



Norwegian University of
Science and Technology

Hovedoppgave

Bachelor i Skipsdesign

Tittel: Arbeid i slepetank ved NTNU i Ålesund

Forfattere: 1006 og 1023

Veileder: Arne Jan Sollied

Number of pages including this page: 76

Aalesund, Date: 3/6-16

Mandatory statement

Each student is responsible for complying with rules and regulations that relate to examinations and to academic work in general. The purpose of the mandatory statement is to make students aware of their responsibility and the consequences of cheating. **Failure to complete the statement does not excuse students from their responsibility.**

Please complete the mandatory statement by placing a mark <u>in each box</u> for statements 1-6 below.		
1.	I/we hereby declare that my/our paper/assignment is my/our own work, and that I/we have not used other sources or received other help than is mentioned in the paper/assignment.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	I/we hereby declare that this paper <ol style="list-style-type: none"> 1. Has not been used in any other exam at another department/university/university college 2. Is not referring to the work of others without acknowledgement 3. Is not referring to my/our previous work without acknowledgement 4. Has acknowledged all sources of literature in the text and in the list of references 5. Is not a copy, duplicate or transcript of other work 	Mark each box: 1. <input checked="" type="checkbox"/> 2. <input checked="" type="checkbox"/> 3. <input checked="" type="checkbox"/> 4. <input checked="" type="checkbox"/> 5. <input checked="" type="checkbox"/>
3.	I am/we are aware that any breach of the above will be considered as cheating, and may result in annulment of the examination and exclusion from all universities and university colleges in Norway for up to one year, according to the Act relating to Norwegian Universities and University Colleges, section 4-7 and 4-8 and Examination regulations paragraph 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	I am/we are aware that all papers/assignments may be checked for plagiarism by a software assisted plagiarism check	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	I am/we are aware that NTNU Ålesund will handle all cases of suspected cheating according to prevailing guidelines.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	I/we are aware of the University's rules and regulation for using sources paragraph 30.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publication agreement

ECTS credits: 20

Supervisor: Arne Jan Sollid

Agreement on electronic publication of master thesis

Author(s) have copyright to the thesis, including the exclusive right to publish the document (The Copyright Act §2).

All theses fulfilling the requirements will be registered and published in Brage HiÅ, with the approval of the author(s).

Theses with a confidentiality agreement will not be published.

I/we hereby give NTNU Ålesund the right to, free of charge, make the thesis available for electronic publication:

yes no

Is there an [agreement of confidentiality](#)?

yes no

(A supplementary confidentiality agreement must be filled in)

- If yes: **Can the thesis be online published when the period of confidentiality is expired?**

yes no

Date: 3/6-16



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Bachelor-
oppgave

2016

Arbeid i
slepetank

Innholdsfortegnelse

Figurliste	3
Tabelliste	4
Vedlegg.....	4
Terminologi	5
Bakgrunn	6
Oppdragsgiver	7
Problemformulering.....	8
Sammendrag	9
Generell modelltesting.....	10
Froudes historie	10
Lover om likhet	11
Generelt oppsett av slepetest.....	15
Generell prosedyre.....	17
Dokumentasjon	20
Spesielt for denne tanken	21
Utforming.....	22
Bølger	22
Sikkerhet	23
Styring og logging av data	24
Brukermanual.....	25
Kalibrering.....	25
Innledning.....	28
1. Klargjøring av modell.....	29
Fjerne fresekanter	30
Lasterom	30
Lime sammen skroget	31
Pusse overflate.....	31
Tette/fuge skjõt.....	32
Sette inn treplate i bunnen	32
Turbulensstimulator.....	33
Ballast og trim	34
Feste modell i slepearm	35

2. Gjennomføring av test.....	36
Åpne hovedvindu	37
Sidedempere	38
Nødstopp.....	38
Styring av bølger	39
Vognen	41
Logging og datainnsamling.....	43
Oppsett	43
Observering.....	45
Gjennomføring	46
3. Tolking av loggingsdata	47
Logg-fil i Excel.....	48
Målinger i stille kondisjon	48
Målinger i relevant hastighet	49
Differanse, repetering og totalt gjennomsnitt.....	50
Utregninger knyttet til motstandsmålinger	51
Utregninger knyttet til målinger av stamp.....	52
Måling av rull.....	53
Måling av hiv	53
Innledning.....	54
Data fra Skipsteknisk	55
Resultater fra NTNU i Ålesund	58
Målinger for modell i skala 115.....	59
Målinger for modell i skala 100.....	61
Prosentvis forskjell og korreksjonsfaktor	63
Resultater fra Stadt Towing Tank	65
Resultater fra test mellom to forskjellige overflater.....	67
Størrelse	69
Standardmodell.....	69
Stor modell.....	70
Utstyr.....	71
Modellproduksjon	72
Videre arbeid.....	74

Figurliste

FIGUR 1 TVERRSNITT AV TYPISK SLEPETANK	11
FIGUR 2 OVERSIKTSBILDE AV KOMPONENTER I MODELLTESTETANKEN	27
FIGUR 3 ARBEIDSFLYT AV ARBEID I MODELLTANK	28
FIGUR 4 ARBEIDSFLYT AV MODELLKLARGJØRING	29
FIGUR 5 UTFORMING AV LASTEROM	30
FIGUR 6 TVINGENE PRESSER MODELLEN SAMMEN.....	31
FIGUR 7 RIKTIG PLASSERING AV BUNNPLATE OG MODELLENS UNDERSIDE ETTER FUGING	32
FIGUR 8 MODELLENS FORSKIP MED UTSIKT OVER TURBULENSSTIMULATORER	33
FIGUR 9 MODELLEN ER BALLASTERT OG TRIMMEN STEMMER	34
FIGUR 10 MODELLEN BEFINNER SEG I POSISJON -1, ER FASTMONTERT OG ER KLAR FOR TESTING	35
FIGUR 11 ARBEIDSFLYT AV SENSORER OG LOGGING.....	36
FIGUR 12 SKJERMBILDE AV STARTMENY.....	37
FIGUR 13 BRYTEREN SOM HEISER SIDEDEMPEREN OPP OG NED. POSISJON 2 ER SENKET, POSISJON 1 ER HEVET. I POSISJON 0 SKJER DET INGENTING.....	38
FIGUR 14 NØDSTOPP.....	38
FIGUR 15 DETTE VINDUET LAR DEG BESTEMME BØLGEPARAMETRE.....	39
FIGUR 16 KONTROLLVINDU FOR BØLGEGENERATOEN.	40
FIGUR 17 KONTROLLVINDU FOR VOGNEN.	41
FIGUR 18 STARTVINDU OG OVERSIKT OVER POTENSIELLE SENSORER. LISTE OVER HVILKE SENORER SOM LOGGES. DIREKTEOVERFØRING AV MÅLTE VERDIER FRA VALGT SENSOR.....	43
FIGUR 19 ANALOG BOKS SOM KALIBRER BØLGESENSOR	44
FIGUR 20 SKJERMBILDE AV OBSERVASJONSFANEN. HER KAN EN NAVNGI TESTEN SIN OG RESULTATENE VIL DUKKE OPP I EN OPPRETTET MAPPE.	45
FIGUR 21 ARBEIDSFLYT AV TOLKING AV INNSAMLET DATA	47
FIGUR 22 RESULTATER FRA LOGGING I EXCEL. HER ER DET VALGT Å REGISTRERER HIV, RULL, STAMP OG MOTSTAND. TIDEN LOGGES SOM STANDARD	48
FIGUR 23 EXCELDOKUMENT ETTER BEARBEIDINGEN ER GJENNOMFØRT.	50
FIGUR 24 TRIGONOMETRIEN BAK BEREGNINGENE AV TRIM.....	52
FIGUR 25 EKSEMPEL PÅ DIAGRAM I EXCEL AV HIV-BEVEGELSE FOR ET IRREGULÆRT BØLGEBEVEGELSE.....	53
FIGUR 26 GRAFISK FREMSTILLING AV MOTSTAND MOT SKIPSHASTIGHET.....	59
FIGUR 27 GRAFISK FREMSTILLING AV MOTSTAND MOT SKIPSHASTIGHET.....	61
FIGUR 28 GRAFISK FREMSTILLING AV RESULTATER MED OG UTEN KORREKSJONSFAKTOR	64
FIGUR 29 GRAFISK FREMSTILLING AV MÅLT MOTSTAND MELLOM STT OG NTNU I ÅLESUND	66
FIGUR 30 GRAFISK FREMSTILLING AV SKIPSMOTSAND MELLOM STT OG GDANSK	66
FIGUR 31 GRAFISK FREMSTILLING AV GJENNOMSNITTMOTSTAND MELLOM GLATT- OG SKUMMODELL.....	68

Tabelliste

TABELL 1 UTTRYKK OG FORKORTELSE BRUKT I DENNE RAPPORTEN	5
TABELL 2 OVERSIKT OVER STANDARDINNSTILLINGER.....	26
TABELL 3 OVERSIKT OVER VIKTIGE MÅL ANGÅENDE LASTEROM	30
TABELL 4 DIMENSJONER AV TREPLATE I BUNN	32
TABELL 5 EGENSKAPER TIL TURBULENSSTIMULATOR	33
TABELL 6 STANDARDINNSTILLINGER	44
TABELL 7 SKIPETS DIMENSJONER I FULLSKALA.....	55
TABELL 8 MODELLENS DIMENSJONER I SKALA 21,23.....	56
TABELL 9 TESTHASTIGHETER FOR MODELL I SKALA 20,23 FRA GDANSK	56
TABELL 10 MÅLT MOTSTAND OG TILHØRENDE KOEFFISIENTER FRA GDANSK.....	57
TABELL 11 RESULTATER TIL SKIP MED MÅLINGER FRA GDANSK	57
TABELL 12 MODELLENS DIMENSJONER I SKALA 115 (STANDARD STØRRELSE FOR NTNU I ÅLESUND) OG SKALA 100 (UTVIDET STANDARD)	58
TABELL 13 TESTRESULTATER FRA MÅLINGER I [N]. SKALA 115	59
TABELL 14 MÅLT MOTSTAND OG TILHØRENDE KOEFFISIENTER FOR MODELLSKALA 115.	60
TABELL 15 RESULTATER TIL SKIP FRA MODELL MED SKALA 115.	60
TABELL 16 TESTRESULTATER FRA MÅLINGER I [N]. SKALA 100.....	61
TABELL 17 RESULTATER OG TILHØRENDE KOEFFISIENTER FOR MODELLSKALA 100.	62
TABELL 18 RESULTATER TIL SKIP FRA MODELL MED SKALA 100.	62
TABELL 19 PROSENTVIS FORSKJELL MELLOM NTNU OG GDANSK FØR KORREKSJONSFAKTOR	63
TABELL 20 PROSENTVIS FORSKJELL MELLOM NTNU OG GDANSK ETTER KORREKSJONSFAKTOR	63
TABELL 21 MOTSTANDSMÅLINGER AV MODELL I SKALA 115 FRA STT.....	65
TABELL 22 RESULTATER AV MODELL I SKALA 115 FRA STT	65
TABELL 23 DIMENSJONER FOR SKIP OG MODELL	67
TABELL 24 MOTSTANDSMÅLINGER AV GLATT MODELL OG SKUMMODELL	68
TABELL 25 PROSENTVIS ØKNING FOR SKUMMODELL I FORHOLD TIL GLATT MODELL.....	68

Vedlegg

- Regneark i Excel for modellskala 115.
- Regneark i Excel for modellskala 100.
- Presentasjon i PowerPoint, "Presentasjon av hovedprosjekt"
- Presentasjon i PowerPoint, "Statusrapport"
- Presentasjon i PowerPoint, "Presentasjon av ferdig hovedoppgave"

Terminologi

Forkortelse	Betydning	Enhet
Vs	Hastighet skip	[knop]
Vm	Hastighet modell	[m/s]
Rtm	Totalmotstand modell	[N]
Ctm	Totalmotstandskoeffisient modell	
Rnm	Reynoldstall modell	
Cfm	Formkoeffisient modell	
Cr	Restmotstandskoeffisient	
Fn	Froudetall	
Rts	Totalmotstand skip	[kN]
Cts	Totalmotstandskoeffisient skip	
Rns	Reynoldstall skip	
Cfs	Formkoeffisient skip	
k	Formfaktor	
Cas	Luftmotstandskoeffisient skip	
ΔCf	Ruhetstillegg	
λ	Skalafaktor	
g	gravitasjonskonstant	[m/s ²]
Ls	Lengde skip	[m]
Lm	Lengde modell	[m]
Δs	Deplasement skip	[tonn]
Δm	Deplasement modell	[kg]
	Milli volt	[mV]
Ø	Diameter	[mm]
S	Våt overflate	[m ²]
ρw	Tetthet ferskvann	[kg/m ³]
ρsw	Tetthet saltvann	[kg/m ³]
STD.AV	Standardavvik	
Gj.	Gjennomsnitt	
STT	Stadt Towing Tank	

Tabell 1 Uttrykk og forkortelse brukt i denne rapporten

Innledning

Bakgrunn

Dette er vår hovedoppgave som studenter på bachelorstudiet Skipsdesign ved NTNU i Ålesund.

I starten av 2016 stod slepetanken ved NTNU i Ålesund ferdig. I anledning nybyggingen ble det aktuelt å gjøre en hovedoppgave knyttet til det nye utstyret. MARINTEK skriver følgende om modelltank på sine nettsider¹:

Hovedaktiviteten ved slepetankene er relatert til undersøkelser av skipenes hydrodynamiske yteevne. Dette omfatter motstand, fremdrift, sjøegenskaper i møtende og følgende sjø, og undersøkelser av retningsstabilitet med frittstående modeller.

Å få tilgang til slepetank i utdanning gir et stort læringsutbytte for studentene ved skolen. Mange bedrifter i næringen benytter seg av tester i slepetank når de prosjekterer et nytt skip. Dette gjør de for å finne motstanden til skroget ved en gitt hastighet, for så å bestemme nødvendig propulsjon. Under en slepetest ønsker en også å finne skrogets respons – både under stille vann og bølger. De mest vanlige skipsbevegelsene å kartlegge under et slep er hiv og stamp.

Bassenget eller tanken i seg selv stod klar i 2013, men det var først i 2015/2016 at arbeidet og prosjekteringen av testutstyr for sleping begynte. Før dette har tanken blitt brukt til krengeprøver og andre hydrostatisk prosjekter.

Å kunne gjøre en slik praktisk øvelse under studiet gir stor læring. Studentene blir kjent med empiriske formler og generelle prosedyrer. Å bli kjent med slikt utstyr på skolen gir et inntrykk av hva en kan vente seg av arbeid i kommersielle slepetanker. I tillegg kan en slik slepetank virke sterkt på rekrutteringen av skipsingeniører, da den uinnvidde får et godt innblikk på hva en skipsdesigner arbeider med.

¹ <http://www.sintef.no/marintek/laboratorier/skipsmodelltanken/>

Oppdragsgiver

Oppdragsgiveren vår er på mange måter avdelingen for maritime operasjoner ved NTNU i Ålesund. Det er skolen som eier slepetanken og som vil ha best nytte av arbeidet som vi utfører.

Stadt Towing Tank (STT) vil også dra nytte av prosjektet vårt. Dette er en bedrift som ble etablert i 2007 og har hydrodynamiske tester for både nasjonale og internasjonale kunder. Testutstyret de har levert hit til NTNU Ålesund er deres første prosjekt av den typen. De er derfor svært interessert i å finne ut hvordan en slepetank som dette presterer i forhold til de store tankene rundt omkring.

I tillegg har Skipsteknisk levert et av sine skrog med resultater fra en etablert slepetank.

Oppgaven er gjort med veiledning fra siv. ing Arne Jan Sollied, som også er dekan på avdelingen. Sollied har hjulpet oss med å komme i kontakt med de rette personene for å komme videre i prosjektet. I tillegg har det foregått ukentlige møter med statusrapport. Lars Petter Bryne har vært til stor hjelp når det kommer til spørsmål om fresing av skrogmodeller og modellproduksjon. De hydrodynamiske diskusjonene har foregått sammen med Karl Henning Halse. Alle små praktiske utfordringer rundt slepetanken og modellproduksjon er blitt løst i samarbeid med en velvillig André Tranvåg.

Vi har også fått stor hjelp av Vegard Larssen som er daglig leder i STT og installatør av slepetanken. Det har foregått en jevnlig kommunikasjon, både gjennom e-post og telefon. Larssen har delt sine erfaringer og sin kunnskap om modelltesting når problemer har oppstått. Han har også gått god for metoden som er brukt i brukermanualen.

Problemformulering

Hovedprosjektet svarer på to problemformuleringer. Den første går ut på å lage en brukermanual for studentene. Manualen skal inneholde prosedyrer som forklarer hvordan en kan gå fra linjer til frest skrog, forberede modellen, installere den i slepetanken, gjennomføre slepetesten og tolke resultatene. Manualen skal også inneholde tips og triks om hvordan bruken av slepetanken kan effektiviseres og hva som kan gjøres om feil oppstår. Da dette er et pilotprosjekt i den nye slepetanken, skal vi også detektere åpenbare feil i programvaren som driver slepevognen, bølgegeneratoren og loggingen.

Den andre delen av oppgaven er å kalibrere slepetanken. Dette betyr at vi skal undersøke slepetankens presisjon og godhet. En måte å gjøre dette på er å sammenligne tidligere resultater fra en etablert slepetank, med resultater fra samme design i den nye tanken. Da kan vi se om den nye slepetanken detekterer de samme relative endringene som den etablerte tanken gjør. Deretter fremstiller vi resultatene med et prosentvis avvik. Dersom det blir aktuelt finner vi en korreksjonsfaktor.

Prosjektet oppfyller to formål. Det første formålet er at studentene på skolen blir operative brukere av modelltestetanken når brukermanualen er på plass. Det andre formålet er å finne slepetankens nøyaktighet. På denne måten blir man bevisst på hvor mye resultatene fra slepetestene vil avvike. Dette fører igjen til at målingene gir mer mening under et studentprosjekt.

Sammendrag

I denne oppgaven finner man en innføring i modelltesting av skip, brukermanual og spesifikasjoner for slepetank hos NTNU i Ålesund og forskjellige tester gjennomført i slepetanken. Den generelle innføringen sier noe om opphavet til modelltesting og prosedyren som er anbefalt fra regelverket. Dette er den samme prosedyren som har blitt oversatt til brukermanualen for den nye mikro-slepetanken i Ålesund.

Rapporten inneholder også informasjon og spesifikasjoner om det nye testanlegget. Dette er hoveddimensjoner, hastighet, oppbygging av testutstyr og prinsipper. Mye av dette blir også presentert i brukermanualen.

Brukermanualen er tredelt og bygger som nevnt på den generelle prosedyren. Den første delen handler om å få linjer i Maxsurf til en ferdig modell. Andre del tar for seg testgjennomføringen. Den siste delen går på tolkingen av resultatene fra de forskjellige testene. Primært er det lagt fokus på slepetest i stille vann. Det er tatt hensyn til tankens størrelse i forhold til kommersielle anlegg. Den nye prosedyren er testet ut og gir jamne og entydige testresultat.

De forskjellige testene i denne rapporten har hatt som mål å finne den nye tankens nøyaktighet. Testene har i utgangspunktet rettet seg mot utstyret i modelltesttanken og modellproduksjonen på skolen. Målet med testene av utstyret har vært å finne ut om den nye slepetanken klarer å detektere relative endringer. Det er lagt fokus på om det lille anlegget på skolen klarer å produsere den samme motstandskurven som et kommersielt testanlegg.

Testene av modeller har tatt utgangspunkt i standard modellproduksjon på skolen. Det er gjort tester av modeller som viker fra denne standardmetoden. Dette har vært tester på modellskala eller størrelse og modellens materiale eller overflate. Noen tester har vært gode, mens andre har vært veldig overraskende.

Noen resultater har vært gode. Motstandskurvene mellom den nye testtanken og referansetanken i Gdansk har vært formlike. Ut i fra dette har det også blitt funnet en korreksjonsfaktor. Den multipliseres med modellmotstanden og har en verdi på 0,4.

Avslutningsvis finner en andre drøftinger av resultatene, potensielle feilkilder, konklusjon og videre arbeid.

Teori – slepetesting

Generell modelltesting

Froudes historie

K. J. Rawson og E. C. Tupper skriver i *Basic Ship Theory* (2001)² at William Froude var den første til å dele opp den totale motstanden til et skip. Han delte opp motstanden i restmotstand, friksjonsmotstand og luftmotstand. Da han studerte bølgemønsteret til geometrisk like former i ulike hastigheter, fant Froude ut at bølgemønstrene hadde en geometrisk likhet når formene bevegde seg med hastigheter proporsjonalt kvadratroten av deres lengder. Denne likheten mellom hastighetene har i senere tid blitt betegnet som *korresponderende hastighet* eller konstant Froude tall. Videre skulle han finne ut at restmotstanden for geometrisk like former var den samme.

Dette ledet til Froudes lov om sammenligning:

Dersom to geometrisk like former er drevet av korresponderende hastigheter, er deres restmotstand per enhet den samme.

Det er nettopp denne vitenskapen som blir utnyttet for å forutsi et skips motstand i full skala. Fra tester utført på en skalert modell, kan man utnytte at restmotstand til modell og fullskala er lik. En utnytter også at motstandskomponentene kan deles opp.

Froudes tall er gitt av formelen:

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

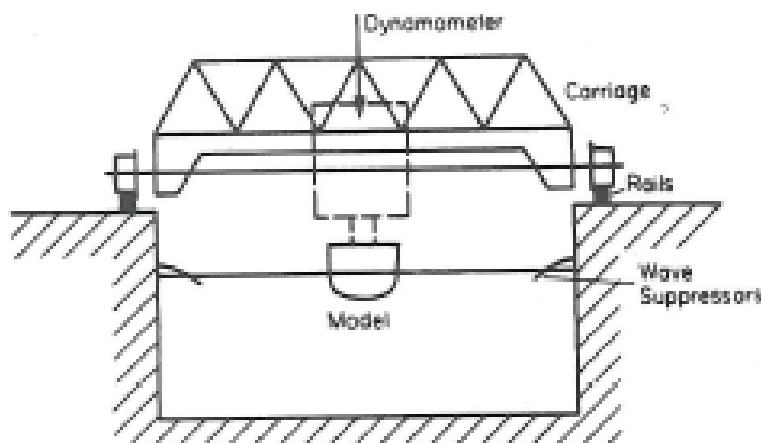
Der V = hastighet
 g = gravitasjonskonstant
 L = skipets lengde

Rawson og Tupper¹ referer til en standard prosedyre av hvordan modelltesting fungerer i teori

² Basic Ship Theory volume 2, Ch. 10 Model Testing, KJ Rawson and EC Tupper, Butterworth-Heinemann, 2001

1. Måling av totalmotstand av skalert modell i korresponderende hastighet (likt froude tall)
2. Estimer friksjon-, form- og luftmotstand for modellen
3. Trekk disse motstandskomponentene fra totalmotstanden for å finne restmotstanden (som er lik for modell og fullskala)
4. Legg til de andre motstandskomponentene i fullskala for å finne total motstand for skipet.

Basic Ship Theory ¹ skriver at Froude konstruerte den første slepetanken i Torquay, 1871. Moderne slepetanker følger de samme prinsippene som den første gjorde. En slik fasilitet er i hovedsak en lang, rektangulær tank. Utspent over tanken går en vogn på skinner som drar modellen under seg. Forbedringer hva angår å holde modellens hastighet konstant, innsamlingen av data og måleinstrumentenes nøyaktighet er i hovedsak det som er forandret siden den første.



Figur 1 Tverrsnitt av typisk slepetank³

Lover om likhet

For å få et riktig bilde av et skips motstand, må modellen være riktig skalert. Volker Bertram skriver i *Practical Ship Hydrodynamics*⁴ om hvordan man skalerer de forskjellige størrelsene mellom fullskala og modell. Vi skiller mellom geometrisk likhet, kinematisk likhet og dynamisk likhet. Fullskala- og modellstørrelser blir skilt fra hverandre med indeks s for fullskala og indeks m for modellskala

³ Basic Ship Theory Volume 2, fig. 10.22

⁴ Practical Ship Hydrodynamics ch 1.2, Volker Bertram, Butterworth-Heinemann, 2000

Bertram³ skriver videre at med geometrisk likhet, mener vi at forholdet mellom lengde, bredde og dypgang for full-skala og modell er konstant. Her skalerer vi med fast konstant gitt til modellen λ :

$$(1) \quad L_s = \lambda \cdot L_m$$

På samme måte kan vi finne areal og volum; (2) $A_s = \lambda^2 \cdot A_m$ og (3) $V_s = \lambda^3 \cdot V_m$

Kinematisk likhet betyr at forholdet mellom full-skala og modellens tid, t , er konstant, gitt av konstanten τ

$$(4) \quad t_s = \tau \cdot t_m$$

Geometrisk og kinematisk likhet resulterer videre i følgende skalfaktorer for hastighet og akselerasjon:

$$(5) \quad V_s = \frac{\lambda}{\tau} \cdot V_m \quad \text{og} \quad (6) \quad a_s = \frac{\lambda}{\tau^2} \cdot a_m$$

Med dynamisk likhet mener vi forholdet mellom kreftene som virker på full-skala, korresponderende med kreftene som virker på modellen. Dette forholdet er gitt av konstanten κ , slik at:

$$(7) \quad F_s = \kappa \cdot F_m$$

Kreftene som virker på skipet er treghetskrefter, gravitasjonskrefter og friksjonskrefter. Treghetskreftene følger Newtons lov, $F = m \cdot a$, der m er gitt av deplasementet til skipet, $m = \rho \cdot \nabla$. Vi setter forholdet mellom treghetskreftene konstant og bruker (3) og (6) i ligningen:

$$(8) \quad \kappa = \frac{F_s}{F_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \frac{\nabla_s}{\nabla_m} \cdot \frac{a_s}{a_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \frac{\lambda^4}{\tau^2}$$

Denne ligningen inneholder alle de tre skala-faktorene og utgjør det som kalles Newtons lov om likheter, og ved innsetting av (5) kan omskrives som:

$$(9) \quad \kappa = \frac{F_s}{F_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \lambda^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{\tau}\right)^2 = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \frac{A_s}{A_m} \cdot \left(\frac{V_s}{V_m}\right)^2$$

Hydrodynamiske krefter er ofte beskrevet med koeffisienten c :

$$(10) \quad F = c \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A$$

Vi kombinerer (10) med (9) og får at:

$$(11) \quad \frac{F_s}{F_m} = \frac{c_s \cdot \frac{1}{2} \rho_s \cdot V_s^2 \cdot A_s}{c_m \cdot \frac{1}{2} \rho_m \cdot V_m^2 \cdot A_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \frac{A_s}{A_m} \cdot \left(\frac{V_s}{V_m} \right)^2$$

For at denne ligningen skal være oppfylt, må $c_s = c_m$. Dette betyr at den ikke-dimensjonale koeffisienten c er lik for skip og modell.

Vi kan benytte lignende metoder for å beskrive gravitasjonskrefter.

$$(12) \quad G_s = \rho_s \cdot g \cdot \nabla_s \quad \text{og} \quad (13) \quad G_m = \rho_m \cdot g \cdot \nabla_m$$

Ved å sette inn (3) for volum får vi forholdet:

$$(14) \quad \kappa_g = \frac{G_s}{G_m} = \frac{\rho_s \cdot g \cdot \nabla_s}{\rho_m \cdot g \cdot \nabla_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \lambda^3$$

Ved å sette $\kappa = \kappa_g$ fra (8) og (14), får vi at:

$$(15) \quad \tau = \sqrt{\lambda}$$

Nå kan vi eliminere tids-skaleringsfaktoren og sette den som roten av den geometriske faktoren λ . Ved å utnytte dette i formelen for lengde, får vi:

$$(16) \quad \sqrt{\lambda} = \sqrt{\frac{L_s}{L_m}} \quad \text{og} \quad (17) \quad \tau = \sqrt{\lambda} = \frac{V_s}{V_m}$$

Ved å sette sammen (15) og (16), får vi:

$$(18) \quad \frac{V_s}{\sqrt{L_s}} = \frac{V_m}{\sqrt{L_m}}$$

Det er vanlig å gjøre dette dimensjonsløst, ved å gange lengdene med gravitasjonskonstanten $g = [m/s^2]$. Dette er et uttrykk for det tidligere nevnte frudetallet:

$$(19) \quad F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

Dette er et bevis for at frudetallet er likt for fullskala og modell. Vi har sett at dette er gjeldende, kun hvis treghets- og gravitasjonskrefter er til stede (Froudes lov). For det samme

froudetallet er bølgemønster for modell og fullskala likt, så lenge bølgene har så lav amplitude at gravitasjon er den eneste relevante fysiske komponenten. Brytende bølger er et eksempel på bølger som involverer andre fysiske mekanismer (overflatespenning) og ikke lar seg skalere like lett. Dette resulterer i følgende skaleringer for fart, kraft og arbeid

$$(20) \frac{V_s}{V_m} = \sqrt{\lambda} \quad (21) \frac{F_s}{F_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \lambda^3 \quad (22) \frac{P_s}{P_m} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \lambda^{3.5}$$

Friksjonskrefter følger en annen likhetslov. Disse kreftene kommer av friksjon mellom væskelagene i grensesjiktet. Kreftene er gitt av:

$$(23) \quad R = \mu \cdot \frac{\partial u}{\partial n} \cdot A$$

Der μ er materialfaktor eller dynamisk viskositet, den partiellderiverte av hastigheten normalt på hastighetsretningen og A er arealet av overflaten som er utsatt for påkjenningen. Forholdet, κ_f , blir da gitt som:

$$(24) \quad \kappa_f = \frac{R_s}{R_m} = \frac{\mu_s \cdot (\partial u_s / \partial n_s) \cdot A_s}{\mu_m \cdot (\partial u_m / \partial n_m) \cdot A_m} = \frac{\mu_s}{\mu_m} \cdot \frac{\lambda^2}{\tau}$$

Nå bruker vi at friksjons- og treghetskreftene må være like, $\kappa = \kappa_f$, (8) = (24), slik at:

$$(25) \quad \frac{\mu_s}{\mu_m} \cdot \frac{\lambda^2}{\tau} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \frac{\lambda^4}{\tau^2}$$

Ved å introdusere kinematisk viskositet, $\nu = \mu/\rho$, får vi fra (25):

$$(26) \quad \frac{\nu_s}{\nu_m} = \frac{\lambda^2}{\tau} = \frac{V_s \cdot L_s}{V_m \cdot L_m} \rightarrow \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_s} = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_m}$$

I modelltesting er vi glad i dimensjonsløse størrelser. Reynoldstallet er et eksempel på et slikt tall, som vi ser beviset på over. Reynoldstallet er uttrykt slik:

$$(27) \quad R_n = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

Denne størrelsen er lik modell og full-skala og sikrer dynamisk likhet hvis treghets- og friksjonskrefter er til stede. Den kinematiske viskositeten, ν , for sjøvann kan bli estimert som en funksjon av temperatur, t [C] og saltinnhold, s [%].

$$\nu = 10^{-6}(0.014 \cdot s + (0.000645 \cdot t - 0.0503) + 1.75)$$

Den faktiske kinematiske viskositeten kan variere noe. Dette henger sammen med at sjøvannet ikke alltid er like rent overalt. Uorganisk materiale og organisk liv som plankton kan variere regionalt og fra tid til tid.

Forholdet mellom froudetallet og reynoldstallet er:

$$(28) \quad \frac{R_n}{F_n} = \frac{V \cdot L}{\nu} \cdot \frac{\sqrt{g \cdot L}}{V} = \frac{g \cdot L^3}{\nu}$$

Merk: Det er letter å oppfylle likhet mellom froudetallene til modell og fullskala, siden den nedskalerte modellen krever lavere fart, som er lettere for oss å teste under en modelltest. Likhet mellom reynoldstall er vanskeligere. Den lave hastigheten gjør at vi får en laminær strøm rundt modellen, slik at en blir nødt til å manipulere overflatens ruhet for å oppnå turbulent strøm rundt skroget til modellen.

Skip som opererer i overflaten er utsatt for gravitasjons- og friksjonskrefter. Dette betyr at i en modelltest bør både Reynolds- og Froudes lov være oppfylt, som ville betydd:

$$(29) \quad \frac{R_{ns}}{R_{nm}} = \frac{\nu_s}{\nu_m} \cdot \sqrt{\frac{L_s^3}{L_m^3}} = \frac{\nu_m}{\nu_s} \cdot \lambda^{1.5} = 1$$

Forholdet mellom væskene i modell og full-skala skal altså være $\frac{\nu_m}{\nu_s} \cdot \lambda^{1.5} = 1$. Dette er et krav som er umulig å oppnå eller i beste fall veldig dyrt. Tiltak som å varme vannet i slepetanken blir ofte gjort for å korrigere for skaleringsfeil på grunn av viskøse effekter. I 1994 foreslo Heinrich Söding å varme opp temperaturen i tanken til 90°C. Han mente at man ville oppnå riktig Reynoldstall på den måten. Han kalte det en 'sauna tank'. En slik tank er ennå ikke blitt bygd eller prøvd enda.

Generelt oppsett av slepetest

Volker Bertram skriver i Practical Ship Hydrodynamics⁵ om hvordan man praktisk går frem når man skal utføre en slepetest. Testing av modeller foregår som oftest i slepetanker, der modellen er festet til en vogn som sleper modellen i vannet. Det finnes også sirkulære basseng, der modellen står stille og vannet strømmer rundt. Testing i slepetank er mest utbredte metoden, siden vognen klarer å slepe modellen med nøyaktig hastighet. Modellen kan holdes i riktig kurs av stålwire, på en slik måte at den låses i gir, men er fri til å bevege

⁵ Volker Bertram, Practical Ship Hydrodynamics, ch 3.2, Butterworth Heinemann, 2000

seg i stamp. Når modellen er akselerert til riktig hastighet, holdes modellen i konstant hastighet noen sekunder, før målingene kan begynne. Resten av måletiden er bestemt av tankens lengde (medregnet vognens bremsetid). Som en konsekvens av dette blir en slepetank som regel flere hundre meter lang. Størrelsen av modellen er bestemt av en rekke grensebetingelser:

- Modellen bør være så stor som mulig for å minimere skalaeffektene for viskositet, spesielt med hensyn på laminær/turbulent strøm og avløsning.
- Modellen bør være liten nok til å unngå styrkeproblem, med tanke på egenvekt og eventuell last.
- Modellen må være liten nok til at den korresponderende hastigheten er innenfor grensene til den spesifikke slepetanken.
- Modellen må være liten nok til å unngå merkbare effekter fra sideveggene.

Ved å følge disse kriteriene, kan vi finne en akseptabel modellstørrelse. Typiske modeller for motstands- og fremdriftstester er mellom 4 og 10 meter. Typiske skaleringsfaktorer, λ , ligger mellom 15 og 45 – denne bestemmes ofte ut fra tenkt propelldiameter.

Tester gjennomføres med hensyn på froude-likhet. Med dette mener vi at modell og fullskala har samme froudetall. I teorien skulle man egentlig hatt likt Reynoldstall mellom modell og fullskala. Dette er vanskelig å oppnå, noe som gjør at vi må korrigere med empiriske tall og turbulensstimulator.

Modellene er ofte laget av parafinvoks eller en spesiell type tre som ikke forandrer volum eller form over tid og temperatur. Modeller av voks er billig, men mindre robust. Gul er den foretrukne fargen for vanlige modeller, da den står i sterkt kontrast med vannet. En slik kontrast gir gode visuelle observasjoner av bølgeprofil som kan fanges med kamera.

Modeller opererer med lavere Reynoldstall. Typisk størrelse for modell er $R_n \approx 10^7$, mens typisk størrelse for fullskala er $R_n \approx 10^9$. I praksis betyr dette at overgangen fra laminær til turbulent strøm oppstår relativt mye lenger bak på modellen. Som en konsekvens av dette blir målingen av motstand unøyaktig. For å løse dette er modellen utstyrt med striper av sandpapir, nagler eller wire for å stimulere turbulens i forskipet.

Generell prosedyre

International towing tank conference (ITTC) har laget en generell prosedyre for modelltesting⁶. Hensikten med denne prosedyren er å sørge for konsekvent metodebruk for testing av konvensjonelle deplasementfartøy i slepetank.

Modellen bør testes under to forskjellige tilstander. Den ene innebærer skroget i sin enkleste form, uten elementer som slingreskjøl, ror og propell. Dette blir gjort for å bestemme motstandskoeffisienten i skrogets nakne form. Dersom noe av tillegget er viktig for strømlinjene er det mulig å inkludere disse under denne tilstanden. Dette må i så fall tydelig dokumenteres. Den andre tilstanden inkluderer faste tillegg for å finne økningen av den nevnte motstandskoeffisienten. Med faste tillegg menes alt som er sveiset fast til skroget. Dette inkluderer ikke propulsjonssystemet.

Om det er mulig skal slepekraften være montert i krysningspunktet mellom propellakslingen og langskips oppdriftssenter for å hindre kunstig moment og trim. Instrumentet som måler motstand må være festet på en slik måte at den bare måler horisontale krefter.

Retningsledere kan bli montert for å hindre bevegelse i jag og gir. De skal ikke forhindre at modellen beveger seg i noen annen retning eller introduserer noen krefter som gjør at modellen beveger seg i rull eller hiv. Arrangementet av slike retningsledere skal ha minimal friksjon. Modellen skal være plassert i senter av tanken. Det er viktig at alle kabler mellom modell og slepevogn er festet på en slik måte at den ikke forårsaker krefter på modellen. I praksis betyr dette at kabler bør henge vertikalt fra vognen.

Under slepetesten blir det samlet inn data om motstand, fart, trim og temperatur. Instrumentet som måler motstand skal ha toleranse på 0,2 % av dets maksimale kapasitet eller 0,05 N – den største av de to størrelsene. Farten burde ideelt bli målt av modellen i vannet. Siden dette er upraktisk kan en av to metoder brukes. Enten måles farten til slepevognen relativ til bakken eller farten til slepevognen relativ til vannet én meter foran modellen. Toleransen til farten skal være innenfor 0,1 % av den maksimale hastigheten eller 3 mm/sek – den største av de to størrelsene. Instrumentet som måler trim skal ha en toleranse opp til 1,0 mm. Temperatur skal måles ved halve modellens dypgang, med et termometer.

Før testen og mellom alle runder skal man sjekke at alle instrumenter er nullstilt. Deretter velges modellens hastighet ut fra bestemt froudetall. Modellen akselereres til en «stabil» tilstand. Det kan nå samles inn data innenfor et gitt tidsintervall. I løpet av runden skal det gjøres minst fem målinger der maksimums-, minimums- og gjennomsnittsverdier lagres fra hver runde. Denne prosessen gjentas for forskjellige hastigheter, helt til de ønskede

⁶ ITTC – Recommended Procedures, Testing and Extrapolation Methods, Resistance, Resistance Test 2002.

hastighetene er gjennomført. Hastighetspekteret bør strekker seg fra minst 5 % under laveste hastighet til minst 5 % over høyeste hastighet. Tette intervall gjør at topper og bunner for motstand registreres.

Det bør være betydelig pause mellom rundene slik at forholdene er like for hver gang. Lengden på pausene bestemmes av testfasilitetene, modellens størrelse og hastighet. Tiden må dokumenteres.

Når fart skal måles tas følgende hensyn. Reststrømninger i slepetankens overflate. Det er ikke uvanlig å «brenne» dagens første løp. Dette har likevel ikke vist seg å ha så stor innvirkning på det endelige resultatet. Det er vesentlig at modellens fart er konstant under innsamlingen av data. Konstant fart for slepevognen er et viktig element for å oppnå konstant fart for modellen. Underveis i målingene skal farten ikke variere mer enn 0,1 % av valgt hastighet eller 3 mm/sek – den største av de to størrelsene. Motstand, R_{TM} , uttrykkes som den dimensjonsløse koeffisienten:

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_M \cdot S_M \cdot V_M^2}$$

Modellens våte areal (S) er regnet fra stille vann-kondisjon. Eventuelle tillegg på skroget blir regnet separat og lagt til. Verdier for vannets densitet skal bestemmes ut fra ITTC Recommended Procedure 7.5-02-01-03

Skipets restmotstand finnes ut fra målt motstand for modellen (C_{TM}), gitt at friksjonsmotstand og formfaktor er avhengig av skala og fart. Restmotstanden, C_R , er gitt som den dimensjonsløse koeffisienten:

$$C_R = C_{TM} - C_{FM}(1 + k)$$

Der C_{FM} er gitt av ITTC-1957 empirisk formel. Dersom tilleggskomponenter er til stede på modellen, skal de er skalert separat, blir restmotstanden gitt som:

$$C_R = C_{TM} - C_{AppM} - C_{FM}(1 + k)$$

Der C_{AppM} er motstandskoeffisienten til tilleggskomponentene. Denne verdien finnes ved å sammenligne slepetest med og uten komponentene. Kurvene til C_T og C_R er en fin plass å se for å finne ut om det er gjort nok tester for å definere topper og bunner. Interpoleringen av kurven bør foregå med forsiktighet, for ikke å overse noen topper eller bunner.

Den anbefalte måten for å finne formfaktoren med en eksperimentell metode er ved bruk av Prohaska. Dersom ingen avløsning er til stede, kan den første tilnærmingen av total motstand skrives som:

$$C_{TM}(Re, Fr) = (1 + k)C_{FM}(Re) + C_W(Fr)$$

Dersom bølgeomstanden er lav i området $0.1 < Fr < 0.2$ og anses å være en funksjon av Fr^4 , vil den lineære interpoleringen av C_{TM}/C_{FM} mot Fr^4/C_{FM} bryte y-aksen i $(1+k)$. I tilfeller der modellen har bulb, vil ikke en slik metode være gjeldende.

Slepetankens dimensjoner skal dokumenteres sammen med testresultatene. Det er viktig at nevnte dimensjoner er store nok til å unngå effekter fra vegg og bunn. Om nødvendig, brukes følgende formler for korrigerings av denne effekten:

1. Schuster:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{m}{1 - m - Fr_h^2} + \left(1 - \frac{R_V}{R_T}\right) \cdot \frac{2}{3} \cdot Fr_h^{10}$$

Der $m = \frac{A_X}{A}$ og R_V/R_T som er forholdet mellom viskositet og total motstand. Fr_h^{10} er en fartskorreksjon på grunn av genereringen av bølge på grunt vann og motstanden denne skaper. Fr_h ligger mellom 0 og 0,7.

2. Scott:

$$\frac{\Delta V}{V} = K_1 \cdot \nabla A^{-\frac{3}{2}} + B \cdot L^2 \cdot K_2 \cdot A^{-\frac{3}{2}}$$

Det første leddet er en empirisk korreksjon der K_1 er en funksjon av Reynoldstallet og formparametere (lengde og blokk-koeffisient). Form-parameterne er gitt som $C_B \cdot \nabla^{\frac{1}{3}}/L$. K_1 kan deretter leses ut fra en tabell. Det andre leddet er en funksjon av Froudetallet og form som er utledet fra eksperiment til å utvide gyldighetsområdet opp til Froudetall lik 0,38. K_2 er gitt som:

$$K_2 = 2.4 \cdot (Fr - 0.22)^2 \quad \text{for } 0.22 < Fr < 0.38$$

$$K_2 = 0 \quad \text{for } Fr < 0.22$$

Formelens gyldighet er gjelder for modeller mellom 3.5 m og 9 m, tanker med tilnærmet bredde-dybde-forhold 2:1 og fartsområde $0.08 < Fr < 0.4$

3. Tamura:

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.67 \cdot m \cdot \left[\frac{L}{B}\right]^{\frac{3}{4}} \cdot \frac{1}{1 - Fr_h^2}$$

$$\text{Der } m = \frac{Ax}{A}$$

Generelt kan man si at korreksjoner for effekter fra sidevegg og bunn bør uttrykkes som en funksjon av fart.

Av de forskjellige korreksjonsformlene er Scotts den som passer best, men på grunn av dens teoretiske forankring er den ikke allment akseptert. Til tross for dette, er det denne som blir anbefalt, men med tidligere nevnte forbehold om gyldighet.

Schusters formel er også anbefalt for sin fleksibilitet og passer godt for tester med froudetall opp til 0.3. Tamas formel er god, da den inkluderer grunt-vanns-effekt

Dokumentasjon

Etter slepetesten skal all data dokumenteres. Resultatene skal rapporteres skal inneholde følgende informasjon:

1. Modell spesifikasjoner
 - Identifikasjon (modellnummer eller lignende)
 - Lastkondisjon
 - Metode for å stimulere turbulens (sandpapir, wire etc)
 - Modellskala
 - Hoveddimensjoner og hydrostatiske data
2. Spesifikasjoner om slepetank
 - Lengde, bredde, vanndybden
3. Dato for testing
4. Generelle data for testen
 - Temperatur på vann
 - Vannets tetthet
 - Kinematisk viskositet
 - Formfaktor
5. For hvilke hastigheter det er testet for
 - Modellens motstand
 - Modellens trim

Spesielt for denne tanken

Som ved alle slepetanker, er formålet i denne tanken å teste skrogs hydrodynamiske evner i modellstørrelse. Med dette menes motstand og fremdrift i forskjellige sjøforhold, samt skrogets respons i hiv og stamp. Det som er spesielt for denne tanken, er at lengden er mye mindre enn ved flere andre tanker. Vanligvis er slike tanker i størrelsesorden 200 meter, mens slepetanken på NTNU i Ålesund er rundt 11 meter. Dette vil naturligvis føre til en del forskjeller fra det generelle.

Utstyret i slepetanken er prosjektert av Stadt Towing Tank AS. Bedriften ble etablert i 2007 og har det sist bygde hydrodynamiske testanlegget i Europa. Dette betyr at bedriften har kjennskap til den aller nyeste teknologien innenfor modelltesting. STT leverte et tilbud da jobben om prosjektering av en slepetank ble presentert⁷. Det er mange likhetstrekk mellom tanken ved NTNU i Ålesund og den i Måløy, der Stadt Towing Tank AS holder til. På tross av de enorme størrelsesforskjellene, er begge slepetankene bygd på de samme prinsippene. Strand, bølgedemper fra sidene, datainnsamlingsmetode og programvare er de viktigste elementene de har til felles.

Naturlig nok er det lett å tenke på problemer som vil oppstå i en så liten tank og unøyaktigheter dette vil medføre. Dette kan for eksempel være returbølger og sidebølger. Om en ikke får dempet disse på en grei måte kan resultatene bli mindre presise. En så liten tank vil også føre til kort testtid, noe som gjør at det kan bli en utfordring å stabilisere resultatene.

På grunn av tankens størrelse blir også modellen mindre enn i en større tank. De viskøse effektene vil ikke bli de samme for en mindre modell som for en større. På den måten vil en liten modell introdusere en større feilkilde. Det vil i tillegg være mer utfordrende å få frem skoglinjene og detaljene like bra som ved en større modell. Det er derfor viktig at modellene er godt behandlet før de skal testes. Med dette menes at bearbeidingen av modellen må være veldig presis.

Vi skal i denne delen se på hvordan det er mulig å få gode tester i en liten tank. En av grunnene til dette kan være bruken av nyere teknologi. Flere av de store tankene begynner å bli gamle og noe av utstyret litt utdatert. Dessuten er denne tanken mer rettet mot læring og ikke til konvensjonell bruk og derfor er prinsippene viktigere enn resultatene. Samtidig ønsker en å oppnå gode resultater for å kunne detektere relative endringer dersom en forandrer en skrogutforming eller slepehastigheten.

⁷ Anbud levert fra Stadt Towing Tank, Vegard Larssen, 2015.

Utforming

Dette er en relativt liten slepetank. Den er 10,9 meter lang, 2,0 meter bred, 1,4 meter dyp og har en vannhøyde på 0,8-0,9 meter. Den er oppbygd som en stålkonstruksjon med bunnplater av sandwich. Den har en langside og en kortside av plexiglass, for å kunne ha godt innsyn.

Slepetanken er dimensjonert for skipsmodeller opp til 1,5 meter lengde og deplasement opp til 20 kg. Modellens størrelse er mest avhengig av bredden, da denne ikke bør være for stor i forhold til bredden av tanken. Dette har med effekter fra bunn og sidevegger å gjøre. Maksimal hastighet skal tilsvare 30 knop i full skala. I modellstørrelse vil dette si en maksfart på 3 m/s (ca 5,8 knop), og en akselerasjon på 2 m/s^2 . Dette er den største farten vognen klarer, men denne hastigheten vil trolig aldri bli benyttet. Testhastigheter vil mest sannsynlig ligge mellom 0,5-1,5 m/s.

Slepevognen er festet i en skinne på betongveggen. Det er på denne skinnen slepevognen kjører. Vognen drives fremover av servomotor, tannhjul og tannstang, som er det samme prinsippet som brukes i CNC-fresemaskiner. Dette gir veldig presis kjøring. Vognen har horisontale og vertikale hjul på hver side, som vil motstå rotasjoner av vognen om spesielle forhold skulle oppstå. Dette kan for eksempel være høye løftekrefter fra modellen/strukturen som blir testet.

Høy nøyaktighet og retthet på skinnegangen er viktig for gode testresultater. Skinnene for kjøring er derfor påmontert en ekstrudert aluminiumsprofil. Det er totalt åtte stålhjul som sørger for at vognen er stiv i alle retninger.

Armen fra slepevognen baserer seg på at modellen skal kunne bevege seg rett i hiv, stamp og rull, samtidig som den er fast i alle de andre retningene. En teleskopstruktur monteres i testmodellen. Innfestingen i modellen består av en gimbal-løsning, som gir frihet i rull og stamp. Den vertikale bevegelsen, hiv, er fri ved at selve teleskopet kan bevege seg i denne translasjonen. Hiv, rull og stamp vil bli målt direkte i slepemekanismen, og gimbal-platen er det eneste en trenger å feste i modellen. Dette gjør at tanken er enkel å bruke.

Bølger

For å skape realistiske scenarier for skipsmodellene er bølger avgjørende. Til dette brukes en bølgegenerator. For denne tanken har det blitt brukt et enkelt klaffsystem. Dette er et raskere og mer nøyaktig system enn et hydrauliskdrevet system med dobbelklaff. I tillegg er de langt mer økonomisk, både når det gjelder drift og vedlikehold.

Klaffen strekker seg over hele bredden av tanken, med en liten åpning på hver side. Dette vil føre til fri bevegelse, noe som trengs, ettersom dette systemet er baseres på en våt bakside. Dybden av bølgeklaffen er 60 cm og strekker seg opp til kanten av tanken. Fordelen med dette designet er at det ikke har noen slitedeler som krever service.

Mellom klaffen og bunnen på tanken er det montert en perforert stålplate. Dette er for å dempe vannstrømmen mellom klaffen og tankens vegg. For å styre bølgeklaffen blir det brukt et digitalt servosystem med en slaglengde på ca 40 cm. Ved å bruke en spesialdesignet programvare sender en ønskede bølger til klaffen. Denne programvaren er i stand til å produsere både regulære og irregulære bølger, og sender disse enkelt over til servosystemet.

For å redusere ventetiden etter en runde med bølger er tanken utstyrt med en bølgedemper i motsatt ende. Denne har en elliptisk form, er en sandwich av glassfiber og kalles en «strand». For at den skal kunne tilpasses forskjellige vannivåer er høyden justerbar. I tillegg til denne bølgedemperen har tanken også alternativ bølgedemper for sidebølgene. Dette er flytende ringer og de samme som bruktes under de olympiske lekene i Beijing i 2008. Til sammen reduserer bølgedemperne ventetiden mellom kjøringer med 60 %.

Sikkerhet

God sikkerhet er viktig for at tanken skal kunne brukes fritt av alle, uten noe annet enn en enkel introduksjon.

Siden skinnene er festet i betongveggen bak tanken er disse ingen fare for operatøren. Det samme gjelder elektriske systemer. Når det gjelder vognen har denne et sikkerhetssystem bestående av flere lag.

Det er lagt inn en begrensning i programvaren og hardwaren, som gjør at brukeren ikke har mulighet til å skrive inn ugyldig data til vognen. Dette gjør at vognen holder seg innenfor gitte grenser og sjansen for operatørfeil minimeres. Vognen vil ikke godta ugyldig hastighet og posisjon. Om operatøren plotter inn ugyldige parametere vil ikke slepevognen starte.

Hvis vognen passerer endepunktet for testen, vil det automatisk utløses en mekanisk endebryter som er direkte koblet til sikkerhetskretsen i drivsystemet. Systemet vil da bruke motorens dreiemoment og mekaniske bremse for å stoppe opp. Dette er det samme som skjer når en trykker på knappen for nødstop. For å hindre at vognen går ut av skinnene i endene brukes en slags endestopp, som fysisk stopper den. Denne er boltet fast i veggen og

er utformet som en vinkel med en gummikloss i enden.

På samme måten som sikkerhetssystemet til vognen, er det et tilsvarende for bølgegeneratoren. Blant annet vil generatorens mekaniske deler bli tildekket for beskyttelse. Programvaren som styrer bølgespektrene og klaffen har en maksimumsgrense for bølgenes høyde og minimumsgrense for periode. På denne måten hindrer en at klaffen svinger ukontrollert og at bølgene går over tankens kanter.

Styring og logging av data

Systemet for datainnsamling er sentralt plassert på en kraftig PC. Her styres slepevognen, bølgegeneratoren og innsamlingen av data fra sensorene. Sensorer er plassert på slepevognen og på bassenget. Data blir logget på 100Hz, noe som blir en oppløsning på 0,01 sekund for tid og 0,005 meter for modellbevegelse.

Programvaren er laget for å kunne takle mange loggingskanaler. Det positive med dette er at systemet er godt forberedt for mye ekstra testutstyr uten at man trenger dyre oppdateringer på maskinvare. De loggede dataene blir automatisk strukturert på en svært god og ryddig måte slik at videre analyse i Excel, MATLAB eller lignende program blir problemfritt.

Metode

Brukermanual

Etter at den nye modelltestetanken på NTNU i Ålesund stod ferdig, oppstod et behov for en omfattende manual som kunne gjøre studentene til operative brukere av nevnte tank. Dette er en slik manual.

Denne manualen består i hovedsak av tre deler. Den første delen tar for seg prosedyren for klargjøring av skipsmodellen til sleping i tank. Den andre inneholder bruken av slepetanken. Det være seg styring av slepetank og gjennomføring av test. Den siste delen forklarer hvordan man kan tolke noen av resultatene man kan få ut.

Mye av informasjonen om riktig gjennomføring av slepetest er hentet fra International Towing Tank Conference (ITTC). Denne organisasjonen leverer en anbefalt prosedyre som gjør at sleperesultatene blir presise. Leverandør av slepetanken, Stadt Towing Tanks (STT), har også skrevet sin egen bruksmanual. STTs manual inneholder informasjon om sikkerhet og hver enkelt komponents egenskaper. Vårt oppdrag blir å lage en lett forståelig manual, med mange bilder, som grundig tar for seg alle stegene for gjennomføring av slepetest.

Kalibrering

Sensorene får inn elektriske signal som må tolkes gjennom datamaskinen. Dette gjøres med hjelp av en omregningsfaktor som på fagspråket kalles «gain». Kalibreringen fungerer på den måten at man måler en kjent verdi, ser hvilke voltsignal en får ut, finner omregningstallet og setter dette inn i programvaren.

For den sensoren som er montert på slepevognen nå, kan man måle kraft, rull, stamp, hiv og bølgehevning. Kraftmåleren er en lastcelle. Rull, stamp og hiv måles med en gimbal, mens bølgehevning ved hjelp av voltsignal gjennom en sonde.

Kraftmåleren kalibreres med nøyaktige lodd. Slepearman heves og en talje festes i forkant av sensoren. Et tau fra sensoren og gjennom taljen installeres. Den ene enden av tauet knyttes fast i sensoren, den andre henger en på lodd. Når kalibreringen er klar, henger man på kjent

vekt i sensoren, leser av råsignalet og finner omregningsfaktoren. Lastcellen er solid, robust og tåler 50 kg, noe som gjør at den skjældent må kalibreres. Nå bruker en 2,5 «gain» for å få ut Newton

Gimbale kalibreres ved hjelp av kjente vinkler eller en gradskive. Omregningsfaktoren er konstant 36 for å få ut grader og vil aldri forandre seg. Hiv er også en faktor som er konstant og som ikke trenger kalibrering. Her bruker vi omregningstall 100 for å få ut mm.

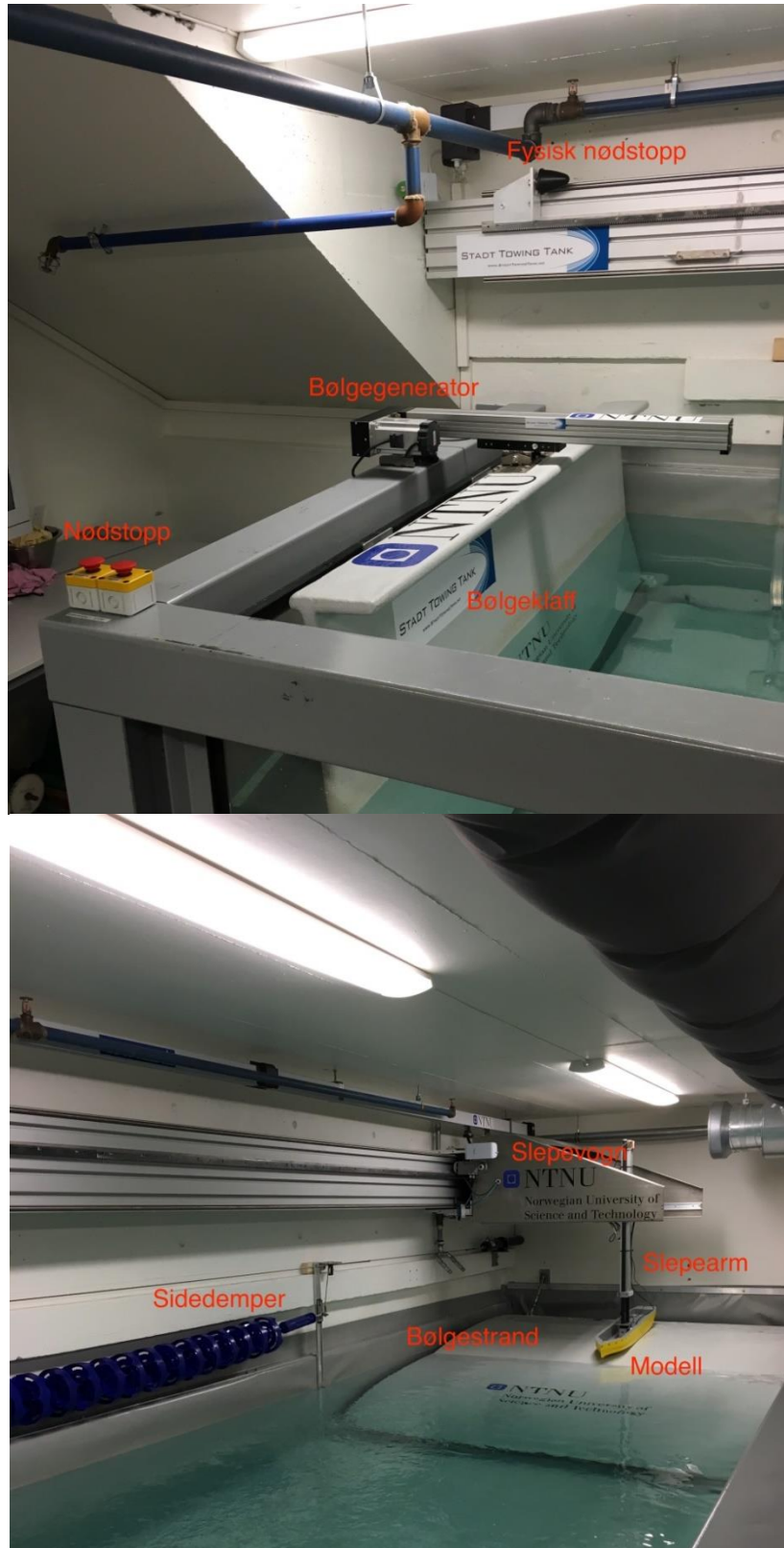
Sonden kalibreres gjennom en analog boks. Voltsignalet kan leses på datamaskinen eller et tilkoblet multimeter. Sonden settes i vannet og voltsignalet justeres slik at det er 0 på midten av sonden. Nå kan en bevege sonden en kjent dybde, leser av voltutslaget og finner omregningstallet. Sonden går fra -10 mV til 10 mV. Den bruker så lave voltutslag for ikke å bryte opp vannet og produsere hydrogen. En ønsker å omgjøre mV til mm.

Per dags dato gjelder følgende kalibreringer:

Kanal	Navn	Gain	Offset	Enhet
Alltid inkludert	Tid	1	0	Tid
192.168,213,32 - Port 6000	Fart	1	0	m/s
NI9237 Slot 4 Ch 0	Kraft	2,5	X	N
NI9205 Slot 2 Ch 0	Stamp	36	X	Grader
NI9205 Slot 2 Ch 1	Rull	36	X	Grader
NI9205 Slot 2 Ch 2	Hiv	100	X	mm
NI9205 Slot 2 Ch 3	Bølgeheving	Varierer	Varierer	mm

Tabell 2 Oversikt over standardinnstillinger

Brukermanual



Figur 2 Oversiktsbilde av komponenter i modelltestetanken

Innledning

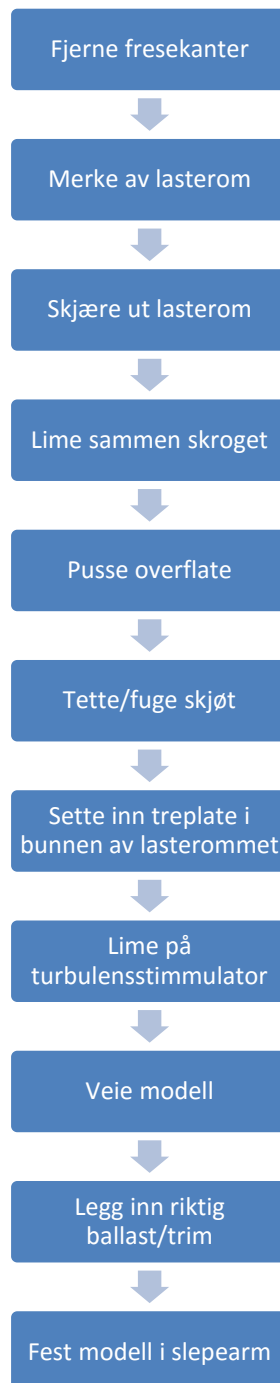
Dette er en manual for bruk av slepetanken ved NTNU i Ålesund. Det første en må gjøre er å lage linjene til modellen. Dette kan tegnes i Maxsurf og deretter konverteres til DXF-format. Eventuelt kan det konverteres til parasolid-format fra NX. Filen sendes til Lars Petter Bryne som da freser ut modellen.

I fremtiden planlegges det å sette opp en post-prosessor slik at hver enkelt student skal kunne frese modellen selv ved å konvertere til NX og deretter føre filen rett til fresen. Dette er foreløpig ikke klart, så nå må ting bli gjort på den gamle måten. Når dette blir klart blir slepetanken uavhengig av lærerhjelp og deretter mer tilgjengelig.



Figur 3 Arbeidsflyt av arbeid i modelltank

1. Klargjøring av modell



Figur 4 Arbeidsflyt av modellklargjøring

I denne delen får en innføring i hvordan modellen skal klargjøres for best mulig resultat. Den generelle prosedyren er presenter i workflowen over, mens nærmere beskrivelse av hvert punkt blir presentert her.

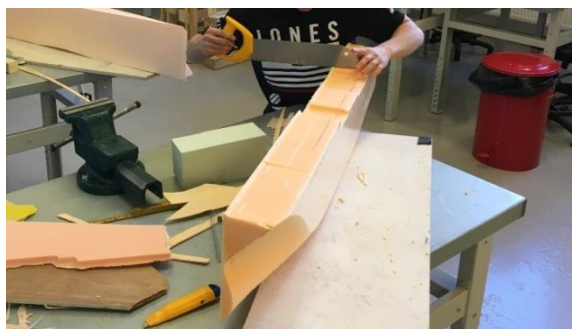
Fjerne fresekanter

Modellen kommer ut i to deler fra fresen. Begge delene henger sammen i platen, noe som gjør at modellen får en kant på yttersiden som ikke skal være med. Den verste kanten kan fjernes med grovt sandpapir, men etter hvert må en gå over til finere. Det er viktig å ikke fjerne for mye materiale så tidlig, da modellen ikke er limt sammen enda og derfor vanskeligere å se modellens helhet. Grunnen til at en fjerner noe av kantene er for å få referanser når en skal lime.

Lasterom

Når kanter er fjernet, har en kontroll på de reelle linjene til modellen. Nå kan en skjære ut et «lasterom» der målearmen skal festes og ballasten plasseres. Det er viktig at lasterommet er stort nok slik at sensorene får fri bevegelse i stamp og rull. Samtidig må lasterommet være stort nok til å romme nok lodd for å få modellen ned på ønsket dypgang. For å unngå problemer i henhold til dette, anbefales et lasterom med bredde 14 cm for å få fullt utslag i rull. Lengden på lasterommet begrenses av modellens kurvatur. Dybden bestemmes fra regelverket til ITTC som sier at sensoren skal festes i propellakslings linje.

Lasterommet skjæres ut med verktøy som sag, hoggjern, rasp, kniv og sandpapir. Fjerningen av materiale fra lasterommet bør skje bit for bit. Det er ekstremt vanskelig å få ut hele i én del. Første bit er alltid den vanskeligste. Her kan hoggjernet komme til nytte. Det mest presise verktøyet er saga. Den er enkel å bruke, gir finest overflate og best resultat. Utjevning av bunnen foregår med rasp og sandpapir. Det er viktig at bunnen av lasterommet fra de to delene ligger i vater for at bunnplaten skal kunne festes. Det er viktig å være varsom med verktøyene når man skjærer ut lasterommet. Det er fort gjort å skjære gjennom skutesiden eller bunnen.



Figur 5 Utforming av lasterom

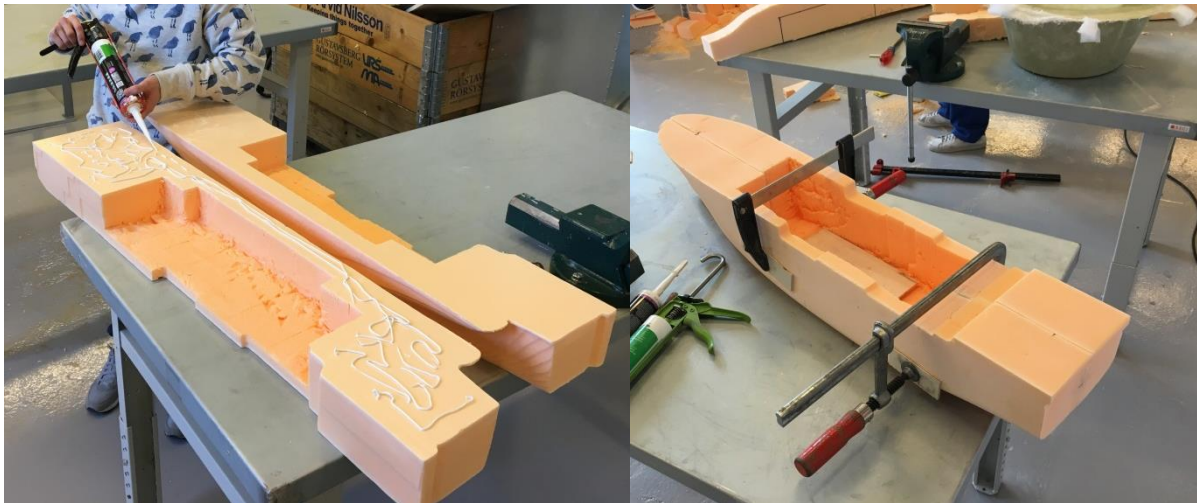
Anbefalte mål for lasterom	Størrelse
Bredde	14 cm
Lengde	Så lang som kurvaturen tillater
Dybde	Ned til propellaksling

Tabell 3 Oversikt over viktige mål angående lasterom

Lime sammen skroget

Neste steg er å lime sammen modellen. En starter med å blåse modellen ren for støv. Nå er overflaten klar for liming. Klargjør tvinger og trestykker før en limer. Finn ut hvordan delene skal plasseres i forhold til hverandre. Det kan være lurt å sette streker med tusj i noen punkter, slik at man enkelt finner tilbake til den rette plasseringen. Limen Ess Tack Easy fra Essve er en lim som egner seg godt. Den er sterk og ekspanderer lite.

Legg limen godt utover den ene innsiden av modellen. Plasser delene riktig i forhold til hverandre og tving sammen. La stå til over natten slik at limen rekker å tørke.



Figur 6 Tvingene presser modellen sammen

Pusse overflate

I dette steget skal de gjenværende kantene pusses ned. Puss senterlinjen slik at de to delene jevne, bunnen skal nå bli flat. Der skroget har slak kurvatur etterlater fresen seg et tydelig fresespor. Sporene som fresen etterlater seg skal jevnes ut med modellen, av en slik grad at en ikke ser noen overganger. Områder som bulb og skegg bør håndteres med forsiktighet. Dette er områder med små detaljer der unøyaktigheter og uhell med verktøy er veldig uheldig. En må gjerne avslutte med å pusse hele overflaten med det fineste sandpapiret.

Tette/fuge skjõt

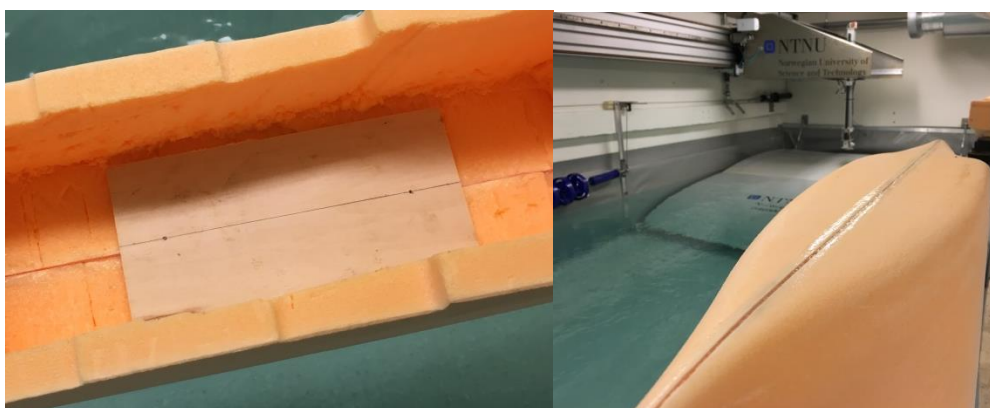
Uansett hvor godt man limer, vil modellen få en synlig sprekke langs hele senter i langskipsretning. Denne må tettes for at vannet skal strømme riktig og at modellen ikke skal ta inn vann. For å være på den sikre siden, kan en også fuge på innsiden av modellen. Tec7 egner seg godt til fuging. Ta på engangshansker, press fugemassen ned i sprekken og gni inn med fingrene. Det er en fordel å være to stykker når man gjøre dette. Få mest mulig fugemasse ned i sprekken og minst mulig rundt. Dersom en har vært uheldig og fått "sår" i overflaten kan disse også tettes med fugemasse. La fugemassen herde over natten. Dersom en har vært uheldig å få «sår» i modellens overflate, kan de tettes med fugemassen.

Sette inn treplate i bunnen

Treplaten skal limes på innsiden av lasterommet med samme lim som tidligere. Platen må passe i lasterommet, så bredden begrenses til 14 cm, men den behøver ikke å være bredere enn 10 cm. Hva angår lengden må den være lang nok til at sensoren kan festes. Dette betyr at platen minst kan være 20 cm. Marker senterlinjen av platen og avstanden mellom to punkter der hullene til skruene skal være. Denne avstanden skal være 18,8 cm. Bor hull slik at skruene enkelt kan skrues inn. Bruk en bor med \varnothing 2 mm. Bruk senterlinjen til å treffe senter av modellen. Platens senter skal plasseres i modellens langskips oppdriftssenter. Sett platen under press med noen lodd mens limen tørker.

Mål	Størrelser
Bredde	10-14 cm
Lengde	>20 cm
Avstand mellom hull	18,8 cm
Diameter bor	2 mm
Senterplassering	Langskips oppdriftssenter

Tabell 4 Dimensjoner av treplate i bunn



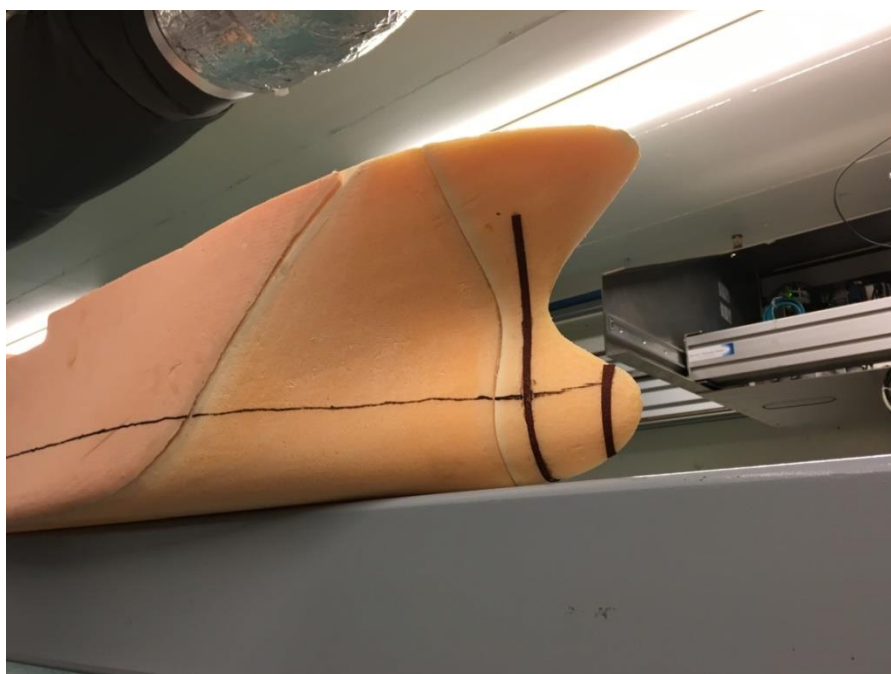
Figur 7 Riktig plassering av bunnplate og modellens underside etter fuging

Turbulensstimulator

I en slik test blir alt skalert til en mindre størrelse. Når man skalerer fartøyet, forandres vannets egenskaper relativt til skipets dimensjoner. I modellskala vil vannet strømme laminært rundt skroget. I fullskala strømmer vannet turbulent rundt skroget. For at modellen skal få samme strømningsbilde, må en installere noe som kan stimulere turbulens i forskipet. Dette kan være tråd, sandstriper, wire eller nagler. Med det utstyret som skolen har tilgjengelig, er det best å bruke pålimt sandpapir. Sandpapiret klippes opp til en tykkelse på 5-10 mm. Den skal plasseres ved 5 % av skipets lengde fra forskipet. Dersom modellen har bulb, trenger man en ekstra turbulensstimulator. Denne skal plasseres ved 1/3 av bulbens lengde⁸. Det enkleste er å bruke samme lim som ble brukt under sammenføyingen av de to skrogdelene. Kontaklim og lignende bør unngås, da det etser inn i XPS-materialet.

Turbulensstimulator type	Sandpapir
Bredde sandpapir	5-10 mm
Plassering	0,05L fra forskipet
Plassering bulb	1/3 av bulbens lengde

Tabell 5 Egenskaper til turbulensstimulator



Figur 8 Modellens forskip med utsikt over turbulensstimulatorer

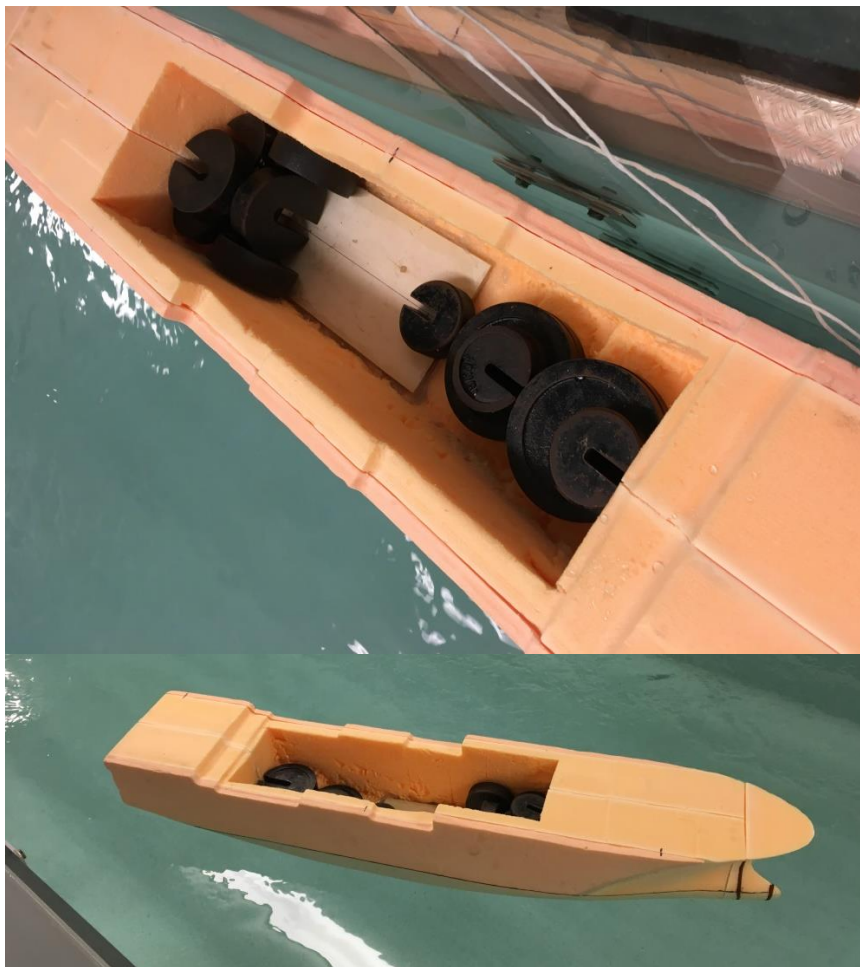
⁸ ITTC Recommended Procedures, Ship models 3.2.1, 7.5-01-01-01, 2002

Ballast og trim

Nå er alle komponenter av betydelig vekt fastmontert på modellen. Dette betyr at modellen kan veies. Videre finner en ut hvor mye vekt som mangles før modellen kan komme ned på riktig dypgang. Det kan være greit å merke modellens vannlinje. Det blir da enklere å plassere ballasten i henhold til ønsket trim. Dersom en ikke skal slepe med trim er det like enkelt å bruke vater.

En har på forhånd regnet ut modellens deplasement og ut i fra dette hvor tung den må være. Når lettskipsvekten er bestemt kan resten av ballasten legges til i form av lodd.

Lodden må plasseres slik at skroget får riktig trim. Dette gjøres når modellen er sjøsatt. Loddene rokeres slik at vannlinjen stemmer. Plasseringen av lodd må også stemme slik at modellen ikke krenger. Dette kan kontrolleres med et vater.



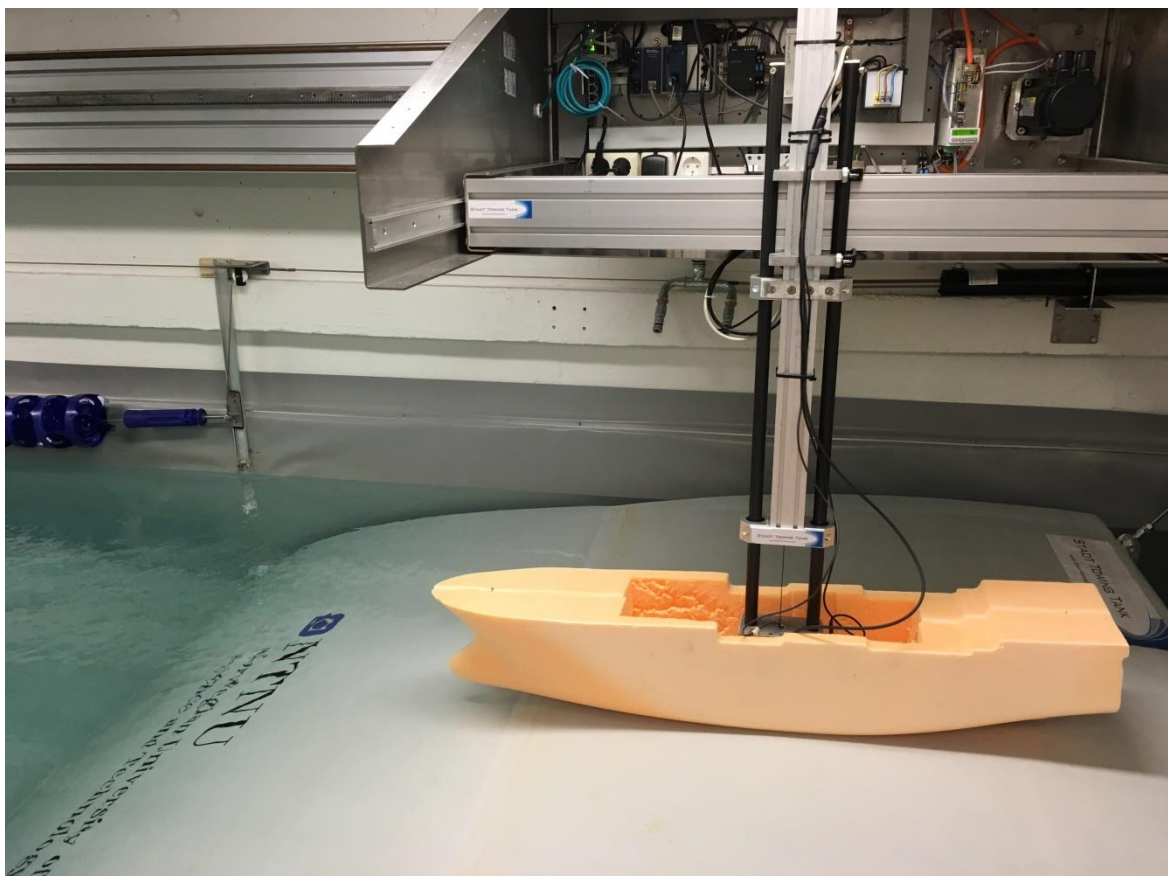
Figur 9 Modellen er ballastert og trimmen stemmer

Feste modell i slepearm

Når modellen skal festes kan det være lurt å kjøre vognen til posisjon -1 m, slik at en lettere kan montere den. Vognen vil da ligge rett over stranden. Hvordan vognen kjøres bak står forklart i delen om kjøring.

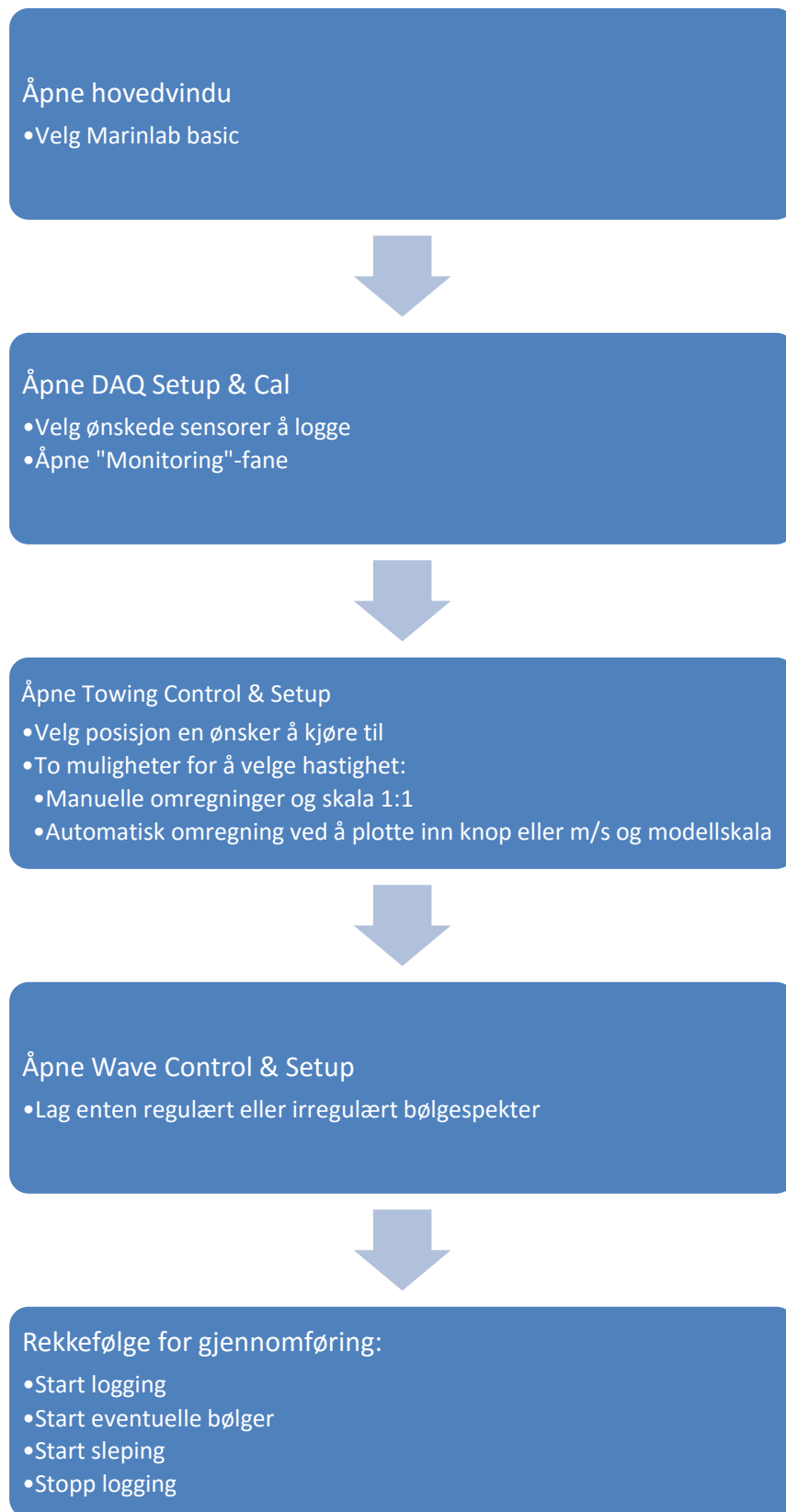
Slepearmen skrues fast i bunnplaten med to skruer. På grunn av forboringen kan dette gjøres med et skrujern.

Dersom man ønsker å gjøre små justeringer på modellen etter den er festet, kan en løsne skinnene som holder målearmen og dra den ut mot kanten av tanken. Dette kan en gjøre til enhver tid, uavhengig av vognens posisjon. Det er selvsagt viktig å føre målearmen tilbake til senter etter justeringer. Modellen må slepes i senter på grunn av effekter fra bunn og sidevegger.



Figur 10 Modellen befinner seg i posisjon -1, er fastmontert og er klar for testing

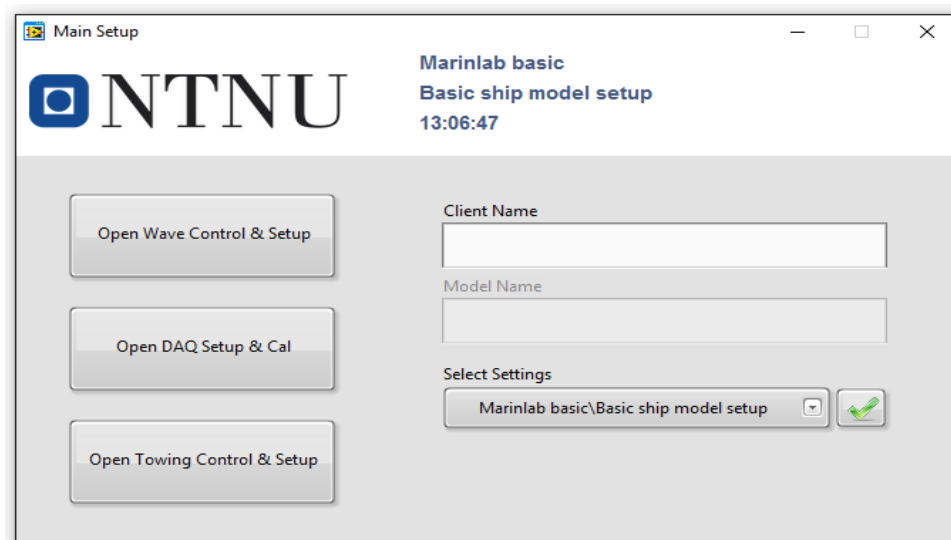
2. Gjennomføring av test



Figur 11 Arbeidsflyt av sensorer og logging

Åpne hovedvindu

Skru på datamaskinen og åpne programmet Main Control GUI. Dette programmet ligger i utgangspunktet på skrivebordet. Det er i dette programmet alt foregår. Det første en gjør inne på dette programmet er å velge de ønskede innstillingene og trykker på den grønne haken. I «Marinlab basic» finner man ferdigkalibrerte sensorer.



Figur 12 Skjerm bilde av startmeny

Dette programmet lar deg åpne tre forskjellige vindu. Det første styrer bølgegeneratoren, det andre styrer logging og datainnsamling, mens det siste styrer vognen. Vinduene er uavhengige av hverandre og det er operatørens jobb å koordinere dem.

Sidedempere

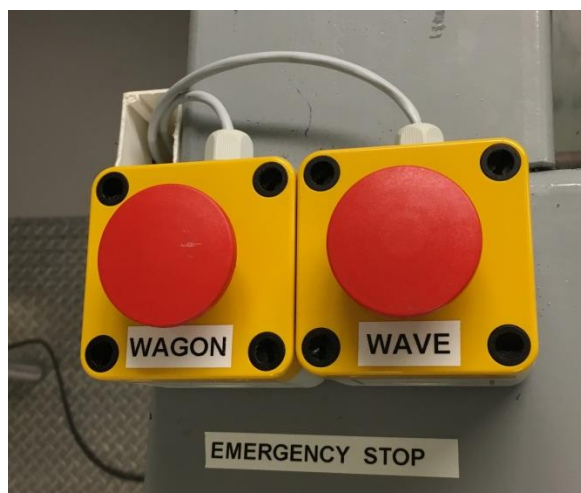
Langs den ene siden av tanken ligger sidedempere. Den består av spesialdesignede ringer som absorberer bølgene på en veldig god måte og er de samme som ble brukt i svømmebassenget under OL i Beijing. Denne skal bare være i vannet om det skal gjennomføres tester i stille vann. Ved tester i bølger skal denne være oppe av vannet, siden den forstyrrer bølgene. Heving og senking styres ved å vri på bryteren ved «stranden».



Figur 13 Bryteren som heiser sidedempere opp og ned. Posisjon 2 er senket, posisjon 1 er hevet. I posisjon 0 skjer det ingenting

Nødstop

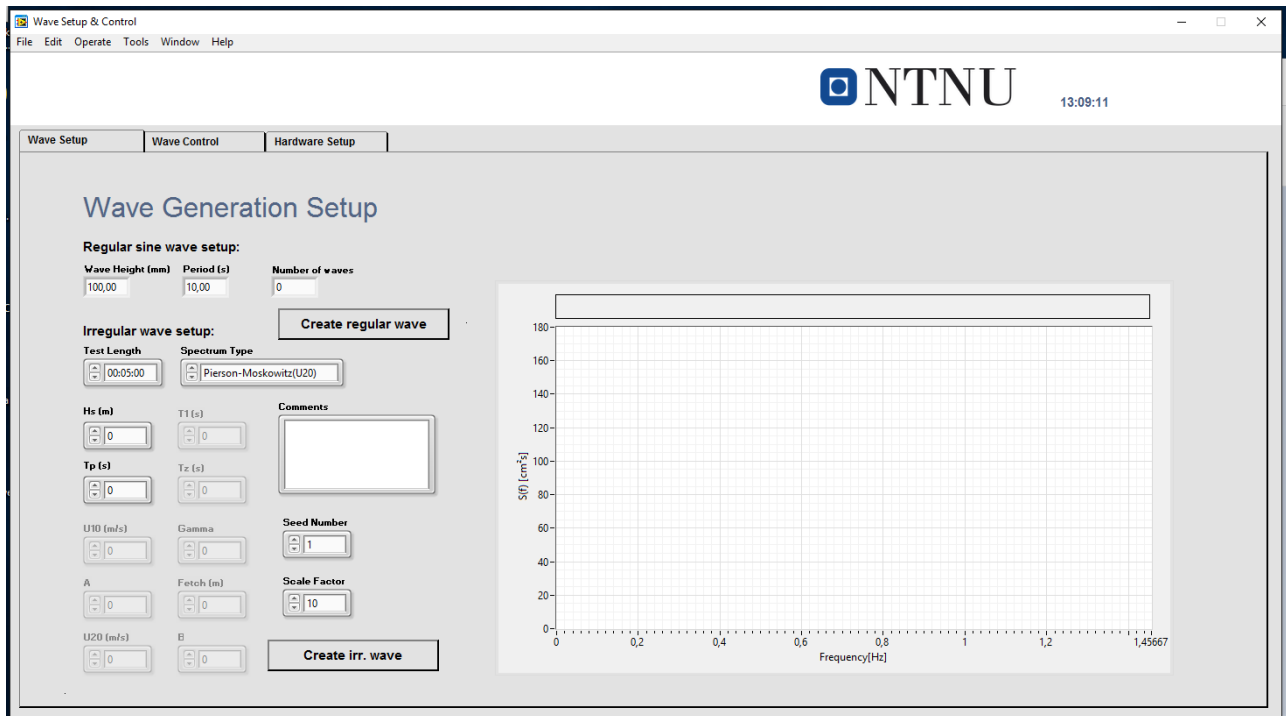
Dersom en nødsituasjon skulle oppstå og det blir behov for å bråstoppe vognen eller bølgegeneratoren, kan man bruke de store røde nødstoppen. Motoren vil da bruke alle sine krefter for å stoppe vognen. Under nødstop blir det store krefter i spill og det store momentet kan gjøre at små deler blir ødelagt. Dette bør likevel ikke være noen hindring for at operatør trykker på nødstoppen.



Figur 14 Nødstop

Styring av bølger

Startfanen for dette vinduet ser slik ut:

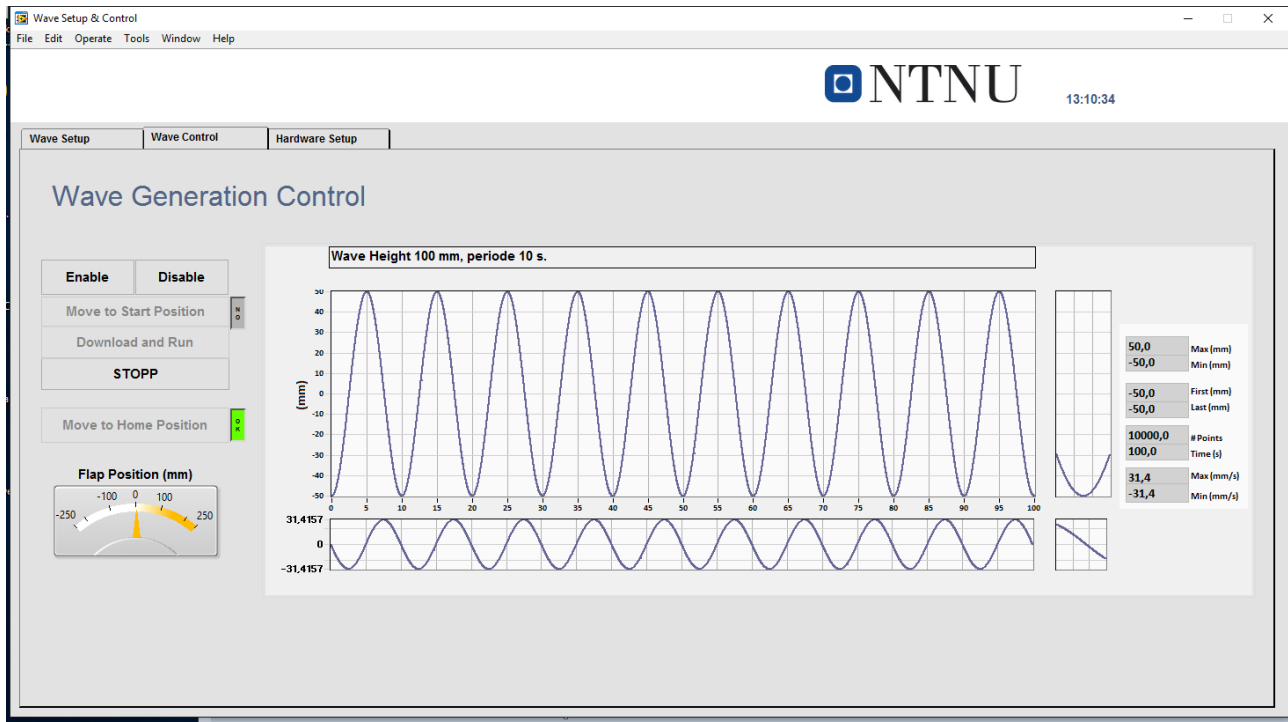


Figur 15 Dette vinduet lar deg bestemme bølgeparametre

Her bestemmer en hvilke bølger som skal brukes i testen. Man får muligheten mellom å velge regulære eller irregulære bølger. De regulære gir et fast bølgemønster der en velger bølgehøyde, periode og antall bølger. I dette tilfellet blir alle bølgene like. Å stille inn de irregulære bølgene krever litt mer av operatøren. En starter med å velge hvor lenge testen skal vare – eller hvor lenge bølgegeneratoren skal lage bølgespekteret. Deretter velges ønsket spekter. Videre blir de parameterne en kan stille på «hvit», mens de andre forblir «grå». Parameterne står forklart i «Comments»-feltet

Når parameterne er fylt inn er det klart for å lage bølger. Dette iverksettes ved å trykke på «Create regular wave» eller «Create irr. Wave», alt ettersom hvilket bølgespekter man har klargjort.

En kan nå trykke på «Wave Control» i verktøylinjen. I koordinatsystemet vil en her se hvordan bølgen blir sendt ut. Om denne er rød må parameterne endres - det betyr at bølgene man ber om er utenfor grenseverdiene som er lagt inn.



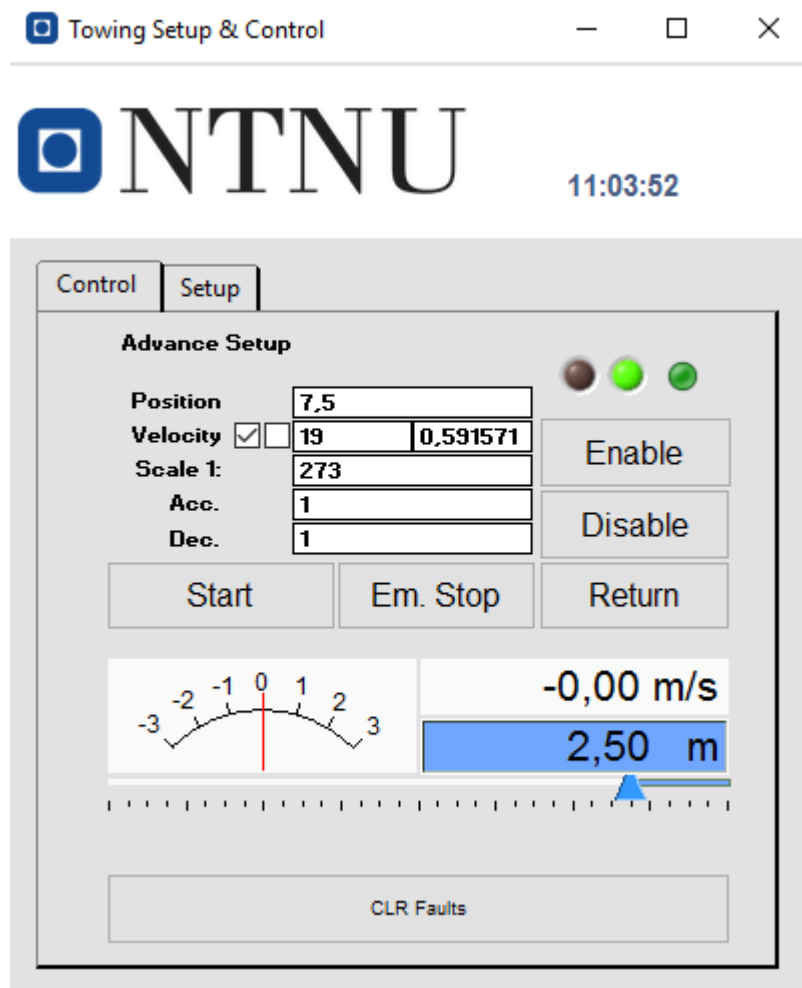
Figur 16 Kontrollvindu for bølgegeneratoren.

Det er nå klart for å starte. Trykk først «Enable» for å starte opp. Når en trykker på denne knappen, hører man et lite klikk, for så å høre at klaffen ligger og justerer posisjonen sin. Deretter trykker en på «Move to Start Position». Da flyttes bølgeklaffen dit bølgespekteret starter. Denne posisjonen kan sjekkes ved å se hvor grafen krysser y-aksen. Man kan også lese av bølgeklaffens posisjon i «flap position»-vinduet. Når klaffen er i startposisjon er det mulig å trykke «Download and Run». Når man trykker på denne knappen starter bølgegeneratoren å sende ut spekteret.

Når testen er over kan en enten velge å la bølgene fortsette ut tiden, til antall bølger er ferdig, eller ved å trykke STOPP. En grei regel er å trykke «Move to Home Position» etter hvert løp. I løpet av en test vil en som regel prøve modellen i flere forskjellige bølgescenarier. Ved å hoppe tilbake til «Wave Setup» kan en fort endre dette.

Vognen

I menyen for vognen velger en hvordan modellen skal slepes. Her velges fart, akselerasjon, nedbremsing og til hvilken posisjon vognen skal kjøre. Om ønskelig kan en også skrive inn skaleringsfaktoren for modellen, slik at modellhastigheten regnes ut automatisk. Da skrives inn fullskalajahastighet i knop og huker av boksen til venstre i hastighetsfeltet. Utregnet, nedskalert hastighet vises da i høyre [m/s].



Figur 17 Kontrollvindu for vognen.

Det første en må gjøre er å trykke «Enable». Dette aktiverer vognen og en vil høre en liten klikke-lyd. Dette er lyden av at den mekaniske bremsen slipper. Nå kan en sette inn ønskede verdier. I «Position» velger en hvor langt modellen skal kjøre. Det er satt opp en maksimumsgrense på 7,5 meter. Når alt er klart kan en trykke «Start», og modellen vil da begynne å kjøre.

Dersom det skulle bli nødvendig å stoppe underveis, går det an å bruke «Em.Stop»-knappen. Dette er en nødstopp som opereres fra programvaren. Om en skulle trykke på denne

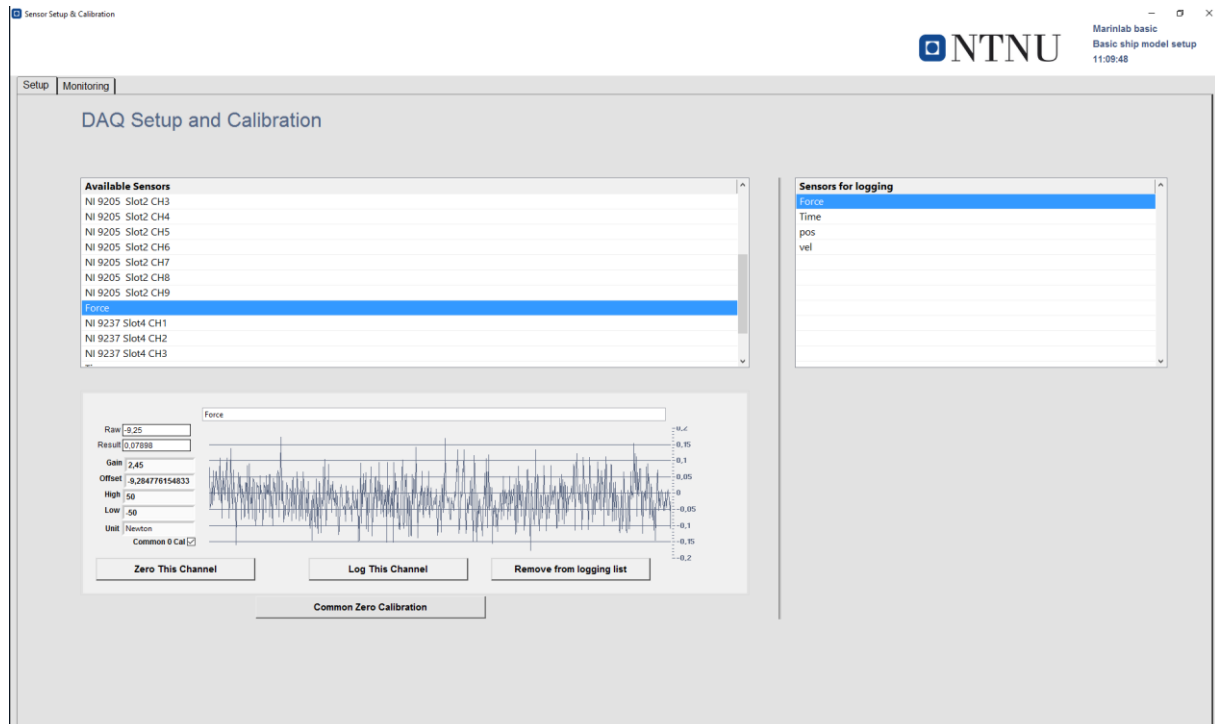
nødstoppen vil motoren stoppe vognen og vognen blir «Disable». Etter nødstopp må en trykke på «Enable» for å kjøre igjen. I utgangspunktet er det ikke ønskelig å trykke på denne knappen, da dette medfører fullstendig bråstopp og som igjen kan føre til skade på utstyr og modell.

Når løpet er ferdig kan modellen kjøres tilbake til start ved å trykke «Return». Vognen vil da kjøre rolig tilbake til det som er blitt satt som startposisjon. Parameterne for returkjøring kan endres i setup-menyen, men det anbefalte er å la de innstillingene stå slik de er. Standardinnstillingene for «Return» er posisjon 0 m, hastighet 0,1 m/s, akselerasjon og deselerasjon $0,1 \text{ m/s}^2$. Grunnen til sakte kjøring i returfasen er for ikke å skape unødvendig bevegelse i vannet.

«Stranden» er ikke bare en glimrende bølgedemper. Den er også en god arbeidsplattform dersom man skal feste modellen. Hvis en ønsker å kjøre vognen slik at den står over bølgedemperen skriver man -1 i «Position»-feltet. Sakte kjøring anbefales dersom modellen er festet til slepevognen og man ønsker å kjøre opp på stranden. En bør fjerne ballasten før man kjører opp og ned fra stranden.

Logging og datainnsamling

Vinduet som har med datasamling, logging og observasjon av sensorene kalles «DAQ setup & CAL»



Figur 18 Startvindu og oversikt over potensielle sensorer. Liste over hvilke sensorer som logges. Direkteoverføring av målte verdier fra valgt sensor.

Oppsett

De forhåndskalibrerte sensorene vil dukke opp dersom man har valgt «Marinlab Basic» i startvinduet. Dersom de ikke dukker opp kan det hjelpe å trykke på den grønne haken igjen. I listen til venstre kan man se en oversikt av tilgjengelige sensorer. Sensorene som måler motstand, hiv, rull, stamp og bølgehøyde er identifisert med navn i listen. Åpne porter uten sensorer er avmerket med tall- og bokstavkombinasjoner.

Sensorene som er aktuelle for logging velges ved å trykke «Log this channel». Sensorenes navn vil da dukke opp i «Sensors for logging»-vinduet. Sensorene kan også dras direkte inn i dette vinduet.

Det er viktig at modellen er nullstilt i rett punkt. Med dette menes å sette alle sensorene i null når modellen er festet og klar til testing. Dette gjøres ved å trykke «Zero This Channel» for hver enkelt sensor, eller ved å hake av den lille haken «Common 0 Cal» for alle sensorene

for så å trykke «Common Zero Calibration». Den siste metoden er trolig den beste, siden denne gjør at alle blir nullstilt i akkurat samme punkt og dermed mer nøyaktig.

Loggeutstyret i denne tanken er levert av National Instruments. Det er to forskjellige kort i bruk. Det første måler voltutslag analogt (-10/10V) og brukes til å måle utslagene i rull, stamp og hiv. Det andre er en lastcelle som også måler volt (mV) og brukes til å måle motstand. Separat fra disse er en bølgemåler som registrerer bølgebevegelsene opp og ned. Den er analog, styres og kalibreres for seg selv.



Figur 19 Analog boks som kalibrer bølgesensor

Når en trykker på en sensor, får man opp et direktebilde av sensorens målinger i det nederste vinduet. I samme vindu får man opp feltene «Raw», «Result», «Gain», «Offset», «High», «Low» og «Unit»

«Raw» er voltsignal direkte fra sensoren. For å konvertere voltsignalene til en kjent enhet må en bruke «Gain». Verdien i «Gain» er omregningstallet som må brukes for at voltsignalet skal bli omgjort til en mer ønsket enhet. I «Result» kan man se avlesinger i riktig enhet. «High» og «Low» kan en selv justere og er ekstremalverdiene i «Monitoring»-fanen.

Kanal	Navn	Gain	Offset	Info
Alltid inkludert	Tid	1	0	Tid
192.168,213,32 - Port 6000	Fart	1	0	m/s
NI9237 Slot 3 Ch 0	Kraft	2,5	X	N
NI9205 Slot 2 Ch 0	Stamp	36	X	Grader
NI9205 Slot 2 Ch 1	Rull	36	X	Grader
NI9205 Slot 2 Ch 2	Hiv	100	X	mm
NI9205 Slot 2 Ch 3	Bølgeheving	Varierer	Varierer	Mm

Tabell 6 Standardinnstillinger

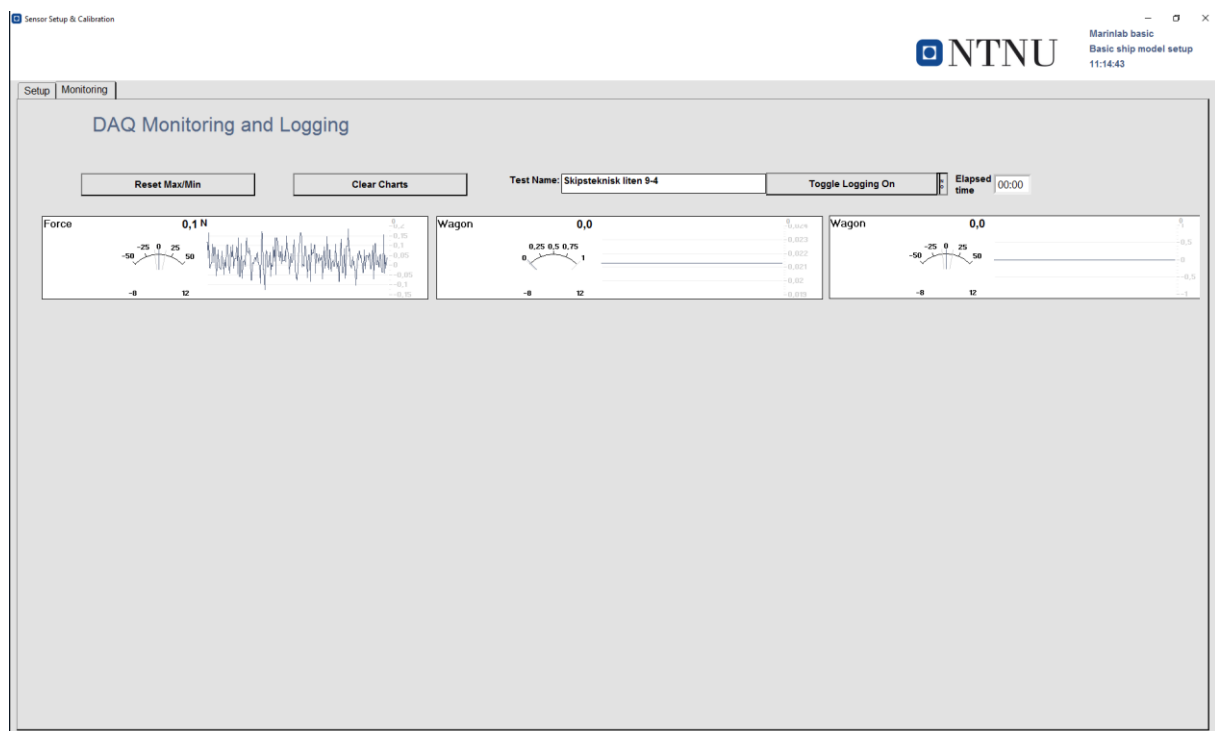
Sensorer for stamp og rull er i utgangspunktet lik, bare i forskjellige retninger. Denne måler 180° og registrerer mellom 0-5V. Dette gir gain-verdien $180^{\circ}/5V = 36^{\circ}/V$. Ved å gjøre dette vil de loggede dataene komme ut i grader.

Hiv-sensoren måler opp til 1000 mm og gir ut data mellom 0 og 10V. Dette gir gain $1000\text{mm}/10V = 100\text{mm}/V$. På denne måten blir de loggede dataene i millimeter.

Når det kommer til offset-verdiene vil disse være vilkårlig. Dette vil bare påvirke dataene opp eller ned i forhold til offset-verdien. Ved å trykke "Zero", vil målingene nullstilt og den korresponderende verdien for offset vil komme automatisk.

Observering

Neste steg er å gå inn i menyen «Monitoring». Her kan en se en oversikt over de ønskede målingene. Før en starter velger en et navn for testen. Loggingen starter i det knappen «Toggle Logging On» trykkes, og den avsluttes ved å trykke samme knapp.



Figur 20 Skjerm bilde av observasjonsfanen. Her kan en navngi testen sin og resultatene vil dukke opp i en opprettet mappe.

Gjennomføring

Alle disse tre delene er uavhengige av hverandre, og det er ingen måte å starte alt automatisk på. Hver del må derfor startes manuelt.

Når alt er kalibrert og nullstilt kan testen begynne. For å finne det ekte nullpunktet til sensorene, må en logge noen sekunder (5-10 sek) før man kjører vognen. Dette er målinger som skal finnes gjennomsnitt av og trekkes fra resultatet.

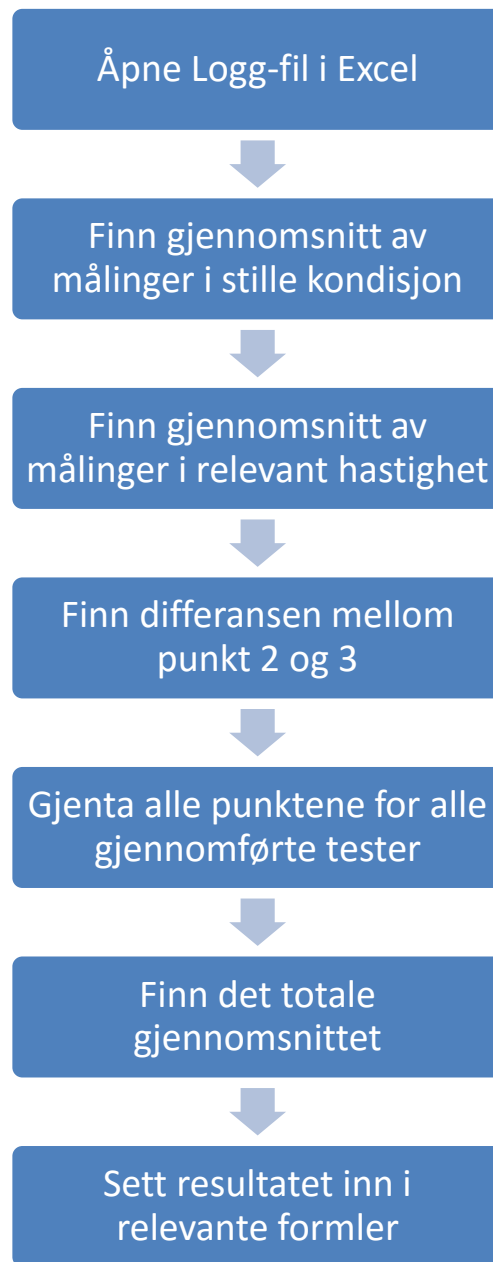
Nå kan vognen startes. Observer vognens hastighet for å finne ut når modellen kjøres i ønsket fart. Dette er for å utelukke irrelevante krefter som inntreffer under akselerasjon. Av samme grunn er det viktig å notere hvilket tidspunkt vognen bremses. Når vognen stopper kan en stoppe loggingen.

Vognen returneres til startposisjon der en må vente til vannet roer seg. Dette kan ta 8-12 min. Dersom modellen berører stranden med sitt akterskip kan startposisjon justeres i setup-fanen til vognens kjørevindu.

For å få et godt resultat er det lurt å kjøre flere tester per hastighet. Et eksempel på dette kan være 7 tester der høyeste og laveste måling neglisjeres, for så å finne snittet av de fem gjenværende.

Dersom en skal gjennomføre en test med bølger, er prosedyren ganske lik. Den eneste forskjellen er at en starter bølgen før slepet. Man må vente til bølge har nådd den sonen skipet skal akselerere i. Ellers må samme hensyn tas. Ventetiden kan være noe lenger etter en test med bølger. Ventetiden bør da være rundt 15 min.

3. Tolking av loggingsdata



Figur 21 Arbeidsflyt av tolking av innsamlet data

Etter gjennomføringen av ønskede tester må en tolke resultatene. Det finnes ingen fasit for hvordan dette skal gjøres, men arbeidsflyten i figur 21 er et eksempel på hvordan man kan få gode resultater. En grundig gjennomgang av hvert punkt blir presentert i dette kapitlet.

Logg-fil i Excel

Resultatene fra loggingen av valgte sensorer åpnes i Excel. I Excel presenteres loggingen slik at en kan lese sensorens navn i øverste rad og registrerte verdier nedover i kolonnen. Sensoren registrerer verdier hver hundredel av et sekund, noe som gjør at en får veldig mange registrerte avlesninger.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Time	Heave	Rull	Pitch	Wave 1	Force				
2	12:03 21,247	9,403232	1,581504	0,383244	-24,607751	-0,930976				
3	12:03 21,258	9,351623	1,568676	0,37168	-24,571054	-1,013514				
4	12:03 21,267	9,266855	1,579624	0,378839	-24,650934	-1,009478				
5	12:03 21,277	9,221054	1,577514	0,37777	-24,55605	-1,077384				
6	12:03 21,287	9,220725	1,576981	0,368204	-24,643955	-0,973225				
7	12:03 21,297	9,427703	1,562253	0,371985	-24,595717	-1,09869				
8	12:03 21,309	9,206802	1,582578	0,389753	-24,57592	-1,039395				
9	12:03 21,318	9,476799	1,576927	0,378994	-24,612911	-1,026022				
10	12:03 21,329	9,480635	1,574454	0,360079	-24,588733	-1,012255				
11	12:03 21,337	9,260289	1,566034	0,364068	-24,562451	-1,158301				
12	12:03 21,347	9,371898	1,573715	0,369386	-24,6337	-1,096271				
13	12:03 21,357	9,291115	1,571352	0,37943	-24,562057	-1,045727				
14	12:03 21,367	9,357048	1,575826	0,381709	-24,622312	NaN				
15	12:03 21,378	9,381401	1,581956	0,378155	-24,57077	-1,054989				
16	12:03 21,387	9,270436	1,564315	0,371427	-24,611511	-1,035219				
17	12:03 21,398	9,463082	1,568135	0,387899	-24,580396	-1,116739				
18	12:03 21,407	9,446503	1,564852	0,375187	-24,612183	-0,943641				
19	12:03 21,418	9,515969	1,5747	0,374769	-24,57974	-0,925636				
20	12:03 21,427	9,194339	1,575058	0,371427	-24,61263	-1,125509				
21	12:03 21,438	9,412499	1,573871	0,376289	-24,591243	-0,972583				
22	12:03 21,448	9,365333	1,566034	0,373522	-24,61494	-0,982828				
23	12:03 21,458	9,198815	1,571835	0,377335	-24,601081	-1,083564				
24	12:03 21,469	9,370933	1,572846	0,37307	-24,605926	-1,012434				
25	12:03 21,477	9,385576	1,576177	0,37362	-24,60057	-1,041705				
26	12:03 21,489	9,156477	1,58184	0,365249	-24,59378	-1,140313				
27	12:03 21,497	9,525584	1,56539	0,367667	-24,580535	-0,99799				
28	12:03 21,508	9,391438	1,5747	0,376082	-24,585453	-0,981189				
29	12:03 21,519	9,596686	1,578982	0,380021	-24,642839	-1,077012				
30	12:03 21,530	9,101082	1,587748	0,376328	-24,545648	-0,991284				
31	12:03 21,538	9,154881	1,566822	0,365578	-24,575582	-1,124361				
32	12:03 21,547	9,495742	1,579893	0,378947	-24,615495	-1,097275				
33	12:03 21,558	9,353662	1,575357	0,374113	-24,574761	-1,064268				
34	12:03 21,567	9,309529	1,576079	0,377067	-24,638919	-1,033636				
35	12:03 21,577	9,5118	1,583141	0,37777	-24,567258	-0,95285				
36	12:03 21,588	9,242938	1,573012	0,381147	-24,607071	-1,033253				
37	12:03 21,598	9,446503	1,58419	0,377873	-24,617151	-0,979401				
38	12:03 21,609	9,297557	1,567285	0,366118	-24,58542	-0,962767				
39	12:03 21,618	9,374243	1,558381	0,373268	-24,587141	-1,049659				
40	12:03 21,628	9,503203	1,583116	0,371964	-24,578879	-1,110603				
41	12:03 21,639	8,94665	1,581504	0,371427	-24,651574	-1,051027				

Figur 22 Resultater fra logging i Excel. Her er det valgt å registrerer hiv, rull, stamp og motstand. Tiden logges som standard

Målinger i stille kondisjon

Voltsignalene fra lastcellen svinger opp og ned. Når en nullstiller sensorene har man ingen garanti for at signalet var på topp, i null eller på bunn. Korreksjon av denne usikkerheten gjøres ved å finne gjennomsnittet i et tidsrom der modellen står helt stille. Resultatet av dette gjennomsnittet kaller vi avstanden fra det ekte nullpunktet.

Målinger i relevant hastighet

Med relevant hastighet menes den perioden modellen holder konstant hastighet. Dette utelukker altså akselerasjonen og deselerasjonen. Det er to metoder for å finne når den konstante hastigheten inntreffer.

Den ene er å visuelt observere når modellen slepes. Da følger en med på hastighetsmåleren og registrerer på klokken når akselerasjonen slutter og deselerasjonen starter. Videre finner man denne tidsperioden i Excel-filen og tilhørende verdier. Disse markeres og finnes gjennomsnitt av.

Den andre metoden er lik, men går ut på å observere hastigheten i Excel-filen. Det er da vesentlig at sensoren for fart og posisjon blir logget. Nå kan man bla nedover listen for registrerte målinger og finne det området der farten stabiliserer seg. Finn gjennomsnitt av tilhørende verdier i en tidsperiode på 5-10 sekunder. Dersom perioden der riktig hastighet inntreffer er lang, kan det være lurt å velge målingene som er mest inn mot midten av denne perioden.

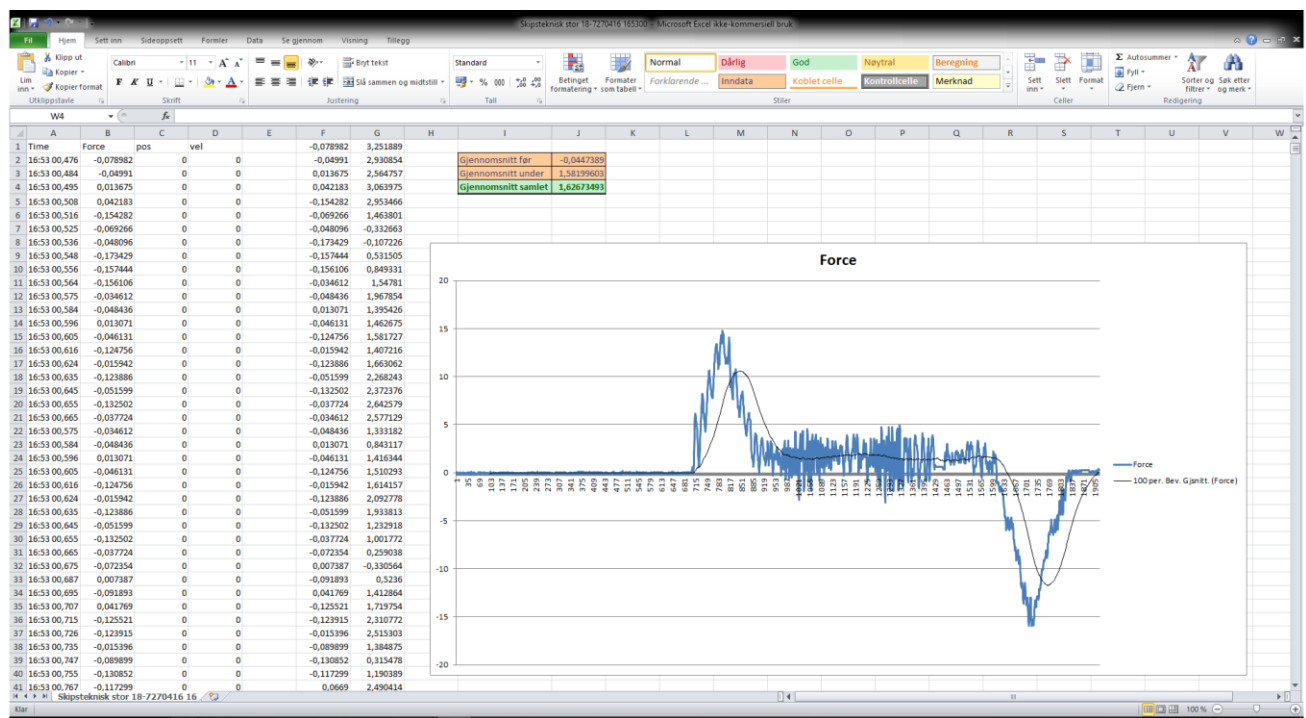
Det er viktig å gjennomgå målingene som har blitt innhentet. Noen ganger hender det at sensorene henger seg opp. Det som skjer da, er at flere like verdier registreres. Siden voltsignalene svinger opp og ned kan en slik feil være betydelig dersom den inntreffer på en topp eller bunn. Dersom man finner en slik feil må de målingene det gjelder slettes.

Differanse, repetering og totalt gjennomsnitt

Etter å ha funnet de to gjennomsnittene kan det nå finnes differansen mellom dem. Det er dette tallet som resultatet fra testen.

For å få et godt resultat må det gjennomføres flere tester for hver hastighet. Et godt tips kan være å kjøre sju tester for hver fart, der høyeste og laveste verdi fjernes. Deretter finner man gjennomsnittet for de fem resterende resultatene. Dette blir totalsnittet for denne hastigheten.

Dette tallet kan nå settes inn i relevante formler, alt etter hva en har målt. Prosedyren for skipsmotstand er beskrevet på neste side. Det kan også være interessant hvordan skipet setter seg når det er i fart. Dette er tall vi leser ut fra hiv-sensoren. Det samme gjelder trim.



Figur 23 Excel dokument etter bearbejdingen er gjennomført.

Utregninger knyttet til motstandsmålinger

Gjennomsnittsverdien for motstand under slepetesten kan brukes til å finne total motstandskoeffisient for modell, C_{TM} .

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_M \cdot V_M^2 \cdot S_M}$$

Der R_{TM} er målt motstand under slepetesten. Her bruker en gjennomsnittsverdien. ρ_M er vannets tetthet i modelltanken, V_M er modellens hastighet i m/s og S_M er modellens våte overflate. S_M finner en nedskalert fra skipets fullskala eller empiriske formler⁹.

$$S = \nabla^{1/3} (3,4 \cdot \nabla^{1/3} + 0,5 \cdot L_{WL}) \quad S_M = \frac{S_S}{\lambda^2}$$

Total motstandskoeffisienten består av friksjons- og restmotstandskoeffisient.

$$C_{TM} = (1 + k)C_{FM} + C_{RM}$$

Friksjonsmotstandskoeffisienten, C_F , er gitt som

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} R_{nM} - 2)^2}$$

Formfaktor kan finnes med modellforsøk, Prohaskas metode, eller med empiriske formler. MARINTEKs formel er gitt som

$$k = 0,6 \cdot \varphi + 145 \cdot \varphi^{3,5} \quad \text{der} \quad \varphi = \frac{C_B}{L_{WL}} \cdot \sqrt{(T_{FP} + T_{AP}) \cdot B}$$

Videre skal en bruke at restmotstand er lik for modell og fullskala

$$C_{RS} = C_{RM} = C_R$$

Med restmotstanden kan en finne total motstandskoeffisient for skipet i fullskala, der en bytter fra verdiene for modellen til verdiene for fullskala i formelen for C_F . Nå kan en finne den totale motstanden i fullskala

$$C_{TS} = (1 + k)C_{FS} + C_R$$

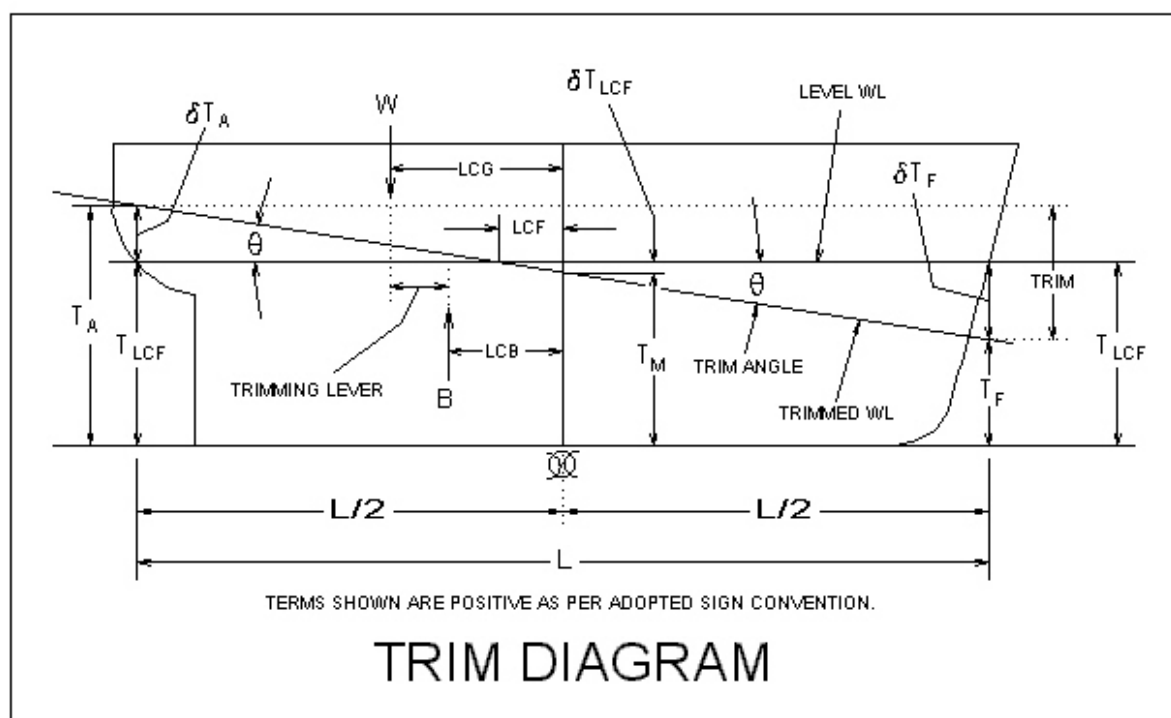
$$R_{TS} = C_{TS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_S \cdot V_S^2 \cdot S_S$$

⁹ Ship Design For Efficiency and Economy, ch. 6.3, H. Schneekluth and V. Bertram, Butterworth-Heinemann, 1998

R_{TS} brukes for å finne ut hvor mye kraft motoren må yte for at skipet skal seile med den hastigheten slepetesten er utført for.

Utrekninger knyttet til målinger av stamp

Under en slepetest ønsker en ofte å finne ut om hvor mye skipet trimmer under gitt hastighet. Sensoren som logger bevegelse i stamp presenterer sine resultater i grader. Trim måles i lengde, derfor må en bearbeide verdiene fra slepetesten. Dette kan gjøres enkelt ved bruk av kunnskap om trigonometri.



Figur 24 Trigonometrien bak beregningene av trim¹⁰

Gjennomsnittsverdien for logging av «pitch» gir kunnskap om det som kalles trimvinkel. Siden denne verdien presenteres i grader kan en med enkle grep bruke tangens for å finne trim

$$trim = \tan \theta \cdot L$$

Der θ er gjennomsnittsverdien for pitch og L er modellens lengde. Trim for skipet i fullskala finner en med å multiplisere med skaleringsfaktoren λ

$$trim_s = trim_m \cdot \lambda$$

¹⁰ Figur av Trim Diagram, http://hawaii-marine.com/templates/Trim_Article.htm

Måling av rull

I likhet med måling av stamp, presenteres rull i enheten grader. Rull er den skipsbevegelsen som vi i dagligtalen forbinder med krenkning. For en slepetest er ikke logging av rull det som er mest interessant å studere, siden de største utslagene kommer i stamp og hiv. Likevel kan sensoren i slepevognen registrere den.

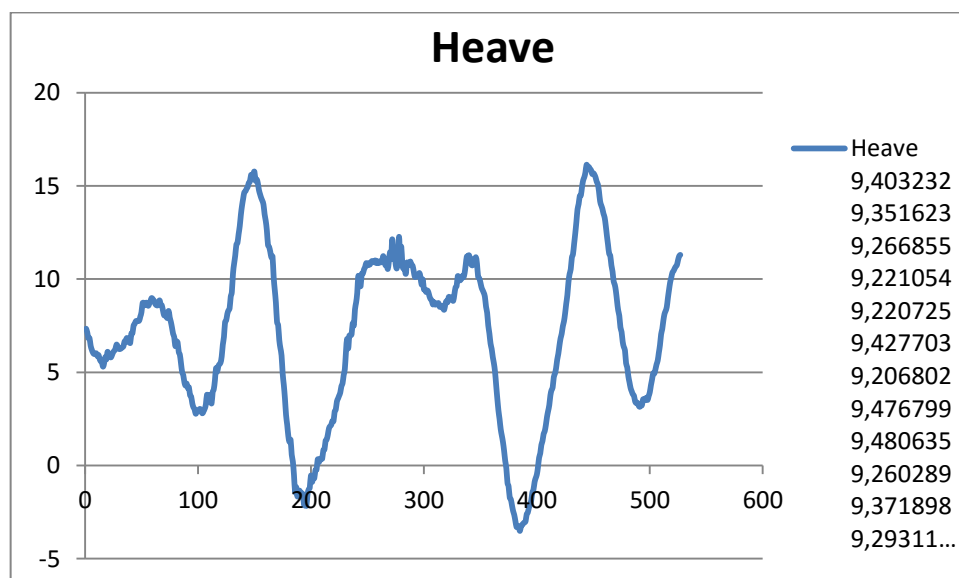
Det kan være mer interessant å logge rull for andre øvelser og tester enn slepetest. Ved bruk av slepevognen og rull-sensoren kan en få presise avlesninger under tester som krengeprøve.

Måling av hiv

Hiv er translasjon i z-retning, eller vertikal retning. Sensoren logger bevegelse oppover som positiv. Resultatet kommer ut i enheten mm.

Gjennomsnittsverdien for målingen av bevegelsen i hiv sier noe om hvordan skipet «setter seg» når det har den hastigheten som er gitt.

Det er også interessant å se plottet for hvordan skroget har respondert i hiv under en bølgeserie.



Figur 25 Eksempel på diagram i Excel av hiv-bevegelse for et irregulært bølgebevegelse

Resultatene fra hiv må også skaleres til riktig størrelse.

$$hiv_s = hiv_m \cdot \lambda$$

Resultater

Skipsteknisk har i 2012 gjennomført slepetest på et av sine skipsdesign. Dette er tall og resultater vi har fått tilgang til. Testen ble gjennomført i en etablert slepetank i Gdansk, Polen. Modelltanken i Polen er 270 m lang, 12 m bred og 6 m dyp¹¹.

Innledning

Testene som er gjennomført på NTNU i Ålesund følger prosedyren til ITTC for gjennomføring av motstandstest¹². Siden tanken i Ålesund er vesentlig mindre enn konvensjonelle slepetanker som prosedyren er best egnet for, kunne vi gjøre noen spesifikasjoner. Tiden mellom hvert løp er noe som er blitt modifisert betydelig, dette av den enkle grunn at tanken er liten og bølgedemperne er meget effektive.

Det som finnes av eventuell blokkeringseffekt har vi også valgt å neglisjere. Grunnen til dette er at den er minimal og har liten eller ingen innvirkning på resultatet. Sensoren er såpass stiv relativ til modellens størrelse, noen som har ført til at det ikke har vært bruk for ledere. Slepearmen er fastmontert i en bunnplate og bunnplaten er limt fast i modellen.

¹¹ Karakteristikk av forskningsfasiliteter ved CTO S.A, http://www.cto.gda.pl/fileadmin/Foldery/PROPOZYCJA_1.0_eng_www.pdf, side 15

¹² ITTC – Recommended Procedures, Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Performance Propulsion Test, Effective Date 2002, 7.5-02 -03-01.1

Data fra Skipsteknisk

Målinger og resultater som er gjort i Gdansk er presentert i en rapport i filformat PDF. Vi har valgt å sette disse tallene inn i et regneark fra Excel. For å fjerne unødvendige feilkilder mellom modelltankene i Gdansk og Ålesund, har vi valgt å benytte oss av like formler. Parameterne til modellene er skalerte, og det er det eneste som er endret. Gdansk har valgt at totalmotstadscoeffisienten består av formmotstand og restmotstand. Når Gdansk finner motstand i full skala, har de også valgt å ta med luftmotstandscoeffisient og ruhetstillegg. Dette er coeffisienter som er like for begge modeller, noe som gjør at denne feilkilden ikke eksisterer.

Formfaktor for modellene i Gdansk og Ålesund er like. Dette av samme grunn som nevnt ovenfor.

Tabellene under er presentasjoner av resultater fra testanlegget i Polen og deres modell.

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Lengde total	Loa	120	m
Lengde mellom perpendikulærer	Lpp	109,8	m
Lengde i vannlinjen	Lwls	118,7	m
Lengde over våt overflate	Loss		m
Bredde	Bs	23	m
Høyde	Hs		m
Luftmotstandsareal	Ats	581	m ²
Våt overflate	Ss	3431	m ²
Deplasement	Δs	12024	tonn
Volum	Vs		m ³
Temperatur saltvann	T	15	C
Tetthet saltvann	ρ_{sw}	1025,9	kg/m ³
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²
Blokkoeffisient	Cb	0,733	
Midtseksjonscoeffisient	Cm	0,984	
Prismatisk coeffisient	Cp	0,745	
Vannlinjekoeffisient	Cwl	0,903	
Dypgang	Tfs	5,5	m
	Tas	7,5	m
Posisjon for LCB fra nullkryss		-3,077	%
Kinematisk viskositet i 15 C	ν	1,2E-06	m ² /s
Ruhet	ks	0,00015	m

Tabell 7 Skipets dimensjoner i fullskala

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²
Temperatur i tank	t	16,7	C
Kinematisk viskositet	v	1,1E-06	m ² /s
Tetthet vann	ρ _w	998,7	kg/m ³
Dybde slepetank	ht	0,85	m
Bredde slepetank	wt	2	m
Tverrsnitt slepetank	A	1,7	m ²
Modellskala	λ	21,23	
Lengde total	Loam	5,65238	m
Lengde mellom perpendikulærer	Lppm	5,17193	m
Lengde i vannlinjen	Lwlm	5,59114	m
Max tverrsnittsareal	A _{xm}		m ²
Våt overflate	S _m	7,61238	m ²
Bredde	B _m	1,08337	m
Dyppgang aktre pute	Tap	0,35327	m
Dyppgang forre pute	Tfp	0,25907	m
Deplasement	Δm	1372,5	kg

Tabell 8 Modellens dimensjoner i skala 21,23

Vs (knop)	Fn	Vm	Vm(knop)	Rnm [10 ⁶]
8	0,121	0,893	1,736	4,582
9	0,136	1,005	1,953	5,154
10	0,151	1,117	2,170	5,727
11	0,166	1,228	2,387	6,300
12	0,181	1,340	2,604	6,873
13	0,196	1,451	2,821	7,445
14	0,211	1,563	3,038	8,018
14,5	0,219	1,619	3,147	8,304
15	0,226	1,675	3,255	8,591
15,5	0,234	1,731	3,364	8,877
16	0,241	1,786	3,473	9,163
17	0,256	1,898	3,690	9,736
18	0,271	2,010	3,907	10,309

Tabell 9 Testhastigheter for modell i skala 20,23 fra Gdansk

Resultatene i tabell 9 og 10 er fra data innsamlet av Skipsteknisk via testanlegget i Gdansk. Dette er resultater vi kommer til å sammenligne med resultater fra modelltanken i Ålesund. Med dette antyder vi at testresultatene i den kommersielle tanken er svært nærme virkeligheten. Dette testanlegget bruker helt normale prosedyrer som også er standarden for flere andre modelltanker.

R _{tm} [N]	C _{tm}	k	1+k	C _{fm}	C _{ffm}	C _{rm}
14,74	4,86E-03	0,27	1,27	3,45E-03	4,38E-03	4,76E-04
18,49	4,82E-03	0,27	1,27	3,38E-03	4,29E-03	5,28E-04
23,07	4,87E-03	0,27	1,27	3,31E-03	4,21E-03	6,61E-04
28,21	4,92E-03	0,27	1,27	3,26E-03	4,14E-03	7,85E-04
34,35	5,03E-03	0,27	1,27	3,21E-03	4,07E-03	9,63E-04
41,42	5,17E-03	0,27	1,27	3,16E-03	4,01E-03	1,16E-03
47,17	5,08E-03	0,27	1,27	3,12E-03	3,96E-03	1,12E-03
50,7	5,09E-03	0,27	1,27	3,10E-03	3,94E-03	1,15E-03
53,95	5,06E-03	0,27	1,27	3,08E-03	3,91E-03	1,15E-03
57,76	5,07E-03	0,27	1,27	3,06E-03	3,89E-03	1,18E-03
61,46	5,07E-03	0,27	1,27	3,05E-03	3,87E-03	1,20E-03
70,41	5,14E-03	0,27	1,27	3,01E-03	3,83E-03	1,31E-03

Tabell 10 Målt motstand og tilhørende koeffisienter fra Gdansk

C _{fs}	C _{ffs}	k	1+k	C _r	C _{as}	ΔC _f	C _{ts}	R _{ts} [kN]
1,71E-03	2,18E-03	0,27	1,27	4,76E-04	1,69E-04	4,95E-04	3,32E-03	98,9
1,69E-03	2,14E-03	0,27	1,27	5,28E-04	1,69E-04	4,95E-04	3,34E-03	125,9
1,67E-03	2,11E-03	0,27	1,27	6,61E-04	1,69E-04	4,95E-04	3,44E-03	160,2
1,64E-03	2,09E-03	0,27	1,27	7,85E-04	1,69E-04	4,95E-04	3,54E-03	199,4
1,63E-03	2,07E-03	0,27	1,27	9,63E-04	1,69E-04	4,95E-04	3,69E-03	247,7
1,61E-03	2,04E-03	0,27	1,27	1,16E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,87E-03	304,5
1,60E-03	2,03E-03	0,27	1,27	1,12E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,81E-03	347,7
1,59E-03	2,02E-03	0,27	1,27	1,15E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,83E-03	375,5
1,58E-03	2,01E-03	0,27	1,27	1,15E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,82E-03	400,3
1,57E-03	2,00E-03	0,27	1,27	1,18E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,85E-03	430,6
1,57E-03	1,99E-03	0,27	1,27	1,20E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,85E-03	459,6
1,56E-03	1,98E-03	0,27	1,27	1,31E-03	1,69E-04	4,95E-04	3,96E-03	532,4

Tabell 11 Resultater til skip med målinger fra Gdansk

Resultater fra NTNU i Ålesund

Dette er resultater fra slepetanken i Ålesund. Vi valgte å gjøre slepetest for modeller i to ulike størrelser. Den ene modellen er litt større enn standarden for det modellproduksjonen ved NTNU i Ålesund tillater. Dette medfører brudd i standard prosedyrer for modellbygging. Den andre modellen er i standard størrelse og følger standard prosedyrer for produksjon av modeller.

Det er blitt gjennomført 7 tester per hastighet. Pausene mellom hver test har vært varierende. På sitt lavest lå pausene på 8 min, men de fleste har lagt på 10 min. Motstandsmålingene for den største og laveste verdien har blitt eliminert og de resterende 5 har blitt tatt gjennomsnitt av. Det er også gjort rede for standardavvik for hver fart.

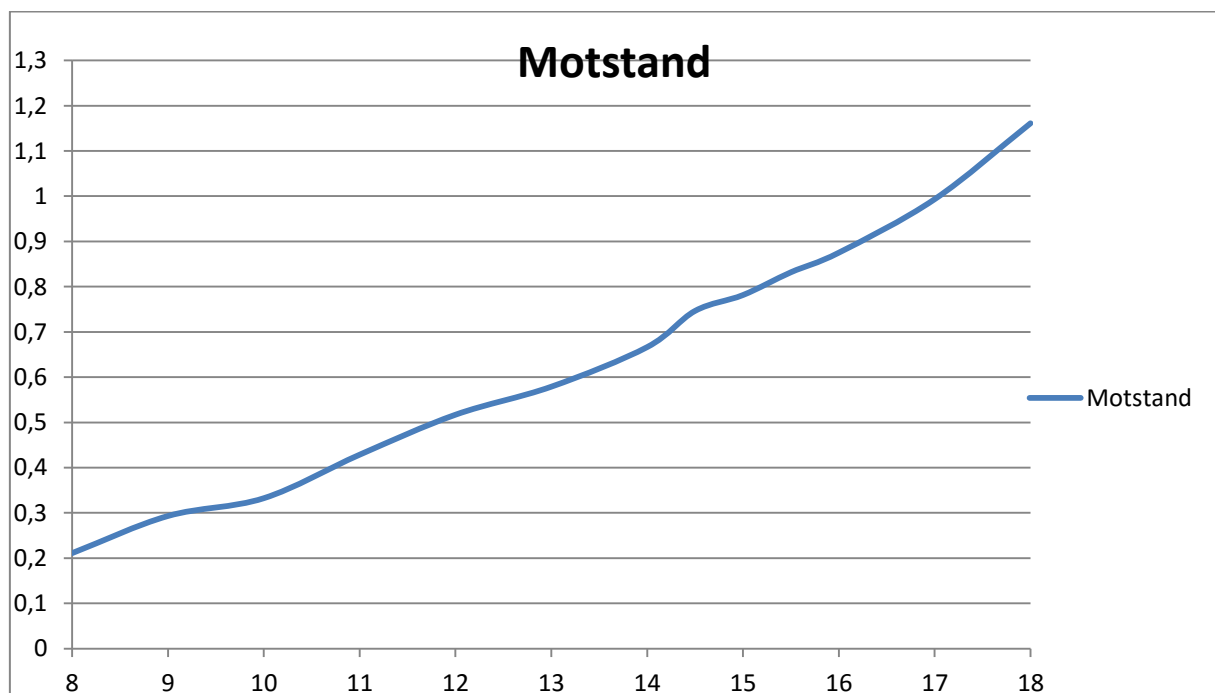
Mål	Symbol	Verdi ($\lambda=115$)	Verdi ($\lambda=100$)	Enhet
Gravitasjon	g	9,810	9,810	m/s ²
Temperatur i tank	t	16,700	16,700	C
Kinematisk viskositet	v	1,09E-06	1,09E-06	m ² /s
Tetthet vann	ρ_s	998,700	998,700	kg/m ³
Dybde slepetank	ht	0,850	0,850	m
Bredde slepetank	wt	2,000	2,000	m
Tverrsnitt slepetank	A	1,700	1,700	m ²
Modellskala	λ	115,000	100,000	
Lengde total	Loam	1,043	1,200	m
Lengde mellom pp	Lppm	0,955	1,098	m
Lengde i vannlinjen	Lwlm	1,032	1,187	m
Våt overflate	Sm	0,259	0,343	m ²
Bredde	Bm	0,200	0,230	m
Dypgang aktre pute	Tap	0,065	0,075	m
Dypgang forre pute	Tfp	0,048	0,055	m
Deplasement	Δm	8,635	13,133	kg

Tabell 12 Modellens dimensjoner i skala 115 (standard størrelse for NTNU i Ålesund) og skala 100 (utvidet standard)

Målinger for modell i skala 115

	8	9	10	11	12	13	14	14,5	15	15,5	16	17	18
1	0,198	0,297	0,309	0,409	0,523	0,535	0,681	0,736	0,786	0,838	0,899	1,009	1,17
2	0,184	0,287	0,316	0,416	0,529	0,576	0,645	0,752	0,773	0,838	0,855	1	1,167
3	0,228	0,311	0,341	0,439	0,505	0,571	0,652	0,746	0,764	0,817	0,896	0,947	1,153
4	0,21	0,3	0,355	0,436	0,527	0,609	0,677	0,753	0,804	0,83	0,884	0,982	1,174
5	0,222	0,27	0,341	0,442	0,502	0,604	0,678	0,744	0,78	0,836	0,842	1,029	1,142
Gj.	0,211	0,293	0,332	0,429	0,517	0,579	0,666	0,746	0,782	0,832	0,875	0,993	1,161
STD.AV	0,022	0,028	0,022	0,018	0,018	0,048	0,022	0,014	0,032	0,029	0,039	0,032	0,02
Brent	0,229	0,317	0,36	0,454	0,544	0,651	0,686	0,766	0,806	0,874	0,929	1,039	1,178
	0,173	0,234	0,306	0,408	0,494	0,506	0,629	0,723	0,713	0,777	0,817	0,978	1,124

Tabell 13 Testresultater fra målinger i [N]. Skala 115



Figur 26 Grafisk fremstilling av motstand mot skipshastighet.

Rtm [N]	Ctm	k	1+k	Cfm	Cffm	Cr
0,21109	8,59E+00	0,27	1,27	5,74E-03	7,29E-03	8,58E+00
0,29316	9,43E+00	0,27	1,27	5,58E-03	7,09E-03	9,42E+00
0,33247	8,66E+00	0,27	1,27	5,44E-03	6,91E-03	8,65E+00
0,42863	9,23E+00	0,27	1,27	5,32E-03	6,76E-03	9,22E+00
0,57894	1,05E+01	0,27	1,27	5,22E-03	6,63E-03	1,05E+01
0,57894	8,92E+00	0,27	1,27	5,12E-03	6,51E-03	8,92E+00
0,66648	8,86E+00	0,27	1,27	5,04E-03	6,40E-03	8,85E+00
0,74646	9,25E+00	0,27	1,27	5,00E-03	6,35E-03	9,24E+00
0,78156	9,05E+00	0,27	1,27	4,96E-03	6,30E-03	9,04E+00
0,83186	9,02E+00	0,27	1,27	4,92E-03	6,25E-03	9,01E+00
0,87517	8,90E+00	0,27	1,27	4,89E-03	6,21E-03	8,90E+00
0,99342	8,95E+00	0,27	1,27	4,82E-03	6,13E-03	8,95E+00

Tabell 14 Målt motstand og tilhørende koeffisienter for modellskala 115.

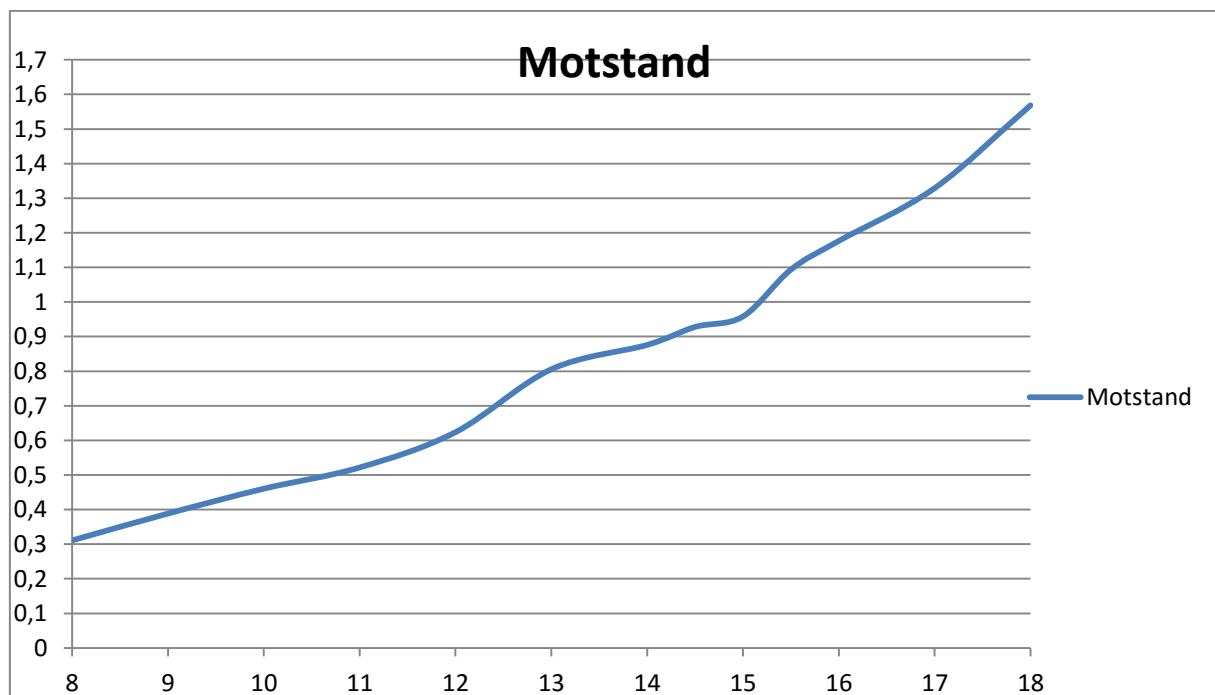
Cfs	Cffs	k	1+k	Cr	Cas	ΔC_f	Cts	Rts [kN]
1,71E-03	2,18E-03	0,27	1,27	8,58E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,59E+00	255,9
1,69E-03	2,14E-03	0,27	1,27	9,42E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,42E+00	355,5
1,67E-03	2,11E-03	0,27	1,27	8,65E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,66E+00	403,1
1,64E-03	2,09E-03	0,27	1,27	9,22E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,22E+00	519,8
1,63E-03	2,07E-03	0,27	1,27	1,05E+01	1,69E-04	4,95E-04	1,05E+01	702,1
1,61E-03	2,04E-03	0,27	1,27	8,92E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,92E+00	702,0
1,60E-03	2,03E-03	0,27	1,27	8,85E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,85E+00	808,2
1,59E-03	2,02E-03	0,27	1,27	9,24E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,24E+00	905,2
1,58E-03	2,01E-03	0,27	1,27	9,04E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,04E+00	947,8
1,57E-03	2,00E-03	0,27	1,27	9,01E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,01E+00	1008,7
1,57E-03	1,99E-03	0,27	1,27	8,90E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,90E+00	1061,3
1,56E-03	1,98E-03	0,27	1,27	8,95E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,95E+00	1204,7
1,55E-03	1,96E-03	0,27	1,27	9,33E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,33E+00	1408,1

Tabell 15 Resultater til skip fra modell med skala 115.

Målinger for modell i skala 100

	8	9	10	11	12	13	14	14,5	15	15,5	16	17	18
1	0,342	0,4	0,471	0,556	0,666	0,809	0,947	0,907	1,057	1,093	1,201	1,302	1,532
2	0,25	0,391	0,447	0,474	0,65	0,755	0,851	1,016	0,971	1,05	1,184	1,346	1,556
3	0,296	0,403	0,481	0,54	0,572	0,841	0,861	0,819	0,879	1,047	1,202	1,327	1,565
4	0,313	0,359	0,458	0,472	0,572	0,778	0,859	0,963	0,924	1,139	1,11	1,384	1,604
5	0,353	0,389	0,444	0,565	0,658	0,845	0,863	0,933	0,958	1,139	1,187	1,288	1,585
Gj.	0,311	0,388	0,46	0,522	0,624	0,805	0,876	0,928	0,958	1,094	1,177	1,329	1,568
STD.AV	0,053	0,023	0,02	0,066	0,077	0,072	0,074	0,116	0,105	0,051	0,068	0,054	0,041
Brent	0,389	0,346	0,49	0,41	0,477	0,658	0,742	0,744	0,8	1,033	1,275	1,282	1,51
	0,248	0,404	0,44	0,598	0,697	0,873	0,968	1,086	1,11	1,154	1,066	1,428	1,627

Tabell 16 Testresultater fra målinger i [N]. Skala 100



Figur 27 Grafisk fremstilling av motstand mot skipshastighet.

Rtm [N]	Ctm	k	1+k	Cfm	Cffm	Cr
0,31082	9,56E+00	0,27	1,27	5,55E-03	7,05E-03	9,56E+00
0,38844	9,44E+00	0,27	1,27	5,40E-03	6,86E-03	9,44E+00
0,46023	9,06E+00	0,27	1,27	5,27E-03	6,69E-03	9,06E+00
0,5216	8,49E+00	0,27	1,27	5,15E-03	6,55E-03	8,48E+00
0,62369	8,53E+00	0,27	1,27	5,05E-03	6,42E-03	8,52E+00
0,80549	9,39E+00	0,27	1,27	4,96E-03	6,30E-03	9,38E+00
0,87594	8,80E+00	0,27	1,27	4,88E-03	6,20E-03	8,80E+00
0,92775	8,69E+00	0,27	1,27	4,85E-03	6,15E-03	8,68E+00
0,95813	8,39E+00	0,27	1,27	4,81E-03	6,11E-03	8,38E+00
1,09357	8,96E+00	0,27	1,27	4,77E-03	6,06E-03	8,96E+00
1,17662	9,05E+00	0,27	1,27	4,74E-03	6,02E-03	9,05E+00
1,32909	9,06E+00	0,27	1,27	4,68E-03	5,94E-03	9,05E+00
1,56844	9,53E+00	0,27	1,27	4,62E-03	5,87E-03	9,53E+00

Tabell 17 Resultater og tilhørende koeffisienter for modellskala 100.

Cfs	Cffs	k	1+k	Cr	Cas	ΔC_f	Cts	Rts [kN]
1,71E-03	2,18E-03	0,27	1,27	8,98E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,98E+00	267,8
1,69E-03	2,14E-03	0,27	1,27	9,44E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,44E+00	356,2
1,67E-03	2,11E-03	0,27	1,27	9,06E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,06E+00	422,0
1,64E-03	2,09E-03	0,27	1,27	8,48E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,49E+00	478,2
1,63E-03	2,07E-03	0,27	1,27	8,52E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,53E+00	571,9
1,61E-03	2,04E-03	0,27	1,27	9,38E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,38E+00	738,6
1,60E-03	2,03E-03	0,27	1,27	8,80E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,80E+00	803,2
1,59E-03	2,02E-03	0,27	1,27	8,68E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,69E+00	850,7
1,58E-03	2,01E-03	0,27	1,27	8,38E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,38E+00	878,5
1,57E-03	2,00E-03	0,27	1,27	8,96E+00	1,69E-04	4,95E-04	8,96E+00	1002,7
1,57E-03	1,99E-03	0,27	1,27	9,05E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,05E+00	1078,9
1,56E-03	1,98E-03	0,27	1,27	9,05E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,05E+00	1218,7
1,55E-03	1,96E-03	0,27	1,27	9,53E+00	1,69E-04	4,95E-04	9,53E+00	1438,2

Tabell 18 Resultater til skip fra modell med skala 100.

Prosentvis forskjell og korreksjonsfaktor

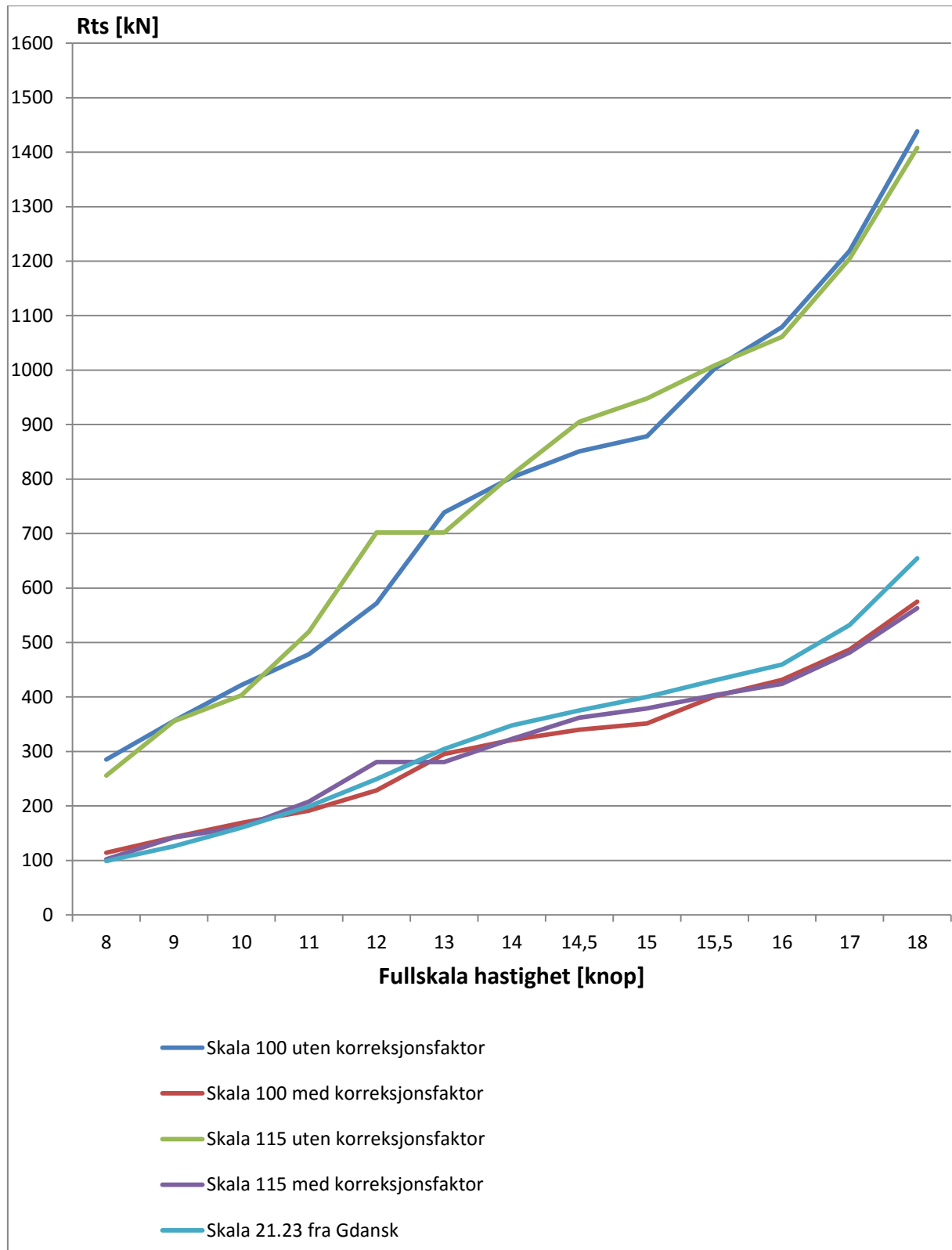
Fart	Prosentvis forskjell $\lambda=115$	Prosentvis forskjell $\lambda=100$
8	158,79 %	188,16 %
9	182,35 %	182,89 %
10	151,65 %	163,41 %
11	160,66 %	139,84 %
12	181,39 %	129,20 %
13	130,48 %	142,48 %
14	132,44 %	131,00 %
14,5	141,13 %	126,61 %
15	136,76 %	119,47 %
15,5	134,27 %	132,87 %
16	130,91 %	134,75 %
17	126,32 %	128,95 %
18	115,07 %	119,68 %
Snitt	144,79 %	141,49 %

Tabell 19 Prosentvis forskjell mellom NTNU og Gdansk før korreksjonsfaktor

Resultatene fra NTNU i Ålesund er langt unna de fra Gdansk. Dette betyr at motstandsmålingen må ganges med en faktor. Vi velger faktoren 0,4 etter samtale med Vegard Larssen v/ STT.

Fart	Prosentvis forskjell $\lambda=115$	Prosentvis forskjell $\lambda=100$
8	3,44 %	15,19 %
9	12,86 %	13,08 %
10	0,59 %	5,30 %
11	4,20 %	-4,13 %
12	12,49 %	-8,38 %
13	-7,87 %	-3,06 %
14	-7,08 %	-7,66 %
14,5	-3,61 %	-9,41 %
15	-5,35 %	-12,27 %
15,5	-6,35 %	-6,90 %
16	-7,69 %	-6,15 %
17	-9,53 %	-8,47 %
18	-14,02 %	-12,17 %
Snitt	-2,15 %	-3,46 %

Tabell 20 Prosentvis forskjell mellom NTNU og Gdansk etter korreksjonsfaktor



Figur 28 Grafisk fremstilling av resultater med og uten korreksjonsfaktor

Resultater fra Stadt Towing Tank

Modellen i skala 115 ble også testet i anlegget til Stadt Towing Tank. Dette testanlegget er 185 m langt, 8 m bredt og 4 m dypt. Mye av utstyret på NTNU i Ålesund og STT er likt, men i en mindre størrelse. Dessuten tester STT modeller kommersielt og får derfor mer nøyaktige resultater. Testanlegget til STT har nytt og moderne utstyr.

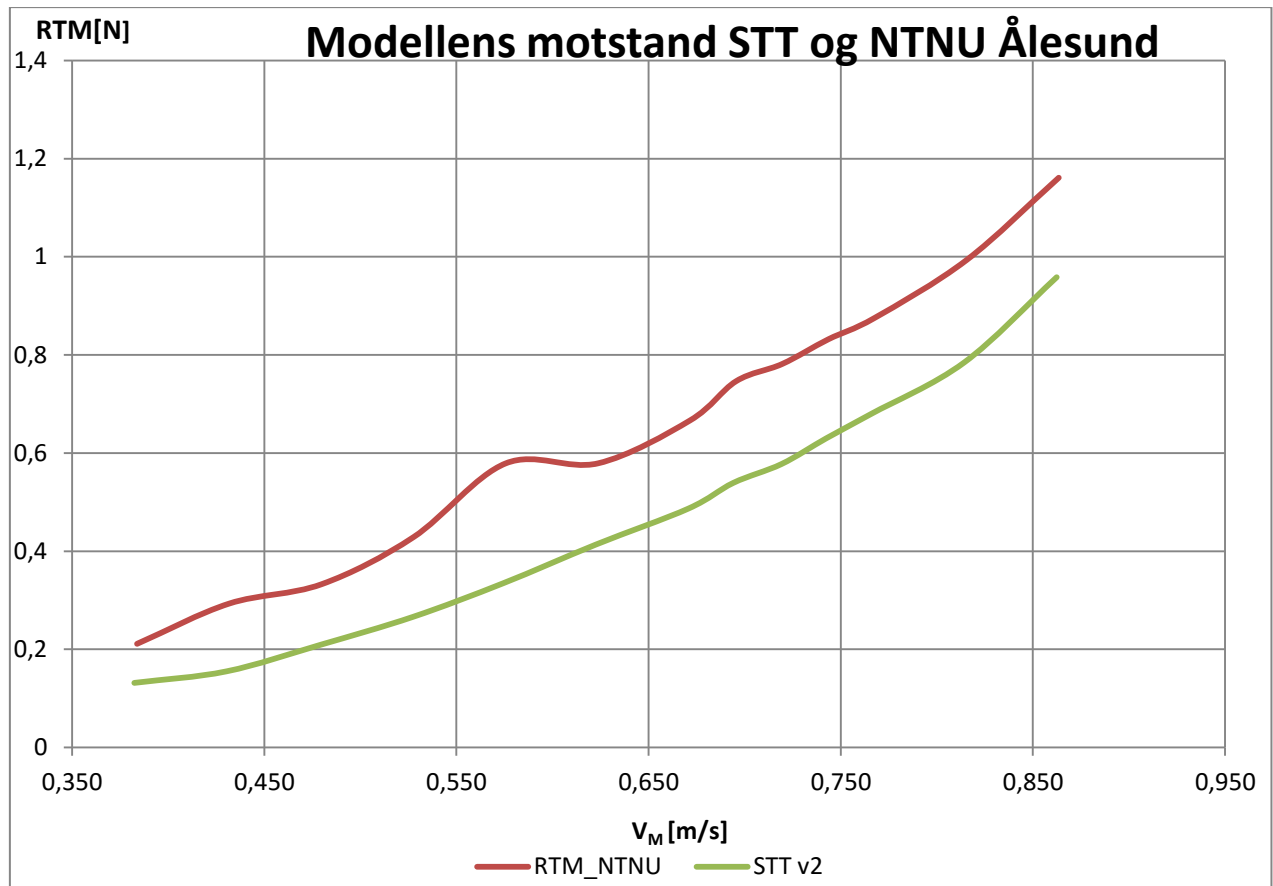
Testene som ble gjennomført av STT ble utført med deres metoder og prosedyrer for omregning. Dette ga følgende resultater.

Vs	Vm	RTm
[knop]	[m/s]	[N]
8,0	0,382	0,1315
9,0	0,430	0,1551
10,0	0,479	0,2092
11,0	0,528	0,2663
12,0	0,574	0,3345
13,0	0,622	0,4133
14,0	0,671	0,4870
14,5	0,694	0,5393
15,0	0,719	0,5776
15,5	0,742	0,6300
16,0	0,766	0,6800
17,0	0,814	0,7845
18,0	0,862	0,9583

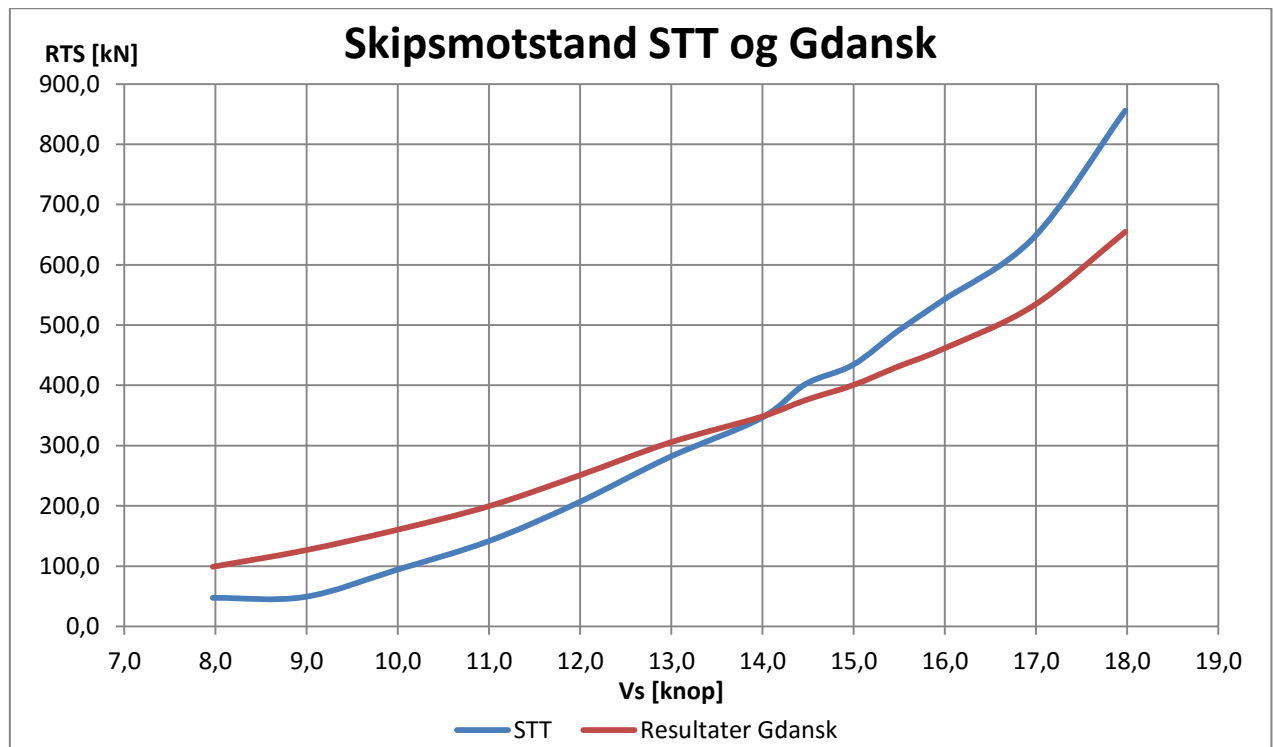
Tabell 21 Motstandsmålinger av modell i skala 115 fra STT

VS	VM	Fn	RnM	RTM	CTM	CFM	CVM	CR	RnS	CFS	CVS	CTS	RTS
[kn]	[m/s]	[-]	[·10 ⁻⁶]	[N]	[·10 ³]	[·10 ³]	[·10 ³]	[·10 ³]	[·10 ⁻⁹]	[·10 ³]	[·10 ³]	[·10 ³]	[kN]
8,0	0,38	0,12	0,36	0,13	6,94	5,92	7,52	-0,58	0,41	1,72	2,18	1,60	47,4
9,0	0,43	0,14	0,41	0,16	6,46	5,75	7,31	-0,85	0,46	1,69	2,14	1,30	48,7
10,0	0,48	0,15	0,45	0,21	7,03	5,61	7,12	-0,09	0,51	1,67	2,12	2,02	94,0
11,0	0,53	0,17	0,50	0,27	7,39	5,48	6,96	0,42	0,57	1,64	2,09	2,51	141,5
12,0	0,57	0,18	0,54	0,33	7,83	5,37	6,83	1,00	0,62	1,63	2,07	3,07	204,9
13,0	0,62	0,20	0,59	0,41	8,23	5,28	6,70	1,53	0,67	1,61	2,05	3,58	280,6
14,0	0,67	0,21	0,64	0,49	8,35	5,19	6,59	1,77	0,72	1,60	2,03	3,79	345,5
14,5	0,69	0,22	0,66	0,54	8,64	5,15	6,53	2,10	0,74	1,59	2,02	4,12	401,9
15,0	0,72	0,23	0,68	0,58	8,62	5,10	6,48	2,14	0,77	1,58	2,01	4,15	434,0
15,5	0,74	0,23	0,70	0,63	8,82	5,07	6,44	2,39	0,80	1,57	2,00	4,39	489,3
16,0	0,77	0,24	0,73	0,68	8,95	5,03	6,39	2,56	0,82	1,57	1,99	4,55	540,0
17,0	0,81	0,26	0,77	0,78	9,13	4,96	6,30	2,83	0,87	1,56	1,98	4,81	645,0
18,0	0,86	0,27	0,82	0,96	9,95	4,90	6,22	3,72	0,92	1,55	1,96	5,69	855,8

Tabell 22 Resultater av modell i skala 115 fra STT



Figur 29 Grafisk fremstilling av målt motstand mellom STT og NTNU i Ålesund



Figur 30 Grafisk fremstilling av skipsmotstand mellom STT og Gdansk

Resultater fra test mellom to forskjellige overflater

Det ble nødvendig å teste skummodellens overflate. Vi fikk tak i en modell med lik overflate som brukes i kommersielle tanker. Denne modellen skal vi teste opp mot en lik modell, men med samme overflate som benyttes på NTNU i Ålesund. Skipsmodellen som blir testet har dimensjonene som er oppført i tabell 23.

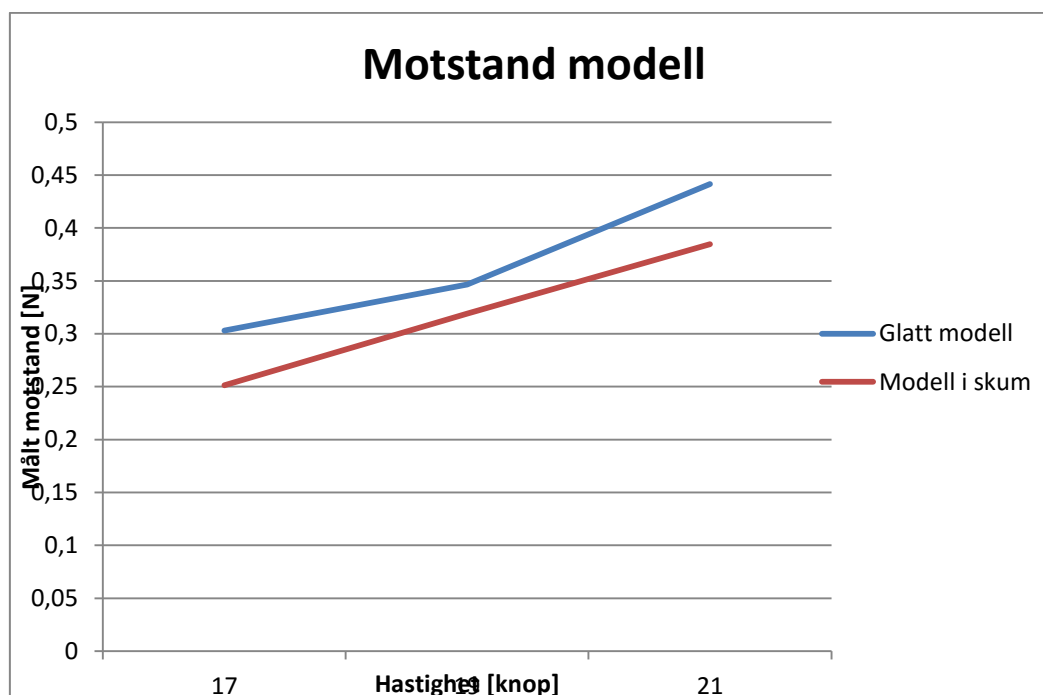
Dimensjoner skip			Dimensjoner modell			
Mål	Symbol	Verdi	Enhet	Symbol	Verdi	Enhet
Lengde total	Loa	275	m	Loam	1,01	m
Lengde mellom pp	Lpp	261	m	Lppm	0,96	m
Lengde i vannlinjen	Lwls	272	m	Lwlm	1,00	m
Bredde	Bs	44	m	Bm	0,16	m
Høyde	Hs	27,4	m			
Deplasement	Δs	99133333	kg	Δm	4,74	kg
Volum	Vs	96630,6	m ³	Vm	4,75	dm ³
Temperatur saltvann	T	15	C	t	16,7	C
Tetthet saltvann	ρ_{sw}	1025,9	kg/m ³	ρ_w	998,7	kg/m ³
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²	g	9,81	m/s ²
Blokkoeffisient	Cb	0,726		Cb	0,726	
Dypgang	Tfs	11	m	Tap	0,040	m
	Tas	11	m	Tfp	0,040	m
Posisjon for LCB fra nullkryss		3,634	%			
Skala				λ	273	
Dybde tank				ht	0,85	m
Bredde tank				wt	2	m

Tabell 23 Dimensjoner for skip og modell

Den ene modellen har så fin overflate som det er mulig å oppdrive på dette nivået, mens den andre modellen har en tilnærmet ubehandlet overflate i XPS-materiale. Det eneste som er gjort mellom fresing og testing er pussing med fint sandpapir. Vi gjør sju målinger per hastighet på hver modell. Det blir test for tre hastigheter. Høyeste og laveste måling utelates fra resultatet. Dette gir resultatene som vist i tabell 24.

	Glatt Modell			Skum modell		
	17	19	21	17	19	21
1	0,280	0,353	0,434	0,261	0,340	0,383
2	0,313	0,355	0,480	0,258	0,296	0,382
3	0,323	0,338	0,426	0,262	0,297	0,379
4	0,311	0,335	0,441	0,243	0,316	0,392
5	0,287	0,351	0,426	0,235	0,346	0,387
Std.	0,038	0,013	0,026	0,020	0,033	0,028
Gj.	0,303	0,347	0,441	0,251	0,319	0,385
Brent						
Høy	0,365	0,370	0,481	0,263	0,359	0,401
Lav	0,245	0,334	0,416	0,208	0,267	0,317

Tabell 24 Motstandsmålinger av glatt modell og skummodell



Figur 31 Grafisk fremstilling av gjennomsnittsmotstand mellom glatt- og skummodell

Økningen av motstanden mellom glatt- og skummodell er fremstilt i tabell 25.

Skipshastighet [kn]	Prosentvis forskjell
17	20,51 %
19	8,69 %
21	14,77 %

Tabell 25 Prosentvis økning for skummodell i forhold til glatt modell

Drøfting

I dette kapitlet kan en lese om hva de ulike resultatene betyr. Som en del av hovedoppgaven skal slepetanken undersøkes nøyaktigheten av. Gjennom å endre én variabel for hver test, er det blitt mulig å avdekke noen sannheter. I hovedsak har vi undersøkt faktorer som skala, utstyr og overflate.

Størrelse

En av faktorene som er endret i forhold til modelltesting i kommersielle testanlegg er modellens størrelse. Siden tanken på NTNU i Ålesund er rundt 20 ganger mindre, blir modellene som testes også av en mindre størrelse. Når modellene blir så kraftig skalert, kan små feil og detaljer ha stor betydning på bevegelse og motstand.

Standardmodell

Modellene som blir produsert på skolen blir frest ut av Sundolitts XPS-plater. Skroget blir frest ut i to deler, slik at modellens bredde begrenses av platens tykkelse. Hver plate er 10 cm, noe som fører til at modellene blir begrenset til en bredde på 20 cm. Modellen kan maksimalt ha en lengde på 120 cm.

Resultatene fra motstandsmålingene til modellen med skalafaktor 115 er veldig høye. Tabell 18 som inneholder den prosentvise forskjellen mellom resultatene i Gdansk og Ålesund viser nettopp dette. Motstanden i Ålesund, sammenlignet med Gdansk, beregnes til å være jamt over dobbelt så stor, for samtlige hastigheter. Den blir også opp mot 200 % for en av hastighetene. Den samme tabellen viser at gjennomsnittlig øker fullskala-motstanden med 144,79 %. Figur 28 viser to grafer som er langt unna hverandre i verdi. Likevel kan man se to grafer som stiger og flater ut for samme hastigheter. Grafene har altså lik form.

Dersom man multipliserer motstandsmålingene med faktoren 0,4 blir resultatene mye likere hverandre. I tabell 19 ser vi at resultatene svinger mellom å være 10 % lavere eller høyere. Dette gir en gjennomsnittlig forskjell på bare 2,5 %. Opphavet til 0,4 som korreksjonsfaktor kommer av $1/2.5$. Dette ble anbefalt av Vegard Åstebøl Larsen som er leverandør av utstyret i modelltanken. Loggingsprogrammet bruker en gain-faktor på 2.5, noe som ga Larsen en

mistanke om at det enten kunne ligge en feil enten i regnearket eller programvaren. Etter en gjennomgang av regnearket ble det avklart at feilen ikke lå der.

For å finne ut om feilen lå i programvaren ble det gjennomført en enkel test. Denne gikk ut på å feste en kjent kraft til lastcellen, for så å observere og logge målingen. Observasjonene og loggingene samsvarte med den kjente vekten, noe som gjorde at vi konkluderte med at programvaren var korrekt programmert.

En annen årsak til det store avviket kommer av dårlig håndarbeid. Små detaljer under utformingen kan ha stor innvirkning på resultatet. Detaljerte områder som bulb og skegg må utformes med stor presisjon. Dette er også et område der skjøten fra de to skrogdelenes går tvers igjennom. Unøyaktigheten knyttet til bearbeidningen av bulb og skegg kan være med på å øke motstanden.

Det store avviket i forbindelse med modellens størrelse kan skyldes mange ting. Mange av dem skyldes skalaeffekter som grensesjikt, overflatespenning og modellruhet. Dette er faktorer som gir høyere motstand. Med den informasjonen vi har skaffet til nå kan vi si at korreksjonsfaktoren på 0,4 dekker skalaeffekter for modeller med skaleringsfaktor 115. Det er ikke sikkert at 0,4 er en god korreksjonsfaktor for modeller med andre skaleringsfaktorer.

Stor modell

Resultatene fra motstandsmålingene av modellen med skalafaktor 100 viser at motstanden fortsatt er for høy. Tabell 18 viser at økningen fortsatt ligger på rundt det dobbelte. For to hastigheter er resultatet i Ålesund opp mot 200 % høyere enn hos Gdansk. Figur 27 viser en graf av motstandsresultatene til denne modellen. Som for modellen i skala 115, har også denne modellen for høy motstand. Sett i forhold til grafen for resultatene i Gdansk, er grafen til den store modellen mindre lik enn grafen til standardmodellen.

Når man multipliserer motstandsmålingene med 0,4 blir resultatene bedre. Tabell 20 viser da at resultatene varierer rundt pluss/minus 15 %. Gjennomsnittlig varierer resultatet fra Ålesund med 3,46 %.

Blokkeringseffekt kan være en av grunnene til at motstandsmålingene er så høye for denne modellen. Dette kommer av at modellens tverrsnitt er så stort i forhold til tankens tverrsnitt. Blokkeringseffekten gjør at den relative hastigheten mellom modell og bunn/sidevegg virker større. Dette betyr at testhastigheten er for høy, og dermed høyere motstand.

Modellen er fortsatt for liten til å unngå skalaeffekter fra vannet, noe som gjør at de samme effektene fortsatt er med på å øke motstanden.

Den store modellen er bygd på en annen måte enn modellen i standard størrelse. Skroget er blitt frest ut i fem deler; to skutesider, to deler i midten og én baug/bulb. Denne modellen har altså en bulb som er frest ut i én del. Skjøten mellom skutesidene og delene i midten treffer akkurat på fremre skulder. Dette skaper mer avløsning på et allerede kritisk område. Ujamnheten rundt fremre skuldre bidrar til å øke motstanden.

Ved å øke størrelsen på modellen blir det lite eller ingen endring på resultatet i forhold til en modell av standard størrelse.

Utstyr

Lastcellen måler voltsignaler og programvaren bruker en omregningsfaktor (gain) for å få målinger i newton. Denne omregningsfaktoren er ikke oppgitt fra produsent, siden den varierer. Jo flere kalibreringer operatøren gjennomfører, jo mer nøyaktig blir omregningsfaktoren. Kalibreringen av denne sensoren for disse testene har bare foregått én gang for én vekt. Dette kan være med på å gi en høyere målt motstand. Omregningsfaktoren i Ålesund har presisjon til én desimal.

Signalet som sender loggingsdata fra slepevognen til datamaskinen har hatt en tendens til å henge seg opp. Når dette henger seg opp registreres samme avlesning flere ganger. Dette kan være med på å bikke motstandsmålingen den ene eller andre veien. For å unngå at disse avlesningene kommer med i resultatet må man gå over all loggingsdata manuelt. Dette introduserer en menneskelig faktor som kan være en feilkilde.

Lastcellen som brukes under testene hos NTNU i Ålesund er bygd for å tåle 500 N. Når lastcellen er så stor kan målinger som gir lavt utslag være unøyaktige. Motstandsmålingene på disse modellene har vært veldig små. Ingen målinger fra noen tester har vært over 2 N. En lastcelle med kapasitet på 500 N er derfor alt for stor.

For å teste utstyrets presisjon blir den samme modellen (standard størrelse) som ble testet i Ålesund testet i Måløy hos STT. Dette testanlegget leverer resultater med stor nøyaktighet. Tabell 21 viser motstandsmålingene til modellen testet i Måløy. Grafene i figur 29 viser at motstandsmålingene fra STT er mye lavere enn de fra NTNU i Ålesund. Testanlegget er naturligvis mye større. Blokkeringseffekt har ingen innvirkning på testresultatet. Lastcellen som ble brukt hadde en kapasitet på 20 N.

Modellproduksjon

Resultatene fra testene som ble gjennomført hos STT var så langt unna resultatene fra Gdansk, at det er nærliggende å tro at modellen er en viktig feilkilde. Modellens materiale, metoder for bearbeiding, nøyaktighet og verktøy er viktige faktor som gjør at resultatet avviker så mye.

Overflaten til modellen som er testet i Gdansk er behandlet slik at den blir så fin som mulig. Den eneste behandlingen som modellene i Ålesund har fått er pussing med fint pussepapir. For å finne forskjellen mellom de to overflatene ble det testet to identiske modeller med forskjellig overflate. Modellen med fin overflate er laget hos Shape AS og er fra et tidligere studentprosjekt. Modellen i XPS-materiale ble frest ut med den samme fresen som har frest ut de tidligere modellene.

Resultatet fra motstandstestene som er presentert i Tabell 24 er veldig overraskende. Man skulle tro at den modellen med fin overflate skulle få mindre motstand enn den med ru overflate. Dette er ikke tilfelle. Det er testet for tre hastigheter og for samtlige hastigheter har den fine modellen mer motstand. For 17 kn har den fine modellen 20.51% høyere motstand. Dette er betydelig mye større motstand enn forventet. Til sammenligning er motstanden for 19 kn bare 8.69% større. Fra figuren 31 ser en at forskjellen mellom motstanden for de to materialtypene varierer så mye for hver hastighet at det er vanskelig å konkludere med noe.

Grunnen til at den grove modellen får mindre motstand er vanskelig å si. Det kan være at materialet danner en liten lufthinne som gjør at modellen glir lettere i vannet. Det kan også hende at materialet gjør at modellen oppfører seg annerledes. Ofte ser man at negativ trim er gunstig for modellens motstand.

En annen feilkilde mellom modellen i Gdansk og de som er testet hos NTNU i Ålesund er måten modellene i Ålesund er pusset. Som nevnt tidligere kan små endringer hos modeller med stor skala faktor få store konsekvenser. Modellene som er testet her har blitt finpusset for hånd. Dette er en overflatebehandling som kan være med på å endre skrogets linjer. Dette gjelder spesielt i akterskipet og baugen.

Fra prosedyrene anbefales det å bruke et robust materiale dersom modellen skal være i bruk lenge. Materialet som blir brukt i Ålesund anses ikke for å være et robust materiale. Det skal lite til for at det blir merker eller bulker i overflaten. Avløsningene rundt disse små skadene kan være med på å øke motstanden til modellen. De samme skadene blir enormt store dersom de skaleres opp til full størrelse.

Konklusjon

Det er vanskelig å konkludere med noe om slepetankens presisjon per dags dato. Det er fortsatt mange tester som kan kjøres og det er mye av utstyret som skal forbedres. Slik slepetanken er nå, er det enkelt å si at den måler veldig høy motstand. Dersom man ser bort i fra motstandsverdiene, kan vi likevel se at man får riktig form på motstandskurven. Dette er viktig, slik at en potensiell korreksjonsfaktor kan bli aktuelt. Ut i fra testene som ble gjennomført hos STT, kan vi konkludere med at modellen er en viktig årsak til differansen i resultatene fra Ålesund og Gdansk er så stor. Siden modellskalaen i Ålesund blir så stor, får vannet helt andre egenskaper. Modellens grensesjikt blir helt annet for de modellene som er skalert for en mikrotank, i forhold til de som er nedskalert til en kommersiell slepetank og skipene i fullskala.

Relative endringer i form av hastighet er blitt testet. Dette er noe slepetanken klarer å detektere. Man kan se at motstanden stiger eksponentielt og det forekommer hastigheter som er mer gunstig enn andre, altså motstanden kan være relativt lavere for enkelte hastigheter. Det er viktig med tanke på læring at slepetanken klarer å gi samme form på motstandskurven. Dette gir et godt bilde på hvordan skipsmotstand oppfører seg.

Det som er viktig å ta i betraktning sleptankens egentlige formål. Det er en slepetank for studentene som skal gi rask respons på arbeid, fremfor nøyaktige tall. Målet her er at studenter skal kunne lage linjer for skipet, frese ut modell, teste modellen, for så å regne ut motstand for skroget i løpet av kanskje få dager. Deretter kan det finnes nødvendig motorkapasitet og videre størrelse på motorrom. Læringsutbytte fra en slik prosjekteringsprosess enormt og slepetanken oppfyller dermed sin hensikt her. Resultatene trenger ikke alltid å være perfekte, det viktige er at de relative målingene stemmer, samtidig som at tallene er noen lunde fornuftige. Enkelheten av modellproduksjon og testing gjør at det er mulig å endre på linjene og ta nye tester.

Videre arbeid

Det bør være et mål å bygge opp en database med forskjellige korreksjonsfaktorer for flere skrog. Her bør det være et fokus på hva korreksjonsfaktoren blir for hver skalafaktor. Det kan være interessant å finne ut om korreksjonsfaktoren har en sammenheng med skaleringen av modellen. Dersom det finnes en sammenheng, vil en slik database gjøre resultatene fra en slepetest svært presise.

Det finnes et skrog som er utviklet av INSEAN som er gjort mange tester på. For denne modellen er det gjort slepetester fra flere slepetanker og CFD-beregninger. Å få tak i linjene til denne modellen og teste den i slepetanken til NTNU Ålesund bør prioriteres.

Testing av overflate er ikke ferdig. Det er fortsatt flere tester som må gjøres. Man må undersøke referansemodellen som representerte en glatt modell. Det er ikke sikkert at denne modellen er så glatt som man skulle anta. Behandling av overflate er også et tema som man må se på. Det bør gjøres tester for å finne ut om det er hensiktsmessig å behandle overflaten til en skummodell. Med dette menes sparkling, maling eller lakking.

Slepetanken skal allerede nå oppdateres. Den store lastcellen skal byttes ut til en som er mye mindre. Dette betyr at målingene i det lave området er mer presist. Det har vist seg at det er dette området som er mest relevant for de små modellene som blir testet her. Det skal også installeres noen gummidempere som vil fjerne mesteparten av vibrasjonene. Skinnene har allerede begynt å ruste, så de skal byttes ut før de gjør noen skade. Til slutt skal motorene som driver slepvognen byttes ut, da disse er underdimensjonerte for dette anlegget.

Når oppdateringene er fullført må det gjøres noen retester. Alt trenger ikke å testes på nytt, men det bør testes nok for å kunne se tendenser. Dersom tendensene viser seg å brikke den ene eller andre veien må man teste videre.

I vår oppgave har vi sett på en liten del av det som kan gjøres i slepetanken. Mulighetene er mange, der det nesten bare er fantasien som begrenser. Skipsmotstand er bare et fragment av det som kan undersøkes. Utstyret kan brukes til blant annet å teste drag for not, rør og andre geometrier. Med å bytte lastcellen til å måle to-aksial kraftgang er det også mulig å måle løft for foil-fartøy. Mye av utstyret som skal til for å teste andre elementer er allerede installert i slepevognen. Det eneste som må utvikles er testmetoder som gjør at det resultatet man leter etter lar seg måle uten implikasjoner.

Referanser

1. <http://www.sintef.no/marintek/laboratorier/skipsmodelltanken/> (s.6)
2. Basic Ship Theory volume 2, Ch. 10 Model Testing, KJ Rawson and EC Tupper, Butterworth-Heinemann (2001) (s.10)
3. Basic Ship Theory Volume 2, fig. 10.22 (s.11)
4. Practical Ship Hydrodynamics ch 1.2, Volker Bertram, Butterworth-Heinemann, 2000 (s.11)
5. Volker Bertram, Practical Ship Hydrodynamics, ch 3.2, Butterworth Heinemann, 2000 (s.15)
6. ITTC – Recommended Procedures, Testing and Extrapolation Methods, Resistance, Resistance Test 2002. (s.17)
7. Anbud levert fra Stadt Towing Tank, Vegard Larssen, 2015. (s.21)
8. ITTC Recommended Procedures, Ship models 3.2.1, 7.5-01-01-01, 2002 (s.33)
9. Ship Design For Efficiency and Economy, ch. 6.3, H. Schneekluth and V. Bertram, Butterworth-Heinemann, 1998 (s.52)
10. Figur av Trim Diagram, http://hawaii-marine.com/templates/Trim_Article.htm (s.53)
11. Karakteristikk av forskningsfasiliteter ved CTO S.A, http://www.cto.gda.pl/fileadmin/Foldery/PROPOZYCJA_1.0_eng_www.pdf, side 15 (s.55)
12. ITTC – Recommended Procedures, Testing and Extrapolation Methods Propulsion, Performance Propulsion Test, Effective Date 2002, 7.5-02 -03-01.1 (s.55)

|Vedlegg

David
[Velg dato]

Presentasjon av hovedprosjekt

David
[Velg dato]

Hovedprosjekt

Skipsdesign

2016

[Navn]

Bilde

[Navn]

Bilde

Testing av ny slepetank ved NTNU i Ålesund

Dette er et pilotprosjekt i den nye slepetanken ved NTNU i Ålesund.

Prosjektet går ut på å lage en enkel prosedyre som alle studentene på linjen kan bruke.

Vi skal også kalibrere slepetanken. Vi skal sammenligne resultater fra våres tank mot andre slepetanker. Vi skal også se på relative endringer, om den nye tanken registrerer endringer på samme måte som andre slepetanker.

Manual fra produsent og regelverk fra ITTC

Ved bruk av introduksjon fra leverandør og gjentatte slepetester skal vi kunne bygge nok erfaring til å skrive en enkel prosedyre som fremmer effektiv bruk av ny slepetank

Ved å følge gitte regler fra ITTC for testing i modellskala skal vi kunne få frem gode data som gjør at vi kan sammenligne resultater



| Statusrapport

David
[Velg dato]

Statusrapport

Bacheloroppgave



Manual

- Klargjøring av modell
- Installering av modell
- Gjennomføring av test
- Behandling av resultater



Kalibrering

- Teori
- Excel
- Slepedata
- Test av overflate



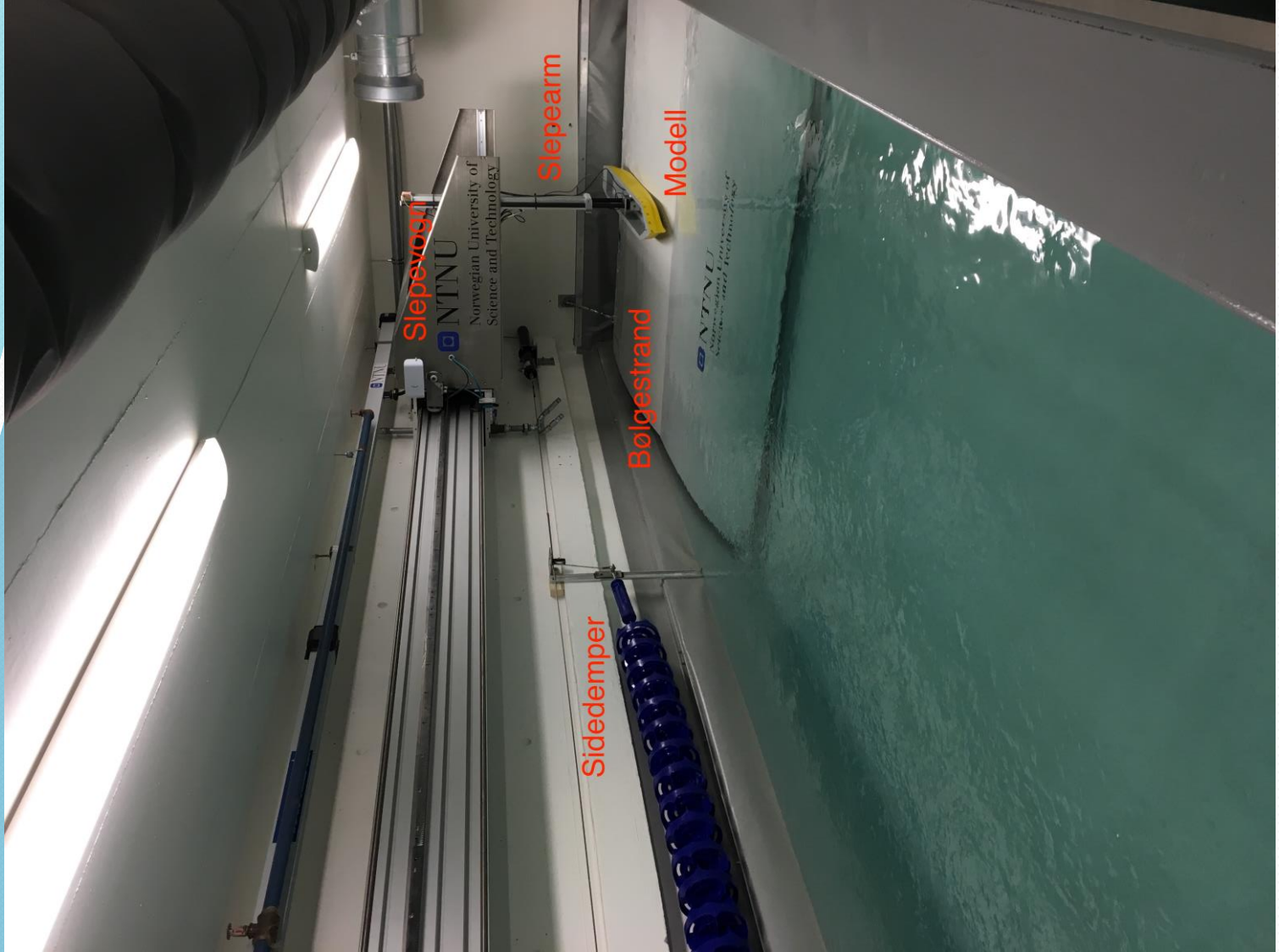
Fysisk nødstop

Bølgegenerator

Nødstop

Bølgeklaff

STADT TOWING TANK
www.stadt-towing-tank.com



Slepevogel

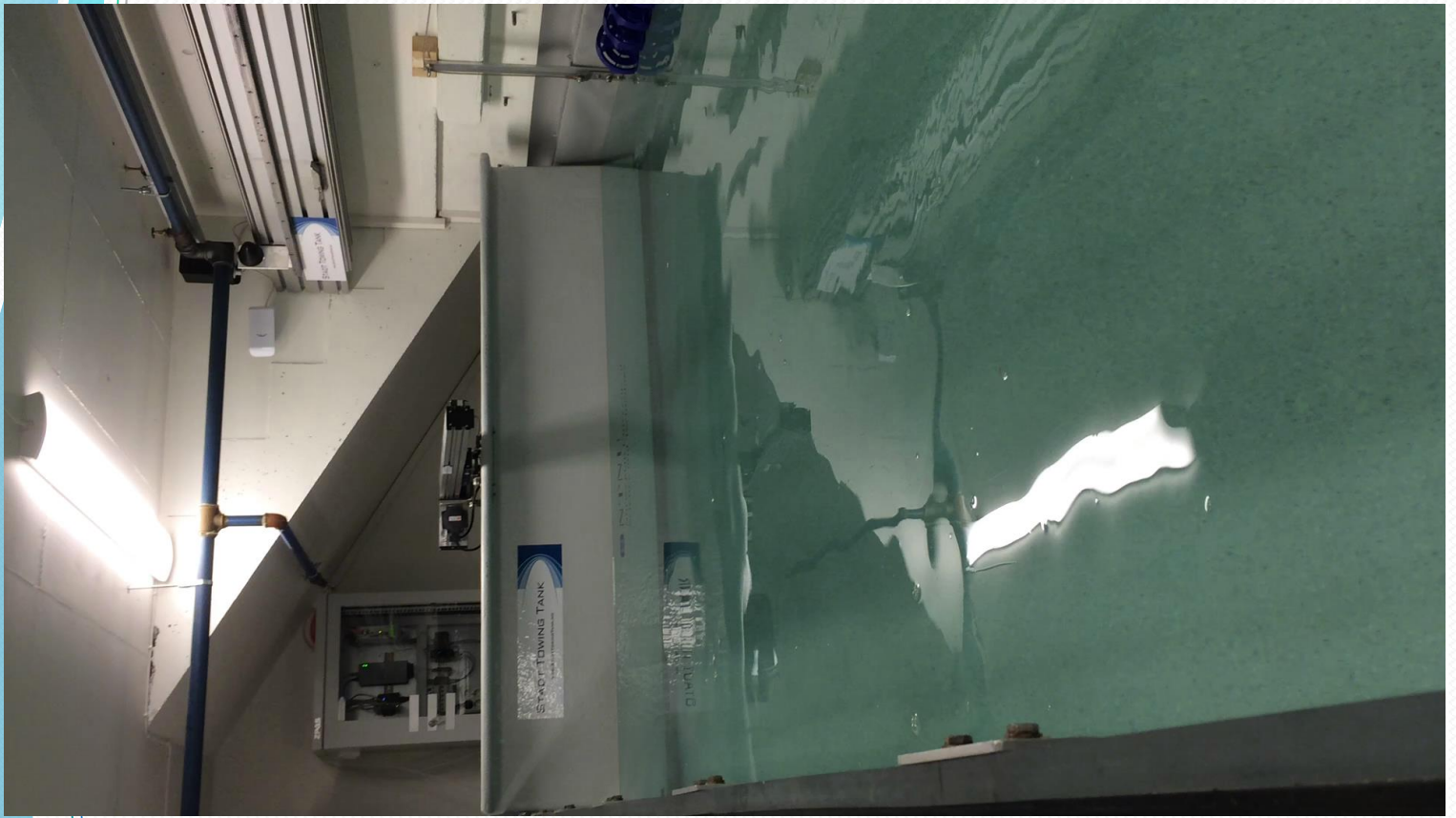
NTNU
Norwegian University of
Science and Technology

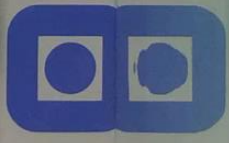
Slepearm

Bølgestrand

Modell

Sidedemper





KTK

Presentasjon av ferdig hovedoppgave

David
[Velg dato]



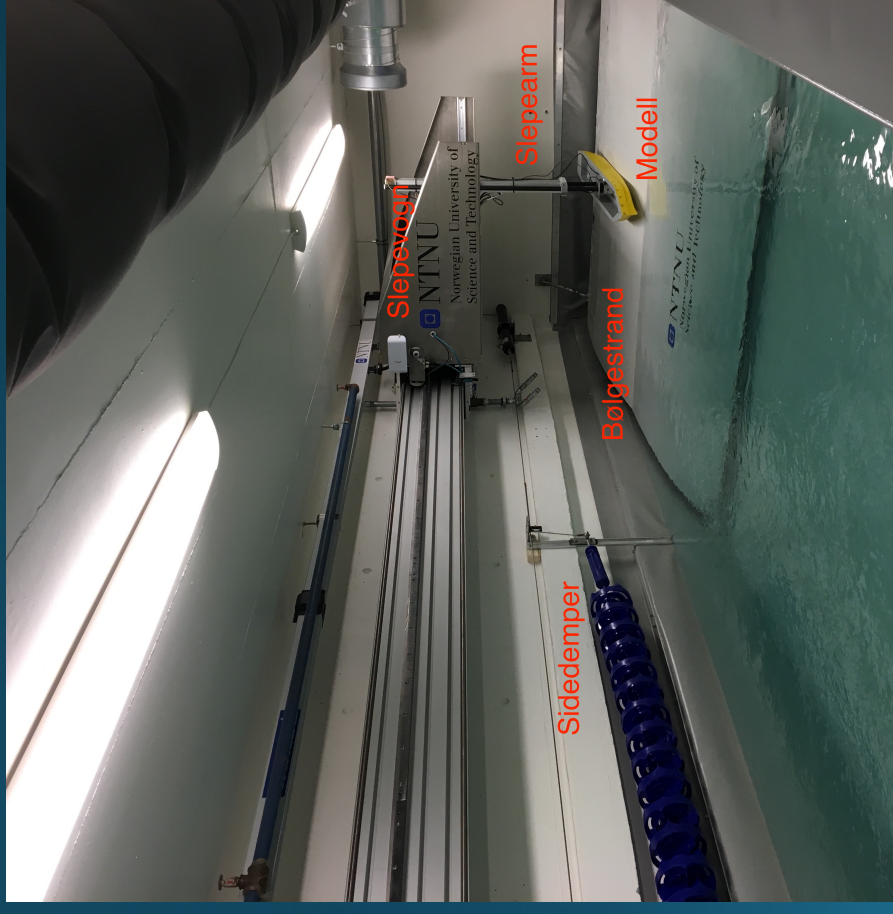
Modelltanken

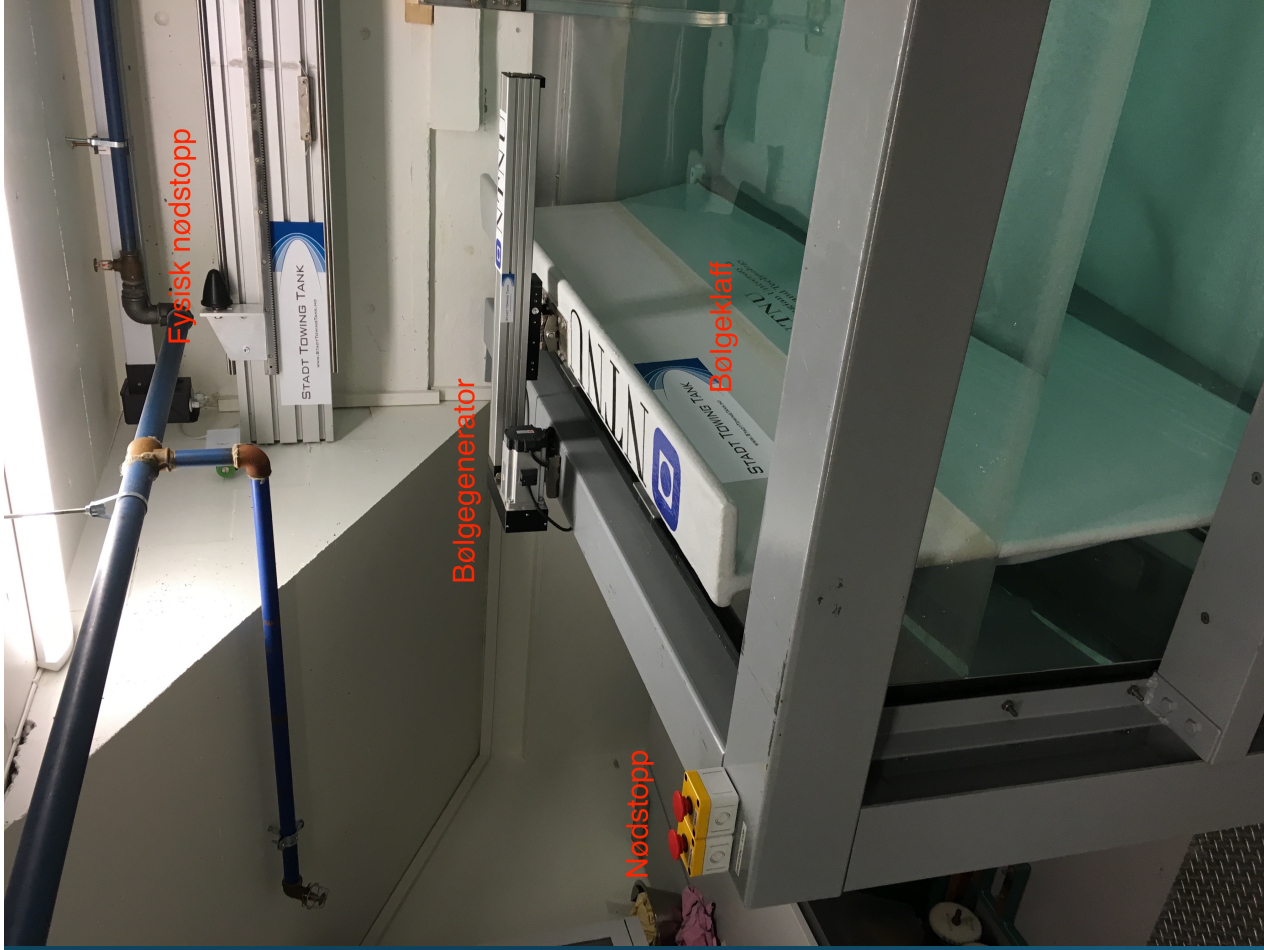
Problemstilling

- Slepetank
- Bakgrunn
- Todelt oppgave
 - Brukermanual
 - Kalibrering av tanken

Modelltanken

- Tre deler
 - Vogn
 - Bølgegenerator
 - Datainnsamling
- Stadt Towing Tank
- Tank for bruk i undervisning





Stadt Towing Tank

- Leverandør av utstyr
- Større tank
 - 200 meter lang
- Samme prinsipp
- Første tank levert
- Vegard Larssen

Oppgavens oppbygning

- Informasjon om slepetesting
 - Generelt for testing
 - Spesielt for denne tanken
- Brukermanual
- Kalibrering av tanken
 - Finner feilkilder

Brukermanualen

- En oppskrift
- Tre deler
 - Klargjøring av modell
 - Linjer, fresing, lasterom, liming, ballast.
 - Testgjennomføring
 - Kjøring av vogn
 - Bølger
 - Datainnsamling
 - Behandling av resultater
 - Formler

Resultater

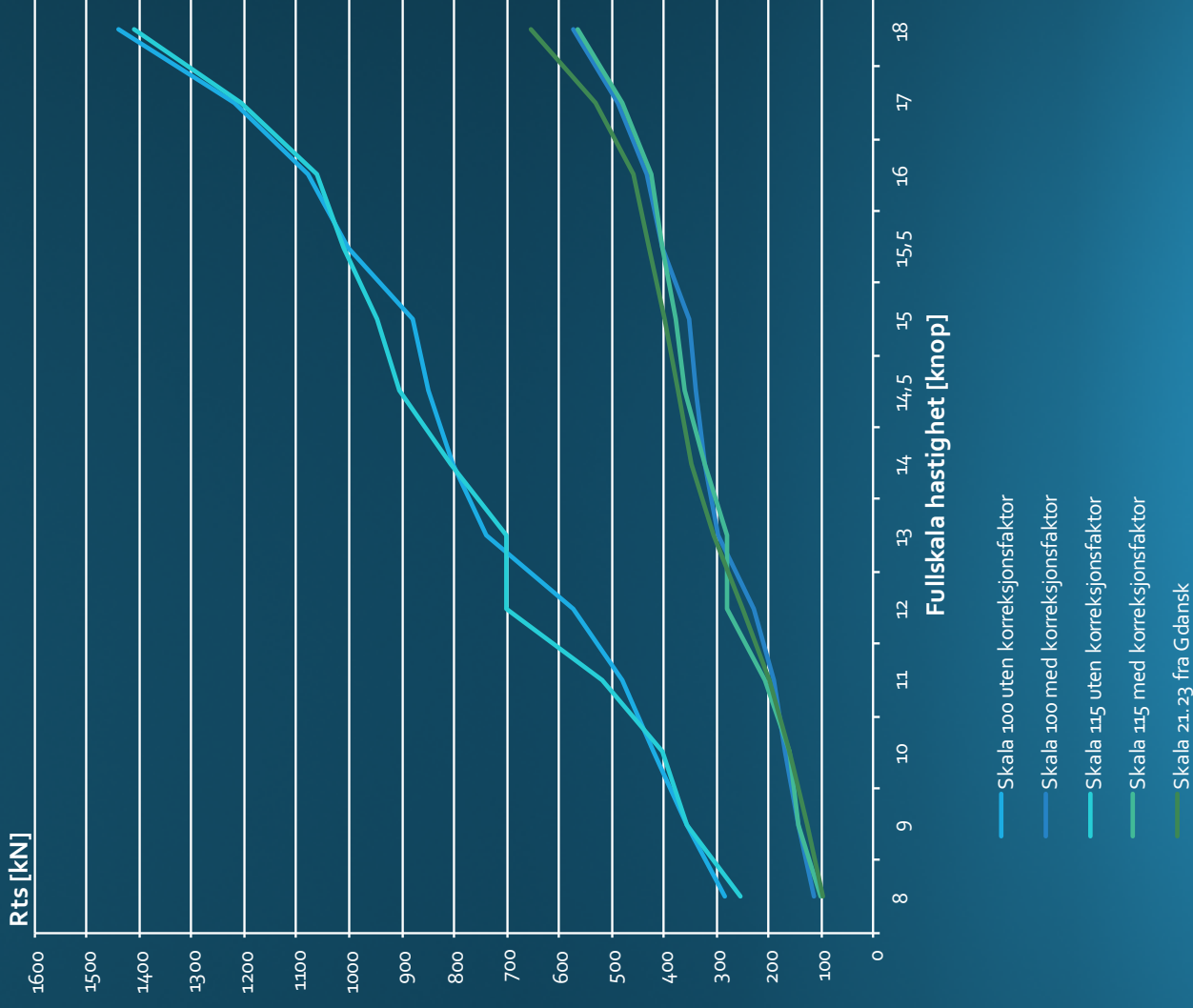
- Design fra Skipsteknisk
 - Testet i Gdansk
- Modellproduksjon på skolen
 - To Skipsteknisk-modeller
- Test av utstyr og overflate
 - Glatt VS XPS 300
 - Test ved STT

Resultater

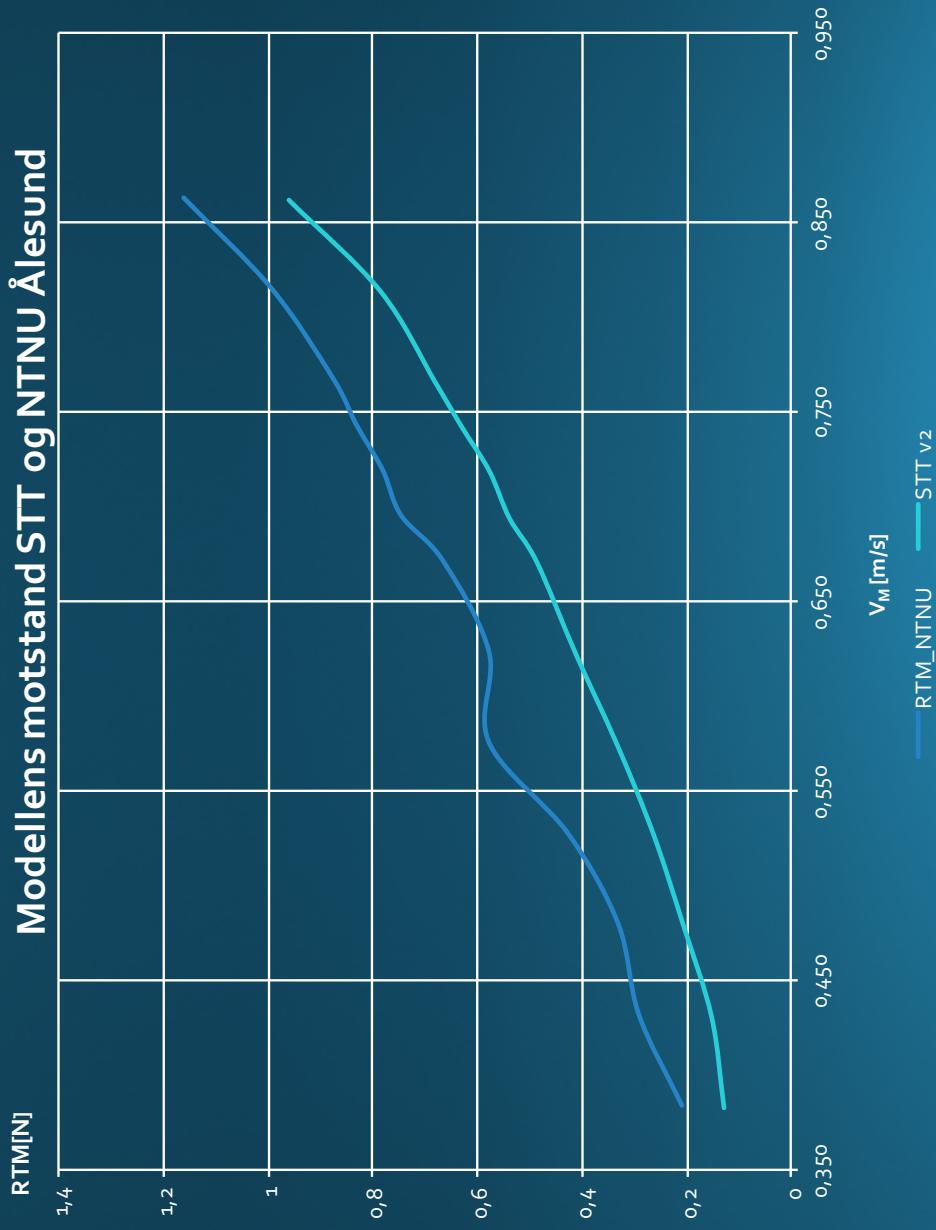
Fart	Prosentvis forskjell $\lambda=115$	Prosentvis forskjell $\lambda=100$
8	158,79 %	188,16 %
9	182,35 %	182,89 %
10	151,65 %	163,41 %
11	160,66 %	139,84 %
12	181,39 %	129,20 %
13	130,48 %	142,48 %
14	132,44 %	131,00 %
14,5	141,13 %	126,61 %
15	136,76 %	119,47 %
15,5	134,27 %	132,87 %
16	130,91 %	134,75 %
17	126,32 %	128,95 %
18	115,07 %	119,68 %
Snitt	144,79 %	141,49 %

Fart	Prosentvis forskjell $\lambda=115$	Prosentvis forskjell $\lambda=100$
8	3,44 %	15,19 %
9	12,86 %	13,08 %
10	0,59 %	5,30 %
11	4,20 %	-4,13 %
12	12,49 %	-8,38 %
13	-7,87 %	-3,06 %
14	-7,08 %	-7,66 %
14,5	-3,61 %	-9,41 %
15	-5,35 %	-12,27 %
15,5	-6,35 %	-6,90 %
16	-7,69 %	-6,15 %
17	-9,53 %	-8,47 %
18	-14,02 %	-12,17 %
Snitt	-2,15 %	-3,46 %

Resultater

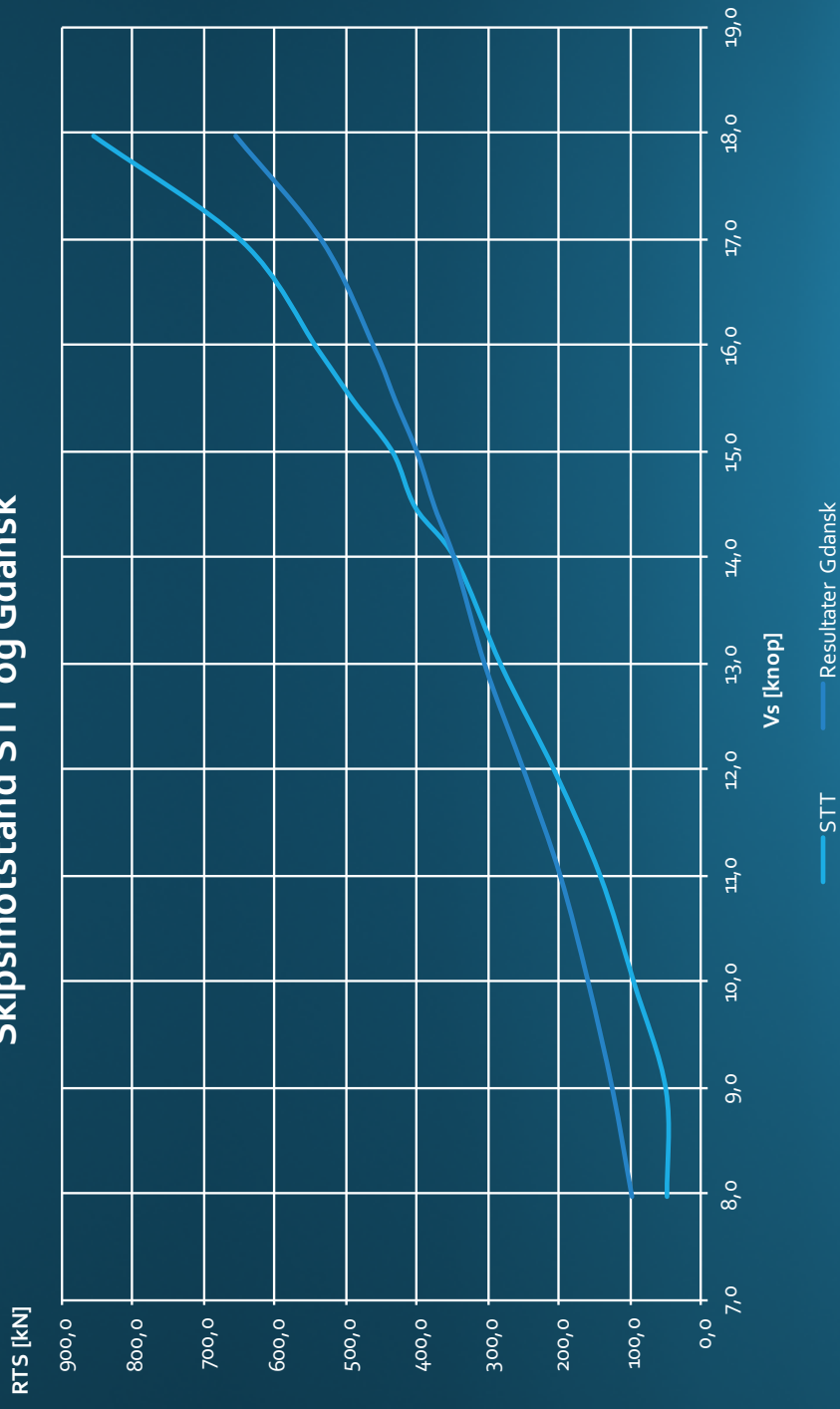


Resultater utstyr



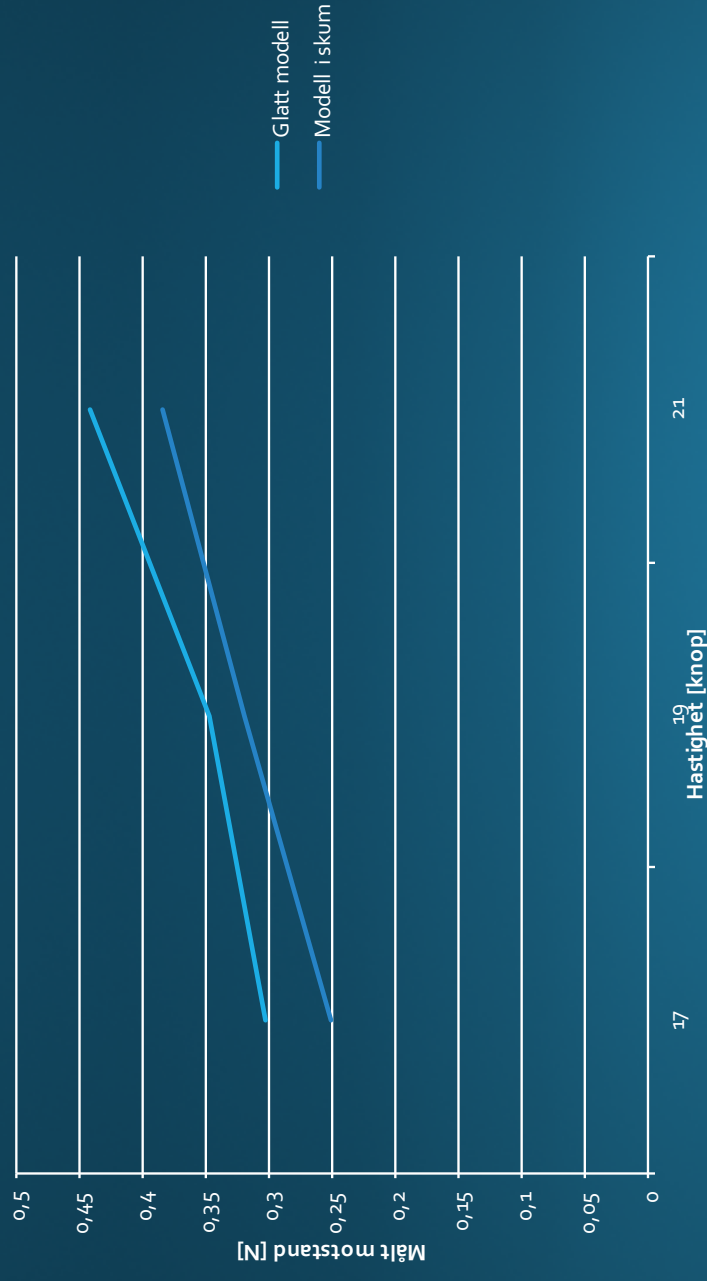
Resultater utstyr

Skipsmotstand STT og Gdansk



Resultater overflate

Motstand modell



Videre arbeid

- Jobb i sommer
- Fortsette arbeidet
 - Retest
- Enormt potensiale
 - Merdenot
 - Rør
 - Friprøve

Refleksjoner

- Spennende oppgave
- Læringsutbytte av modelltest
- Tilgjengelighet
- God hjelp
- Arbeidsprosessen
 - Teoridel først
 - Aldri arbeidsløs
 - Demonstrasjoner/presentasjoner

Regneark fra Excel for modellskala 115

David
[Velg dato]

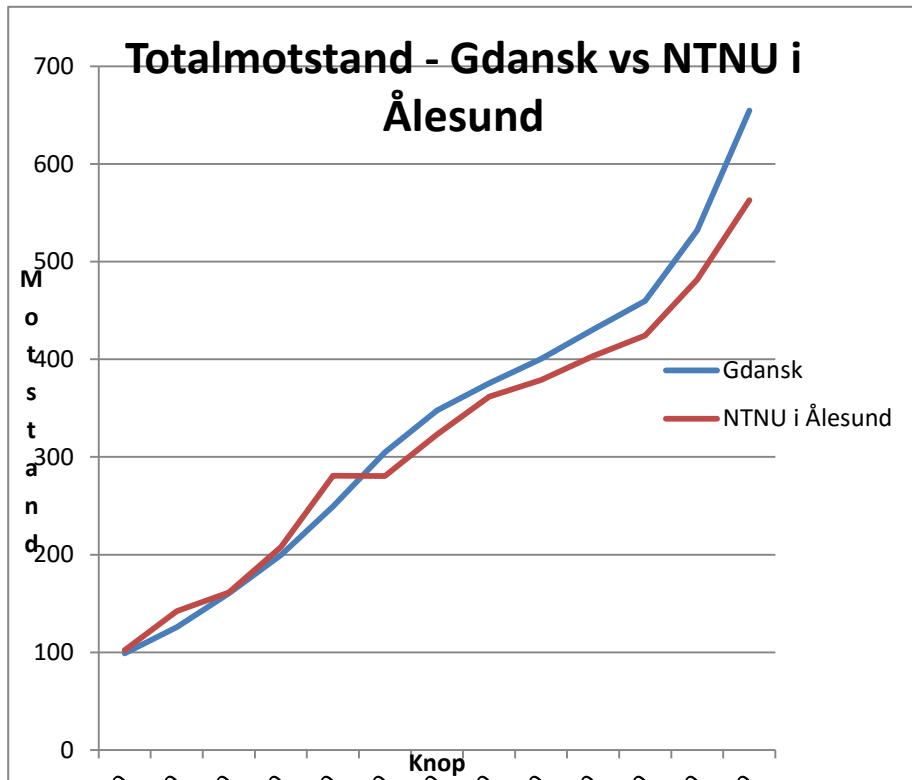
Dimensjoner skip

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Lengde total	Loa	120	m
Lengde mellom perpendikulærer	Lpp	109,8	m
Lengde i vannlinjen	Lwls	118,7	m
Lengde over våt overflate	Loss		m
Bredde	Bs	23	m
Høyde	Hs		m
Luftmotstandsareal	Ats	581	m ²
Våt overflate	Ss	3431	m ²
Deplasement	Δs	12024	tonn
Volum	Vs		m ³
Temperatur saltvann	T	15	C
Tetthet saltvann	ρsw	1025,9	kg/m ³
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²
Blokkoeffisient	Cb	0,733	
Midtseksjonskoeffisient	Cm	0,984	
Prismatisk koeffisient	Cp	0,745	
Vannlinjekoeffisient	Cwl	0,903	
Dypgang	Tfs	5,5	m
	Tas	7,5	m
Posisjon for LCB fra nullkryss		-3,077	%
Kinematisk viskositet i 15 C	ν	1,188E-06	m ² /s
Ruhet	ks	0,00015	m

Dimensjoner modell

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²
Temperatur i tank	t	16,7	C
Kinematisk viskositet	ν	0,00000109	m ² /s
Tetthet vann	ρs	998,7	kg/m ³
Dybde slepetank	ht	0,85	m
Bredde slepetank	wt	2	m
Tverrsnitt slepetank	A	1,7	m ²
Modellskala	λ	115	
Lengde total	Loam	1,043	m
Lengde mellom perpendikulærer	Lppm	0,955	m
Lengde i vannlinjen	Lwlm	1,032	m
Max tverrsnittsareal	Axm		m ²
Våt overflate	Sm	0,259	m ²
Bredde	Bm	0,200	m
Dypgang aktre pute	Tap	0,065	m
Dypgang forre pute	Tfp	0,048	m
Deplasement	Δm	8,635	kg

8,0
9,0
10,0
11,0
12,0
13,0
14,0
14,5
15,0
15,5
16,0
17,0
18,0



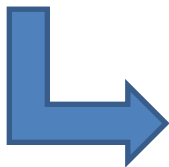
Hastigheter for skip

Fart i knop	Fart i m/s	Froudetall	Reynoldstall [10^8]
8,000	4,116	0,1206	4,112
9,000	4,630	0,1357	4,626
10,000	5,144	0,1508	5,140
11,000	5,659	0,1658	5,654
12,000	6,173	0,1809	6,168
13,000	6,688	0,1960	6,682
14,000	7,202	0,2111	7,196
14,500	7,459	0,2186	7,453
15,000	7,717	0,2261	7,710
15,500	7,974	0,2337	7,967
16,000	8,231	0,2412	8,224
17,000	8,746	0,2563	8,738
18,000	9,260	0,2714	9,252

Hastigheter for modell

Froudetall	Fart i m/s	Fart i knop	Reynoldsdtall [10^6]
0,1206	0,384	0,746	0,412
0,1357	0,432	0,839	0,464
0,1508	0,480	0,933	0,516
0,1658	0,528	1,026	0,567
0,1809	0,576	1,119	0,619
0,1960	0,624	1,212	0,670
0,2111	0,672	1,306	0,722
0,2186	0,696	1,352	0,748
0,2261	0,720	1,399	0,773
0,2337	0,744	1,445	0,799
0,2412	0,768	1,492	0,825
0,2563	0,816	1,585	0,876
0,2714	0,863	1,679	0,928

Resultater fra Gdansk



4,3552	0,44
4,8996	0,49
5,444	0,54
5,9884	0,60
6,5328	0,65
7,0772	0,71
7,6216	0,76
7,8938	0,79
8,166	0,82
8,4382	0,84
8,7104	0,87
9,2548	0,93
9,7992	0,98

Total motstand
98,9
125,9
160,2
199,4
249,5
304,6
347,7
375,4
400,3
430,6
459,6
532,3
654,7

SHIP		
V _S [kn]	z _S [m]	θ [°]
8.00	-0.06	0.00
9.00	-0.08	0.00
10.00	-0.11	0.00
11.00	-0.13	-0.00
12.00	-0.17	-0.00
13.00	-0.19	-0.00
14.00	-0.21	-0.10
14.50	-0.23	-0.10
15.00	-0.26	-0.10
15.50	-0.27	-0.10
16.00	-0.30	-0.10
17.00	-0.34	-0.10
18.00	-0.40	-0.10

MODEL							
V _S [kn]	V _M [m/s]	R _{TM} [N]	C _{TM} [10 ⁻³]	R _{TM} [10 ⁶]	C _{TM} [10 ⁻³]	C _R [10 ⁻³]	F _n
8.00	0.893	14.74	4.860	4.58	3.452	0.475	0.1206
9.00	1.005	18.49	4.818	5.16	3.378	0.529	0.1357
10.00	1.117	23.07	4.867	5.73	3.313	0.660	0.1508
11.00	1.228	28.21	4.919	6.30	3.256	0.784	0.1659
12.00	1.340	34.53	5.060	6.87	3.205	0.989	0.1809
13.00	1.451	41.42	5.173	7.45	3.160	1.160	0.1960
14.00	1.563	47.17	5.078	8.02	3.118	1.118	0.2111
14.50	1.619	50.70	5.088	8.31	3.099	1.152	0.2186
15.00	1.675	53.95	5.060	8.59	3.081	1.147	0.2262
15.50	1.731	57.76	5.074	8.88	3.063	1.184	0.2337
16.00	1.786	61.46	5.066	9.16	3.046	1.198	0.2413
17.00	1.898	70.41	5.141	9.74	3.014	1.313	0.2563
18.00	2.010	84.46	5.501	10.31	2.984	1.711	0.2714

CTO S.A. - RH

RH-2012/T-004E

Page 14

MODEL			
V _S [kn]	V _M [m/s]	z _M [mm]	θ [°]
8.00	0.893	-3.0	0.00
9.00	1.005	-4.0	0.00
10.00	1.117	-5.0	0.00
11.00	1.228	-6.0	-0.00
12.00	1.340	-8.0	-0.00
13.00	1.451	-9.0	-0.00
14.00	1.563	-10.0	-0.10
14.50	1.619	-11.0	-0.10
15.00	1.675	-12.0	-0.10
15.50	1.731	-12.9	-0.10
16.00	1.786	-14.0	-0.10
17.00	1.898	-16.0	-0.10
18.00	2.010	-19.0	-0.10

SHIP condition: trials							
V _S [kn]	R _{TS} [kN]	P _{ES} [kW]	C _{TS} [10 ⁻³]	R _{NS} [10 ⁶]	C _{FS} [10 ⁻³]	C _{TVS} [10 ⁻³]	F _{nV}
8.00	98.9	407	3.317	4.11	1.715	21.686	0.2746
9.00	125.9	583	3.337	4.63	1.688	21.817	0.3089
10.00	160.2	824	3.439	5.14	1.665	22.484	0.3432
11.00	199.4	1128	3.538	5.65	1.645	23.128	0.3775
12.00	249.5	1540	3.719	6.17	1.627	24.313	0.4119
13.00	304.6	2037	3.869	6.68	1.610	25.292	0.4462
14.00	347.7	2504	3.808	7.19	1.595	24.894	0.4805
14.50	375.4	2800	3.834	7.45	1.588	25.061	0.4977
15.00	400.3	3089	3.820	7.71	1.581	24.972	0.5148
15.50	430.6	3434	3.848	7.97	1.575	25.156	0.5320
16.00	459.6	3783	3.854	8.22	1.568	25.197	0.5491
17.00	532.3	4656	3.955	8.74	1.557	25.853	0.5835
18.00	654.7	6063	4.339	9.25	1.546	28.361	0.6178

Koeffisienter

Friksjonsmotstandskoeffisient	Formfaktor	k (oppgitt)	1+k
1,71E-03	2,18E-03	0,27	1,27
1,69E-03	2,14E-03	0,27	1,27
1,67E-03	2,11E-03	0,27	1,27
1,64E-03	2,09E-03	0,27	1,27
1,63E-03	2,07E-03	0,27	1,27
1,61E-03	2,04E-03	0,27	1,27
1,60E-03	2,03E-03	0,27	1,27
1,59E-03	2,02E-03	0,27	1,27
1,58E-03	2,01E-03	0,27	1,27
1,57E-03	2,00E-03	0,27	1,27
1,57E-03	1,99E-03	0,27	1,27
1,56E-03	1,98E-03	0,27	1,27
1,55E-03	1,96E-03	0,27	1,27

Koeffisienter

Målt motstand [N]	Total Motstandskoeffisient	k (oppgitt)	1+k
0,211	3,44E+00	0,27	1,27
0,293	3,77E+00	0,27	1,27
0,332	3,46E+00	0,27	1,27
0,429	3,69E+00	0,27	1,27
0,579	4,19E+00	0,27	1,27
0,579	3,57E+00	0,27	1,27
0,666	3,54E+00	0,27	1,27
0,746	3,70E+00	0,27	1,27
0,782	3,62E+00	0,27	1,27
0,832	3,61E+00	0,27	1,27
0,875	3,56E+00	0,27	1,27
0,993	3,58E+00	0,27	1,27
1,161	3,73E+00	0,27	1,27

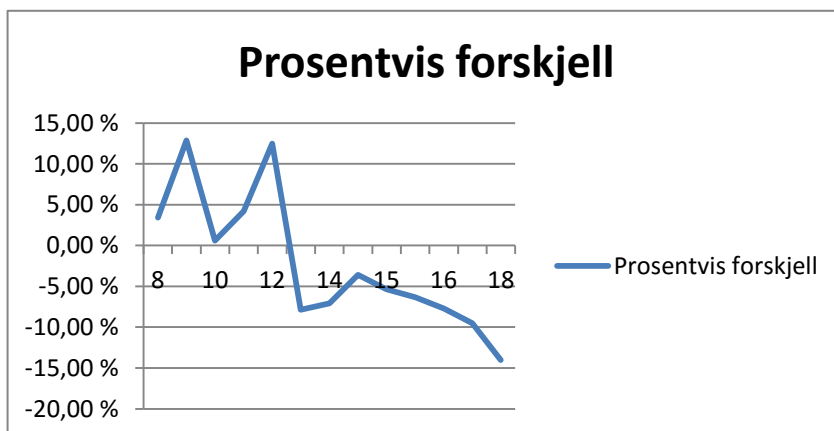
Kor.faktor 0,4

Restmotstandskoeffisient	Luftmotstandskoeffisient	Ruhetstillegg
3,43E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,76E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,46E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,68E+00	1,69E-04	4,95E-04
4,18E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,56E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,54E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,69E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,61E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,60E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,56E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,58E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,73E+00	1,69E-04	4,95E-04

Friksjonsmotstandskoeffisient	Formfaktor	Restmotstandskoeffisient
5,74E-03	7,29E-03	3,43E+00
5,58E-03	7,09E-03	3,76E+00
5,44E-03	6,91E-03	3,46E+00
5,32E-03	6,76E-03	3,68E+00
5,22E-03	6,63E-03	4,18E+00
5,12E-03	6,51E-03	3,56E+00
5,04E-03	6,40E-03	3,54E+00
5,00E-03	6,35E-03	3,69E+00
4,96E-03	6,30E-03	3,61E+00
4,92E-03	6,25E-03	3,60E+00
4,89E-03	6,21E-03	3,56E+00
4,82E-03	6,13E-03	3,58E+00
4,76E-03	6,05E-03	3,73E+00

Total Motstandskoeffisient	Total motstand [kN]
3,43E+00	102,3
3,77E+00	142,1
3,46E+00	161,1
3,69E+00	207,8
4,18E+00	280,7
3,57E+00	280,6
3,54E+00	323,1
3,70E+00	361,9
3,62E+00	378,9
3,60E+00	403,3
3,56E+00	424,3
3,58E+00	481,6
3,73E+00	562,9

	Prosentvis forskjell	Gjennomsnitt
8	3,44 %	-2,15 %
9	12,86 %	
10	0,59 %	
11	4,20 %	
12	12,49 %	
13	-7,87 %	
14	-7,08 %	
14,5	-3,61 %	
15	-5,35 %	
15,5	-6,35 %	
16	-7,69 %	
17	-9,53 %	
18	-14,02 %	



Regneark fra Excel for modellskala 100

David
[Velg dato]

Dimensjoner skip

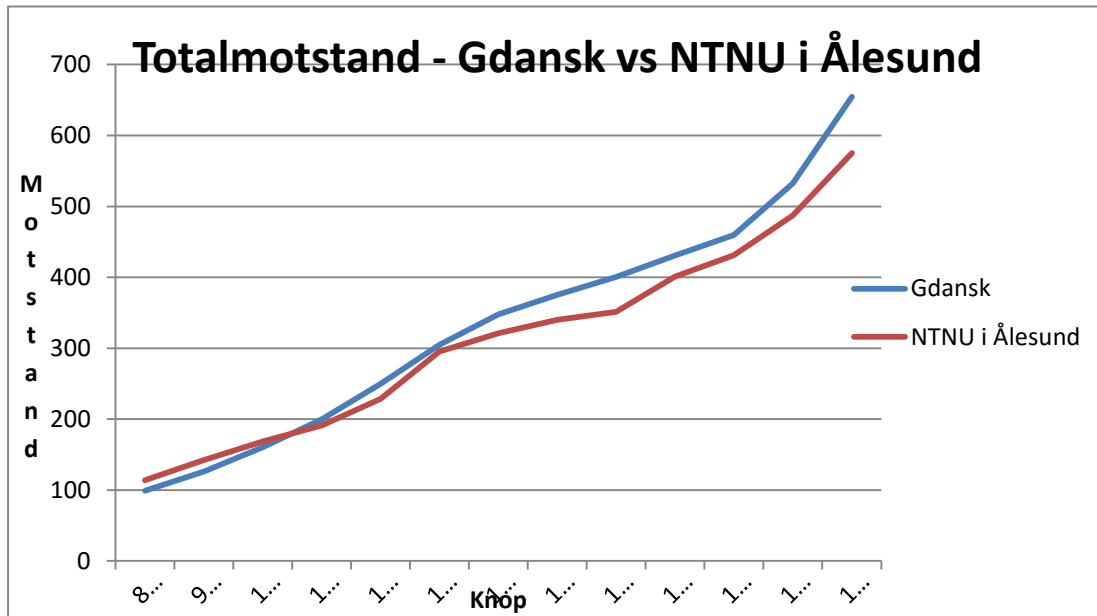
Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Lengde total	Loa	120	m
Lengde mellom perpendikulærer	Lpp	109,8	m
Lengde i vannlinjen	Lwls	118,7	m
Lengde over våt overflate	Loss		m
Bredde	Bs	23	m
Høyde	Hs		m
Luftmotstandsareal	Ats	581	m ²
Våt overflate	Ss	3431	m ²
Deplasement	Δs	12024	tonn
Volum	Vs		m ³
Temperatur saltvann	T	15	C
Tetthet saltvann	ρsw	1025,9	kg/m ³
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²
Blokkoeffisient	Cb	0,733	
Midtseksjonskoeffisient	Cm	0,984	
Prismatisk koeffisient	Cp	0,745	
Vannlinjekoeffisient	Cwl	0,903	
Dyppgang	Tfs	5,5	m
	Tas	7,5	m
Posisjon for LCB fra nullkryss		-3,077	%
Kinematisk viskositet i 15 C	ν	1,188E-06	m ² /s
Ruhet	ks	0,00015	m

Dimensjoner modell

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Gravitasjon	g	9,81	m/s ²
Temperatur i tank	t	16,7	C
Kinematisk viskositet	ν	0,00000109	m ² /s
Tetthet vann	ρs	998,7	kg/m ³
Dybde slepetank	ht	0,85	m
Bredde slepetank	wt	2	m
Tverrsnitt slepetank	A	1,7	m ²
Modellskala	λ	100	
Lengde total	Loam	1,200	m
Lengde mellom perpendikulærer	Lppm	1,098	m
Lengde i vannlinjen	Lwlm	1,187	m
Max tverrsnittsareal	Axm		m ²
Våt overflate	Sm	0,343	m ²
Bredde	Bm	0,230	m
Dyppgang akre pute	Tap	0,075	m
Dyppgang forre pute	Tfp	0,055	m
Deplasement	Δm	13,132925	kg



- 8,0
- 9,0
- 10,0
- 11,0
- 12,0
- 13,0
- 14,0
- 14,5
- 15,0
- 15,5
- 16,0
- 17,0
- 18,0



Hastigheter for skip

Fart i knop	Fart i m/s	Froudetall	Reynoldstall [10 ⁸]
8,000	4,116	0,1206	4,112
9,000	4,630	0,1357	4,626
10,000	5,144	0,1508	5,140
11,000	5,659	0,1658	5,654
12,000	6,173	0,1809	6,168
13,000	6,688	0,1960	6,682
14,000	7,202	0,2111	7,196
14,500	7,459	0,2186	7,453
15,000	7,717	0,2261	7,710
15,500	7,974	0,2337	7,967
16,000	8,231	0,2412	8,224
17,000	8,746	0,2563	8,738
18,000	9,260	0,2714	9,252

Hastigheter for modell

Froudetall	Fart i m/s	Fart i knop	Reynoldsdtall [10 ⁶]
0,1206	0,412	0,800	0,474
0,1357	0,463	0,900	0,534
0,1508	0,514	1,000	0,593
0,1658	0,566	1,100	0,652
0,1809	0,617	1,200	0,711
0,1960	0,669	1,300	0,771
0,2111	0,720	1,400	0,830
0,2186	0,746	1,450	0,860
0,2261	0,772	1,500	0,889
0,2337	0,797	1,550	0,919
0,2412	0,823	1,600	0,949
0,2563	0,875	1,700	1,008
0,2714	0,926	1,800	1,067

Resultater fra Gdansk

Total motstand	4,36	0,44
98,9	4,90	0,49
125,9	5,44	0,54
160,2	5,99	0,60
199,4	6,53	0,65
249,5	7,08	0,71
304,6	7,62	0,76
347,7	7,89	0,79
375,4	8,17	0,82
400,3	8,44	0,84
430,6	8,71	0,87
459,6	9,25	0,93
532,3	9,80	0,98
654,7		

MODEL							
V _s [kn]	V _M [m/s]	R _{TM} [N]	C _{TM} [10 ⁻³]	R _{NM} [10 ⁶]	C _{FM} [10 ⁻³]	C _R [10 ⁻³]	F _n
8.00	0.893	14.74	4.860	4.58	3.452	0.475	0.1206
9.00	1.005	18.49	4.818	5.16	3.378	0.529	0.1357
10.00	1.117	23.07	4.867	5.73	3.313	0.660	0.1508
11.00	1.228	28.21	4.919	6.30	3.256	0.784	0.1659
12.00	1.340	34.53	5.060	6.87	3.205	0.989	0.1809
13.00	1.451	41.42	5.173	7.45	3.160	1.160	0.1960
14.00	1.563	47.17	5.078	8.02	3.118	1.118	0.2111
14.50	1.619	50.70	5.088	8.31	3.099	1.152	0.2186
15.00	1.675	53.95	5.060	8.59	3.081	1.147	0.2262
15.50	1.731	57.76	5.074	8.88	3.063	1.184	0.2337
16.00	1.786	61.46	5.066	9.16	3.046	1.198	0.2413
17.00	1.898	70.41	5.141	9.74	3.014	1.313	0.2563
18.00	2.010	84.46	5.501	10.31	2.984	1.711	0.2714

MODEL			
V _s [kn]	V _M [m/s]	z _M [mm]	θ [°]
8.00	0.893	-3.0	0.00
9.00	1.005	-4.0	0.00
10.00	1.117	-5.0	0.00
11.00	1.228	-6.0	-0.00
12.00	1.340	-8.0	-0.00
13.00	1.451	-9.0	-0.00
14.00	1.563	-10.0	-0.10
14.50	1.619	-11.0	-0.10
15.00	1.675	-12.0	-0.10
15.50	1.731	-12.9	-0.10
16.00	1.786	-14.0	-0.10
17.00	1.898	-16.0	-0.10
18.00	2.010	-19.0	-0.10

SHIP condition: trials							
V _s [kn]	R _{TS} [kN]	P _{ES} [kW]	C _{TS} [10 ⁻³]	R _{NS} [10 ⁸]	C _{FS} [10 ⁻³]	C _{TVS} [10 ⁻³]	F _{NV}
8.00	98.9	407	3.317	4.11	1.715	21.686	0.2746
9.00	125.9	583	3.337	4.63	1.688	21.817	0.3089
10.00	160.2	824	3.439	5.14	1.665	22.484	0.3432
11.00	199.4	1128	3.538	5.65	1.645	23.128	0.3775
12.00	249.5	1540	3.719	6.17	1.627	24.313	0.4119
13.00	304.6	2037	3.869	6.68	1.610	25.292	0.4462
14.00	347.7	2504	3.808	7.19	1.595	24.894	0.4805
14.50	375.4	2800	3.834	7.45	1.588	25.061	0.4977
15.00	400.3	3089	3.820	7.71	1.581	24.972	0.5148
15.50	430.6	3434	3.848	7.97	1.575	25.156	0.5320
16.00	459.6	3783	3.854	8.22	1.568	25.197	0.5491
17.00	532.3	4656	3.955	8.74	1.557	25.853	0.5835
18.00	654.7	6063	4.339	9.25	1.546	28.361	0.6178

SHIP		
V _s [kn]	z _s [m]	θ [°]
8.00	-0.06	0.00
9.00	-0.08	0.00
10.00	-0.11	0.00
11.00	-0.13	-0.00
12.00	-0.17	-0.00
13.00	-0.19	-0.00
14.00	-0.21	-0.10
14.50	-0.23	-0.10
15.00	-0.26	-0.10
15.50	-0.27	-0.10
16.00	-0.30	-0.10
17.00	-0.34	-0.10
18.00	-0.40	-0.10

Koeffisienter

Friksjonsmotstandskoeffisient	Formfaktor	k (oppgitt)	1+k
1,71E-03	2,18E-03	0,27	1,27
1,69E-03	2,14E-03	0,27	1,27
1,67E-03	2,11E-03	0,27	1,27
1,64E-03	2,09E-03	0,27	1,27
1,63E-03	2,07E-03	0,27	1,27
1,61E-03	2,04E-03	0,27	1,27
1,60E-03	2,03E-03	0,27	1,27
1,59E-03	2,02E-03	0,27	1,27
1,58E-03	2,01E-03	0,27	1,27
1,57E-03	2,00E-03	0,27	1,27
1,57E-03	1,99E-03	0,27	1,27
1,56E-03	1,98E-03	0,27	1,27
1,55E-03	1,96E-03	0,27	1,27

Koeffisienter

Målt motstand [N]	Total Motstandskoeffisient	k (oppgitt)	1+k
0,310820294	3,83E+00	0,27	1,27
0,38843833	3,78E+00	0,27	1,27
0,46023293	3,63E+00	0,27	1,27
0,52160046	3,40E+00	0,27	1,27
0,6236931	3,41E+00	0,27	1,27
0,80548726	3,75E+00	0,27	1,27
0,875938734	3,52E+00	0,27	1,27
0,927747526	3,48E+00	0,27	1,27
0,95813071	3,35E+00	0,27	1,27
1,09356658	3,59E+00	0,27	1,27
1,17662357	3,62E+00	0,27	1,27
1,329086128	3,62E+00	0,27	1,27
1,568441658	3,81E+00	0,27	1,27

Kor.faktor 0,4

Restmotstandskoeffisient	Luftmotstandskoeffisient	Ruhetstillegg
3,82E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,77E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,62E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,39E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,41E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,75E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,51E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,47E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,35E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,58E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,61E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,62E+00	1,69E-04	4,95E-04
3,81E+00	1,69E-04	4,95E-04

Friksjonsmotstandskoeffisient	Formfaktor	Restmotstandskoeffisient
5,55E-03	7,05E-03	3,82E+00
5,40E-03	6,86E-03	3,77E+00
5,27E-03	6,69E-03	3,62E+00
5,15E-03	6,55E-03	3,39E+00
5,05E-03	6,42E-03	3,41E+00
4,96E-03	6,30E-03	3,75E+00
4,88E-03	6,20E-03	3,51E+00
4,85E-03	6,15E-03	3,47E+00
4,81E-03	6,11E-03	3,35E+00
4,77E-03	6,06E-03	3,58E+00
4,74E-03	6,02E-03	3,61E+00
4,68E-03	5,94E-03	3,62E+00
4,62E-03	5,87E-03	3,81E+00

Total Motstandskoeffisient	Total motstand [kN]
3,82E+00	113,9
3,77E+00	142,4
3,62E+00	168,7
3,39E+00	191,2
3,41E+00	228,6
3,75E+00	295,3
3,52E+00	321,1
3,47E+00	340,1
3,35E+00	351,2
3,58E+00	400,9
3,62E+00	431,3
3,62E+00	487,2
3,81E+00	575,0

	Prosentvis forskjell	Gjennomsnitt
8	15,19 %	-3,46 %
9	13,08 %	
10	5,30 %	
11	-4,13 %	
12	-8,38 %	
13	-3,06 %	
14	-7,66 %	
14,5	-9,41 %	
15	-12,27 %	
15,5	-6,90 %	
16	-6,15 %	
17	-8,47 %	
18	-12,17 %	

