganske lik kurve, men prøvestykke 2 har en større tøyning. Dette kan være på grunn av feil på prøvestykket som at glassfiberen er defekt eller at polyesterens har blitt for dårlig påsmurt. Uansett er dette en prøve som gir god informasjon om egenskapene til materialet.

Prøvestykke nr.	Beregnet E-modul [GPa]	Strekfasthet [MPa]
1	89,71	125
2	75,85	128
3	92,50	126
4	87,99	119
5	78,67	127
Gjennomsnitt	84,94	125

Tabell 4.1: Beregnet E-modul og strekkfasthet for prøvestykkene.

I Tabell 4.1, er det blitt brukt Formel (2.3) for å regne ut E-modulen til prøvestykkene i intervallet (40-60)MPa på spenningsaksen, dette intervallet er en antagelse siden grafen ikke har en klar lineær del, se Figur 4.2. I tillegg er strekkfastheten lest av fra toppen av kurvene før brudd. E-modulen for prøvestykkene har et gjennomsnitt på 84,94 GPa, som er et tilfredsstillende resultat.

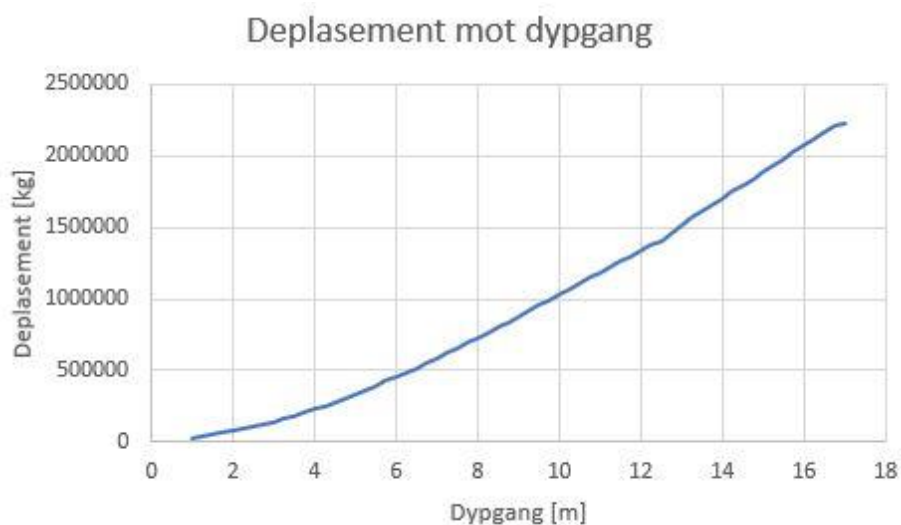
Strekfastheten til materialet er vanskeligere å sammenligne fordi den er avhengig av tverrsnittsarealet til prøvestykkene. Uansett er resultatene fra strekkprøvingen tilfredsstillende.

## 4.2 Hydrostatiske numeriske resultater

Grafer for de hydrostatiske resultatene blir presentert i dette kapittelet. Grafene viser resultater for deplasement, metasenter, vannlinjeareal og oppdriftssenter som en funksjon av dypgangen på 1-17m i full skala. I alle grafene er det tatt høyde for at Egget inneholder vann også.

### 4.2.1 Deplasement

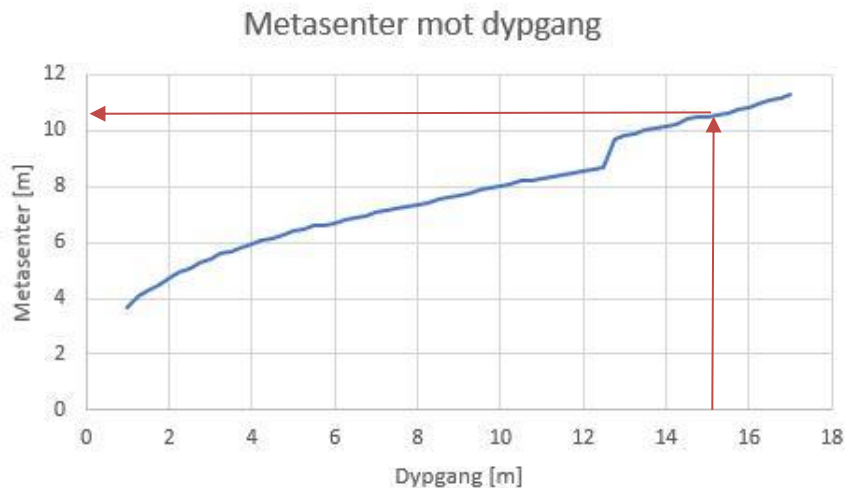
Figur 4.3 illustrerer deplasement mot dypgang på 1-17m. I disse resultatene blir alt vannet inne i Egget tatt med i beregningen og det observeres derfor at økningen i deplasement har en tilnærmet lineær stigning. Grunnen til litt lavere stigningstall i starten er på grunn av formen til Egget da det er slankere på bunnen.



Figur 4.3: Deplasement

### 4.2.2 Metasenter

Denne grafen tar for seg metasenter mot dypgang fra 1-17m. Her er det tydelig at metasenteret øker i henhold til oppdriftssenteret (se Figur 4.6). Dette har bakgrunn i at metasenteret er krysningspunktet mellom nytt og gammelt oppdriftssenter.

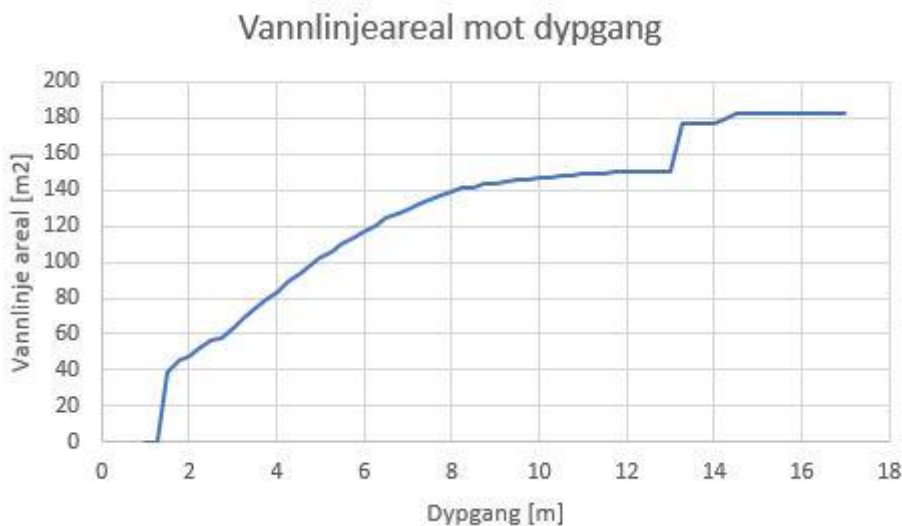


Figur 4.4: Metasenter

Metasenteret ved aktuell dypgang (15.7m) vil være rundt 10m.

### 4.2.3 Vannlinjeareal

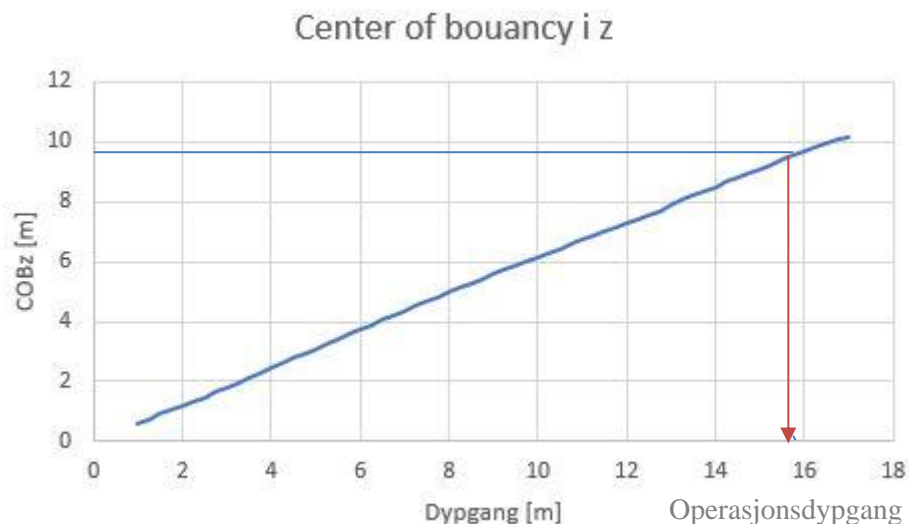
I Figur 4.5 er resultatet som forventet. Det er mulig å se formen av selve Egget i grafen under. Dette kommer av at grafen har et høyere stigningstall der formen på Egget er mest horisontal og et lavt stigningstall der den er vertikal. Dette kan tydelig observeres der kragen starter på Egget.



Figur 4.5: Vannlinjeareal

#### 4.2.4 Oppdriftssenter

I Figur 4.6 er oppdriftssenter i z-retning mot dypgang fra 1-17m fremstilt. Denne er som forventet da oppdriftssenteret blir gradvis høyere opp på Egget etter hvert som dypgangen blir større. For operasjonsdypgang 15,7 meter er oppdriftssenteret ca. 9,5 meter opp fra bunn av Egget.



Figur 4.6: Oppdriftssenter

### 4.3 Hydrostatiske resultater

I dette delkapittelet vises den ferdige modellen, målt vekt og resultater av testingen i MarinLab.

#### 4.3.1 Ferdig produkt

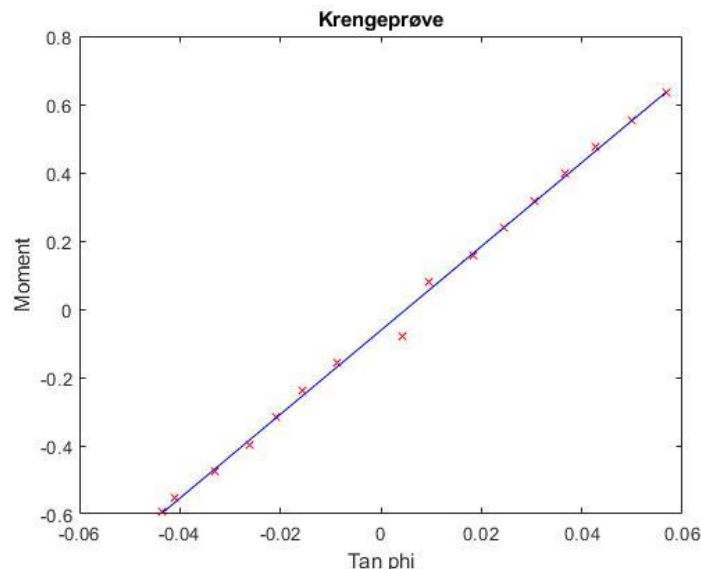
Den ferdige modellen ligner på 3D-modellen. Toppen blir ikke festet ettersom det er lettere å kjøre tester uten den. Selve topplokket er festet under testing ved hjelp av gaffateip. Modellen er også noe mindre enn hva 3D-tegningen tilsier, dette er på grunn av formen pluggen er støpt etter.



Figur 4.7 Egget etter det har vært i tanken

### 4.3.2 Krengeprøve

Krengeprøven gjøres om x-aksen på modellen og det blir brukt en vekt på 1980g. Vekten flyttes så fra et nullpunkt midt på modellen der vinkelen er 0 og helt ut til kaiene på hver side. Deretter blir hver vinkel med tilhørende lengde fra nullpunktet skrevet ned og lagt inn i MATLAB. Der blir moment regnet ut og lagt i en graf som funksjon av krengevinkelen. Dette er illustrert i Figur 4.8.



Figur 4.8: Moment som funksjon av krengevinkel

GM, som er stigningstallet delt på deplasement, blir sammenlignet med den nedskalerte GM fra den digitale modellen i Sesam. Dette er vist i Tabell 4.2. Her kan det tydelig observeres at GM-verdiene er ganske like og det er et tilfredsstillende resultat.

	Beregnet fra Sesam	Fra Krengeprøve
BM	1.43m	0.65m
GG <sub>2</sub>	0.162m	-
KG	0.3735m	0.62m
GM	0.55m	0.51m

Tabell 4.2: Verdier fra Sesam og krengeprøve

### 4.3.3 Egenperiode

Her er det gjort ett manuelt overslag av egenperioden som sammenlignes med resultatene fra decaytesten i Marinlab. Under er en kort oversikt over massene som er tatt hensyn til i  $M$ ,

Totalvekt, Egget	343 227 kg
Vannmassen inne i Egget	1 675 280 kg
Totalt	2 018 507 kg

Tabell 4.3 Oversikt over massene som er tatt med i Formel 3.1

Det er da mulig å regne ut egenperioden ved å ta i bruk Formel (2.11), og resultatene gjøres rede for i Tabell 4.4 og Tabell 4.5. Det er tidligere nevnt at en del antagelser angående egenperioden er blitt

gjort, her blir det sett på hva egenperioden blir ved 'ytterpunktene' til disse antagelsene. Tabell 4.4 og 4.5 viser hvor stor variasjon man får ved å endre antagelsene, og disse verdiene blir sammenlignet med resultatet fra testingen for å se hvilken antagelse som virker rimelig. (AMC = Added Mass Coefficient)

AMC \	90.17m <sup>2</sup>	160.17m <sup>2</sup>
1	12.99s	9.89s
0.622	11.70s	8.90s

Tabell 4.4 Oversikt over ulike egenperioder (fullskala modell)

AMC \ A <sub>VL</sub> (*)	0.225m <sup>2</sup>	0.400m <sup>2</sup>
1	2.81s	2.13s
0.622	2.53s	1.92s

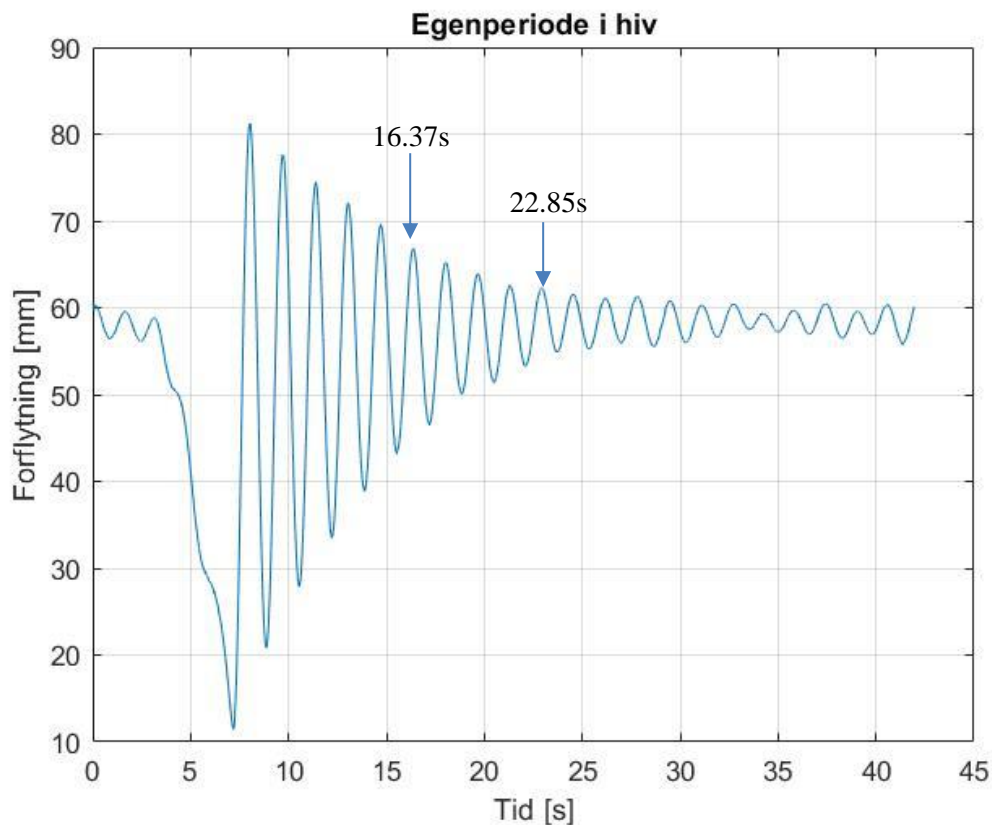
Tabell 4.5 Oversikt over ulike egenperioder (modellskala)

Når egenperioden til Egget i modellskala er målt i tanken skal resultatene sammenlignes med verdiene i Tabell 2.1 Det er da mulig å si, med litt mer vekt bak påstanden, hvilken av antagelsene som stemmer best.

(\*) A<sub>VL</sub> er en av antagelsene i egenperioden, og verdiene i Tabell 4.4 og 4.5 er hentet fra Kapittel (2.6.1)

### Hiv

I Figur 4.9 presenteres resultatene ifra decaytester i hiv. Det er satt på to piler for å indikere hvor beregningen er gjort. Disse pilene er henholdsvis på 16.37s og 22.85s.

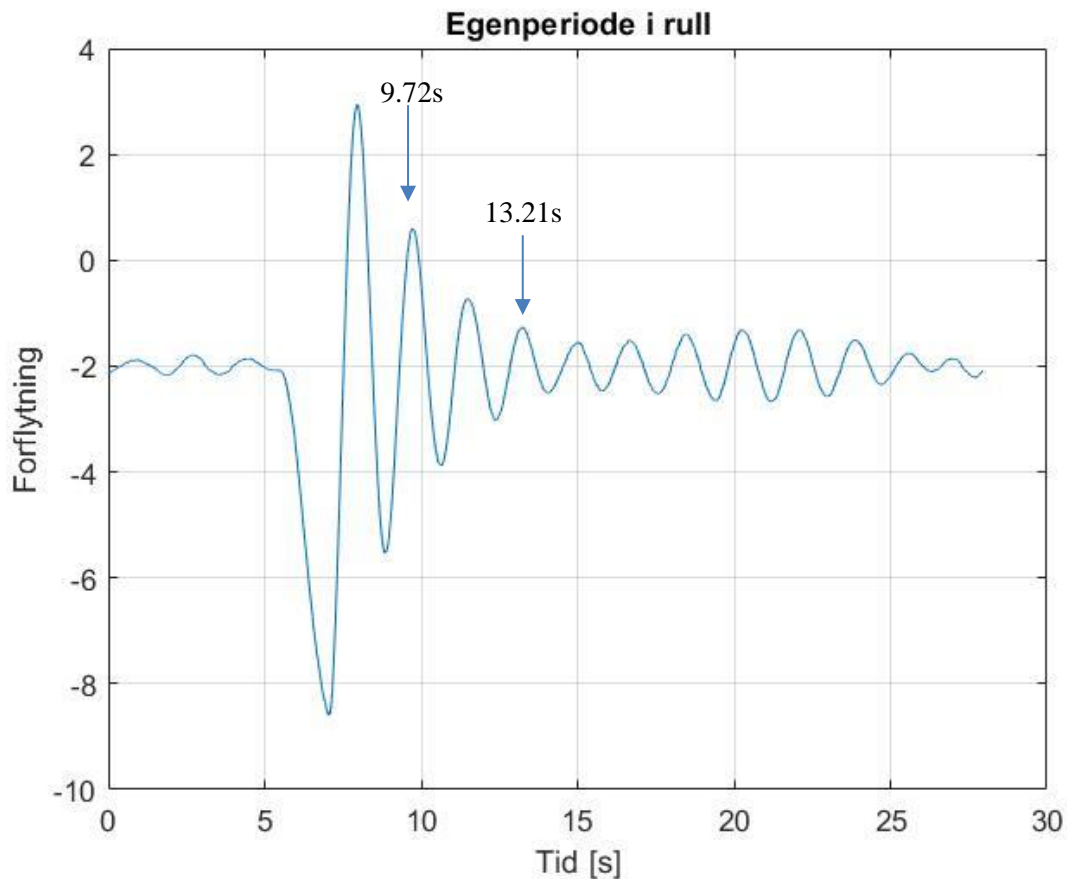


Figur 4.9: Decaytest i hiv

Utfra denne grafen så har Egget fått en egenperiode i hiv på 1.62s.

### Rull

I Figur 4.10 presenteres resultatene ifra decaytester i rull. I denne grafen er det også lagt på to piler for å indikere hvor målingene er tatt fra. Disse pilene er henholdsvis på 9.72s og 13.21s.

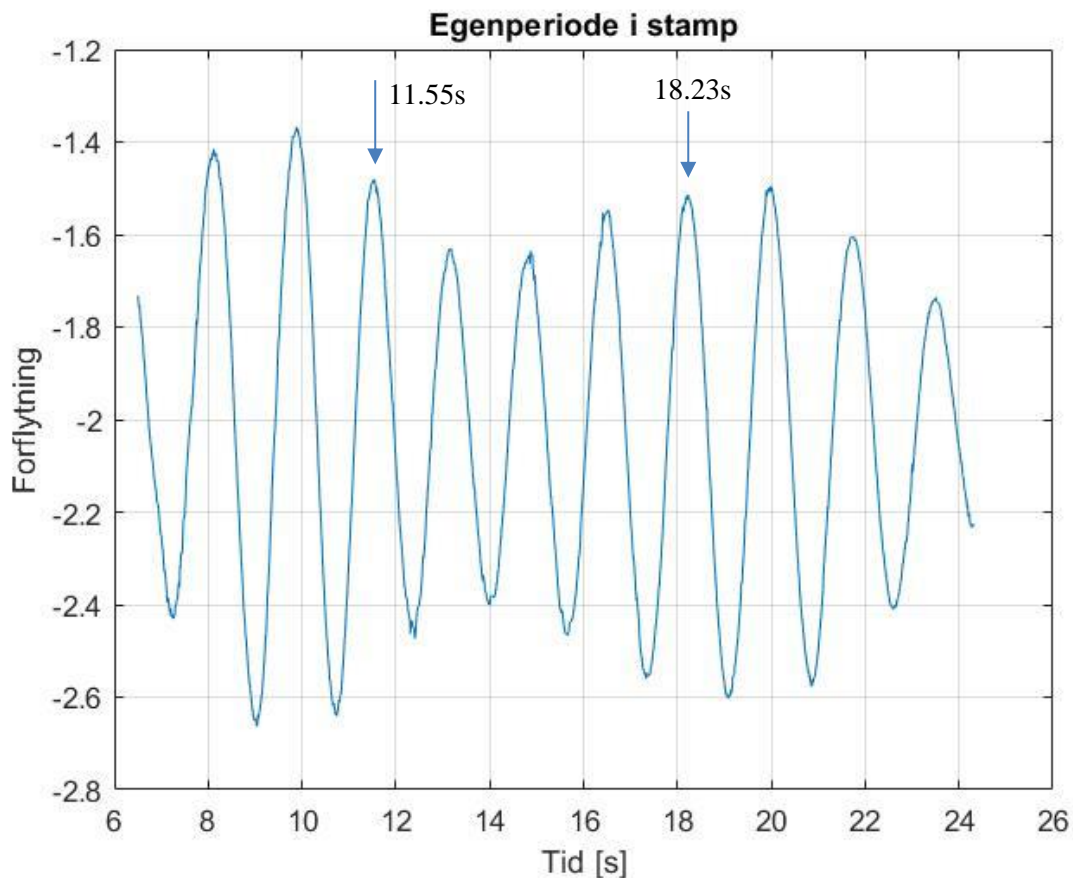


Figur 4.10: Decaytester i rull

Utfra denne grafen så har Egget en egenperiode på 1.75s i rull.

## Stamp

I Figur 4.11 presenteres resultatene ifra decaytestene i stamp. De to pilene i grafen indikerer hvor målingene er tatt fra. Pilene er henholdsvis på 11.55s og 18.23s.



Figur 4.11: Decaytester i stamp

Utfra denne grafen så har Egget en egenperiode på 1.67s.

Resultatet fra målingene som er gjort i MarinLab er presentert i Tabell 6.

	Hiv	Rull	Stamp
Modell	1.62s	1.75s	1.67s
Fullskala (skalert fra modell)	7.24s	7.83s	7.47s

Tabell 6: Resultater egenperiode fra bølgetanken

Her observeres det at egenperioden for Egget er relativt lik i hiv, stamp og rull. Dette har med den geometriske utformingen av konstruksjonen å gjøre. Sammenlignes resultatene fra Tabell 6 med det manuelle overslaget i Tabell 4.5, er det rimelig å anta at en AMC på 0.622 stemmer. Benyttes det ett vannlinjeareal som *ikke* tar hensyn til vannmassen inne i Egget ( $0.400\text{m}^2$ , 1.92s), blir resultatet fra det manuelle overslaget, og resultatet fra decaytesten, nesten det samme. Det er her en differanse på ca. 16% eller 0.3s, denne forskjellen kan komme av effekten av fri væskeoverflate i kragen på Egget som nevnt i kapittel 4.4.

Det er, med bakgrunn i resultatene fra laben og utregninger, rimelig å anta at vannlinjearealet samt AMC, kan henholdsvis antas til å være største og minste verdi. ( $AMC = 0.622$  og  $AVL = 0.400\text{m}^2$ )



#### 4.4 Diskusjon

Etter produksjonen av modellen, har gruppen funnet ut at det kan være lurt å bruke metoden vakuuminjisering for å få en jevnere tykkelse over hele Egget. Det hadde også vært fordelaktig med en negativ plugg å støpe etter istedenfor en positiv. Med en negativ form blir det også lettere å vakuuminjisere.

Det vil også være hensiktsmessig med en strekkprøve av skjøten for å finne ut hvor sterk den er samt bøyetestet av materialet da det kan være det modellen utsettes mest for i bølgetester.

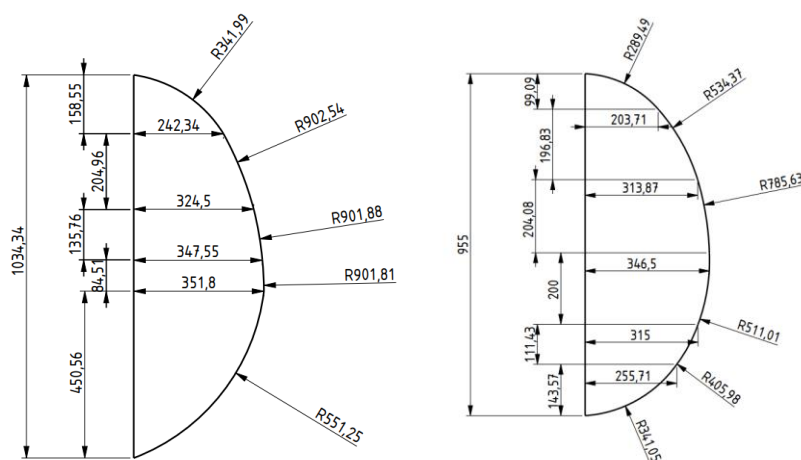
Når de to halvdelene av Egget skal settes sammen kan det også være fordelaktig å ha laget en slags jigg for å sette Egget oppi for at den skal holde formen. Det kan også være lurt å ha en slags form inne i Egget som sørger for at den innvendige diameteren blir korrekt.

En annen variabel som kan påvirke resultatene er at på toppen av Egget ligger det en plate. Denne ligger ikke så veldig langt over vannlinjen inne i Egget som gjør at når vannet «skvulper» opp kan det treffe platen. Dette kan påvirke resultatene, så det skulle derfor ha vært kuttet ett hull der og festet på toppen av Egget for mer korrekt resultat.

På grunn av at kragen tok inn vann i ballastlommene så skulle det vært tettet. Dette er fordi vannet som ligger i ballasttankene er med på å skape feil i vekten på modellen, som igjen gir feil på krengeprøve og tyngdepunkt. Dette kan utbedres ved å gjøre hullene litt større for så å legge i en slags kopp for å holde det vanntett.

Festemetoden for betongringen må også utbedres ettersom den i dag kun er festet med strips som ikke er helt gunstig. Ringen blir fort litt skjev med festingen som er gjort til nå.

Pluggen som modellen lages etter er ikke lik som tegningen gruppen har fått utdelt fra bedrift. Dette er en ganske stor feilkilde da ulike mål gir ulike resultater. Ut ifra dette er det en god forbedring om en ny plugg med riktige dimensjoner blir produsert for å få mest mulig korrekte resultater i forhold til storskala. I Figur 4.12 er forskjellen på den nedskalerte tegningen og pluggen. Målene til pluggen er målt for hånd så de er ikke helt nøyaktige, men de gir en god tilnærming. Bredden på tegningene er ganske lik, men lengden er ganske ulik som igjen gir ulik krumning.



Figur 4.12 Forskjell på tegning (venstre) og plugg (høyre)

## 5. Konklusjon

I denne oppgaven har Egget blitt modellert i riktig skala og med en tilfredsstillende dyppgang. Lamineringen gir en tykkelse som er riktig i forhold til skaleringen og den er stort sett jevn over hele modellen, men ikke i skjøtene. Et negativt resultat er det faktum at flytekragen tar inn vann som gir unøyaktige resultater for krengeprøve og decaytester for å finne egenperiode.

Prosjektet har en god del forbedringspotensial ettersom at den originale tegningen og pluggen som er mottatt ikke stemmer overens. Tross dette har gruppen funnet en tilfredsstillende måte å lage en modell av Egget. Det største forbedringspotensialet med tanke på produksjon av modellen vil nok være å heller bruke en vakuuminjisering for at vekten på selve konstruksjonen skal ligne mer på Egget i fullskala. Videre kan det være hensiktsmessig å lage ferdig toppen av Egget, som å kutte ut midten så vannet ikke slår i lokket. Ballasttankene burde også bli tettet slik at man har kontroll på vekten. Egget burde også testes i irregulære bølger i bølgetanken, dette for å finne ut hvordan det oppfører seg i en bølgetilstand som er realistisk for det ordentlige Egget.

## 6. Referanser

- [1] E. Hovland, A. Haaland, B. Hersoug, N. Kolle og D. Møller , «Norges Fiskeri- og Kysthistorie,» 19 August 2014. [Internett]. Available: <https://norges-fiskeri-og-kysthistorie.w.uib.no/bokverket/bind-5-havbrukshistorie/>.
- [2] B. Misund, «SNL,» 18 02 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/fiskeoppdrett>.
- [3] «Manualer til MarinLab utstyr,» [Internett]. Available: [https://home.hvl.no/ansatte/gste/ftp/MarinLab\\_files/Manualer\\_utstyr/](https://home.hvl.no/ansatte/gste/ftp/MarinLab_files/Manualer_utstyr/).
- [4] Nivitex, «Nivitex,» [Internett]. Available: <http://www.nivitex.com/woven-roving.html>.
- [5] B. T. Åstrøm, Manufacturing of Polymer Composites, Chapman & Hall, 1997.
- [6] W. D. Callister og D. G. Rethwisch, Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons Inc, 2014.
- [7] G. Stenfelt, *MAS124 - Forelesningsnotater*, 2018.
- [8] B. Pettersen, Marin Teknikk 3 - Hydrodynamikk, Akademika, 2020.
- [9] DNV, «DNV,» 04 2011. [Internett]. Available: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/codes/docs/2011-04/RP-H103.pdf>.
- [10] C. E. Brennen, Fundamentals of Multiphase Flows, Cambridge: California Institute of Technology Pasadena, 2005.
- [11] HVL, «HVL MarinLab,» 03 03 2021. [Internett]. Available: <https://www.hvl.no/marinlab>.



