

Andreas Nordal  
Henriette Husevåg Førde

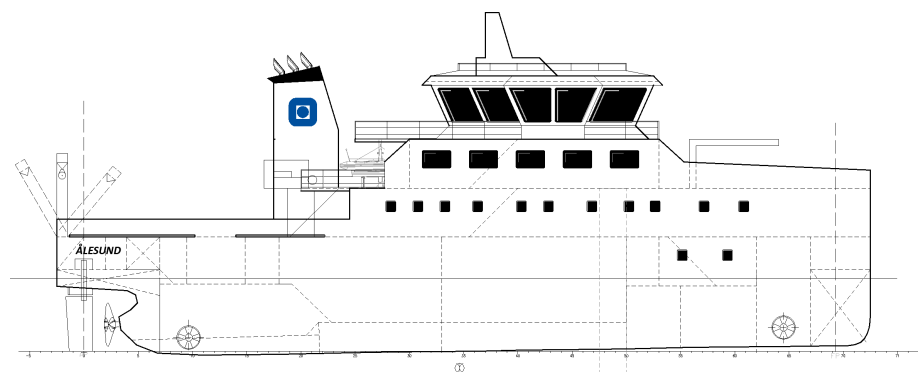
# Prosjektering av forskningskip

Bacheloroppgave i Skipsdesign

Veileder: Håvard Vollset Lien

Medveileder: Kjetil Leif Nyvoll

Mai 2021





Andreas Nordal  
Henriette Husevåg Førde

## **Prosjektering av forskningsskip**

Bacheloroppgave i Skipsdesign  
Veileder: Håvard Vollset Lien  
Medveileder: Kjetil Leif Nyvoll  
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



---

## Sammendrag

I denne oppgaven blir det utviklet et konsept for et forskningsskip basert på kravspesifikasjoner fra Skipsteknisk AS. Formålet med oppgaven er å bistå reder i prosjekteringsprosessen av et nytt fartøy. Ulike design og tekniske løsninger blir undersøkt og sammenlignet før et endelig konsept blir utviklet. Det blir tatt hensyn til reder sine ønsker om en løsning med minst mulig kostnadsramme samtidig som det blir sett på løsninger med fokus på miljø og reduksjon av karbonavtrykk.

Konseptutviklingens leveranse består av general arrangement, stabilitetsberegninger, tonnasjeberegninger, 3D-bilde, spesifisering og en modellforsøksrapport. Hovedmotivasjonen bak modellforsøket var å sammenligne motstand og bevegelse for den valgte skrogformen for konseptet med et tilsvarende skrog med bulb.

Resultatene fra modellforsøkene er usikre som følge av flere feilkilder og problemer med oppskalering fra modellmotstand til skipsmotstand. Resultatene ved å bruke empiriskemetoder viser større forskjeller mellom de to skrogene.

## Summary

In this thesis, a concept design is developed for a research vessel based on requirements from Skipsteknisk AS. The purpose is to assist the shipowner in the decision-making process. Different designs and technical solutions are investigated and compared before a final concept is developed. Shipowner's wishes for a solution with the least possible cost framework are considered. Solutions with a focus on the environment and reduction of carbon footprints are considered at the same time.

The delivery of the concept development consists of a general arrangement, stability calculations, tonnage calculations, 3D image, specification, and a towing test report. The main motivation of the towing test was to compare the resistance and movement of the selected hull shape for the concept with a similar hull with a bulbous bow.

The results from the towing test are uncertain due to several sources of error and problems with upscaling model resistance to ship resistance. The results of using empirical methods show greater differences between the two hulls.

---

## Forord

Vi ønsker å takke alle som har hjulpet oss underveis. Først og fremst ønsker vi å takke våre to veiledere, Håvard Vollset Lien ved NTNU, og Kjetil Leif Nyvoll ved Skipteknisk AS, for god oppfølging.

Takk til Toralf Ervik, ved Skipsteknisk AS, som har svart på spørsmål om styrkeberegning. Takk til Tonny Algrøy, ved Kongsberg Maritime, som tok seg tid til å svare på spørsmål om akustisk utstyr. Takk til Kent Sander Orheim, ved Skan-El AS, som har gitt oss en innføring i enlinjeskjema.

# Prosjekteringsoppgave

## Innledning

Vi er inne i en periode med stor utvikling når det gjelder kraftproduksjon og energiutnyttelse på skip. Det finnes mange tekniske muligheter og løsninger, men for et rederi er det ikke alltid like enkelt å vite hva som er fornuftig, hva som vil fungere best for deres spesifikke formål og hva som vil lønne seg på sikt.

Målet med denne oppgaven er å hjelpe en reder til å gjøre de mest riktige valgene i prosessen med anskaffelse av et nytt fartøy.

## Beskrivelse av fartøyet og operasjon

Rederiet er et privat selskap som hovedsakelig utfører forskningsoppdrag for institusjoner som ikke har skip til å utføre arbeidet selv.

Hjemmehavn er Ålesund. Rederiet har privat kaianlegg med gode muligheter for landstrøm. Fartøyet skal ha norsk flagg og DNV GL klasse.

Operasjonområdet er nesten utelukkende kystnært i Norge. Mye arbeid inne i fjordene, rundt oppdrettsanlegg og generelt innenfor 12 miles grensen, såsertifikat «liten kystfart» kan aksepteres.

Fartøyet vil for det meste ligge til kai om natten hvis det er mulig i området man opererer i. Noen få tokt kan pågå i opp til 5 dager uten å gå til kai. Norskekysten er lang, så anslagsvis vil fartøyet ha 60 døgn pr. år med transit til og fra oppdragsområder. Transitfart: 11 knop (kan justeres iht. konsulentens anbefaling).

Oppgavene inkluderer, men er ikke begrenset til følgende:

- Geologiske bunnprøver (0 knop)
- Akkustisk survey (8 og 10 knop)
- Bunnkartlegging (6 knop)
- Artskartlegging (lett tråling i 2 knop)
- Signalbøye service
- Vannprøver
- Kartlegging av marine pattedyr
- Generell undervannssurvey med bruk av AUV (Hugin 1000)

Fartøyet må som et minimum inneholde følgende:

- Lugarplass til 4 fast mannskap (enkeltlugarer)
- Lugarplass til 12 forskere (enkeltlugarer)
- Møterom med plass til 16 pers.
- Operasjonsrom uten lysforurensing, med 4 arbeidsstasjoner
- Proviand lager for to uker inkl. kjøll og frys (12-15m<sup>2</sup> tot.).
- Våtlab og tørrlab med tilknyttet lagerrom for prøver. Inkl. kjøleskap og fryser
- 2x Trålvinsjer 1500m x 16mm vaier
- 1x T-frame til CTD med tilhørende kombi-winch
- 1x A-frame til modulhåndtering (corer, bøyer, trål etc.)

- Åpent akterdekk med plass til 1x 30 fot 1x 20 fot og 1 x 10 fot container
- Akkustisk utstyrspakke dekkende for beskrevne oppgaver
- Workshop i maskinrom
- Workshop på arbeidsdekk
- Lagerrom på arbeidsdekk på 15 m<sup>2</sup> fordelt på 2 rom.
- Tavlerom til hovedtavler og drives
- Separat ECR
- Liten laundry med lintøy lager
- Ventilasjonsrom
- Hydraulikkrom
- Proviantkran (2t @ 12m) og arbeidskran (8t @ 10m plassert på SB side)

## Oppgaven

Rederiet ønsker å få utviklet et konsept man kan gå videre med til ett eller flere verft. Konseptet skal utarbeides med mål om å dekke de beskrevne behovene, med minst mulig total kostnadsramme. Rederiet ser for seg at fartøyet ikke trenger å være lengre enn 40-45m. Konsulenten må rådggi hvorvidt dette er realistisk eller ikke.

Det er ønskelig at konsulenten redegjør for hvilken energibærer som vil være passende for dette fartøyet. Det skal legges vekt på miljø, sikkerhet, logistikk, kostnad og anvendelighet. Rederiet ønsker å benytte seg av kjente og fungerende løsninger, men ønsker samtidig å satse på løsninger som bidrar til redusert karbonavtrykk. Konseptutviklingens leveranse skal bestå av følgende:

- Generalarrangement (GA)
- Linjetegning
- Tankplan
- Forenklet MSLD (Main Single Line Diagram)
- Tonnasjeberegning
- Stabilitetsberegninger
- 3D bilde av fartøyet
- Kort-spesifikasjon

Det forutsettes at gjeldende regelverk blir undersøkt og fulgt. Det er fra rederiets side ikke ønskelig å måtte bygge fartøyet for skadestabilitet. Det er heller ikke ønskelig å måtte opprettholde flere klassenotasjoner enn nødvendig.

Kjetil Leif Nyvoll, 14.12.2020



---

## Forkortelser

<b>L<sub>OA</sub></b>	Lengde over alt
<b>L<sub>PP</sub></b>	Lengde mellom perpendikulær
<b>L<sub>WL</sub></b>	Lengde i vannlinjen
<b>AP</b>	Aktre Perpendikulær
<b>FP</b>	Forre Perpendikulær
<b>LCB</b>	Langskips oppdriftstyngdepunkt
<b>LCG</b>	Langskips vekt tyngdepunkt
<b>VCG</b>	Vertikal vekt tyngdepunkt
<b>GM</b>	Metasenter høyde
<b>C<sub>M</sub></b>	Midtskipskoeffisient
<b>C<sub>B</sub></b>	Blokkoeffisient
<b>MDO</b>	Marin dieselolje
<b>MGO</b>	Marin gassolje
<b>HFO</b>	Marin tungolje
<b>LNG</b>	Flytende naturgass
<b>MSLD</b>	Main Single Line Diagram/enlinjeskjema
<b>DP</b>	Dynamisk Posisjonering
<b>ECR</b>	Engine control room/Kontrollrom
<b>DNV</b>	Det Norske Veritas
<b>CTD</b>	Ledningsevne, Temperatur, Dypgang
<b>AUV</b>	Autonomt undervannsfartøy
<b>Fpp</b>	Fixed pitch propeller/Fast propell
<b>IMO</b>	Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen
<b>ISO</b>	Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen
<b>SOLAS</b>	Safety of Life at Sea /Sikkerhet for menneskeliv til sjøs
<b>ICES</b>	Det internasjonale havforskningsrådet
<b>MARPOL</b>	Den internasjonale konvensjonen til forhindring av marin forurensning fra skip
<b>ILO</b>	Den internasjonale arbeidsorganisasjonen
<b>ITTC</b>	International Towing Tank Conference
<b>HIPAP</b>	High Precision Acoustic Positioning / høy presisjons akustisk posisjonering
<b>PTO/PTI/PTH</b>	Power Take Off/Power Take in/Power Take Home
<b>HVAC</b>	Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk
<b>CFD</b>	Computational Fluid Dynamics/Numerisk fluiddynamikk
<b>IGF</b>	the International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels /Internasjonal kode for skip som bruker drivstoff med lavt flammepunkt
<b>Swath</b>	Small waterplane area twin hull

---

# Innhold

<b>Figurer</b>	<b>xi</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>2</b>
1.1 Prosjektering . . . . .	2
1.2 Avgrensinger . . . . .	2
<b>2 Prosjektoversikt</b>	<b>3</b>
2.1 Reder . . . . .	3
<b>3 Regler og lovverk</b>	<b>4</b>
3.1 IMO . . . . .	4
3.2 Klaseselskap og sjøfartsmyndighetene . . . . .	4
<b>4 Anbefalinger</b>	<b>4</b>
4.1 ICES . . . . .	4
4.2 Eurofleet . . . . .	4
4.3 ITTC . . . . .	4
<b>5 Oversikt over fartøyet</b>	<b>5</b>
5.1 Operasjonsprofil . . . . .	5
5.2 Operasjonsområde . . . . .	6
5.3 Fartøysdefinisjon . . . . .	7
<b>6 Første valg av hoveddimensjoner</b>	<b>9</b>
6.1 Parametrisering . . . . .	9
6.2 Endring av hoveddimensjonene . . . . .	10
<b>7 Linjeutforming</b>	<b>11</b>
7.1 Skrogvalg . . . . .	11
7.2 Forskipet . . . . .	12
7.3 Midtskipet . . . . .	13
7.4 Akterskipet . . . . .	13
7.5 Styrlast . . . . .	14
7.6 LCB . . . . .	14
7.7 Skrogalternativ . . . . .	14

---

<b>8</b>	<b>Motstand</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Fremdrift og propulsjonskonsept</b>	<b>17</b>
9.1	Energibærer . . . . .	17
9.2	Teori: Alternative drivstoff . . . . .	17
9.3	Valg av energibærer . . . . .	21
9.4	Energiutnyttelse på skip . . . . .	21
9.5	Propulsjons- og fremdriftskonsept . . . . .	22
9.6	Fremdriftsløsninger . . . . .	24
9.7	Elektromotor . . . . .	26
<b>10</b>	<b>Valg av løsning</b>	<b>26</b>
10.1	Lignende fartøy med LNG og batteri . . . . .	28
10.2	Kostnader og støtte . . . . .	28
10.3	Klasse . . . . .	29
<b>11</b>	<b>Fremdrift og propulsjonsanalyse</b>	<b>30</b>
11.1	Tidlig estimering . . . . .	30
11.2	Propeller . . . . .	31
<b>12</b>	<b>General Arrangement</b>	<b>37</b>
12.1	Plassering og størrelse: . . . . .	38
12.2	Brodekk . . . . .	38
12.3	Dekk 1. . . . .	38
12.4	Hoveddekk . . . . .	39
12.5	Under hoveddekk . . . . .	39
12.6	Tank top . . . . .	40
<b>13</b>	<b>Dimensjonering av system og maskineri</b>	<b>41</b>
13.1	Økonomisk transitfart . . . . .	41
13.2	Energibehov . . . . .	41
13.3	Generatorsett . . . . .	41
13.4	Nødgenerator . . . . .	42
13.5	Batteri . . . . .	42
13.6	Propulsjonsmotor . . . . .	43
13.7	Landstrøm . . . . .	43
13.8	Enlinjeskjema . . . . .	43

---

<b>14 Dekksutstyr</b>	<b>44</b>
14.1 Tråleutstyr . . . . .	44
14.2 Kraner . . . . .	44
14.3 Redningsutstyr . . . . .	45
14.4 Anker og fortøyingsutstyr . . . . .	45
14.5 Sammendrag dekkutstyr . . . . .	46
<b>15 Forskningsdrevet skipsdesign</b>	<b>47</b>
15.1 AUV . . . . .	47
15.2 CTD . . . . .	47
15.3 Corer . . . . .	47
15.4 Laboratorium . . . . .	47
15.5 Arbeidsdekk . . . . .	47
15.6 Containere . . . . .	48
15.7 Akkustisk utstyr . . . . .	48
15.8 Plassering av akustisk utstyr . . . . .	49
15.9 Løsningen for dette skipet . . . . .	51
<b>16 Tankkapasitet</b>	<b>52</b>
16.1 Våt overflateeffekt . . . . .	52
16.2 Sjøkasser . . . . .	52
16.3 Ballast . . . . .	52
16.4 Ferskvann . . . . .	52
16.5 Grå- og svartvann . . . . .	53
16.6 Slam . . . . .	53
16.7 Hydraulikkolje . . . . .	53
16.8 Smøreolje . . . . .	53
16.9 LNG . . . . .	53
16.10 Diesel . . . . .	54
16.11 Sammendrag Tankkapasitet . . . . .	54
<b>17 Struktur</b>	<b>55</b>
17.1 Topologi . . . . .	55
17.2 Bøyemomenter . . . . .	55
17.3 Section scantling . . . . .	56
17.4 Resultater . . . . .	56

---

---

<b>18 Vektestimat</b>	<b>57</b>
18.1 100 - Skipet generelt . . . . .	57
18.2 200 - Skrog . . . . .	57
18.3 300 - Utstyr for last . . . . .	57
18.4 400 - Skipsutstyr . . . . .	57
18.5 500 - Mannskap og innredning . . . . .	57
18.6 600 - Maskin-hovedkomponenter . . . . .	58
18.7 700 - System hovedkomponenter . . . . .	58
18.8 800 - Skipssystem . . . . .	58
18.9 Sammendrag vekt . . . . .	58
<b>19 Stabilitet</b>	<b>59</b>
19.1 Lastkondisjoner . . . . .	59
19.2 Kriterier . . . . .	61
19.3 Rulledemping . . . . .	61
19.4 Skadestabilitet . . . . .	62
<b>20 Stationkeeping Analyse</b>	<b>63</b>
<b>21 Manøvrering</b>	<b>64</b>
21.1 Ror . . . . .	64
21.2 Retningsstabilitet . . . . .	64
21.3 Manøvreringsanalyse . . . . .	65
<b>22 Modellforsøk</b>	<b>66</b>
22.1 Klargjøring av modellene . . . . .	67
22.2 Slepetanken . . . . .	67
22.3 Forsøket . . . . .	67
22.4 Feilkilder . . . . .	69
22.5 Tolking av resultatene . . . . .	69
22.6 Nytt forsøk . . . . .	69
22.7 Konklusjon for modellforsøket . . . . .	73
<b>23 3D-Modell</b>	<b>74</b>
23.1 Teamcenter . . . . .	74
23.2 Deling av 3D-modell . . . . .	74
23.3 Visualisering . . . . .	75

---

<b>24 Diskusjon</b>	<b>76</b>
<b>25 Konklusjon</b>	<b>78</b>
<b>Bibliography</b>	<b>79</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>80</b>
A Lignende fartøy . . . . .	80
B Motstand . . . . .	82
C Propulsjon . . . . .	83
D Modellforsøk . . . . .	85
E Struktur . . . . .	97
F Tonnasjeberegninger . . . . .	100
G Vektberegning . . . . .	101
H Stabilitetsrapport . . . . .	104
I DP-kapabilitet . . . . .	112
J Spesifikasjon . . . . .	125
K General Arrangement . . . . .	133
L Enlinjeskjema . . . . .	135
M Linjetegning . . . . .	137
N Tankplan . . . . .	139

---

## Figurer

1	Designspiralen . . . . .	2
2	Operasjonsprofil . . . . .	5
3	Operasjonsprofil i prosent . . . . .	6
4	Eksempel på prioriteringsliste . . . . .	8
5	SWATH . . . . .	11
6	Froudetall . . . . .	12
7	Maxsurf Motions . . . . .	12
8	Linjeutforming midtskipet . . . . .	13
9	Linjeutforming akterskipet . . . . .	13
10	Linje sett ovenfra . . . . .	14
11	Skrog med bulb . . . . .	14
12	Sammenligning av ren skrogmotstand mellom de to skrogene . . . . .	15
13	Sammenligning av skrogmotstand - Holtrop . . . . .	15
14	Sammenligning av skips- og skrogmotstand . . . . .	16
15	Energitetthet . . . . .	18
16	Alternative drivstoff - antall skip i operasjon/bestilling . . . . .	19
17	Drivstoffpriser DNV GL . . . . .	20
18	Propulsjonstyper . . . . .	22
19	Hybrid propulsjonssystem . . . . .	24
20	Hybrid propulsjonssystem med hybrid energiforsyning . . . . .	24
21	Elektrisk propulsjon . . . . .	24
22	Elektrisk propulsjon med hybrid energiforsyning . . . . .	24
23	Tradisjonelt AC system (PSV) . . . . .	25
24	ABB's DC system(PSV) . . . . .	25
25	El-motor konsept . . . . .	26
26	Propulsjon . . . . .	30
27	Estimering av skipsmotstand og effekt . . . . .	30
28	Estimering av motstand ved tråling . . . . .	31
29	Open water diagram B-series . . . . .	32
30	Flytdiagram for propell . . . . .	32
31	Propellklaring . . . . .	33
32	Optimum propeller wizard - transit . . . . .	34
33	Optimum propeller wizard - tråling . . . . .	34

---

34	Open water diagram for B5.66 . . . . .	35
35	Regresjonslinjer for grenselinjer i Burill kavitatsjondigram . . . . .	36
36	Sideprofil i Autocad . . . . .	37
37	3D-Bilde Dekksutstyr . . . . .	44
38	Hugin 1000 . . . . .	47
39	CTD . . . . .	47
40	Corer . . . . .	47
41	Konfigurasjoner for akkustisk utstyr . . . . .	48
42	Eksempel på nedsenkbar kjø . . . . .	49
43	Eksempel på gondola . . . . .	50
44	Eksempel på en strømlinjeformet ståltank . . . . .	50
45	Tankarrangement Maxsurf . . . . .	52
46	3D-Struktur . . . . .	55
47	Bøyemomenter . . . . .	56
48	Sammendrag struktur . . . . .	56
51	Avgang havn - Ballast . . . . .	59
52	Ankomst havn - Ballast . . . . .	60
53	Avgang havn - Lastet . . . . .	60
54	Ankomst havn - Lastet . . . . .	60
55	Kriterier Stabilitet . . . . .	61
56	Alternative plasseringer for rulledempingstank . . . . .	62
57	Kraft propulsjon . . . . .	63
58	Kapasitetsplott . . . . .	63
59	Flytdiagram for modellforsøk . . . . .	66
60	Modell Bulbbau . . . . .	67
61	Modell Tverrbau . . . . .	67
62	Sammenligning av skrogmotstanden . . . . .	69
63	Modellene som testes . . . . .	69
64	Sammenligning av slepetestresultater for tverrbau og bulbbau . . . . .	70
65	Sammenligning forsøk 1 og 2 . . . . .	71
66	Differanse - forsøk 1 og 2 . . . . .	71
67	Sammenligning av ren skrogmotstand. Empiri vs. modellforsøksresultater . . . . .	72
68	Sammenligning av skipsmotstand. Empiri vs. modellforsøksresultater . . . . .	73
69	3D-Modell . . . . .	74
70	3D-Modell JT . . . . .	74



---

71	3D-Modell babord . . . . .	75
72	3D-Modell styrbord . . . . .	75
73	Lignende fartøy . . . . .	80
74	Regresjon . . . . .	81
75	regresjon laboratorium . . . . .	81
76	Motstand tverrbau . . . . .	82
77	Motstand bulbbau . . . . .	82
78	Excelark for kellers kriterie . . . . .	84
79	Kavitasjonssjekk . . . . .	84
80	Sammendrag struktur . . . . .	97
81	Platetykkelse . . . . .	97
82	Minimumtykkelse . . . . .	97
83	Platebuling . . . . .	98
84	Buling stivere . . . . .	98
85	Hogging kondisjon Maxsurf . . . . .	98
86	Sagging kondisjon Maxsurf . . . . .	99
87	Tonnasjeberegning . . . . .	100

---

## Tabeller

1	Krav . . . . .	7
2	Miljø . . . . .	19
3	Tilgjengelighet og infrastruktur . . . . .	20
4	Kostnad . . . . .	20
5	Sammenligning av propulsjonsløsning . . . . .	22
6	Propulsjonkonsept . . . . .	25
7	Sammenligning av AC og DC . . . . .	25
8	Atair . . . . .	28
9	Libas . . . . .	28
10	propelldata . . . . .	34
11	Grov estimering av energiforbruk . . . . .	41
12	Dekksutstyr . . . . .	46
13	Tankvolum . . . . .	54
14	Sammenligning mellom rullestabilisatorer . . . . .	61
15	Dimensjoner på slepetanken ved NTNU Ålesund . . . . .	67
16	Modellforsøk tverrbau . . . . .	68
17	Modellforsøk bulbbau . . . . .	68

## Sammendrag av hoveddimensjoner for det endelige konseptet



Hoveddimensjoner			
$L_{OA}$	Lengde over alt	45	m
$L_{PP}$	Lengde m. perp.	41.6	m
$B_M$	Bredde	11	m
$D_M$	Dybde	6.3	m
$T_{DWL}$	Dypgang	4	m
GT	Brutto tonnasje	892	GT
$V_S$	Transitfart	11	kn
	Utholdenhet	5	Døgn

Propulsjonssystem		
LNG-Batteri-Hybrid	690	vDC
Generatorsett	2x1110	kW
El-Motor Tandem	2x600	kW
Batteri	992	kWh
Propell 5-Blad	Ø2.40	m
Baugthruster	500	kW
Hekkthruster	500	kW

Innredning		
Enkeltlugarer	16	stk
Arbeidsdekk	160	m <sup>2</sup>
Operasjonsrom	12.3	m <sup>2</sup>
Våtlab	23	m <sup>2</sup>
Tørrlab	19	m <sup>2</sup>

Instrument	
CTD	
ADCP	
Multibeam ekkolodd	
Sub bottom profile	
Posisjoneringssystem	

Dekksutstyr	
A-Ramme	12t
T-Ramme	8t
Arbeidskran	8t @ 10m
Proviantkran	2t @ 12m
2 x Trålvinsj	1500m 16mm
Kombivinsj	
Tråltrommel	

---

# 1 Introduksjon

Forskningsskip er et krevende fartøysegment med mange motstridende krav. Det er stadig utvikling innen produksjon av energi på skip, og skipene blir mer energieffektive. Det er flere valg av mulige tekniske løsninger, og enda flere mulige kombinasjoner av disse. Gjennom dialog med reder, må behov og formål kartlegges slik at en oppnår et lønnsomt og bærekraftig fartøy.

Målet med denne oppgaven er å assistere en reder med avgjørelser under prosjekteringen av et nytt fartøy. Med stadig strengere krav til utslipp og større fokus på miljøvennlighet ble det tidlig bestemt at muligheten for å designe et ”grønt” fartøy skal bli undersøkt.

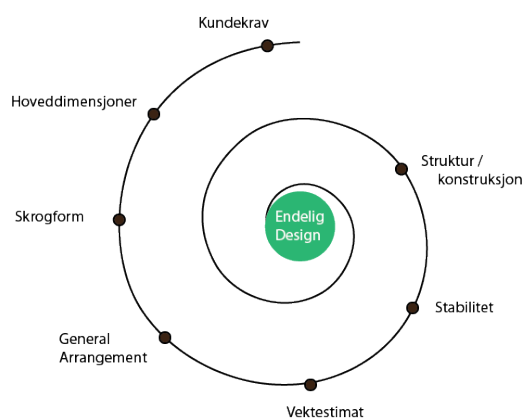
For å klare dette har det vært viktig å identifisere hva som er viktig for et forskningsfartøy, hvordan det opererer og hva som skal ombord. Skip er komplekse og valgene som blir tatt vil påvirke andre deler av designet. Det vil si at kompromiss må inngås for å komme frem til en god totalløsning for designet av dette forskningskipet.

## 1.1 Prosjektering

Skipsdesign er en iterativ prosess. Det er i denne oppgaven planlagt å repetere designspiralen tre ganger. Som vist i figur 1, vil det bli sett på hoveddimensjoner, skrogform, styrke og stabilitet. General arrangementet blir oppdatert fortløpende med nye revisjoner. Det blir tatt antagelser i tidlig fase for å ha et grunnlag videre i oppgaven. Ved nye iterasjoner vil antagelser bli rettet opp.

## 1.2 Avgrensinger

Konseptutvikling av skip er tidskrevende. Som følge av tidsbegrensningen i denne oppgaven, vil ikke alle aspektene ved skipene være studert grundig nok. Enkelte deler vil bli presentert overordnet og antagelser blir tatt. Dette gir et grunnlag for videre arbeid.



Figur 1: Designspiralen

---

## 2 Prosjektoversikt

For å kunne hjelpe reder i anskaffelse av et nytt fartøy, er det en fordel å forstå hva som er verdi for reder og hva som er viktig for reders kunder.

### 2.1 Reder

Rederi bemanner, vedlikeholder og etterforsyner fartøy de eier. Verdi for en reder er å ha en effektiv båt som er billig å drifte, og som er enkel å vedlikeholde. Siden dette fartøyet skal leies ut er det viktig at skipet er attraktivt for kundene. Kundene kan ha forskjellige fokusområder og interesser. Derfor er det en fordel at skipet er fleksibelt, med mulighet for å bytte ut utstyr for de forskjellige toktene. Skipet må være godt nok utrustet slik at det er attraktivt for kundene, men samtidig ikke så overutrustet at det blir for dyrt å leie.

Reders kunder kan være institusjoner som ikke har egne fartøy og institusjoner som ikke har nok fartøy. Eksempel på kunder kan være universitet, offentlige og private forskningsinstitusjoner. Siden skipets hjemmehavn er i Ålesund er det en fordel å se hvilke potensielle kunder som er i området.

Eksempler på lokale kunder kan være:

- Runde Miljøsentor
- NTNU - Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet
- Møreforskning

Eksempler på andre kunder kan være:

- Havforskningsinstituttet
- Kartverket
- NGU - Norges Geologiske Undersøkelse

Forskning og kartlegging er viktig ved kraftproduksjon, fiskeoppdrett og matdyrking. Ålesund og Giske er med på et pilotprosjekt for kartlegging av kystsonen. Prosjektet heter "marine grunnkart i kystsonen". Det skal her samles inn kunnskap og data om havbunnen langs norskekysten. Det kan derfor være gunstig å utruste skipet for slike oppdrag.

---

## 3 Regler og lovverk

Gjeldende regelverk undersøkes og følges. Mange av de nasjonale reglene bygger på internasjonale konvensjoner.

### 3.1 IMO

The International Maritime Organization ble opprettet for å bidra til økt sikkerhet og mindre miljøforurensing til sjøs. SOLAS og MARPOL er de to viktigste konvensjonene.

SOLAS (The Safety Of Life At Sea Convention) fastsetter minimumskrav for konstruksjon, utstyr og drift av skip.

MARPOL (The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) er en internasjonal konvensjon til forhindring av marin forurensing fra skip. Det er spesielt vedlegg VI: Hindring av luftforurensing fra skip, som blir mye brukt i denne oppgaven.

#### 3.1.1 IGF-koden

IMO sin IGF-kode inneholder retningslinjer for sikkerhet ved bruk av LNG eller andre drivstoff med lavt flammepunkt. Norge har også nasjonale regler for skip som bruker LNG. Et eksempel på dette er: *Forskrift for lasteskip hvor forbrenningsmotorer drives med naturgass.*

### 3.2 Klaseselskap og sjøfartsmyndighetene

Det er sjøfartsdirektoratet som sertifiserer skip og kontrollerer at skipet følger regelverket. Klaseselskapene har sine egne krav og regler som skipet må oppfylle for å få klassenotasjon.

## 4 Anbefalinger

### 4.1 ICES

Det internasjonale havforskningsrådet (ICES - International Council for the Exploration of the Sea) kommer med råd rundt fiskekvoter, men også anbefalinger i forhold til undervannsstøy fra forskningsskip. Det er spesielt ICES cooperative research report no.209: *Underwater Noise of Research vessels - review and recommendations* som blir sett på i forhold til denne oppgaven.

### 4.2 Eurofleet

Eurofleet er en allianse mellom europeisk marin forskningsinfrastruktur. Her finnes informasjon om flere forskningsfartøy. Eurofleet har blant annet publisert et skriv med anbefalinger rundt design av regionale forskningsskip som heter *Guidelines and recommendations for ship design on work deck installation and operations for scientific equipment* som vil bli undersøkt.

### 4.3 ITTC

International Towing Tank Conference har noen anbefalte prosedyrer og retningslinjer for blant annet modellforsøk. Disse blir brukt ved modellforsøkene i tanken ved NTNU Ålesund.

---

## 5 Oversikt over fartøyet

### 5.1 Operasjonsprofil

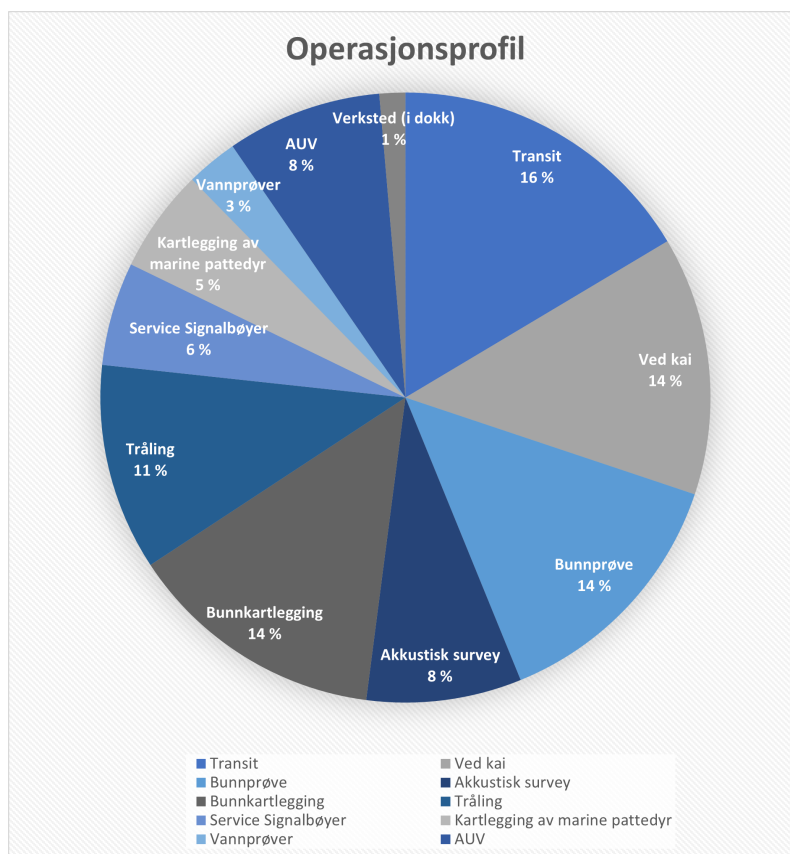
Forskningskipet har flere oppgaver som krever ulike hastigheter. Følgende estimat av operasjonsprofilen ble oppgitt av reder.

Aktivitet	Tid (døgn)	Fart (kn)
Transit	60	11?
Ved kai	50	0
«DP» (Geo. bunnprøver) *	50	0
Akkustisk survey	30	9
Bunn kartlegging	50	6
Tråling	40	2
«DP» (Service signalbøyer) *	20	0
Kartlegging av marine pattedyr	20	6
Vannprøver	10	2
Undervanns survey (AUV)	30	5
Verksted (i dokk)	5	0
SUM	365	

Figur 2: Operasjonsprofil

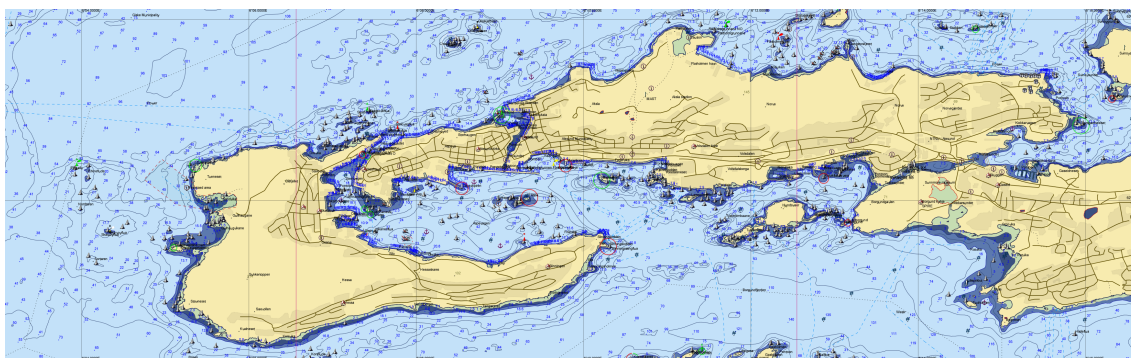
Det var for reder vanskelig å anslå hva kraftforbruket ville bli ved dynamisk posisjonering, men reder ønsker at skipet skal kunne operere i et tilstrekkelig værvindu, så gode sidethrustere er nødvendig for å klare å holde posisjon. Det blir derfor kommet med et forslag for størrelse på sidethrustere med et kapabilitetsplot, slik at reder kan vurdere om forslaget er tilstrekkelig.

Basert på estimatet fra reder, ble det laget en oversikt over hvordan aktivitetene er fordelt på et år.



Figur 3: Aktivitet i prosent

## 5.2 Operasjonsområde



Operasjonsområdet er i hovedsak kystnært i Norge. Mye av arbeidet foregår inne i fjorder, rundt oppdrettsanlegg, og generelt innenfor 12 mils-grensen.



---

## 5.3 Fartøysdefinisjon

Forskningskip har vanligvis høy manøvrerbarhet, høyteknologisk utstyr, laboratorium og innredning for både forskere og mannskap.

### 5.3.1 Operasjonelle og funksjonelle krav

Rammebetingelser	Funksjonelle krav	Operasjonelle krav
<ul style="list-style-type: none"><li>• Havneforhold (T og B)</li><li>• Klimatiske forhold</li><li>• Lovverk, klasse og regler</li><li>• Laste- og losseutstyr</li><li>• Type last</li><li>• Seilingsdistanse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lastekapasitet</li><li>• Manøvreringsevne, DP, posisjoneringsevne</li><li>• Skipsbevegelser</li><li>• Krav til fribord</li><li>• Stabiliteteskrav</li><li>• Maks lengde</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dekksutstyr</li><li>• Over-side håndtering</li><li>• Fleksibilitet i utbytte av utstyr</li><li>• Arrangement av arbeidsdekk</li><li>• Stillegående drift</li></ul>

Tabell 1: Krav

#### Fribord

Flere av operasjonene krever at det blir tatt ut og inn utstyr fra siden av skipet. Et lavt fribord forenkler slikt arbeid, men vil også medføre større risiko for skip og mannskap med tanke på bølger og stabilitet.

#### Dyppgang og havneforhold

Skipet må være lite nok til å kunne gå inne i fjordene, men samtidig av slik størrelse at det kan operere i flere værforhold. Det er en fordel å ha liten dyppgang, spesielt dersom farøyet skal operere i grunne omgivelser.

#### Skipsbevegelser

Å minimere skipsbevegelser øker komforten ombord. I tillegg blir det tryggere for mannskap, passasjerer og last. Det skal utføres presisjonsarbeid i laboratoriene, og det skal arbeides mye på dekk. Derfor er det viktig at skipets bevegelser er så små som mulig. Passasjerer ombord er ikke nødvendigvis sjøvante, og har derfor lettere for å bli sjøsyke. Stabiliteten må da tilpasses slik at komforten er god, og bevegelser dempes.

#### Manøvrering

Forskningskip bør ha høy grad av gode manøvreringsegenskaper. Mulighet for å manøvrere i lav hastighet kreves for operasjon av diverse forskningsutstyr. Det er også nødvendig med god manøvreringsevne når skipet skal legge til og gå fra havn.

#### Posisjoneringsevne

Flere av operasjonene krever dynamisk posisjonering. Men det stilles ikke like strenge krav til redundans som ved for eksempel et offshoreskip som skal kunne holde posisjon selv om mange systemer svikter.

#### Stillegående operasjon

For å få målinger av god kvalitet bør skipet være stillegående og skape minst mulige vibrasjoner. I tillegg er det ikke ønskelig å skremme bort sjøpattedyr og fisk. Store vibrasjoner vil også føre til ubehag for de ombord. Det kan også føre til tretthetsbrudd og økt vedlikeholdbehov.

#### Forskningsutstyr, laboratorium og arbeidsdekk

Siden dette er et tverrfaglig forskningskip er det en fordel å ha fleksibilitet på arbeidsdekket. Mulig-

---

het for flere alternative plasseringer for containere, og annet dekkstutstyr er ønskelig. Forskningsskip er utstyrt med flere ulike laboratorier.

### 5.3.2 Prioriteringer

En får en oversikt over hva rederen ser på som de viktigste egenskapene til skipet om det blir satt opp liste med rangerte prioriteringer. Nedenfor vises et eksempel av en slik liste.

Forskningsskip Design	Prioritet
Arbeidsdekk areal og arrangement	6
Laboratorium areal and arrangement	6
Dyppgang	6
Dynamisk posisjonering	5
Manøvrering ved lave hastigheter	5
"Seakeeping"	5
Kran håndtering	4
Overside håndtering	4
Lagring av forskningsutstyr	3
Generert undervannsstøy	3
Hastighet	2

Figur 4: Eksempel på prioriteringsliste

---

## 6 Første valg av hoveddimensjoner

I kravspesifikasjonene ser reder for seg at skipet kan være mellom 40-45m. Ut i fra de andre kravene ser dette ut til å være realistisk. Det ble valgt å legge seg i øverste grense på 45 meter i startfasen. Hovedgrunnen til dette er at teknologi for å redusere miljøavtrykk ofte er plasskrevende, og reder er villig til å satse på slike løsninger.

Regresjon ble brukt som et hjelpemiddel for å finne startverdier. Regresjonen ble utarbeidet ved å hente inn informasjon om lignende skip. Innsamlet data, samt regresjonene, er å finne i vedlegg A. Startverdiene vil kunne justeres i neste omgang.

Ut ifra regresjon ble følgende startverdier valgt:

L	45m
B	10.5m
D	7.2m
T	3m
$C_B$	0,55
GT	600-700

Dypgangen på tre meter fra regresjonen ga for liten plass til propell. Denne ble derfor oppjustert til 4 meter. Det har ikke blitt funnet nok data på blokkoeffisient for referanseskipene. Blokkoeffisient ble antatt til å ligge mellom 0,5-0,6 og ble satt til 0,55 som et startpunkt.

Følgende sammenheng ble brukt for å finne deplasement:

$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho_s \quad (1)$$

Dette gir et deplasement på ca. 800 tonn. Etter justering av dypgangen (T) gav dette et deplasement på ca. 1065 tonn.

### 6.1 Parametrisering

Parametrisering er viktig i starten av designprosessen. Det er ønskelig at startverdiene for hoveddimensjoner skal treffe best mulig. Det er derfor viktig å reflektere over hva de forskjellige parameterene gjør i praksis.

#### 6.1.1 $C_B$ - Betydning for hastighet og deplasement

Blokkoeffisienten  $C_B$  bestemmer hvor voluminøst det neddykkede skroget er. Dette påvirker både de hydrodynamiske og hydrostatiske egenskapene til skipet. Et skip med lav  $C_B$  vil i utgangspunktet ha mindre motstand, men dette på bekostning av dypgang, stabilitet og lastekapasitet.

#### 6.1.2 $L/B$ - Betydning for motstand og sjøegenskaper

$L/B$  er en av de viktigste parameterene. Det er forholdet mellom lengden og bredden til skipet. Dette varierer ut ifra skipstype. En stor  $L/B$  er å foretrekke dersom hastighet er viktig, men er ikke særlig gunstig for manøvrerbarhet og stabilitet.

En empirisk formel som kan brukes for å estimere dette forholdet er  $L/B = 4.0 + 0.025(L-30)$ . (Watson 1998). Den er mest egnet for større skip. Ved denne formelen er  $L/B$  forholdet estimert til 4.375. Det ble valgt å senke denne noe ved å bruke verdiene funnet fra regresjonene.  $L/B$  forholdet blir da i startpunktet 4.29.

---

### 6.1.3 B/D - Påvirker styrke og stabilitet

B/D forholdet er også et viktig forhold tidlig i prosjekteringen. Denne gir en tidlig indikasjon på stabiliteten. Dette fordi man kan bruke L/D forholdet til å estimere en VCG i tidlige beregninger. (Watson 1998) B/D forholdet blir i startpunktet 1.46.

### 6.1.4 B/T - Betydning for stabilitetsegenskaper

B/T forholdet påvirker den initielle stabiliteten og motstanden siden den også bestemmer den våte overflaten til skipet. Denne varierer ofte mellom 2 og 4.5 (Dokkum 2020). Et større B/T forhold gir bedre initiell stabilitet. Ved T=3m ga dette et B/T forhold på 3.5.

### 6.1.5 L/D - Betydning for langsskipsstyrke og stålmengde

Et lavt lengde/dybde forhold øker vekten uforholdsmessig uten at det gir god langsskipsstyrke. Et høyt L/D forhold gir god langsskipsstyrke, men kan også gi unødvendig høy stålvekt.

#### Sammendrag av parametrene:

L/B	4.29
B/D	1.46
B/T	3.5
L/D	6.25

## 6.2 Endring av hoveddimensjonene

Etter å ha gjennomgått vekt, stabilitet og struktur for de ulike lastkondisjonene ble hoveddimensjonene justert. På grunn av stabilitetsproblemer tidlig i beregningene ble bredden økt fra 10.5 meter til 11 meter. Ved senere iterasjoner hvor skroget er noe forandret ble stabiliteten for god med denne nye bredden på 11 meter.

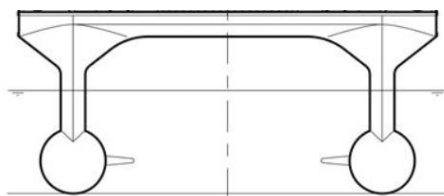
---

## 7 Linjeutforming

Med et estimat for hoveddimensjonene, kan en begynne med linjeutforming. Maxsurf Modeller ble brukt for å utforme skroget. I denne seksjonen blir de forskjellige mulighetene, utfordringene ved skrogutforming og valgene som ble tatt diskutert.

### 7.1 Skrogvalg

Man har flere valg når det kommer til skrogutforming, og alle løsningene har sine fordeler og ulemper. Monohull er den mest brukte for slike fartøy, men noen velger også å bruke SWATH for sine skip. SWATH står for *Small Waterplane Area Twin Hull*, og har som navnet tilsier et lavt vannlinjeareal. Fordelene med SWATH er mange. Mindre vannlinjeareal fører til mindre bevegelser i bølger, noe som kan være en stor fordel for forskerne som utfører nøyaktig arbeid ombord. En annen fordel er dekkareal, siden en kan oppnå en større bredde på skipet uten å øke vannlinjearealet. Dette kan komme til nytte for skip med mye dekksutstyr.



Figur 5: SWATH

Kilde: BMT

Den største utfordringen med SWATH, i forhold til monohull, er at en liten endring i vektor fører til relativ stor variasjon av dypgangen til skipet. Dette skyldes at skipet har et lite vannlinjeareal. En annen utfordring er slamming mot bunnen av skroget. Dette skjer når bølgetoppene treffer undersiden av skipet. Dette kan være ødeleggende for komfort, og kan i verste fall være farlig for mannskapet. For å unngå dette blir det ofte montert aktivt justerende vinger.

Et tradisjonelt monohull ble valgt for denne oppgaven. Hovedgrunnen til at SWATH ikke ble valgt er at det er ønskelig å se på muligheten for å bruke LNG som energibærer. Da LNG trenger både større volum og ikke lagres i vanlige tanker gir dette plassutfordringer. Det er også utfordringer når det kommer til arrangement og plass til maskineri ombord en SWATH. For et forskningsskip er det ønskelig med liten dypgang. Monohull da et valg som gir dette, sammen med god fleksibilitet med tanke på utstyr og vektforandringer.

---

## 7.2 Forskipet

Det er viktig å se på operasjonsprofilen ved valg av skrogform. Skipet skal kunne gå 50 døgn i transit, og 30 døgn med akkustisk survey med gjennomsnittsfart på 9 knop. Dette tilsvarer 24% av operasjonstiden. På et skip med denne størrelsen vil man sannsynligvis spare en del på forbruket ved å se på mulighet for bulb. I tabellen til høyre er froudtallet for ulike hastigheter listet opp. I følge undervisning med Øyvind Gjerde Kamsvåg, virker en bulb positivt når  $fn > 0.25$  ved å lage et bølgesystem i motfase med skrogets eget bølgesystem. En bulb kan også virke positivt når  $fn < 0.25$ , ettersom en flytter fyldigheten fra skuldrene fremover. En av de negative sidene ved bulb og grunnen til at bulb ikke ble valgt for dette skipet, er at den vil kunne generere mer bobler under skroget. Dette kalles *bubble sweep-down*. Dette vil potensielt kunne forstyrre målingene ved bruk av akustisk utstyr.

Froudenummer		
Kn	m/s	Froude tall
1	0,5144	0,0245
2	1,0289	0,0490
3	1,5433	0,0735
4	2,0578	0,0979
5	2,5722	0,1224
6	3,0867	0,1469
7	3,6011	0,1714
8	4,1156	0,1959
9	4,6300	0,2204
10	5,1444	0,2448
11	5,6589	0,2693
12	6,1733	0,2938

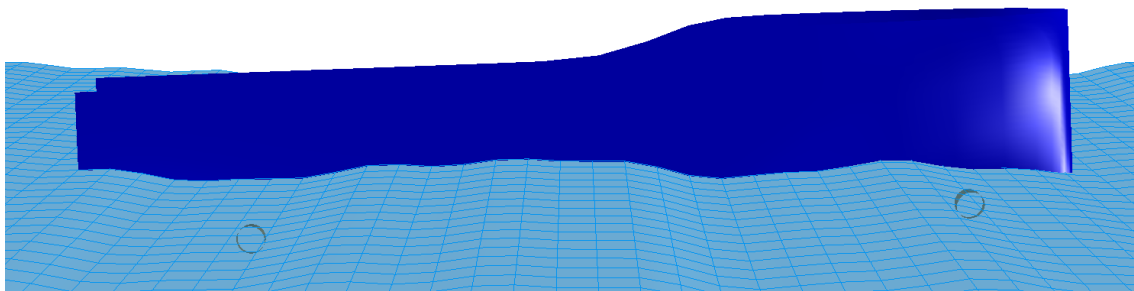
Figur 6: Froudetall

Siden akustisk survey og bunnkartlegging tilsvarer 22% av operasjonsprofilen, vil det trolig være nyttig å bruke CFD til å undersøke *bubble sweep-down effekten* for en bulb. Det kan også være nyttig å se på muligheten for at det akustiske utstyret er montert i en nedsenkbar kjøøl. Her må det vurderes hva som gir ønskelige forhold mellom motstand, forbruk og kostnader.

### 7.2.1 Tverr eller konvensjonell baug

Baugen har stor betydning for hvordan skipet beveger seg i vannet. Et tiltaket som ble gjort var å se på mulighetene for tverr baug. En tverr baug vil gi et skip som pitcher mindre i bølger, dette fordi volumsenteret ikke beveger seg like mye fremover som en konvensjonell baug ville ha gjort ved en bølge. Fordelen en konvensjonell baug har ovenfor en tverr, er reduksjon av sjøsprøyt på dekk.

For å se forskjellen i bevegelse mellom et skip med tverr baug og et med konvensjonell baug, ble både Maxsurf Motions og bølgemaskinen i modelltanken. Testene viste en tydelig forskjell mellom de to skrogene. Skipet med konvensjonell baug pitchet mer en skipet med tverr baug. Det ble derfor valgt tverr baug for dette fartøyet.



Figur 7: Maxsurf Motions - Tverr baug

### 7.3 Midtskipet

For midtskipet ble det sett på midtskipskoeffisienten  $C_M$ . En liten  $C_M$  vil gi større radiuser, som kan være positivt med tanke på forming av spant og for motstanden til skipet. Men dette vil også gi en økning i rulling. Slagradiusen for dette skipet er 1650mm. Med en slik radius kan man fort få litt rulling, og for å forhindre dette ble det monterer en passiv rulleddempingstank og slingrekjøøl på skipet. Slingrekjøølen er ikke med på tegningen siden maxsurf ikke er tilrettelagt for dette.

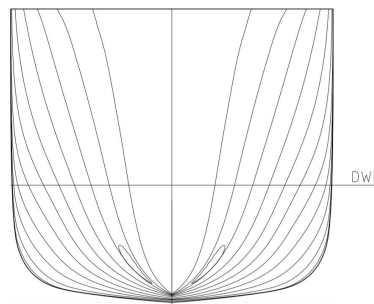
Skipet ble også designet en bunnreis på  $6^\circ$ . Dette for å få et mer retningsstabilt skip.

Bernoullis ligning vist i formelen under, tilsier at en høy variasjon i trykk vil gi stor variasjon på bølgehøgdene langs skroget. Det er derfor viktig at skroget har myke overganger for å minimere bølgemotstanden. Dette ble gjort ved å flytte fremre skuldrene lenger akterut for å få en mykere overgang.

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g\zeta + P = \text{Konstant}$$

$\zeta$  = Bølgeheving

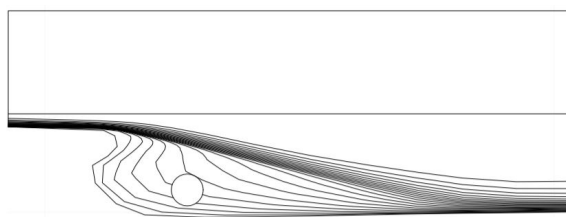
$v$  = Lokal vannhastighet



Figur 8: Linjeutforming midtskipet

### 7.4 Akterskipet

Å designe et akterskip kan være svært utfordrende og flere forandringer ble gjort underveis. For et forskningsskip ønsker man lavest mulig støy og vibrasjoner. Akterskipet ble derfor senket ned til under vannlinjen. Selv om dette fører til en høyere motstand, vil dette øke stabiliteten og minimere slamming i akterskipet grunnet bølger.



Figur 9: Linjeutforming akterskipet

I akterskipet ble det sett på forskjellen mellom et akterskip med og uten skeg. En skeg vil teoretisk gi bedre virkningsgrad siden skroget drar med seg vannet og gir en medstrøm. En skeg er ikke alltid positiv. Ved et strømningsbilde kan en se at bruk av skeg i akterskipet kan gi en ujevn strømning til propellen. Ujevn strømning kan føre til kavitasjon, mer støy og høyere motstand. Å ikke ha skeg gir et jevnere strømningsbilde, men ettersom propellakselen er festet med braketter i skroget, vil også dette påvirke strømningsbilde.

Det neste som ble sett på ved akterskipet var klaringen til propell. Der ble de valgt 25% klaring fra propelltippen til akterskipet. For et forskningsskip ønsker man en høy klaring for å minimere støy og vibrasjonsnivået.

---

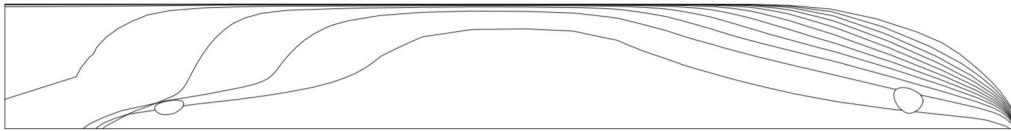
## 7.5 Styrlast

Styrlast er vinkelen bunnen av kjølen har mot basislinja. Hovedformålet med dette er å få større plass til propellen i akterskipet, men også for å få baugen mer opp som vil gjøre skipet lettere å manøvrere.

En annen fordel styrlast kan gi for et forskningsskip er et trykk mot bunnen av skipet som hjelper til med å hindre avløsninger fra overflaten, ettersom dette kan virke negativt for målingene til det akustiske utstyret. Dette skipet har derfor en styrlast på 600mm.

## 7.6 LCB

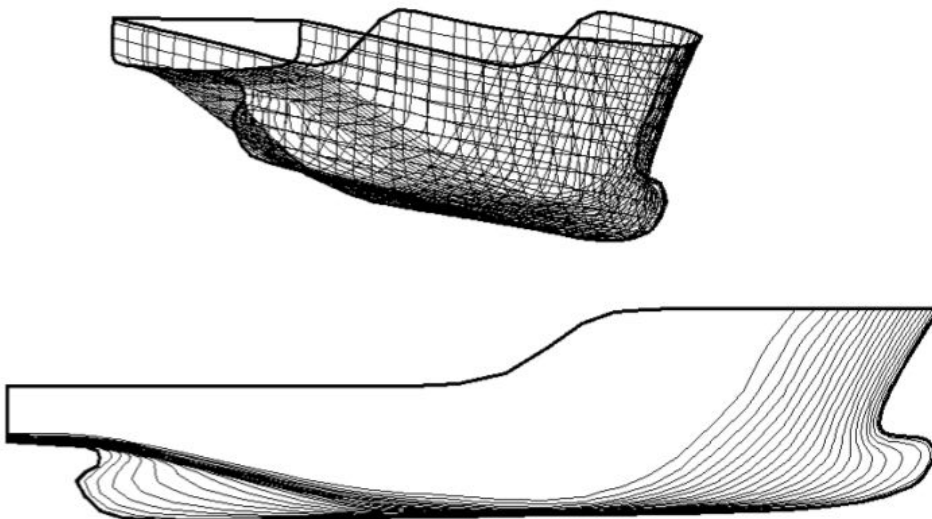
LCB er oppdriftssenteret til skipet og blir definert fra aktre perpendikulær. For at skipet skal ha minst mulig trim bør LCB korrespondere med LCG. Dette kan være en utfordring ettersom en har flere lastkondisjoner. I første omgang er det også en stor usikkerhet i hvor LCG kommer til å ligge, siden de fleste vektene kun er estimert. Det blir derfor utført flere iterasjoner av både linjene og vektene, til man har en LCB og LCG som korresponderer med hverandre best mulig.



Figur 10: Linje sett ovenfra

## 7.7 Skrogalternativ

Det ble laget et skrogalternativ med bulb. Dette for å se hvor mye ekstra motstand tverrbau har i forhold til en tilsvarende skrogform med bulb. De to skrogene er helt like med unntak av bauen. I seksjon 8 blir motstanden til de to skrogene sammenlignet i maxsurf resistance, og i seksjon 22 blir begge skrogene testet i slepetanken.



Figur 11: Skrog med bulb



## 8 Motstand

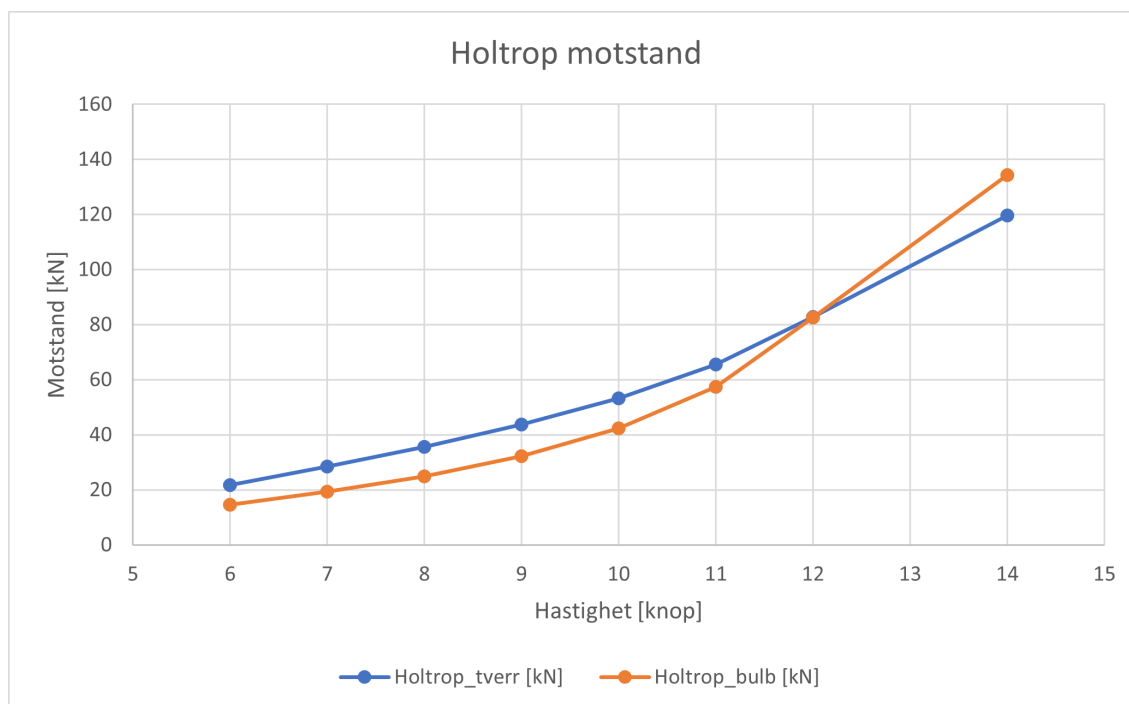
Maxsurf Resistance ble brukt for å estimere motstanden til de to skrogene i stille vann ved hjelp av empiriske formler. Grafer som viser alle de forskjellige empiriske metodene som ble analysert i Maxsurf ligger vedlagt i vedlegg B.

Det ble valgt å bruke Holtrop sin metode da denne er mye brukt. Fra Maxsurf ble ren skrogmotstand estimert. Siden *appendix* og størrelse på disse ikke var bestemt på dette tidspunktet ble disse tilleggene lagt til som prosent av skrogmotstanden. Dette for å få et anslag for den totale motstanden til skipet. Dragkoeffisienten for skip bruker å ligge i størrelseorden 0.5 til 1.0. (Steen 2007). For dette skipet ble gjennomsnittet på 0.75 antatt for dragkoeffisienten.

	% av skrogmotstand	
Total appendage drag	5 %	Referanse Molland
Skrogruhet	5 %	Referanse Molland
Dragkoeffisient	0,75	Antagelse
Luftmotstand	$R_A = \frac{1}{2}\rho_A C_D A_P V_A^2$	Referanse Molland

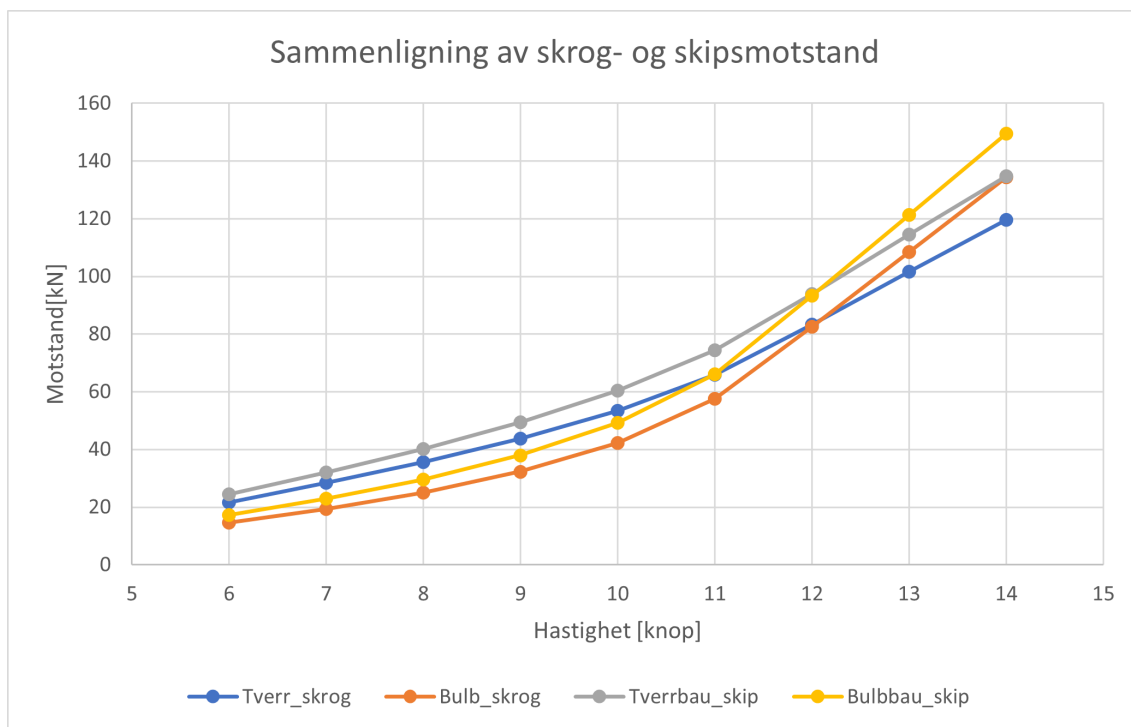
Fart (knop)	Ren skrogmotstand (kN)		Estimert motstand (kN)			Skipsmotstand (kN)	
	Tverr_skrog	Bulb_skrog	Appendix	Luftmotstand	Ruhet	Tverrbau_skip	Bulbbau_skip
6	21,7	14,6	1,1	0,6	1,1	24,4	17,3
7	28,4	19,3	1,4	0,8	1,4	32,0	22,9
8	35,6	25	1,8	1,0	1,8	40,2	29,6
9	43,8	32,3	2,2	1,3	2,2	49,5	38,0
10	53,4	42,3	2,7	1,6	2,7	60,3	49,2
11	65,9	57,5	3,3	1,9	3,3	74,4	66,0
12	83,3	82,6	4,2	2,3	4,2	93,9	93,2
13	101,7	108,5	5,1	2,7	5,1	114,6	121,4
14	119,7	134,3	6,0	3,1	6,0	134,8	149,4

Figur 12: Sammenligning av ren skrogmotstand mellom de to skrogene



Figur 13: Sammenligning av skrogmotstand - Holtrop

Som vist i tabellen i figur 12, og grafen i figur 13, har skroget med bulb mindre motstand helt frem til 12 knop. Deretter virker bulben negativt. Videre ble den rene skrogmotstanden sammenlignet med den estimerte skipsmotstanden i stille vann. Forskjellen kan man se i figur 14.



Figur 14: Sammenligning av skips- og skrogmotstand

---

## 9 Fremdrift og propulsjonskonsept

### 9.1 Energibærere

Alternative energibærere kan bli brukt som hovedkilde eller i en kombinasjon med mer konvensjonelle energibærere. Dersom alternative energibærere skal være hovedkilde, passer dette best for skip som opererer i begrenset geografiske områder med gode muligheter for tilførsel fra land. Siden dette forskningsskipet for det meste ligger til kai om natten og de lengste toktene varer i 5 dager, ser vi på dette skipet som godt egnet til å bruke andre alternative energibærere.

Det er mange hensyn å ta ved valg av energibærere. Det blir stadig strengere krav til utslipp, samtidig som avgifter ved utslipp blir dyrere. Alle nye skip må etterkomme miljøstandardene som er satt av nasjonal og internasjonal reglement. Ved nybygg er det viktig å tenke fremtidig, det kan koste mye å velge feil energibærere. Skip har lang levetid, ofte mellom 20-30 år, og det er ønskelig at utslippet til skipet skal fortsette å være innenfor kravene i løpet av levetiden. Investeringskostnadene er dyre for ny teknologi og alternative løsninger, men det kan gi besparelser ved drift.

Norge har som mål å redusere utslippet av klimagasser med 50 til 55 prosent innen 2030. (Regjeringen 2020). For å få ned utslippene bør diesel og olje erstattes med alternative drivstoff. Infrastruktur og tilgang til alternativt drivstoff og elektrisk energi er derfor viktig. Ikke minst må kostnadene tas hensyn til. Det er nødvendig at de alternative drivstoffene har en konkurransedyktig pris. I tillegg er det viktig å tenke på sikkerheten opp i det hele.

### 9.2 Teori: Alternative drivstoff

For å avgrense oppgaven er det blitt valgt å undersøke de følgende alternative drivstoffene: Biodrivstoff, hydrogen, ammoniakk, LNG og elektrisitet. Det gjøres oppmerksom på at det finnes flere alternativ som ikke er tatt med her.

#### 9.2.1 Biodrivstoff

Biodrivstoff er flytende eller gassformig brensel som er fremstilt av biologisk materiale. Biodrivstoff blir delt opp i 4 kategorier, fra første generasjon til fjerde generasjon. Den høyeste generasjonen regnes som mest bærekraftig. Biodrivstoff anses som et lovende alternativ til dagens fossile drivstoff. (SINTEF 2021) Det har potensielle CO<sub>2</sub> besparelser, men kan ha større NO<sub>x</sub> utslipp. For skip er biodiesel mest lovende siden det er mest egnet for å erstatte MDO/MGO. (DNV-GL 2021)

#### 9.2.2 Hydrogen

Hydrogen kan bli en av fremtidens viktigste energibærere, dette fordi hydrogen ikke har miljøskadelige utslipp under bruk. For å produsere hydrogen trengs store mengder energi(1kg trenger 50-55kWh). Det vil si at dersom hydrogen virkelig skal være en grønn energibærer, trenger man fornybare energikilder som sol, vann og vind. Hydrogen veier lite, men er voluminøst. Gassen kan enten komprimeres, eller gjøres flytende ved å kjøle den ned til -253 grader. (Øystese 2021). Uansett metode må tankene være solide, og er dermed tunge. I figur 15 viser pilene energitettheten til hydrogen dersom lagringen også tas i betraktning.

#### 9.2.3 Ammoniakk

Ammoniakk er en gass som har høyt innhold av hydrogen(18%), Om denne gassen produseres av fornybare energikilder vil dette være et godt alternativ for en klimavennlig energibærer(for 1kg trengs 10-12kWh). I forhold til ren komprimert hydrogen har den 50% høyere energitetthet og kan bli lagret i lettere tanker. Dette fordi den er i flytende form ved kun -33 grader og man har da

ikke bruk for kraftige trykktanker. (Øystese 2021). Ammoniakk i seg selv er giftig, og man har derfor krav og prosedyrer for hvordan man skal håndtere dette. Ammoniakken kan brukes direkte i forbrenningsmotor eller i en brenselcelle.

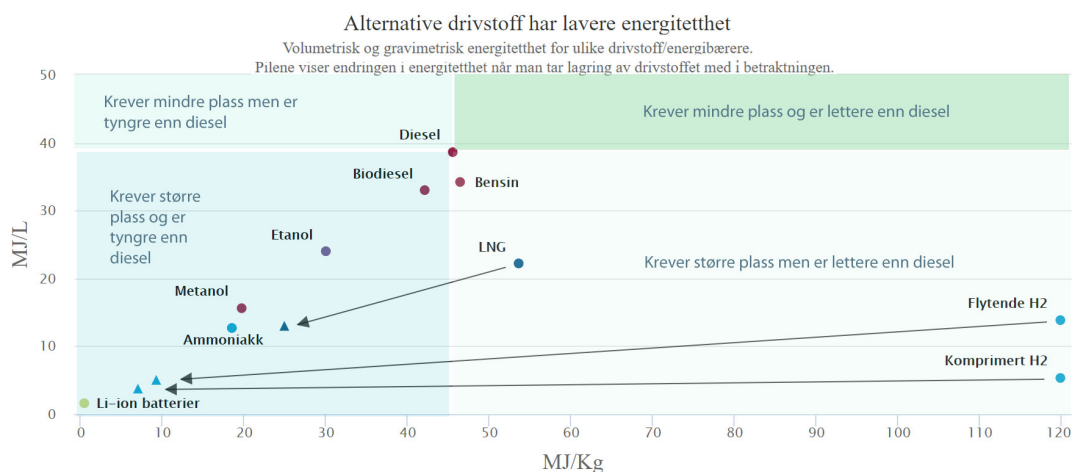
### 9.2.4 LNG

Hovedkomponenten i flytende naturgass (LNG) er metan ( $\text{CH}_4$ ). Kokepunktet til LNG er rundt  $-163^\circ\text{C}$  ved 1 bar. LNG må derfor bli lagret i isolerte tanker. Bruk av LNG fører til mindre utslipp av  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , partikler og  $\text{CO}_2$ . Derimot er uforbrent metan en utfordring. Metan regnes som en verre drivhusgass enn  $\text{CO}_2$ . Stadig bedre motorteknologi, gjør at lekkasjen blir mindre.

### 9.2.5 Batteri

Batteriteknologien blir stadig forbedret og rimeligere. Helelektrisk batteridrift fører ikke til utslipp ved bruk. Derimot er batteri energikrevende å produsere. Helelektriske skip er i dag best egnet for ferjer og andre fartøy med faste ruter og korte distanser. Delvis elektrisk drift kan gi utslippskutt ved flere fartøystyper.

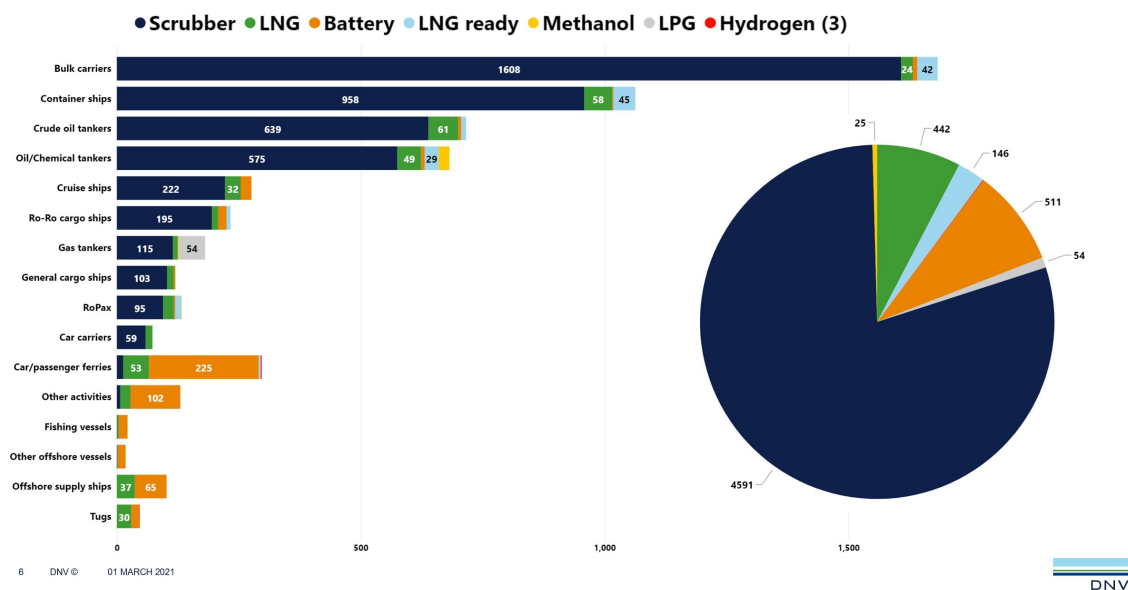
### 9.2.6 Sammenligning



Figur 15: Energitetthet

Kilde: Klimastiftelsen

## Total number of ships (in operation and on order)



Figur 16: Alternative drivstoff - antall skip i operasjon/bestilling

Kilde: DNV GL

Miljø	
<b>Biodrivstoff</b>	+ CO2 reduksjon (varierer veldig mtp type biodrivstoff) + Lite SOx utslipp - Bærekraftaspektet er noe usikkert
<b>Hydrogen</b>	+ Ingen utslipp av CO2 ved forbrenning + I brenselcelle kan NOx, SOx og partikler elimineres - Store energitap ved produksjon av hydrogen
<b>Ammoniakk</b>	+Høyere energitetthet enn hydrogen -Produksjonen i dag er i hovedsak basert på fossil energi -Utslipp ved produksjon - Giftig
<b>LNG</b>	+ Reneste fossile drivstoffet tilgjengelig i dag + Ikke SOx utslipp + Lite partikkel utslipp + Mindre NOx utslipp enn MGO og HFO - Metanutslipp
<b>Batterielektrisk</b>	+Ingen utslipp ved operasjon (dersom elektrisiteten kommer fra fornybare kilder) -Svært energikrevende å produsere batteri - Vanskelig å gjenvinne batteri

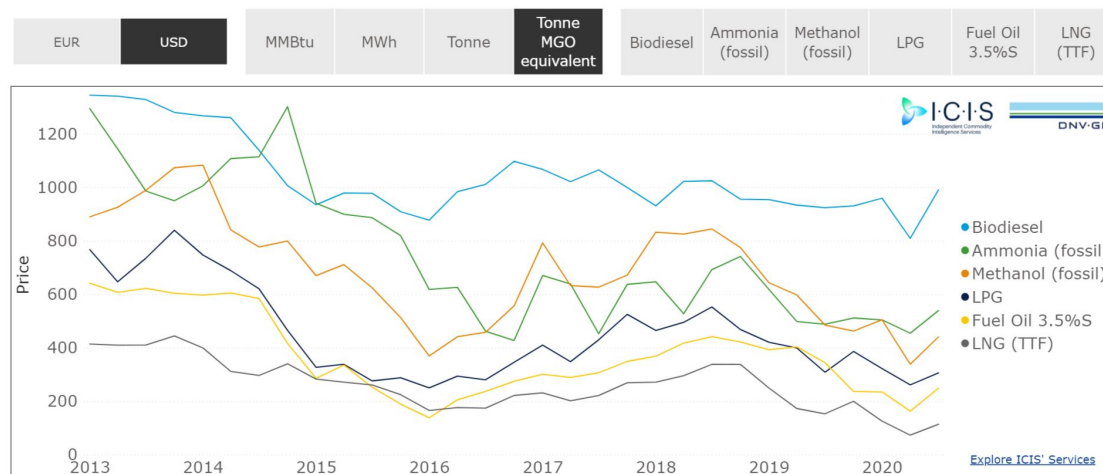
Tabell 2: Miljø

Tilgjengelighet og infrastruktur	
<b>Biodrivstoff</b>	+ Infrastrukturen er den samme som andre MDO/HFO - Lite etterspørsel, dermed er tilgjengeligheten begrenset per dags dato
<b>Hydrogen</b>	- Infrastruktur og bunkring er ikke utviklet
<b>Ammoniakk</b>	+ Eksisterende infrastruktur for transport og håndtering - Infrastruktur for bunkring er ikke helt på plass
<b>LNG</b>	+ Svært tilgjengelig i utgangspunktet - Dedikert LNG bunkringinfrastruktur er fortsatt begrenset, men blir stadig forbedret
<b>Batterielektrisk</b>	+ Infrastrukturen til landstrøm blir stadig bedre utbredt - Fortsatt begrensinger i forhold til lading

Tabell 3: Tilgjengelighet og infrastruktur

Kostnad	
<b>Biodrivstoff</b>	+ HVO (hydrotreated vegetable oil) er kompatibel med konvensjonell diesel og kan i prinsippet anvendes i alle dieselmotorer - Høye operasjonskostnader
<b>Hydrogen</b>	+ Kommer an på strømprisene eller gassprisene - Dyre tanker - Opplæring av mannskapet er nødvendig
<b>Ammoniakk</b>	+ Billig strøm gjør grønn ammoniakk stadig mer konkurransedyktig - Merkostnad for tankene
<b>LNG</b>	+ Konkurransedyktig med MGO + Virkningsgraden for gassystem er cirka likt det for konvensjoneltdrivstoff - Tankene er dyre - Opplæring av mannskapet er nødvendig
<b>Batterielektrisk</b>	+ Prisene går raskt ned + Billig strøm gjør batteri konkurransedyktig + God virkningsgrad - Lav energitetthet - Stor investeringskostnad i dag

Tabell 4: Kostnad



Figur 17: Pris på de forskjellige drivstoffene

Kilde: Alternative Fuel Insight - DNV GL

---

Som en oppsummering er det mye som spiller inn i valget av energibærer for et skip. Det er stor forskjell på energitettheten til de forskjellige drivstoffene, som vist i figur 15. De fleste alternative energibærerene har i utgangspunktet en relativt lav energitetthet. Når tanker og system blir tatt med i betraktningen synker energitettheten ytterligere sammenlignet med konvensjonell drivstoff. Å velge en energibærer med lav energitetthet fører til tap av lastekapasitet. En ekstra utfordring er at mange av de alternative energibærerene krever isolerte tanker. Det vil si at de i dag ikke kan lagres i dobbeltbunnen slik oljen kan. Virkningsgrad for de forskjellige systemene er ikke tilstrekkelig sammenlignet. Dette er noe som også bør tas med i betraktningen. Miljøpåvirkning er veldig overordnet nevnt i tabell 12. Det er mye som påvirker den totale miljøpåvirkningen til en energibærer. Det er ikke bare miljøpåvirkningen ved operasjon som må tas i betraktning, men også miljøpåvirkningen under produksjon og miljøpåvirkning i livssyklusperspektiv. Noen av de største utfordringene for alternative drivstoff er tilgjengelighet i de mengdene som kreves for shipping, drivstoffkostnader og internasjonale regler.

### 9.3 Valg av energibærer

Mange av de alternative drivstoffene er umodne. I tillegg er ikke infrastruktur og nødvendig regelverk på plass. Tilgjengelighet og pris gjør også at de fleste løsningene ikke er realistiske i nær fremtid. For dette skipet er det valgt å se på muligheten for å bruke LNG som hovedenergibærer. Bruk av LNG gir videre mulighet til å blande inn biogass eller gå fullstendig over til dette i senere tid dersom prisene for biogass synker.

### 9.4 Energiutnyttelse på skip

Det finnes en rekke muligheter for å forbedre energiutnyttelsen til et skip. Simulering og 3D-program blir stadig billigere og mer tilgjengelig. Dette gir mulighet for å optimere skrogdesignet. Et optimalt skrog reduserer motstanden og fører dermed også til mindre forbruk dersom brukt riktig. De fleste skrog er i dag kun optimalisert for en gitt operasjonshastighet og dyppgang. Med slike verktøy er det mulig å se på flere kondisjoner og få et bedre skrog totalt sett.

Andre mulige tiltak:

- Likestrømsnett
- Variabel turtallsdrift på motorene
- Frekvensstyrte el-motorer
- Akselgeneratorer
- Gjennvinning av varmetap
- Optimalisere propell

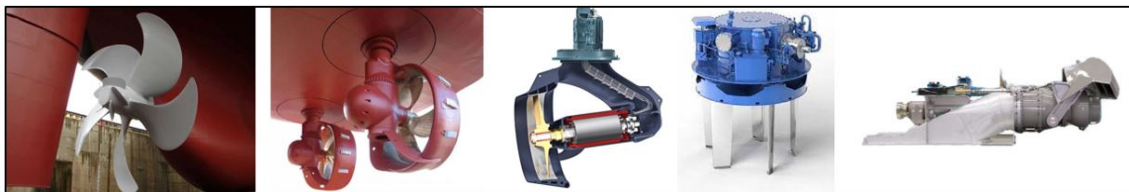
Utnyttelse av vind og solenergi er også mulig ved bruk av seil, kite og solcellepanel. Men dette er løsninger som vil ikke lønne seg for et forskningsskip med en drift og operasjonprofil som denne.

## 9.5 Propulsjons- og fremdriftskonsept

Det er flere alternativer på markedet, og alle løsningene har sine fordeler og ulemper. Nedenfor er noen av de mest brukte propulsjonsløsningene sammenlignet.

Sammenligning	
<b>Konvensjonell</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Pålitelig</li> <li>+ Enkelt å vedlikeholde</li> <li>+ Retningsstabil</li> <li>+ Lave kostnader</li> <li>- Ikke like manøvrerbar som alternativene</li> </ul>
<b>Azimuth</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Gode hydrodynamiske egenskaper</li> <li>+ Manøvrerbar</li> <li>+ Lavt støy og vibrasjonsnivå</li> <li>+ Enklere å vedlikeholde en Azipod</li> <li>- Høyere kostnader</li> </ul>
<b>Azipod</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Gode hydrodynamiske egenskaper(Lik azimuth)</li> <li>+ Bedre effektivitet siden man reduserer tap i systemet.</li> <li>+ Mindre lyd om vibrasjoner</li> <li>+ Mer plass i skipet.</li> <li>- Høyere kostnad</li> <li>- Vanskelig å vedlikeholde</li> </ul>
<b>Voith</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Manøvrerbar (umiddelbar endring av retning )</li> <li>+ Lavt støy og vibrasjonsnivå</li> <li>+ God effektivitet</li> <li>- Høyere kostnader</li> <li>- Vektøkning på grunn av beskyttelse av propell</li> <li>- Mye vedlikehold ettersom der er mange beveglige deler</li> </ul>
<b>Vannjet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Manøvrerbar</li> <li>+ Lav egenvekt</li> <li>+ Sikkerhet</li> <li>- Mest egnet for mindre fartøy</li> <li>- Lav virkningsgrad</li> </ul>

Tabell 5: Sammenligning av propulsjonsløsning



Figur 18: Konvensjonell, Azimuth, Azipod, Voith, Vannjett

### 9.5.1 Vridbar propell

Det er mange fartøy som har vridbar propell. Fordelen med vridbar propell er at en kan endre hastigheten til skipet uten å måtte endre turtallet på motoren. Ulempen med vridbar propell er at den genererer mye undervannstøy. Spesielt ved raske skift av stigning. I ICES sin forskningsrapport om undervannstøy fra forskningsskip er det identifisert at vridbar propell er inkompatibel med støykravene for et forskningsskip.



---

### 9.5.2 Fast propell

Fordelen med fast propell er at den er billigere og mer robust enn en vribar propell. Den genererer også mindre undervannstøy ettersom den er mer hydrodynamisk.

### 9.5.3 Antall propellblad

Kostnaden på propellen øker med antall blad. Derfor består mange propeller av 4 til 5 blad. Dersom kavitasjon, vibrasjon og undervannstøy er et problem, kan propeller med flere blad vurderes.

### 9.5.4 Dyse

For tråling vil bruk av dyse gi større thrust ved lave hastigheter. Dyse vil derimot virke negativt ved store hastigheter på grunn av ekstra motstand.

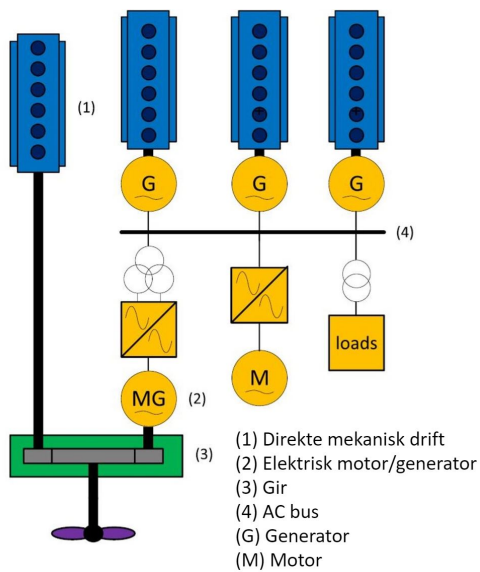
### 9.5.5 Antall propeller

Flere propeller kan være praktisk for det er da mulig å gå ned i propelldiameter. Dette fører til at skipet kan ha mindre dypgang. Flere propeller gir også redundans. Den negative siden med flere propeller er at energitapet blir større. Dette kommer av at det er flere bevegelige deler og flere tippvirvler. Fordelen med å kun ha en propell er lavere byggekostnader og bedre skrogvirkningsgrad.

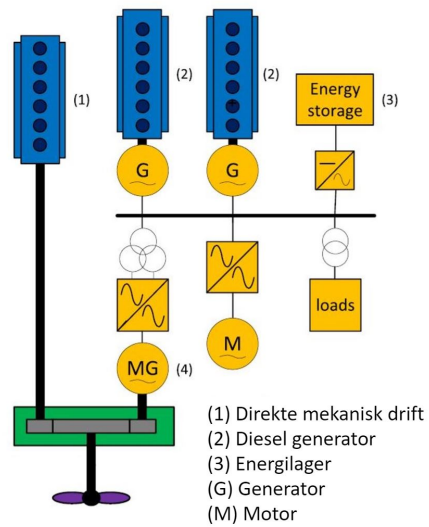
### 9.5.6 Størrelse

Størrelsen på propellen ble først raskt estimert ved hjelp av tommelfingerregelen  $300\text{-}350\text{kW pr.}m^2$  propellskive. Propellen kan også ha belastning opp mot  $500\text{kW pr.}m^2$  om nødvendig, men man ønsker som oftest å ha en større propell for å unngå kavitasjon. Denne ble senere nøyere utregnet i propulsjonsanalysen.

## 9.6 Fremdriftsløsninger

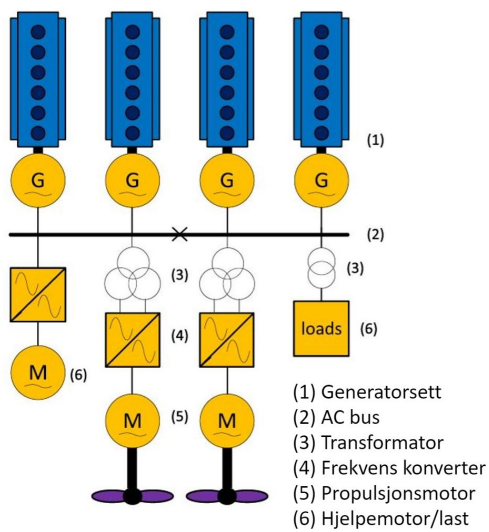


Figur 19: Hybrid propulsjonssystem

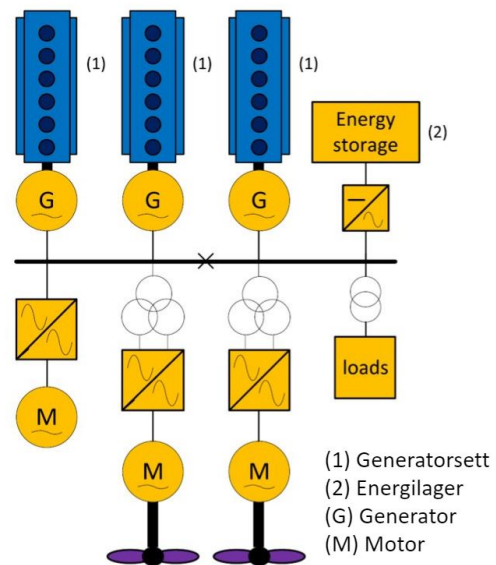


Figur 20: Hybrid propulsjonssystem med hybrid energiforsyning

Kilde: Geertsma (2017)



Figur 21: Elektrisk propulsjon



Figur 22: Elektrisk propulsjon med hybrid energiforsyning

Kilde: Geertsma (2017)

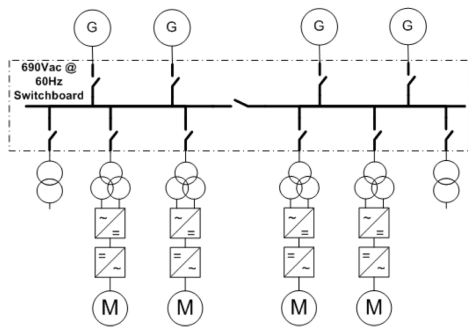
<b>Hybrid propulsjon</b>	+Redundans + Potensielt lite støy og vibrasjon ved elektrisk drift - Komplekst system
<b>Elektrisk propulsjon</b>	+ Drivstoffeffektiv når operasjonsprofilen har stor variasjon + Mindre støy og vibrasjon - Større tap i systemet pga flere konvertere - Bruker ofte fast propell siden el-motorer har variabel fart. Kan føre til mer vibrasjoner pga kavitasjon.
<b>Hybrid energikilde</b>	+ Kan kjøre mer effektivt ved at batteriet kan ta over last eller at batteriet blir ladet ved forskjellige operasjoner. Kan bidra til mindre utslipp. + Load leveling og peakshaving ved bruk av batteri - Dyr investering - Batteriet må brukes smart for at det skal lønne seg

Tabell 6: Propulsjonskonsept

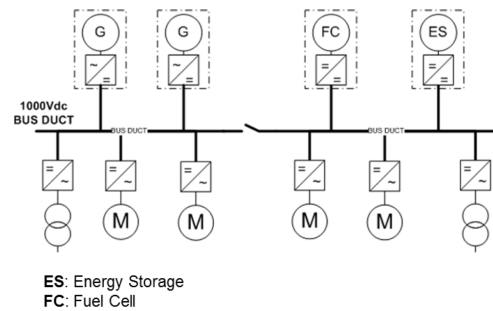
Kilde: Geertsma mfl. 2017

### 9.6.1 DC-bus og AC-bus

For det elektriske kraftsystemet for skip har vekselstrømssystem (AC) lenge blitt brukt. Likestrømssystem (DC) er noe som har eksistert lenge, men det har vært lite brukt på tavler på skip. Etersom det etterhvert er blitt mer vanlig å implementere batteri, er bruken av likestrømsnett (DC) blitt noe vanligere.



Figur 23: Tradisjonelt AC system (PSV)



Figur 24: ABB's DC system(PSV)

Kilde: ABB

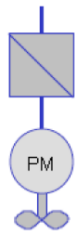
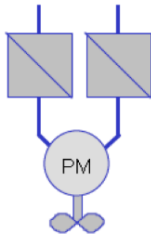
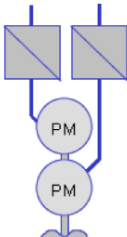
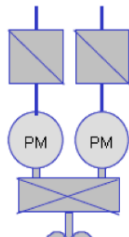
<b>AC</b>	+ Billigere løsning + Enkelt å transformere + Lettere å konvertere AC til DC enn omvendt - Fast turtall
<b>DC</b>	+ Variabel turtall og last + Optimal motorlast + Lettere å implimentere energikilder som akselgeneratorer, batteri og brenselceller + Mindre støy og viberasjoner - Komplekst - Kostnadsfullt

Tabell 7: Sammenligning av AC og DC

Kilde: Prenc mfl. 2016

## 9.7 Elektromotor

Elektromotor kan bli brukt som propulsjonsmotor. Det er forskjellige måter denne kan bli installert. De forskjellige konseptene er kort oppsummert i figur 25.

			
Enkel motordrift	Motor med dobbel vikling med konverter redundans	Tandem motor med konverter redundans	Gir og dobbel aksel
- ingen redundans	- Dersom lageret ryker vil man få havari + Konverter redundans	- Dersom lageret ryker vil man få havari + færrest bevegelige deler + Konverter redundans og motor redundans	- Dersom giret ryker vil man få havari + Motor redundans

Figur 25: El-motor konsept

## 10 Valg av løsning

Valg av løsning har mye å si for videre design av skipet. Spesielt med tanke på arrangement, vekt og stabilitet. Flere variabler og flere motsigene krav resulterer i at det ikke finnes et fasitsvar. Hvilken løsning som er mest kompatibel for dette skipet er derfor vanskelig å si uten mer informasjon, estimering og beregning av kostnader, forbruk og operasjonmodus.

### Løsning

Dual fuel generator-sett  
 Batteri  
 Tunnelthruster i hekken  
 Tunnelthruster i bauen  
 Tandem elektromotor (AC) som propulsjonsmotor  
 Propell (FFP) fast stigning med flappror

De fleste forskningsskip kjører i dag en diesel-elektrisk løsning. Noen få fartøy har diesel-hybrid, da med batteri. Det ble valgt å se videre på en løsning som består av en kombinasjon av diesel, LNG og batteri. Hovedbegrunnelsen for valg av LNG er fremtidskompatibilitet med tanke på fremtidig utslippkrav og tilgjengelighet. Ved å velge dual fuel motorer vil det også være mulig å gå over til biogass dersom det er ønskelig eller nødvendig for å være innenfor utslippskrav.

Denne kombinasjonen av LNG og batteri vil kunne gi gode muligheter for redusert karbonavtrykk. Teknologien som er nødvendig for å drive et skip med LNG og batteri er også modent i forhold til de fleste andre alternative energikildene i dag.

---

LNG byr på utfordringer når det kommer til design og merkostnader. Det er viktig med optimal operasjon av motorene for å god effektivitetsgrad, og minst mulig utslipp av drivhusgasser. En stor fordel med LNG i forhold til diesel og tungolje er reduksjonen i NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>.

Siden skipet for det meste skal ha dagsoppdrag er tanken at skipet skal kunne bruke LNG for transit ut til forskningsstedet. Batteri kan så brukes for å kjøre rent elektrisk ved operasjoner som ikke er for strømkrevende. Skipet drar så inn igjen til kai med ”utladet” batteri etter endt tokt. Batteriet kan så lades ved kai ved bruk av landstrøm. Dette kan gi god besparelse av drivstoff på en arbeidsdag.

Generatorsett blir brukt for å produsere strøm til skipet og for propulsjon. Elektromotorer brukes som fremdriftsmotor. Denne løsningen fører til mindre støy enn en vanlig konvensjonell løsning. Noe som er gunstig på et forskningskip hvor stille drift er fordelaktig. Løsningen består av to elektromotorer i tandem. Grunnen til dette er redundanskrav. Det ble avgjort å bruke direkte drift istedenfor gir da et gir genererer mer støy. Men siden det ikke er gir må elektromotorene være av en lav-hastighetstype. Vekselstrøm- (AC) elektromotorer er valgt. Dette fordi de er billigere enn likestrøms-elektromotorer (DC).

Det finnes to typer LNG motorer. Ren gassmotor og dual fuel. Dual fuel, som er valgt for dette skipet, gir fleksibilitet da både gass og diesel kan brukes. Men det vil også si at motoren hverken er optimal for diesel eller gass. En ren gassmotor har derfor noe mindre utslipp og litt høyere effektivitet. Men har igjen ikke den innebygde redundansen og fleksibiliteten som en kombinasjonsmotor har. For å få miljøgevinst er det svært viktig at motorene blir kjørt optimalt. Metan er en drivhusgass med høy CO<sub>2</sub>-ekvivalent. Ved lave belastninger er metanutslippet høyt på en slik motor. Isteden for å kjøre motorene på lave belastninger blir batteriet brukt. Ved bruk av gass er disse motorene kompatible med IMO Tier III kravet i ECA-områder. Men dersom diesel blir brukt er den kompatibel med IMO Tier II. Det vil si at det kreves videre rensing av eksosen for å innfri kravene.

Batteri ble valgt fordi det kan ha flere bruksområder på et slikt skip. Det kan brukes til å kjøre rent elektrisk på forskningsstedet ved operasjoner som ikke er så strømkrevende. Det kan og utjevne lasten slik at generatorsettene kan kjøre mer optimalt, og batteriet kan brukes isteden for forbrenningsmotor ved kai. Når batteriet brukes vil støy og vibrasjoner bli betydelig redusert. Dette gir redusert utslipp og energikostnad, siden strøm er billigere enn drivstoff her i Norge i dag.

Tunnelthruster er billigere enn de andre løsningene for sidethruster, og ble derfor valgt for dette skipet. Siden skipet har konvensjonell propulsjon med fast propell og flappror er det nødvendig med tunnelthruster både i bau og hekk for at skipet skal kunne holde posisjon ved dynamisk posisjonering. Utfordringen med tunnelthruster er at tunnelen skaper turbulens selv når thrusteren ikke er i bruk. Dette kan påvirke akustiske målinger. Men siden dette skipet har tverrbau vil det ikke danne seg like mye bobler i vannet som dersom skipet hadde bulb i tillegg. Det ble også vurdert å bruke vannjet i bauen og ha en tunnelthruster i hekken. Dette er en løsning flere forskningsskip har. Den store fordelen med å bruke vannjet er økt manøvrerbarhet. Denne løsningen er dyrere, men gir også mulighet for redundans. Dersom vannjetten blir dimensjonert for å kunne yte 40% av effekten til hovedpropulsjonen kan den telles som sekundærpropulsjon. Altså dersom hovedpropulsjonen yter 1200kW tilsvarer det 480kW. Da er det ikke lenger nødvendig å ha to elektromotorer for fremdrift siden vannjetten gir da redundans.

Fast propell med flappror ble valgt. Dette fordi det gir stillere drift enn en vridbar propell. Elektromotor som fremdriftsmotor gjør dette mulig med variabel hastighet.

Videre blir det sett på muligheten for DC hybrid. Største fordelen med en slik løsning er at motorene kan ha variabelt turtall, samtidig som at det er lettere å implementere batteri. Også denne løsningen har høy investeringskostnad, men variabelt turtall på motorene gir drivstoffbesparelser. I en rapport om tiltak for energieffektivisering av skip identifiserer DNV GL at det er et reduksjonspotensiale på 5-15% ved lave motorlast. ABB og Siemens anslår at man vil kunne oppnå besparelser opptil 10%-20% for fartøy med store deler av operasjonen på lav eller varierende motorlast. (DNV-GL 2016)

---

## 10.1 Lignende fartøy med LNG og batteri

Per dags dato er det ingen forskningsskip som bruker kombinasjonen av LNG og batteri. Men det finnes et forskningsskip som går på LNG. RV Atair er det første forskningsskipet med LNG.

<b>RV Atair</b>		
Forskningsskip		
Diesel - Gas- Elektrisk		
Lengde	74	m
Bredde	17	m
Dypgang	5	m
LNG-tank	130	m <sup>3</sup>
Propulsjonsmotor	1600	kW
Hovedmotor	Wärtsilä 2 x 6L20DF; 1x 6L20	

Tabell 8: Atair

Kilde: (Fassmer 2021)

Det finnes derimot et fiskefartøy som bruker denne løsningen. Libas er den første fiskebåten som går på batteri og LNG.

<b>Libas</b>		
Pelagisk snurper/tråler		
Lengde	86,1	m
Bredde	17,8/18,8	m
Tonnasje	4600	bT
Lastekapasitet	2900	m <sup>3</sup>
LNG-tank	350	m <sup>3</sup>
Hovedmotor	6000	kW
Hjelpemotor	1600	kW
Batteri	500	kWh

Tabell 9: Libas

Besparelsen for Libas er beregnet til 15-20 % i energibruk. Men på grunn av nye energikilder har skipet en merkostnad på 30-50 millioner. (Tekfisk 2018) Dette skipet har også en strømproduserende stabilisatortank. Den samme stabilisatortanken er blitt testet ombord på et fransk forskningsskip i 2 år. (Fiskeribladet 2018)

## 10.2 Kostnader og støtte

Det er nevnt at reder ønsker et skip med minst mulig kostnadsramme. Hverken batteri eller LNG-system er løsninger med lav innkjøpspris. Derfor er det nødvendig å undersøke nærmere om budsjettet strekker til for slike løsninger, og samtidig regne på om besparelsene rent drivstoff- og utslippsmessig vil gjøre at denne løsningen lønner seg på sikt.

Det koster å satse på alternative energikilder og teknologi som fører til reduserte utslipp og et "grønnere" skip. Den største barrieren er sannsynligvis økonomi. LNG alene gir i dag typisk 10-20% merkostnad på nybyggprisen. (DNV-GL 2019) Heldigvis finnes det gode støtteordninger. Det er muligheter for å søke om støtte fra Innovasjon Norge, Enova og NOx-fondet. Slike støttemidler kan være med på å finansiere merkostnaden. Det er derfor tenkt at det skal søkes støtte for dette skipet.

---

### 10.3 Klasse

Skipet skal klasses i DNV GL. Reder ønsker ikke å måtte opprettholde flere klassenotasjoner enn nødvendig, da dette er dyrt. For at skipet skal kunne bruke LNG og batteri er det et krav om klassenotasjonene *Gas fuelled* og *Battery Safety* eller *Battery Power*. Dette er noe reder ville blitt gjort oppmerksom på for så å diskutere om det er denne fremdriftsløsningen reder ønsker, eller om det heller bør bli sett på andre løsninger.

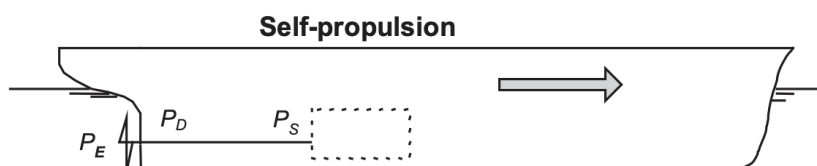
Skipet vil ha følgende klassenotasjoner:

DNV +1A, Gas fuelled, Battery Power, E0(opsjon)

Andre klasser er valgfri. Enkelte forskningsskip har tilleggsklassen *Silent R*, R står for forskning (*research*). Denne notasjonen har strenge krav til fartøysgenerert undervansstøy. I tillegg til dette er det mange som har isklasse. Dette blir ikke sett på som nødvendig for dette skipet med tanke på operasjonsområdet. Klassenotasjonen E0 betyr at skipet oppfyller designkrav for periodisk uovervåket maskinrom. Dette er i utgangspunktet en valgfri klassenotasjon, men flere skip har denne ekstra klassenotasjonen. Klassenotasjonen E0 er derfor satt inn som en opsjon siden den er valgfri, og det ikke er blitt diskutert med reder om dette enda. Men med et mannskap på bare fire er det en stor fordel å ha denne klassenotasjonen

## 11 Fremdrift og propulsjonsanalyse

Hovedformålet til et propulsjonssystemet er å omgjøre den tilgjengelige effekten fra motoren til thrust for å drive skipet fremover. Dette er illustrert i figur 26



Figur 26: Propulsjon

Kilde: Molland mfl. 2011

Det er ønskelig å ha et så optimalisert propulsjonssystem som mulig, med tanke på virkningsgrad og belastning. På denne måten vil man kunne oppnå drivstoffbesparelse samtidig som at vibrasjoner vil være minimale.

### 11.1 Tidlig estimering

I seksjon 8 ble motstanden til skipet i rolig vann estimert. For å ta hensyn til vær og bølger ble det lagt på en margin på 15% for å få en litt mer realistisk kondisjon. Marginen for været kommer an på hvor skipet skal operere og hva som er sannsynlige sjøtilstander. Typisk er denne mellom 15% og 30% av installert kraft. (Molland mfl. 2011)

Tverrbau			
Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Total lengde	Loa_s	45 m	
Dypgang	t	4 m	
Bredde	b_s	11 m	
Våtoverflate	S_s	639,65 m <sup>2</sup>	
Deplasement	Δ_s	1133 t	
Oppdriftssenter fra AP	LCB	21,584 m	
Vannlinje lengde	LWL	45 m	
Blokkoeffisient	Cb	0,544	
Viskositet	v_s	1,19E-06 m <sup>2</sup> /s	
Vannetstetthet	ρ_s	1025 kg/m <sup>3</sup>	
Ruhet [standard]	k_s	1,50E-04 m	
Prosjektert areal	A_vs	132 m <sup>2</sup>	
Luftensdensitet	ρ_a	1,225 kg/m <sup>3</sup>	

	% av skrogmotstand	
Total appendage drag	5 %	Referanse Molland
Skrogruhet	5 %	Referanse Molland
Dragkoeffisient	0,75	Antagelse
Luftmotstand	$R_A = \frac{1}{2} \rho_A C_D A_r V_A^2$	Referanse Molland

Prosjenter hentet fra  
*Ship Resistance and Propulsion* kapittel 3

Fart (knop)	Ren skrogmotstand (kN)		Estimert motstand (kN)			Total motstand (kN)	PE (kW)	PD (kW)	PB (kW)
	Holtrop	Van Oortmerssen	Appendix	Luftmotstand	Ruhet	15% margin	15% margin	15% margin	15% margin
7	28,4	16,8	1,4	0,8	1,4	36,8	133	189	195
8	35,6	22,5	1,8	1,0	1,8	46,2	190	272	280
9	43,8	29	2,2	1,3	2,2	56,9	263	376	388
10	53,4	38,3	2,7	1,6	2,7	69,4	357	510	526
11	65,9	51,3	3,3	1,9	3,3	85,6	484	692	713
12	83,3	79,7	4,2	2,3	4,2	108,0	667	953	982
13	101,7	113,1	5,1	2,7	5,1	131,8	881	1259	1298

Figur 27: Estimering av skipsmotstand og effekt



Det er Holtrop, og ikke Van Oortmerssen som er brukt for den totale motstanden. Van Oortmerssen er tatt med for å vise hvor forskjellig resultat de forskjellige empiriske formlene gir i forhold til hverandre. Effektene er funnet ved å bruke følgende formler:

$$P_E = R_T \cdot V_s \quad (2)$$

$$P_D = \frac{P_E}{\eta_D} \quad (3)$$

$$P_B = \frac{P_D}{\eta_M} \quad (4)$$

$$\eta_D = \eta_0 \cdot \eta_H \cdot \eta_R \quad (5)$$

På dette tidspunktet er verken skrogvirkningsgrad ( $\eta_H$ ), propellvirkningsgrad fra *open water test* ( $\eta_0$ ) eller relativrotasjonsvirkningsgrad ( $\eta_R$ ) kjent. Propulsjonsvirkningsgraden  $\eta_D$  ble her antatt til å være 0.7. Siden elektromotor, uten gir, blir brukt som fremdriftsmotor vil systemet ha lite mekaniske tap. Antar derfor at mekanisk tap er 3%.

### Trålekondisjon

Det er ikke blitt oppgitt hvor tung trålekondisjonen er. Det ble valgt å se på tråling av 12 tonn i 2 og 6knop. Hvor realistisk dette er for et slikt fartøy er usikkert.

Trålekondisjon 12tonn ved 2knop									
	Ren skrogmotstand (kN)		Estimert motstand (kN)			Total motstand (kN)	PE (kW)	PD (kW)	PB (kW)
Fart (knop)	Holtrop	Trål	Appendix	Luftmotstand	Ruhet	15% margin	15% margin	15% margin	15% margin
2	2,4	118	0,1	0,1	0,1	121,1	125	178	184

Trålekondisjon 12tonn ved 6knop									
	Ren skrogmotstand (kN)		Estimert motstand (kN)			Total motstand (kN)	PE (kW)	PD (kW)	PB (kW)
Fart (knop)	Holtrop	Trål	Appendix	Luftmotstand	Ruhet	15% margin	15% margin	15% margin	15% margin
6	21,7	118	1,1	0,6	1,1	146,1	451	644	664

Figur 28: Estimering av motstand ved tråling

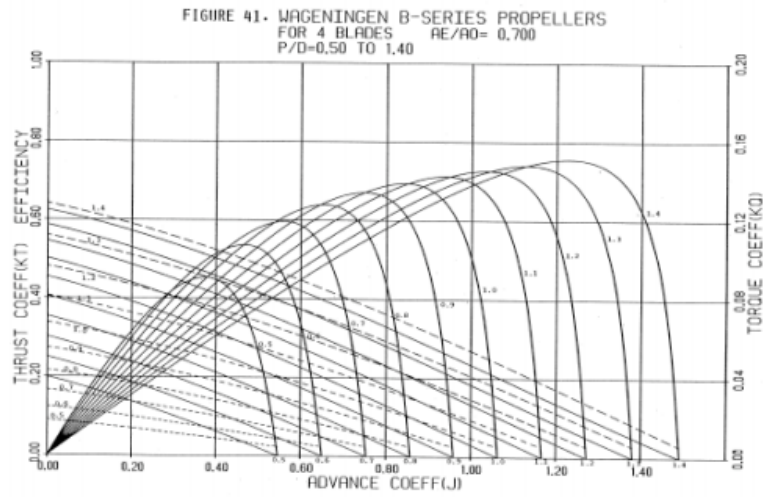
## 11.2 Propeller

Propelldesign for forskningsskip har typisk krav til lite undervannsstøy. Det er spesielt to operasjoner som må tas ekstra hensyn til i dette tilfellet. Trålingen og transit er de to operasjonene hvor propellen er størst belastet.

Det ble her valgt en fastpropell. Dette fordi det er mindre støyende og siden fremdriftsmotoren er en elektromotor som gjør dette mulig med variabelt turtall. Rent belastningsmessig er det beste å ha mange propellblad og et høyt bladforhold. Dette for å få minst mulig belastning på propelltippene for å unngå kavitasjon. Det ble valgt 5 blad for denne propellen. Dette som et kompromiss mellom stille drift og kostnader.

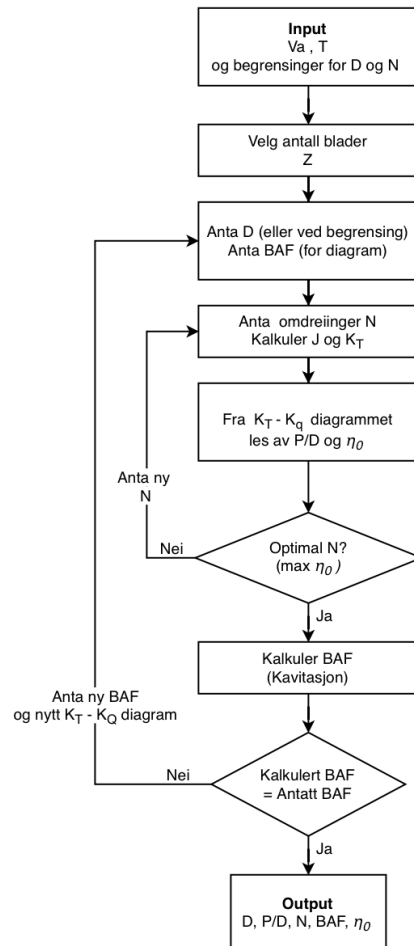
Siden transitfart er 11knop er det ønskelig at propellen er fri for kavitasjon ved denne hastigheten. For å få en stillegående propell er det viktig å ha god propellerklaring og en skeg med en utforming som gir en uniform innstrømming til propellen.

Det er blitt valgt å bruke Wageningen B-series propeller for å bestemme et foreløpig propellerdesign. B-series er en propellerserie som er vanlig å bruke i tidlig fase av designet. Dette er en serie med propeller som er blitt testet og analysert. Ut ifra dette er det blitt laget en rekke Open Water diagram hvor thrust- og dreiemomentkoeffisient er uttrykt i forhold til bladarealforhold, stigning/diameter-forhold og et fremdriftstall. Et open water diagram for B-serien kan se slik ut som figur 34.



Figur 29: B-series

En måte å bruke open water diagrammet er vist i flytdiagrammet under:



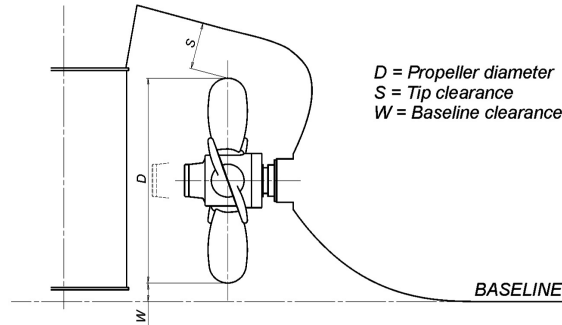
Figur 30: Flytdiagram

Kilde: (Molland mfl. 2011)

Dette er en iterativ prosess, og det finnes en rekke verktøy på markedet for å optimalisere propeller. Det er her blitt brukt et excelark, og ShipX sin *optimum propeller wizard*. Excelarket er lagt ved i vedlegg C.

### 11.2.1 Propelldiameter

På grunn av en relativ liten dypgang og en neddykket hekk er det begrensinger for hvor stor propellen kan være. For åpne propeller med moderat belastning og ingen spesielle krav til støy bør propelltipklaring være på 20-25% av propelldiameteren. Fra basislinje bør det være en klaring på 50-100mm. (wärtsilä 2021) Det er ikke blitt funnet litteratur som sier noe om hvor stor klaring en propell med krav til støy bør ha. Som utgangspunkt ble det da valgt å bruke 25% klaring.



Figur 31: Propellklaring

Kilde: (wärtsilä 2021)

Med et utgangspunkt på en propelltipklaring på 25% ga dette at den største diameteren for propellen kan være 2,4 meter. Det er denne diameteren som er blitt brukt videre i estimeringer og beregninger.

Siden vi i utgangspunktet ikke har et omdreiningstall å gå ut i fra ble keller's formel brukt for å finne et passende startpunkt for et minimum bladarealforhold.

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{n\odot dv} = \frac{(1.3 + 0,3Z)T}{(P_0 - P_c)D^2} + K \quad (6)$$

Med konstanten  $K = 2$  for *single screw*.  $Z$  er antall blad. Se vedlegg C for Excelark med verdiene.

For transit blir da estimert  $\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{n\odot dv} = 0.611$ . For tråling av 12 tonn blir  $\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{n\odot dv} = 0.783$ . Noe som er et høyt bladarealforhold. Det er ikke usannsyelig at tråling av 12 tonn er i overkant av hva skipet egentlig skal tråle i trålekondisjonen.

Fra ShipX *optimum propeller wizard* ble følgende sjekket:

Transit 11knop										
Input				Antagelser				Output		
Innløpshastighet	Va	4,41	m/s	Diameter	D	2,4	m	Pitch/diameter	P/D	1,02
Nødvendig Thrust	T	104,4	kN	Bladarealforhold	BAF	0,6		bladareal (burill)	BAF_nødv	0,694
Antall blad	Z	5	stk	omdreinger	N	200	rpm	Effektivitet	Eta_0	0,538
Input				Antagelser				Output		
Innløpshastighet	Va	4,41	m/s	Diameter	D	2,4	m	Pitch/diameter	P/D	0,952
Nødvendig Thrust	T	104,4	kN	Bladarealforhold	BAF	0,6		bladareal (burill)	BAF_nødv	0,661
Antall blad	Z	5	stk	omdreinger	N	210	rpm	Effektivitet	Eta_0	0,541
Input				Antagelser				Output		
Innløpshastighet	Va	4,41	m/s	Diameter	D	2,4	m	Pitch/diameter	P/D	0,833
Nødvendig Thrust	T	104,4	kN	Bladarealforhold	BAF	0,6		bladareal (burill)	BAF_nødv	0,6
Antall blad	Z	5	stk	omdreinger	N	230	rpm	Effektivitet	Eta_0	0,539

Figur 32: Optimum propeller wizard - transit

Tråling 12 Tonn ved 2 knop										
Input				Antagelser				Output		
Innløpshastighet	Va	0,8	m/s	Diameter	D	2,4	m	Pitch/diameter	P/D	0,677
Nødvendig Thrust	T	147,7	kN	Bladarealforhold	BAF	0,6		bladareal (burill)	BAF_nødv	0,438
Antall blad	Z	5	stk	omdreinger	N	150	rpm	Effektivitet	Eta_0	0,2
Input				Antagelser				Output		
Innløpshastighet	Va	0,8	m/s	Diameter	D	2,4	m	Pitch/diameter	P/D	0,937
Nødvendig Thrust	T	147,7	kN	Bladarealforhold	BAF	0,6		bladareal (burill)	BAF_nødv	0,546
Antall blad	Z	5	stk	omdreinger	N	120	rpm	Effektivitet	Eta_0	0,191

Figur 33: Optimum propeller wizard - tråling

Ved nødvendig thrust i disse tabellene er det tatt med thrustreduksjon. Propelldiameteren er her satt til å være maksimum 2,4 meter. Et estimat for initiell bladareal ble utregnet ved bruk av Kellers formel se C. Initiell bladareal ble 0.611 for transitkondisjonen.

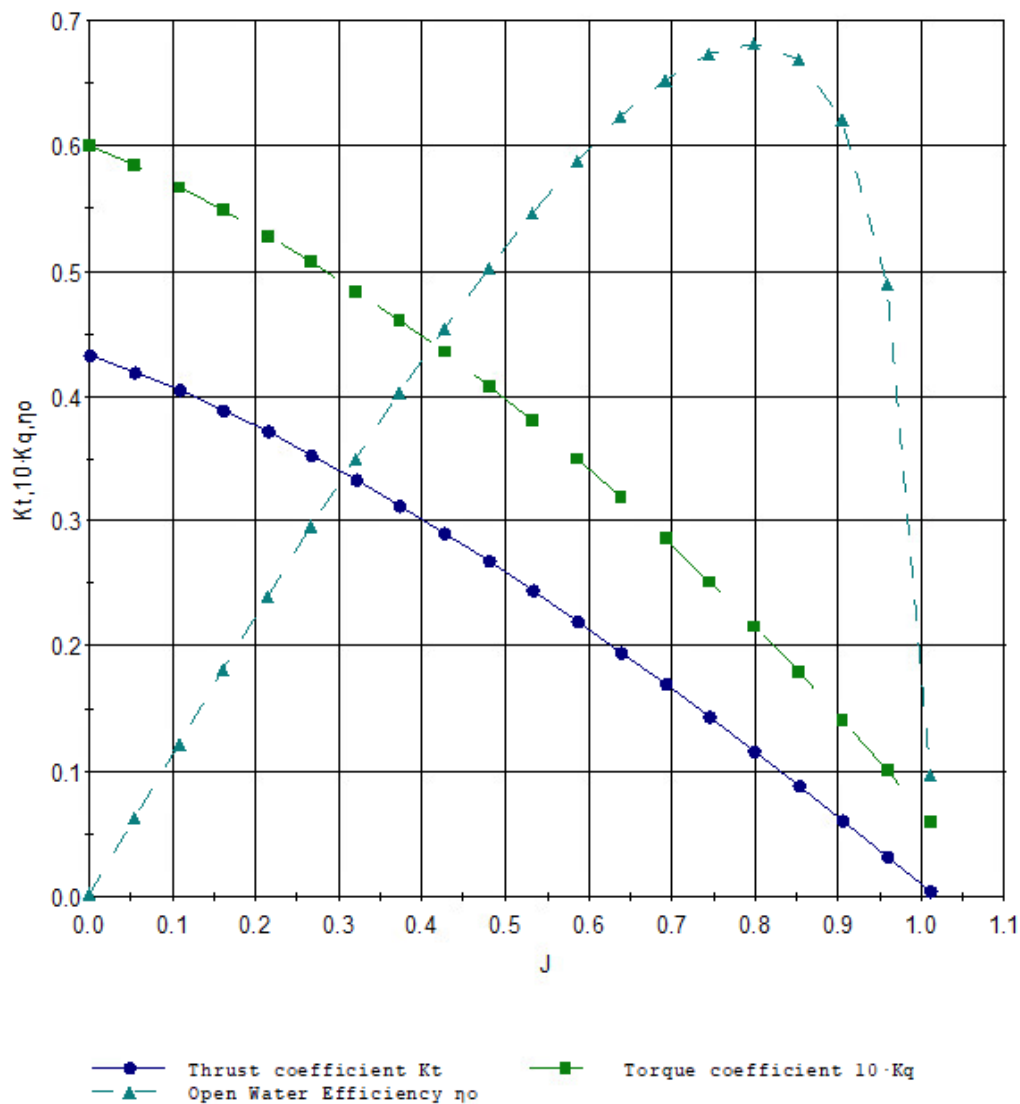
Følgende propell ble valgt å se på videre på :

Propell B5.66			
Diameter	D	2.4	m
Bladarealforhold	BAF	0.66	
Antall blad	Z	5	
Pitch/diameter	P/D	0.952	

Tabell 10: propelldata



## OPEN WATER DIAGRAM FOR PROPULSOR



Run description: Test Resistance  
 Wageningen series, D=2.400 m, Z=5, P/D=0.952, Ae/Ao=0.661

Figur 34: Open water diagram for B5.66

Videre må nødvendig bladarealforholdet kalkuleres for å sjekke opp mot kavitasjon. Det ble her brukt burill's metode med kavitasjonstall og thrustlastkoeffisient.

$$\sigma_n = \frac{p_{atm} + \rho gh - p_v}{\frac{1}{2} \rho n^2 D^2} \quad (7)$$

Dersom kavitasjonstallet er lavt indikerer dette høy risiko for kavitasjon.

limiting criteria	regression equation
based on model tests (Burrill and Emerson, 1963)	
30% back cavitation	$\tau_c = 0.910 \sigma_b^{0.335} - 0.346$
20% back cavitation	$\tau_c = 1.147 \sigma_b^{0.195} - 0.672$
naval or fast vessels: 10% back cavitation	$\tau_c = 1.267 \sigma_b^{0.126} - 0.912$
merchant vessels: 5% back cavitation	$\tau_c = 0.715 \sigma_b^{0.184} - 0.437$
2.5% back cavitation	$\tau_c = 0.611 \sigma_b^{0.189} - 0.372$
based on experience (Burrill, 1943)	
suggested lower limit for tugs, trawlers, etc.	$\tau_c = 0.527 \sigma_b^{0.155} - 0.324$
suggested upper limit for merchant vessels	$\tau_c = 0.304 \sigma_b^{0.497} - 0.034$
suggested upper limit for naval vessels	$\tau_c = 0.464 \sigma_b^{0.479} - 0.089$

Figur 35: Regresjonslinjer for grenselinjer i Burrill kavitatsjonsdiagram

Kilde: Birk 2019

Ved bruk av formelen for 5% kavitatsjon blir burillskriterie for minimum bladareal for transit:

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{n\ddot{o}dv} = 0.65 \quad (8)$$

Burillskriterie for bladareal er noe mindre enn bladarealet valgt for denne propellen. Men det er n\ddot{o}dvendig \ddot{a} se p\ddot{a} propellens ytelse ved andre kondisjoner enn bare den propellen er designet etter. I dette tilfelle ble det valgt \ddot{a} designe propellen ut ifra transitkondisjonen. Dette med tanke p\ddot{a} at spesifikasjoner p\ddot{a} tr\ddot{a}lkondisjonen ikke er gitt.

Propellerkarakteristikken som diameter, stigningsforhold og bladareal er da konstant. Variablene for de andre kondisjonene blir fart, omdreining, thrust og dreiemoment.

Det er mye usikkerhet i tallene som er blitt brukt for \ddot{a} dimensjonere denne propellen. Det er derfor n\ddot{o}dvendig med videre iterasjoner. Det kan v\ddot{a}re en fordel \ddot{a} se p\ddot{a} muligheten for \ddot{a} g\ddot{a} opp til et bladarealforhold p\ddot{a} 0.7 siden skipet ogs\ddot{a} skal tr\ddot{a}le. Likevel vil man ikke \ddot{o}ke bladarealforholdet for mye da dette f\ddot{o}rer til mindre virkningsgrad.



---

med tanke på skipsbevegelser.

#### **Versjon I06:**

Lugarene til maskinist og kaptein ble flyttet og gjort større. Tavlerommet har bare en høyde på 2500mm. Det ble sendt spørsmål til SkanEl om denne høyden.

#### **Versjon I07:**

Takhøyde på tavlerommet ble justert. Tavler med riktig mål ble plassert etter informasjon fra SkanEl. Det ble også laget plass til trafoer. En enkel elektromotor ble erstattet med tandem elektromotor på grunn av redundanskraav. Foreløpig propell med diameter på 3 meter ble plassert.

#### **Versjon I08:**

Rulledempingstank og Hipap ble plassert. Propellen ble justert ned til 2,4 meter i diameter og hekken ble senket lengre ned for å ikke få så mye slamming. En alternativ nedsenkbar kjøll ble plassert.

## **12.1 Plassering og størrelse:**

### **Trapper og ganger**

Alle trappene i innredningen er 45°. Korridorene er 1000mm brede med noen unntak, men er ikke smalere enn 900mm.

### **Lugarer**

I regelverket står det at dørkarealet i soverom skal være minst 7,5m<sup>2</sup> for skipsfører eller offiser. Soverom for en person skal være minst 4,5m<sup>2</sup>. Dette er fulgt. Alle lugarene er enkeltmannslugarer. Skipper og maskinist har de største lugarene.

Alle lugarene har følgende:

- En naturlig lyskilde i form av et vindu
- Minimum et skap, en pult og en stol
- Direkte tilgang til et badrom. Enten eget eller et som deles med nabolugaren

Hvor det er plass er køylene arrangert i lengderetningen til skipet. Dette for å minimere ubehag ved rulling av skipet.

### **Sykerom**

Siden skipet har under 15 personer som har sitt arbeid ombord er det ikke krav til sykerom. Forskere blir regnet som passasjerer. Skipet er derfor ikke utstyrt med sykerom.

## **12.2 Brodekk**

Det er tilgang til styrehustak fra brodekket. Styrehustaket arrangeres på en slik måte at det egner seg for observasjoner. På brodekket er det redningsflåter på hver side.

## **12.3 Dekk 1.**

### **Lugarer**

To større lugarer er arrangert på Dekk 1. Dette er lugarene til kaptein og maskinist.

### **Bysse, messe og dagrom**

I loven om bygging av skip står det at dørkarealet i spiserom skal være minst 1,00m<sup>2</sup> per person. Det vil si at dørkarealet for dette skipet bør være over 16m<sup>2</sup>. Messa på dette skipet måler ca. 25m<sup>2</sup> noe som er over kravet. Byssa er plassert slik at det er lett tilgang til spiserom. Proviant og frys er plassert vegg i vegg med byssa. Eget separat dagrom er også arrangert på dette dekket.



---

## Ventilasjon- og elektronikkrom

Ventilasjon/elektronikkrommet er 16m<sup>2</sup>. Dette for å ha plass til nødvendig utstyr.

## 12.4 Hoveddekk

### Proviant

Proviant med areal på 3.6m<sup>2</sup> og frys med areal på 3.4m<sup>2</sup> er arrangert i nærheten av byssa på dekk 1. I tillegg er det en større proviant på 10,4m<sup>2</sup> på hoveddekket. Totalt blir dette ca 17m<sup>2</sup> med proviant og frys. Som er innenfor kravet til reder.

### Nødgeneratorrom

Det er et krav om at nødgenerator med tilhørende nødtavle skal være plassert i et rom utenfor og vekk fra hoved og hjelpemaskinerirom. Dette skal være over det øverste sammenhengende dekket og ikke foran kollisjonsskottet. Nødgeneratorrommet er derfor plassert på hoveddekket med tilgang fra arbeidsdekk.

### Garderobe

Garderoben har plass til 16 garderobeskap. I garderoben er det også et toalett som er lett tilgjengelig fra arbeidsdekket.

### Lugarer

10 lugarer er arrangert på dette dekket.

### Lintøy og vaskerom

Et lite vaskerom med plass til lintøy er arrangert på dette dekket.

### Våtlab

Våtlaben er arrangert på styrbord side for enkel tilgang til CTD, åpent arbeidsdekk og tørrlaboratorium. Tilhørende lagerplass med fryser er arrangert mellom våt- og tørr-lab.

### Tørrlab

Tørrlaben arrangeres i direkte tilknytning til lager med fryser og med enkel tilgang til våtlab.

### Operasjonsrom

Operasjonsrommet skal være lystett og har derfor ingen vinduer. Operasjonsrommet er arrangert med fire arbeidsstasjoner.

### Møterom

Møterom med plass til 16 personer etter krav fra reder.

### Arbeidsdekk

- Plass til 1x30 fot, 1x20fot og 1x10fot containere på arbeidsdekket.
- Alternative plasseringer av containere arrangeres på dekket
- A-ramme arrangert i hekken
- Plass til tråltrommel. Et fleksibelt arbeidsdekk gjør det mulig å kun ha denne installert når den er nødvendig.
- Tilgang til lager og verksted fra arbeidsdekket

### Verksted og lager på arbeidsdekk

Det er både verksted og lager på arbeidsdekk. Det er krav til lager, på totalt 15m<sup>2</sup>, fordelt på to rom. Det ene av disse lagerrommene er kombinert med verkstedet.

## 12.5 Under hoveddekk

### Lager

Et lite lagerrom befinner seg under arbeidsdekk for oppbevaring av forskningsutstyr. Tilgangen til dette lagerrommet er gjennom en luke i arbeidsdekket.

---

## Lugarer

Fire lugarer måtte plasseres under hoveddekk. To av disse deler bad, mens resterende har eget bad.

## Hydraulikkrom

Hydraulikkrommet er arrangert ved siden av styremaskinrommet helt akter til babordside. Takhøyden er lav da det måtte prioriteres plass andre steder.

## Batterirom, tavlerom og kontrollrom

Batterirom, tavlerom og kontrollrom er arrangert i den aktre delen av dekket under hoveddekk. Denne plasseringen er ikke optimalt. Dette er under arbeidsdekket og det er derfor ikke trapp opp til hoveddekket fra maskinkontrollrommet. Dette er noe som ville blitt sett på ved neste iterasjon.

Batteri kan utvikle gass og det er en fare for at det kan begynne å brenne eller eksplodere. Derfor er det krav til hva som kan være i det avlukkede batterirommet. Blant annet er det nødvendig med brannsikring i skottene og god ventilasjon.

I tavlerommet er det plass til 690, 440 og 230 V tavler. Trafoer er også plassert her. Det er tilgang til tavlerommet fra maskinkontrollrommet.

## 12.6 Tank top

### Gassrom

Slik det er arrangert nå deler gassrommet skipet i to. Dette er ikke gunstig. Det er her to store LNG tanker av type C med tilhørende utstyr. Det bør undersøkes om disse kan innskrenkes slik at det er mulig med passasje uten å måtte gå gjennom gassrommet.

I IGF koden er det noen regler om plassering og lokasjon av LNG tanker.

For å beskytte tankene mot skade ved grunnstøting er det noen regler som må følges:

- Tankene skal plasseres ved en minimum avstand på B/5 eller 11.5m målt fra innside skuteside.
- Grensene til tankene skal aldri bli passert nærmere enn 0,8 meter for et lasteskip med  $V_c$  under eller lik  $1000\text{m}^3$
- Det laveste punktet på tanken skal være over minimum over B/15 eller 2m, avhenging av den som er minst, målt fra bunnplaten ved senterlinjen
- Tankene skal være bak kollisjonsskottet for lasteskip

### Maskinrom

For å minimere sannsynligheten for gaseksplosjon bør en av disse to konseptene brukes:

1. Maskinrommet skal være gasstrygt
2. Maskinrommet skal være ESD-beskyttet (Emergency shutdown)

Fra maskinrommet er det en trapp opp til maskinkontrollrommet.

---

## 13 Dimensjonering av system og maskineri

### 13.1 Økonomisk transitfart

Transitfart er i utgangspunktet satt til 11 knop av reder, men kan justeres i henhold til konsulentenes anbefaling. Hvilken transitfart som er den mest økonomiske er et komplisert regnestykke. Det kommer an på hva drivstoffregningen er for en gitt avstand ved de forskjellige hastighetene, kostnadene for å ha mannskap ombord og hvor mye skipet skal koste å leie for forskningsinstitusjoner. Dette er beregninger vi har for lite informasjon til å gjøre. Men ut i fra motstandsberegningene fra maxsurf ser det ut til at en transitfart på 11knop er realistisk. Ut i fra observasjoner ser det ut til at lignende forskningskip har en transit fart på mellom 10-12knop. Det er derfor valgt å bruke en fart på 11 knop som utgangspunkt.

### 13.2 Energibehov

Hvor mye energi som trengs å genereres må bestemmes. Det er ofte begrenset informasjon om hva det energiforbruket til de forskjellige komponentene er. Referanseskip hvor dette er kjent kan derfor brukes for å estimere dette. Det elektriskebehovet varierer også ut i fra de forskjellige operasjonsmodusene til skipet. Dette er noe som må tas hensyn til ved utregningene av energiforbruk.

På grunn av manglende informasjon og manglende referanseskip hvor dette er kjent ble det bare gjort et grovt estimat.

Energibehov		
Fremdrift (transit 11knop)	713	kW
Bauthruster (max)	500	kW
Hekkthruster (max)	500	kW
Hotellast (max)	500	kW

Tabell 11: Grov estimering av energiforbruk

#### 13.2.1 Sidethrustere

Siden skipet skal operere i litt ruskete vær ønsker reder å ha gode sidethrustere som klarer å holde posisjonen. Det er vanskelig for reder å si hva energiforbruket vil bli i *DP* modus. Sidethrustere på rundt 450-500kW foreslås derfor til reder. I seksjon 20 og i vedlegg I blir DP-kapabilitetsplot og analyse lagt frem. Reder kan da gjøre en vurdering om dette er tilstrekkelig eller om det er ønskelig med mer eller mindre effekt på sidethrustere.

#### 13.2.2 Hotellast

Hotellast består av alt det andre energiforbruket som ikke er til propulsjon. Som for eksempel ventilasjon, lys, kjøkkenutstyr og pumper for å nevne noen. Denne er satt til max 500kW. Men under de fleste operasjonene vil denne sannsynligvis være en god del mindre.

### 13.3 Generatorsett

Siden det ikke er nok informasjon til å gjøre lastberegninger for de forskjellige operasjonene er det vanskelig å vurdere hvor mange generatorer som skal være på dette skipet. De minste dual fuel generatorsettene som ble funnet var rundt 1000kW. Det er derfor satt inn to generatorsett på 1110kW hver. Dette gir en total installert effekt på 2220kW som skal generere strøm til skipet. 85% belastning på en generator tilsvarer da ca. 944 kW tilgjengelig. Ved transit på 11knop kan da en generator kjøres og samtidig ha 230kW tilgjengelig for hotellast. Dersom transitfarten er

---

10knop vil det være 418 kW tilgjengelig for hotellast. I disse kjappe estimeringene er margin ikke tatt med. Det vil alltid være noe tap i systemet. Så all installert effekt vil ikke være tilgjengelig for forbruk. Dette er derfor noe som må bli tatt med i betraktning ved nøyere beregninger.

Ut i fra våre observasjoner ser det ut til at de fleste forskningsskip med dieselelektrisk løsning har 3 generatorsett. Å ha 3 generatorsett på 1110kW er i meste laget for et fartøy på denne størrelsen. Dersom de to generatorsettene ikke er tilstrekkelig alene er det mulig å installere et mindre hjelpegeneratorsett. Dette sammen med hvor mye av lastpåslaget batteriet skal ta opp før enda et generatorsett blir startet opp er noe som bør bli nærmere undersøkt for å finne den mest optimale løsningen.

### 13.4 Nødgenerator

Nødgeneratoren skal kunne forsyne følgende med strøm: Nødlis, vanntette dører, navigasjon og kommunikasjonssystem, sprinkleranlegg, styremaskin og lignende. Nødgenerator og nødtavle kobles inn dersom det blir feil på systemet som gjør at skipet får blackout. Har ikke nok informasjon om strømforbruk på dette stadiet at nødgenerator kan dimensjoneres.

### 13.5 Batteri

Det er viktig å definere hva batteriet skal brukes til. Batteri er en betydelig investering. Batteriet må derfor brukes fornuftig for at det skal lønne seg. Den viktigste funksjonen til et batteri i et hybrid system er å ta over lasten slik at motorene kan kjøre så optimalt som mulig. Besparelsene ved bruk av batteri er både med tanke på kostnader og miljø. At motorene kjører så optimalt som mulig, ca ved 80% effekt, vil føre til mindre forbruk og mindre slitasje på motorene. LNG motorer er veldig sårbare for variasjoner. Metanutslippet blir dermed større dersom motorene ikke går optimalt. Ut i fra operasjonsprofilen ser det ut til at det er flere moduser kan kjøres rent på batteri.

En batteristørrelse på 992kWh er valgt. Det var utgangspunktet tenkt å ha en større batteripakke helt til dimensjonene og vekten på batteriet ble kjent. Disse faktorene satte derfor begrensinger. Batteriet på 992kWh har følgende mål:

Høyde: 2241 mm, bredde: 6920mm, dybde: 738 mm, vekt: 13 024 kg.

SOC er tilgjengelig kapasitet uttrykt i prosent. Etter samtale med SkanEl ble det informert om at dersom batteriet skal vare en stund bør batteriet helst ligge mellom 35-80% SOC. Det skal ikke tømmes eller lades helt opp. Det vil si at for batteriet på 992kWh har da tilgjengelig ca 600kWh.

For en arbeidsdag gir dette en drivstoffbesparelse på ca. :

- $600\text{kWh} \cdot 200\text{g/kWh} = 0,12$  tonn drivstoff
- For LNG tilsvarende dette  $0,12 / 0,452 = 0,265\text{m}^3 = 265$  Liter LNG.
- For diesel tilsvarende dette  $0,12/0,85 = 0,141 \text{ m}^3 = 141$  Liter Diesel.

Det er ikke oppgitt redundanskraft for DP operasjonene. Hadde dette vært et krav burde batteripakken deles i to. SkanEl informerte om at dette ikke er så veldig fordyrende siden batteriene ligger direkte på DC bus. Dersom det blir gått for en AC-løsning er det derimot fordyrende å dele opp batteripakken. Det er her blitt valgt å ikke dele batteripakken, men det er en mulighet dersom reder ønsker redundans.

---

## 13.6 Propulsjonsmotor

Ut i fra estimeringene av motstand og nødvendig effekt kan nå propulsjonsmotor velges og dimensjoneres. Det er elektromotor som skal brukes som fremdriftsmotor til for dette skipet. Ved 11 knop er det nødvendig med 713 kW installert effekt. Ved 12 knop er det nødvendig med 982 kW. Det er ikke ønskelig at propulsjonsmotoren skal være underdimensjonert. Siden det er store usikkerhet i estimeringene og skipet skal bruke dynamiskposisjonering er det valgt å ha en total installert effekt på 1200kW. Propulsjonsmotorene er installert i tandem på grunn av redundanskraft. Det er derfor to elektromotorer på 600kW hver.

## 13.7 Landstrøm

I beskrivelsen fra reder er det oppgitt at det er gode muligheter for landstrøm på hjemnehavnen. Dette er en stor fordel siden skipet skal for det meste ligge til kai om natten. Det vil kunne være store miljøbesparelser dersom skipet kan bruke landstrøm om natten, isteden for å måtte starte opp generatorene. Det gir også mulighet for å lade opp batteriene. At alle havnene, hvor skipet får oppdrag, har god tilgang til landstrøm er ikke gitt. Men tilgangen blir stadig mer utbredt.

## 13.8 Enlinjeskjema

Forslag til enlinjeskjema ligger vedlagt i vedlegg L. Det er her tegnet inn 690, 440 og 230V tavler, samt ei nødtavle. På grunn av manglende informasjon om forbrukerne er det vanskelig å si om det er nødvendig med en 440 tavle eller ikke. Uansett er en høyspenttavle, 230V og en nødtavle nødvendig. (kommunikasjon med veileder).

690V tavlen er på enlinjeskjemaet skissert som DC-bus. 440V og 230V er derimot skissert som AC-bus. Som tidligere nevnt er dette noe fordyrende men det har sine fordeler. Om det skal gå for ren AC løsning som er mest vanlig eller løsningen som er skissert i vedlegget er noe som må diskuteres med reder.

---

## 14 Dekksutstyr

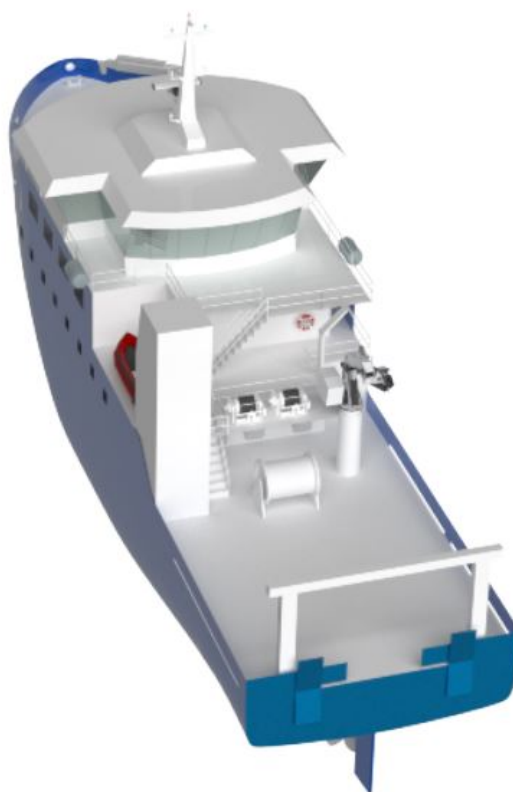
For et forskningsskip kan utstyret kundene har med seg på dekk variere fra oppdrag til oppdrag. Det er derfor viktig å ta hensyn til dette når fastmontert utstyr plasseres. Fra reder er det krav for utstyret som skal være ombord skipet. Det ble kjørt flere iterasjoner for å finne et konsept der de forskjellige komponentene korresponderte med hverandre og krava oppgitt. Som vist i figuren til høyre, ble Siemens NX brukt til å visualisere konseptet i 3D. Dette ga muligheten til å raskt justere konseptet og se på flere muligheter.

### 14.1 Tråleutstyr

Et av kravene fra reder var to trålevinsjer. Vinsjene skal brukes til pelagisk tråling og har en vaier på 16mm. Det ble valgt å montere vinsjene på dekk 1 for å få større plass på arbeidsdekk til forskningsutstyr.

Trommelen til trålenota ble plassert på arbeidsdekk mellom trålevinsjene som vist i figur 37. Det fleksible arbeidsdekket gjør at denne kan tas av og på etter nødvendighet.

Tråldørene er plassert i akterspeilet ved å lage en slisse i åpningen akterut.



Figur 37: 3D-Bilde Dekksutstyr

### 14.2 Kraner

Dette skipet har to kraner. En proviantkran som er plassert forut på styrbord side dekk 1. Og en arbeidskran som også er montert på styrbord side. Arbeidskranen er plassert på dekk 1 ved siden av trålevinsjene. Grunnen til denne plasseringen er for å nå hele arbeidsdekket, samtidig som den kan brukes for å plassere en landgang. En alternativ plassering som ble vurdert, var lenger akterut på arbeidsdekk. Dette ville da gått utover arealet som er ønsket å bruke til containere og forskningsutstyr.

A-rammen ombord ble plassert akter på arbeidsdekket og skal brukes til modulhandtering. Dette kan være bruk av corer, signalbøyer eller lett tråling. A-rammen har derfor blokker festet i traversen som vaiere kan festes i og hele rammen kan roteres ved hjelp av hydrauliske stempel.

T-rammen med tilhørende kombi-vinsj skal brukes til CTD, bunnprøver og andre operasjoner der noe skal senkes utenfor siden på skipet. Denne er plassert på styrbord side på dekk 1. Den er plassert slik den kan senke utstyret utenfor skipets side, og deretter plassere utstyret på arbeidsdekk utenfor våtlabben.

---

### 14.3 Redningsutstyr

Siden skipet er sertifisert som et lasteskip. Det vil si at skipet har 12 eller færre passasjerer (forskere), er det følgende paragraf som gjelder.

I forskrift om redningsredskaper på skip står følgende:

*§ 5. Redningsredskaper på skip og åpne båter sertifisert for 12 eller færre passasjerer*

*Skip sertifisert for 12 eller færre passasjerer skal i stedet for å oppfylle kravene til antall redningsredskaper i SOLAS kapittel III, minst ha om bord følgende antall redningsredskaper:*

- *redningsflåte med kapasitet til alle om bord*
- *tre fallskjermlys (nødraketter)*
- *redningsvester, termiske redningsvester eller termiske drakter i kombinasjon med redningsvest til alle om bord*
- *en livbøye med lys og flytende redningsline*
- *en innretning som gjør det mulig å plukke opp en hjelpeløs person fra vannet*
- *et toveis, bærbart VHF-radiotelefonapparat.*

Flåtene blir plassert på rekken utenfor broen på begge sider. MOB båten med tilhørende davit blir plassert på babord side dekk 1. Denne plasseringen gir rask tilgang fra både innredning og arbeidsdekk. Livbøyene er plassert både forut og akter for innredningen på dekk 1 for rask tilgang.

### 14.4 Anker og fortøyingsutstyr

Utrustningsnummer brukes for å bestemme størrelse på anker og kjettinger på et nytt fartøy. Formel og tabeller for utrustningsnummeret (EN) finnes i DNV-GL reglene (DNVGL-RU-SHIP-Pt3Ch11 Hull equipment, supporting structure and appendages).

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot B \cdot H + 0.1A$$

$$H = a + \Sigma hi$$

Dette gir et utrustningsnummer på 383.4.

Utrustningsnummeret 383,4 gir utrustningsbokstaven "1". Her får man oppgitt ett behov for 2 anker på 1140KG og kjetting på 385m. Tabellen har også oppgitt dimensjonen en trenger på fortøyning og slepetrosser som vist i sammendraget under.

---

## 14.5 Sammendrag dekksutstyr

<b>Dekksutstyr</b>	
<b>Tråleutstyr</b>	2X Trålevinsj 1500m x 16mm vaier Trommel for trålnot 2X Tråledører
<b>Kraner</b>	Arbeidskran 8t @ 10m Proviantkran 2t @ 12m A-Ramme til modulhandtering T-Ramme til CTD med tilhørende kombi-vinsj
<b>Redningsutstyr</b>	MOB båt med tilhørende davit 2X Redningsflåter 2X Livbøyer
<b>Anker og fortøyning</b>	2X Anker 1140KG med tilhørende kjetting 385m (30mm K2 kvalitet) 4X Fortøyningstrosser 140m Slepetrosse 180m 224KN Landgang (enkel) ca 7m i.h.t regelverk

Tabell 12: Dekksutstyr



---

## 15 Forskningsdrevet skipsdesign

Teknologien utvikler seg raskt. Med tanke på at dette skipet i hovedsak skal leies ut til forskningsinstitusjoner som selv ikke har skip, eller ikke har nok skip, er det ønskelig at skipet har utstyr som disse institusjoner trenger. Det er en stor investering med nytt og oppdatert utstyr. Skipet må være konkurransedyktig men samtidig ikke være så dyrt at det er vanskelig å få kunder.

Det kan være ønskelig med et modulært system. Altså at skipet har en standardutstyrspakke, med mulighet for oppgradering dersom dette er nødvendig. På denne måten vil det også være større sannsynlighet for at skipet fortsatt har nødvendig teknologi som trengs i fremtiden for å være relevant.

### 15.1 AUV

I kravspesifikasjonen er det oppgitt at skipet skal utføre undervannssurvey ved bruk av Hugin 1000. Hugin er en AUV. AUV står for autonomt undervannsfartøy. Under konsultasjon med Kongsberg Simrad ble det informert om at denne somregel er installert i en container. Hugin 1000 er en betydelig investering, det er da mulig at forskningsinstitusjonene kan bruke egen Hugin dersom de har det.



Figur 38: AUV - Hugin 1000

Kilde: Kongsberg



Figur 39: CTD

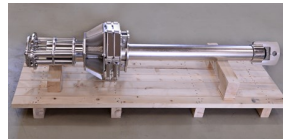
Kilde: Seabird

### 15.2 CTD

CTD blir brukt til vannprøver. CTDen kan bli programert slik at flaskene lukkes automatisk i ønskede dypganger.

### 15.3 Corer

For å ta geologiske bunnprøver blir det brukt en corer. Denne senker man ned i havbunnen med en vinsj og henter opp prøver.



Figur 40: Corer

Kilde: Kc-denmark

### 15.4 Laboratorium

Dette skipet er utstyrt med to laboratorier. En våtlab og en tørrlab. Våtlabben blir brukt til analysering av for eksempel vannprøver og bunnprøver der labben fort kan bli våt og skitten. laboratoriet er designet med utstyr som tåler vann (minimum IP66), slik at det kan høytrykkspyles om nødvendig. Tørrlabben er utstyrt for analysering av geologisk og biologiske prøver.

### 15.5 Arbeidsdekk

Tverrfaglig forskning krever en stor variasjon av utstyr. Arbeidsdekket er designet med tanke på fleksibilitet. Det er derfor nødvendig å ha god plass til utstyr på dekk og i lager som er lett tilgjengelig fra arbeidsdekket.

## 15.6 Containere

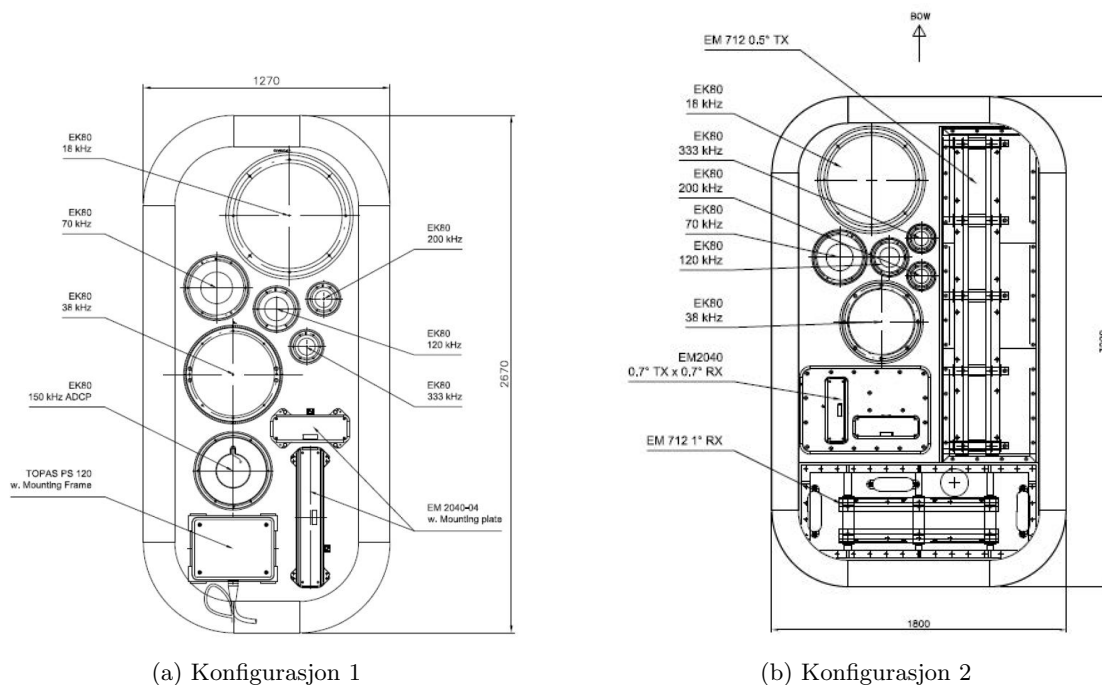
Ut i fra spesifikasjonen skal det være plass til tre containere på arbeidsdekket. 10 fot, 20 fot og 30 fot. Disse blir plassert på styrbord og babord side av arbeidsdekk, slik der er plass til å kunne tråle mellom containerene. Festeanordningen til containerne er plassert slik en har flere alternative plasseringer på dekk.

## 15.7 Akkustisk utstyr

Ofte vet ikke rederiet hvilket akustisk utstyr de ønsker at fartøyet skal være utrustet med. Derfor er det ikke uvanlig at skipsdesigner kommer med et forslag. Gjerne ved hjelp av underleverandør. I oppgaven er det ikke spesifisert hvilket akustisk utstyr skipet skal være utstyrt med. Det ble derfor valgt å kontakte Kongsberg Maritime Simrad for råd.

Siden det heller ikke er nevnt hvilken type kunder reder seg for seg er runde miljøsentere og universitet valgt ut som referansekunder.

Fra Kongsberg Simrad fikk vi tilsendt to eksempler på gondolkonfigurasjoner. Se figur 41.



Figur 41: Konfigurasjoner for akkustisk utstyr

Konfigurasjon 1 har:

- EK80 med 7 sendere for oseanografi og biomassemåling. 18, 38, 70, 120, 150, 200 og 333 kHz. I tillegg inneholder denne konfigurasjonen en ADCP for strømmåling ned til 400meter.
- EM2040 - 0,4 eller 0,7 multibeam ekkolodd. Måler opptil 600meter
- TOPAS PS 120 for undersøkelser av havbunnen

Konfigurasjon 2 er steget opp på EM712 sammen med EK80 og EM2040. Dette for å kunne kartlegge dypere enn 600 meter. Systemet er større og dyrere.

EK80 er et modulært system. Så dette kan slankes dersom finansieringen ikke strekker til. Men Kongsberg Maritime Simrad anbefaler å installere alle modulene av EK80.

---

## 15.8 Plassering av akustisk utstyr

Plassering av det akustiske utstyret kommer an på skipets design og konstruksjon, hvordan skroget er utformet, og hvordan vannet strømmer langs skroget. Det må spesielt tas hensyn til støy og luftbobler som kan påvirke målingene.

Kongsberg Maritime Simrad har noen generelle anbefalinger:

- Monter transduceren dypt
- Unngå utstikkende objekter i nærheten av transduceren
- Monteres langt unna propeller
- Monteres med trygg avstand til bauthruster

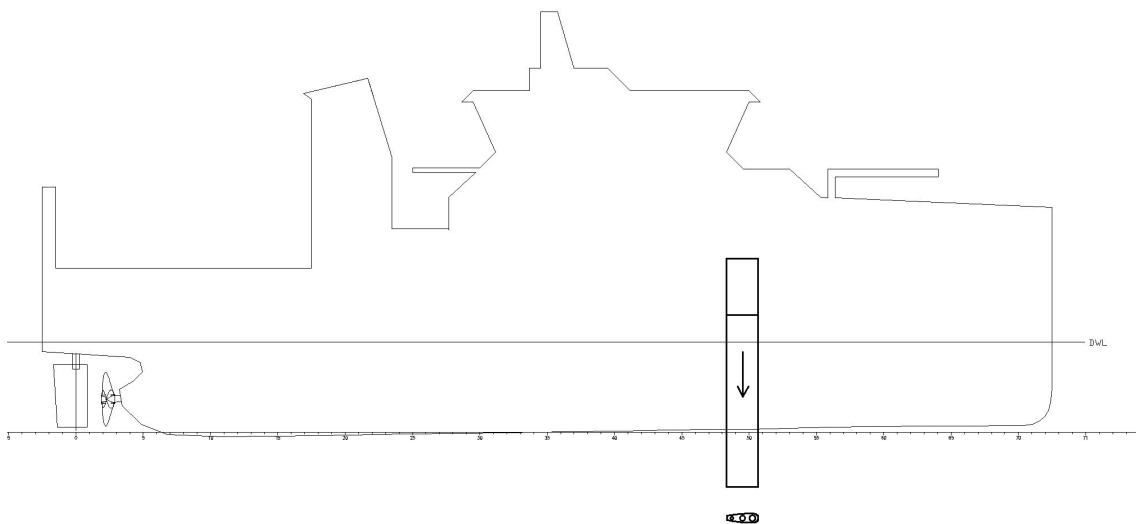
Det viktigste er å unngå luftbobler foran transducerflaten. Derfor er det vanligvis anbefalt å montere disse i den fremste delen av skroget. I Kongsberg sin installasjonsmanual står det at transducerens største avstand fra bauen normalt er  $\frac{1}{3}$  av skipets vannlinjelengde.

Det er flere prinsipper ved montering av utstyret. Noen av disse er nevnt under. Det gjøres oppmerksom på at ikke alle akustiske utstyr er kompatibel med alle disse installasjonsprinsippene som nevnes.

### 15.8.1 Nedsenkbar kjøler

En nedsenkbar kjøler er en god plass å montere hydrofoner, ekkolodd og annet sensitivt akustisk utstyr. Kjøleren kan senkes ned slik at vannet er fri for luftbobler selv ved litt vær. Dette gjør at målingene er mer pålitelige.

Den største ulempen med en nedsenkbar kjøler er at den tar mye plass. Slik GA-en av skipet er nå er det utfordrende å finne en god plassering til en slik nedsenkbar kjøler, men med litt omarrangering skal dette være mulig.

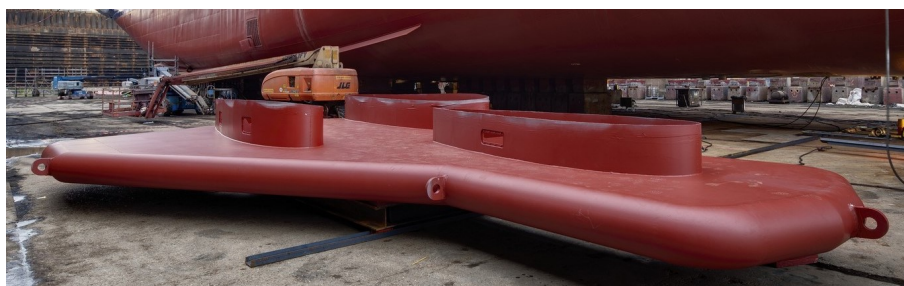


Figur 42: Eksempel på nedsenkbar kjøler

### 15.8.2 Gondol

En gondol er en strømlinjet beholder montert under skroget. Det er mellomrom mellom gondolen og skroget. Dette for at vann med bobler skal passere gjennom dette hullrommet isteden for å skyves under transduceren. Å installere en gondol kan dermed hjelpe med å unngå luftbobler som

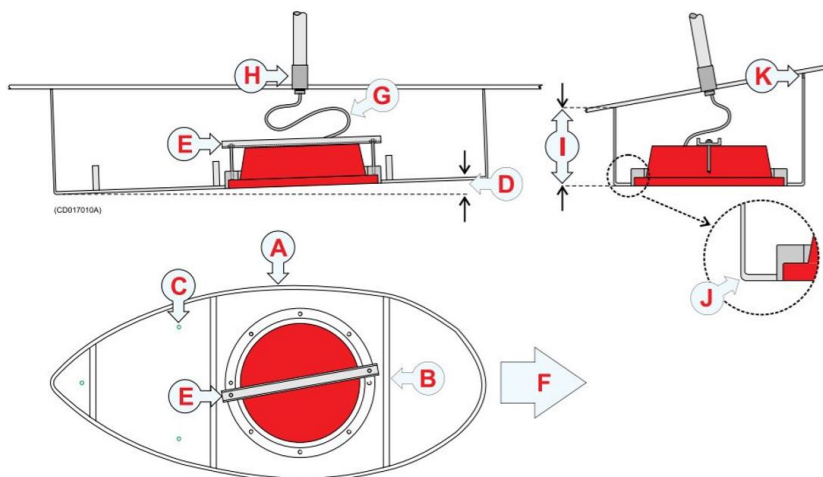
blokkerer for målingene. Gondolen gir ekstra motstand og gir utfordringer ved dokking. I tillegg er den ekstra utsatt ved grunnstøting.



Figur 43: Eksempel på gondola

### 15.8.3 Ståltank

Stålsko/ståltank, bliser på engelsk, er en monteringskonstruksjon som er sveist på skroget på skipet. Denne er strømlinjeformet og stikker litt under skroget.



Figur 44: Eksempel på en strømlinjeformet ståltank

### 15.8.4 Montert i flukt med skroget

Dersom transduserene er montert i flukt med skroget er de ekstra utsatt for luftbobler. Fordelen er at det ikke stikker ut fra skroget.

Av denne grunnen er denne monteringsmetoden hovedsaklig brukt på store skip hvor skroget stikker så dypt ned at det ikke er noe særlig med luftbobler under skroget. Det er også brukt på skip som opererer i grunt vann.

### 15.8.5 Kjølboks

Dersom skipet allerede har en kjølboks kan transdusere monteres her.

---

## 15.9 Løsningen for dette skipet

En alternativ nedsenkbar kjøler er tegnet inn i general arrangementet. Reder kan da vurdere om denne ekstra kostaden skal tas for å sikre bedre måleresultat. Det luftinnholdige vannet kan da strømme på sidene av senkekjølen i stedet for å bli presset under. På et så lite fartøy er det en betydelig fordel å ha en nedsenkbar kjøler. Dette fordi et så lite skip vil ha mye bevegelser i bølger. Dersom utstyret da er montert i underkant i flukt med skroget, vil det kunne føre til at operasjonelle værvinduet til skipet blir mye mindre. Det akustiske utstyret som ikke får plass i den nedsenkbare kjølen er plassert i flukt med skroget. Siden dette skipet har bunnreis blir utstyret plassert på sidene. Dette for å beskytte det utstyret mot grunnstøting.

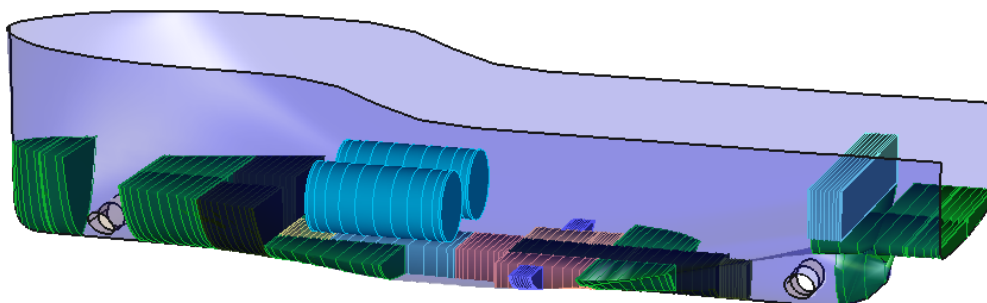
Tanken er at skipet starter med en grunnpakke som kan utvides senere dersom budsjettet strekker til, og dersom det er en nødvendighet for å få kunder. Dette er mulig siden systemet er modulært.

---

## 16 Tankkapasitet

Det er viktig å tidlig få et visst anslag på hvilke tanker skipet skal ha og hvor mye volum en trenger til tankene. Dette spesielt for å kunne bruke det til å lage en tidlig stabilitetsmodell og legge det inn i vektregnskapet. Det er mye i dette stadiet som er usikkert, så derfor er det nødvendig å anslå i tidlig fase og heller korrigere senere.

Med tanke på at skipet skal bruke LNG som fremdrift. Så har det mange tanker tilgjengelig i dobbeltbunnen. I utgangspunktet er der ingen krav fra reder om tankkapasitet. Men skipet må ha nok kapasitet til å være ute i 5 døgn. For å estimere tankkapasiteten er det brukt regelverk, litteratur og tall fra lignende skip. Tankene ble modellert i Maxsurf Stability basert på tankarrangementet.



Figur 45: Tankarrangement Maxsurf

### 16.1 Våt overflateeffekt

Størrelsen på tankene spiller stor rolle i stabiliteten på skipet siden større tanket gir større våt overflateeffekt når de ikke er helt fulle. Ved stabilitetsberegning blir GM korrigert for våt overflateeffekt ved formelen:  $GG' = \frac{I_{TANK} \cdot \rho}{\Delta}$ . Så i tilfeller hvor dette kan bli et utfordring bør en fordele disse i flere separate tanker, og tømme en tank om gangen.

### 16.2 Sjøkasser

Sjøkassene blir plassert i nærheten av generatorsettene så dypt som mulig. Dette både for å hente det kjøligste vannet, og for å unngå luft i systemet.

### 16.3 Ballast

Ballastvann blir brukt til å kompensere for de forskjellige lastkondisjonene for å holde skipet i *even keel*. Man ønsker helst å holde ballastnivået til et minimum for å kjøre mest mulig økonomisk. Ballasttankene ble plassert i forepeektanken og helt bak i akterskipet for å få mest mulig effekt fra ballasten. Av praktiske grunner blir sjøvann brukt som ballast. Ombord har skipet også teknisk vann. Dette er ferskvann som blir brukt til vask av dekk og utstyr, men som samtidig kan bli brukt til ballast om nødvendig.

### 16.4 Ferskvann

Det gjennomsnittlige vannforbruket til en person ligger mellom 150 - 200 liter per døgn i følge Bergen kommune. Så dersom det blir anslått at hver person bruker 200 liter vil dette gi et behov

---

for de lengste toktene på 5 dager:

$$200 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 1.1 = 17600 dm^3 \quad (9)$$

Som blir 17.6 m<sup>3</sup> I ligningen ganger vi med 1.1 siden vi skal ha 10% i margin. Ferskvannstanken blir ikke plassert nær drivstoff eller oljer da dette kan gi en forurensing av vannet. Siden ferskvannet også skal være tilgjengelig på laboratoriumene har vi lagt til ekstra kapasitet i ferskvannstanken.

## 16.5 Grå- og svartvann

Ferskvannskapasiteten ble brukt til å esitmere størrelsene på gråvann og svartvannstankene. Volumet av gråvannstanken ble til 10.3m<sup>3</sup>. Denne glemte vi å skalere og burde vært satt til rundt 60-75% av ferskvannskapasiteten. Svartvannstanken ble satt til rundt 25-35% av ferskvannskapasiteten.

## 16.6 Slam

Bestemmes ved å bruke MARPOL 73/89 Regulering 15.1. Skipet skal kunne lagre oljerester i en slamtank av tilstrekkelig størrelse.

## 16.7 Hydraulikkolje

Hydraulikkolje blir plassert i separat tank i nærheten av hydraulikkaggregatet.

## 16.8 Smøreolje

Kapasiteten på smøreoljetankene er i utgangspunktet bestemt av spesifikasjonen til generatorsettene. I den tekniske spesifikasjonen til wärtsilä 6L20DF er det oppgitt at hvert generatorsett bruker 0.35 g/kWh.

## 16.9 LNG

Tidlig estimering for LNG kapasitet ble:

$$\begin{aligned} 5Døgn &= 120t \\ 120t \cdot 2220kW &= 26640kWh \\ 26640 \cdot 150g/kWh &= 39.96tonn \\ \frac{39.96}{0.452t/m^3} &= 88,41m^3 \\ \text{Pluss } 10\% \text{ margin} &= 97.2m^3 \end{aligned}$$

På grunn av max fylling på 95% må tankene romme 102,1 m<sup>3</sup>.

Det ble her antatt et spesifikt forbruk på 150g/kwh. Ut i fra den tekniske informasjonen til wärtsilä 6L20DF viser det seg at spesifikt forbruk for denne motoren, ved 85% belastning, ligger på 198,2 g/kwh. Spesifikt forbruk brukt i beregningene burder derfor vært rundt 200 g/kwh. At skipet bruker max installert effekt 5døgn i strekk er ikke realistisk. Ved neste iterasjon ville LNG kapasiteten blitt beregnet på nytt med riktig SFC og et lavere energibehov. Det ville blitt tatt utgangspunkt i energibehovet ved transitkondisjon for 5 døgn, isteden for max installert effekt.

---

## 16.10 Diesel

Generatorsettene bruker diesel som pilotdrivstoff. I tillegg kan generatorsettene bli kjørt på diesel. Det er derfor kapasitet for dette ombord. Dieseltankene er plassert langt forrut og akterut. Skipet kan da ballastere ved å forflytte diesellolje.

## 16.11 Sammendrag Tankkapasitet

Type	Total designkapasitet (m <sup>3</sup> )
LNG	102.7
Diesel	42.3
Ferskvann	25
Svartvann	7.6
Gråvann	10.3
Ballast	119
Teknisk vann	70
Smøreolje	2
Hydraulikkolje	2
Slam	2.75
Rulledempingstank	69.3

Tabell 13: Tankvolum



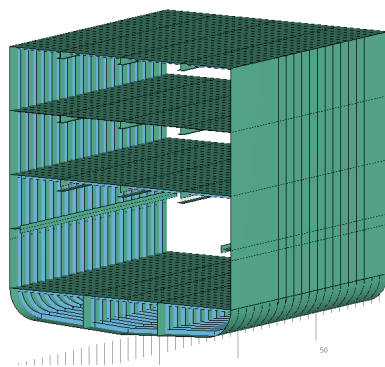
---

## 17 Struktur

Følgende seksjon oppsummerer den strukturelle analysen som ble utførte på dette skipet. Strukturen er designet for å imøtekomme kravene i DNV-GL. Det er ønsket å holde platetykkelsen nede for å ha et så lett skip som mulig. Dette for å være konkurransedyktig med tanke på drivstoffutgifter og byggekostnad. Maxsurf stability ble brukt til å finne bøyemomentene ut ifra vektberegningene. Deretter ble det brukt Nauticus hull v20 for å lage geometrien til skrogbjelken og kjøre analysen.

### 17.1 Topologi

Topologien er sammensetningen av plate, stivere og bærere. Siden dette er et relativt kort skip ble de gått for tverskipsavstiving. Dette fordi bøyemomentet på et så kort skip ofte ikke er høyt nok til at en trenger å gå for langsskipsavstiving. Tverskipsavstiving vil derfor være mer praktisk for dette skipet siden det er enklere å bygge, og derfor billigere. I figuren til høyre er strukturen som utgjør skrogbjelken i 3D. Det ble valgt en stiveravstand på 600mm og en avstand mellom bærerene på 3000mm. Platene tar opp trykkrefter, både hydrostatiske og dekkslaster. Platene er avstivet med stivere av typen Holland profil. Stiverene fordeler trykket fra platen samtidig som den hjelper til å forhindre buling. Bærerene tar så opp kreftene fra stiverne og fordeler disse over til skrogbjelken. I stedet for en bunnstokk ble det brukt plater og stivere i programmet for å gjøre det enklere å modellere. I det virkelige skipet kommer det til å være en bunnstokk. Etter en prat med styrkeavdelingen til skipsteknisk ble det informert om at dersom det blir sterkt nok med denne løsningen vil det også bli sterkt nok med bunnstokk. Det ble derfor bestemt å beholde denne modellen istedenfor å modellere en ny for enkelhetsskyld. Men ideelt sett burde styrkemodellen bestått av bunnstokker slik som den egentlig skal bestå av.



Figur 46: 3D-Struktur

### 17.2 Bøyemomenter

Her blir det brukt moment fra både lastkondisjonene i Maxsurf stability og regelmomentene fra DNV-GL i Nauticus hull. Maxsurf Stability ble brukt til å lage hogging og sagging kondisjoner i stille vann. Grunnen til at man lager sagging og hogging kondisjonene er for å skape et urealistisk høyt bøyemoment som skipet blir dimensjonerert etter. Det største stille vann-bøyemomentet ble importert over til Nauticus hull. Som vist i figuren under ga design hogging kondisjonen et større moment enn minimumkravet i regelverket. For sagging kondisjonen ble momentet i minimumskravet brukt siden det var størst.

Bøyemomenter			
Hogging		Sagging	
MOMENT	kN/m	MOMENT	kN/m
Stille vann design	15222	Stille vann design	9535
Stille vann minimum	7380	Stille vann minimum	-4469
Bølgemoment minimum	7341	Bølgemoment minimum	-9469
<b>Total</b>	<b>22563</b>	<b>Total</b>	<b>-13938</b>

Figur 47: Bøyemomenter

### 17.3 Section scantling

Section scantling i Nauticus hull v20 ble brukt for å lage geometrien til skrogbjelken basert på generalarrangementet til skipet. I første omgang ble platetykkelsen antatt, siden den ikke har denne informasjonen i første runde. Dette fører til at vekten og bøyemomentet kan være veldig feil. Man må derfor gå tilbake en eller flere ganger for å justere platetykkelsen både i vektberegningen og i section scantling for å få den styrken i strukturen en er ute etter.

Trykket for dekkslaster og hydrostatisk kreftene blir lagt til i programmet automatisk basert på DNV sine utregninger. Programmet bruker lastene og bøyemomenta for å regne ut langskipsstyrken til skrogbjelken. Her blir det også regnet for buling ved hjelp av formelen under. Første leddet i formelen er materialkonstanten og siste leddet i formelen er slankheten. Om buling blir et problem, kan løsningen være å redusere spanteavstanden, øke tykkelsen, eller sette inn ett mellomspant.

$$\sigma_{Euler} = C \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left( \frac{t}{s} \right)^2$$

### 17.4 Resultater

Etter både lastene og geometrien er definert, var det klart for å kjøre utregningene i Nauticus Hull. Her blir styrken til platene og stiverne sjekket opp mot momentene og minimumsgrensene oppgitt i regelverket. Programmet sjekker for hogging og saggingkondisjon. Det sjekker også for trykk innvendig i skadet kondisjon med en dypgang på 6 meter. I første analysen ble platetykkelsen og stiverne som ble anslått brukt. Dette viste seg å være for kraftig dimensjonert og måtte derfor justeres ned noen millimeter i platetykkelse for de ulike segmentene. Disse endringene utgjorde 80 Tonn som da igjen utgjorde en forskjell i vekt og momentberegningene. Det ble derfor kjørt en ny iterasjonen med de nye dimensjonene.

Sammendrag Struktur			Spant #35
Kategori	Komponent	Dimensjon [mm]	Type
Hudplater m/ struktur	Kjølplater	10	Plate
	Hudplater under vann	10	Plate
	Hudplater over vann	6	Plate
	Stivere under vann	200x12	Holland profil
	Stivere over vann	140x10	Holland profil
Dekksplater m/ struktur	Plater dekk 1	6	Plate
	Plater dekk 2	7	Plate
	Plater styrkedeck	6	Plate
	Stivere styrkedeck	200x8,5	Holland profil
Dobbelbunn m/ struktur	Stivere dekk 1	140x6	Holland profil
	Stivere dekk 2	160x7	Holland profil
	Plater innerbunn	7	Plate
Bærere	Gulv	8	Plate
	Stiver innerbunn	200x12	Holland profil
Bærere	Stivere gulv	200x12	Holland profil
	Bærere dekk 1 og 2	300x6	Steg
	Bærere styrkedeck	500x6	Steg
		300x13	Flens

Figur 48: Sammendrag struktur

---

## 18 Vektestimater

Vektberegningene er utfordrende da det er begrenset med informasjon om vekten på utstyret som skal om bord. Det er avgjørende at vektberegningene stemmer. For flere av komponentene ble estimat av vekt gjort i samarbeid med veileder.

For estimering av vekt, er der to hovedmetoder. Første metoden er å sammenligne beregningene med eksisterende skip. Denne blir kalt for Top-down metoden. Denne er som oftest den mest nøyaktige, men inkluderer at en må ha informasjon om lettskipsvekten og de enkelte komponentene fra lignende skip. Den andre metoden er å regne sammen alle vektene og tyngdepunktene fra bunnen av. Denne blir kalt Bottom-Up metoden, og er den som ble brukt i denne oppgaven.

Også dette er en iterativ prosess. Det ble begynt med de største vektene. Deretter ble de gått nedover i detalj grad. Hvor vektene blir plassert har mye å si for stabiliteten til skipet, så nøyaktighet er viktig. Vektberegningene ble sortert ut fra SFI nummer.

### 18.1 100 - Skipet generelt

Her plasseres utstyret som ikke nødvendigvis går under en gitt kategori.

### 18.2 200 - Skrog

Stålvekten består av alt bærende struktur slik som plater, stivere og bærere. For estimering av stålvekten kan enten bruke empiriske formler som bygger på tidligere skip. Disse formlene er da ofte tilegnet større skip. Alternativt kan man regne ut vektene av alle platene og gange med en strukturfaktor og deretter legge til en strukturmargin. Dette vil også gi en mer realistisk LCG, VCG og TCG. Det var denne metoden som ble valgt for denne oppgaven. Platetykkelsen er hentet fra strukturdesignet. Skogarealet og tyngrepunktene ble hentet fra hydrostatikken til skroget i Maxsurf Modeller.

### 18.3 300 - Utstyr for last

Her inngår det utstyr som blir brukt til last, slik som kraner og festeanordninger til containere

### 18.4 400 - Skipsutstyr

Her ble vektene hentet hos flere av leverandørene. Veileder var også til hjelp for vestestimering av de komponentene som ikke hadde vektinformasjonen tilgjengelig. Skipsutstyr inkluderer:

- Tråleutstyr
- Forskningsutstyr
- Kraner
- Anker og fortøyning
- Navigasjonsutstyr

For anker og fortøyingsutstyret ble utrustningsnummer brukt. Deretter ble vektene til utstyret hentet fra tabellene i DNV-GL.

### 18.5 500 - Mannskap og innredning

Dette inkluderer innredning, redningsutstyr og system som tilhører dette. for innredningen brukte ble generalarrangementet brukt for å finne arealet. For dette arealet ble det estimert 0.15 tonn per m<sup>2</sup>. Vertikalt tyngdepunktet for innredningen estimerte vi som en meter over dekk.

## 18.6 600 - Maskin-hovedkomponenter

For vektestimering av maskinkomponentene ble flere av vektene hentet hos leverandører, andre vekter ble estimerte ut fra skalering av andre skip. Tyngdepunktene for komponentene ble plassert i henhold til generalarrangementet.

## 18.7 700 - System hovedkomponenter

Systemene som tavler, batteri og nødgenerator ble estimert ut fra leverandører og plassert i henhold til generalarrangementet.

## 18.8 800 - Skipssystem

Inkluderer skipets systemer som drivstoff, vann, luft og ventilasjon. For vektestimering av dette ble de brukt lignende skip og skalerte da disse ut ifra skipets tonnasje. Samme metode blir da også brukt for tyngdepunktet til systemene.

## 18.9 Sammendrag vekt

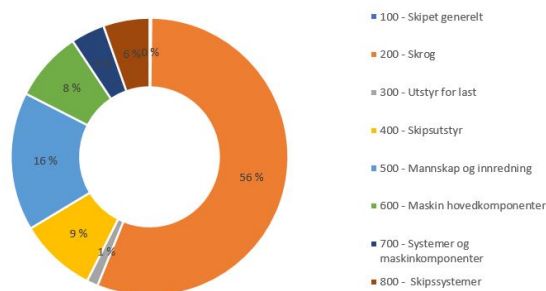
Marginer ble lagt til for lettskipsvekten. Dette på grunn av flere usikkerheter under estimeringen av de ulike segmentene. Disse marginene er plassert en meter over VCG og er følgende:

- Konstruksjonsmargin 5%
- Designmargin 15%
- Margin for framtidig vekst 5%

Man ser på figurene under at stålstrukturen står for største delen av vekten til skipet. Det er derfor et viktig segment å være nøyaktig på siden en millimeter forskjell i platetykkelse kan utgjør mye for vekten. Marginen utgjør også en veldig stor del av vekten til lettskipet. Dette på grunn av store usikkerheter og grove estimeringer.

Sammendrag	
Lettskip	Vekt [T]
100 - Skipet generelt	1,30
200 - Skrog	340,64
300 - Utstyr for last	8,00
400 - Skipsutstyr	54,60
500 - Mannskap og innredning	98,20
600 - Maskin hovedkomponenter	49,70
700 - Systemer og maskinkomponenter	24,07
800 - Skipssystemer	32,80
Sum uten marginer	609,31

Figur 49



Figur 50

---

## 19 Stabilitet

For stabilitetsberegningene ble Maxsurf stability brukt. Her ble skroget modellert i Maxsurf modeller sjekket opp mot kriteriene. Det er ikke ønskelig å overstige kravene for mye, men heller å treffe på stabilitetskravene slik at en får redusert vannlinjen mest mulig. Dette for å få mindre motstand som fører til lavere drivstoffkostnader. Den andre ulempen med for høy stabilitet er at krengeingen kan oppleves som hard og ubehagelig. Dette problemet kan løses ved å installere en rulledeмпingstank, som både gir en våt overflateeffekt som reduserer rullingene til skipet og GM.

Ved første utkast hadde skipet en bredde på 10.5 meter. Med denne bredden fikk ikke skipet godkjent stabilitetskravet. Det ble da vurdert to løsninger. Øke vannlinjearealet eller redusere vektdeplasementet. Det ble valgt gjøre skipet en halv meter bredere til tross for den ekstra motstanden dette ville gi.

### 19.1 Lastkondisjoner

Fra DNVGL 2019Pt.3 Ch.15. er det som krav å få godkjent stabilitetskriteriene ved forskjellige lastkondisjoner. Ved disse kondisjonene skal skipet ha minimalt med trim. Lastkondisjonene som stabiliteten ble testet for er:

- Avgang lastet
- Avgang ballast
- Ankomst Lastet
- Ankomst ballast

#### 19.1.1 Avgang havn - Ballast

For denne lastkondisjonen har skipet fulle drivstofftanker, proviant og ballast fordelt for å opprettholde *even keel*.

Avgang havn - Ballast					
Lastkondisjon	Masse [t]	LCG [m]	TCG [m]	VCG [m]	FSM [MT m]
Lettskip	795	20,683	0,005	5,886	0
Last og proviant	3	25	0	10	0
Tank	207,54	22,54407921	0,000227233	5,299	334,8
Total	1005,54	21,08	0,004	4,967	334,8
Tankfyllingsgrad [%]					
LNG	98 %	Svartvann	10 %	Ballast vann	40 %
Diesel	98 %	Gråvann	10 %	Sludge	10 %
Smøreolje	98 %	Ferskvann	98 %	Lensevann	10 %

Figur 51: Avgang havn - Ballast

#### 19.1.2 Ankomst havn - Ballast

For denne lastkondisjonen har skipet tomme(10%) drivstofftanker, lite proviant, og ballast for å opprettholde *even keel*.

Ankomst havn - Ballast					
Lastkondisjon	Masse [t]	LCG [m]	TCG [m]	VCG [m]	FSM
Lettskip	795	20,683	0,005	5,886	0
Last og proviant	1,5	25	0	10	0
Tank	209	22,55717464	0,00022488	5,248	221,35
Total	1005,5	21,079	0,004	5,025	221,35

Tankfyllingsgrad [%]					
LNG	10 %	Svartvann	98 %	Ballast vann	80 %
Diesel	10 %	Gråvann	98 %	Sludge	98 %
Smøreolje	98 %	Ferskvann	10 %	Lensevann	98 %

Figur 52: Ankomst havn - Ballast

### 19.1.3 Avgang havn - Lastet

For denne lastkondisjonen har skipet dekkslast inkludert, denne lasten er på 30 tonn med et vertikalt yngdepunkt en meter over arbeidsdekk. Fulle drivstofftanker og proviant.

Avgang havn - Lastet					
Lastkondisjon	Masse [t]	LCG [m]	TCG [m]	VCG [m]	FSM
Lettskip	795	20,683	0,005	5,886	0
Last og proviant	33	7,3	0	7,8	0
Tank	241,1	24,80727914	0,089935297	5,168	29,69
Total	1069,1	21,2	0,024	5,123	29,69

Tankfyllingsgrad [%]					
LNG	98 %	Svartvann	10 %	Ballast vann	35 %
Diesel	98 %	Gråvann	10 %	Sludge	10 %
Smøreolje	98 %	Ferskvann	98 %	Lensevann	10 %

Figur 53: Avgang havn - Lastet

### 19.1.4 Ankomst havn - Lastet

For denne kondisjonen har skipet også dekkslast, tomme(10%) drivstofftanker, lite proviant, og ballast for å opprettholde *even keel*.

Ankomst havn - Lastet					
Lastkondisjon	Masse [t]	LCG [m]	TCG [m]	VCG [m]	FSM
Lettskip	795	20,683	0,005	5,886	0
Last og proviant	31,5	7,3	0	7,8	0
Tank	214,5	24,59444755	0,000881119	5,32	342
Total	1041	21,084	0,004	4,976	342

Tankfyllingsgrad [%]					
LNG	10 %	Svartvann	98 %	Ballast vann	80 %
Diesel	10 %	Gråvann	98 %	Sludge	98 %
Smøreolje	98 %	Ferskvann	10 %	Lensevann	98 %

Figur 54: Ankomst havn - Lastet

## 19.2 Kriterier

For stabilitetsberegningene ble det brukt kriteriene for IMO A.749(18) Code of Intact stability. Disse ble kjørt i Maxsurf stability og etter et par iterasjoner fikk skipet godkjent kriteriene for alle lastkondisjonene som vist i tabellen under. GM verdien til skipet ble høyere en ønsket og vil virke negativt siden dette vil føre til en knappere rulleperiode.

IMO A.749 Code on Intact Stability	Kriterier	Enhet	Avgang havn - Ballast	Ankomst havn - Ballast	Avgang havn - Lastet	Ankomst havn Lastet
Area 0-30 (shall not be less than)	3,15	m.deg	3,4	3,83	3,69	3,23
Area 0-40 (shall not be less than)	5,16	m.deg	5,89	6,49	6,69	5,53
Area 30-40 (shall not be less than)	1,72	m.deg	2,49	2,67	3,01	2,32
Max GZ at 30 or greater (shall not be less than)	0,2	m	0,49	0,55	0,598	0,48
Angle for max GZ (shall not be less than)	25	deg	61,8	63,6	62,7	62,7
Initial GM_t (shall not be less than)	0,15	m	0,6	0,71	0,73	0,604
Angle of steady heel (shall not be greater than)	16	deg	0,4	0,4	2,2	0,4
Angle of steady heel / Deck edge immersion (shall not be greater than)	80	%	0,96	0,87	5,1	1
Area1 / Area2 (shall not be less than)	100	%	371,74	232,91	342,64	364,25

Figur 55: Kriterier Stabilitet

## 19.3 Rulledemping

Rulleperioden til skipet kan estimeres ved hjelp av formelene under gitt i *Principles of naval architecture* 1967. Her fikk skipet en rulleperiode på mellom 9.5s til 10.3s. Fra diskusjon med veileder ble det oppgitt at denne perioden er i underkant lav, og helst burde ligge på over 13-14s. Dette på siden det er ønsket å unngå bølgeperiodene til havet skipet skal operere i, da dette vil forverre rulling.

$$T_{n4} \approx 2.27 \cdot \frac{B}{\sqrt{g \cdot GM}}$$

Det er flere tiltak som kan gjøres for å begrense rulling. Eksempler på dette er aktive finner, passive tanker, aktive tanker og slingrekjø. I tabellen under er en sammenligning mellom de forskjellige rullestabilisatorene.

Type	Aktiv finne	Passiv tank	Aktiv tank	Slingrekjø
<b>Rulledemping i prosent</b>	90%	50-70%	-	35%
<b>Effektiv ved lav hastighet</b>	Nei	Ja	Ja	Ja
<b>Økt skipssmotstand</b>	Ved operasjon	Nei	Nei	Nei
<b>Strømbehov</b>	Lite	Null	Stor	Null
<b>Utsatt for skader</b>	Ikke når den er tilbaketrukket	Nei	Nei	Ja
<b>Investeringskostnad</b>	Høy	Moderat	Høy	Lav
<b>Vedlikehold</b>	Vanlig mekanisk	Lav	Vanlig mekanisk	Ofte høy

Tabell 14: Sammenligning mellom rullestabilisatorer

Kilde: Marineinsight

Som tiltak til for god stabilitet ble det sett på mulighet for en passiv rulledempingstank. En ulempe med en slik frivæskeoverflatetank, er at den reduserer den initielle stabiliteten. Men siden den initielle GM på dette skipet allerede er for høy, vil dette virke positivt for dette skipet.

Planen er å designe rulledempingstanken slik at bevegelsen av vannet i tanken gir best mulig effekt på rullebevegelsen til resten av skipet. For å få til dette må vannet i tanken ha maksimal stabiliseringsmoment på skipet når skipet oppnår mest rulling. For å få til dette kreves videre undersøkelse, beregninger og optimalisering.

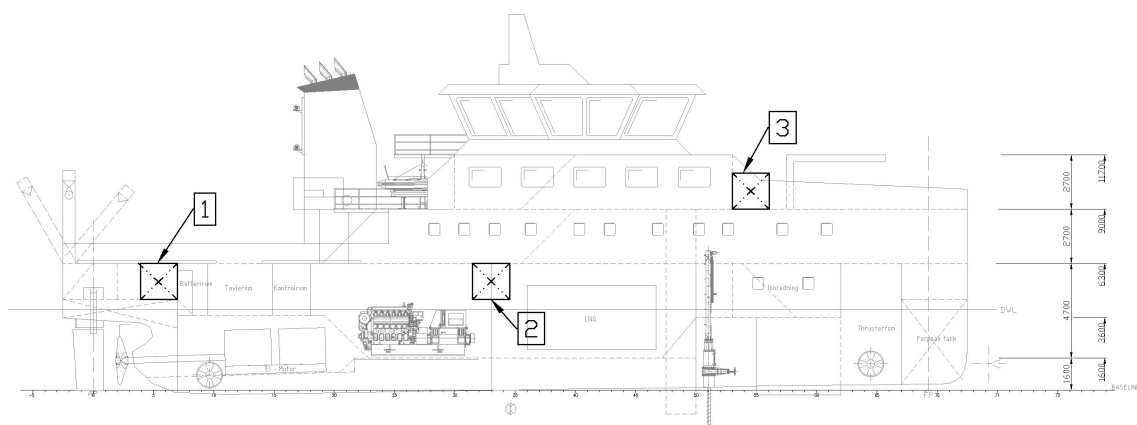
De initielle dimensjonene på tanken er lengde: 1,8m, høyde: 1,8m og bredde: 10.5m. Ved hjelp formelen under kan det regnes ut hvor mange grader rulleddempingstanken får skipet til å krenge. Dette ga skipet en vinkel på mellom 4,22° og 5.2° avhengig av lastkondisjonene.

$$\tan\theta = \frac{v \cdot a}{\Delta \cdot GM}$$

$v = \text{vannmengde}/3 = 5.67$

$a = \text{bredden på tanken}$

En utfordring er at en slik tank krever stor plass. Tre ulike plasseringer ble sett på som illustrert i figur 56.



Figur 56: Alternative plasseringer for rulleddempingstank

1. Dette er den valgte plasseringen. Det er også i dette området rulleddempingstanken hos forskningsskipet Gunnerus er plassert. Største utfordringen med denne plasseringen er at det fører til at det nå bare tilgang til styremaskin og hydraulikkrom fra en luke i arbeidsdekket.
2. Denne plasseringen ville ført til reduksjon i takhøyde både i maskinrommet og gassrommet. LNG tanken vil sannsynligvis ta større plass enn det som er indikert på GA. Det kan derfor være et problem å ha en rulleddempingstank plassert her.
3. Det største problemet med denne plasseringen er at den tar mye vindusplass. Tanken kan da heller ikke være hele bredden til skipet siden det må være tilgang til det åpne dekket fremme på dekk 1.
4. En fjerde plassering ble også diskutert. Rett under styrehuset. Denne er ikke tatt med i figuren da det tidlig ble gått bort i fra. Dette fordi det ville ført til at strukturen i styrehuset mest sannsynlig måtte dimensjoneres opp. Samtidig som løftet dekk i styrehus måtte blitt høyere for å få plass til tanken.

## 19.4 Skadestabilitet

Skadestabilitet er ikke et krav til dette skipet så lenge det er 12 eller mindre forskere ombord, og skipet er under 80 meter langt.



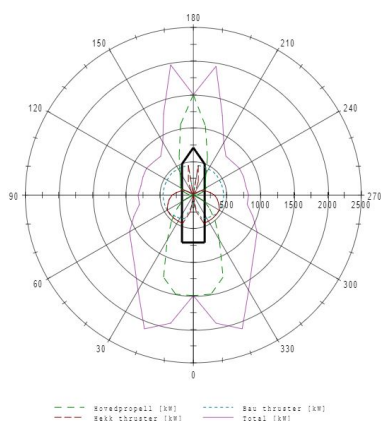
---

## 20 Stationkeeping Analyse

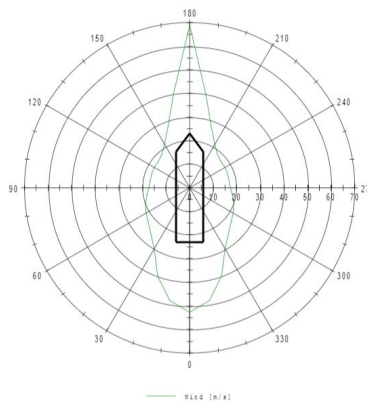
Det blir brukt DP i forskningsskip som er avhengig av å holde posisjonen sin i ulike operasjoner. DP står for dynamisk posisjonering og er et styresystem som automatisk holder skipet i en posisjon. For dette skipet trengs DP til blant annet signalbøyeservice og bunnprøver. For DP-operasjoner er det viktig å kjenne til skipet. Etersom strøm og bølger raskt varierer. Kan dette være krevende for posisjoneringen.

DP-systemer er komplekse og avanserte installasjoner. Selve kompleksiteten varierer etter krav til operasjonssikkerhet og redundans (Kjerstad 2019).

Kapasitetsplott (IMCA-standard) viser hvor mye vind og strøm skipet tåler for å kunne ligge på DP. Ytterste kurve indikerer alle thrustere tilgjengelig. For å estimere kapasiteten og lage kapasitetsplot ble det brukt ShipX. Dette er et program utviklet av SINTEF som blir brukt for å utføre hydrodynamiske analyser. I dette programmet kan man enten velge en vind og strømningshastighet og teste kapabiliteten skipet har i disse forholda. Eller kjøre en test som sjekker kraften propellene til skipet produserer i de forskjellige retningene. Videre utregninger fra ShipX finnes i VEDLEGG G.



Figur 57: Kraft propulsjon



Figur 58: Kapasitetsplott

Den mest krevende situasjonen for skipet ved DP, er når strømmingene virker på 120° og 240°. En bør da snu skipet mot strømningsretningen for å utnytte at den får mindre motstand og en mer effektiv propulsjonskraft siden propellen tar over mesteparten.

---

## 21 Manøvrering

### 21.1 Ror

Ved første steget i designprosessen blir roret estimert ved at det har et projektert areal på 5% av skipets projekteerte areal sett fra siden. DNV har også en formel til å estimere dette vist under.

$$A_R \approx \frac{T \cdot L_{PPP}}{100} \left( 1.0 \cdot 25.0 \cdot \left( \frac{B}{L_{PPP}} \right)^2 \right)$$

Ved bruk av denne metoden ble rorarealet estimert til 4,5m<sup>2</sup>.

### 21.2 Retningsstabilitet

Skipet er retningsstabil når C er større en null. Ut fra de empiriske formelene ble det estimerte en C verdi på 0.192 ved 11 knop. Derivatene brukt i formelene er hentet fra *Principles of naval architecture Volume III* 1967.

$$C = Y'_v N'_r - N'_v (Y'_r - m')$$

$$\begin{aligned} Y'_v &= \frac{Y_v}{0.5 \cdot \rho \cdot V \cdot L^2} & Y_v &= -\pi \left( \frac{T}{L} \right)^2 \left( 1 + 0.40 C_B \frac{B}{T} \right) \\ Y'_r &= \frac{Y_r}{0.5 \cdot \rho \cdot V \cdot L^3} & N_v &= -\pi \left( \frac{T}{L} \right)^2 \left( 0.5 + 2.4 \frac{B}{L} \right) \\ N'_v &= \frac{N_v}{0.5 \cdot \rho \cdot V \cdot L^3} & Y_r &= \pi \left( \frac{T}{L} \right)^2 \left( 0.5 - 2.2 \frac{B}{T} 0.080 \frac{B}{T} \right) \\ N'_r &= \frac{N_r}{0.5 \cdot \rho \cdot V \cdot L^4} & N_r &= -\pi \left( \frac{T}{L} \right)^2 \left( 0.25 + 0.039 \frac{B}{T} - 0.56 \frac{B}{L} \right) \\ m' &= \frac{\Delta}{0.5 \cdot \rho \cdot L^3} \end{aligned}$$

Siden skipet har skeg, vil dette gjøre skipet mer retningsstabil. For å inkludere dette, ble det lagt til et tillegg som blir estimert fra formelene under.

$$\begin{aligned} Y' &= \frac{Y}{0.5 \cdot \rho \cdot V \cdot L^2} \\ Y &= C_{L\alpha} \cdot \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_R} \\ C_{L\alpha} &= \frac{1.8\pi\Lambda}{1.8 \cdot \cos\Omega \sqrt{4 + \frac{\Lambda^2}{\cos^4\Omega}}} \end{aligned}$$

$\Omega$  = Rorvinkel

$\Lambda$  = Ror/Skeg sideforhold

b = Ror/Skeg distanse

AR = Ror/Skeg areal

---

### 21.3 Manøvreringsanalyse

Det å designe et skip med gode manøvreringsegenskaper kan være utfordrende siden retningsstabilitet og god manøvrerbarhet ofte motvirker hverandre. Dette er nødvendigvis ikke alltid tilfelle. Øker en for eksempel størrelsen på roret, øker retningsstabiliteten i nøytral posisjon, samtidig som det også gir bedre manøvreringsegenskaper. For et forskningsskip er god manøvrerbarhet i lave hastigheter viktig ettersom man ofte opererer kystnært.

For å analysere manøvreringsegenskapene for dette skipet, ble *Tactical*, *Advance*, *Transfer* og *Steady speed* estimert i 11knop som er transit farten til skipet. Dette er kun estimat og blir regnet ut fra empiriske formler.

For utregning av de ulike parameterene trenger man først Steady turning diameter. Ut fra formelen under fikk skipet en  $\frac{STD}{L} = 3.918$ .

$$\frac{STD}{L} = 0.727 - 197\frac{C_B}{\delta} + 4.65\frac{B}{L} + 41.0\frac{Trim}{L} + 188\frac{1}{\delta} - 218\frac{SpCh}{LT}(NR - 1) + 3.2\frac{V_A}{\sqrt{L}} + 25.56\frac{A_B}{LT}$$

*Tactical diameter* ( $\frac{TD}{L}$ ) er diameteren skipet bruker på å snu seg  $180^\circ$ . Denne ble estimert til 4.06 og er innenfor kriteriet til IMO som er 5.

*Advance distansen* ( $\frac{Ad}{L}$ ) er distansen fremmover skipet bruker på å snu seg  $90^\circ$ . Denne ble estimert til 3.19 og er innenfor kravet til IMO på 4.5

*Transfer distansen* ( $\frac{Tr}{L}$ ) er distansen skipet bruker på å vri seg  $90^\circ$ . Denne ble estimerte til 1.8.

*Steady speed in turn* ( $\frac{V_T}{V_A}$ ) er forholdet mellom farten til skipet før og i en sving. Denne ble estimerte til 0.43.

$$\frac{TD}{L} = 0.140 + 1.0\frac{STD}{L}$$

$$\frac{Ad}{L} = 1.10 + 0.514\frac{TD}{L}$$

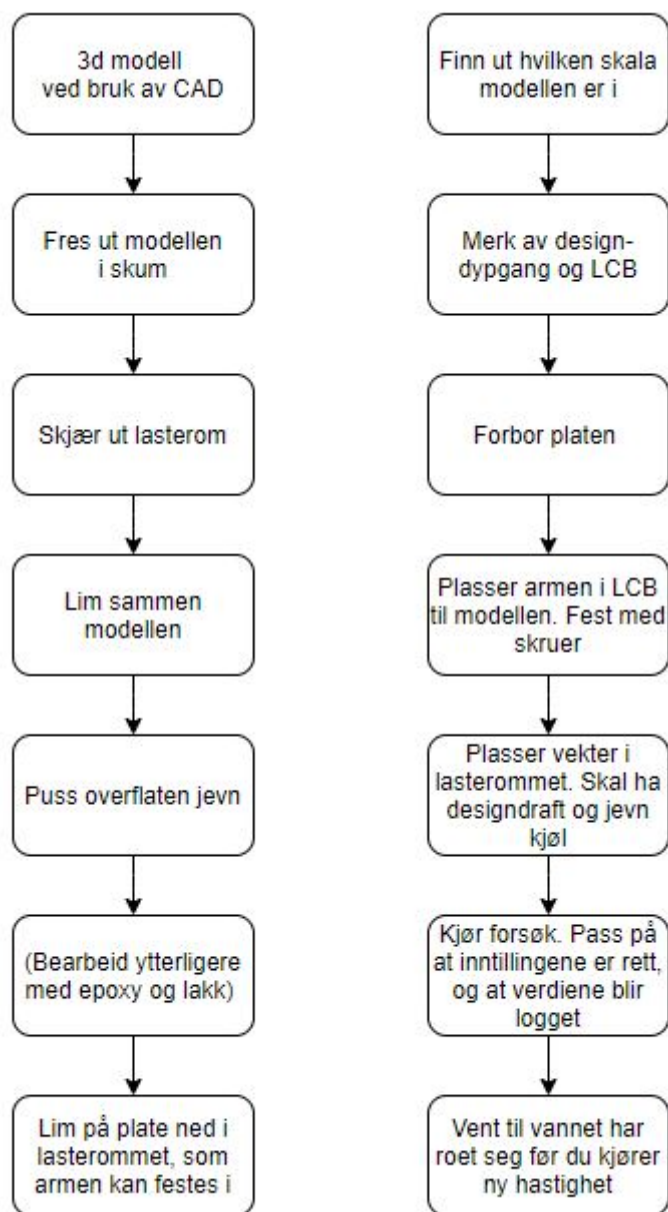
$$\frac{Tr}{L} = -0.357 + 0.531\frac{TD}{L}$$

$$\frac{V_T}{V_A} = -0.543 + 0.028\frac{TD}{L}$$

---

## 22 Modellforsøk

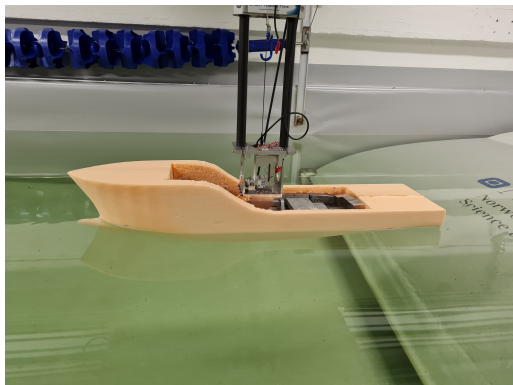
Modellforsøk i slepetank blir gjort for å finne motstanden til skroget. Formålet med dette forsøket er å sammenligne to forholdvis like skrog. Den ene med tverr bau og den andre med bulb. Med unntak av dette er skrogene like. I Figur 59 er en forenklet rekkefølge for hvordan klargjøring og forsøket gjennomføres illustrert.



Figur 59: Arbeidsflyt for klargjøring av modell og modellforsøk

## 22.1 Klargjøring av modellene

Skroget med tverrbau ble frest ut først. Det ble derfor mulighet for å behandle overflaten med et lag med epoxy og noen lag med lakk. Skroget med bulb ble frest ut etter at det ble begrenset tilgang til laboratorium og verksted på grunn av et Covid-19 utbrudd. Dette medførte at modellen ikke fikk videre overflatebehandling enn pussing før modellforsøket ble kjørt. De to modellene har derfor forskjellig ruhet ved dette forsøket. Dette vil gi utslag i resultatene. Hvor stort utslaget er vanskelig å si. Men det er noe som må tas høyde til ved tolking av resultater.



Mål	Symbol	Verdi
Total lengde	Loa_m	0,818 m
Vannlinje lengde	lwl	0,773 m
Modellskala	$\lambda$	55
Dypgang	t	0,073 m
Bredde	b_m	0,200 m
Våtoverflate	S_m	0,209 m <sup>2</sup>

Figur 60: Modell Bulbbau



Mål	Symbol	Verdi
Total lengde	Loa_m	0,818 m
Vannlinje lengde	lwl	0,818 m
Modellskala	$\lambda$	55
Dypgang	t	0,073 m
Bredde	b_m	0,20 m
Våtoverflate	S_m	0,211 m <sup>2</sup>

Figur 61: Modell Tverrbau

## 22.2 Slepetanken

Slepetanken som er blitt brukt for å gjennomføre forsøkene befinner seg på NTNU Ålesund. Slepetanken har følgende dimensjoner:

Slepetank dimensjoner	
Lengde	10,9 m
Bredde	2,0 m
Dybde	1,4 m
Vannhøyde	0,85 m

Tabell 15: Dimensjoner på slepetanken ved NTNU Ålesund

Dette er en relativt liten slepetank. Modellene som testes må derfor ha en liten skala.

## 22.3 Forsøket

I vedlegg D ligger prosedyre hentet fra ITTC med forklaringer på de forskjellige bidragene til den totale motstandskoeffisienten. Excelarkene som er brukt for utregning ligger også ved der. Gain på 0,0604 ble satt for lastcella. Det er denne innstillingen som ble brukt for begge modellforsøkene.

Resultatene fra det første modellforsøket ble følgende:

Modellforsøk Tverrbau				
Hastighet	Vm	$R_{TM}$	$R_{TS}$ (skrog)	$R_{TS}$ (skip)
[knop]	[m/s]	[N]	[kN]	[kN]
2	0,14	0,059	7,8	8,24
5	0,35	0,138	12,6	14,91
6	0,41	0,126	7,2	10,3
8	0,55	0,363	37,6	42,81
9	0,62	0,465	49,6	57,29
10	0,69	0,666	78,0	85,59
11	0,76	0,800	94,6	105,81
12	0,82	1,170	150,9	164,71
13	0,9	1,434	188,7	200,53

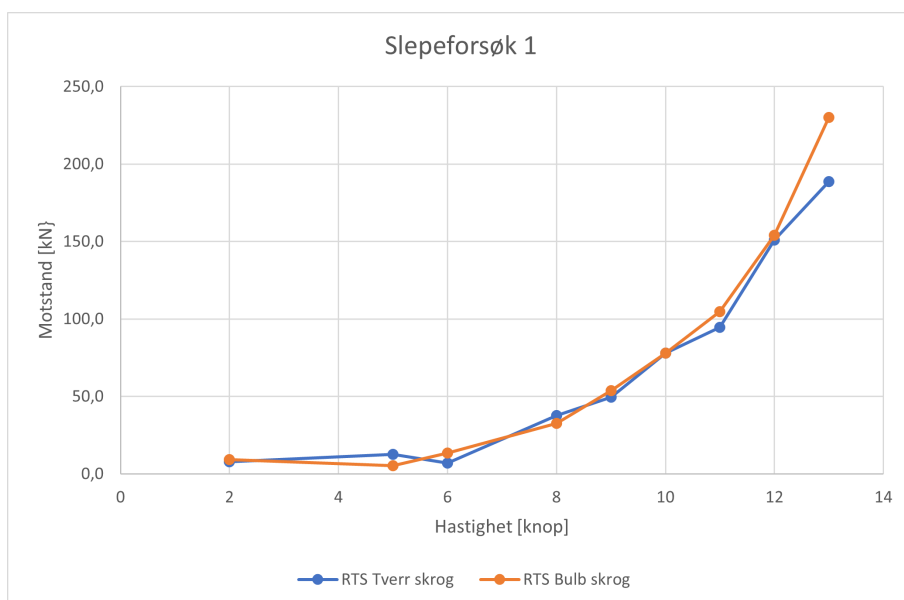
Tabell 16: Modellforsøk tverrbau

Verdiene markert i rødt er avvik. De regnes ikke som gyldige.

Modellforsøk Bulb				
Hastighet	Vm	$R_{TM}$	$R_{TS}$ (skrog)	$R_{TS}$ (skip)
[knop]	[m/s]	[N]	[kN]	[kN]
2	0,14	0,069	9,42	9,87
5	0,35	0,092	5,3	7,7
6	0,41	0,171	13,66	16,86
8	0,55	0,339	32,60	37,87
9	0,62	0,497	53,90	60,35
10	0,69	0,674	78,1	85,83
11	0,76	0,870	104,91	114,01
12	0,82	1,20	154,18	164,74
13	0,9	1,69	230,3	242,4

Tabell 17: Modellforsøk bulbau

Sammenligning Forsøk 1							
Hastighet	Modell- hastighet	$R_{TM}$ Tverr	$R_{TS}$ Tverr skrog	$R_{TM}$ Tverr skip	$R_{TM}$ Bulb	$R_{TS}$ Bulb skrog	$R_{TS}$ Bulb skip
[knop]	[m/s]	[N]	[kN]	[N]	[N]	[kN]	[kN]
2	0,14	0,06	7,8	8,2	0,07	9,4	9,9
5	0,35	0,14	12,6	14,9	0,09	5,3	7,7
6	0,41	0,13	7,2	10,3	0,17	13,6	16,9
8	0,55	0,36	37,6	42,8	0,34	32,6	37,9
9	0,62	0,47	49,6	57,4	0,50	53,9	60,4
10	0,69	0,67	78,0	85,9	0,67	78,0	86,0
11	0,76	0,80	94,6	106,5	0,87	104,8	114,5
12	0,82	1,17	150,9	165,8	1,20	154,1	165,6
13	0,90	1,43	188,7	202,0	1,69	230,2	243,6



Figur 62: Sammenligning av skrogmotstanden

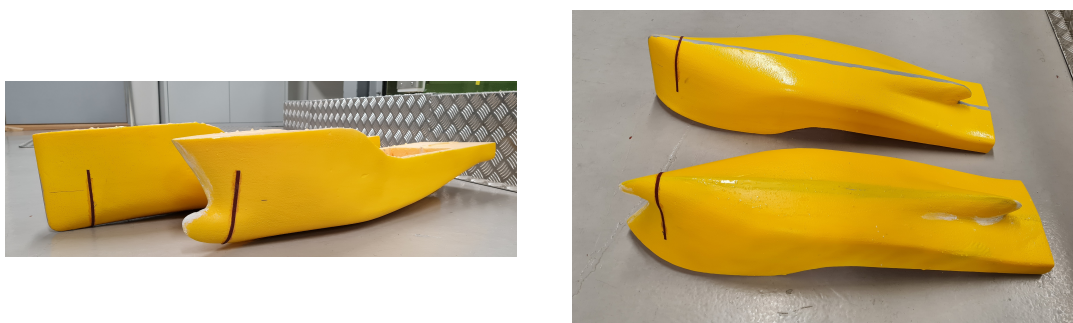
## 22.4 Feilkilder

I tillegg til forskjell i ruhet fikk begge modellene vanninntrengning iløpet av modellforsøket.

## 22.5 Tolking av resultatene

Som vist i figur 62 kan man se at forskjellen mellom de to skrogene er minimale. Skroget med bulb har ikke konsekvent mindre motstand frem til 11-12knop slik som maxsurf resistance tilsa. Det at modellforsøket ikke gir slike resultater er mest sannsynlig på grunn av ruhetsforskjellen mellom de to skrogene. Det ble derfor besluttet å bruke ekstra tid på modellene for å få et mer sammenlignbart resultat. Det ble etterhvert større tilgang til laboratorium og verksted. Dette åpnet for mulighet til å kunne overflatebehandle modellen med bulb.

## 22.6 Nytt forsøk



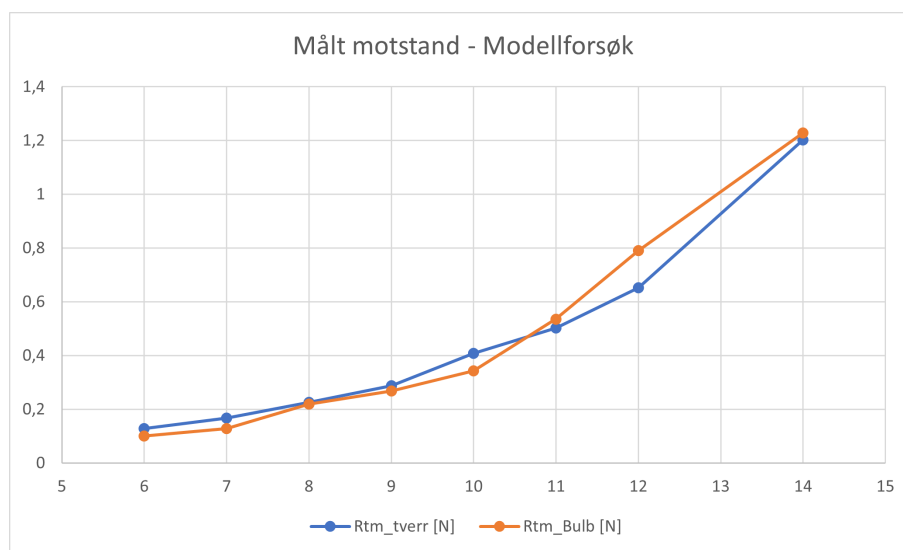
Figur 63: Modellene som testes

Modellen med bulb ble overflatebehandlet. I tillegg ble det satt på en remse sandpapir på begge modellene for å simulere turbulens i forskipet. Begge modellene ble også ettertettet før modellforsøket ble kjørt for å forhindre vanninntrengning.

Ved ny slepetest av modellen med tverrbau ble det observert at resultatene konsekvent var lavere enn forrige slepetest. Tiltross for at begge testene hadde lik innstilling på lastcellen med en *gain* på 0.0604. Hva som er grunnen til dette er vi ikke helt sikker på. Vanninntrengingen kan ha hatt en påvirkning. Men at forskjellen skulle være såpass stor var ikke forventet. Siden målingene var konsekvent lavere ble det likevell valgt å fortsette forsøket. Modellen med bulb ble testet dagen etter. En slepetest med tverrbau ble kjørt før forsøket med bulbbau ble gjort. Dette for å sjekke at lastcellen ga samme målinger denne dagen. Siden målingene viste samme resultat ble modellen med bulb testet med de samme innstillingene.

Siden grunnen til lavere målinger ved forsøk nr 2 ikke er kjent, er det ikke sikker at størrelsen til den måte motstanden for modellene stemmer. Likevel er hovedmotivasjonen å se på forskjellen mellom de to skrogene. Så siden modellene er testet med samme innstillinger er den målte motstanden for de to modellene sammenlignbar.

Vs	Vm	Rtm_tverr	Rtm_Bulb
[Knop]	[m/s]	[N]	[N]
6	3,09	0,129	0,1
7	3,60	0,168	0,129
8	4,12	0,226	0,219
9	4,63	0,288	0,268
10	5,14	0,4089	0,343
11	5,66	0,503	0,536
12	6,17	0,653	0,791
14	7,20	1,202	1,228



Figur 64: Sammenligning av slepetestresultater for tverrbau og bulbbau

I figur 64 kan man se at mellom 6 og 10 knop er målt motstand mindre for skipet med bulb. Mens ved hastighetene mellom 11 og 14 knop har modellen med tverrbau mindre motstand enn den med bulb. Skipet med bulb har en forholdsvis liten bulb. Det vil si at effekten av bulben går raskt over når baugbølgen øker. Transitfart er 11knop, så dersom bulb skulle blitt brukt for dette skipet ville det vært viktig å justere bulben slik at motstanden ved 11 knop går ned isteden for at den øker i forhold til skipet med tverrbau.



Videre ble resultatene for slepeforsøk 1 og 2 sammenlignet:

Hastighet	Modellhastighet	Forsøk 1	Forsøk 2	Forsøk 1	Forsøk 2
		R <sub>TM</sub> Tverr	R <sub>TM</sub> Tverr	R <sub>TM</sub> Bulb	R <sub>TM</sub> Bulb
[knop]	[m/s]	[N]	[N]	[N]	[N]
6	0,41	-	0,129	0,171	0,100
7	0,29	-	0,168	-	0,129
8	0,55	0,363	0,226	0,339	0,219
9	0,62	0,465	0,288	0,497	0,268
10	0,69	0,666	0,409	0,674	0,343
11	0,76	0,800	0,503	0,870	0,536
12	0,82	1,170	0,653	1,200	0,791
13	0,90	1,434	-	1,690	-
14	0,97	-	1,202	-	1,228

Figur 65: Sammenligning forsøk 1 og 2

Differanse mellom forsøk 1 og 2		
Hastighet	Tverr	Bulb
8	0,137	0,120
9	0,177	0,229
10	0,257	0,331
11	0,297	0,334
12	0,517	0,409

Figur 66: Differanse - forsøk 1 og 2

Det er ingen åpenbar trend i differansen mellom forsøk 1 og 2 for tverr og bulb. Det var forventet at differansen for bulbbaue konsekvent skulle være større enn differansen for tverrbaue. Dette på grunn av at overflaten til modellen med bulb var forskjellig mellom forsøk 1 og 2, mens overflaten til modellen med tverrbaue var lik ved de to forsøkene.

### 22.6.1 Usikkerhet og feilmålinger

De fleste hastighetene ble kun testet en gang. For å se hvor mye målingene varierte ble modellen med bulb slept fire ganger ved 8 knop.

Test 8 knop	
1	0,249
2	0,217
3	0,202
4	0,219
Gjennomsnitt	0,222

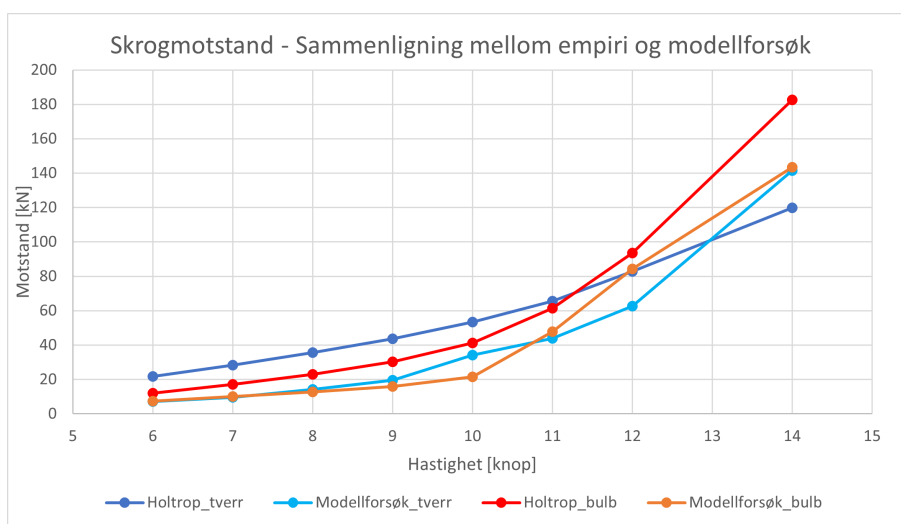
Det er noe variasjon i målingene. Det bekrefter at det hadde vært en fordel om alle hastighetene ble testet flere ganger.

I tillegg til dette ble restmotstanden og ruhetsfaktoren negativ ved lave hastigheter. Dette er indikert med gul farge og rød skrift i tabellene i vedlegg D. Grunnen til de negative verdiene er at ruhetsfaktoren er basert på reynoldstall. Ved lave reynoldstall går ruhetsfaktoren mot negative verdier. Restmotstanden blir negativ ved lave verdier fordi den består av den totale motstandskoeffisienten minus friksjonsmotstandskoeffisienten. Den totale motstandskoeffisienten er basert på målt motstand ved modellforsøket. Friksjonsmotstandskoeffisienten derimot, er uavhengig av modellforsøket. Den er kun avhengig av reynoldstallet. Dette skaper derfor problemer ved de lave

hastighetene når friksjonmotstanden blir større enn den totale motstanden. Siden restmotstanden og ruhetsfaktoren ikke kan være negative er derfor disse negative verdiene sett bort i fra.

### 22.6.2 Skrogmotstand - sammenligning med empiriske metoder

Hastighet	Tverrbau		Bulbbau	
	Holtrop_tverr	Modellforsøk_tverr	Holtrop_bulb	Modellforsøk_bulb
[knop]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
6	21,7	7,2	12	7,49
7	28,4	9,5	17,2	9,97
8	35,6	14,3	23	12,78
9	43,7	19,4	30,2	15,91
10	53,3	43,2	41,3	21,59
11	65,6	43,9	61,3	47,95
12	82,8	62,7	93,6	84,44
14	119,7	141,6	182,7	143,64

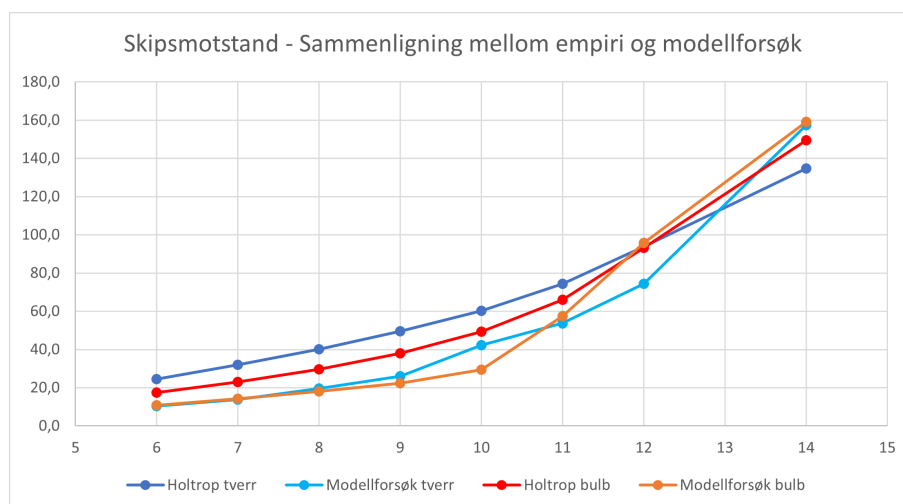


Figur 67: Sammenligning av ren skrogmotstand. Empiri vs. modellforsøksresultater

Også ved empiri viser bulben seg å være negativ etter 11 knop. Men nå som skrogmotstanden er skalert opp har skipet med bulb litt større motstand ved 6 og 7 knop enn skipet med tverr bau. Noe målt motstand i figur 64 ikke tilsa. Grunnen til at skalert skrogmotstand tilsier noe annet enn målt motstand for modellene kan være problemene med de negative verdiene for ruhetsfaktoren og restmotstand.

### 22.6.3 Skrogmotstand - sammenligning med empiriske metoder

Skipsmotstand				
	Tverrbau		Bulbbau	
Hastighet	Holtrop tverr	Modellforsøk tverr	Holtrop bulb	Modellforsøk bulb
[knop]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
6	24,4	10,4	17,3	10,7
7	32,0	13,8	22,9	14,2
8	40,2	19,7	29,6	18,1
9	49,5	26,1	38,0	22,4
10	60,3	42,3	49,2	29,5
11	74,4	53,7	66,0	57,5
12	93,9	74,4	93,2	95,8
14	134,8	157,3	149,4	159,1



Figur 68: Sammenligning av skipsmotstand. Empiri vs. modellforsøksresultater

## 22.7 Konklusjon for modellforsøket

Som følge av flere feilkilder ved modellforsøkene er resultatene usikre. Skaleringen av modellmotstand til skrogmotstand og skipsmotstand er noe problematisk på grunn av negative verdier for restmotstandkoeffisienten og ruhetskoeffisienten. Det er tendensene til grafene for den målte modellmotstanden som ligner mest på funnene i maxsurf ved bruk av holtrop. Men alle resultatene viser at bulben er negativ etter 11 knop.

Det er også usikkert hvor mye forskjellen i overflatebehandlingen påvirker resultatene siden motstanden til begge skipene var mindre ved forsøk nr 2. Noe som ikke var forventet. Det var heller ikke en klar trend i differansen. Hadde det kun vært motstanden til modellen med bulbbau, som hadde forskjellig overflatebehandling mellom de to forsøkene, eller at det var en trend i differansen hadde det vært lettere å sammenligne og dra en konklusjon.

---

## 23 3D-Modell

Å lage en 3D modell i tidlig konseptfase kan åpne for nye ideer og muligheter. Når en viser et konsept på en 2D tegning, kan det være vanskelig for reder å se for seg konseptene raskt. Noe som kan skape misforståelser. Ved å vise en 3D-Modell kan en enkelt visualisere konsept og åpne for diskusjoner rundt dette. Det er også lettere å finne feil og åpenbare løsninger i designet.

For å lage 3D-modellen av fatøyet ble skroget importert fra Maxsurf modeller til Siemens NX. I Siemens NX ble dekk og skott modellert. Videre ble en sammenstillingsmodell laget hvor de forskjellige komponentene ble plassert basert på general arrangementet.

Det er kun utsiden av skipet og store komponenter som er modellert av oss. Kraner og annet utstyr er hentet fra internett. Skroget som er brukt i disse illustrasjonene er fra en tidligere iterasjon. Så det stemmer derfor ikke helt med de endelige linjetegningene.



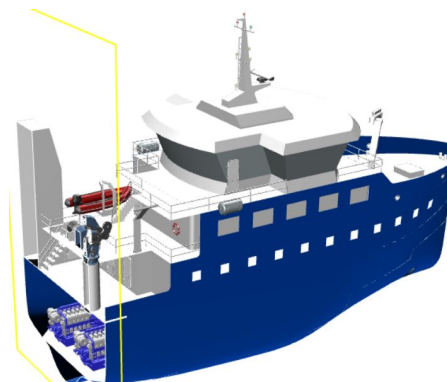
Figur 69: 3D-Modell

### 23.1 Teamcenter

Siemens Teamsenter ble brukt som en database for 3D-modellen. Ved å bruke teamsenter kan flere samarbeide på modellen samtidig, og modellen vil alltid være oppdatert.

### 23.2 Deling av 3D-modell

For å enkelt kunne dele 3D modellen til veileder og reder, ble det valgt å bruke JT fil. JT er et filformat utviklet av Siemens for visualisering og deling av modeller. Dette filformatet inneholder lite informasjon. Av den grunn kan modellen trygt deles uten å risikere at viktig informasjon fra modellen blir stjålet. JT kan åpnes av gratis programmer som gjør det lett å sende til hvem som helst. Som vist i figuren til høyre er kvaliteten på modellen dårligere i denne formatet, men dette gjør at filstørrelsen er mindre. Noe som igjen gjør den raskere en originalfilen.



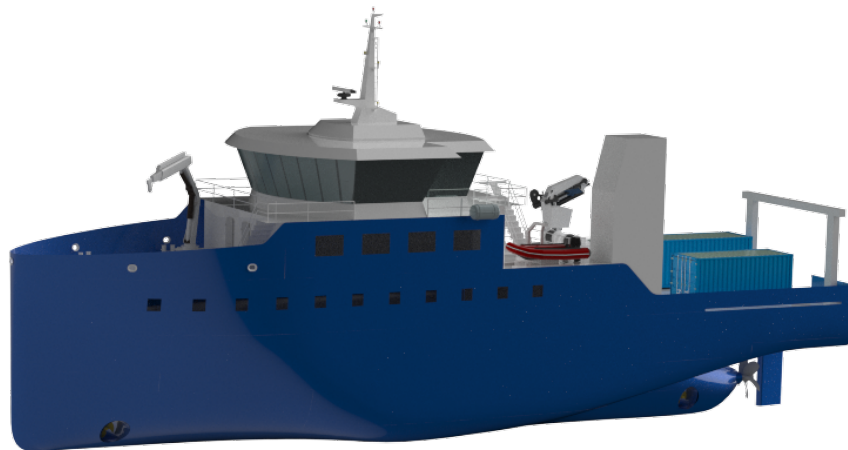
Figur 70: 3D-Modell JT

---

### 23.3 Visualisering

God visualisering kan gi mange fordeler. Modellen vil se mer profesjonell ut, og dermed være mer attraktiv for kunder. Måter å forbedre visualiseringen kan være å legge på materialer, lysinnstillinger eller å sette modellen inn i et miljø.

Visualisering kan også gjøres ved hjelp av virtuell virkelighet (VR). Dette er en visualiseringsmetode som gjør det mulig å gjennomgå 3D-modellen virtuelt ved hjelp av VR-Briller. VR har blitt tatt i bruk i flere bransjer og har et stort potensial i skipsindustrien også. Når man ser en 3D-Modell fra dette perspektivet, gir det ofte en annen følelse av størrelsen på rom og komponenter. Dette kan være med å hjelpe reder bli mer komfortabel i sine valg, siden en allerede har gått gjennom skipet virtuelt.



Figur 71: 3D-Modell



Figur 72: 3D-Modell

---

## 24 Diskusjon

Det er mange kompromiss som har blitt tatt uten å diskutere med reder, som i denne oppgaven er Skipsteknisk AS. Startverdiene for hoveddimensjonene ble satt ved hjelp av regresjon med utgangspunkt i lengde overalt på 45 meter. Regresjonen blir bare så bra som den informasjonen den er basert på. Referanseskipene som ble brukt for regresjonsanalysene burde vært nøyere sortert og utplukket for å få en bedre regresjon. Spesielt med tanke på hvilke typer forskningsarbeid skipet skal kunne utføre. Regresjonen burde basert seg mer på lignende forskningsskip enn en stor variasjon av både forskningsområde, størrelse og operasjonsområde som det her er. Likevel ble ikke startverdiene så ille. Det var dypgangen som bommet mest, men denne ble raskt forandret.

Skroget, selv etter noen iterasjoner, har fortsatt en litt lite neddykket hekk. Dette gjør at hekken er utsatt for slamming. Her burde det videre blitt sett på muligheten for å senke hekken mer. For å få til dette kunne det blitt vurdert å ha mer styrlast eller mindre diameter på propellen. Skipet må også ha mye ballast for å nå designdypgangen. Dette kan komme av formene til skroget, men også det faktum at vektberegningene er veldig unøyaktige. Det er mye informasjon som mangler, marginene er store og mange antagelser er tatt. Det er derfor stor usikkerhet i dette. Dette fører videre til at lastekondisjonene er usikre.

Det har vært utfordringer med stabiliteten gjennom de forskjellige iterasjonene. Først var stabiliteten for dårlig slik at bredden måtte økes. Etter økningen i bredden gjennomgikk skroget og arrangementet store forandringer. Nesten et helt dekk ble fjernet og alle de andre dekkene ble senket for å få et lavere fribord. Dette førte videre til at stabiliteten nå var for "god". Å gå ned igjen på bredden var et tiltak som ble vurdert, men dette ble ikke gjort siden det var for tidkrevende. Både vekt, stabilitet og generalarrangement måtte da blitt oppdatert. Dette er et tiltak som burde blitt sett nærmere på for å gjøre skipsbevegelsene bedre.

For en reder som ønsker et skip med minst mulig kostnadsramme er ikke løsningen med LNG og batteri, som er undersøkt her den beste. Både LNG, batteri og bruk av likestrøm (DC) på hovedtavlen er dyre investeringer. Dette fører til store merkostnader. Støtte fra Enova eller andre aktøren kan være med å dekke denne merkostnaden. Men hvor lett det er å få støtte er usikkert. I tillegg gir denne løsningen to obligatoriske ekstra klassenotasjoner, både notasjonen Gas Fuelled og Battery(power). Å opprettholde klassenotasjoner er kostbart og reder ønsker ikke å opprettholde flere enn nødvendig.

I dag er det kun et forskningsskip som bruker LNG. Mange bruker derimot en diesel-elektrisk løsning. Det kunne derfor vært interessant å sett mer på en løsning med diesel-batteri. Noe som vil kunne gi redusert karbonavtrykk. Denne løsningen ville i tillegg bare ført til en ekstra klassenotasjon. Enten Battery(power) eller Battery(safety). Investeringskostnadene er også mindre enn ved LNG-batteri. På en annen side har skip en lang levetid, rundt 20-30 år, så maskinerisystem bør kunne operere på drivstoff med lite klimagassutslipp og kunne gå over til "grønnere" drivstoff når de blir tilgjengelig. En vanlig dieselmotor i dag kan bruke biodiesel, men dette er kostbart og miljøaspektet til dette drivstoffet er også noe omdiskutert. Dersom en vanlig dieselmotor blir valgt vil denne sannsynligvis ikke kunne bli ombygget til å gå på for eksempel ammoniakk, biogass eller hydrogen i fremtiden.

En helelektrisk løsning ville heller ikke vært optimalt, for da er skipet avhengig av å kunne lade ved land. Siden forskningsskipet ikke har en fast rute og tilgangen til landstrøm fortsatt er noe manglende, er ikke dette skipet kompatibelt med denne løsningen. Å kjøre en ren LNG løsning vil kunne gi mindre Nox, Sox og partikkelutslipp, men for et skip med så mange operasjonshastigheter er det vanskelig å kjøre motorene optimalt. Dette vil potensielt føre til at metanutslippet vil bli så stort at det ikke gir noe miljøgevinst med tanke på drivhusgasser.

Det har vært lite fokus på å se på andre tekniske muligheter og løsninger for energiutnyttelse på skip utenom bruk av batteri. Dette kunne vært alt i fra å generere strøm fra bevegelsene i slingretanken, til varmegjenvinning fra maskinerisystem. Grunnen til at dette er blitt lite prioritert er at det i utgangspunktet er valgt dyre investeringer i form av LNG, og batteri. Siden det er fra reders side ønskelig med minst mulig kostnadsramme blir det altfor dyrt å inkludere dette i løsningen siden teknologi for videre energiutnyttelse ofte er dyre investeringer det også. Slike løsninger ville fått

---

større prioritet dersom diesel hadde blitt valgt isteden for LNG.

Det er noen utfordringer slik general arrangementet til skipet er satt opp nå. Spesielt med tanke på løsningene under hoveddekk. Den største utfordringen er at LNG tankene deler skipet i to, slik at det ikke er tilgang til maskinrom, tavlerom, batterirom og maskinkontrollrom uten å måtte gå gjennom gassrommet. Dette er svært ugunstig. Av sikkerhetshensyn og lett tilgang til maskinromkontrollrom burde det vært mer enn en hoved-trappenedgang til dette dekket, og det burde vært tilgang uten å måtte gå igjennom gassrommet. På grunn av rulle-dempingstanken er den eneste tilgangen til styremaskin og hydraulikkrom gjennom en luke i arbeidsdekket. Dette er ikke gunstig, samtidig som at takhøyden der er lav.

Antall generatorer, mengde LNG og dimensjon på batteri er ikke optimalisert. På grunn av manglende informasjon og grunnlag for god estimering av elektrisk forbruk for de forskjellige operasjonene til skipet, var det vanskelig å anslå hvor lenge skipet kunne bruke batteri, hvor mye generatorene er belastet ved de ulike operasjonene og hvor stort LNG-forbruket blir. Dette gjør at det er vanskelig å vurdere dimensjoner og antall. Dette er noe som må videre undersøkes for å kunne konkludere om maskineriløsningen er god, og hvor mye besparelse det gir. Både med tanke på drivstoff, men også reduksjon av utslipp.

Det ble brukt mer tid på modellforsøket enn planlagt. Modellene og modellforsøket ble forhastet, noe som førte til at mye måtte gjøres opp igjen. Målinger og resultater ble ikke sjekket fortløpende ved det første forsøket. På grunn av feil innstillinger for lastcellen ble resultatene fra det aller første forsøket ugyldige, og ble derfor ikke inkludert i denne rapporten. Ved de første modellforsøkene ble modellen testet på lave hastigheter. Mellom to og fem knop. Det ble informert og observert at målingene er svært unøyaktige ved så lave hastigheter. De neste forsøkene ble derfor bare kjørt for seks knop og oppover. Det ble også ventet for lenge med å fikse modellene. Disse burde blitt tilstrekkelig tettet fra første stund for å forhindre vanninntrenging. Overflatebehandling og sandpapir burde vært på plass før det første forsøket ble kjørt. Hadde det blitt gjort et bedre grunnarbeid kunne det blitt spart mye tid på modellforsøkene. Dette er tid som kunne blitt brukt for å forbedre løsningene for det endelige konseptet.

Modelltestene viser noe andre resultater enn det som ble funnet på maxsurf resistance. Men det er mange feilkilder ved forsøket. Det er derfor diskuterbart hvor mye resultatene fra slepetestene er til å stole på, spesielt med tanke på at det ble problem med skalering fra modellmotstand til fullskalamotstand. Negative verdier for restmotsantskoeffisienter og ruhetskoeffisienter var problemet. Dette gjelder spesielt hastighetene fra seks til ni knop ved slepetest 2. Variablene som fører til dette er den målte motstanden, hastigheten og reynoldstallet. Dette var et problem med begge slepetestene. Man skulle tro at det ville være størst problem ved slepetest 1 hvor det ble testet hastigheter helt ned mot 2 knop. Men det var et større problem ved slepetest 2. Dette kommer av at det til tross for høyere hastigheter ble målt konsekvent lavere motstand enn ved slepetest 1. Grunnen til dette er noe usikkert. Det kan være feil innstillinger, og samtidig vil vanninntrengingen ved forsøk 1 kunne påvirke dette noe. Men det var ikke forventet at vanninntrengingen og sandpapirremsen alene skulle føre til så store forskjeller mellom resultatene for slepetest 1 og 2.

Den målte motstanden fra forsøket tilsier at bulben er positiv frem til 11 knop. Resultatene fra holtrops metode tilsier at bulben er positiv frem til 12 knop. Skipet med bulb ble laget for å ha et skrog med bulb som tverrbau kunne sammenlignes med. Det har derfor ikke vært fokusert på å designe en optimalisert bulb. Dersom det skulle blitt gått for en bulb for dette skipet ville form, størrelse og plassering avgjøre hvor positivt denne virker og hvor lenge. Forskjellen mellom de to skrogene ved modelltesten hadde sannsynligvis blitt mer tydelige dersom bulben var optimalisert for skipet.

---

## 25 Konklusjon

Det ble i denne oppgaven kommet frem til et konsept for et forskningsskip, basert på kravspesifikasjonen fra Skipsteknisk AS. Det ble vektlagt å se på muligheten for alternative energibærere, og prosjektere et ”grønt” skip. Det ble konkludert med at dette skipet med sine operasjoner og operasjonsområder er kompatibelt med bruk av alternative energikilder. Det er spesielt tilrettelagt for at skipet skal kunne delvis bruke batteri, med tanke på gode muligheter for landstrøm i hjemmehavnen.

På grunn av tidsbegrensinger ble enkelte valgt forhastet. Selve konseptet har derfor mye rom for forbedring. Flere av løsningene er ikke optimale. Spesielt med tanke på arrangementet av maskinrom, gassrom og generelt det som er under hoveddekk. Manglende informasjon og erfaring om forventet energiforbruk for de forskjellige operasjonene førte til at energiproduksjonssystemet ikke er optimalisert. Batteri, antall generatorsett og størrelse på disse må derfor justeres ved ytterligere informasjon. Dette førte videre til at beregninger for besparelse og forbruk ikke har blitt gjort. Det har vært utfordringer med stabiliteten. Rulledempingstank er derfor plassert for å redusere GM. Ved ny iterasjon burde muligheten for å redusere bredden vurderes.

Resultatene fra modellforskøkene er usikre som følge av flere feilkilder og problemer med oppskalering fra modellmotstand til skipsmotstand. Resultatene ved å bruke empiriske metoder viser større forskjeller mellom de to skrogene.



---

## Bibliography

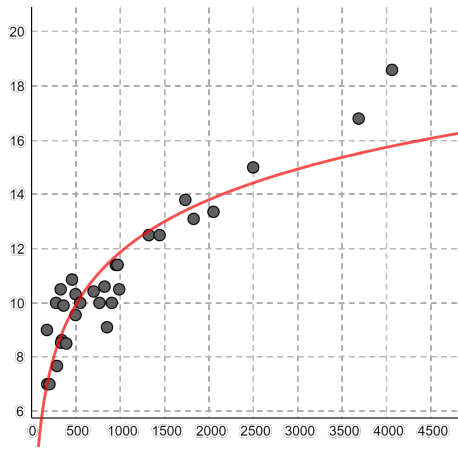
- Birk, Lothar (2019). *Fundamentals of Ship Hydrodynamics: Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion*. eng. Newark: John Wiley Sons, Incorporated. ISBN: 1118855485.
- DNV-GL (2016). *Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip*.
- (2019). *UNDERLAG TIL HANDLINGSPLAN FOR GRØNN SKIPSFART - Barometer for grønn omstilling av skipsfarten*.
- (2021). *Alternative Fuels Encyclopedia - Biofuels*. URL: <https://afi.dnvgl.com/KnowledgeHub/Encyclopedia?dropdownfield=nav-index> (sjekket 10. feb. 2021).
- DNVGL (2019). *DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.15*.
- Dokkum, Klaas van (2020). *Ship knowledge : ship design, construction and operation*. eng. Vlissingen.
- Fassmer (2021). «75m Survey-, Wrecksearch- and Research Vessel (ATAIR)». I: (). URL: <https://www.fassmer.de/en/shipbuilding/products/research-and-survey-vessels/75m-survey-wrecksearch-and-research-vessel-atair> (sjekket 29. apr. 2021).
- Fiskeribladet (2018). «Når «Libas» ruller fra side til side, produseres det strøm». I: URL: <https://www.fiskeribladet.no/nyheter/nar-libas-ruller-fra-side-til-side-produseres-det-strom/8-1-61808> (sjekket 29. apr. 2021).
- Forskrift om redningsredskaper på skip* (2014). URL: <https://lovdata.no/pro/LTI/forskrift/2014-07-01-1019>.
- Geertsma, Rinze mfl. (mai 2017). «Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments». I: *Applied Energy* 194, s. 30–54. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.02.060.
- Kjerstad, Norvald (2019). *Elektroniske og akustiske navigasjonssystemer : for maritime studier*. nob. Bergen.
- Molland, Anthony F., Stephen R. Turnock og Dominic A. Hudson (2011). «Propulsor Types». I: *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Propulsive Power*. Cambridge University Press, s. 246–260. DOI: 10.1017/CBO9780511974113.014.
- Prenc, Rene, A. Cuculić og I. Baumgartner (2016). «Advantages of using a DC power system on board ship». I: *Principles of naval architecture* (1967). eng. New York.
- Principles of naval architecture Volume III* (1967). eng. New York.
- Regjeringen (2020). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/> (sjekket 8. mar. 2021).
- SINTEF (2021). *Biodrivstoff*. URL: <https://www.sintef.no/ekspertise/sintef-energi/biodrivstoff/> (sjekket 26. apr. 2021).
- Steen, Sverre (2007). *TMR 4247 Marin teknikk 3 - Hydrodynamikk MOTSTAND OG PROPULSJON PROPELL- OG FOILTEORI*.
- Tekfisk (2018). «Innovasjonspris til «Libas» og Salt Ship Design». I: URL: <https://www.tekfisk.no/nyheter/innovasjonspris-til-libas-og-salt-ship-design/8-1-61944> (sjekket 29. apr. 2021).
- Watson, D. G. M (1998). «Practical Ship Design». I: wärtsilä (2021). *WÄRTSILÄ Encyclopedia of Marine Technology - Propeller clearances*. URL: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/propeller-clearances> (sjekket 29. apr. 2021).
- Øystese, Kirsten (2021). *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*. URL: <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/ammoniakk-kan-kutte-store-utslipp-i-skipsfart/> (sjekket 18. mar. 2021).

# Vedlegg

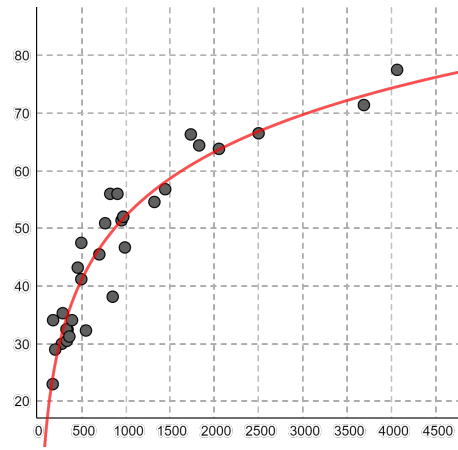
## A Lignende fartøy

Forskningskip	Lengde over alt [m]	Bredde [m]	Dyppgang [m]	Tørrlab [m <sup>2</sup> ]	Våtlab [m <sup>2</sup> ]	Arbeidsdekk [m <sup>2</sup> ]	Transit [kn]	Utholdenhet [døgn]	GT [BT]
Aranda	66,3	13,8	5	42	67	170	10,5	60	1734
Atair	51,4	11,4	3,45	10	15	100	10	18	950
Bjarni Saemundsson	56	10,6	4,6	35	40	110	10	21	822
Capella	43,2	10,86	1,6				11	10	455
Celtic Voyager	32,45	8,62	3,8	21	20	30	10	17	340
Deneb	52,02	11,4	3,45	30	17	100	10,5	30	969
Dr. Fridtjof Nansen	74,5	17,41	5,8				9,1		
G. Dallaporta	35,3	7,67	3,5	18,7	17,5	90	12	13	285
Heincke	54,59	12,5	6,5	42	28		12,5		1322
Imor	32,5	10,5	2,25	40	12	80	8	21	327
Janus 2	30	10	3,1			70	11	15	275
Johan Ruud	30,5	8,53	3,75	14,4	10,4		10		332
KBV 181	56	10	5,3	20	7,5		12		904
Kristine Bonnevie	56,8	12,5	6,5	35	40		10	40	1444
Luctor	34,09	7	1,5	14	15	70	9		176
Mints	39		3			90			499
Noruega	47,5	10,32	5,9	6	20		11	29	495
Palagruza	45,5	10,42	3,4				12	30	699
Prince Madog	34,09	8,5	3,5	26	29	85	10	10	390
R/V Gunnerus	31,25	9,9	2,7	11,8	13,9	72	9,4		360
Ramon Margalef	46,7	10,5	4	24	24	76	12	10	988
Belgica	50,9	10	4,6	91	96	140	12	20	765
Simon Stevin	36,3	9,4	3,5			50	12	5	
Uthörn	30,5	8,5	2,5				10		
Wega	52,02	11,4	3,45	30	17,3		10	14	969
Johan Hjort	64,4	13,1	5,4	50	75	316	11	40	1828
Helmer Hanssen	63,8	13,36	5,95	50	30	50	12,5	21	2052
G.O Sars	77,5	18,6	5,8	18	7,95		11	45	4067
Hans Brattstrøm	24,5	7	1,8	25	10	30		7	
Trygve Braarud	21,8	7	3	10	7	25	10		
Emma Bardan	29	7	3,6				9,5		200
Celtic explorer	66,5	15	6,1	75	70	165	12	30	2500
Navio de investigacao	27,4	8,2							
RV Belgicia 2	71,4	16,8	4,8				11	11	3691
Palma de Mallorca	23	9	1,75				12	1	172
RV Sanna	32,3	10	4,88				10	14	548
RV Tubitak Marmara	41,2	9,55	3,4			65	10	12	495
RV Virginia	28,34	8,5		25	12		10	10	
RV Skagerak	38,16	9,1	3,8						
Kronprins håkon	100	21	8,5				10	65	

Figur 73: Lignende fartøy

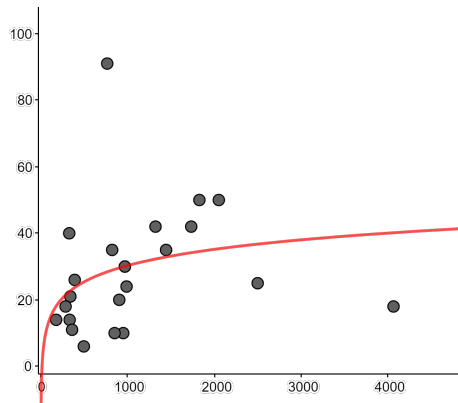


(a) Bredde/GT

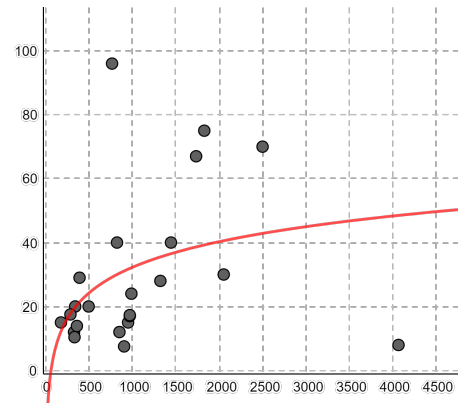


(b) Lengde/GT

Figur 74: Regresjon



(a) Tørrlab/GT

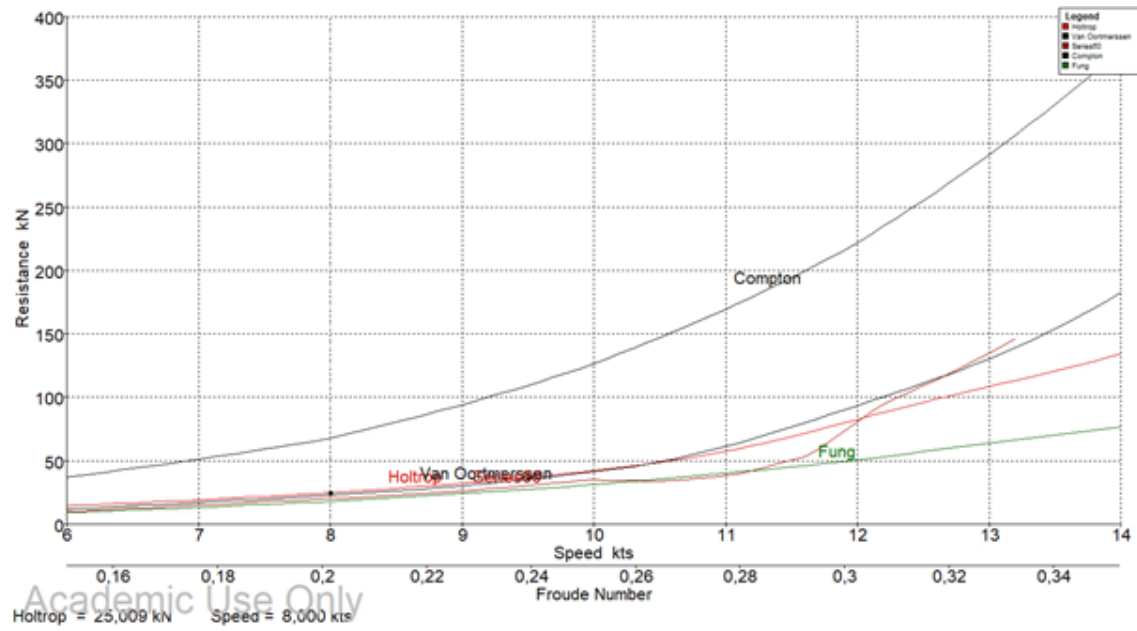


(b) Våtlab/GT

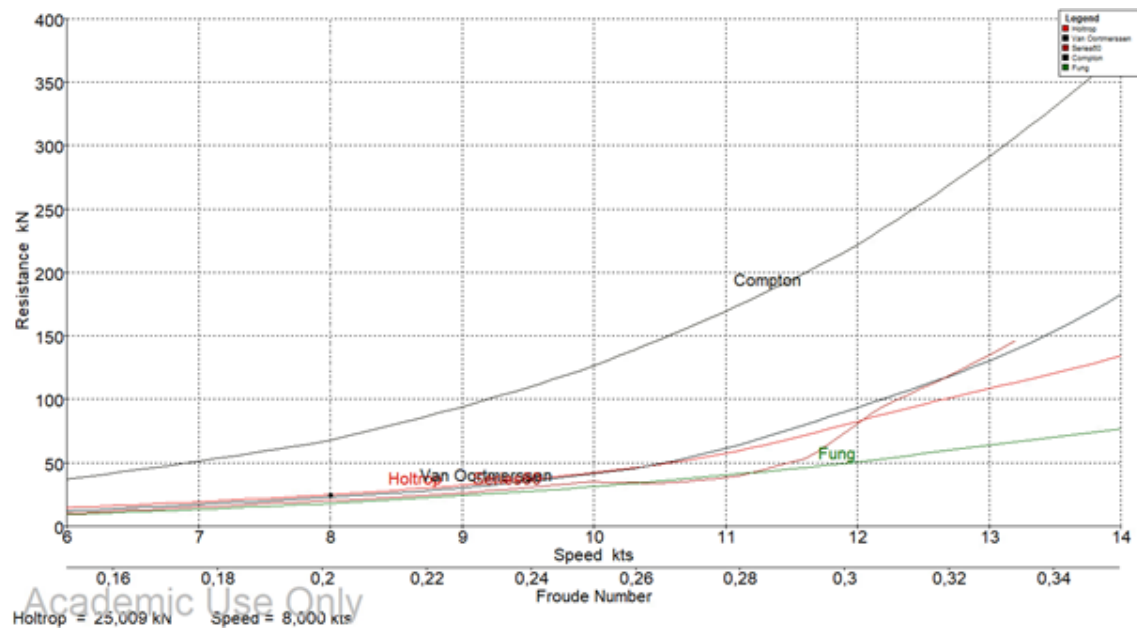
Figur 75: regresjon laboratorium

## B Motstand

### Grafer fra Maxsurf - Ren Skrogmotstand



Figur 76: Motstand tverrbau



Figur 77: Motstand bulbbau

---

## C Propulsjon

For estimering av wakefaktor ble det her brukt Taylor:

$$w = 0.5 \cdot C_b - 0.05 \quad (10)$$

Siden dette skipet har  $C_b$  lik 0,544 gir dette en wake-faktor på 0,22.

Estimering av thrustkoeffisient ble Heckscher empiriske formel for trålere. Dette fordi de andre empiriske formlene så ut til å være for større skip.

$$t = 0.77 \cdot C_p - 0.30 \quad (11)$$

Dette skipet har en prismatisk koeffisient på 0,62. Noe som videre gir en thrustkoeffisient på 0,177. Fra Ship Propulsion and Resistance ble det senere funnet at estimert thrustreduktionsfaktoren  $t$  er rundt  $t=0.2$  for en tråler. Så 0,18 er kanskje i minste laget.

For å kunne ha nok thrust for å overgå motstanden må det bli tatt hensyn til thrust reduksjon på grunn av skroget. Nødvendig thrust blir da:

$$T_{n\ddot{o}dv} = \frac{R}{1 - t} \quad (12)$$

**De forskjellige koeffisientene:**

$$\text{Thrustkoeffisient}; K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (13)$$

$$\text{Dreiemomentkoeffisient}; K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (14)$$

$$\text{Fremgangstall}; J = \frac{V_a}{nD} \quad (15)$$

$$\text{Kavitasjonstall}; \sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (16)$$

$$\eta_0 = \frac{JK_T}{2\pi K_Q} \quad (17)$$

Kellers kriterie for sjekk av kavitasjon

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3Z)T}{(P_0 - P_V)D^2} + K \quad (18)$$

- $P_0$  er statisk trykk ved senter av propellaksel (Pa)
- $P_v$  er "vapor" trykk (Pa) (1700 N/m<sup>2</sup>)
- $T$  er propellthrust (N)
- $Z$  er antall blad
- $D$  er propelldiameter (m)
- $K = 0,2$  for *single screw*

Fartøy - transit			Fartøy - tråling		
Max fart	Vs	11 knop 5,66 m/s	Max fart	Vs	2 knop 1,03 m/s
Motstand	R_T	85,6 kN	Motstand	R_T	121,5 kN
Sjøvann densitet	rho	1025	Sjøvann densitet	rho	1025
Kinematisk viskositet	mu	1,19E-06 m <sup>2</sup> /s	Kinematisk viskositet	mu	1,19E-06 m <sup>2</sup> /s
Thrust reduksjon	t	0,18 Empiri	Thrust reduksjon	t	0,18 Empiri
wake faktor	w	0,22 Empiri	wake faktor	w	0,22 Empiri
Propeller			Propeller		
Propell Diameter	D	2,4 m	Propell Diameter	D	2,4 m
Neddykking	h	2,386 m	Neddykking	h	2,386 m
Nødvendig thrust	T_nødv	104390,2 kN	Nødvendig thrust	T_nødv	148170,7 kN
Innløpshastighet	v_a	4,4 m/s	Innløpshastighet	v_a	0,8 m/s
Vapour trykk	Pv	1700 N/m <sup>2</sup>	Vapour trykk	Pv	1700 N/m <sup>2</sup>
Atmosværisk trykk	P_atm	101325 N/m <sup>2</sup>	Atmosværisk trykk	P_atm	101325 N/m <sup>2</sup>
	PO	125317		PO	125317
Estimat for initiell nødvendig EAR			Estimat for initiell nødvendig EAR		
Antall blad	Z	5	Antall blad	Z	5
Keller konstant	K	0,2 (single skrew)	Keller konstant	K	0,2 (single skrew)
Minimum bladeareal	Ae/Ao	0,611 kellers formel	Minimum bladeareal	Ae/Ao	0,783 kellers formel

Figur 78: Excelark for kellers kriterie

Fartøy			Inflow fart til propell		
Max fart	Vs	11 knop 5,66 m/s	Inflow fart til propell	Va	4,41 m/s 8,58 knop
Motstand	R_T	85,6 kN	Nødvendig Thrust	T_nødv	104,39
Sjøvann densitet	rho	1025	Designkonstant	Cs	0,908
Kinematisk viskositet	mu	1,19E-06 m <sup>2</sup> /s	Fremgangstall	Ja	0,53
Thrust reduksjon	t	0,18 Empiri	Nødvendig KT	KT	0,25
wake faktor	w	0,22 Empiri	Propeller avlest		
Propeller			Pitch/diameter	P/D	0,952 (Avlest)
Propell Diameter	D	2,4 m	Effektivitet	Eta_0	0,54 (Avlest)
Antall propellblad	Z	5 blad			
Antar bladarealforhold	BAF	0,7			
Antar omdreingstallet	n	210 RPM 3,500 rev/S			
Neddykking	h	2,386 m			
Kavitasjonssjekk			Thrustlastkoeffisient	tau_c	0,227 For 5%
Vapour trykk	Pv	1700 N/m <sup>2</sup>	Prosjektert Areal nødv	A_p_nødv	2,49
Atmosværisk trykk	P_atm	101325 N/m <sup>2</sup>	Developed Areal	A_D	2,93
	PO	1,25E+05	Nødvendig Areal	AE/AO_nødv	0,6478
Hastighet ved 0,7R	vr	18,99 m/s			
Kavitasjonstallet	sigma_0.7R	0,67			

Figur 79: kavitasjonssjekk

---

## D Modellforsøk

### Prosedyre:

Skalere hastighetene til modelltest

$$\frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} = \text{Froudenummer} \quad (19)$$

$$V_M = \frac{V_S}{\sqrt{\lambda}} \quad (20)$$

Bruker IITC STANDARD PROSEDYRE 7.5-02-02-01. Motstandskoeffisienten for modellen,  $C_{TM}$ . Der  $R_{TM}$  er den målte motstanden under slepetesten.

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_M \cdot V_M^2 \cdot S_M} \quad (21)$$

Våt overflate til modellen:

$$S_M = \frac{S_s}{\lambda^2} \quad (22)$$

Den totale motstandskoeffisienten består av både friksjons- og restmotstandskoeffisienten

$$C_{TM} = (1 + k)C_{FM} + C_{RM} \quad (23)$$

$$C_{RM} = C_{TM} - (1 + k)C_{FM} \quad (24)$$

Friksjonsmotstandskoeffisienten:

$$C_F = \frac{0,075}{\log_{10} Rn_M - 2^2} \quad (25)$$

Formfaktoren  $k$  kan finnes på flere måter. Det ble her brukt MARINTEKs formel:

$$k = 0,6 \cdot \varphi + 145 \cdot \varphi^{3,5} \quad (26)$$

hvor

$$\varphi = \frac{C_b}{L_{WL}} \cdot \sqrt{(T_{FP} + T_{AP}) \cdot B} \quad (27)$$

Videre er restmotstanden lik for modell og fullskala:

$$C_{RS} = C_{RM} = C_R \quad (28)$$

Restmotstand blir brukt for å finne total motstandskoeffisient for skipet i full skala:

$$C_{TS} = (1 + k) \cdot C_{FS} + \Delta C_F + C_A + C_R + C_{AAS} \quad (29)$$

---

$\Delta C_F$  Ruhetsfaktoren :

$$\Delta C_F = 0.044\left[\left(\frac{k_s}{L_{wl}}\right)^{\frac{1}{3}} - 10 \cdot Re^{-\frac{1}{3}}\right] + 0.000125 \quad (30)$$

hvor  $k_s$  indikerer ruheten til skroget. Siden vi ikke har noen målte data bruker vi standard verdien ITTC har satt på  $k_s = 150 \cdot 10^{-6}$

$C_A$  er korrelasjonsfaktoren. ITTC anbefaler å bruke:

$$C_A = 5.68 - 0.6 \log Re) \cdot 10^{-3} \quad (31)$$

$C_{AAS}$  er luftmotstandskoeffisienten i full skala:

$$C_{AAS} = C_{DA} \frac{\rho_A \cdot A_{VS}}{\rho_S \cdot S_S} \quad (32)$$

Hvor  $A_{VS}$  er det prosjekterte arealet av skipet over vannlinja i tverrsnittet.  $S_S$  er våtoverflate.  $\rho_A$  er tettheten til luft og  $C_{DA}$  er en drag koeffesient av skipet over vannlinjen. Det ble her antatt en dragkoeffisient  $C_{DA}$  på 0.75

Totalmotstanden til fullskala skip finnes ved å bruke denne formelen:

$$R_{TS} = C_{TS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot V_S^2 \cdot S_S \quad (33)$$

Utrekningene i excelarket som er å finne i sidene under er basert på formlene over.



**Tverrbau**

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Total lengde	Loa_s	45	m
Dypgang	t	4	m
Bredde	b_s	11	m
Våtoverflate	S_s	639,65	m <sup>2</sup>
Deplasement	Δ_s	1133	t
Oppdriftssenter fra AP	LCB	21,584	m
Vannlinje lengde	Lwl	45	m
Blokkoeffisient	Cb	0,54	
Viskositet	v_s	1,19E-06	m <sup>2</sup> /s
Vannetstetthet	ρ_s	1025	kg/m <sup>3</sup>
Ruhet [standard]	k_s	1,50E-04	m
Projisert areal	A_vs	132	m <sup>2</sup>
Luftensdensitet	ρ_a	1,225000	kg/m <sup>3</sup>

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Total lengde	Loa_m	0,818	m
Vannlinje lengde	lwl	0,818	m
Modellskala	λ	55	
Dypgang	t	0,073	m
Bredde	b_m	0,200	m
Våtoverflate	S_m	0,21145455	m <sup>2</sup>
Oppdriftssenter fra AP	LCB	0,39	m
Viskositet	v_m	1,14E-06	m <sup>2</sup> /s
Vannetstetthet	ρ_m	1000	

	φ	1,13E-01
Formkoeffisient	k	0,14
	1+k	1,14
Ruhetkoeffisient	ks	1,50E-04
Drag koeffisient	C_DA	0,75

Gain **0,0604**

### Slepetest 1: Tverr skipsmotstand

Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	ΔCf	Ca	Caas
2	1,0	0,14	0,059	2,92E-02	8,33E-03	0,05	1,0E+05	4,18E+07	2,0E-02	2,4E-03	-4,86E-04	1,1E-03	1,8E-04
5	2,6	0,35	0,138	1,09E-02	6,50E-03	0,12	2,5E+05	1,05E+08	3,5E-03	2,1E-03	-1,52E-04	8,7E-04	1,8E-04
6	3,1	0,41	0,126	7,00E-03	6,22E-03	0,15	3,0E+05	1,25E+08	-6,5E-05	2,0E-03	-9,70E-05	8,2E-04	1,8E-04
8	4,1	0,55	0,363	1,12E-02	5,78E-03	0,20	4,0E+05	1,67E+08	4,6E-03	1,9E-03	-1,66E-05	7,5E-04	1,8E-04
9	4,6	0,62	0,465	1,15E-02	5,63E-03	0,22	4,5E+05	1,88E+08	5,1E-03	1,9E-03	1,42E-05	7,2E-04	1,8E-04
10	5,1	0,69	0,666	1,31E-02	5,48E-03	0,24	5,0E+05	2,09E+08	6,9E-03	1,9E-03	4,07E-05	6,9E-04	1,8E-04
11	5,7	0,76	0,800	1,32E-02	5,37E-03	0,27	5,4E+05	2,30E+08	7,1E-03	1,9E-03	6,39E-05	6,6E-04	1,8E-04
12	6,2	0,82	1,170	1,63E-02	5,27E-03	0,29	5,9E+05	2,51E+08	1,0E-02	1,8E-03	8,45E-05	6,4E-04	1,8E-04
13	6,7	0,90	1,434	1,67E-02	5,16E-03	0,32	6,5E+05	2,72E+08	1,1E-02	1,8E-03	1,03E-04	6,2E-04	1,8E-04

Knop	Vs	vm	Cts	RTS	PE	PB	pe +15%	Pb + 15%
2	1,0	0,14	2,37E-02	8,24	8	12	10	14
5	2,6	0,35	6,87E-03	14,91	38	55	44	63
6	3,1	0,41	3,30E-03	10,30	32	45	37	52
8	4,1	0,55	7,71E-03	42,81	176	252	203	289
9	4,6	0,62	8,17E-03	57,39	266	380	306	437
10	5,1	0,69	9,91E-03	85,94	442	632	508	726
11	5,7	0,76	1,01E-02	106,48	603	861	693	990
12	6,2	0,82	1,33E-02	165,77	1023	1462	1177	1681
13	6,7	0,90	1,38E-02	202,04	1351	1930	1554	2220

## SLepetest 1: Tverr - Ren skrogmotstand

Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	Cts	RTS
2	1,03	0,14	0,059	2,92E-02	8,33E-03	0,05	1,0E+05	4,2E+07	2,0E-02	2,4E-03	2,24E-02	7,8
5	2,57	0,35	0,138	1,09E-02	6,50E-03	0,12	2,5E+05	1,0E+08	3,5E-03	2,1E-03	5,82E-03	12,6
6	3,09	0,42	0,126	6,88E-03	6,20E-03	0,15	3,0E+05	1,3E+08	-1,7E-04	2,0E-03	2,29E-03	7,2
8	4,12	0,55	0,363	1,11E-02	5,78E-03	0,20	4,0E+05	1,7E+08	4,6E-03	1,9E-03	6,78E-03	37,6
9	4,63	0,62	0,465	1,13E-02	5,62E-03	0,22	4,5E+05	1,9E+08	4,9E-03	1,9E-03	7,06E-03	49,6
10	5,14	0,69	0,666	1,31E-02	5,48E-03	0,24	5,0E+05	2,1E+08	6,9E-03	1,9E-03	8,99E-03	78,0
11	5,66	0,76	0,800	1,30E-02	5,36E-03	0,27	5,5E+05	2,3E+08	6,9E-03	1,9E-03	9,01E-03	94,6
12	6,17	0,83	1,170	1,60E-02	5,25E-03	0,29	6,0E+05	2,5E+08	1,0E-02	1,8E-03	1,21E-02	150,9
13	6,69	0,90	1,434	1,67E-02	5,16E-03	0,32	6,5E+05	2,7E+08	1,1E-02	1,8E-03	1,29E-02	188,7

Gain **0,0604**

## Slepetest 2: Tverr med bruk av sandpapir

Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	ΔCf	Ca	Caas
6	3,09	0,42	0,129	7,0E-03	6,20E-03	0,15	3,0E+05	1,2E+08	-9,5E-06	2,0E-03	-1,2E-04	8,4E-04	1,8E-04
7	3,60	0,49	0,168	6,7E-03	5,97E-03	0,17	3,5E+05	1,4E+08	-5,0E-05	2,0E-03	-7,3E-05	8,0E-04	1,8E-04
8	4,12	0,55	0,226	6,9E-03	5,78E-03	0,20	4,0E+05	1,6E+08	3,7E-04	2,0E-03	-3,6E-05	7,6E-04	1,8E-04
9	4,63	0,62	0,288	7,0E-03	5,62E-03	0,22	4,5E+05	1,8E+08	6,0E-04	1,9E-03	-4,5E-06	7,3E-04	1,8E-04
10	5,14	0,69	0,4089	8,0E-03	5,48E-03	0,24	5,0E+05	1,9E+08	1,8E-03	1,9E-03	2,3E-05	7,1E-04	1,8E-04
11	5,66	0,76	0,503	8,2E-03	5,36E-03	0,27	5,5E+05	2,1E+08	2,1E-03	1,9E-03	4,6E-05	6,8E-04	1,8E-04
12	6,17	0,83	0,653	8,9E-03	5,25E-03	0,29	6,0E+05	2,3E+08	2,9E-03	1,8E-03	6,7E-05	6,6E-04	1,8E-04
14	7,20	0,97	1,202	1,2E-02	5,07E-03	0,34	7,0E+05	2,7E+08	6,3E-03	1,8E-03	1,0E-04	6,2E-04	1,8E-04

Knop	Vs	vm	Cts	RTS	PE	PB	RTS + 15%	pe +15%	Pb + 15%
6	3,09	0,42	3,3E-03	10,4	32	46	12	37	53
7	3,60	0,49	3,3E-03	13,8	50	71	16	57	82
8	4,12	0,55	3,5E-03	19,7	81	116	23	93	133
9	4,63	0,62	3,7E-03	26,1	121	172	30	139	198
10	5,14	0,69	4,9E-03	42,3	218	311	49	250	357
11	5,66	0,76	5,1E-03	53,7	304	434	62	350	499
12	6,17	0,83	6,0E-03	74,4	459	656	86	528	754
14	7,20	0,97	9,3E-03	157,3	1133	1619	181	1303	1862

Gain 0,0604

## Slepetest 2: Tverr- Ren skrogmotstand

Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	Cts	RTS
6	3,09	0,42	0,129	7,0E-03	6,2E-03	0,15	3,0E+05	1,3E+08	-9,5E-06	2,0E-03	2,3E-03	7,2
7	3,60	0,49	0,168	6,7E-03	6,0E-03	0,17	3,5E+05	1,5E+08	-5,0E-05	2,0E-03	2,2E-03	9,5
8	4,12	0,55	0,226	6,9E-03	5,8E-03	0,20	4,0E+05	1,7E+08	3,7E-04	1,9E-03	2,6E-03	14,3
9	4,63	0,62	0,288	7,0E-03	5,6E-03	0,22	4,5E+05	1,9E+08	6,0E-04	1,9E-03	2,8E-03	19,4
10	5,14	0,69	0,4089	8,0E-03	5,5E-03	0,24	5,0E+05	2,1E+08	1,8E-03	1,9E-03	3,9E-03	34,2
11	5,66	0,76	0,503	8,2E-03	5,4E-03	0,27	5,5E+05	2,3E+08	2,1E-03	1,9E-03	4,2E-03	43,9
12	6,17	0,83	0,653	8,9E-03	5,3E-03	0,29	6,0E+05	2,5E+08	2,9E-03	1,8E-03	5,0E-03	62,7
14	7,20	0,97	1,202	1,2E-02	5,1E-03	0,34	7,0E+05	2,9E+08	6,3E-03	1,8E-03	8,3E-03	141,6

**Bulbbau**

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Total lengde	Loa_s	45	m
Dypgang	t	4	m
Bredde	b_s	11	m
Våtoverflate	S_s	632,906	m <sup>2</sup>
Deplasement	$\Delta_s$	1125	t
Oppdriftssenter fra AP	LCB	21,299	m
Vannlinje lengde	Lwl	42,49	m
Blokkoeffisient	Cb	0,572	
Viskositet	v_s	1,19E-06	m <sup>2</sup> /s
Vannetstetthet	$\rho_s$	1025	kg/m <sup>3</sup>
Ruhet [standard]	k_s	1,50E-04	
Projisert areal	A_vs	132	m <sup>2</sup>
Luftensdensitet	$\rho_a$	1,225000	kg/m <sup>3</sup>

Mål	Symbol	Verdi	Enhet
Total lengde	Loa_m	0,818	m
Vannlinje lengde	lwl	0,773	m
Modellskala	$\lambda$	55	
Dypgang	t	0,073	m
Bredde	b_m	0,200	m
Våtoverflate	S_m	0,20922512	m <sup>2</sup>
Oppdriftssenter fra AP	LCB	0,39	m
Viskositet	v_m	1,14E-06	m <sup>2</sup> /s
Vannetstetthet	$\rho_m$	1000	

	$\varphi$	1,26E-01
Formkoeffisient	k	0,18
	1+k	1,18
Ruhetkoeffisient	ks	1,50E-04
Drag koeffisient	C_DA	0,75

Gain 0,0604

Slepetest 1: BULB uten overflatebehandling													
Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	ΔCf	Ca	Caas
2	1,03	0,14	0,070	3,5E-02	8,5E-03	0,05	9,40E+04	3,67E+07	2,46E-02	2,4E-03	-5,3E-04	1,1E-03	1,9E-04
5	2,57	0,35	0,092	7,3E-03	6,6E-03	0,13	2,35E+05	9,18E+07	-4,81E-04	2,1E-03	-1,8E-04	9,0E-04	1,9E-04
6	3,09	0,42	0,171	9,4E-03	6,3E-03	0,15	2,82E+05	1,10E+08	1,99E-03	2,1E-03	-1,2E-04	8,5E-04	1,9E-04
8	4,12	0,55	0,339	1,1E-02	5,9E-03	0,20	3,76E+05	1,47E+08	3,60E-03	2,0E-03	-3,9E-05	7,8E-04	1,9E-04
9	4,63	0,62	0,497	1,2E-02	5,7E-03	0,23	4,23E+05	1,65E+08	5,46E-03	1,9E-03	-7,0E-06	7,5E-04	1,9E-04
10	5,14	0,69	0,674	1,3E-02	5,6E-03	0,25	4,70E+05	1,84E+08	6,84E-03	1,9E-03	2,1E-05	7,2E-04	1,9E-04
11	5,66	0,76	0,870	1,4E-02	5,4E-03	0,28	5,17E+05	2,02E+08	7,87E-03	1,9E-03	4,5E-05	7,0E-04	1,9E-04
12	6,17	0,83	1,200	1,7E-02	5,3E-03	0,30	5,64E+05	2,20E+08	1,03E-02	1,9E-03	6,6E-05	6,7E-04	1,9E-04
13	6,69	0,90	1,690	2,0E-02	5,2E-03	0,33	6,11E+05	2,39E+08	1,37E-02	1,8E-03	8,6E-05	6,5E-04	1,9E-04

Knop	Vs	vm	Cts	RTS	PE	PB	pe +15%	Pb + 15%
2	1,03	0,14	2,9E-02	9,87	10	15	12	17
5	2,57	0,35	3,6E-03	7,68	20	28	23	32
6	3,09	0,42	5,5E-03	16,86	52	74	60	85
8	4,12	0,55	6,9E-03	37,88	156	223	179	256
9	4,63	0,62	8,7E-03	60,36	279	399	321	459
10	5,14	0,69	1,0E-02	86,02	443	632	509	727
11	5,66	0,76	1,1E-02	114,49	648	926	745	1064
12	6,17	0,83	1,3E-02	165,57	1022	1460	1175	1679
13	6,69	0,90	1,7E-02	243,65	1629	2328	1874	2677

Gain 0,0604

Slepetest 1: Ren Skrogmotstand BULB uten overflatebehandling												
Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	Cts	Rts
2	1,03	0,14	0,070	3,5E-02	8,5E-03	0,05	9,4E+04	3,7E+07	2,5E-02	2,4E-03	2,7E-02	9,41
5	2,57	0,35	0,092	7,3E-03	6,6E-03	0,13	2,4E+05	9,2E+07	-4,8E-04	2,1E-03	2,5E-03	5,34
6	3,09	0,42	0,171	9,4E-03	6,3E-03	0,15	2,8E+05	1,1E+08	2,0E-03	2,1E-03	4,4E-03	13,64
8	4,12	0,55	0,339	1,1E-02	5,9E-03	0,20	3,8E+05	1,5E+08	3,6E-03	2,0E-03	5,9E-03	32,57
9	4,63	0,62	0,497	1,2E-02	5,7E-03	0,23	4,2E+05	1,7E+08	5,5E-03	1,9E-03	7,7E-03	53,85
10	5,14	0,69	0,674	1,3E-02	5,6E-03	0,25	4,7E+05	1,8E+08	6,8E-03	1,9E-03	9,1E-03	78,04
11	5,66	0,76	0,870	1,4E-02	5,4E-03	0,28	5,2E+05	2,0E+08	7,9E-03	1,9E-03	1,0E-02	104,84
12	6,17	0,83	1,200	1,7E-02	5,3E-03	0,30	5,6E+05	2,2E+08	1,0E-02	1,9E-03	1,2E-02	154,11
13	6,69	0,90	1,690	2,0E-02	5,2E-03	0,33	6,1E+05	2,4E+08	1,4E-02	1,8E-03	1,6E-02	230,22



Gain 0,0604

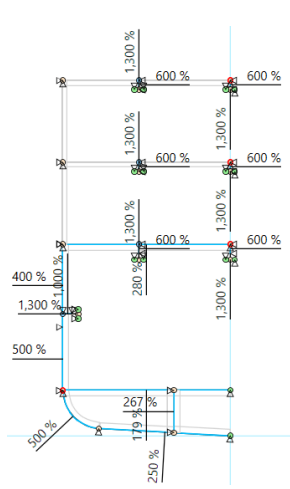
Slepetest 2: BULB MED SANDPAPIR													
Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	ΔCf	Ca	Caas
6	3,09	0,42	0,100	5,5E-03	6,3E-03	0,15	2,8E+05	1,1E+08	-1,9E-03	2,1E-03	-1,2E-04	8,5E-04	1,9E-04
7	3,60	0,49	0,129	5,2E-03	6,1E-03	0,18	3,3E+05	1,3E+08	-1,9E-03	2,0E-03	-7,7E-05	8,1E-04	1,9E-04
8	4,12	0,55	0,219	6,8E-03	5,9E-03	0,20	3,8E+05	1,5E+08	-1,2E-04	2,0E-03	-3,9E-05	7,8E-04	1,9E-04
9	4,63	0,62	0,268	6,6E-03	5,7E-03	0,23	4,2E+05	1,7E+08	-1,5E-04	1,9E-03	-7,0E-06	7,5E-04	1,9E-04
10	5,14	0,69	0,343	6,8E-03	5,6E-03	0,25	4,7E+05	1,8E+08	2,5E-04	1,9E-03	2,1E-05	7,2E-04	1,9E-04
11	5,66	0,76	0,536	8,8E-03	5,4E-03	0,28	5,2E+05	2,0E+08	2,4E-03	1,9E-03	4,5E-05	7,0E-04	1,9E-04
12	6,17	0,83	0,791	1,1E-02	5,3E-03	0,30	5,6E+05	2,2E+08	4,6E-03	1,9E-03	6,6E-05	6,7E-04	1,9E-04
14	7,20	0,97	1,228	1,2E-02	5,1E-03	0,35	6,6E+05	2,6E+08	6,4E-03	1,8E-03	1,0E-04	6,3E-04	1,9E-04

Knop	Vs	vm	Cts	RTS	PE	PB	pe +15%	Pb + 15%
6	3,09	0,42	3,46E-03	10,71	33	47	38	54
7	3,60	0,49	3,37E-03	14,18	51	73	59	84
8	4,12	0,55	3,29E-03	18,09	74	106	86	122
9	4,63	0,62	3,22E-03	22,42	104	148	119	171
10	5,14	0,69	3,44E-03	29,51	152	217	175	249
11	5,66	0,76	5,54E-03	57,53	326	465	374	535
12	6,17	0,83	7,75E-03	95,83	592	845	680	972
14	7,20	0,97	9,46E-03	159,09	1146	1637	1318	1882

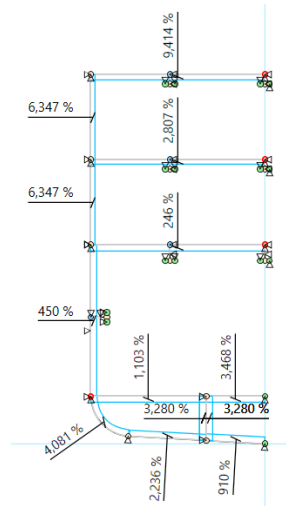
Gain 0,0604

Slepetest 2: Ren Skrogmotstand BULB MED SANDPAPIR												
Knop	Vs	vm	Rtm	Ctm	Cfm	Froude	Reynold_m	Reynold_s	Cr	Cfs	Cts	Rts
6	3,09	0,42	0,100	5,5E-03	6,3E-03	0,15	2,8E+05	1,1E+08	-1,9E-03	2,1E-03	2,4E-03	7,49
7	3,60	0,49	0,129	5,2E-03	6,1E-03	0,18	3,3E+05	1,3E+08	-1,9E-03	2,0E-03	2,4E-03	9,97
8	4,12	0,55	0,219	6,8E-03	5,9E-03	0,20	3,8E+05	1,5E+08	-1,2E-04	2,0E-03	2,3E-03	12,78
9	4,63	0,62	0,268	6,6E-03	5,7E-03	0,23	4,2E+05	1,7E+08	-1,5E-04	1,9E-03	2,3E-03	15,91
10	5,14	0,69	0,343	6,8E-03	5,6E-03	0,25	4,7E+05	1,8E+08	2,5E-04	1,9E-03	2,5E-03	21,53
11	5,66	0,76	0,536	8,8E-03	5,4E-03	0,28	5,2E+05	2,0E+08	2,4E-03	1,9E-03	4,6E-03	47,89
12	6,17	0,83	0,791	1,1E-02	5,3E-03	0,30	5,6E+05	2,2E+08	4,6E-03	1,9E-03	6,8E-03	84,36
14	7,20	0,97	1,228	1,2E-02	5,1E-03	0,35	6,6E+05	2,6E+08	6,4E-03	1,8E-03	8,5E-03	143,55

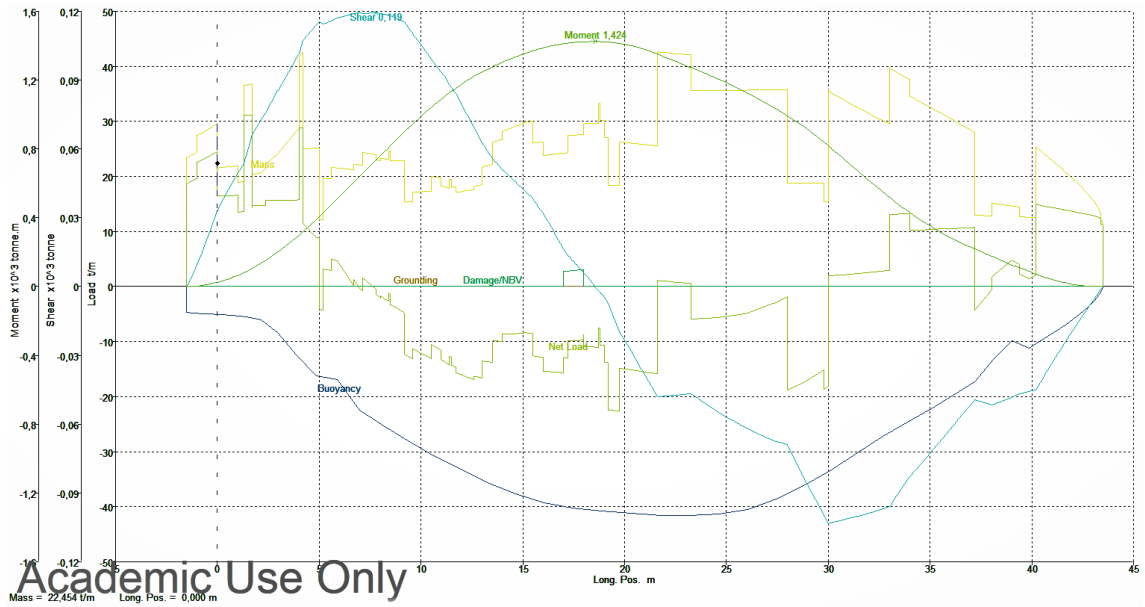




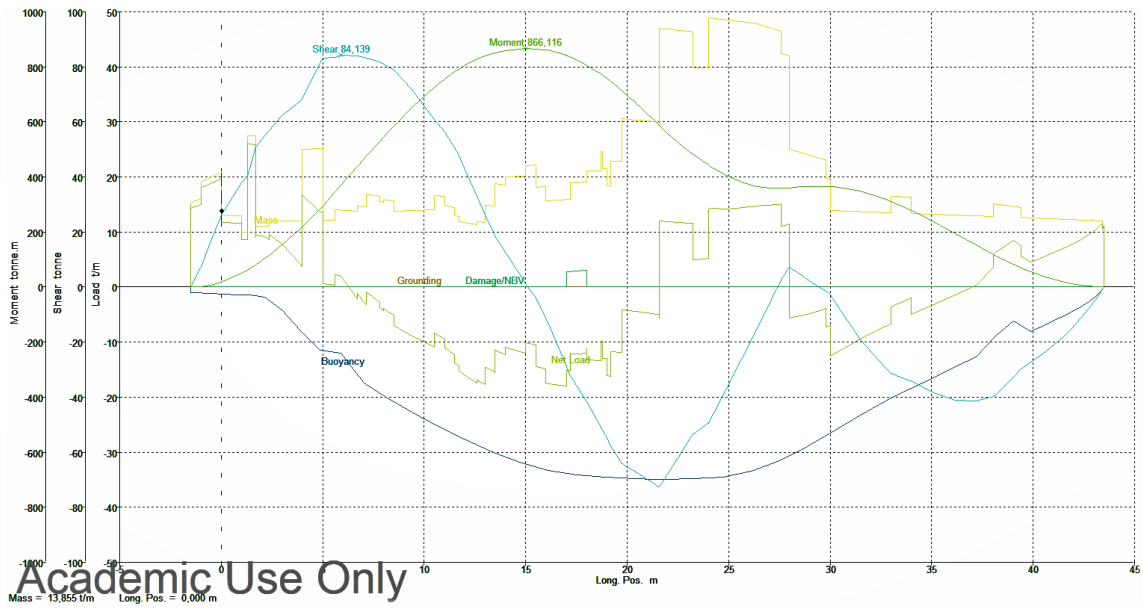
Figur 83: Buling plate



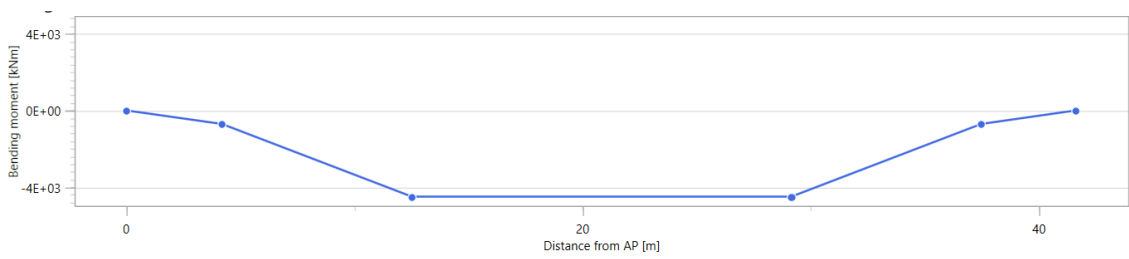
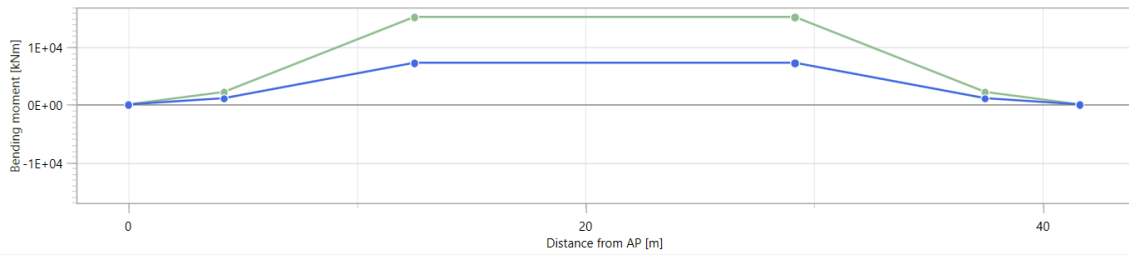
Figur 84: Buling stivere



Figur 85: Hogging kondisjon Maxsurf



Figur 86: Sagging kondisjon Maxsurf



---

## F Tonnasjeberegninger

Brutto og nettotonn:

$$GT = K_1 V$$

$$NT = K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 + K_3 \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

- Det er krav til at leddet  $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  ikke skal overstige 1.
- $K_2 V_c \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$  skal ikke være mindre en 0.25GT.
- Nettotonn skal ikke være mindre en 0.30GT

$V$  = Volum av skipets lukkede rom i kubikkmeter

$K_1 = 0.2 + 0.002 \log_{10} V$  (Eller som oppgitt i tabell)

$$K_3 = 1.25 \frac{GT + 10000}{10000}$$

$D$  = Dybde i risset midtskips

$d$  = Dypgående midtskips

$N_1$  = Antall passasjerer i lugarer

$N_2$  = Antall øvrige passasjerer

Tonnasjeberegninger	Volum [m3]
Tanktopp til Arbeidsdekk	2112,18
Arbeidsdekk til A-Dekk	838,89
A-Dekk til Styrehusdekk	356,94
<b>Sum Volum</b>	<b>3308,01</b>
K1	0,27
K3	1,36
Krav 1 - Ikke større enn 1	0,72
Krav 2 - Ikke mindre enn 0,25GT	638,91
Krav 3 - Ikke mindre enn 0,3GT	641,23
<b>Bruttotonn/GT</b>	<b>891,51</b>
<b>Nettotonn</b>	<b>641,23</b>

Figur 87: Tonnasjeberegning

---

Vedlegg G  
Vektberegning

---

## Vektberegning

	Enhet	Antall	Enhet vekt [t]	Total vekt [t]	LCG [m]	Akre	Forre	TCG	VCC	LMOM	VMOM	TMOM	Platetykkelse	Strukturfaktor	Kommentar
<b>100 - Skipet generelt</b>	Hipap	1,00	1,00	1,00	30,60	30,30	30,90	0,00	3,60	30,60	3,60	0,00			
	Forskningsutstyr	1,00	0,30	0,30	35,25	34,20	36,00	0,00	0,00	10,58	0,00	0,00			
<b>200 - Skrog</b>	Akterskipet	1,00	26,71	26,71	5,11	-1,50	11,50	0,00	5,15	136,49	137,56	0,00			Eget ark
	Midtskipet	1,00	41,24	41,24	22,24	11,50	30,00	0,22	6,70	917,18	276,31	8,91			Eget ark
	Forskipet	1,00	17,14	17,14	35,39	31,00	44,50	-0,05	5,97	606,58	102,33	-0,77			Eget ark
	Overbygget	1,00	19,86	19,86	24,19	18,70	29,75	0,37	12,89	480,41	256,00	7,25			Eget ark
	Skorstein	1,00	6,48	6,48	12,00	10,50	14,00	-4,40	9,70	77,76	62,86	-28,51	0,006	1,5	
	Tanktop med bobbelbunn	1,00	38,93	38,93	23,25	2,35	43,40	0,00	0,80	905,22	31,15	0,00	0,007	2,5	
	Hudplater over vann	1,00	41,13	41,13	23,50	-1,50	43,50	0,05	5,56	966,47	228,66	2,06	0,006	1,5	
	Hudplater under vann	1,00	76,70	76,70	21,60	-1,50	43,50	0,00	2,37	1656,78	181,79	0,00	0,01	1,5	
	Hudplater framme/bak	1,00	4,32	4,32	23,00	18,70	29,75	0,00	14,20	99,36	61,34	0,00	0,006	1,5	
	25% tillegg struktur margin	1,00	68,13	68,13	21,45	-1,50	43,50	0,00	4,91	1461,56	334,50	0,00			
<b>300 - Utstyr for last</b>	Kran arbeid	1,00	5,00	5,00	18,00	17,20	18,80	3,25	11,00	0,00	0,00	0,00			
	Kran proviant	1,00	3,00	3,00	33,50	33,00	34,00	4,00	11,00	90,00	55,00	16,25			
<b>400 - Skipsutstyr</b>	A-Ramme	1,00	10,00	10,00	-0,70	-1,50	0,00	0,00	11,00	100,50	33,00	12,00			
	T-Ramme	1,00	5,00	5,00	15,00	14,00	16,00	2,85	11,00	0,00	0,00	0,00			
	Trålevinsj	2,00	8,00	16,00	14,50	13,50	15,50	0,00	10,50	75,00	55,00	14,25			
	Trommel	1,00	3,00	3,00	9,80	8,00	11,00	0,00	9,00	232,00	168,00	0,00			
	Anker	2,00	0,45	0,90	41,40			0,00	6,50	29,40	27,00	0,00			
	Ankerkjetting	2,00	5,00	10,00	40,20			0,00	6,00	37,26	5,85	0,00			
	Ankervinsj	2,00	4,00	8,00	40,00			0,00	6,50	402,00	60,00	0,00			
	Tråledører	2,00	0,50	1,00	-1,50	-1,70	-1,30	0,00	7,00	320,00	52,00	0,00			
	Antenne	1,00	0,50	0,50	21,50	21,00	22,00	0,00	17,00	-1,50	7,00	0,00			
	Navigasjonsutstyr	1,00	0,20	0,20	24,25	18,70	29,00	0,00	13,00	10,75	8,50	0,00			
<b>500 - Mannskap og innredning</b>	Brodekk	1,00	14,55	14,55	24,60	18,70	29,75	0,00	12,10	4,85	2,60	0,00			
	Dekk 1	1,00	20,55	20,55	24,80	18,00	43,50	-0,38	10,90	0,00	0,00	0,00			
	Hoveddekk	1,00	23,70	23,70	27,40	15,00	43,50	-0,18	8,20	357,93	176,06	0,00			
	Under hoveddekk	1,00	23,70	23,70	29,70	15,00	43,50	0,00	5,50	509,64	224,00	-7,87			
	Maling	1,00	10,00	10,00	25,00	-1,50	43,50	0,00	5,30	649,38	194,34	-4,31			
	Anoder	1,00	2,00	2,00	20,00	-1,50	43,50	0,00	2,00	703,89	130,35	0,00			
	Trapper	6,00	0,20	1,20	22,90	12,00	33,00	0,00	6,50	250,00	53,00	0,00			
	Davit	1,00	1,50	1,50	16,40	15,40	17,40	-3,50	9,50	40,00	4,00	0,00			
	Livbåt	1,00	1,00	1,00	16,40	14,40	18,40	-4,40	9,50	27,48	7,80	0,00			
										24,60	14,25	-5,25			
<b>600 - Maskin hovedkomponenter</b>	Gensett	2,00	9,40	18,80	16,00	13,00	19,00	0,00	2,50	16,40	9,50	-4,40			
	El motor	2,00	3,15	6,30				0,00		0,00	0,00	0,00			Wartsila: 6L20DF
	Propellaksel	1,00	6,00	6,00	4,70	1,70	7,80	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00			ABB: M3BP 400LB 6 (510kW)
	Propell	1,00	7,00	7,00	1,50	1,30	1,70	0,00	2,00	28,20	12,00	0,00			
	Styremaskin	1,00	1,00	1,00	0,00	-1,00	1,00	0,00	5,20	10,50	14,00	0,00			
	Ror	1,00	5,00	5,00	0,00	-1,00	1,00	0,00	3,00	0,00	5,20	0,00			
	Baug thruster	1,00	2,80	2,80	38,70	38,05	39,35	0,00	1,30	0,00	15,00	0,00			
	Akre thruster	1,00	2,80	2,80	7,80	7,15	8,45	0,00	1,05	108,36	3,64	0,00			
										21,84	2,94	0,00			
<b>700 - System for maskin komponenter</b>	Batteri	1,00	13,04	13,04	4,50	4,00	5,00	-0,70	4,75	0,00	0,00	0,00			
	Tavle	1,00	5,00	5,00	7,00	5,60	12,60	2,40	5,20	0,00	0,00	0,00			Corvus 992kwh
	LNG tank SB	1,00	3,01	3,01	24,80	21,60	28,00	2,00	3,60	58,68	61,94	-9,13			
	LNG tank BB	1,00	3,01	3,01	24,80	21,60	28,00	-2,00	3,60	35,00	26,00	12,00	0,015	2,5	
<b>800 - Skipssystemer</b>	Rørsystem	1,00	21,00	21,00	20,00	-1,50	43,50	0,00	5,50	74,76	10,85	6,03	0,015	2,5	
	Ventilasjon system	1,00	1,40	1,40	25,00	5,00	40,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00			30t pr 1000GT alle system
	Elektriske kabler	1,00	8,40	8,40	20,00	-1,50	43,50	0,00	5,50	168,00	46,20	0,00			2t pr 1000GT
	Nødgenerator med tavle	1,00	2,00	2,00	14,50	13,50	15,50	-4,20	8,00	29,00	16,00	-8,40			12t pr GT
										0,00	0,00	0,00			
<b>Marginer</b>	Konstruksjons margin (5%)	1,00	30,47	30,47	20,66	-1,50	43,50	0,00	6,70	0,00	0,00	0,00			VCG - pluss 1m
	Design margin (15%)	1,00	91,40	91,40	20,66	-1,50	43,50	0,00	6,70	629,32	204,12	0,00			VCG - pluss 1m
	Framtidig vekt margin (5%)	1,00	30,47	30,47	20,66	-1,50	43,50	0,00	6,70	1887,97	612,36	0,00			VCG - pluss 1m
<b>Sum med margin</b>				<b>761,637875</b>	<b>20,6569</b>			<b>0,005</b>	<b>5,894</b>	<b>15733,08</b>	<b>4489,44</b>	<b>4,0677</b>			

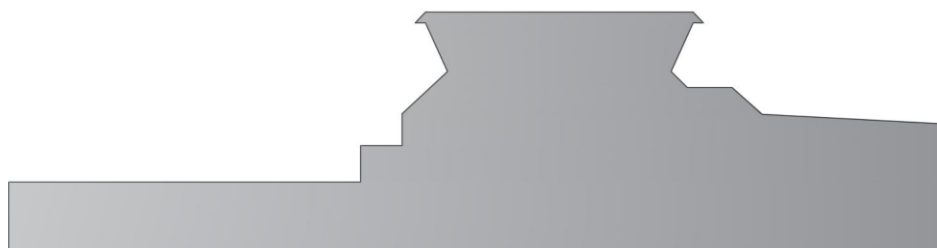


Akterskipet												
Enhet	Antall	Enhet vekt [t]	Total vekt [t]	LCG [m]	TCG	VCG	LMOM	VMOM	MOM	Platetykkelse	Strukturfaktor	Kommentar
Hoveddekk	1,00	12,01	12,01	5,00	0,00	6,30	60,06	75,68	0,00	0,007	1,50	
Halvdekk	1,00	4,12	4,12	1,60	0,00	4,50	6,59	18,52	0,00	0,007	1,50	
Halvdekk	1,00	5,88	5,88	8,50	0,00	4,50	49,98	26,46	0,00	0,007	1,50	
Skott 1	1,00	4,70	4,70	4,20	0,00	3,57	19,76	16,79	0,00	0,006	1,40	
<b>Sum uten margin</b>			<b>26,71</b>	<b>5,11</b>	<b>0,00</b>	<b>5,15</b>	<b>136,38</b>	<b>137,45</b>	<b>0,00</b>			

Midtskipet												
Enhet	Antall	Enhet vekt [t]	Total vekt [t]	LCG [m]	TCG	VCG	LMOM	VMOM	MOM	Platetykkelse	Strukturfaktor	Kommentar
Dekk 1	1,00	8,22	8,22	24,00	-0,18	9,00	197,34	74,00	-1,50	0,006	1,50	
Hoveddekk	1,00	17,09	17,09	20,75	0,00	6,30	354,70	107,69	0,00	0,007	1,50	
Skott 1	1,00	4,70	4,70	30,00	0,00	3,57	141,12	16,79	0,00	0,006	1,40	
Skott 2	1,00	4,70	4,70	19,80	0,00	3,57	93,14	16,79	0,00	0,006	1,40	
Skott 3	1,00	2,02	2,02	19,20	-0,38	10,00	38,71	20,16	-0,77	0,006	1,40	
Skott 4	1,00	2,49	2,49	25,00	4,50	10,00	62,16	24,86	11,19	0,006	1,40	
Skott 5	1,00	2,02	2,02	15,00	0,00	8,00	30,24	16,13	0,00	0,006	1,40	
<b>Sum uten margin</b>			<b>41,24</b>	<b>22,24</b>	<b>0,22</b>	<b>6,70</b>	<b>917,40</b>	<b>276,43</b>	<b>8,92</b>			

Forskipet												
Enhet	Antall	Enhet vekt [t]	Total vekt [t]	LCG [m]	TCG	VCG	LMOM	VMOM	MOM	Platetykkelse	Strukturfaktor	Kommentar
Dekk 1	1,00	1,31	1,31	30,90	0	9,00	40,49	11,79	0,00	0,006	1,5	
Hoveddekk	1,00	8,78	8,78	35,28	0	6,30	309,69	55,30	0,00	0,007	1,5	
							0,00	0,00	0,00			
Kollisjonsskott	1,00	1,68	1,68	40,20	0	2,55	67,54	4,28	0,00	0,006	1,4	
Skott 1	1,00	3,36	3,36	37,20	0	3,20	124,99	10,75	0,00	0,006	1,4	
Skott 2	1,00	2,02	2,02	31,80	-0,383	10,00	64,11	20,16	-0,77	0,006	1,4	
									0,00			
<b>Sum uten margin</b>			<b>17,14</b>	<b>35,39</b>	<b>-0,05</b>	<b>5,97</b>	<b>606,82</b>	<b>102,29</b>	<b>-0,77</b>			

Overbygg												
Enhet	Antall	Enhet vekt [t]	Total vekt [t]	LCG [m]	TCG	VCG	LMOM	VMOM	MOM	Platetykkelse	Strukturfaktor	Kommentar
Overbygg tak	1,00	7,03	7,03	24,44	0,00	14,70	171,74	103,30	0,00	0,006	1,5	
Overbygg dekk	1,00	10,91	10,91	24,00	0,67	11,70	261,79	127,62	7,25	0,006	1,5	
Hudplater overbygg m/vindu	1,00	1,92	1,92	24,40	0,00	13,00	46,85	24,96	0,00	0,006	1	
<b>Sum uten margin</b>			<b>19,86</b>	<b>24,19</b>	<b>0,37</b>	<b>12,89</b>	<b>480,38</b>	<b>255,88</b>	<b>7,25</b>			

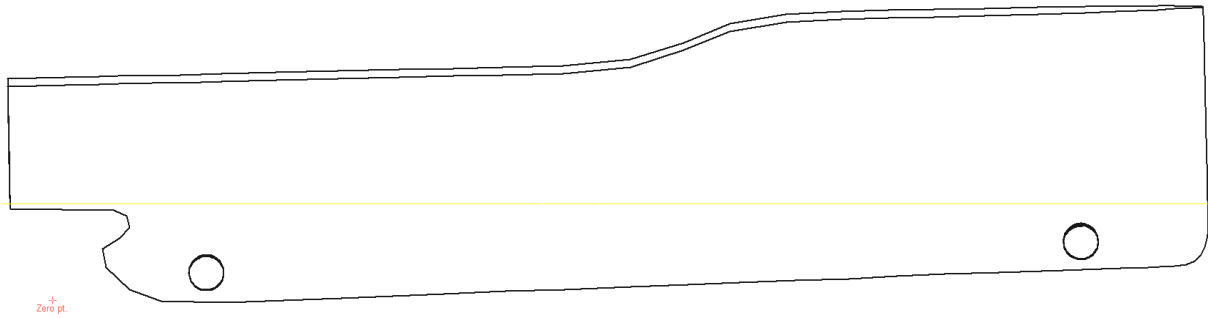


Areal brukt for utregning av utrustningsnummer:

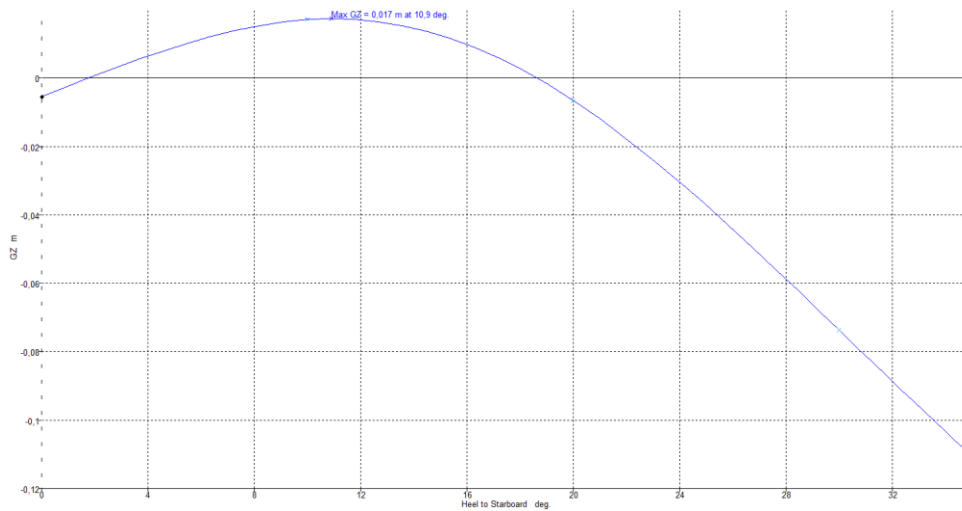
---

**Vedlegg H  
Stabilitetsrapport**

---



	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	759,050	759,050	20,683			0,005	5,886	0,000	

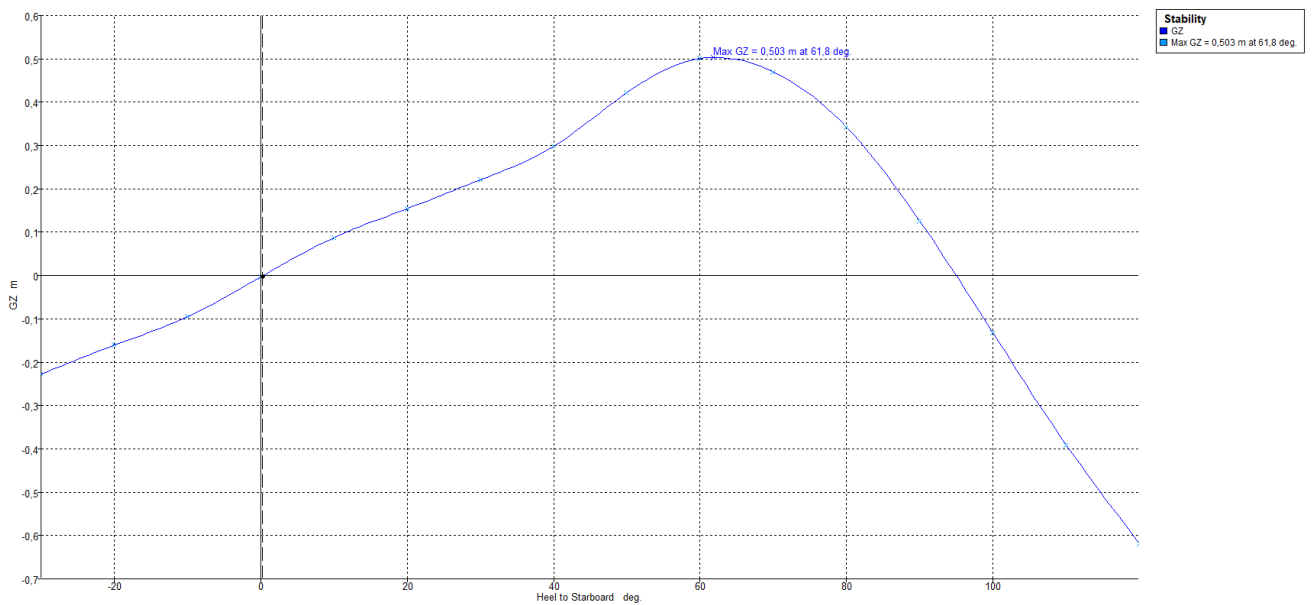


Heel to Starboard deg	0,0	10,0	20,0	30,0	35,0
GZ m	-0,005	0,017	-0,007	-0,074	-0,111
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,0792	0,1796	-0,2027	-0,6640
Displacement t	759,1	759,0	759,0	759,0	759,0
Draft at FP m	2,662	2,721	2,796	2,816	2,782
Draft at AP m	3,632	3,488	3,181	2,708	2,402
WL Length m	45,012	45,007	45,002	45,000	45,001
Beam max extents on WL m	10,843	10,953	11,092	10,859	10,629
Wetted Area m <sup>2</sup>	532,490	514,993	509,212	508,159	508,165
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	394,654	374,354	363,958	363,891	368,299
Prismatic coeff. (Cp)	0,554	0,564	0,587	0,615	0,625
Block coeff. (Cb)	0,412	0,427	0,404	0,380	0,379
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	20,594	20,609	20,649	20,691	20,713
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	18,365	19,372	20,070	20,408	20,441
Max deck inclination deg	1,3362	10,0534	20,0059	30,0003	35,0023
Trim angle (+ve by stern) deg	1,3362	1,0563	0,5297	-0,1487	-0,5231

# Avgang havn – Ballast

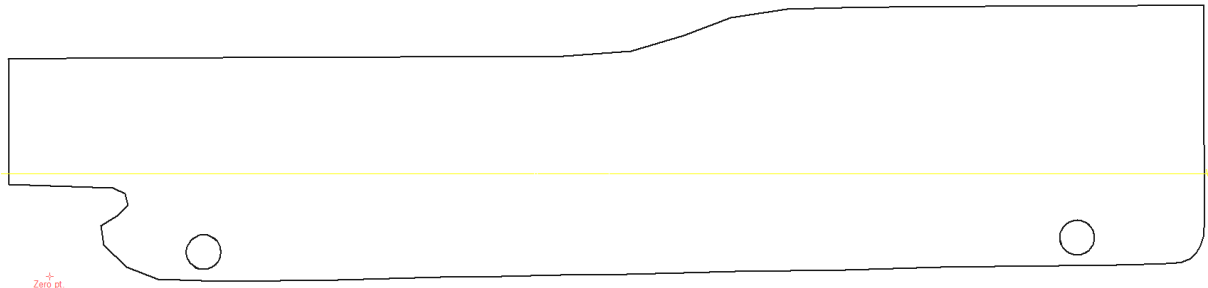


	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	759,050	759,050	20,683			0,005	5,886	0,000	
2	01 BW CL	98%	26,632	26,100	41,483			0,000	2,805	0,000	Maximum
3	02 TW PS	0%	34,791	0,000	33,024			0,000	0,198	0,000	Maximum
4	03 TW SB	0%	34,791	0,000	33,024			0,000	0,198	0,000	Maximum
5	04 FO PS	98%	23,069	22,607	31,419			-2,262	2,270	0,000	Maximum
6	05 FO SB	98%	23,069	22,607	31,419			2,262	2,270	0,000	Maximum
7	06 BW PS	60%	15,371	9,223	26,450			-2,558	0,788	10,345	Maximum
8	09 FW CL	98%	24,911	24,413	24,559			0,000	0,793	0,000	Maximum
9	10 Bilge CL	10%	10,448	1,045	20,360			0,000	0,116	5,407	Maximum
10	07 BW SB	60%	15,371	9,223	26,450			2,558	0,788	10,345	Maximum
11	11 GW PS	10%	10,302	1,030	17,362			-1,749	0,266	2,765	Maximum
12	13 FO CL	98%	18,422	18,053	16,488			0,000	0,732	0,000	Maximum
13	12 BLACK PS	10%	7,558	0,756	17,786			1,768	0,257	2,003	Maximum
14	15 BW PS	60%	6,557	3,934	13,622			-1,978	0,869	5,187	Maximum
15	17 Overflow	10%	14,183	1,418	11,758			0,000	0,036	4,575	Maximum
16	14 Sludge	10%	2,745	0,274	15,639			1,626	0,301	0,801	Maximum
17	16 BW SB	60%	6,557	3,934	13,622			1,978	0,869	5,187	Maximum
18	18 lube	98%	1,785	1,749	9,000			0,000	0,675	0,000	Maximum
19	19 BW PS	80%	26,494	21,196	1,776			-2,145	3,556	71,681	Maximum
20	20 BW SB	80%	26,494	21,196	1,776			2,145	3,556	71,681	Maximum
21	17 LNG PS	98%	51,367	50,340	24,800			2,000	3,569	0,000	Maximum
22	18 LNG SB	98%	51,367	50,340	24,800			-2,000	3,569	0,000	Maximum
23	Rulledempingstank	50%	34,650	17,325	3,650			0,000	4,850	144,889	Maximum
24	<b>Total Loadcase</b>			<b>1065,813</b>	<b>21,036</b>			<b>0,004</b>	<b>4,967</b>	<b>334,864</b>	
25	FS correction								0,314		
26	VCG fluid								<b>5,281</b>		

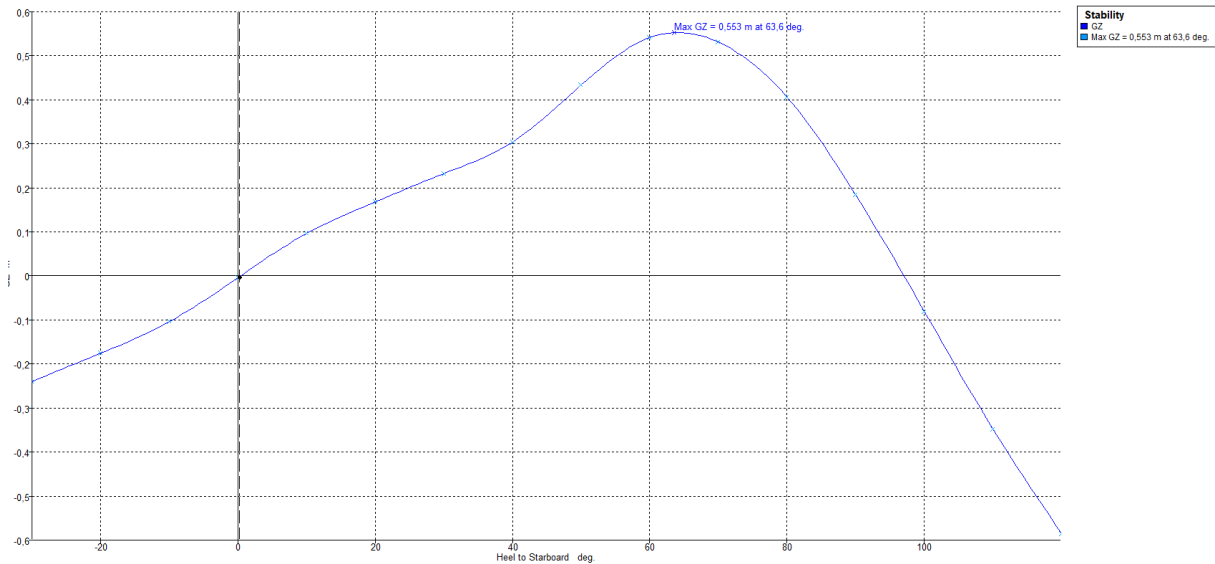


Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0
GZ m	-0,219	-0,155	-0,092	-0,004	0,084	0,148	0,212	0,287	0,408	0,484	0,451	0,323	0,106	-0,152	-0,410	-0,636
Area under GZ curve from zero heel m.deg	3,610 1	1,744 7	0,496 4	0,000 0	0,419 7	1,593 9	3,393 5	5,856 4	9,316 7	13,84 83	18,61 03	22,56 10	24,76 41	24,54 88	21,72 08	16,47 42
Displacement t	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067
Draft at FP m	3,952	3,929	3,888	3,876	3,888	3,927	3,952	3,899	3,647	3,023	1,837	-1,480	n/a	12,26 9	-8,981	-7,959
Draft at AP m	3,384	3,733	3,930	3,984	3,930	3,735	3,384	2,812	1,959	0,811	-1,239	-7,365	n/a	16,64 3	10,42 7	-8,266
WL Length m	45,00 3	45,00 0	45,00 0	45,00 0	45,00 0	45,00 0	45,00 3	45,00 9	45,01 5	45,01 6	45,01 0	44,43 2	44,64 4	44,97 1	45,00 3	45,00 0
Beam max extents on WL m	11,90 6	11,45 1	11,05 2	10,90 8	11,05 2	11,45 1	11,80 6	11,83 9	12,08 0	11,19 0	10,45 6	9,935	9,637	9,589	9,774	10,11 7
Wetted Area m^2	599,7 68	599,3 77	606,4 48	617,5 33	606,4 46	599,4 17	599,7 67	604,8 46	615,7 98	623,3 21	620,7 54	612,9 78	605,0 38	604,7 50	606,5 82	611,0 90
Waterpl. Area m^2	404,7 86	403,3 94	409,3 03	421,4 33	409,3 02	403,4 31	404,7 86	419,8 38	428,9 85	408,7 72	387,7 41	362,6 03	340,6 45	333,8 04	336,2 18	347,2 37
Prismatic coeff. (Cp)	0,647	0,627	0,615	0,612	0,615	0,627	0,647	0,667	0,677	0,676	0,670	0,676	0,675	0,675	0,683	0,693
Block coeff. (Cb)	0,410	0,451	0,514	0,507	0,514	0,451	0,410	0,399	0,395	0,442	0,499	0,570	0,593	0,500	0,439	0,398
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	21,05 1	21,03 3	21,01 3	21,00 9	21,01 3	21,02 8	21,05 0	21,07 9	21,09 9	21,10 1	21,09 8	21,09 7	21,09 1	21,07 8	21,05 7	21,03 0
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	20,37 3	19,79 5	19,05 1	18,35 9	19,05 2	19,79 2	20,37 3	20,68 1	21,20 0	21,77 2	22,41 3	22,89 2	22,83 4	22,64 0	22,32 3	21,94 5
Max deck inclination deg	30,00 69	20,00 15	10,00 02	0,148 1	10,00 02	20,00 15	30,00 69	40,01 37	50,01 64	60,01 17	70,00 67	80,00 31	90,00 00	99,99 83	109,9 985	119,9 998
Trim angle (+ve by stern) deg	- 2	- 3	0,057 8	0,148 1	0,057 7	- 4	0,781 7	1,498 8	2,324 6	3,047 6	4,231 9	8,058 4	90,00 00	6,007 0	1,993 1	0,422 9

## Ankomst havn – Ballast



	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	759,050	759,050	20,683			0,005	5,886	0,000	
2	01 BW CL	98%	26,632	26,100	41,483			0,000	2,805	0,000	Maximum
3	02 TW PS	98%	34,791	34,096	34,961			-1,374	2,235	0,000	Maximum
4	03 TW SB	98%	34,791	34,096	34,961			1,374	2,235	0,000	Maximum
5	04 FO PS	10%	23,069	2,307	31,329			-1,528	0,796	9,512	Maximum
6	05 FO SB	10%	23,069	2,307	31,329			1,528	0,796	8,290	Maximum
7	06 BW PS	98%	15,371	15,064	26,550			-2,693	0,992	0,000	Maximum
8	09 FW CL	10%	24,911	2,491	24,199			0,000	0,177	13,517	Maximum
9	10 Bilge CL	98%	10,448	10,239	20,396			0,000	0,759	0,000	Maximum
10	07 BW SB	98%	15,371	15,064	26,550			2,693	0,992	0,000	Maximum
11	11 GW PS	98%	10,302	10,096	17,156			-2,139	0,866	0,000	Maximum
12	13 FO CL	10%	18,422	1,842	16,387			0,000	0,064	5,882	Maximum
13	12 BLACK PS	98%	7,558	7,407	17,715			2,149	0,852	0,000	Maximum
14	15 BW PS	0%	6,557	0,000	14,980			-1,200	0,086	0,000	Maximum
15	17 Overflow	10%	14,183	1,418	11,758			0,000	0,036	4,575	Maximum
16	14 Sludge	98%	2,745	2,690	15,610			2,110	0,903	0,000	Maximum
17	16 BW SB	0%	6,557	0,000	14,980			1,200	0,086	0,000	Maximum
18	18 lube	98%	1,785	1,749	9,000			0,000	0,675	0,000	Maximum
19	19 BW PS	98%	26,494	25,965	1,698			-2,242	3,675	0,000	Maximum
20	20 BW SB	98%	26,494	25,965	1,698			2,242	3,675	0,000	Maximum
21	17 LNG PS	10%	51,367	5,137	24,800			2,000	2,298	17,297	Maximum
22	18 LNG SB	10%	51,367	5,137	24,800			-2,000	2,298	17,394	Maximum
23	Rulledempingstank	50%	34,650	17,325	3,650			0,000	4,850	144,889	Maximum
24	<b>Total Loadcase</b>			<b>1005,542</b>	<b>21,079</b>			<b>0,004</b>	<b>5,025</b>	<b>221,356</b>	
25	FS correction								0,220		
26	VCG fluid								5,245		

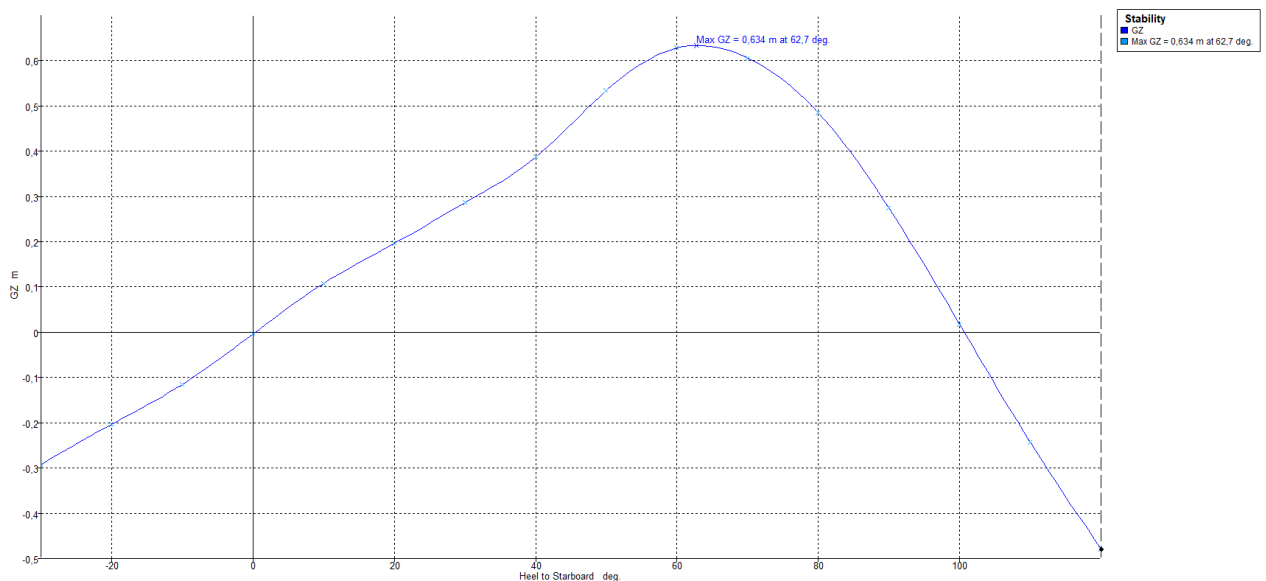


Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0	
GZ m	-0,239	-0,175	-0,104	-0,004	0,096	0,168	0,232	0,303	0,431	0,538	0,527	0,402	0,180	-0,085	-0,352	-0,590	
Area under GZ curve from zero heel m.deg	4,045 3	1,973 7	0,558 9	0,000 0	0,477 4	1,813 0	3,816 0	6,459 1	10,10 18	15,01 71	20,44 69	25,18 12	28,14 82	28,63 81	26,43 77	21,70 71	
Displacement t	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	
Draft at FP m	3,783	3,756	3,707	3,685	3,707	3,754	3,782	3,723	3,456	2,791	1,516	-2,104	n/a	-	-9,354	-8,223	
Draft at AP m	3,216	3,592	3,813	3,885	3,813	3,595	3,216	2,620	1,724	0,464	-1,825	-8,686	n/a	-	-	-8,690	
WL Length m	45,00 3	45,00 0	45,00 0	45,00 1	45,00 0	45,00 0	45,00 3	45,00 9	45,01 6	45,01 8	44,99 8	44,23 7	44,57 8	44,96 0	45,00 5	45,00 1	
Beam max extents on WL m	11,67 1	11,40 8	11,03 6	10,89 8	11,03 6	11,40 8	11,67 1	11,60 0	11,83 9	11,21 7	10,47 4	9,911	9,603	9,550	9,706	10,00 2	
Wetted Area m^2	582,7 69	582,2 13	588,7 82	602,8 49	588,7 81	582,2 53	582,7 72	587,2 85	597,4 50	604,8 37	600,1 12	591,0 20	585,8 18	585,9 46	587,8 48	592,4 07	
Waterpl. Area m^2	396,8 60	396,2 98	402,6 77	418,3 52	402,6 78	396,3 38	396,8 64	412,2 35	427,1 59	408,8 23	384,0 15	355,7 78	336,4 86	330,1 76	331,8 98	342,5 41	
Prismatic coeff. (Cp)	0,641	0,620	0,606	0,602	0,606	0,620	0,641	0,661	0,669	0,667	0,661	0,669	0,668	0,667	0,676	0,687	
Block coeff. (Cb)	0,404	0,442	0,501	0,493	0,501	0,442	0,404	0,395	0,391	0,430	0,487	0,564	0,582	0,489	0,430	0,391	
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	21,08 9	21,06 8	21,04 6	21,03 9	21,04 6	21,06 3	21,08 7	21,11 5	21,14 0	21,14 4	21,14 4	21,14 5	21,14 1	21,12 7	21,10 4	21,07 5	
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	20,44 9	19,89 4	19,16 3	18,32 4	19,16 3	19,89 1	20,44 8	20,69 4	21,03 4	21,74 2	22,48 7	22,83 6	22,77 3	22,54 6	22,23 5	21,85 7	
Max deck inclination deg	30,00 69	20,00 11	10,00 10	0,275 9	10,00 10	20,00 10	30,00 69	40,01 41	50,01 72	60,01 29	70,00 79	80,00 38	90,00 00	99,99 77	109,9 978	119,9 995	
Trim angle (+ve by stern) deg	-	0,226 2	0,146 6	0,275 9	0,146 7	-	0,220 0	0,780 2	1,519 7	2,386 5	3,204 1	4,596 3	8,997 6	90,00 00	6,940 4	2,404 7	0,643 7

# Avgang havn – Lastet



	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	759,050	759,050	20,683			0,005	5,886	0,000	
2	Last	1	30,000	30,000	7,200	7,200	7,200	0,000	7,800	0,000	User Specif
3	01 BW CL	98%	26,632	26,100	41,483			0,000	2,805	0,000	Maximum
4	02 TW PS	0%	34,791	0,000	33,024			0,000	0,198	0,000	Maximum
5	03 TW SB	0%	34,791	0,000	33,024			0,000	0,198	0,000	Maximum
6	04 FO PS	98%	23,069	22,607	31,419			-2,262	2,270	0,000	Maximum
7	05 FO SB	98%	23,069	22,607	31,419			2,262	2,270	0,000	Maximum
8	06 BW PS	98%	15,371	15,064	26,550			-2,693	0,992	0,000	Maximum
9	09 FW CL	98%	24,911	24,413	24,559			0,000	0,793	0,000	Maximum
10	10 Bilge CL	10%	10,448	1,045	20,360			0,000	0,116	5,400	Maximum
11	07 BW SB	98%	15,371	15,064	26,550			2,693	0,992	0,000	Maximum
12	11 GW PS	10%	10,302	1,030	17,362			-1,749	0,266	2,800	Maximum
13	13 FO CL	98%	18,422	18,053	16,488			0,000	0,732	0,000	Maximum
14	12 BLACK PS	10%	7,558	0,756	17,786			1,768	0,257	2,000	Maximum
15	15 BW PS	10%	6,557	0,656	13,727			-1,516	0,429	9,320	Maximum
16	17 Overflow	10%	14,183	1,418	11,758			0,000	0,036	4,569	Maximum
17	14 Sludge	10%	2,745	0,274	15,639			1,626	0,301	0,800	Maximum
18	16 BW SB	10%	6,557	0,656	13,727			1,516	0,429	9,320	Maximum
19	18 lube	98%	1,785	1,749	9,000			0,000	0,675	0,000	Maximum
20	19 BW PS	0%	27,157	0,000	3,885			-0,040	0,000	0,000	Maximum
21	20 BW SB	0%	27,157	0,000	3,885			0,040	0,000	0,000	Maximum
22	17 LNG PS	98%	51,367	50,340	24,800			2,000	3,569	0,000	Maximum
23	18 LNG SB	98%	51,367	50,340	24,800			-2,000	3,569	0,000	Maximum
24	Rulledempingstank	98%	34,650	33,957	3,650			0,000	5,378	0,000	Maximum
25	<b>Total Loadcase</b>			<b>1075,178</b>	<b>21,247</b>			<b>0,004</b>	<b>5,101</b>	<b>34,208</b>	
26	FS correction									0,032	
27	VCG fluid								5,133		



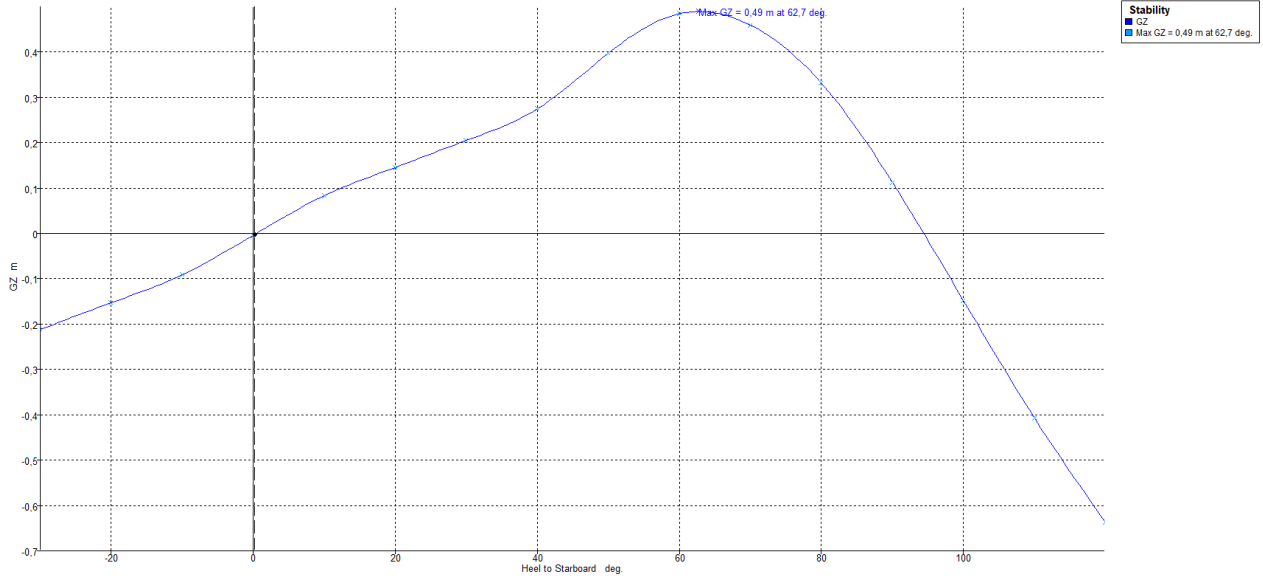
Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0
GZ m	-0,292	-0,203	-0,115	-0,004	0,108	0,196	0,286	0,387	0,534	0,628	0,606	0,485	0,275	0,018	-0,243	-0,478
Area under GZ curve from zero heel m.deg	4,6918	2,2175	0,6122	0,0000	0,5362	2,0678	4,4772	7,8083	12,4058	18,3017	24,5661	30,1031	33,9620	35,4429	34,2992	30,6734
Displacement t	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075	1075
Draft at FP m	4,101	4,071	4,025	4,008	4,025	4,069	4,099	4,052	3,810	3,230	2,139	-0,862	n/a	-	-8,616	-7,713
Draft at AP m	3,286	3,644	3,850	3,915	3,850	3,646	3,287	2,710	1,849	0,666	-1,460	-7,840	n/a	-	-	-8,444
WL Length m	45,006	45,002	45,000	45,000	45,000	45,002	45,006	45,014	45,021	45,021	45,019	44,599	44,729	44,990	45,007	45,002
Beam max extents on WL m	11,830	11,456	11,054	10,909	11,054	11,456	11,829	11,880	12,150	11,178	10,449	9,944	9,647	9,601	9,793	10,145
Wetted Area m²	601,196	600,405	606,965	619,661	606,935	600,442	601,185	606,505	617,568	625,145	622,570	614,369	607,309	606,855	608,396	612,808
Waterpl. Area m²	404,732	402,669	408,008	421,940	407,996	402,705	404,736	420,754	431,683	409,357	387,754	363,228	342,561	335,877	338,158	349,107
Prismatic coeff. (Cp)	0,646	0,626	0,615	0,611	0,615	0,626	0,646	0,665	0,674	0,673	0,668	0,671	0,670	0,671	0,678	0,688
Block coeff. (Cb)	0,410	0,452	0,515	0,516	0,515	0,452	0,410	0,398	0,394	0,444	0,501	0,569	0,585	0,495	0,436	0,395
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	21,296	21,277	21,258	21,253	21,258	21,272	21,293	21,318	21,339	21,342	21,341	21,341	21,338	21,332	21,305	21,277
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	20,486	19,918	19,194	18,420	19,194	19,916	20,484	20,777	21,254	21,813	22,473	23,016	22,976	22,767	22,439	22,050
Max deck inclination deg	30,0143	20,0073	10,0028	0,1284	10,0028	20,0072	30,0142	40,0209	50,0221	60,0157	70,0091	80,0043	90,0000	99,9972	109,9969	119,9987
Trim angle (+ve by stern) deg	1,1230	0,5891	0,2408	0,1284	0,2409	0,5834	1,1187	1,8498	2,7020	3,5302	4,9488	9,5305	90,0000	7,6974	2,8684	1,0077

## Ankomst havn – Lastet



	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	759,050	759,050	20,683			0,005	5,886	0,000	
2	Last	1	30,000	30,000	7,200	7,200	7,200	0,000	7,800	0,000	User Specif
3	01 BW CL	98%	26,632	26,100	41,483			0,000	2,805	0,000	Maximum
4	02 TW PS	98%	34,791	34,096	34,961			-1,374	2,235	0,000	Maximum
5	03 TW SB	98%	34,791	34,096	34,961			1,374	2,235	0,000	Maximum
6	04 FO PS	10%	23,069	2,307	31,329			-1,528	0,796	9,512	Maximum
7	05 FO SB	10%	23,069	2,307	31,329			1,528	0,796	8,290	Maximum
8	06 BW PS	98%	15,371	15,064	26,550			-2,693	0,992	0,000	Maximum
9	09 FW CL	10%	24,911	2,491	24,199			0,000	0,177	13,517	Maximum
10	10 Bilge CL	98%	10,448	10,239	20,396			0,000	0,759	0,000	Maximum
11	07 BW SB	98%	15,371	15,064	26,550			2,693	0,992	0,000	Maximum
12	11 GW PS	98%	10,302	10,096	17,156			-2,139	0,866	0,000	Maximum
13	13 FO CL	98%	18,422	18,053	16,488			0,000	0,732	0,000	Maximum
14	12 BLACK PS	98%	7,558	7,407	17,715			2,149	0,852	0,000	Maximum
15	15 BW PS	98%	6,557	6,426	13,565			-2,212	1,060	0,000	Maximum
16	17 Overflow	98%	14,183	13,900	11,717			0,000	0,734	0,000	Maximum
17	14 Sludge	98%	2,745	2,690	15,610			2,110	0,903	0,000	Maximum
18	16 BW SB	98%	6,557	6,426	13,565			2,212	1,060	0,000	Maximum
19	18 lube	98%	1,785	1,749	9,000			0,000	0,675	0,000	Maximum
20	19 BW PS	30%	26,494	7,948	2,449			-1,425	2,976	60,817	Maximum
21	20 BW SB	30%	26,494	7,948	2,449			1,425	2,976	70,288	Maximum
22	17 LNG PS	10%	51,367	5,137	24,800			2,000	2,298	17,297	Maximum
23	18 LNG SB	10%	51,367	5,137	24,800			-2,000	2,298	17,394	Maximum
24	Rulledempingstank	50%	34,650	17,325	3,650			0,000	4,850	144,889	Maximum
25	Total Loadcase			1041,054	21,084			0,004	4,976	342,005	
26	FS correction									0,329	
27	VCG fluid								5,304		





Heel to Starboard deg	-30,0	-20,0	-10,0	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0	
GZ m	-0,201	-0,145	-0,088	-0,004	0,080	0,138	0,194	0,260	0,380	0,465	0,438	0,309	0,089	-0,171	-0,430	-0,657	
Area under GZ curve from zero heel m deg	3,3783	1,6524	0,4749	0,0000	0,3960	1,4971	3,1556	5,3917	8,5699	12,8641	17,4702	21,2841	23,3298	22,9363	19,9164	14,4649	
Displacement t	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	1041	
Draft at FP m	3,904	3,879	3,832	3,815	3,832	3,876	3,904	3,850	3,594	2,959	1,750	-1,639	n/a	-	-9,078	-8,030	
Draft at AP m	3,290	3,653	3,863	3,926	3,863	3,655	3,291	2,706	1,831	0,627	-1,544	-8,049	n/a	-	-	-8,490	
WL Length m	45,004	45,001	45,000	45,000	45,000	45,001	45,004	45,010	45,017	45,018	45,009	44,398	44,631	44,971	45,004	45,001	
Beam max extents on WL m	11,754	11,435	11,045	10,905	11,045	11,435	11,754	11,739	11,986	11,200	10,463	9,926	9,625	9,574	9,749	10,072	
Wetted Area m^2	592,430	591,894	598,666	611,369	598,665	591,934	592,429	597,305	607,840	615,294	612,409	604,038	596,819	596,712	598,546	603,051	
Waterpl. Area m^2	401,226	400,123	406,140	420,194	406,140	400,161	401,227	416,643	428,784	408,878	386,696	360,294	339,108	332,573	334,657	345,546	
Prismatic coeff. (Cp)	0,644	0,624	0,611	0,607	0,611	0,624	0,644	0,664	0,673	0,671	0,666	0,672	0,671	0,671	0,679	0,689	
Block coeff. (Cb)	0,407	0,447	0,510	0,502	0,510	0,447	0,407	0,397	0,393	0,437	0,494	0,567	0,587	0,494	0,434	0,394	
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	21,115	21,096	21,075	21,069	21,075	21,091	21,115	21,142	21,165	21,168	21,166	21,166	21,161	21,147	21,125	21,097	
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	20,430	19,863	19,127	18,354	19,127	19,860	20,430	20,706	21,134	21,766	22,455	22,947	22,835	22,623	22,308	21,927	
Max deck inclination deg	30,0081	20,0020	10,0001	0,1529	10,0001	20,0020	30,0081	40,0152	50,0179	60,0130	70,0077	80,0036	90,0000	99,9979	109,9980	119,9995	
Trim angle (+ve by stern) deg	0,8463	0,3106	-	0,0415	0,0414	-	0,3046	0,8459	1,5769	2,4287	3,2122	4,5317	8,7678	90,0000	6,7523	2,3456	0,6341

---

I DP-kapabilitet

---

## Vedlegg I DP-kapabilitet

---

<b>PRINCIPAL HULL DATA</b>	ENCL.	1)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

**SHIP:** **Forskningskip**  
Loading condition: Design WL  
Draught AP/FP: 4.000 / 4.000 [m]

	Symbol	Unit	
Length overall	L <sub>OA</sub>	[m]	45.000
Length on designed waterline	L <sub>WL</sub>	[m]	44.998
Length betw. perp.	L <sub>PP</sub>	[m]	43.064
Breadth moulded	B	[m]	11.000
Breadth waterline	B <sub>WL</sub>	[m]	10.986
Depth to 1 <sup>st</sup> deck	D	[m]	10.300
Draught at L <sub>PP</sub> /2	T	[m]	4.000
Draught at FP	T <sub>FP</sub>	[m]	4.000
Draught at AP	T <sub>AP</sub>	[m]	4.000
Trim (pos. aft)	t	[m]	0.000
Rake of keel		[m]	0.000
Rise of floor		[m]	0.000
Bilge radius		[m]	0.000
Sea water density	ρ <sub>s</sub>	[kg/m <sup>3</sup> ]	1025.00
Shell plating thickness		[mm]	2
Shell plating in % of displ.		[%]	0.40
Volume displacement	∇	[m <sup>3</sup> ]	1134.0
Displacement	Δ	[t]	1167.0
Prismatic coefficient*	C <sub>P</sub>	[-]	0.6513
Block coefficient*	C <sub>B</sub>	[-]	0.5993
Midship section coefficient	C <sub>M</sub>	[-]	0.9201
Longitudinal C.B. from L <sub>PP</sub> /2	LCB	[m]	0.013
Longitudinal C.B. from L <sub>PP</sub> /2*	LCB	[% L <sub>PP</sub> ]	0.031
Longitudinal C.B. from AP	LCB	[m]	21.545
Wetted surface	S	[m <sup>2</sup> ]	641.27
Wetted surface of transom stern	A <sub>T</sub>	[m <sup>2</sup> ]	3.32

Remarks: \*Refers to L<sub>PP</sub>  
Hydrostatic corrections not included

ShipX (RepGen version 2.0.22) 18-May-2021 15:56:28 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>INPUT (1/2)</b>	ENCL. 2)
	REPORT
	DATE 2021-05-18
	REF

**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**

**General Settings**

---

Method: Capability Study (manual input)  
Ship Heading 0.0 deg  
Calculation Step 10 deg  
Maximum Thrust Utilization 100.0 %  
Allocation: Internal (weighted) (v2.0.101)  
Force Generator Interaction Effects false  
Hull Interaction Effects false  
Force Generator Ventilation Effects false  
Current Velocity Effects false

**Environmental Settings**

---

Environmental Conditions: Iterated

**Wind**

Direction Rotate  
Wind Velocity Variable  
Front Projected Area 132.0 m<sup>2</sup>  
Side Projected Area 333.0 m<sup>2</sup>  
Ship Type Research Vessel

**Wind Generated Current**

Direction Rotate (0.0 deg offset)  
Current Velocity Variable  
Ship Type Ferry

**Wave**

Direction Rotate (0.0 deg offset)  
Wind-Wave Relation IMCA M140 Rev.1 January  
2017  
Wave Spectrum JONSWAP  
File Location C:\Program Files (x86)\ShipX\Plugin\Wave Coeff  
DB\Supply Vessel 2.re2  
Significant Height Variable  
Peak Period Variable  
Gamma 3.30 -

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:29 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>INPUT (2/2)</b>	ENCL. 3)
	REPORT
	DATE 2021-05-18
	REF

**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**

**Force Generators**

---

FGen 1: Hovedpropell  
FGen 2: Bau thruster  
FGen 3: Hekk thruster

**Input**

---

FGen	In Use	X Pos [m]	Y Pos [m]	Power [kW]	Switch Board
1	Yes	1.500	0.000	1200	#1
2	Yes	38.700	0.000	500	#1
3	Yes	0.000	0.000	500	#1

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:29 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>FORCE GENERATOR 1</b>	ENCL.	4)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**  
**Ship Heading: 0.0 deg**  
**Name: Hovedpropell**

Env. [deg]	Force [kN]	Dir. [deg]	Thrust [kN]	Rudder [deg]	Revs [rpm]	Power [kW]
0.0	-143.6	0.0	-143.6	0.0	-182.5	1200
10.0	-143.5	0.0	-143.5	-0.0	-182.4	1199
20.0	-143.5	0.0	-143.5	0.0	-182.4	1199
30.0	-94.5	0.0	-94.5	0.0	-148.0	790
40.0	-60.4	0.0	-60.4	0.0	-118.3	505
50.0	-38.0	0.0	-38.0	0.0	-93.9	318
60.0	-23.1	0.0	-23.1	-0.0	-73.2	193
70.0	-9.5	0.0	-9.5	0.0	-46.9	79
80.0	0.0	-35.0	0.0	0.0	0.0	0
90.0	7.6	-35.0	9.4	-24.6	47.1	55
100.0	13.7	-35.0	16.9	-24.6	63.2	99
110.0	22.0	-35.0	27.2	-24.6	80.2	159
120.0	31.3	-35.0	38.7	-24.6	95.6	227
130.0	34.5	-35.0	42.7	-24.6	100.3	250
140.0	40.3	-35.0	49.9	-24.6	108.5	292
150.0	54.6	-35.0	67.6	-24.6	126.3	396
160.0	87.0	-35.0	107.6	-24.6	159.3	629
170.0	150.0	-35.0	185.6	-24.6	209.2	1086
180.0	199.9	0.0	205.2	-0.8	220.0	1200
190.0	150.0	35.0	180.7	23.4	206.5	1057
200.0	87.0	35.0	104.8	23.4	157.2	613
210.0	54.7	35.0	65.8	23.4	124.6	385
220.0	40.3	35.0	48.6	23.4	107.0	284
230.0	34.5	35.0	41.5	23.4	99.0	243
240.0	31.3	35.0	37.7	23.4	94.3	221
250.0	22.0	35.0	26.5	23.4	79.1	155
260.0	13.7	35.0	16.5	23.4	62.4	96
270.0	7.6	35.0	9.2	23.4	46.5	54
280.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0
290.0	-9.5	0.0	-9.5	-0.0	-46.9	79
300.0	-23.1	0.0	-23.1	-0.0	-73.2	193
310.0	-38.0	0.0	-38.0	0.0	-93.9	318
320.0	-60.4	0.0	-60.4	-0.0	-118.3	505
330.0	-94.5	0.0	-94.5	-0.0	-148.0	790
340.0	-143.5	0.0	-143.5	0.0	-182.4	1199
350.0	-143.5	0.0	-143.5	0.0	-182.4	1199

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:29 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>FORCE GENERATOR 2</b>	ENCL.	5)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**  
**Ship Heading: 0.0 deg**  
**Name: Bau thruster**

Env. [deg]	Force [kN]	Dir. [deg]	Revs [rpm]	Power [kW]
0.0	0.0	90.0	-0.0	0
10.0	-20.7	90.0	-51.2	143
20.0	-50.0	90.0	-79.5	345
30.0	-57.8	90.0	-85.6	400
40.0	-59.3	90.0	-86.7	410
50.0	-63.1	90.0	-89.4	436
60.0	-65.4	90.0	-91.0	452
70.0	-65.4	90.0	-91.0	452
80.0	-65.4	90.0	-91.0	452
90.0	-65.4	90.0	-91.0	452
100.0	-65.4	90.0	-91.0	452
110.0	-65.4	90.0	-91.0	452
120.0	-65.4	90.0	-91.0	452
130.0	-65.4	90.0	-91.0	452
140.0	-65.4	90.0	-91.0	452
150.0	-65.4	90.0	-91.0	452
160.0	-65.4	90.0	-91.0	452
170.0	-65.4	90.0	-91.0	452
180.0	0.0	90.0	-0.0	0
190.0	65.4	90.0	91.0	452
200.0	65.4	90.0	91.0	452
210.0	65.4	90.0	91.0	452
220.0	65.4	90.0	91.0	452
230.0	65.4	90.0	91.0	452
240.0	65.4	90.0	91.0	452
250.0	65.4	90.0	91.0	452
260.0	65.4	90.0	91.0	452
270.0	65.4	90.0	91.0	452
280.0	65.4	90.0	91.0	452
290.0	65.4	90.0	91.0	452
300.0	65.4	90.0	91.0	452
310.0	63.1	90.0	89.4	436
320.0	59.3	90.0	86.7	410
330.0	57.8	90.0	85.6	400
340.0	50.0	90.0	79.5	345
350.0	20.7	90.0	51.2	143

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:29 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>FORCE GENERATOR 3</b>	ENCL.	6)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**  
**Ship Heading: 0.0 deg**  
**Name: Hekk thruster**

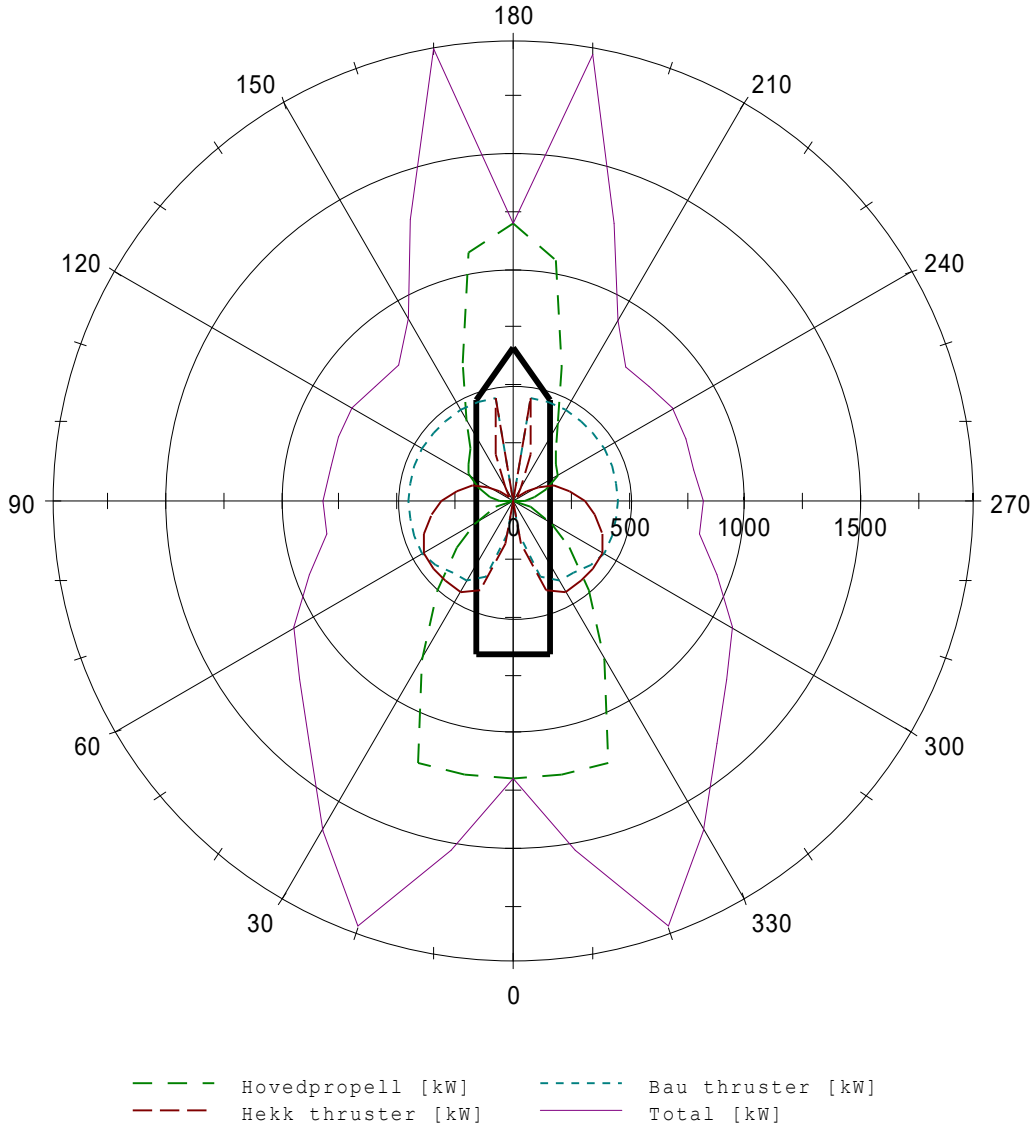
Env. [deg]	Force [kN]	Dir. [deg]	Revs [rpm]	Power [kW]
0.0	0.0	90.0	-0.0	0
10.0	-26.7	90.0	-61.0	184
20.0	-59.6	90.0	-91.2	412
30.0	-65.1	90.0	-95.4	450
40.0	-65.1	90.0	-95.4	450
50.0	-65.1	90.0	-95.4	450
60.0	-64.5	90.0	-94.9	446
70.0	-59.0	90.0	-90.8	408
80.0	-52.3	90.0	-85.4	361
90.0	-45.2	90.0	-79.5	312
100.0	-35.6	90.0	-70.6	246
110.0	-27.1	90.0	-61.5	187
120.0	-17.8	90.0	-49.9	123
130.0	-10.3	90.0	-37.9	71
140.0	-3.1	90.0	-20.9	22
150.0	9.4	90.0	36.3	65
160.0	30.8	90.0	65.6	213
170.0	64.7	90.0	95.1	447
180.0	0.0	90.0	-0.0	0
190.0	-64.7	90.0	-95.1	447
200.0	-30.8	90.0	-65.6	213
210.0	-9.4	90.0	-36.3	65
220.0	3.1	90.0	20.9	22
230.0	10.3	90.0	37.9	71
240.0	17.8	90.0	49.9	123
250.0	27.1	90.0	61.5	187
260.0	35.6	90.0	70.6	246
270.0	45.2	90.0	79.5	312
280.0	52.3	90.0	85.4	361
290.0	59.0	90.0	90.8	408
300.0	64.5	90.0	94.9	446
310.0	65.1	90.0	95.4	450
320.0	65.1	90.0	95.4	450
330.0	65.1	90.0	95.4	450
340.0	59.6	90.0	91.2	412
350.0	26.7	90.0	61.0	184

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:29 - Licensed to: NTNU (NTNU)



<b>FORCE GENERATOR PROPELLER POWER</b>	ENCL. 7)
	REPORT
	DATE 2021-05-18
	REF

**Ship: Forskningskip  
Run : Stationkeeping**



External:  
 Variable wind velocity rotating 360 deg  
 Variable wind generated current velocity rotating 360 deg (0.0 deg offset)  
 Variable wave height rotating 360 deg (0.0 deg offset)

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:29 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>FORCE GENERATOR PROPELLER POWER</b>	ENCL.	8)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

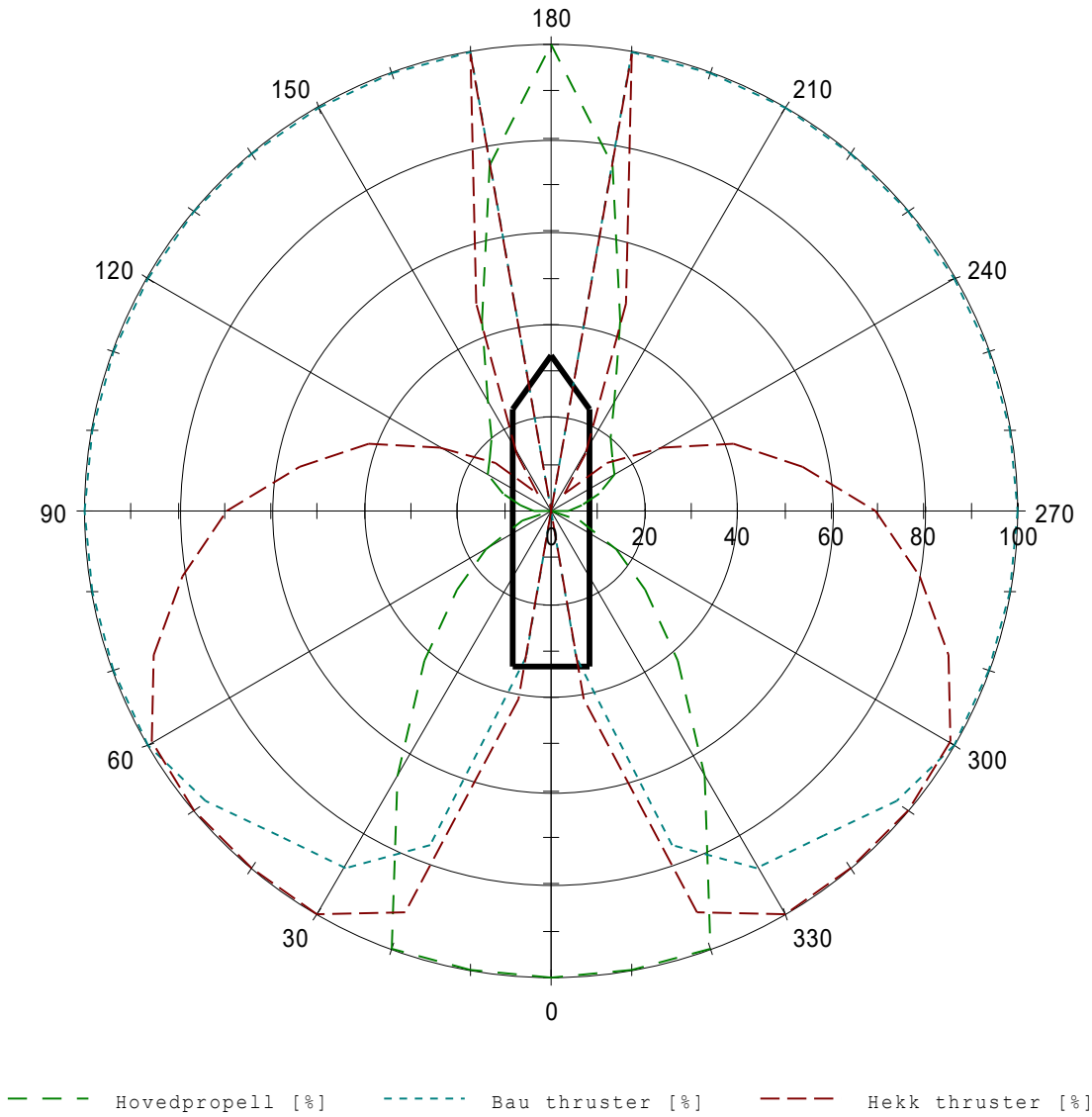
**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**  
**Ship Heading: 0.0 deg**

Env. [deg]	FGen 1 [kW]	FGen 2 [kW]	FGen 3 [kW]	Total [kW]
Inst.	1200	500	500	2200
0.0	1200	0	0	1200
10.0	1199	143	184	1527
20.0	1199	345	412	1956
30.0	790	400	450	1640
40.0	505	410	450	1365
50.0	318	436	450	1204
60.0	193	452	446	1091
70.0	79	452	408	939
80.0	0	452	361	813
90.0	55	452	312	820
100.0	99	452	246	798
110.0	159	452	187	799
120.0	227	452	123	802
130.0	250	452	71	773
140.0	292	452	22	765
150.0	396	452	65	913
160.0	629	452	213	1295
170.0	1086	452	447	1985
180.0	1200	0	0	1200
190.0	1057	452	447	1956
200.0	613	452	213	1278
210.0	385	452	65	902
220.0	284	452	22	758
230.0	243	452	71	766
240.0	221	452	123	796
250.0	155	452	187	795
260.0	96	452	246	795
270.0	54	452	312	818
280.0	0	452	361	813
290.0	79	452	408	939
300.0	193	452	446	1091
310.0	318	436	450	1204
320.0	505	410	450	1365
330.0	790	400	450	1640
340.0	1199	345	412	1956
350.0	1199	143	184	1527

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:30 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>FORCE GENERATOR LOAD</b> <b>(force based)</b>	ENCL. 9)
	REPORT
	DATE 2021-05-18
	REF

**Ship: Forskningskip**  
**Run : Stationkeeping**



External:  
 Variable wind velocity rotating 360 deg  
 Variable wind generated current velocity rotating 360 deg (0.0 deg offset)  
 Variable wave height rotating 360 deg (0.0 deg offset)

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:30 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>FORCE GENERATOR LOAD</b> <b>(force based)</b>	ENCL.	10)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

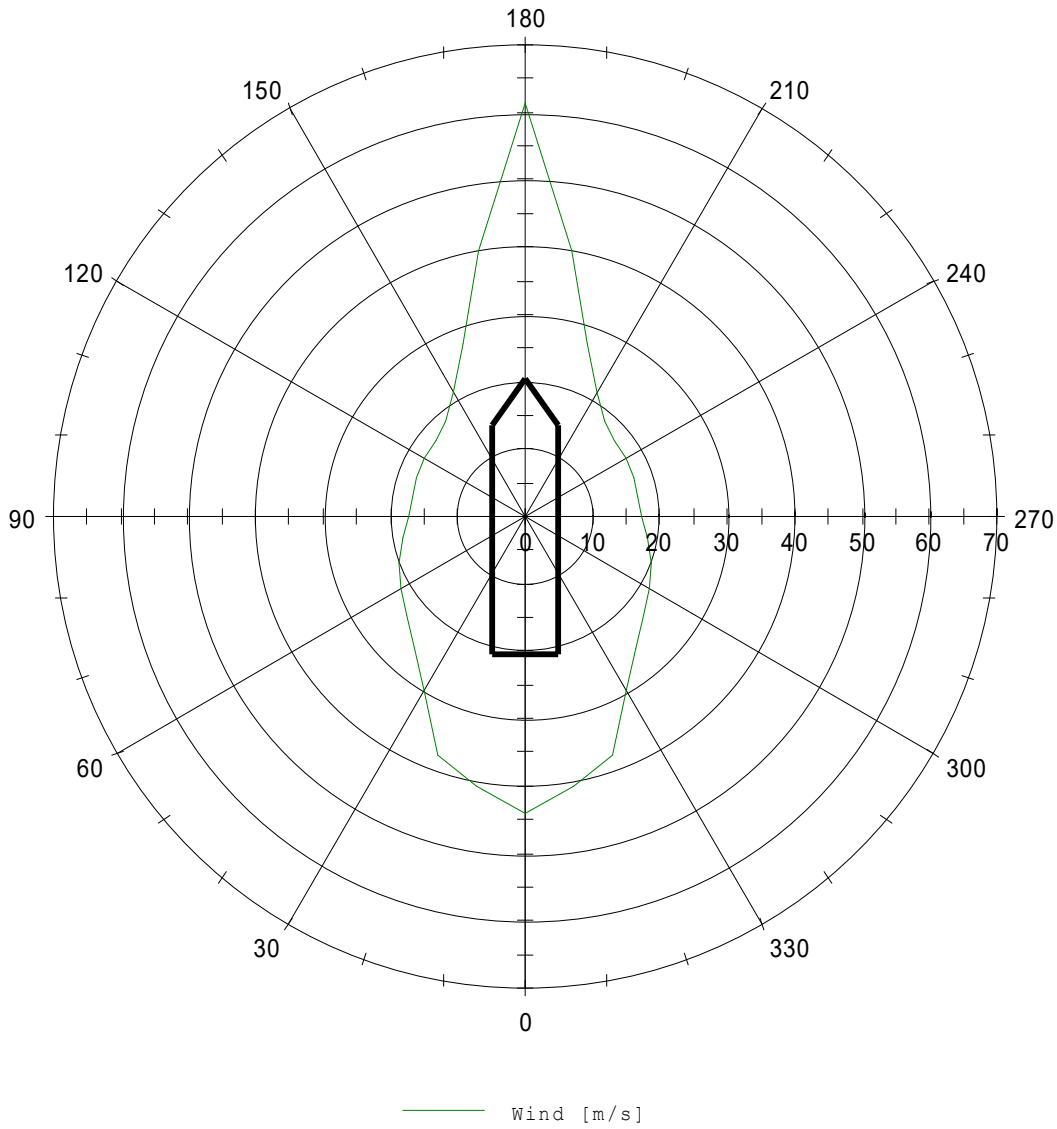
**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**  
**Ship Heading: 0.0 deg**

Env. [deg]	FGen 1 [%]	FGen 2 [%]	FGen 3 [%]
0.0	100.0	0.0	0.0
10.0	99.9	31.7	40.9
20.0	99.9	76.4	91.5
30.0	65.8	88.4	100.0
40.0	42.1	90.7	100.0
50.0	26.5	96.5	100.0
60.0	16.1	100.0	99.0
70.0	6.6	100.0	90.6
80.0	0.0	100.0	80.3
90.0	3.8	100.0	69.4
100.0	6.8	100.0	54.7
110.0	11.0	100.0	41.6
120.0	15.7	100.0	27.4
130.0	17.2	100.0	15.8
140.0	20.2	100.0	4.8
150.0	27.3	100.0	14.5
160.0	43.5	100.0	47.4
170.0	75.1	100.0	99.4
180.0	100.0	0.0	0.0
190.0	75.1	100.0	99.4
200.0	43.5	100.0	47.4
210.0	27.3	100.0	14.5
220.0	20.2	100.0	4.8
230.0	17.2	100.0	15.8
240.0	15.7	100.0	27.4
250.0	11.0	100.0	41.6
260.0	6.8	100.0	54.7
270.0	3.8	100.0	69.4
280.0	0.0	100.0	80.3
290.0	6.6	100.0	90.6
300.0	16.1	100.0	99.0
310.0	26.5	96.5	100.0
320.0	42.1	90.7	100.0
330.0	65.8	88.4	100.0
340.0	99.9	76.4	91.5
350.0	99.9	31.7	40.9

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:30 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>CAPABILITY</b>	ENCL. 11)
	REPORT
	DATE 2021-05-18
	REF

**Ship: Forskningskip  
Run : Stationkeeping**



External:  
 Variable wind velocity rotating 360 deg  
 Variable wind generated current velocity rotating 360 deg (0.0 deg offset)  
 Variable wave height rotating 360 deg (0.0 deg offset)

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:30 - Licensed to: NTNU (NTNU)

<b>CAPABILITY</b>	ENCL.	12)
	REPORT	
	DATE	2021-05-18
	REF	

**Ship: Forskningsskip**  
**Run : Stationkeeping**  
**Ship Heading: 0.0 deg**

Env. [deg]	Wind [m/s]	Wave Hs [m]	Wave Tp [s]	Current [m/s]
0.0	44.2	20.4	21.7	1.32
10.0	40.8	18.7	20.5	1.22
20.0	37.7	17.1	19.4	1.13
30.0	29.9	12.4	16.5	0.90
40.0	25.7	10.1	14.9	0.77
50.0	22.8	8.6	13.8	0.68
60.0	21.2	7.8	13.1	0.63
70.0	19.9	7.2	12.6	0.60
80.0	18.5	6.6	12.0	0.56
90.0	17.4	6.1	11.6	0.52
100.0	17.1	5.9	11.4	0.51
110.0	17.1	5.9	11.4	0.51
120.0	17.2	6.0	11.5	0.52
130.0	17.3	6.0	11.5	0.52
140.0	18.5	6.6	12.0	0.56
150.0	21.2	7.8	13.1	0.64
160.0	27.3	11.0	15.6	0.82
170.0	40.0	18.3	20.3	1.20
180.0	61.4	26.0	26.2	1.84
190.0	40.0	18.3	20.3	1.20
200.0	27.3	11.0	15.6	0.82
210.0	21.2	7.8	13.1	0.64
220.0	18.5	6.6	12.0	0.56
230.0	17.3	6.0	11.5	0.52
240.0	17.2	6.0	11.5	0.52
250.0	17.1	5.9	11.4	0.51
260.0	17.1	5.9	11.4	0.51
270.0	17.4	6.1	11.6	0.52
280.0	18.5	6.6	12.0	0.56
290.0	19.9	7.2	12.6	0.60
300.0	21.2	7.8	13.1	0.63
310.0	22.8	8.6	13.8	0.68
320.0	25.7	10.1	14.9	0.77
330.0	29.9	12.4	16.5	0.90
340.0	37.7	17.1	19.4	1.13
350.0	40.8	18.7	20.5	1.22

ShipX (Station Keeping version 6.1.7) 18-May-2021 15:56:30 - Licensed to: NTNU (NTNU)

---

**J Spesifikasjon**

---

**Vedlegg J  
Spesifikasjon**

---

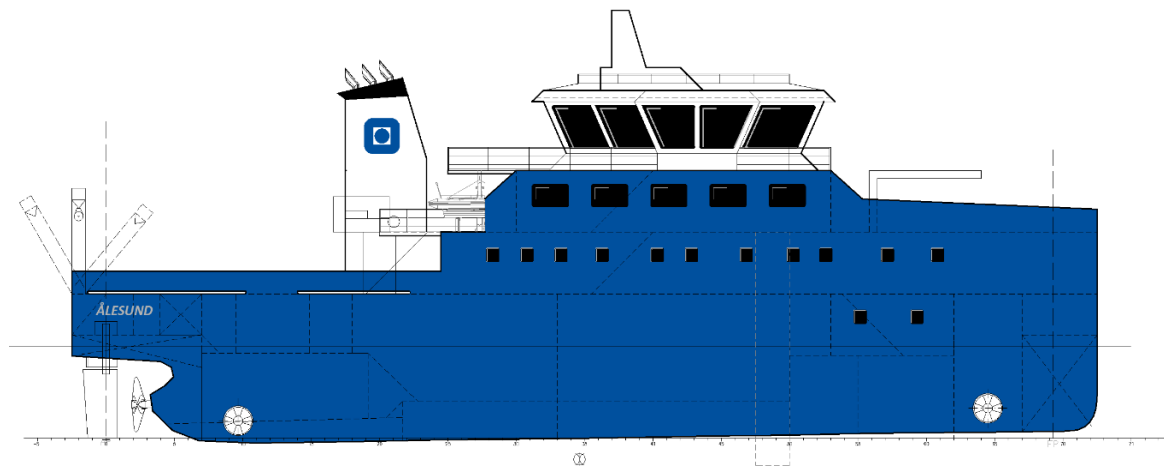
---

Andreas Nordal og Henriette Husevåg Førde  
Bacheloroppgave  
Skipsdesign - NTNU Ålesund

# Kort spesifikasjon

## For

### 45m x 11m



Tverrfaglig forskningsfartøy



---

## Skipet generelt

Spesifikasjonen beskriver et forskningsskip arrangert som et tverrfaglig forskningsfartøy. Skipet er utstyrt for å kunne utføre mer er ikke begrenset til følgende oppgaver: Geologiske bunnprøver, akustisk survey, bunnkartlegging, artskartlegging, signalbøye service, vannprøver, kartlegging av marine pattedyr og generell undervannssurvey ved bruk av AUV.

### Hoveddimensjoner

Lengde over alt	45 m
Lengde mellom p.p	41,6 m
Bredde	11 m
Dybde i riss til hoveddekk	6,3 m
Dypgang lastet	4 m
Spanteavstand	600 mm

Tonnasje	Ca. 892 BT
Transit	11 knop
DP kapabilitet	DP1
Utholdenhet	5 døgn

Innredning: 16 personer i enkeltmannslugarer. 12 lugarer for forskere og 4 lugarer for mannskap. 6 lugarer har eget bad. Resterende lugarer deler bad med nabolugaren.

### Kapasiteter

Ferskvann	25 m <sup>3</sup>
LNG	102,7 m <sup>3</sup>
Diesel	42.3 m <sup>3</sup>

Dekkareal (Arbeidsdekk)	Ca. 128 m <sup>2</sup>
Dekkslast	30 t
30 fot container	1 stk
20 fot container	1 stk
10 fot container	1 stk

---

## Klassenotasjon, operasjonsområde

Liten kystfart innenfor 20 nautiske mil fra norskekysten.

Flagg: Norsk flagg

Klasse: DNV GL

Klassenotasjon: + 1A, Gas Fuelled, Battery Power, E0 (opsjon)

Skipet skal sertifiseres som et lasteskip. Det er derfor max 12 passasjerer/forskere som kan være om bord.

## Dekksutstyr

Arbeidskran	8t @ 10meter
Proviantkran	2t @ 12meter
A - ramme	12t
2 x Trålvinsj	1500m x 16mm vaier
T-ramme	8t
Kombiwinch	

## Instrument om bord

CTD	
ADCP	
Multibeam ekkolodd	EM2040 eller lignende
Sub bottom profile	Topas eller lignende
Posisjoneringssystem	Hipap eller lignende

## Laboratorium og forskningsfasiliteter

Våtlaboratorium	23m <sup>2</sup>
Tørrlaboratorium	19m <sup>2</sup>
Tilknyttet lagerrom (inkl. Kjøleskap og fryser)	7,3m <sup>2</sup>
Operasjonsrom	12,3m <sup>2</sup>

---

## Propulsjon og manøvrering

### Diesel-Gas/elektrisk

Hovedmotor	Wärtsila 2 x 6L20DF (2x1110 kW)
Nødgenerator	
Batteri	Corvus 992 kWh
Hovedpropulsjonsmotor	1200kW (2x600 kW)
Bau thruster	500 kW
Hekk thruster	500 kW
Propeller	1xFPP; 5 blad; 2,4m diameter

### Sikkerhet

MOB båt med davit	6 personer
Redningsflåte	2 x 16 redningsflåter
Overlevingsdrakter	16
Redningsvester	16

## Anker og fortøyningsutstyr

Utrustningsnummer **383** – bokstav "I"

To stk anker installeres i bauen i kasser under. Ankervinsj monteres på 1.dekk.

---

## Arrangement av dekk

Beskrivelse av de ulike dekkene og tilhørende rom:

### Tanktop/under hoveddekk

- 1 Maskinrom
- 1 Tavlerom
- 1 Maskinkontrollrom (ECR)
- 1 Styremaskinrom
- 1 Hydraulikkrom
- 1 Gasstankrom
- 2 Enkeltlugarer med eget bad
- 2 Enkeltlugarer, deler bad med nabolugaren
- 1 Bauthrusterrom
- 1 Rulledempingstank

### Hoveddekk

- 1 Tørrlab
- 1 Våtlab
- 1 Operasjonsrom
- 1 Lager for vitenskaplig utstyr
- 1 Kombinert verksted/lager for vitenskaplig utstyr
- 1 Garderobe med toalett og skap
- 1 Nødgeneratorrom med nødtavle
- 2 Lugarer, med eget toalett
- 8 Lugarer, delt toalett med nabolugar
- 1 proviantlager
- 1 Linlager/vaskerom
- 1 Kjettingrom

---

### 1.dekk

- 1 Ventilasjon/elektronikkrom
- 1 Messe
- 1 Dagrom
- 1 Bysse
- 1 Proviant og fryselager
- 1 Møterom for 16 personer
- 1 Lugar, kaptein
- 1 Lugar, maskinist
- 1 Toalett

### Brodekk

- 1 Styrehus

### Styrhustak

- 1 Område for observasjoner

---

## Operasjonsprofil

Aktivitet	Prosent av tiden %	Fart (kn)
Transit	16	11
Ved kai	14	0
Geologiske bunnprøver	14	0
Akkustisk survey	8	9
Bunnkartlegging	14	6
Tråling	11	2
Service signalbøyer	6	0
Kartlegging av marine pattedyr	5	6
Vannprøver	3	2
Undervannssurvey (AUV)	8	5
Verksted (i dokk)	1	0
<b><u>SUM</u></b>	<b><u>100%</u></b>	

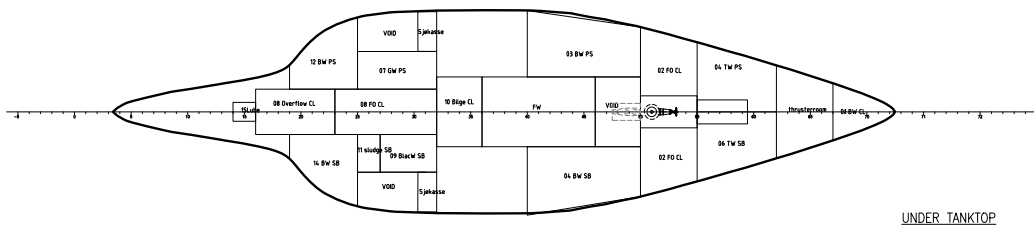
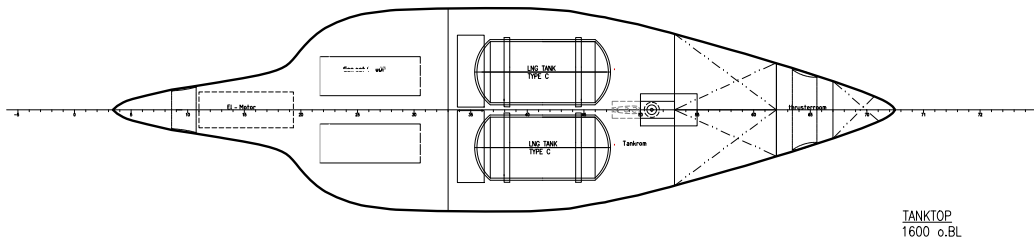
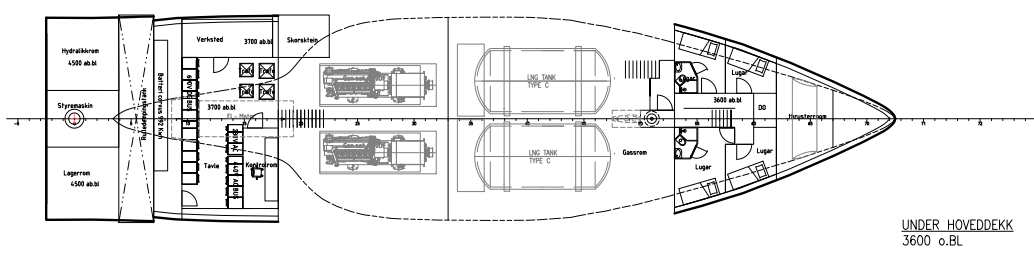
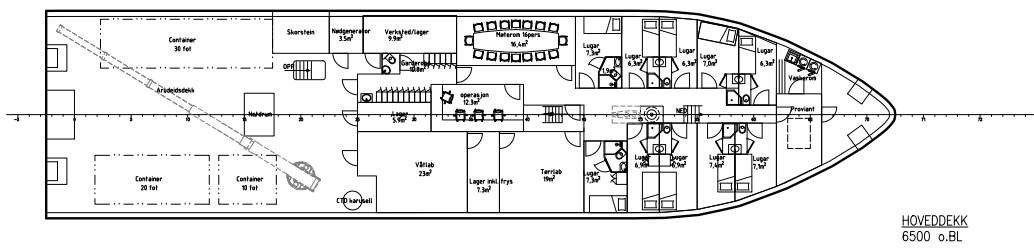
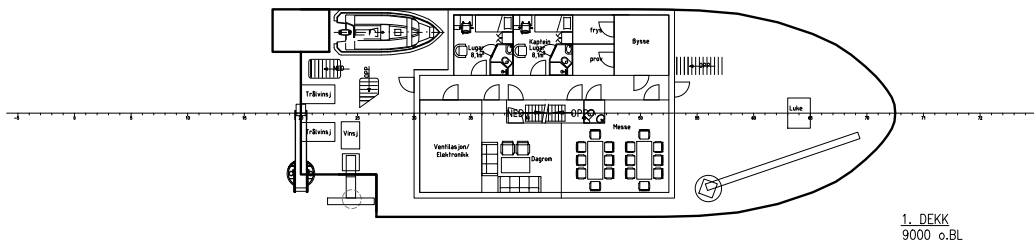
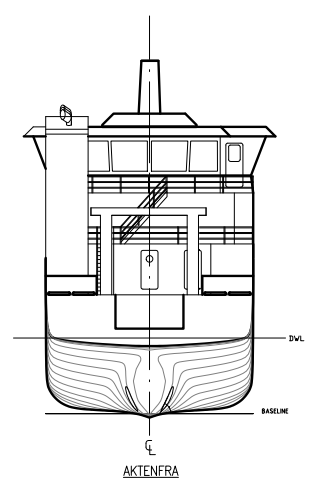
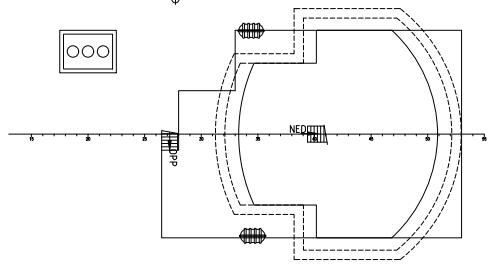
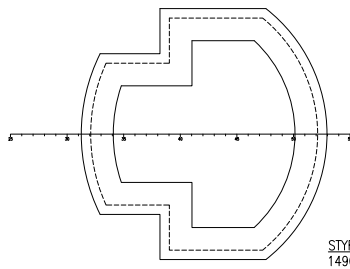
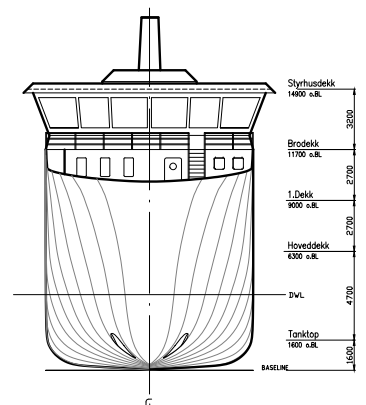
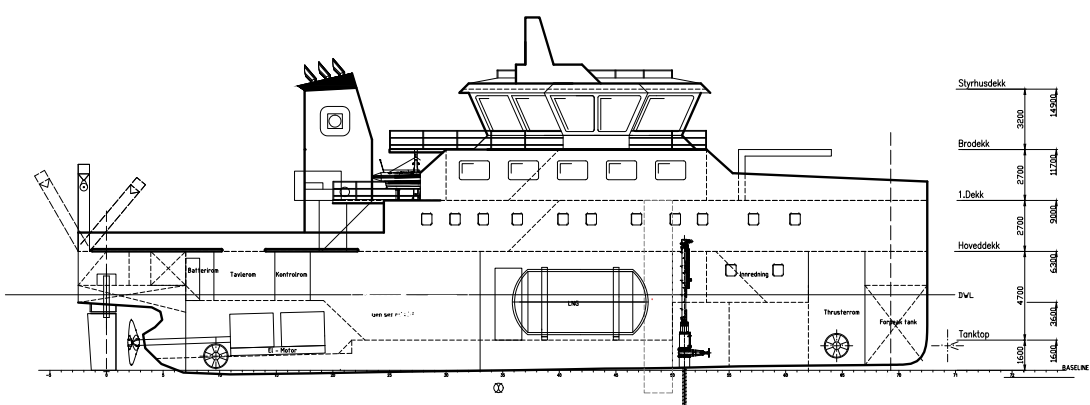
---

**K General Arrangement**

---

**Vedlegg K  
General arrangement**

---



HOVEDDIMENSJONER	
LENGDE OVER ALT	45m
LENGDE MELLOM PERPENDIKULÆRER	41,6m
BREDDEN	11m
DYBDE I RISS	6,0m
DYPGANG	4m
SPANTAVSTAND	600mm

NTNU SKIPSMESJEN	000.000.000
FORSKNINGSSKIP Generalløst	



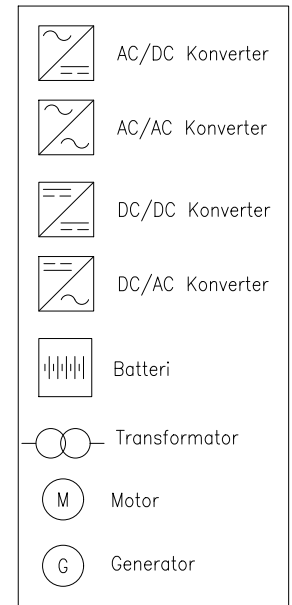
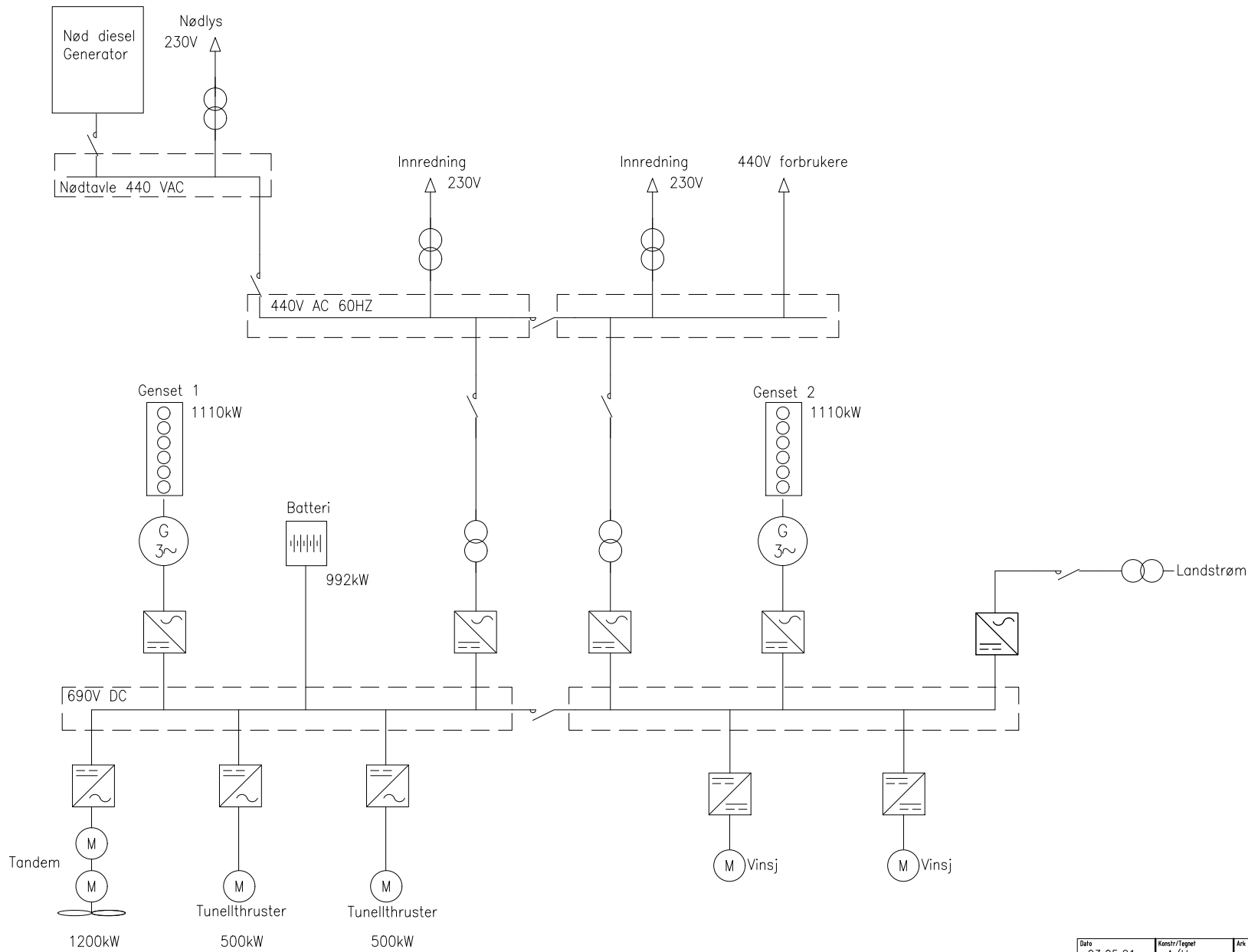
---

L Enlinjeskjema

---

Vedlegg L  
Enlinjeskjema

---



Dato	03.05.21	Konstr./Tegnet	A/H	Ark	Milestak	N/A	<b>NTNU</b> SKIPSDESIGN	
Kontroll		Stand.kontr.		Godkjent	Prosjekt.jonmetode			
FORSKNINGSSKIP Single Line Diagram							Erstattet av:	Erstattet av:
000.000.000								
Revisjon				Beregning		Gruppe		

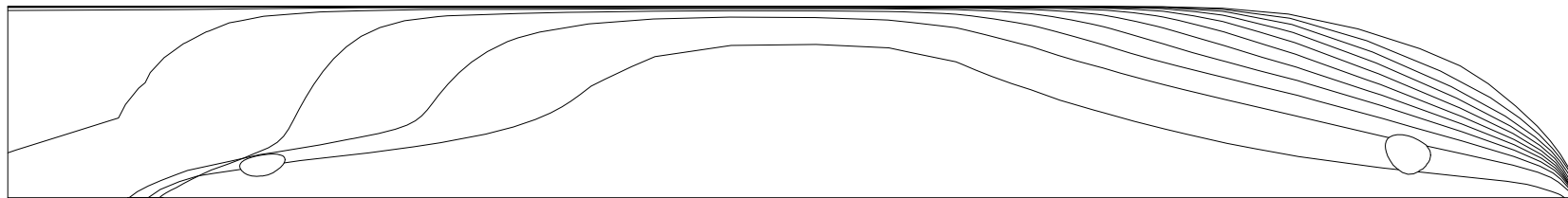
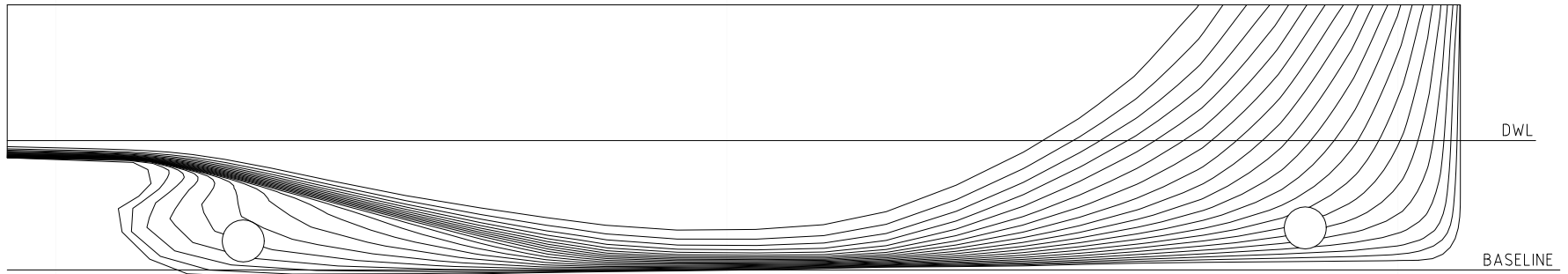
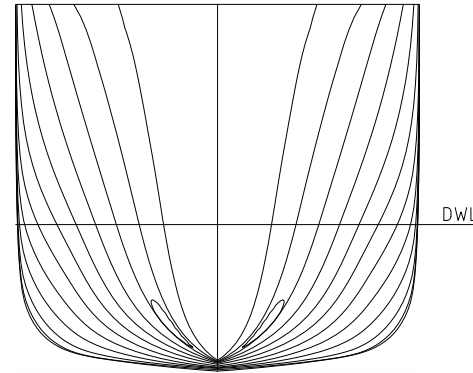
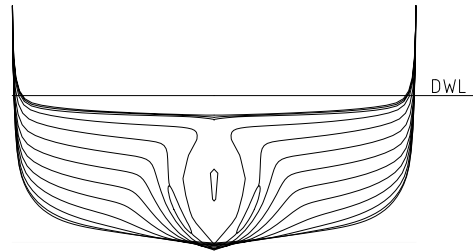
---

M Linjetegning

---

Vedlegg M  
Linjetegning

---



Date	Hensett/tegnet	Trace	Målestokk	<b>NTNU</b> Skipsdesign	
05.05.2021	AN		1 : 50 A0		
Kontroll	Stad.kontr.	Geddyent	Prosjektsjansmetode	Ersattning for:	Ersattlet av:
<b>Forskningskip</b> Linjetegning				<b>000.000.000</b>	
Henvisning		Beregning	Gruppe		

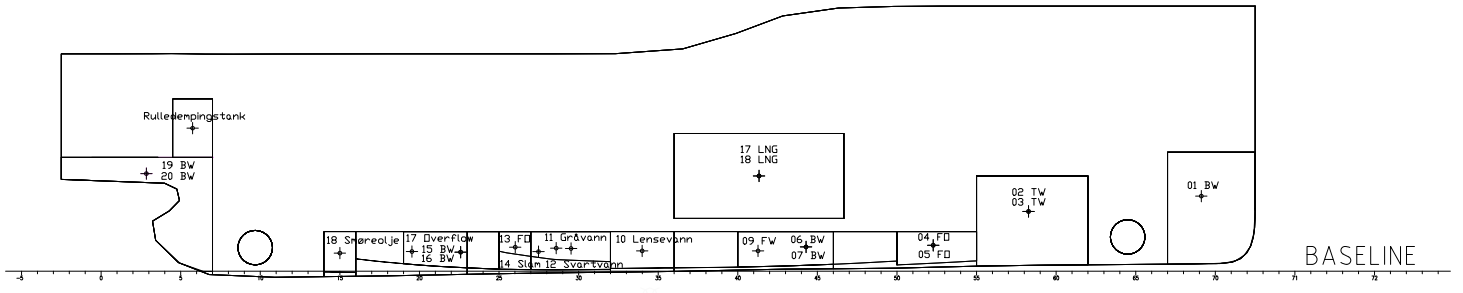
---

N Tankplan

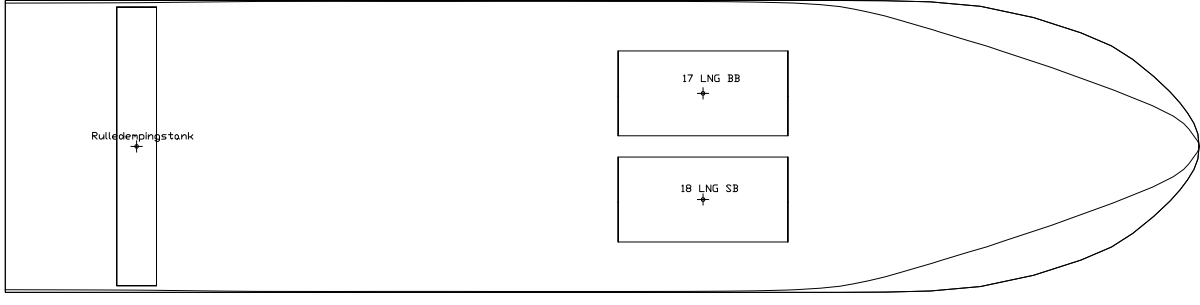
---

**Vedlegg N**  
**Tankplan**

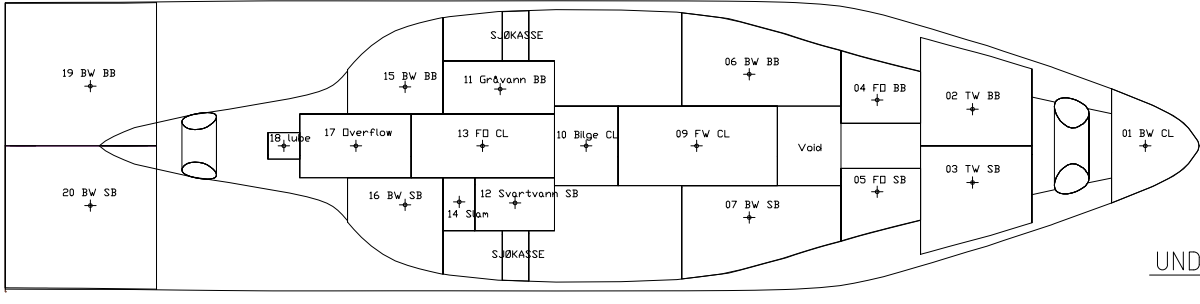
---



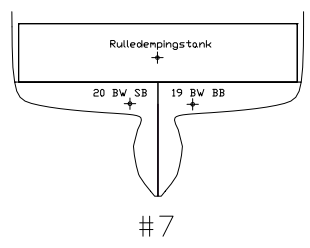
BASELINE



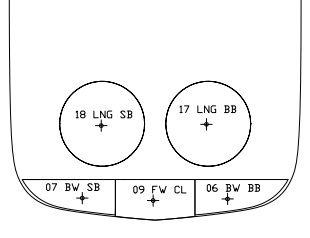
TANKTOP



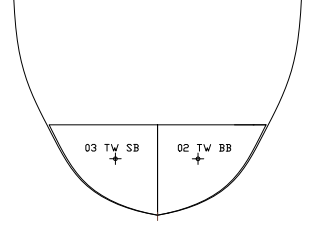
UNDER TANKTOP



#7



#43



#55

TANKKAPASITET [m <sup>3</sup> ]	
LNG	102.7
Diesel (FD)	42.3
Ferskvann (FW)	25
Svartvann	7.6
Grøvvann	10.3
Ballast (BW)	119
Teknisk vann (TW)	70
Smøreolje	2
Hydraulikkolje	2
Slam	2.75
Rulledempingstank 50%	69.3

Date	15.05.2021	Konstr/Tegnet	AN	Tracet	1:50 A0	<b>NTNU</b> Skipdesign
Kontr. / Standkontr.		Godkjent		Prosjektpersonetode		
Forskningskip Tankplan						Erstalling for:
						Erstallt av:
						000,000,000
Revisning		Beregning		Gruppe		

