



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Bacheloroppgave

IP305012 - Bacheloroppgave i skipsdesign

Prosjektering av arbeidsbåt

Kandidatnummer: 1016, 1019 og 1032

Totalt antall sider inkludert forsiden: 197

Sted: NTNU i Ålesund

Innlevert: 01.06.2016

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. **Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.**

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høyskoler i Norge, jf. Universitets- og høyskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter NTNUs studieforskrift.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20

Veileder: Arne Jan Sollied

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage med forfatter(ne)s godkjenning.

Opgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å

gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering: ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)? ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over? ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet? ja nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/FvL. §13](#))

Dato: 01.06.2016

Forord

Dette er en teknisk rapport som tar for seg prosjekteringen av en arbeidsbåt for oppdrettsnæringen. Rapporten er skrevet i sammenheng med gjennomførelse av et bachelorprosjekt for studiet ingeniørfag, skipsdesign ved NTNU i Ålesund. Bedriften Aas Mek. Verksted har stilt opp som oppdragsgiver og en viktig samarbeidspartner for prosjektgruppen.

Rapporten inneholder et teoretisk grunnlag for design, metoder for gjennomførelse og resultater fra analyser og modellering i form av tabeller, figurer og tegninger.

Vi vil rette en stor takk til veileder og studieansvarlig Arne Jan Sollied, som har vært til god hjelp i løpet av hele semesteret.

Det rettes en takk til Aas Mek. Verksted som har bidratt med tilbakemeldinger og råd for hvordan designet av arbeidsbåten kan forbedres. Vi vil spesielt takke Kim Andre Aas, Halvard Aas og Jarle Rusten.

Vi vil også rette en takk til Karl Henning Halse som har hjulpet oss med beregninger, og Lars Petter Bryne som har hjulpet oss med utforming av modell.

Sted: NTNU i Ålesund

Dato: 01.06.2016

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven er å prosjektere en arbeidsbåt med Aas Mek. Verksted som oppdragsgiver. Det skal designes et fartøy for oppdrettsnæringen som tilfredsstillende oppdragsgiverens krav om dimensjoner, kapasitet, tauekraft og arrangement. Fartøyet skal kunne bidra med frakt, slep, installasjon og inspeksjon. Vi går inn på den teoretiske delen av faget, før vi ser på hvilke metoder som tas i bruk ved prosjekteringen. Deretter ser vi på de ulike resultatene vi kommer frem til og drøfter utfallet.

Vi benytter dataprogrammet Maxsurf ved modellering og beregning av skroget. For å finne skrogvekt og langskipsstyrke bruker vi programmet Nauticus Hull. Hovedarrangementet tegnes i AutoCAD. Vi har vært nede i den nye slepetanken ved NTNU og utført et modellforsøk, og vi bruker resultatene til å regne på motstand og propulsjon.

Denne rapporten viser vår fremgangsmåte for prosjektering av en arbeidsbåt. Vi har kommet fram til en akseptabel løsning på den gitte problemstillingen. Vi har tatt hensyn til krav om dimensjoner og arrangement, sørget for at kapasitetskravene alltid har vært oppfylt, og fått bekreftet at skipet har tilstrekkelig stabilitet og tauekraft.

Innhold

Terminologi.....	9
Begreper	9
Notasjoner	13
Symboler	15
Forkortelser	16
Kapittel 1 Innledning	17
Kapittel 2 Teori.....	20
2.1 Arbeidsbåter.....	20
2.2 Hoveddimensjoner	22
2.3 Linjer.....	25
2.3.1 Linjeutforming.....	25
2.3.2 Maxsurf	28
2.4 Vektestimering.....	29
2.5 Lastkondisjoner.....	32
2.6 Hovedarrangement	34
2.7 Strukturdesign.....	36
2.7.1 Topologi	36
2.7.2 Langkipsstyrke	36
2.8 Stabilitet.....	38
2.9 Hydrodynamikk	44
2.9.1 Skrogmotstand	44
2.9.2 Propulsjon.....	45
2.9.3 Effekt og virkningsgrader.....	51
2.10 Regelverk	54
2.10.1 Stabilitet.....	54
2.10.2 Lastetilstander	54
2.10.3 Lastelinjekonvensjonen del B-2	55
2.10.4 Fribord.....	56

Kapittel 3 Metode	57
3.1 Data.....	57
3.2 Hoveddimensjoner	59
3.3 Linjer.....	65
3.3.1 Maxsurf Modeler Advanced.....	65
3.3.2 Linjetegning.....	75
3.4 Lettskipsvekt.....	76
3.5 Tverrsnittsanalyse	83
3.5.1 Nauticus Section Scantlings	83
3.5.2 Langskipsstyrke	91
3.6 Lastkondisjoner.....	94
3.7 Hovedarrangement	101
3.7.1 AutoCAD.....	101
3.7.2 Tegning av hovedarrangement	102
3.8 Hydrodynamikk	106
3.8.1 Modellforsøk	106
3.8.2 Skrogmotstand	110
3.8.3 Propulsjon.....	112
3.8.4 Effekt og virkningsgrader	113
3.8.5 Tauekraft	115
3.9 Kranoperasjoner	117
Kapittel 4 Resultater	123
4.1 Hoveddimensjoner	123
4.1.1 Lengder, bredde, dybde, dypgang og fribord	123
4.1.2 Hydrostatikk	124
4.1.3 Dekknivå	124
4.1.4 Kapasitet.....	124
4.2 Linjer.....	125
4.2.1 Maxsurf 3D-modell	125
4.2.2 Maxsurf linjer	127
4.2.3 Linjetegning.....	128
4.3 Vektestimering.....	129
4.4 Tverrsnittsanalyse	131

4.5	Lastkondisjoner	134
4.5.1	Hydrostatikk for skipet	134
4.5.2	Lettskip	136
4.5.3	Avgang Lastet.....	139
4.5.4	Avgang Ballast	142
4.5.5	Ankomst Lastet.....	145
4.5.6	Ankomst Ballast	148
4.6	Hovedarrangement	151
4.7	Hydrodynamikk	156
4.7.1	Modell	156
4.7.2	Skip.....	156
Kapittel 5 Drøfting		158
5.1	Linjeutforming	158
5.2	Arrangement	162
5.3	Tverrsnittsanalyse	166
5.4	Vekt.....	168
5.5	Lastkondisjoner.....	169
5.6	Regelverk.....	171
5.7	Hydrodynamikk	173
5.7.1	Modellforsøk	173
5.7.2	Skrogmotstand, propulsjon, effekt og virkningsgrader	175
Kapittel 6 Konklusjon		177
Referanser		178
Vedlegg		182
	Prosjektplan	182
	Større versjon av GA og planer (PDF)	183
	Linjetegning PDF versjon	192
	Last- og tankenheter i Maxsurf Stability (Avgang Lastet)	193

Terminologi

Begreper

Akter	Bakover i skipet fra nullkryss
Aktre perpendikulær	Loddrett linje gjennom skipets rorstamme
Akterskip	Den bakre delen av et skip
Appendixmotstand	Motstand som kommer av strømningsavløsning
Ballast	En variabel last som medbringer stabilitet for et fartøy
Bakk	Øvre overbygg på et skip
Baug	Den fremste delen av et skip
Bruttotonnasje	Et mål for volumet av alle benyttede innelukkende rom i et fartøy
Bøyemoment	Påkjenninger på konstruksjonsdeler
Bøyespennning	Strekk- og trykkspenninger som skapes av ytre bøyemoment
Bulb	En del av skroget, et kuleformet utspring helt forut på skipet
Blokk-koeffisient	Forholdet mellom volumet av skipets skrog under vannet og volumet av en rektangulær blokk med samme lengde, bredde og dybde
Buling	Bøying av dekk- og bunnplater når skroget er utsatt for globale momenter
Bærer	Bjelke som stivere er opplagret i, overfører punktlaster fra stiver til panel
Bølgemoment	Krefter som virker på skipsskroget når det oppe på en bølgetopp
CPP	Vribar propell med blader som kan roteres rundt egen akse for å endre stigning
Davit	En type kran som heiser MOB-båt mellom skip og sjø
Dobbeltbunn	Skip med to bunner, brukes som sikring mot grunning
Dekk	Horisontal avdekning på skipet
Deplasement	Vekt av vannvolumet fartøyet fortrenger
Dynamisk Posisjonering	En metode for å holde skip og plattformer i samme posisjon over havbunnen uten bruk av anker, men ved hjelp av fartøyets egne propeller
Dyse	Arrangement som monteres rundt propell for å øke skyvekraften ved lav hastighet
Dødvekt	Mål for lasteevnen til et skip
Dypgang	Den vertikale avstanden fra kjøllinjen til vannlinjen

Equilibrium	Stillingen et objekt ligger i når det er i likevekt
Fartsområde	Farvann som skip kan trafikkere i
Formfaktor	En korleksjon av friksjonsmotstanden for å ta hensyn til skipets fylldighet
Fremgangstall	Dimensjonsløs uttrykk for propellens innstrømningshastighet
Fyllingsvinkel	Krengvinkel der åpninger i skrog, overbygning eller styrhus dykkes ned
Forre perpendikulær	Loddrett linje gjennom punkt på skipet som krysser vannlinjen forut
Forut	Fremover i skipet i forhold til nullkryss
Fribord	Avstand fra vannlinje til hoveddekk
GZ-kurve	Angir forhold mellom rettende arm og krengvinkel
Grensesjikt	Et sjikt av væske som ligger nærmest grenseflaten mellom en strømmende væske og en fast overflate
Hylseskott	Det bakerste vanntette tverrskipsskottet som går fra kjølen til hoveddekket
Hovedarrangement	Tegning av skipets konturer med oversikt over rominndeling og utrustning
Hoveddekk	Dekk som går over hele skipets lengde
Hoveddimensjoner	Skipets grunnleggende dimensjoner
Haikjeft	Brukes for å sikre ankerkjetting på dekk
Hekk	Skipets bakerste del
Hogging-moment	Bøyemomentene buer oppover langs skipet på grunn av oppdriftskrefter
Hydrodynamikk	Læren om væsker og gasser i bevegelse
Hydrostatikk	Læren om væsker som ligger i ro
Innenriksfart	Fartsområde på innsjøer og elver i Norge, og langs den norske kysten
Innstrømningshastighet	Hastigheten til strømmingen inn mot propellen
Kavitasjon	Det dannes gassbobler som imploderer i en væske, dette fører til skader på overflaten
Kinematisk viskositet	Forholdet mellom en væskes dynamiske viskositet og dens tetthet
Kjøel	Nederste del, sentralt på skipet
Krengning	Når skipet opplever påkjenninger som gjør at det ruller mot den ene siden

Kritisk snitt	Det snittet hvor skipet er mest sårbar for påkjenninger
Kollisjonsskott	Vanntett tverrskipsskott som går fra kjølen til hoveddekket helt forut
Knop	En måleenhet for skipets fart
Lastkondisjon	Tilstanden skipet er i med hensyn på last, ballast og øvrige tanker
Lettskipsvekt	Mål for skipets vekt uten dødvekter
Levert effekt	Effekt levert til propellen gjennom aksling
Liten kystfart	Fartsområde på den norske kyst, hvor skipet passerer åpne havstrekninger på over 25 nautiske mil
Massetetthet (Densitet)	Massen av et stoff per volum
Medstrømsfaktor	En koeffisient som representerer forskjellen mellom skipets hastighet og innstrømningshastigheten som propellen opplever
Motoreffekt	Effekt levert fra motor til gir
Midtskips	Midt mellom AP og FP, kalles også nullkryss
Midtspant	Tverrsnittet i nullkryss
Motstandsmoment	Geometrisk enhet for et tverrsnitt, brukt i design av strukturelementer
Messe	Spise- og oppholdsrom ombord i skip
Metasenterhøyde	Avstanden fra skipets tyngdepunkt til metasenter
Materialfaktor	Faktor bestemt av hvilken styrkegruppe stålet er i
Nullkryss	Vertikal linje i senter mellom AP og FP
Oppdrift	Summen av trykkreftene som virker på et legeme som er helt eller delvis neddykket i en væske eller gass
Profil	Skipet sett fra siden
Plan	Skipet sett ovenfra
Panel	Sammenstilling av plate, stiver og bærer
Prosjektering	Planlegging, forberedelse
Propulsjon	Framdrift
Rettende arm	Avstand mellom tyngdepunktet og en vertikal linje gjennom oppdriftspunktet ved krenkning
Reduksjonsgir	Et mekanisk system som benyttes for å redusere rotasjonshastigheten for en inngående aksel til en langsommere rotasjonshastighet på utgående aksel
Rettemoment	Det momentet som må til for å rette opp skipet til oppreist posisjon

Stiver	Opplager for plater, overfører linjelast fra plate til bærer
Skrog	Skipets form, den flytende delen av skipet
Slag	Overgang mellom bunn og skuteside
Stille vannsmoment	De kreftene som virker på skipsskroget når det ligger i stille sjø
Skag	En finneformet forlengelse av skipet akterut
Skott	Vertikale skillevegger i et skip
Sagging-moment	Bøyemomentene buer nedover langs skipet på grunn av oppdriftskreftene som virker på skipet
Slamming	Påkjenninger på bunnstrukturen av et skip mot vannoverflaten
Slepeeffekt	Effekt som går med til å slepe skipet ved en gitt hastighet
Spant	Posisjonen til en hver avstivning av huden i et fartøy
Spanteavstand	Avstanden mellom hvert spant på skroget
Spanteriss	Del av linjetegning som viser skrogets tverrsnitt sett forfra og bakfra
Spesifikasjon	En formell beskrivelse av et produkt eller en tjeneste, for eksempel utlevert fra leverandør
Stigning (Pitch)	Den teoretiske lengden en propell beveger seg i løpet av en omdreining
Slepemotstand	Den motstanden et skip er påført under slep ved en gitt hastighet
Tanktop	Det innerste dekket i dobbeltbunnen
Tauekraft	Summen av total thrustkraft minus skrogmotstand ved en viss hastighet
Thrustkraft/Skyvekraft	Når en masse akselereres i en retning oppstår det en kraft av lik norm i motsatt retning
Thrusteffekt/Skyveeffekt	Effekt propellen leverer for å drive skipet fremover
Thrustreduksjonsfaktor	Sier noe om ekstra motstand som virker på skipsskroget på grunn av strømningsendringene propellen skaper
Treghetskrefter	Krefter som virker mellom to legemer på grunn av massen de
Tverrsnitt	Et snitt gjennom et legeme, vinkelrett på lengderetningen til legemet, samt flaten som dannes
Trim	Forskjellen på dypgående forut og dypgående akterut
Utkapp	Et hull som muliggjør sammenslåing av flere tanker
Uniform strømming	Når det er ingen friksjon langs en strømlinje
Vanntett skott	Skillevegg som deler skipet inn i vanntette rom
Vanntett	Det å ha arrangement og dimensjoner som hindrer lekkasje

Virkningsgrad	Forholdet mellom avgitt og tilført effekt
Viskøse krefter	Krefter mellom et legeme og en væske eller gass som beveger seg forbi det
Vær-tett	Menes at vann ikke kan trenge inn i skipet uansett vær og sjø
Wake	Bølgemønster i vannoverflaten bak et objekt i strømming, eller et bevegelig objekt

Notasjoner

A_M	Midtskipsareal
A_W	Vannplanareal
A	Areal
B	Oppdriftssenter
B	Skipets bredde
BM	Avstand fra oppdriftspunkt til metasenter
C_B	Blokk-koeffisient
C_W	Bølgelast-koeffisient
C_P	Prismatisk koeffisient
C_F	Friksjonsmotstandskoeffisient
C_R	Restmotstandskoeffisient
C_T	Totalmotstandskoeffisient
C_M	Midtskipsspant-koeffisient
C_{WL}	Vannlinje-koeffisient
D	Propelldiameter
D	Skipets dybde
E	Elastisitetsmodul
f_l	Materialfaktor
F_n	Froudes tall
GM	Metasenter-høyde i meter
GZ	Rettende arm i meter
g	Tyngdeakselerasjon
G	Tyngdepunkt
J_a	Framgangstall
K	Kjøl
K_T	Thrustkoeffisient

K_Q	Momentkoeffisient
KG	Avstand fra kjøøl til skipets tyngdepunkt i meter
KM	Avstand fra kjøøl til metasenter
l	Stiverens spennlengde
L	Skipets lengde
LCB	Langskips plassering av oppdriftspunkt
LCG	Langskips plassering av tyngdepunkt
M_s	Stillevannsmoment
M_w	Bølgemoment
m	Meter
M	Metasenter
n	Propellurtall
p	Trykk
P_B	Effekt levert fra motor
P_E	Slepeeffekt
P_D	Akseleffekt levert til propell
P_T	Thrusteffekt
Q	Dreiemoment
Re	Reynolds tall
R_T	Slepemotstand
s	Stiveravstand
S	Areal av våt overflate
t	Platetykkelse
t	Thrustreduksjonsfaktor
t	Tonn
T	Thrustkraft (skyvekraft)
T	Skipets dypgang
TK	Taukraft (bollard pull)
V	Hastighet
V_a	Innstrømningshastighet
V_m	Modellens hastighet
V_s	Skipets hastighet
VCG	Vertikal plassering av tyngdepunkt
w	Medstrømsfaktor

Z	Motstandsmoment
Z_a	Faktisk motstandsmoment ved midtskip
Z_b	Motstandsmoment ved bunn
Z_d	Motstandsmoment ved hoveddekk
Z_r	Regel motstandsmoment ved midtskip
η_0	Propellvirkningsgrad (Åpent vann)
η_H	Skrogvirkningsgrad
η_B	Propellvirkningsgrad (Bak skipsskrog)
η_D	Propulsjonsvirkningsgrad
η_M	Mekanisk virkningsgrad
η_R	Rotasjonsvirkningsgrad
η_T	Total virkningsgrad

Symboler

Δ	Deplasement [t]
∇	Volumdeplasement [t]
σ	Spenning [N/mm ²]
σ_L	Langskips bøyespenning [N/mm ²]
θ	Vinkel i antall grader
ν	Kinematisk viskositet [m ² /s]
μ	Dynamisk viskositet [Pa•s]
λ	Modellskala
ρ	Massetetthet [kg/m ³]
η	Virkningsgrad
Φ	Fyllingsvinkel i antall grader

Forkortelser

AP	Aktre perpendikulær
CPP	Controllable Pitch Propeller
cm	Centimeter
DWT	Dead weight tons
DWL	Design water line
DP	Dynamisk posisjonering
FP	Forre perpendikulær
FO	Fuel oil
FW	Freshwater
FPP	Fixed Pitch Propeller
GA	General arrangement
ITTC	International Towing Tank Conference
kN	Kilonewton
kW	Kilowatt
L_{OA}	Lengde over alt, angir skipets totale lengde
L_{PP}	Lengde mellom perpendikulærene
L_{WL}	Lengde over vannlinjen
L_{WT}	Lettskipsvekt i tonn
mm	Millimeter
m	Meter
N	Newton
OW	Open Water (Åpent vann)
RPM	Rotations per minute
SAK	Seksjons areal kurve
TEU	Twenty Foot Equivalent Unit

Kapittel 1

Innledning

Bakgrunn

Hensikten med denne bacheloroppgaven er å prosjektere arbeidsbåten AAS 40 WB. Dette skal være et 40 meter langt fartøy som skal bidra med frakt, slep, installasjon og inspeksjon for oppdrettsnæringen. Oppdragsgiveren for prosjektet er Aas Mek. Verksted som er en familiebedrift lokalisert i Vestnes. De spesialiserte seg på design og utvikling av brønnbåter, men utfører også vedlikehold, bygging og utvikling av nye konstruksjoner i tillegg til øvrige serviceoppdrag. Bedriften framstår som moderne, kvalitetsorientert og med et godt øye for detaljer.

Aas Mek. Verksted har for øyeblikket et tilsvarende fartøy på 28 meter under bygging, som er leveringsklar i løpet av 2016. De har imidlertid interesse for å utvide sortimentet ved å prosjektere et lignende fartøy på 40 meter der lastekapasitet og tauekraft er viktige egenskaper. Arbeidsbåten skal kunne bære et flertall containere på dekk og har store kraner i forhold til størrelsen.

Problemstilling: Det skal designes et fartøy for oppdrettsnæringen som tilfredsstillende oppdragsgiverens krav om dimensjoner, kapasitet, tauekraft og arrangement.

Spesifikasjon

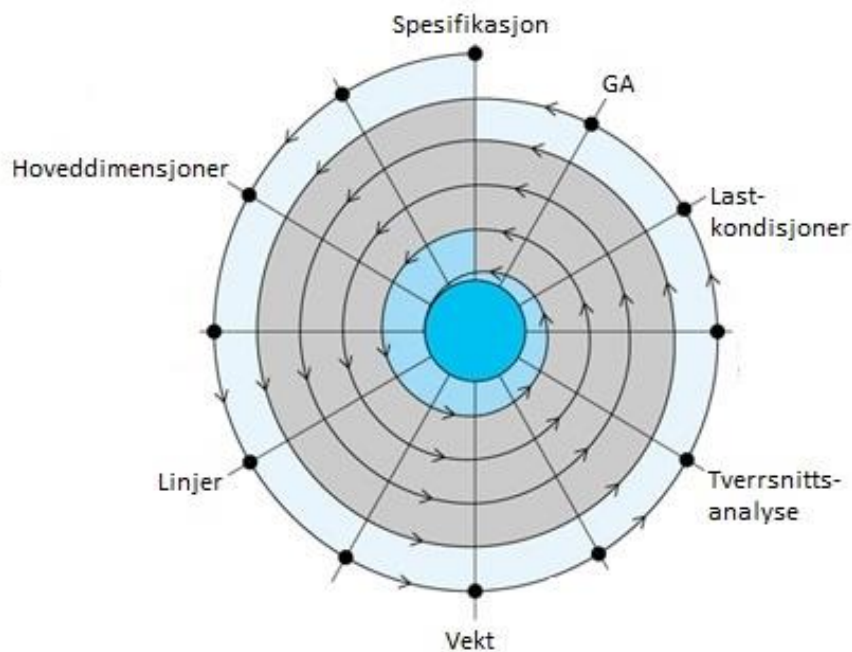
For å gjennomføre prosjekteringen av fartøyet har prosjektgruppen fått tilsendt en kravspesifikasjon for AAS 40 WB fra oppdragsgiver. Spesifikasjonen inneholder retningslinjer, forslag og nødvendig informasjon om fartøyet. Den tar for seg deler av hoveddimensjonene som danner grunnlaget for arbeidsbåten og bidrar med diverse estimater for ulike kapasiteter. Oppdragsgiver har bestemt at fartøyet skal ha en lengde på 40 meter og bredde på 12 meter. De resterende hoveddimensjonene skal utarbeides på grunnlag av dette. Videre inneholder spesifikasjonen informasjon om rigging, skrog, materialer, maskineri og ulike systemer om bord. Utstyslisten i spesifikasjonen brukes som utgangspunkt for utforming av det nye designet. Fartøyet skal bygges uklassifisert ifølge Sjøfartsdirektoratets regler for lastebåter som arbeids- og slepebåt innen oppdrett.

Prosjektmetode

For å prosjektere arbeidsbåten og løse oppgaven må prosjektgruppen jobbe med den iterative designspiralen for skipsdesign, for å til slutt ende opp med et fullverdig hovedarrangement. I dette prosjektet vil prosessen bestå av å jobbe med følgende steg av prosjekteringen:

- Hoveddimensjoner som vil danne grunnlaget for fartøyet
- Linjeutforming for å oppnå lav skrogmotstand samtidig som vi tar hensyn til kapasitet og stabilitet
- Komme fram til en god fordeling av utrustning med hensyn til vekt og dimensjoner
- Dimensjonering av tre ulike snitt av fartøyet i Nauticus Section Scantlings for å lage en tverrsnittsanalyse og estimere lettskipsvekt
- Analysere stabilitet, dypgang og trim ved minimum fire ulike lastkondisjoner
- Utarbeidelse av hovedarrangement (GA)

Disse stegene utgjør en fullstendig runde av designspiralen. Når første runde er gjennomført vil det brukes tid på å vurdere beregninger, drøfte endringer og optimalisere resultater. Dette fører til at gjennomgang av flere runder blir nødvendig. De ulike stegene av design-prosessen henger tett sammen og vil hele tiden påvirke hverandre. Forandringer av hoveddimensjoner og linjer vil videre påvirke stabilitet og arrangement. Det må derfor utføres nye analyser og modifikasjoner hver gang betydelige endringer gjør seg gjeldende. Den store utfordringen med design-prosessen er å komme fram til en balansert løsning der krav i spesifikasjon og regelverk opprettholdes. Denne arbeidsmetoden vil fungere som et fundament for prosjekteringen av AAS 40 WB.



Figur 1.1: Designspiral for prosjektet.

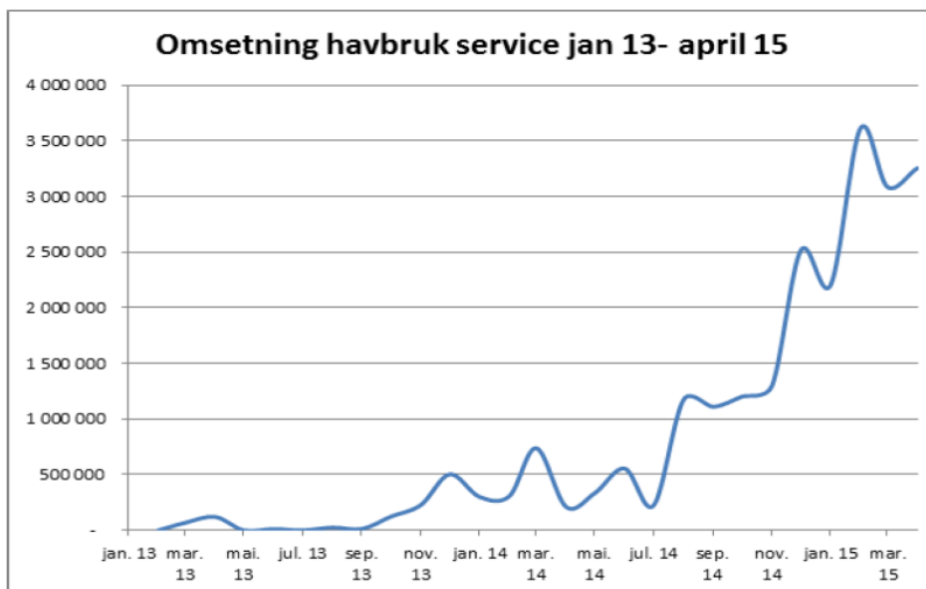
Mål

Et av målene med prosjektet var at det nye fartøyet skal ha en kapasitetsøkning tilsvarende lik lengdeøkningen mellom versjonene på 28 og 40 meter. AAS 40 WB er 12 meter lengre, det vil si at skipet vil ha 42% lengre hoveddekk. Dypgangen vil også øke, og det er dermed forventet at skipet kan frakte flere containere, bære mer last under dekk, holde mer last i tankene og ha kraftigere maskineri på dekk. Utforming av skroglinjer og tegning av hovedarrangement er gjort med dette målet i bakhodet.

Et annet mål i dette prosjektet er rettet mot hydrodynamikk. Beregninger av motstand, propulsjon, effekt og virkningsgrader gjennomføres for å danne et oversiktlig bilde av skipets framdriftsegenskaper. Beregningene er utført ved å ta utgangspunkt i noen av de grunnleggende resultatene fra selve design-prosessen, og ved bruk av empiri. Prosjektgruppen har utført en slepetest i modelltanken ved NTNU Ålesund for å kunne finne slepemotstanden til skipet i full skala. Modellen av fartøyet er frest ut og selvlaget i laboratorium. En slepetest av modell vil bidra med fornuftige verdier for bruk i beregningene. Kapittelet om hydrodynamikk tar utgangspunkt i et ferdig utformet hovedarrangement, og er ikke regnet som et eget steg i designspiralen i dette prosjektet.

2.1 Arbeidsbåter

Arbeidsbåter blir bygd for å brukes som servicefartøy for oppdrettsnæringen. De siste årene har etterspørselen av servicebåter steget kraftig, og som følge av dette har også midler til utvikling av arbeidsbåter steget. Det ser også ut til at denne økningen kommer til å fortsette å stige i tiden framover siden deler av verftsindustrien er tvunget til å satse mot havbruksindustrien på grunn av oljekrisen. Annet utstyr som fôrflåter og avlusningsystemer blir også utviklet.



Figur 2.1.1: En stigende omsetning for service-selskap. [1]

Disse fartøyene er tradisjonelt brede og korte. De har som oftest blitt bygd som to-skrogsbåter (katamaran) i aluminium for å oppnå lav skrogmotstand, større hastighet, god stabilitet som støtte for store kraner og høyt dekkareal. I det siste har rederiene derimot begynt å fokusere på flerfunksjonelle enkeltskrogsbåter, som er en slags forminsket utgave av ankerhåndteringsfartøyer som opererer i Nordsjøen. [3] Disse fartøyene kan utføre mer varierte oppdrag. De nye arbeidsbåtene har fått en betydelig økning av løfte- og vinjkapasitet og det er også mulighet for dykking eller ROV-bruk. De har også blitt lengre siden oppdrettsanleggene har blitt større og tyngre, noe som fører til at forankringer og merdenøter av økt størrelse kan løftes. I framtiden er det muligheter for at det startes oppdrett i områder lengre fra land der det er mer bølger og strøm som påvirker båten. [1] Derfor arbeider nå bransjen med å utvikle av arbeidsbåter opp mot en lengde på 40 meter.



Figur 2.1.2: AAS sitt nye konsept og en klassisk katamaran. [2][4]

Arbeidsbåter er designet for å utføre varierte operasjoner:

Frakt

Båtene trenger et stort dekk for å kunne frakte fiskefôr, ulike typer containere og utstyr som et oppdrettsanlegg trenger under drift. De kan frakte både flytende og tørr last i tankene, som for eksempel død-fisk.

Slep og installasjon

De blir brukt i arbeid med fortøyninger, nøter og slep. Det vil si at båtene trenger en utvidet utstyrsliste for dekkutstyret med tilstrekkelig kapasitet for voksende merdeanlegg, som store kraner og slepevinsjer.

Service og inspeksjon

Arbeidsbåtene utfører serviceoppdrag på merdene. Noen operasjoner som inngår i service av et oppdrettsanlegg er bistand ved avlusing, spyling av merdenot og generell vedlikehold eller reparasjoner. Ved inspeksjon av anlegg kan dykkere eller ROV-system brukes.



Figur 2.1.3: En arbeidsbåt liggende ved siden av en merde. [5]

Siden båtene ofte skal ligge posisjonert nært selve merdeanlegget bør de ha gode sidepropellere med DP-system, lavt fribord og lite utslipp siden anlegget er en del av matproduksjon.

2.2 Hoveddimensjoner

Valg av hoveddimensjoner til skipet gjøres ved å foreta vurderinger og beregninger basert på krav som må oppfylles ut i fra spesifikasjon og regelverk. Hoveddimensjonene påvirker skipets egenskaper, som stabilitet, skrogmotstand og kapasitet.

Først ser man på oppdraget rederiet vil at skipet skal utføre. Krav til kapasitet innen last, ballast, brenselolje og ferskvann er normalt. Man har også gjerne et krav til hastigheten skipet skal seile i. Andre krav til skipet kan være knyttet til størrelsen av lastedekk, slepekraft og antall lugarer i overbygg.

Begrensninger

Ifølge ShipDesign kompendium [6] blir noen ganger dimensjonene begrenset eller avhengig av at skipet skal operere i spesielle tilstander:

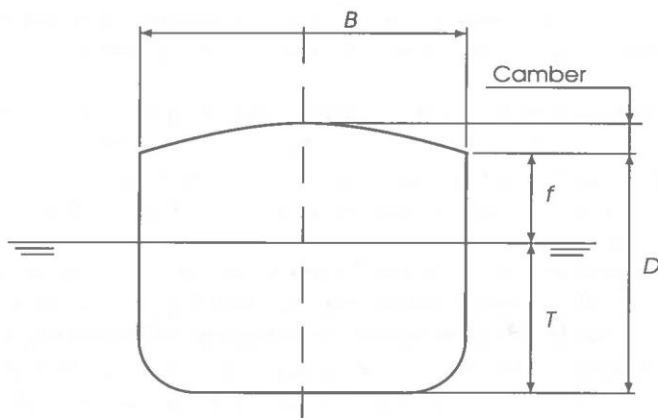
- Seilingsdistanse
- Havneforhold, maks dypgang/ bredde
- Klimatiske forhold
- Lovverk, klasse og regler
- Laste- og losseutstyr
- Minimums hastighet
- Manøvreringsevne, DP og posisjoneringsevne
- Stabilitetskrav
- Krav til fribord

Deplasement

Etter at man har fått en oversikt over hvor mye dødvekt skipet skal håndtere og har estimert hvor mye lettskipsvekten blir, så kan man beregne nødvendig deplasement:

Nødvendig deplasement = $L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho = \text{Dødvekt} + \text{Lettskipsvekt}$

Dimensjoner



Figur 2.2.1: En illustrasjon av hoveddimensjoner [7].

Figur 2.2.1 viser tverrsnittet av et skip. Bredden (B) er avstanden mellom babord og styrbord. Dybden (D) er avstanden fra kjøll til toppunkt i skutesiden. Dypgang (T) er avstanden fra kjøll til vannlinje. Fribord (f) er avstanden fra vannlinjen til punktet der hoveddekket møter skutesiden.

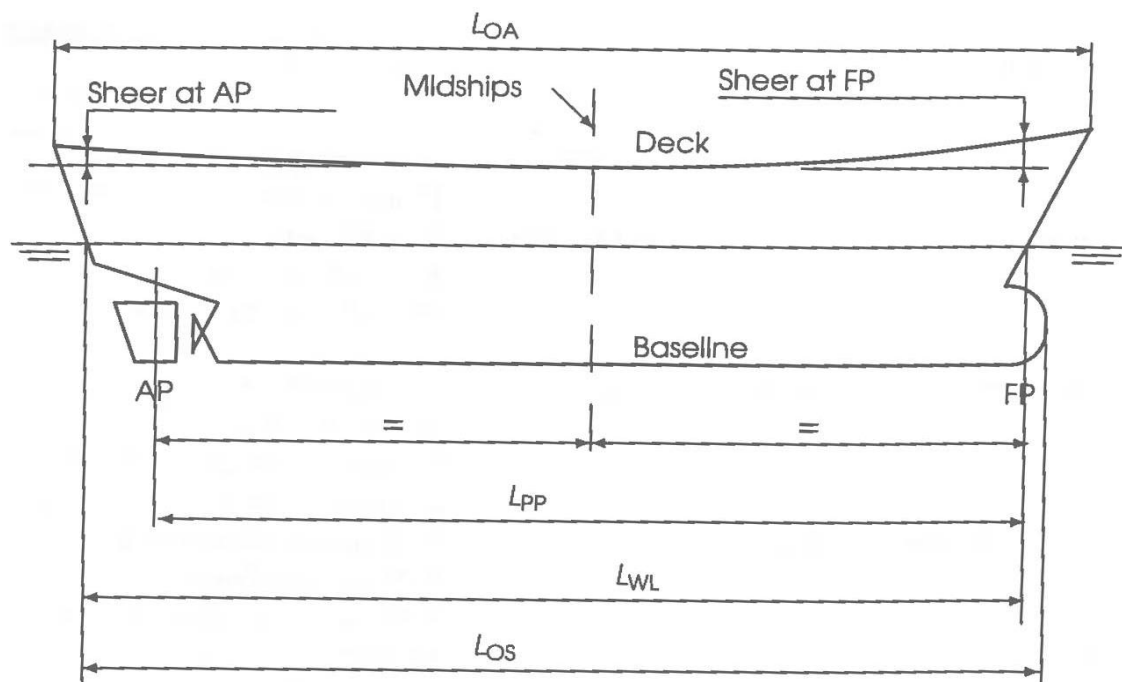
Endring av dimensjoner

Ifølge ShipDesign kompendium [6] gir endringer av skipets hoveddimensjoner konsekvenser, siden flere egenskaper påvirkes samtidig. Dette kan brukes senere i design-prosessen, som en løsning på problemer som oppstår fra resultatene av de ulike analysene som utføres. Eksempler på dette er problemer innen stabilitet, tyngdepunkt, motstand, kapasitet og plassering av maskineri og generell utrustning.

Siden nødvendig deplasement $= L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho = \text{Dødvekt} + \text{Lettskipsvekt}$, der deplasementet, dødvekt eller lettskipsvekt ofte er fastsatt, er det $LBTC_B$ man har muligheter til å endre på.

Hvis man f.eks. oppdager at langskipsstyrken til skipet er for lav kan man øke dybden D for å få inn mer stål i den vertikale retningen. Denne retningen er viktig for styrken. [6]

Lengder



Figur 2.2.2: Skipets ulike lengder. [7]

Figur 2.2.2 viser dimensjoner som blir brukt for skip i lengderetningen.

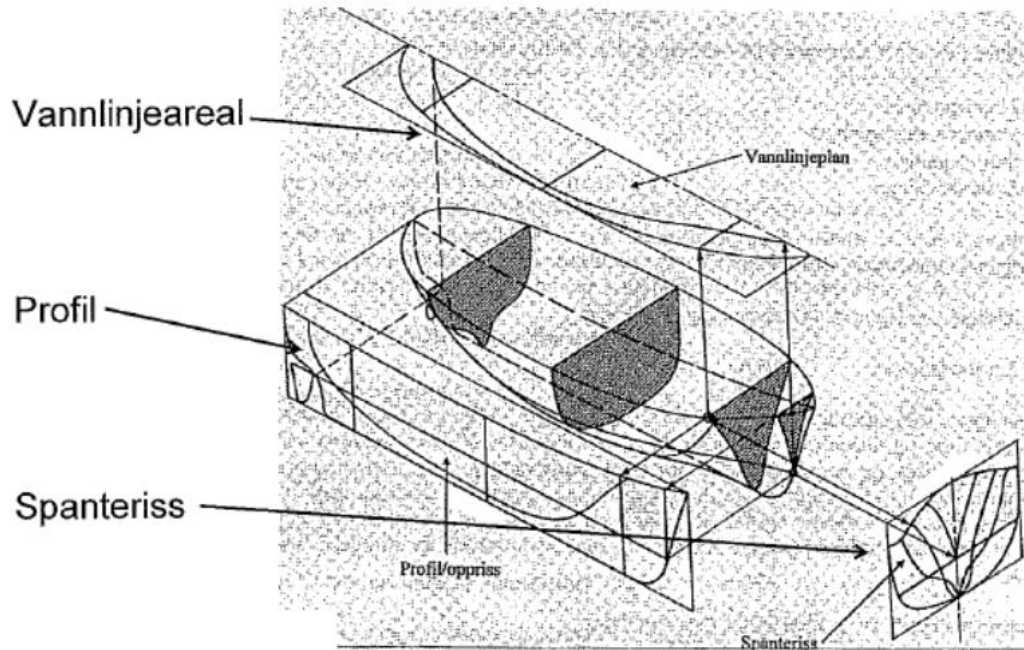
- L_{WL} er avstanden mellom det punktet vannlinjen treffer baug og det tilsvarende punktet i hekken. Hvis dette tallet har en høy verdi sammenlignet med bredden er det et slankt skip.
- L_{PP} er lengden mellom de to perpendikulærene AP og FP.
- L_{OA} er skipets reelle lengde siden det er avstanden mellom de ytre punktene på skroget.

Utfordringen med å bestemme dimensjoner på skipet er å finne balansegangen mellom det å ha et langt og slankt skrog med lav kapasitet, stabilitet og skrogmotstand, eller det å ha et kort og bredt skrog med høy kapasitet, stabilitet og skrogmotstand. Man må derfor ta seg tid til å vurdere hvilke egenskaper og kapasiteter man vil at skipet skal oppfylle i de situasjonene skipet skal operere i. Med dette tatt i betraktning kan man velge noen startverdier man føler kommer til å fungere videre i designspiralen. [6]

2.3 Linjer

2.3.1 Linjeutforming

Linjetegningene er en tredimensjonal geometrisk beskrivelse av skrogets form og dimensjoner. De baserer seg på hoveddimensjonene, form og skipstype. Det er normalt å framstille linjetegningene i tre ulike snitt som vist i figur 2.3.1 nedenfor: Profil (sett fra siden med vertikale langskipssnitt), plan (sett ovenfra med horisontale snitt) og spanteriss (sett bakfra med vertikale tverrsnitt).

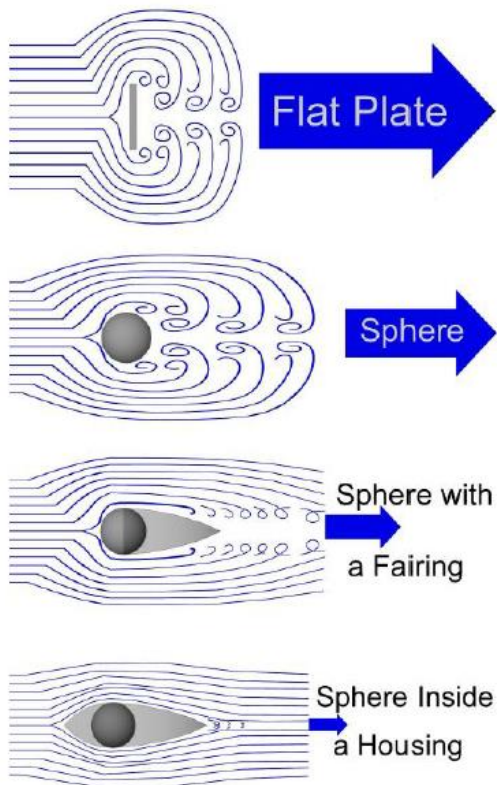


Figur 2.3.1: Linjetegning i ulike snitt. [8]

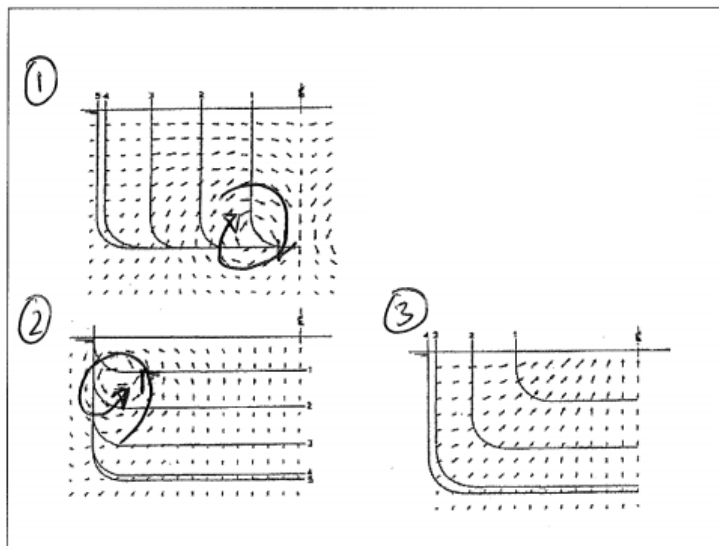
Linjeutforming påvirker skipets form og egenskaper og følgende punkt må tas hensyn til under utformingen [6]:

- Motstand
- Framdrift
- Manøvrering
- Bølgerespons
- Slag/slamming i baug og hekk
- Rulledemping
- Stabilitet

Det er flere måter man kan påvirke skipets motstand når man arbeider med linjeutformingen. Hvis man ikke passer på å ha myke skuldre og glatte overganger i linjene oppstår det hastighetsendringer og trykkgradienter. Dette fører til at avløsning oppstår og man får økt motstand. Figur 2.3.2 nedenfor viser hvordan formen på objektene påvirker strømmingen og skaper avløsning i form av turbulent strømming.



Figur 2.3.2: Avløsning bak objekter. [6]



Figur 2.3.3: Virveldanning i akterskipet. [9]

Figur 2.3.3 viser hvordan virveldanningen i akterskipet er avhengig av linjeutformingen.

- Figur 1 viser en innover-roterende virvel
- Figur 2 viser hvordan en lekerform genererer en utover-roterende virvel
- Figur 3 viser en redusert virveldanning ved å ta spesielt hensyn til akterutforming. [9]

Andre ting som er viktig å tenke over når man former akterskipet er å unngå vibrasjon og ha en høy propulsjonsvirkningsgrad. En uniform innstrømning til propellen øker propulsjonsvirkningsgraden. Vi skiller mellom tre typer former for akterutforming:

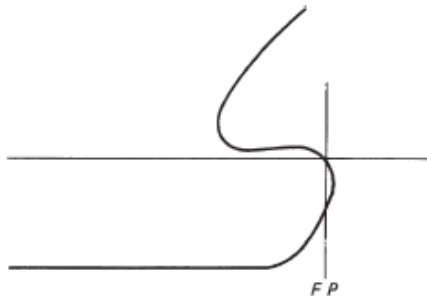
- U-form: Ligger mellom V-form og bulbform med tanke på motstand og wakefordeling
- V-form: Lavest motstand, men mest ikke-uniform wakefordeling
- Bulbform: Høyest motstand, men gir mest uniform wakefordeling. Den gir også den beste propulsjonsvirkningsgraden og minst støy fra propell

For skip med to propeller har ikke akterutformingene like mye å si for propulsjonsvirkningsgrad og vibrasjon. Her er V-form mest vanlig. [10]

Bulb-baug

Forskipet er på samme måte som akterskipet en viktig del av linjeutformingene. Det er blitt mer og mer vanlig med årene å designe bulb-baug på skip. Dette er fordi skipet får bedre motstandsegenskaper og mindre krav til installert propulsjonsytelse gjennom bulben.

En bulb-baug som går over vannlinjen har som regel større innvirkning på krav til propulsjonsytelse enn en nedsenket bulb.



Figur 2.3.4: Bulb-baug. [14]

Når det gjelder utstrekningsslengde av baugen så er 20% av bredden en gunstig lengde. For sikkerhets skyld skal bulb-baugen aldri gå lengre langskips enn øvre ende av baugen. En større baug enn dette vil uansett bare resultere i en neglisjerbar forskjell i motstand.

En glatt overgang fra skroget til bulben gir vanligvis mindre motstand, men er vanskeligere å bygge enn diskontinuerlige overganger. [11]

Propellplassering

Propellen er ofte plassert slik at avstanden mellom propelltippen og vannlinjen er ca. halvparten av propellens diameter. Dette forsikrer at propellen holdes under vann ved ballast dypgang med akter trim. Den bør plasseres lengst unna skroget for å minimalisere vibrasjoner. Propellklareringen påvirker også effektbehovet, propelldiameter og optimal propellhastighet. [12]

LCB

LCB er tyngdepunktet til oppdriften langs skipet. LCB bør korrespondere med LCG for å redusere motstand. I praksis vil som oftest LCB og LCG i utgangspunktet ikke korrespondere på grunn av forskjellige lastekondisjoner, varierte dypganger og ukorrekt fordeling av last. Dette resulterer ofte i et variert spekter av tyngdepunkter, noe som gjør det vanskelig å hele tiden oppnå gode plasseringer LCB og LCG. Målet bør være å få LCG til å samsvare med en plassering av oppdriftstyngdepunktet LCB som gir lav motstand. [11]

Når linjene er ferdig etablerte kan man finne hydrostatiske størrelser ved ulike dypganger og etablere ulike grafer for det aktuelle skipet. Man kan vurdere stabilitetsegenskaper, motstand, propulsjon og effektbehov, samt utføre vektestimering for skipet. [8]

Linjeutformingen er i bunn og grunn en iterativ prosess. Man tar utgangspunkt i den tilgjengelige informasjonen man har til rådighet og begynner utformingen. Jo lenger man kommer ut i prosjektet, jo mer informasjon får man. Derfor må man hele tiden oppdatere linjene ut ifra den nye informasjonen som man tar til seg. Først etter å ha kjørt gjennom designspiralen nok ganger til at man har skaffet seg en fullverdig GA, kan man si seg ferdig med linjeutformingen.

2.3.2 Maxsurf

For å modellere skipsskroget, få ut hydrostatikk, analysere stabilitet og utføre test av lastkondisjoner bruker vi programvarepakken NTNU Ålesund har kjøpt fra Bentley. Dette programmet er ifølge Bentley [13] beregnet for design av første versjon av skroget og utføre analyser for å vurdere forskjellige utforminger av linjer, tankarrangement og vektfordeling med mer. Moduler vi har tatt i bruk:

- Maxsurf Modeler
- Maxsurf Resistance
- Maxsurf Stability

Ved å bruke modulene for modellering og stabilitet har man muligheten til å designe og lage en 3D-modell av skipsskroget. Videre kan man bruke den samme modellen i Stability-modulen for å se hvordan skroget oppfører seg når utrustning, tanker og last er lagt inn. Når analysene er ferdig kan man se på resultatene og vurdere om endringer på skroget eller hovedarrangementet må utføres. Eksempler på resultater man får ut av å bruke Maxsurf:

- Hydrostatiske verdier som for eksempel volum, deplasement, blokk-koeffisient, dypgang, trim, LCB og andre koeffisienter
- Stabilitetsresultater som GM og GZ-kurve
- Lettskipsvekt i antall tonn, sum av last-enheter legget til i analysen
- Tank-kapasiteter i antall kubikk, sum av volumene til ulike rom lagt til i analysen
- Graf som viser oversikt over krefter som virker på skroget som bøyemoment, vektfordeling og oppdrift

2.4 Vektestimering

Lettskipsvekt

Sammen med linjeutformingen danner beregningen av lettskipsvekt grunnlaget for stabilitetsberegningene. Her gjelder det å bestemme vekt og plassering til alt utstyr som inngår i lettskipet. Når dette er gjort kan man summere opp, finne total lettskipsvekt, og finne plasseringen for tyngdepunktene LCG og VCG. Lettskipet består av skrogvekt og utrustningsvekt. Utrustningen består her av maskineri, systemer, innredning og utstyr ombord i skipet.

Metodene man benytter ved vektestimering av utrustningen er å bruke empiriske data, erfaringsdata og direkte beregninger. Empiriske data er data som er tilgjengelig i forskjellig litteratur, mens erfaringsdata er data fra skip som allerede er bygget. Erfaringsdataene kan skaleres for estimering av nye design. Etter hvert som man kommer lenger ut i prosjektet blir vektene mer nøyaktige. Man henter vekt på utstyr fra leverandører og beregningene vil også bli mer nøyaktige jo mer man vet om hovedarrangement og stabilitet. [14]

For å finne skrogvekt kan man ta i bruk mer avanserte dataprogrammer som for eksempel Nauticus Hull. Her utfører man en tverrsnittsanalyse av et snitt på skroget. Når analysen er kjørt får man ut arealet til snittet og på denne måten kan man finne skrogvekten. Om man for eksempel deler opp skroget i tre snitt må man finne skrogvekten for hvert snitt før man legger sammen til den totale skrogvekten. Dette gjøres for å få en mer nøyaktig estimering av skrogvekten. Skrogvekten i et snitt finnes ved følgende formel:

$$W_{skrog} = A \cdot 100 \text{ cm} \cdot m \cdot l \cdot 1.4 \cdot 10^{-6}$$

W_{skrog} = Vekten av skroget i det aktuelle snittet [t]

m = Massetettheten til materialet [g/cm^3]

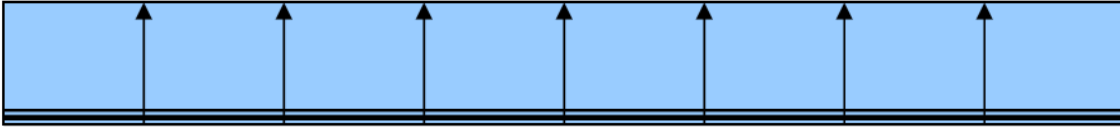
l = Lengden på snittet [m]

Man multipliserer arealet først med 100 cm for å få volum. 1,4 er en tilleggsfaktor som ganges inn på grunn av vekten av bærerne som ikke kommer med i analysen. Til slutt ganger vi med 10^{-6} for å få svaret i tonn.

Man finner også langskipstyngdepunktet LCG, og det vertikale tyngdepunktet VCG for lettskipet. Alt utstyr tildeles en verdi for LCG og VCG når de blir plassert ombord skipet. Til slutt finner man gjennomsnittsverdi for LCG og VCG.

Noe som er viktig å tenke på ved vektfordelingen er hvordan oppdriften opptrer langs skroget. Forskjell i SA-kurve og vekturve er årsaker til globale skjærkrefter og moment. Dette er enkelt illustrert ved en lekeren nedenfor:

Figur 2.4.1 viser hvordan oppdriften er fordelt langs lekeren.



Figur 2.4.1: SAK-kurve til lekeren. [15]

Deretter ser vi på Figur 2.4.2 som viser lettskipsvekt-kurven som viser fordelingen av lettskipet.



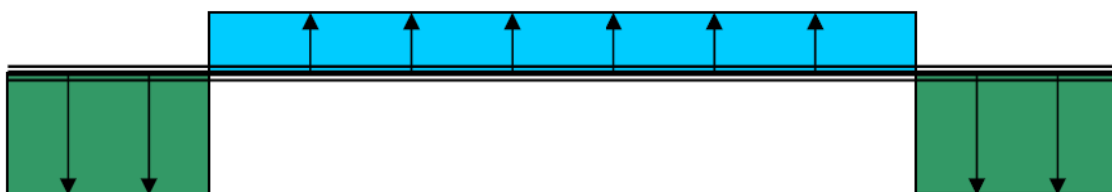
Figur 2.4.2: Lettskipsvekt-kurve til lekeren. [15]

Videre viser figur 2.4.3 dødvekten som er plassert i to ballasttanker.

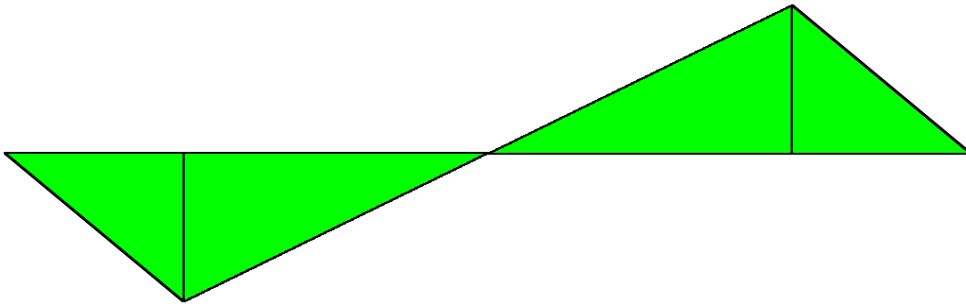


Figur 2.4.3: Ballastdiagram. [15]

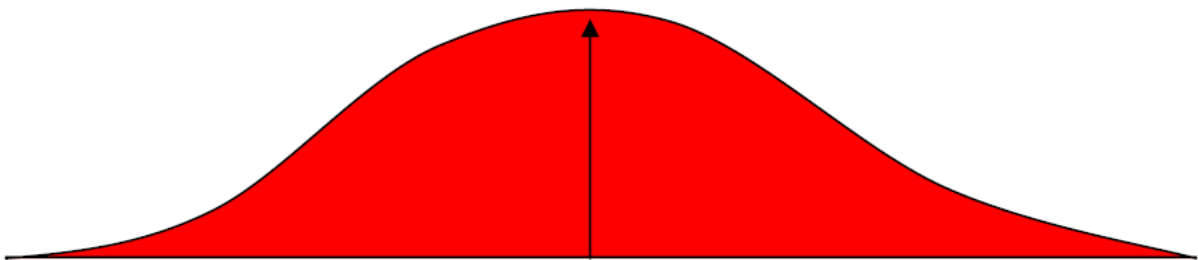
Til slutt ser vi resultattdiagrammet i figur 2.4.4. Dette er summen av oppdriften minus deplasementet. Som vi ser er det mer oppdrift enn vekt på midten av lekeren, mens ute på sidene er det mer vekt enn oppdrift. Denne forskjellen mellom oppdrift og vekt fører til at det oppstår skjærkrefter og moment.



Figur 2.4.4: Resultantdiagram. [15]



Figur 2.4.5: Skjærkraftdiagram for lekteren. [15]



Figur 2.4.6: Momentdiagram for lekteren. [15]

Som vi ser av figur 2.4.6 oppstår det hogging-moment på denne lekteren. Hadde momentdiagrammet vært snudd 180 grader ville det vært et såkalt sagging-moment. Hogging oppstår når det er oppdrift i senter av skipets lengde og ikke på sidene. Hogging-momentet kan dermed reduseres ved å øke vekten i senter eller ved å fjerne vekt på sidene. Sagging-moment oppstår når det er mye vekt midtskips og oppdrift langs sidene. Sagging-momentet reduseres ved å legge på vekt langs sidene eller ved å fjerne vekt fra midten. Verdiene for disse momentene kan finnes ved ulike lastkondisjoner ved hjelp av avanserte dataprogram utviklet for design av skip. [15]

Det er viktig at vektestimeringen er så nøyaktig som mulig for å oppnå riktige dypganger i stabilitetsberegningene. Feil i vektestimering eller plassering av tyngdepunkt kan ende med redusert lastekapasitet på grunn av stabilitetskrav. [14]

2.5 Lastkondisjoner

Før skipet kan bygges må man teste om det er stabilt, har godkjent trim og om dypgangen er over minimum ved flere ulike lastkondisjoner. Dette gjør man ved å bruke 3D-modellen av skipet til å simulere de situasjonene man har planlagt at skipet skal tolerere under drift. Først legger man inn alle last-enhetene som inngår i lettskipsvekten som f.eks. kraner, propeller og hovedmotorer. Så legges inn ulike typer tanker slik at man kan simulere fylling av drivstoff, ferskvann og vannballast. Til slutt legger man inn dekkslast på hoveddekk og i lasterom.

De mest vanlige lastkondisjonene som testes er [16]:

- Lettskip
 - I denne lastkondisjonen er det ikke lagt inn noe last. Det er kun vekten av skipsskroget og utrustningen som er med.
- Avgang lastet
 - Denne lastkondisjonen skal simulere skipet når det går fra kai etter man har fullastet det. Derfor har man lagt inn maksimalt mengde med last og fylt opp tankene for drivstoff og ferskvann. Det er også tatt med forsyninger.
- Avgang ballast
 - Denne lastkondisjonen skal også simulere skipet når det går fra kai men uten last. Tankene for drivstoff og ferskvann er fylt opp. Det er også tatt med forsyninger.
- Ankomst lastet
 - Denne lastkondisjonen skal simulere skipet når det legger til kai fullastet. Det vil si at tankene for drivstoff og ferskvann inneholder en begrenset mengde. Dette gjelder også forsyningene.
- Ankomst ballast
 - Denne lastkondisjonen skal simulere skipet når det legger til kai uten last. Det vil si at skipet også i denne kondisjonen har en begrenset mengde drivstoff, ferskvann og forsyninger.

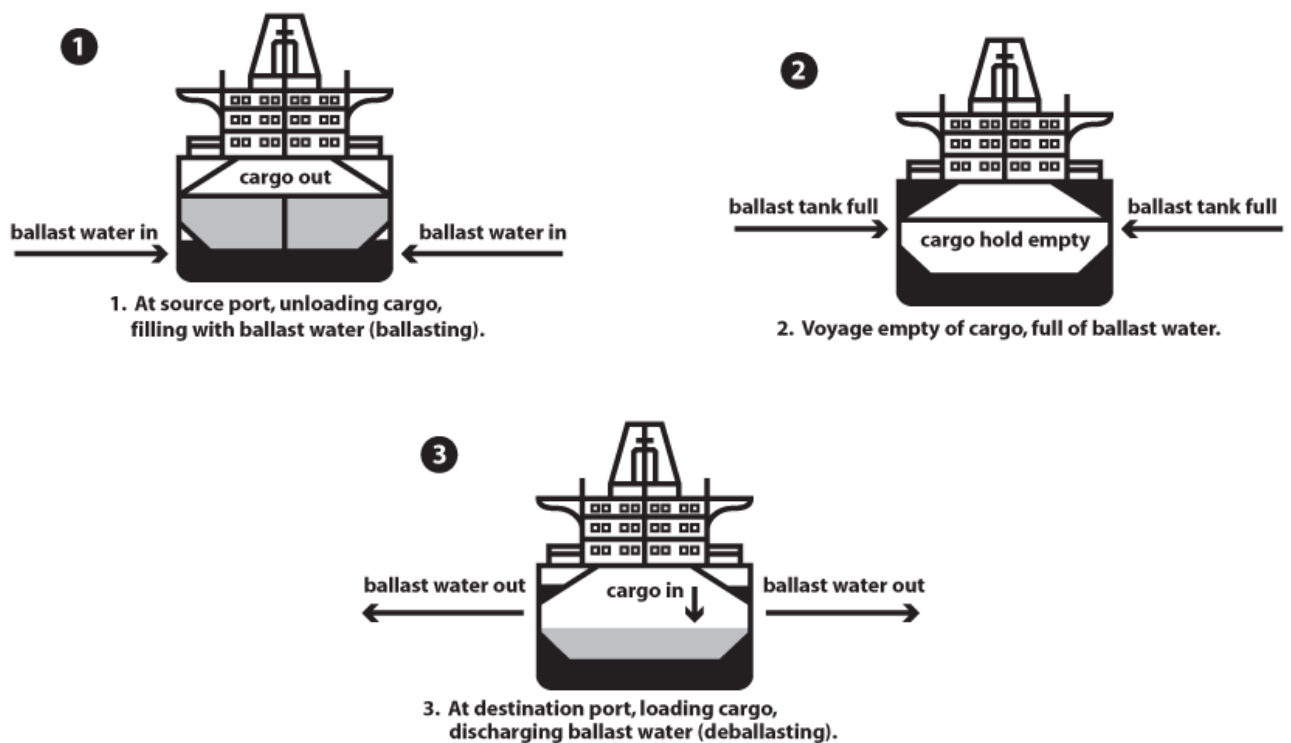
Ulike analyser kjøres for hver av disse lastkondisjonene. Disse analysene gir resultater innen hydrostatikk, trim, deplasement, stabilitet ved krenkning og langskipsstyrke (globale krefter på skipsskroget).

Et viktig poeng med å kjøre igjennom disse simulasjonene er å finne ut om man har tilstrekkelig ballastkapasitet i skipet. Vannballast ble førstevalg for ballast når stålskrog med dobbel bunn og sider ble vanlig, samtidig som pumpeteknologien utviklet seg. Vann er enkelt å pumpe inn og ut av skipet og mellom ballasttankene.

Mange skip er designet for å frakte last mellom to områder. Hvis skipet seiler uten denne lasten kan det bli ustabil på grunn av høy sjøgang, eller ikke ha tilstrekkelig dypgang. Det er også mulig at det oppstår trim eller ugunstige krengevinkler.

Vannballast blir derfor pumpet ombord for å oppnå en trygg og behagelig kondisjon. Så lenge skipet har nok kapasitet for vannballast så oppstår det lite stabilitetsproblemer. På figur 2.5.1 ser man at når lasten losses av skipet pumper man inn ballast for å kompensere for vekten, og når skipet blir lastet igjen pumpes ballasten ut av skipet og tilbake i sjøen.

Ballast kan brukes til å f.eks. øke dypgangen når det er dårlig vær for å oppnå bedre stabilitet, eller for å redusere fribord for enklere passasje mellom land og skip. Det brukes også for å kompensere for skipets trim etterhvert som det bruker opp drivstoff og annen tanklast. Denne trimmen kan også oppstå ved lasting og lossing, eller ved løft av last med dekkskran. [17]



Figur 2.5.1: Ballast inn og ut. [17]

2.6 Hovedarrangement

Hovedarrangementet, også kalt GA som er en forkortelse for “general arrangement” på engelsk, er en tegning som blir laget av skipsingeniører under prosjektering av nye skip. Hovedpoenget med tegningen er å sikre at alt av utrustning og tanker eller last-kapasitet får plass i skipet før man gjennomfører bygging av skroget. På grunn av dette tegnes GA i AutoCAD i 1:1 skala for en reell framstilling. Denne tegningen er ofte den første som blir laget og blir endret kontinuerlig gjennom prosjekteringsfasen.

Ifølge skipsdesignfirmaet Neely-Chaulk [18] bør hovedmaskiner, propulsjonsanlegg og annet maskineri som er viktig for driften av skipet plasseres først. Deretter kommer arrangement av de enhetene som inngår i kapasitetskravene som tanker, lasterom, hoveddekk og overbygg. Andre eksempler på temaer som skal vurderes:

- Plassering av utstyr og skott med hensyn til forventet stålstruktur
- Funksjonsareal som hoveddekk og maskinrom organiseres med hensyn til praktiske løsninger
- Vektfordeling og kregemoment må inkluderes i vurderingene når man tar stilling til plassering av tungt maskineri
- Evakueringsruter dersom det oppstår brann eller om skipet tar inn vann
- Flytting av last eller andre objekter ved lasting eller lossing
- Inndeling av overbygg for praktisk bruk og komfort

I tillegg må man ta hensyn til klasse, regler og ønsker fra rederiet. Dette kan påvirke både design og arrangement av skipet.

Eksempler på hva hovedarrangementet skaper oversikt over:

- Oppdeling i rom som tanker, maskinrom, lasterom, thrusterrom og lugarer
- Plassering av dekk og vertikale skott, spesielt de som er vanntette
- Plassering og utforming av overbygg
- Arrangement av vinsjer, kraner, motorer, thrustere, propeller og dekkstutyr
- Skipsdata som dimensjoner, lastekapasitet, hastighet, klasse og dekkareal

Når hovedarrangementet er fullverdig kan det brukes som utgangspunkt for å lage ulike planer for operasjoner eller planlegging av hvordan last skal plasseres. Det finnes mange forskjellige slike planer, avhengig av hvor avansert skipet er og hvilke planer rederiet krever ved overtakelse.

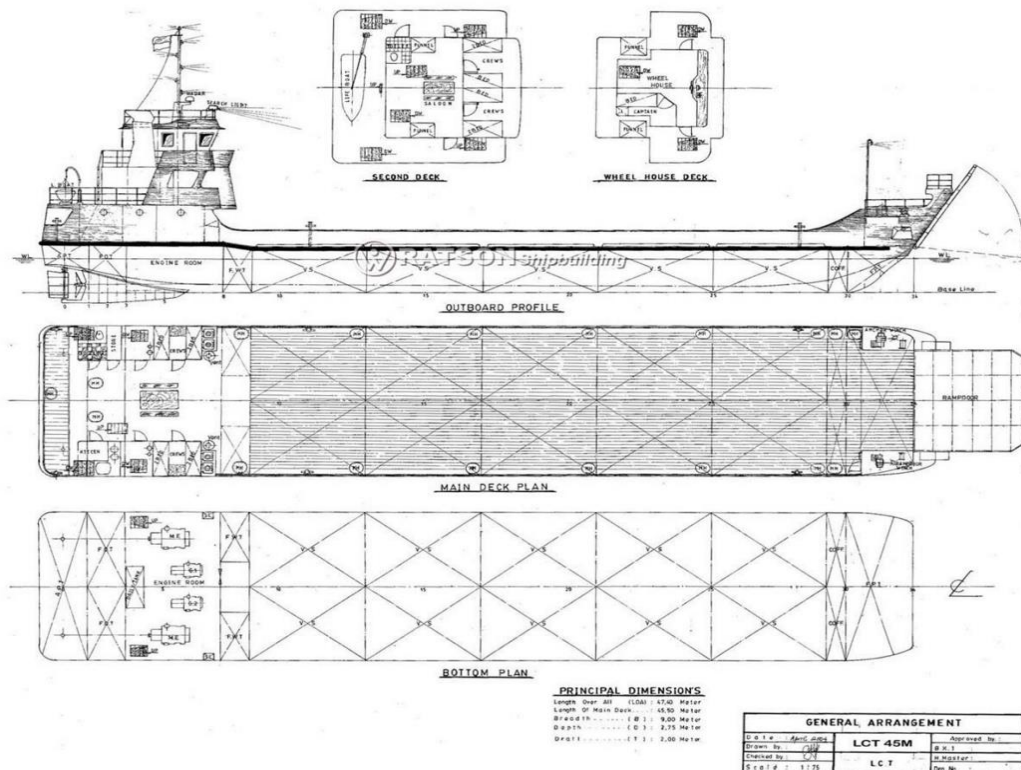
Noen eksempler på slike planer:

- Tankplan
- Dørplan, mannhullplan
- Evakuering, brannvern
- Rekkevidde for kraner
- Lastarrangement

Kapittel 2 – Teori

- Rørarrangement
- Elektrisk anlegg
- Planlegging av operasjoner på dekk (slep, rov, kranløft)

Man bruker flere snitt for å skape best mulig oversikt over hvordan skipet ser ut når det er ferdig bygd.



Figur 2.6.1: Hovedarrangement til et frakteskip med en stål-lem ved baugen. [19]

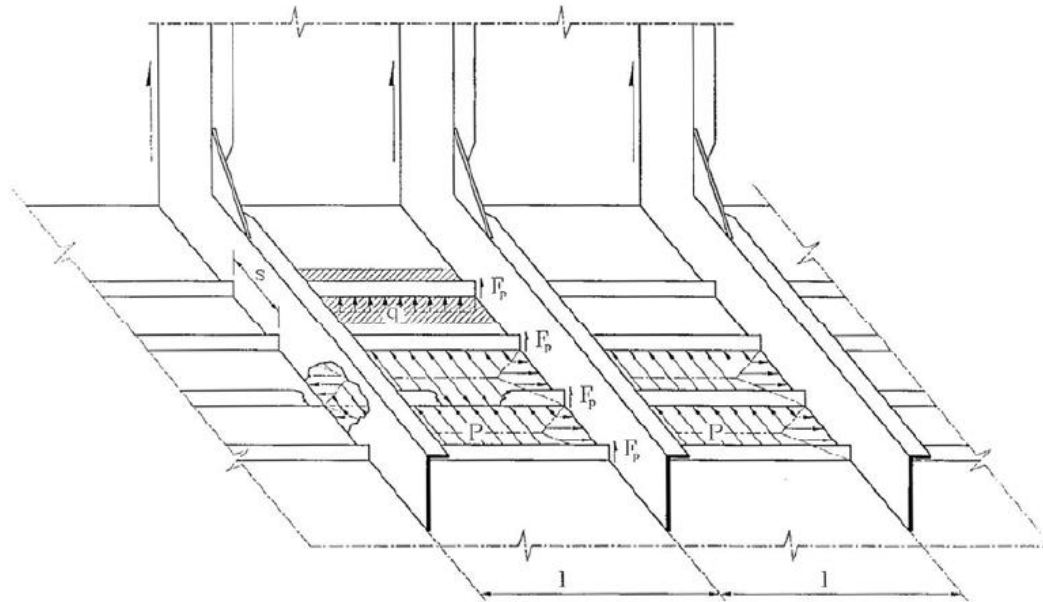
Profilsnittet på figur 2.6.1 viser hvordan skipet ser ut sett fra siden. Dette snittet blir tegnet som sett fra utsiden og i senter av skipet. Ofte blir det brukt en blanding mellom begge for å vise inndeling og maskineri. På dette snittet får man en oversikt over hvor de vanntette vertikale skottene som deler skipet inn i avdelinger blir plassert. Det viser også hvordan de viktigste maskinkomponentene blir arrangert.

Under profil kommer plansnittene. Disse viser hvordan arrangementet ser ut for hvert dekk. Det er vanlig å vise plansnitt for hoveddekk, tanktop, under tanktop og dekkene som ligger i overbygget. Det er plansnittene som i størst grad viser hvordan skipet blir inndelt og utrustningen blir arrangert. Derfor bør disse snittene være så detaljert som mulig for å kunne vurdere om man får plass til alt som skal inn i skipet, og om det er en god praktisk løsning som gjør det lett for mannskapet å utføre arbeidet sitt.

Noen ganger lages det også snitt som viser skipets hekk og baug (sett fra baksiden og framsiden).

2.7 Strukturdesign

Ifølge A.Sollied [15] går strukturdesign ut på å se på selve oppbygningen til skipsskroget og de tilhørende konstruksjonsmessige problemene. Et klassisk skipsskrog er bygd opp som en skallkonstruksjon bestående av plate, stivere og bærere, som sammen danner et panel. Et eksempel på en slik skallkonstruksjon er vist i figur 2.7.1. I strukturdesign tar man utgangspunkt i hoveddimensjoner, hovedarrangement, stille vannsmoment og vekt fra prosjekteringen.



Figur 2.7.1: Avstivet skallkonstruksjon. Panel bestående av plate, stivere, bærere. [15]

2.7.1 Topologi

Topologi i strukturdesign-prosessen består av å velge stiveravstand, bæreravstand og retning for avstivningen. En tommelfingerregel er at det velges langskipsavstivet i dekk og bunn for skip over 70 meter. Dette er fordi langskipsavstivning forebygger spenninger fra buling (ca. 4 ganger) bedre enn tverrskipsavstivning. Tverrskipsavstivning kan beholdes på skutesidene på grunn av en enklere produksjon. På mindre skip kan det benyttes tverrskipsavstivning fordi påkjenningene fra buling ikke er like store. Tverrskipsavstivning gir et langskips bærersystem – og motsatt. Som regel er avstanden mellom bærerne 2-5 ganger lengre enn stiveravstanden. [15]

2.7.2 Langskipsstyrke

Langskipsstyrken er den mest grunnleggende styrken av skipets struktur. Den er essensiell for gjennomføring av et skipsprosjekt. Vi ser for oss skroget som en bjelke, bestående av topp- og bunnflens og steg. Skrogbjelken er utsatt for belastninger i stille vann og i bølger. I stille vannskondisjon er det vertikal ubalanse mellom vekt og oppdrift i langskipsposisjon som setter opp skjærkrefter og moment. Verdiene til disse kreftene kan etableres for mange lastkondisjoner ved hjelp av programvare for design og modellering av skip. Vi velger fra den

lastkondisjonen som har det største momentet, på den måten kan man designe en struktur som har en langskipsstyrke som kan motstå momentene den er utsatt for. [15]

Når man skal utføre tverrsnittsanalyse i Nauticus Hull er det viktig å sjekke minimumskrav for stille vannmoment fra DNV opp mot momentet man får i Maxsurf Stability. Er momentet fra Maxsurf større enn momentet fra DNV må dette endres på i Nauticus Hull. Dette gjøres for å konstruere snitt som tåler de påkjenningene et skip er utsatt for. Det finnes forskjellige krav for hogging- og saggingmoment. Bølgemomentet må finnes fra DNV sine regler. De største momentene oppstår på midten av et skrog, og minker nærmere AP og FP. [15]

Det er viktig å gjøre analyse av det kritiske snittet av skipet. Det er her skipet er utsatt for mest påkjenninger, som regel på grunn av luker, åpninger eller andre svakheter. Er konstruksjonen sterk nok i dette snittet, er det sterkt nok i resten av skroget. Etter utført tverrsnittsanalyse kan man finne skrogvekt og sjekke om langskipsstyrken er sterk nok.

Formel for langskips bøyemoment:

$$\sigma_L = \frac{M_S + M_W}{Z_{D(B)}} \leq 175 f_1$$

σ_L = Langskips bøyemoment [N/mm²]

M_S = Stille vannmomentet [Nm]

M_W = Bølgemomentet [Nm]

Z_D = Motstandsmomentet i dekk [mm³]

Z_B = Motstandsmomentet i bunn [mm³]

f_1 = Materialfaktoren

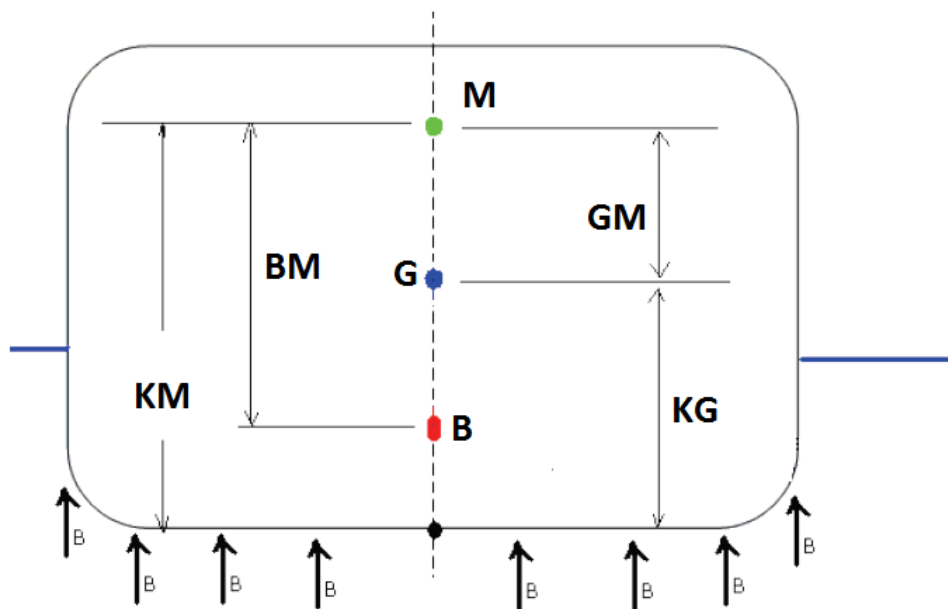
Man må sammenlikne motstandsmomentet i dekk og i bunn, og bruke den laveste verdien av de to. Bøyemomentet må være lavere enn 175 multiplisert med materialfaktoren for at langskipsstyrken skal være sterk nok. [15]

2.8 Stabilitet

Ifølge Nora Tessem [20] er stabilitet “et skips evne til å forbli i opprettstilling eller til å gjeninnta en slik stilling når skipet krenses over av en ytre påvirkning, som vind eller sjøgang”. Stabiliteten til et skip avhenger av flere faktorer:

- GM
- Skrogform
- Tyngdepunkt
- Ytre krefter som påvirker skipet (vind, strøm og bølger)

I figur 2.8.1 ser man de ulike avstandene som brukes i stabilitetsregninger av skipet.



Figur 2.8.1: Avstander for stabilitetsberegninger. [21]

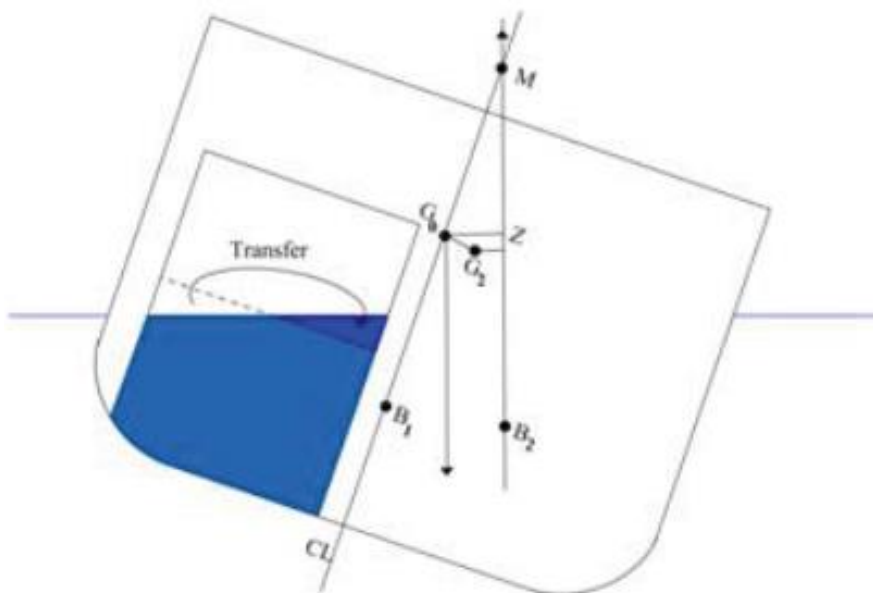
- GM: Avstanden fra tyngdepunkt G til metasenter M
- BM: Avstand fra oppdriftspunkt B til metasenter M
- KG: Avstand fra kjøll K til tyngdepunktet G
- KM: Avstand fra kjøll til metasenter M

GM

GM indikerer skipets initialstabilitet. Har man en fornuftig GM i forhold til skipstypen i startfasen kan man anta å få en GZ-kurve som møter kravene. Kravet for GM varierer for de ulike skipstypene. For lasteskip er minimumskravet til GM lik 0,15 m. Det er flere måter å påvirke GM:

- Man kan øke C_{WL} for å øke stabiliteten, men dette vil også føre til økt motstand.
- Ved å senke tunge komponenter kan man redusere KG, og man får dermed et mer stabilt skip. KG kan også reduseres ved å bruke lette materialer i overbygg, og ved å bruke fast ballast eller vannballast i bunn.
- Øke arealet under GZ-kurven. Dette kan gjøres ved å ta med dekkshus og overbygg i stabilitetsregningene.
- Unngå effekt av fri overflate. Dette gjøres ved å fylle eller tømme avdelinger med væske. [22]

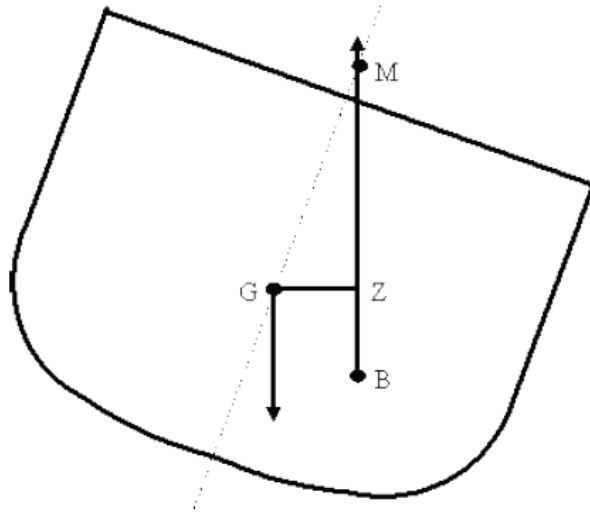
En høy GM indikerer et høyt rettemoment, noe som betyr krappe og ukomfortable bevegelser. Man kan man redusere GM med effekt av fri overflate. Hvis en avdeling enten er full eller tom, vil ikke skipets tyngdepunkt endres når skipet krenger. Dette fører til en brå og ukomfortabel oppretting for skipet. Om avdelingen er delvis full vil innholdet bevege seg mot den siden skipet krenger. Dette fører til at skipets tyngdepunkt flyttes mot krengesiden, og resulterer i en saktere og mer dempet tilbakegang for skipet til opprinnelig posisjon. Andre måter å redusere GM på er å minke bredden eller heve tyngdepunktet. [23]



Figur 2.8.4: Effekt av fri overflate. [23]

GZ

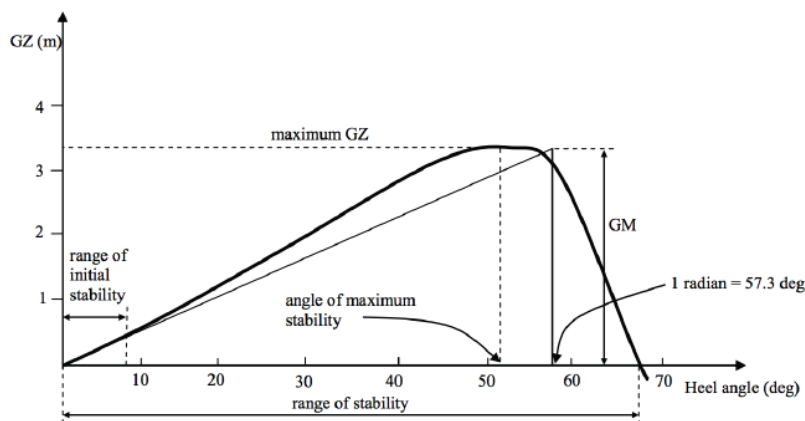
Rettende arm er en horisontal avstand fra tyngdepunkt G til krysningpunkt (Z) på en vertikal linje fra oppdriftspunkt til metasenter. Armen oppstår når skipet krenger som vist i figur 2.8.2.



Figur 2.8.2: Rettende arm, GZ. [21]

GZ-kurve

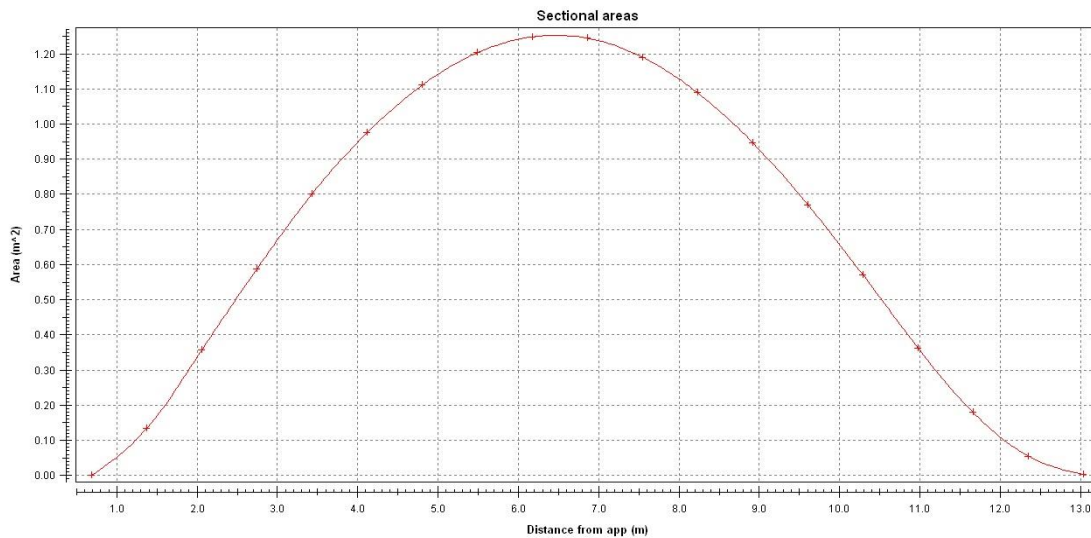
GZ-kurven angir forholdet mellom rettende arm og krengevinkel til skipet, og danner et bilde av skipets stabilitet. Når skipet er i oppreist stilling er G og B i lik vertikal posisjon, og rettende arm er lik 0. Når skipet begynner å krenge vil B forflytte seg og rettende arm øke. G og B jobber da sammen for å rette opp skipet. På det punktet kurven skjærer x-aksen vil G og B være vertikalt i lik posisjon igjen, og rettende arm er lik 0. Dette punktet kalles "Angle of vanishing stability". Skipet er i en "ustabil likevektsfase" og kan enten fortsette å krenge eller rulle tilbake. Hvor kurven forsetter forbi x-aksen vil rettende arm være negativ og G og B jobber nå for å kantre skipet. GZ_{maks} er der det rettende momentet er størst. Figur 2.8.3 viser et eksempel på en GZ-kurve. [22]



Figur 2.8.3: GZ-kurve. [21]

SAK

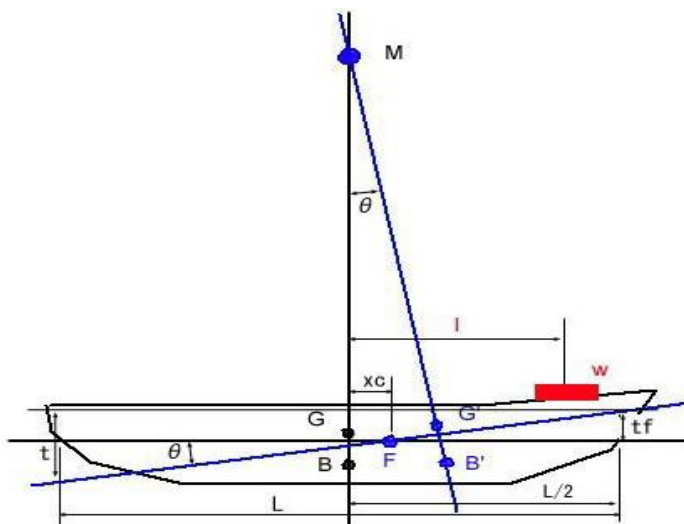
Seksjonsarealkurven, også kalt oppdriftskurve, viser hvordan deplasementet er fordelt langs skipet. Man ser fra kurven at det er mest oppdrift hvor det er mest last.



Figur 2.8.5: Eksempel på SAK, med areal på y-aksen og avstand fra AP på x-aksen. [24]

Trim

Trim er forskjellen i dypgang ved forre perpendicular og akter perpendicular, som vist i figur 2.8.6. Trimmen kan måles enten med en vinkel, eller med antall meter forskjell i dypgangene. Om en eventuell trim oppstår under stabilitetsberegningene kan den reduseres ved å endre plasseringen av ballast, last eller utstyr. Ved en akter trim vil skipet gjøres stabilt ved å flytte utstyr forut på skipet. Ved trim forut vil skipet tilsvarende stabiliseres om utstyr flyttes akterut. [23]

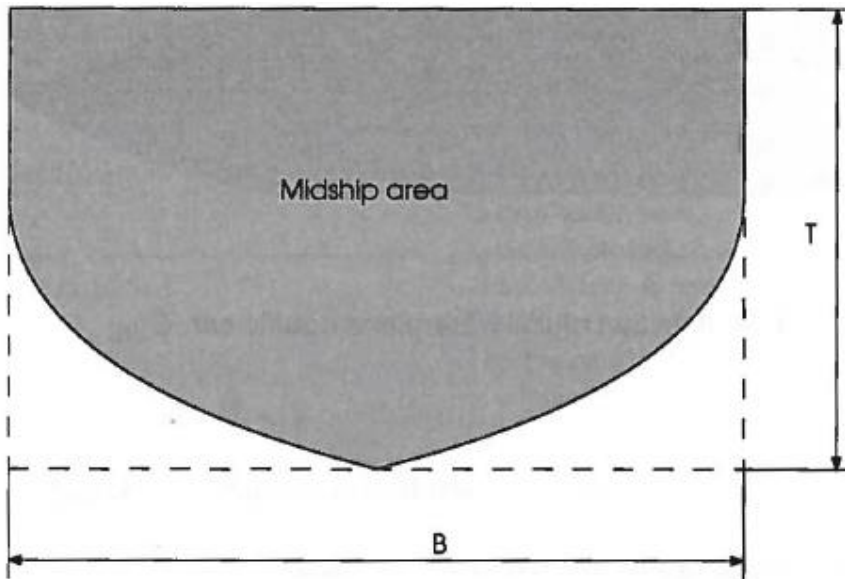


Figur 2.8.6: Illustrasjon av trim. [23]

Koeffisienter

C_M : Midtskipsspant-koeffisient. Koeffisienten gir et mål på skipets fyldighet midt på skipet. Høy C_M gir tilsvarende stor fyldighet. Koeffisienten kan beregnes ved å dele midtskipsarealet på bredden multiplisert med dypgangen. [25]

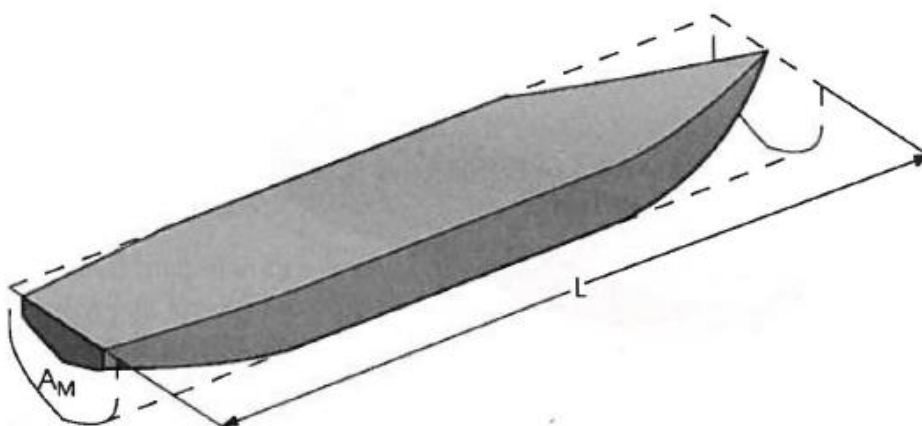
$$C_M = \frac{A_M}{B \cdot T}$$



Figur 2.8.7: Midtskipsspant-koeffisient. [25]

C_P : Prismatic koeffisient. Denne koeffisienten viser forholdet mellom neddykket volum av skrog og et prisme ekstrudert fra midtskipsarealet i skipets lengde. Man kan beregne koeffisienten ved å dele skipets volumdeplasement på midtskipsarealet multiplisert med lengden. [25]

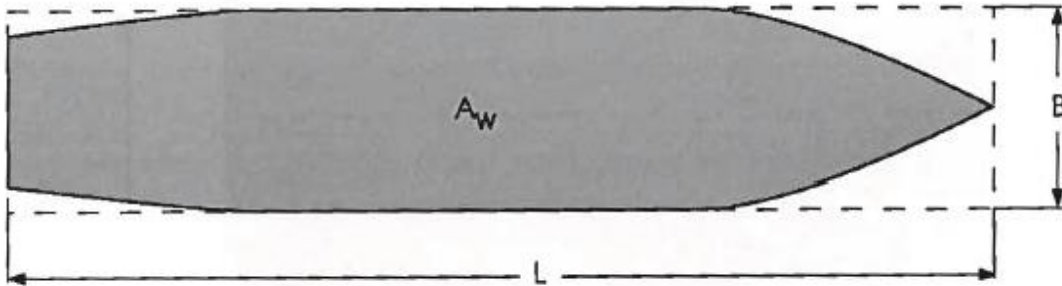
$$C_P = \frac{\nabla}{A_M \cdot L}$$



Figur 2.8.8: Prismatic koeffisient. [7]

C_{WL} : Vannplan-koeffisient. Denne sier noe om skipets fyldighet ved en gitt dypgang i forhold til et rektangel med lik lengde og bredde. Koeffisienten kan beregnes ved å dele vannplan-arealet på lengden multiplisert med bredden. [25]

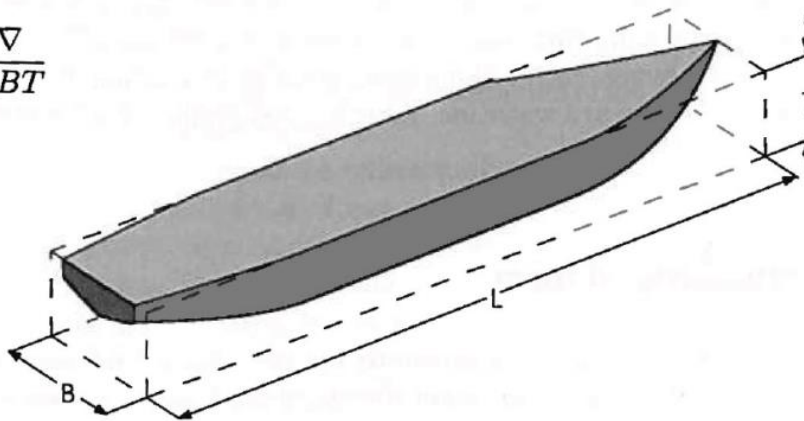
$$C_{WL} = \frac{A_W}{B \cdot L}$$



Figur 2.8.9: Vannplan-koeffisient. [25]

Coefficients of Form

$$C_B = \frac{\nabla}{LBT}$$



Figur 2.8.10: En grafisk illustrasjon av blokk-koeffisient. [7]

Blokk-koeffisienten er forholdet mellom deplasementet og produktet av lengde, bredde og dypgang. Forholdet beskriver hvor mye formen til skroget utfyller det rektangulære prismet utspent av LBT. [7]

2.9 Hydrodynamikk

2.9.1 Skrogmotstand

Det å kjenne til et par grunnleggende designkriterier som fart og lengde til et skip, er i hydrodynamikken nok til å dekomponere skipets motstand og få en bedre forståelse for begrepet. Ulike motstandskomponenter finner man ved hjelp av empiriske formler og modelltesting. Froudes tall kan brukes til å kvantifisere motstand og sammenligne skip av ulike størrelser. Froude tallet er det samme både i modell- og fullskala, og det kan brukes til å regne ut noen av modellens egenskaper dersom respektive verdier for skipet er kjent. [53] Formelen for Froudes tall ser slik ut:

$$Fn = \frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{gL_s}}$$

Nettstedet National Aeronautics and Space Administration påpeker at Reynoldstallet er et forholdstall mellom treghetskrefter og viskøse krefter. Den beskriver om en væske har laminære eller turbulente strømmingsegenskaper. Denne verdien kan videre brukes til å regne ut skipets friksjonsmotstand ved å bruke ITTC-1957 formelen. Vi får ulike Reynoldstall for ulike skalaer. [54] Formel for Reynoldstallet:

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

Den kinematiske viskositeten beskriver spredning av en fluid i forhold til massetettheten. Den uttrykkes altså ved å dele dynamisk viskositet med tettheten til væsken, siden dynamisk viskositet beskriver strømmingsevnen.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Verdien for kinematisk viskositet er ulik for salt- og ferskvann. Forskjellen kommer fra temperatur og tetthetsforskjeller mellom sjøen og ferskvannet i slepetanken. Her tar vi utgangspunkt i verdiene $\nu_{sw} = 1,19 \cdot 10^{-6}$ og $\nu_{fw} = 1,14 \cdot 10^{-6}$. [55]

ITTC formelen brukes til å beregne friksjonsmotstand som virker på skipsskrog ved å finne friksjonsmotstandskoeffisient C_F . [56] Friksjonslinje etter ITTC-1957:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log(Re) - 2)^2}$$

Ved gjennomføring av modellforsøk er målet å finne slepemotstanden R_T og deretter motstandskoeffisienten C_T . Dette er en koeffisient vi ønsker å gjøre dimensjonsløs for å kunne utføre beregninger og sammenligne skipet vårt på tvers av ulike skalaer.

Motstandskoeffisienten sier noe om graden av motstand skipet opplever i forhold til sin egen størrelse. Man kan altså bestemme skipets motstand i full skala ved å bruke resultater fra slepetesten. [56] Formel for total motstandskoeffisient:

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S}$$

Slepetanken inneholder ferskvann der vi bruker $\rho_{fw} = 1000 \text{ kg/m}^3$. Modellskala bestemmes ut fra slepetankens geometriske karakteristikk, og våt overflate skaleres ned til modellskala som $\frac{1}{\lambda^2}$. Ved beregninger av skipets totalmotstand bruker vi $\rho_{sw} = 1025 \text{ kg/m}^3$ (sjøvann).

Den totale motstanden består av friksjonsmotstand og restmotstand. Restmotstand består av bølgeomotstand, luftmotstand, ruhetsmotstand og motstandstillegg som følge av propellanlegg, skag, slingrekjøel og tunellthrustere. Koeffisienten for friksjonsmotstand er mulig å finne ved bruk av ITTC-formelen, og den dimensjonsløse motstandskoeffisienten kan man finne ved å bruke formelen for total motstand. Restmotstandskoeffisienten er da differansen mellom koeffisientene for total motstand og friksjonsmotstand. Restmotstandskoeffisienten antas å være den samme for både modell- og fullskala, $C_{R_s} = C_{R_m}$. [56]

$$C_T = C_F + C_R$$

Hvis man kjenner til alle variablene for modellskala er det videre mulig å bruke koeffisienten for restmotstand sammen med beregnet friksjonskoeffisient i fullskala til regne ut C_T . Da kan man enkelt finne slepemotstanden R_T for skipet.

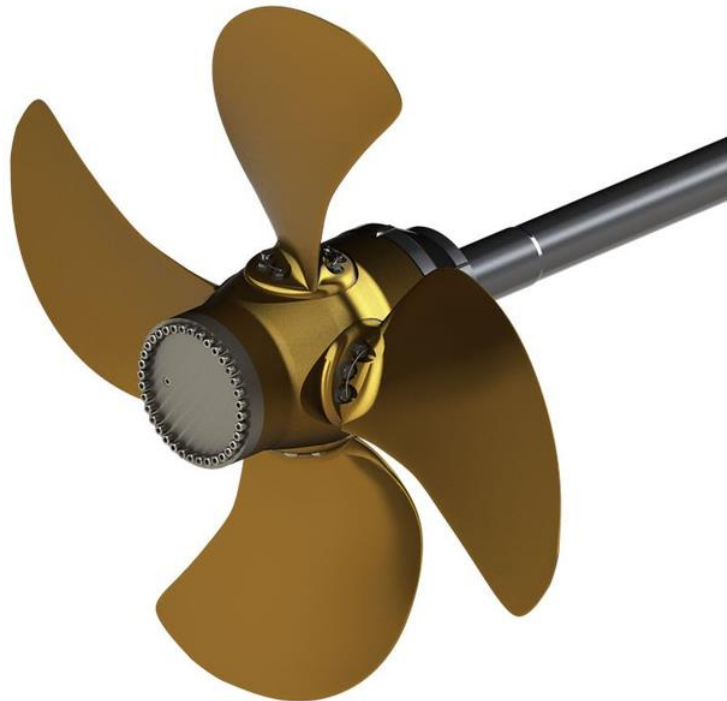
2.9.2 Propulsjon

For å kunne balansere motstanden et skip opplever, blir fartøyet utrustet med et propulsjonssystem. Forståelse for propellens oppbygning, størrelse og krefter er viktig for å kunne designe et propellsystem som tilbyr best mulig framdrift. På samme måte som man prosjekterer et skip vil design av propulsjonssystem være en iterativ prosess. Metoden for å finne et optimalt propelldesign omfatter en rekke ulike valg av egenskaper som må vurderes. Hvilken propelltype egner seg? Hvor mange blader skal den ha? Skal propellen være fast eller vribar? Dette er viktige spørsmål som oppstår i løpet av prosessen.

Målet er å finne den thrustkraften skipet er i stand til å utrette med gitt propelldata. For dette prosjektet er noen av de grunnleggende avgjørelsene og målene angående propulsjon allerede bestemt i spesifikasjonen. AAS 40 WB skal utstyres med to vribare propeller montert med aksling og i dyse, levert av Finnøy Gear & Propeller AS. Propellene er av typen P50, som i dette tilfellet indikerer propeller med fire blader og diameter mellom 1600-2200 mm.

Det er flere grunner til at dette fartøyet skal ha vribare propeller. Kasten [57] har skrevet at vribare propeller gjør det mulig å endre stigningen til propellen mekanisk slik at den vil fungere så effektivt som mulig under forskjellige hastigheter og kondisjoner. Dette gjør at propelltypen har en rask responstid og at skipet blir enklere å håndtere sammenlignet med bruken av en ikke-vribar propell (FPP). Ifølge teknisk datablad prosjektgruppen har fått utlevert fra Finnøy, bruker CP-propellene i overkant av 20 sekunder på å endre stigningen fra helt forover til akterover. Propellens egenskaper gjør det mulig å optimalisere strømming fra propellen til roret slik at skipet blir enklere å manøvrere.

Propelltypen gjør det mulig å øke turtall og redusere stigning når skipet skal ta av, og senke turtall og øke stigning når skipet er underveis for å utnytte kraften fra motoren best mulig. Et godt samspill mellom turtall og stigning gjør at denne propelltypen forbedrer skipets evne til å akselerere, stoppe og holde en høyere gjennomsnittlig hastighet. Det blir i større grad mulig å justere turtall med hensyn til reduksjon av vibrasjoner og støy fra motoren. En CCP er kjent for å være dyrere og mindre holdbar enn motparten FPP, men det er selve bladene på en CPP som er de svake leddene. Ved eventuelle skader kan bladene byttes uten at det påvirker stigningsmekanismen. Dette er mulig siden hvert enkelt blad monteres separat på knutepunktet. [57][58]



Figur 2.9.1: Vi ser hvordan bladene på en CPP kan vri seg rundt for å endre stigning. [59]

En FPP drives av motoren via en girkasse med vendbar dreieretning. Her må man altså endre rotasjonsretningen av propellen fra gir eller motor for å gå i revers. En FPP er ofte utstyrt med et reduksjonsgir i tillegg til reverseringsgiret. Fordelen med et vribar propellsystem er at det kun har et reduksjonsgir, og muligheten til å enkelt kunne rotere propellbladene for å endre kjøreretningen. Et reduksjonsgir er et arrangement der inngangshastighet kan begrenses ned til et krav om lavere utgangshastighet, samtidig som dreiemomentet bevares eller økes. [57]

Arbeidsbåten har et to-skruesystem der en propell plassert på hver side av skeggen. I et slikt system er det vanlig for propellene å roterer i motsatt retning fra hverandre for å balansere trykkrefter. Dette gjør det mulig for skipet å drive framover i en rett linje. To-skruesystemet fordeler effektkravet på to propeller, noe som gir en bedre propellvirkningsgrad. Ulempen med systemet er at det skaper større motstand siden to propeller gir et større areal som trenger seg gjennom vannet. To-skruesystemer med ror bak begge propellene gir gode manøvreringsegenskaper og forbedret posisjoneringsevne. [60]

For å oppnå best mulig framdriftsegenskaper ved sleping skal propellene monteres med et dysearrangement. For å oppnå størst mulig thrustkraft må vannmengden inn mot propellen være så stor som mulig, og innstrømningshastigheten så liten som mulig. En korrekt foilformet dyse med en passende åpning leverer en større mengde vann til propellen enn det frie propeller under tilsvarende betingelser ville gjort. På grunn av økt vannmengde er behovet for nødvendig innstrømningshastighet mindre. Propeller med dyse vil være mer effektiv enn åpne propeller ved hastigheter opp til 12-15 knop. [58][11, s. 115-132]



Figur 2.9.2: Et to-skruesystem med dyser på en slepebåt. Vi ser at propellene har ulik rotasjonsretning. [61]

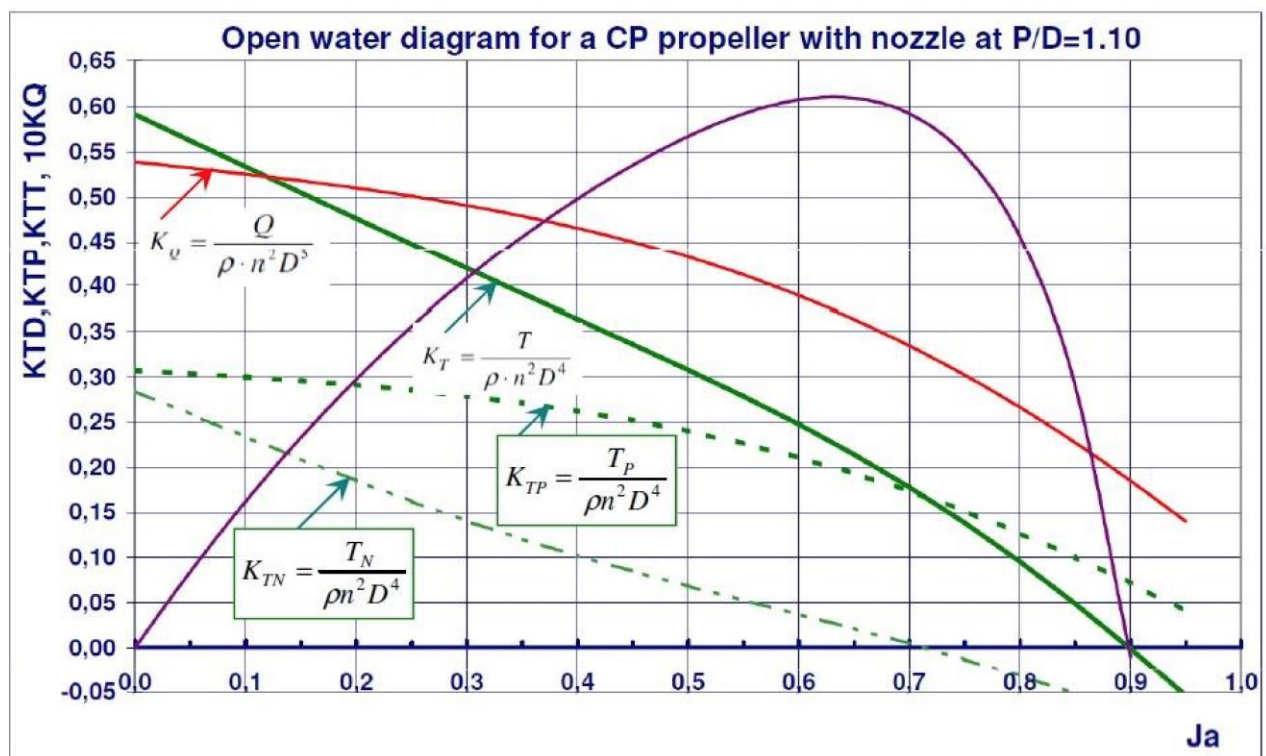
Kapittel 2 – Teori

Fordeler og ulemper ved bruk av dyse [11, s. 115-132]:

Fordeler:	Ulemper:
Mer effektiv ved høy last, og reduksjonen av propellvirkningsgrad i sjøgang er mindre	Manøvreringsegenskaper ved bakking reduseres
Kontrollerbare dyser kan erstatte rør, og motstanden kan dermed reduseres.	Ved grunt vann, kan dysene ha en tendens til å suge til seg steiner og andre gjenstander
Bedre kursstabilitet og beskyttelse	Kavitasjon oppstår tidligere pga. trykkfall i dysen

Tabell 2.9.1: Konsekvenser av å ha dyse montert på propell.

For å kunne utføre beregninger av propellkarakteristikk må en friprøve gjennomføres. En forutsetning med denne testen er å gå ut ifra et konstant propellurtall for alle innstrømningshastigheter. Ved å måle propellthrust og akselmoment for alle hastighetene, vil man få en oversikt over propellens oppførsel i åpent vann. Målingene foregår helt til hastigheten er stor nok til at propellthrusten blir lik null. Resultatene av denne testen presenteres i form av et friprøvediagram. [62]



Figur 2.9.3: Et friprøvediagram for en vribar propell med dyse. [58]

Kapittel 2 – Teori

Ved anvendelse av propellteori er det vanlig å ta i bruk flere dimensjonsløse koeffisienter. De tre viktigste koeffisientene er framgangstall J_a , thrustkoeffisient K_T og momentkoeffisient K_Q . Disse koeffisientene er avhengig av propellens turtall og diameter sammen med massetettheten til vann. I tillegg har man koeffisienter som medstrømsfaktor w og thrustreduksjonsfaktor t . Dette er verdier som påvirkes strømningsforhold rundt skrog og propell.

Framgangstallet er et dimensjonsløs uttrykk for propellens innstrømningshastighet V_a . Har man tilgang til et friprøvediagram er det mulig å lese av thrust- og momentkoeffisient gitt at framgangstallet er kjent. [63]

Framgangstall (J_a):

$$J_a = \frac{V_a}{n \cdot D}$$

Thrustkoeffisient (K_T):

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4}$$

Momentkoeffisient (K_Q):

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

Medstrømsfaktoren er en koeffisient som representerer forskjellen mellom skipets hastighet og innstrømningshastigheten propellen opplever. Skipets hastighet er vanligvis litt større enn innstrømningshastigheten. Dette kommer av wake-krefter der først og fremst strømningshastigheten i forhold til skipet bremses opp i grensesjiktet ved overflaten av skroget. Med andre ord blir vann dradd med skipet. Medstrømsfaktoren er avhengig av skrogform, og propellens plassering og størrelse. [63] Formelen for medstrømsfaktoren ser slik ut:

$$w = \frac{V_s - V_a}{V_s} = 1 - \frac{V_a}{V_s}$$

Dersom en spesifikk medstrømsfaktor er gitt, kan vi gjøre om formelen og løse den med hensyn på V_a .

$$V_a = V_s \cdot (1 - w)$$

Thrustreduksjonsfaktoren sier noe om ekstra motstand som virker på skipsskroget på grunn av strømningsendringene propellen skaper. Når en propell roterer vil den akselerere vann som befinner seg foran og bak propellen og gi mer motstand. Generelt vil thrustreduksjonen være mindre ved lavere hastigheter, og ved bruk av to-skruesystem siden akselerasjonen av vann skjer lengre borte fra skroget. Thrustreduksjonen påvirkes også av klaring mellom propell og skrog, og klaring mellom propell og rør. [63][64] Formel for thrustreduksjonsfaktor:

$$t = \frac{T - R_T}{T} = 1 - \frac{R_T}{T}$$

Dersom en thrustreduksjonsfaktor er gitt kan vi ved omgjøring av formelen finne thrustkraften (skyvekraften).

$$T = \frac{R_T}{(1 - t)}$$

Thrustreduksjonsfaktoren vil vanligvis øke dersom medstrømsfaktoren gjør det.

Her er formel fra SSPA som beskriver sammenhengen mellom de to koeffisientene for et to-skruesystem [63]:

$$t = w \cdot 1,57 - 2,3 \cdot \frac{C_B}{C_{WL}} + 1,5 \cdot C_B$$

Her er blokk-koeffisienten 0,644 og vannplan-koeffisienten 0,855. Disse verdiene er tatt fra modellen i Maxsurf ved en design-dyppgang på 4 meter.

Når man kjenner til total thrustkraft og slepemotstand er det mulig å finne tauekraften (TK). [63]

$$TK = T_{total} - R_T$$

Configuration	t
Single-screw ships of great full-ness	0.20-0.25
Slender single-screw ships	0.16-0.22
Twin-screw ships, normal fullness	0.10-0.15
Slender twin-screw ships	0.07-0.12
In bollard condition (V = R = 0!)	0.02-0.05
Astern	>2*t ahead

Figur 2.9.4: En empirisk tabell som viser typiske verdier for thrust-reduksjon med hensyn til form og propellsystem. [64]

2.9.3 Effekt og virkningsgrader

Effekt

Slepeeffekt (P_E):

Effekt som går med til å slepe skipet ved en gitt hastighet.

$$P_E = R_T \cdot V_s = \eta_H \cdot P_T = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R \cdot P_D$$

Motoreffekt (P_B):

Når den mekaniske virkningsgraden er kjent kan vi finne effekt som leveres fra motoren.

$$P_B = \frac{P_D}{\eta_M} = \frac{R_T \cdot V_s}{\eta_M \cdot \eta_D}$$

Levert effekt (P_D):

Effekt levert til propell gjennom aksling (akseleffekt). P_D kan finnes ved å regne eller måle dreiemomentet Q på akselen når et spesifikt turtall er gitt. Dreiemomentet kan beregnes hvis man har et friprøvediagram og kjenner framgangstallet. Ved å bruke framgangstallet til å lese av momentkoeffisienten i diagrammet er det mulig å regne ut dreiemomentet.

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5$$

Formler for levert effekt:

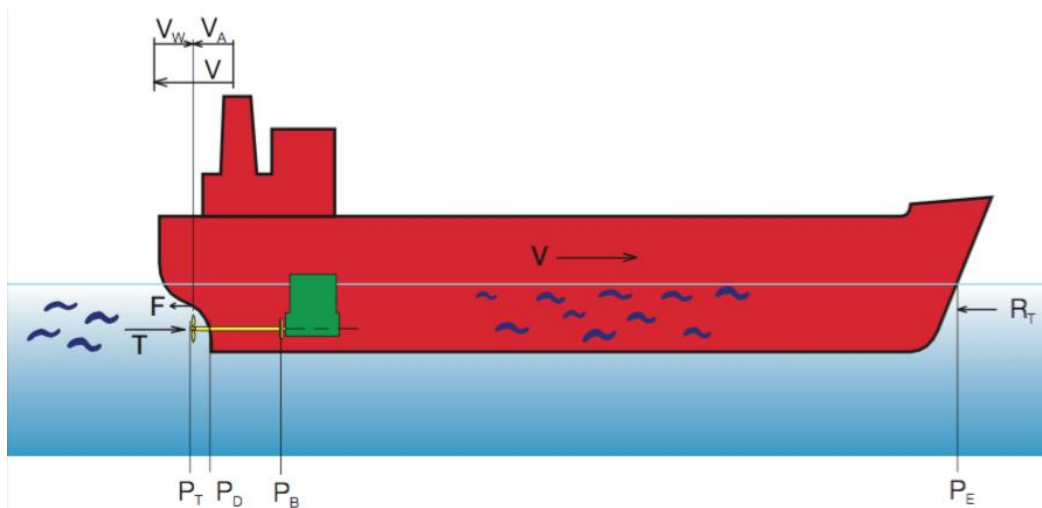
$$P_D = 2\pi \cdot n \cdot Q \quad P_D = \frac{P_T}{\eta_B} = \frac{P_E}{\eta_D}$$

Thrusteffekt (P_T):

Effekt propellen leverer for å drive skipet framover ved en gitt hastighet (skyveeffekt) [63].

$$P_T = \frac{P_E}{\eta_H} = T \cdot V_a$$

$$P_T = P_D \cdot \eta_0 \cdot \eta_R$$



Figur 2.9.5: Illustrerer hvor ulike krefter og former for effekt virker på skipet. [63]

Virkningsgrader

Mekanisk virkningsgrad (η_M):

Den mekaniske virkningsgraden påvirkes av oppsett og smøring av aksellagrene. Den er lik forholdet mellom levert effekt til propellen og motoreffekt. Denne verdien befinner seg oftest fra 0,96-0,995. For propeller med aksling er den ofte 0,97. [63]

$$\eta_M = \frac{P_D}{P_B}$$

Skrogvirkningsgrad (η_H):

En verdi som representerer forholdet mellom slepe- og thrusteffekt. Det er mulig at $\eta_H > 1$ siden den ikke er en "ekte" virkningsgrad. For skip med to propeller slik som fartøyet vårt vil skrogvirkningsgraden omtrentlig befinne seg mellom 0,95 og 1,05. [11]

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{1-t}{1-w} = \frac{R_T \cdot V_s}{T \cdot V_a}$$

Propellvirkningsgrad (η_0):

Denne virkningsgraden beregnes med utgangspunkt i åpent vann og presenteres ofte i friprøvediagrammer sammen med framgangstall, thrust- og momentkoeffisient.

Virkningsgraden er hovedsakelig avhengig av thrustkraft, innstrømningshastighet, turtall og propelldiameter. Den påvirkes imidlertid også av antall blader og forholdet mellom stigning og diameter. Verdien ligger vanligvis mellom 0,35-0,75. [64]

$$\eta_0 = \frac{J_a}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q} = \frac{T \cdot V_a}{2\pi \cdot n \cdot Q} = \frac{P_T}{P_D}$$

Propulsjonsvirkningsgrad (η_D):

Virkningsgraden representerer forholdet mellom slepeeffekt og levert effekt til propell fra akslingen. For slepebåter er denne virkningsgraden oftest mellom 0,4-0,6.

[11, s. 180]

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \eta_H \cdot \eta_B = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R$$

Rotasjonsvirkningsgrad (η_R):

K_Q er den teoretiske momentkoeffisienten man finner fra friprøvediagrammer. Denne koeffisienten er relatert til dreiemomentet propellen gir fra seg i åpent vann. K_{Qb} er imidlertid en koeffisient for dreiemomentet målt fra propulsjonstest. Ved gjennomføring av en propulsjonstest opererer propellen under en ikke-uniform innstrømning, på samme måte som propellen utsettes for bak et skrog. Disse forholdene påvirker propellens effektivitet, og forholdet mellom de to kondisjonene utgjør rotasjonsvirkningsgraden. Det er dermed mulig at $\eta_R > 1$ siden det er et forholdstall. [64]

$$\eta_R = \frac{K_Q}{K_{Qb}}$$

Propellvirkningsgrad (η_B):

Dette er også en propellvirkningsgrad. Forskjellen mellom η_0 og η_B , er at η_B tar utgangspunkt i propellens effektivitet under arbeid bak skroget. [63]

$$\eta_B = \eta_0 \cdot \eta_R$$

Total virkningsgrad (η_T):

Den forklarer forholdet mellom slepe- og motoreffekt, og uttrykkes også som sammenhengen mellom propulsjonsvirkningsgraden og mekanisk virkningsgrad. [63]

$$\eta_T = \frac{P_E}{P_B} = \eta_D \cdot \eta_M = \eta_H \cdot \eta_0 \cdot \eta_R \cdot \eta_M$$

2.10 Regelverk

Ifølge spesifikasjonen utlevert fra oppdragsgiver skal prosjektet følge Sjøfartsdirektoratets regler for lastebåter som arbeids- og slepebåt innen oppdrett. Fartsområde for skipet skal være liten kystfart. Forskriften vi skal følge kalles “Forskrift om bygging av skip”. Vi vil kun liste opp de reglene som gjelder for vårt fartøy og som vi kan/må følge. I første paragraf punkt d) [26] sies det at forskriften gjelder for blant annet norske lasteskip med lengde 24 meter eller mer, eller med bruttotonnasje 500 eller mer.

2.10.1 Stabilitet

§19 (2) sier at for et lasteskip i innenriksfart gjelder IS-koden fra 2008 del A punkt 2.2.1 til 2.2.4 som forskrift [26]. Disse punktene går som følger [27]:

- 2.2.1 Arealet under GZ-kurven skal ikke være mindre enn 0.055 meterradianer opp til $\phi = 30^\circ$ krengevinkel, og ikke mindre enn 0.09 meterradianer opp til $\phi = 40^\circ$ eller fyllingsvinkelen hvis denne er mindre enn 40° . I tillegg skal arealet under GZ-kurven mellom 30° og 40° krengevinkel, eller mellom 30° og fyllingsvinkelen, ikke være mindre enn 0.03 meterradianer.
- 2.2.2 Rettende arm GZ skal være minst 0.2 meter ved en krengevinkel lik eller større enn 30° .
- 2.2.3 Maksimum rettende arm skal oppstå ved en krengevinkel ikke mindre enn 25° .
- 2.2.4 Metasenterhøyden GM_0 skal ikke være mindre enn 0.15 m.

§19 (3) sier at alle disse kravene fra IS-koden skal oppfylles for alle lastetilstander når krysskurver er beregnet med fri trim [26].

2.10.2 Lastetilstander

Skip skal ha lastetilstander som er aktuelle for skipets drift. §32 (1) sier at IS-koden fra 2008 2.1.1 til 2.1.7 gjelder som forskrift for vårt skip:

- 2.1.1 Kriteriene fra del B, 3.3 og 3.4 skal være oppfylt for alle lastekondisjonene [27].

3.4.1.2 Lastekondisjoner for et lasteskip:

1. Skipet i fullastet kondisjon ved avgang, med last homogent fordelt utover alle lasterom og med full drivstofftank.
2. Skipet i fullastet kondisjon ved ankomst med last homogent fordelt utover alle lasterom, og med 10% igjen av drivstoff.
3. Skipet i ballastkondisjon ved avgang uten last, men med full drivstofftank.
4. Skipet i ballastkondisjon ved ankomst uten last og med 10 % igjen av drivstoff.

- 2.1.2 Fri overflateeffekt skal gjøres rede for i alle kondisjonene.

Punkt (3) i §32 sier at i tillegg til kravene fra første ledd skal det utarbeides slepetilstander for skip som sleper [26].

Skip som sleper skal også oppfylle følgende krav (§34) [26]:

(a) Når skipet utsettes for en kraft som gir det en hastighet tverrskips gjennom vannet på 5 knop, skal første skjæringspunkt mellom kurvene for rettende arm (GZ-kurven) og kregende arm opptre ved en vinkel som er mindre enn fyllingsvinkelen.

(b) Når skipet utsettes for en tverrskipskraft tilsvarende skipets maksimale slepekraft multiplisert med 0,65, skal arealet mellom kurvene for rettende arm (GZ-kurven) og kregende arm, regnet fra første skjæringspunkt til vinkelen for GZ_{maks} , 40 grader, eller fyllingsvinkelen, være større enn eller lik 0,010 meterradianer. Kregemomentets vertikale arm skal regnes å være fra senteret av propellene til festepunktet for sleperen.

2.10.3 Lastelinjekonvensjonen del B-2

Ifølge §44 (1) gjelder lastelinjekonvensjonen bilag B vedlegg I kapittel II utenom regel 10 og 11 som forskrift for alle skip [26].

Regel 9

1. En dobbeltbunn skal monteres fra kollisjonsskottet til hylseskottet, så langt det er praktisk mulig og forenlig med skipets utforming og effektive drift.
2. Der det kreves en dobbeltbunn, skal den indre bunnen forlenges ut til skipssidene på en slik måte at den beskytter skipsbunnen til slagene. Denne beskyttelsen vil bli ansett som tilfredsstillende når den indre bunnen ikke på noe sted kommer under et nivå parallelt med kjøllinjen, og som er plassert ikke mindre enn en vertikal avstand h målt fra kjøllinjen, som beregnet ved formelen: $h = B/20$. Ikke i noe tilfelle skal verdien av h imidlertid være mindre enn 760 mm, og den trenger ikke forutsettes å være mer enn 2000 mm. [26]

Regel 12

1. Det skal monteres et kollisjonsskott som skal være vanntett opp til skottdekket. Dette skottet skal være plassert i en avstand fra forre perpendikulær på minst 0,05 L eller 10 m, med anvendelse av den minste verdien, med unntak av det som kan tillates av administrasjonen. Den skal være høyst 0,08 L eller 0,05 L + 3 m, med anvendelse av den største verdien.
4. Dører, mannhull, atkomståpninger, ventilasjonskanaler eller andre åpninger skal ikke monteres i kollisjonsskottet under skottdekket.
9. Det skal monteres skott som skiller maskinrommet fra lasterom og rom i innredningen forut og akterut, og disse skal gjøres vanntette opp til skottdekket. [26]

Regel 15

3.1. Med forbehold for kravene i gjeldende internasjonale konvensjon om lastelinjer, skal det ikke plasseres lysventiler slik at den nederste kanten av åpningen er under en linje trukket parallelt med skottdekket i borde og med sitt laveste punkt 2,5 % av skipets bredde over største oppdelingsdygående, eller 500 mm, når denne avstanden er større.

5.1 Det skal ikke monteres lysventiler i rom som er reservert utelukkende for transport av last eller kull. [26]

2.10.4 Fribord

§47 [26] sier at lasteskip med fartsområde liten kystfart eller mindre skal ha nasjonalt fribord. Fribordet er fastsatt etter reglene i lastelinjekonvensjonen vedlegg I kapittel III.

“Regulation 27” i kapittel 3 i lastelinjekonvensjonen [28] sier at vi skal følge kravene for et ”type B” skip. ”Table B” viser krav til fribord for vår skipstype. Skip med lengde på 40 meter gir oss et minstekrav for fribord på 334 mm.

3.1 Data

Spesifikasjon AAS 40 WB

Hoveddimensjoner

- L_{OA} 40,00 m
- L_{PP} ? m
- Bredde 12,00 m
- Dybde ? m
- Dypgang ? m
- Fart 12,00 knop

Klasse

Uklasset. Følger Sjøfartsdirektoratets regler for lasteskip over 24 meter.

Lugarer

Opp til 6 personer – 6 enkelt lugarer.

Kapasitet

- Dekksareal ? m², maks ? TEU
- Ferskvann 40+ m³
- Drivstoff 100+ m³
- Ballast 200+ m³
- Lasterom ? m³
- Tauekraft 28,00 tonn

Hovedmaskiner - propulsjon

- 2 stk. Cat C32, 749 kW, 1800 rpm
- 2 stk. Propellgir, Mekanor 430 1-HS med reduksjon 5,94
- 2 stk. Vribar propell, Finnøy P50, Ø2000 mm, 4 bladete propell montert i dyse

Hovedmaskiner - strømgenerering

- 2 stk. Cat C18, 500 kW, 1800 rpm
- 2 stk. Stamford 2, 600 kW, 220 V, 50 Hz

Ror og styringsgir

- 2 stk. Styringsgir, Petter Marine
- 2 stk. Ror av stål, Petter Marine

Thrustere

- 1 stk. Baug tunnel thruster, Petter Marine, STR-80-250-H, 184 kW
- 1 stk. Hekk tunnel thruster, Petter Marine, STR-80-250-H, 184 kW

Dekksutstyr

- 2 stk. Hjelpevinsj, MBH, BW1950LT
- 1 stk. Dekkskran, PKM 550-16, SWL 3850 kg
- 1 stk. Dekkskran, PKM 1450-16, SWL 9000 kg
- 1 stk. 2-tromlet Varpvinsj, MBH, 1-VA-80-AHB/1-VA-20-AHB-GA, 700m, Ø56mm
- 2 stk. Ankervinsj, MBH 1-AV-24K2
- 1 stk. Slepekrok, 300 kN SWL
- 1 stk. Haikjeft
- 1 stk. Tauepinne
- 1 stk. Hekkrull på hekk, bredde 1000 mm
- 1 stk. Hydraulisk platelås
- 4 stk. Kapstans, MBH

Livredningsutstyr

- 1 stk. MOB båt, NARWHAL SV-420 SOLAS RESCUE RIB, PU
- 1 stk. MOB båt davit, MBH, G-davit SWL 1,0 tonn
- 2 stk. Redningsflåte, 6 personer
- 6 stk. Overlevingsdrakter

Pumpesystem

- 2 stk. Lensepumpe, 20 m³/t
- 1 stk. Senkepumpe, 25 m³/t
- 1 stk. Flyght senkepumpe, 25 m³/t
- 1 stk. Ballastpumpe, 95 m³/t
- 1 stk. Spilloljepumpe, 2 m³/t

DP, navigasjon og kommunikasjon

- DP-system, Petter Marine KP, Autopilot
- Radar
- Kartmaskin, kart og kompass
- Ekkolodd
- VHF, Radio, mobiltelefon og TV m/antenneanlegg, Fri flyt nødpeilesender

3.2 Hoveddimensjoner

For å bestemme startverdier til hoveddimensjonene for vårt design av arbeidsbåten, så bruker vi først informasjonen vi får ut av spesifikasjonen for skipet som vi har mottatt fra Aas Mek. Verksted. Der er noen av dimensjonene allerede fastsatt, som L og B, og minimumsverdier på ulike kapasiteter som brennolje, ferskvann, vannballast, lasterom og dekkareal er også gitt. I spesifikasjonen er det også satt opp en liste over maskineri, generell utrustning og dekksutstyr som skal inn i skipet.

Siden L og B var bestemt, blir første steg å finne T, D og C_B .

For å bestemme disse verdiene gjennomfører vi fire steg:

- Estimere lettskipsvekt: Estimert vekt av skroget + estimert vekt av utrustning
- Estimere dødvekt: Estimert vekt av væske i tanker + vekt av last i lasterom og på hoveddekk
- Studere propulsjonssystemet for å vurdere nødvendig dypgang i akterskipet
- Studere eksisterende og planlagte arbeidsbåter av ulike størrelser for erfaringsdata

Når estimatene er gjennomført kan vi beregne hvor mye deplasement i antall tonn som er nødvendig for vårt skip.

Deplasement = lettskipsvekt + dødvekt = $LBTC_B$

Ved å bruke denne formelen sammen med erfaringsdata kan vi bestemme en startverdi på dypgang og blokk-koeffisient C_B .

Verdier for nivå på de ulike dekkene, altså avstand mellom basislinjen og dekk, blir valgt fra en skalering av spanteavstanden. Dette gjøres for å optimalisere stiverarrangement. For eksempel så kan første versjon av dybde til hoveddekk, D, bli lik $9 \cdot s = 9 \cdot 600 \text{ mm} = 5400 \text{ mm}$ over basislinjen.

Lengde (L)

Denne dimensjonen er definert i spesifikasjonen som 40 meter LOA.

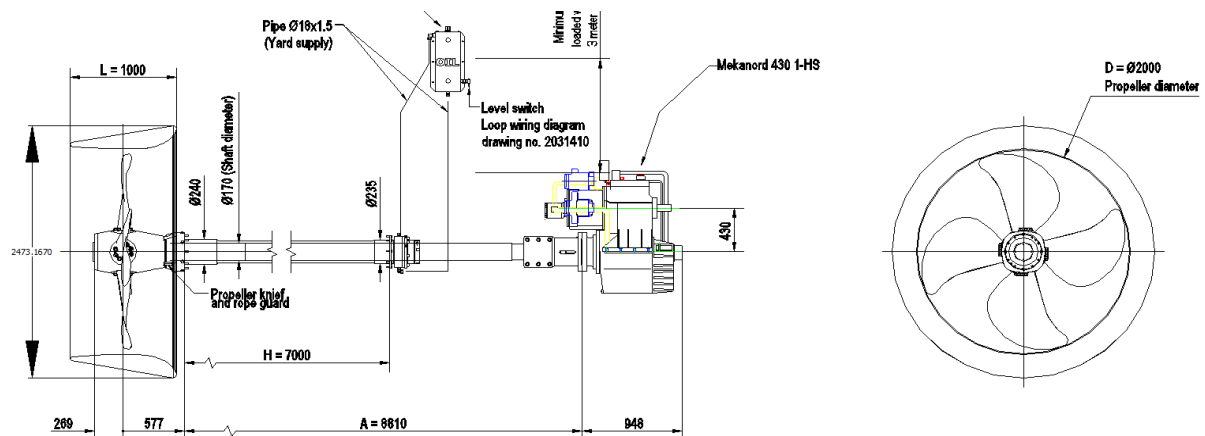
Bredde (B)

Bredden på spantene er definert i spesifikasjonen som 12 meter.

Dypgang (T)

For å bestemme maks dypgang for skipet tar vi stilling til følgende tre punkt:

1. Propulsjonssystem



Figur 3.2.1: Propellanlegg.

På figur 3.2.1 ser man en skisse av propellsystemet som er planlagt for dette skipet. Skissen er tatt ut av en AutoCAD-fil som vi mottok fra Aas Mek. Verksted. Propellen er en Finnøy P50 og giret er en MEKANORD 430 1-HS. Det er også satt på en dyse for ekstra skyvekraft ved lav hastighet. Ved å sette på dimensjoner i AutoCAD kan man se på venstre side av skissen at total diameter på dysen er 2473 mm. Siden vi vet at hovedmaskiner og gir skal installeres på tanktop så kan vi ta en vurdering om at dypgangen må ha en minimumsverdi på 3 meter.

2. Deplasement

Nødvendig deplasement i antall tonn er lik summen av lettskipsvekt og dødvekt. Først setter vi opp en estimering av dødvekt som skipet skal håndtere ut i fra definerte kapasiteter i tank og på dekk.

- Dekkslast: ca. 320 tonn (10 containere på 30 tonn + 20 tonn diverse)
- Brennstoff: $100 \text{ m}^3 \cdot 0,944 \text{ t/m}^3 = 94,4 \text{ tonn}$
- Ferskvann: $40 \text{ m}^3 \cdot 1,0 \text{ t/m}^3 = 40,0 \text{ tonn}$
- Ballast: $300 \text{ m}^3 \cdot 1,025 \text{ t/m}^3 = 307,5 \text{ tonn}$
- Sum dødvekt = 761,9 tonn

Neste steg var å estimere lettskipsvekten.

- En tredjedel av skrogvekt fra et skipsprosjekt i faget Skipsdesign 2. En PSV på 80 m med tilsvarende skrogform som vi har planlagt for arbeidsbåten. $800 \text{ tonn} / 3 = 267 \text{ tonn}$
- Overbygg = 50 tonn
- Utrustning = 200 tonn
- Sum lettskipsvekt = 517 tonn

Dette var en grov estimering, men for å finne startverdier for første gjennomgang i designspiralen er dette nøyaktig nok.

Deplasement = Lettskipsvekt + Dødvekt = 762 tonn + 517 tonn = 1279 tonn

3. Data fra arbeidsbåt

Vi studerer en arbeidsbåt som tilhører FSV Group AS kalt M/S MULTI SERVER. Den ble levert i 2013 og er en arbeidsbåt beregnet for bruk i oppdrettsnæringen, altså tilsvarende vårt design.



Figur 3.2.2: Viser utvendig profil av arbeidsbåten til FSV. [3]

L _{OA}	24,60 m
L _{PP}	21,70 m
Bredde på spant	11,00 m
Dybde i riss til h.dk.	4,00 m
Dybde i riss til sh.dk.	4,50 m
Draft	3,15 m
GT	266
Dekkslast	150 t
Lasterom	80 m ³
Bollard pull	15 t

Tabell 3.2.1: Data for M/S MULTI SERVER ifølge Skipsrevyen nettavis. [3]

Vi ser at dette skipet på 24 meter har en dypgang på 3,15 meter og antar at vi må ha en litt større dypgang enn dette siden skipet vårt skal være 16 meter lengre og ha generelt større kapasitet.

Vi trenger altså ca. 1279 tonn i deplasement. Vi antar at vi kommer til å ende opp med en blokk-koeffisient på mellom 0,6 og 0,7 siden skipet vil ha en fyldig form midtskips tilsvarende forsyningskip brukt i oljeindustrien.

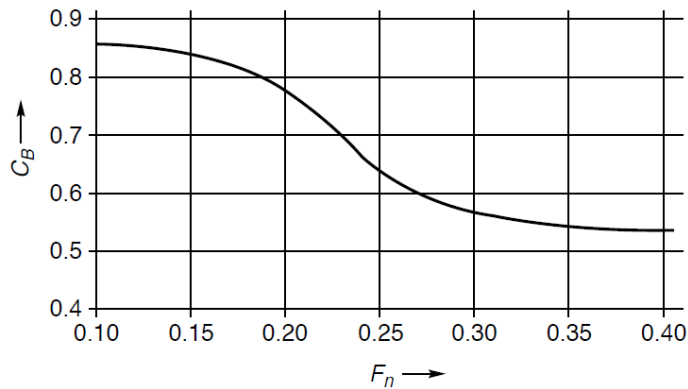


Figure 1.17 Recommended block coefficient C_B (Jensen, 1994), based on statistics

Figur 3.2.3: Anbefalt blokk-koeffisient basert på Froudes tall ifølge H. Schneekluth & V. Bertram. [11]

Froudes tall:

$$F_n = \frac{V_s}{\sqrt{gL}} = \frac{10 \cdot 0,514}{\sqrt{9,81 \cdot 40}} = 0,259$$

Diagrammet på figur 3.2.3 estimerer en $C_B = 0,65$ dersom vi går ut ifra en fart på 10 knop.

$$1279 = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \Rightarrow T = \frac{\Delta}{L B C_B \rho} = \frac{1279}{40 \cdot 12 \cdot 0,65 \cdot 1,025} = 3,99 \text{ meter}$$

Ved å studere data fra disse tre stegene velger vi en dypgang på 4 meter som startverdi.

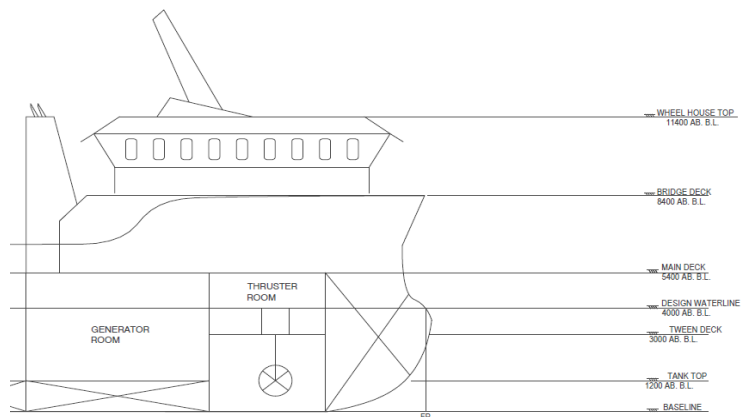
Dybde (D)

Det første vi gjør er å bestemme en standard spanteavstand. Vi velger en avstand på 600 mm siden det passer (delelig) med bredden på skipet som er 12 meter. Deretter plasserer vi dekkene på et nivå slik at takhøyden på dekk blir minimum 3 meter over hele skipet.

Startverdier:

Når vi velger hvor dekkene skal plasseres i første runde av designspiralen, så plasserer vi dem med tanke på takhøyde, fribord og volum i rom på tanktop.

- Tanktop = 1200 mm over basislinjen
- Hoveddekk = 5400 mm over basislinjen
- Styrhusdekk = 8400 mm over basislinjen
- Styrhustopp = 11400 mm over basislinjen

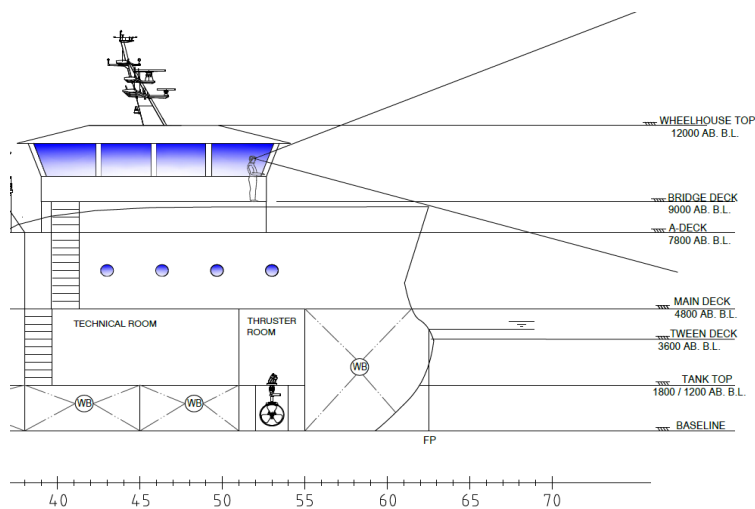


Figur 3.2.4: Utsnitt sett i profil i GA etter første runde.

Verdier etter designprosess:

Etter flere runder gjennom designspiralen og et møte hos Aas Mek. Verksted utfører vi endringer på designet som også forandrer dybden til skipet.

- Tanktop har 2 nivåer: 1200 mm i maskinrom slik at propelldyse har tilstrekkelig plass i hekken og 1800 mm utenom maskinrommet for maksimal tankkapasitet under
- Senker hoveddekket med 600 mm for å få mindre fribord på grunn av praktiske hensyn og unngå unødvendig bruk av stål ved å ha takhøyde mer enn 3 meter
- Legger til et teknisk rom med 1200 mm høyde under brodekket for installasjon av f.eks. kabler
- Hever dekk i styremaskinrom med 600 for å passe nye linjer
- Tanktop = 1200 og 1800 mm over basislinjen
- Hoveddekk = 4800 mm over basislinjen
- A-dekk = 7800 mm over basislinjen
- Styrhusdekk = 9000 mm over basislinjen
- Styrhustopp = 12000 mm over basislinjen



Figur 3.2.5: Utsnitt sett i profil i GA etter tredje runde.

Blokk-koeffisient

Startverdien for C_B er 0,65 og i løpet av prosjektet blir den ikke betydelig endret ved maks dypgang på 4 meter. Tabell for C_B ved ulike dypganger etter hver runde i designspiral:

Dypgang	0,5m	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m	4m
1. runde	0,444	0,43	0,496	0,534	0,571	0,561	0,595	0,628
2. runde	0,423	0,517	0,57	0,598	0,545	0,586	0,622	0,655
3. runde	0,444	0,521	0,569	0,6	0,597	0,581	0,612	0,644

Tabell 3.2.2: Blokk-koeffisient ved ulike dypganger.

Siden vi må forholde oss til at det skal være plass til alt av maskineri og last på tanktop, så er det begrenset hvor mye vi kan senke blokk-koeffisienten for å gjøre skroget slankere. Vi må også tenke på at skipet skal være stabilt under kranoperasjoner.

Fribord

Startverdi:

Design dypgang er satt til 4 meter i første runde i designspiralen, og dybde hoveddekk blir satt til 5,4 meter. Fribord (F) = $D - T = 5,4 - 4 = 1,4$ meter.

Verdi etter designprosess:

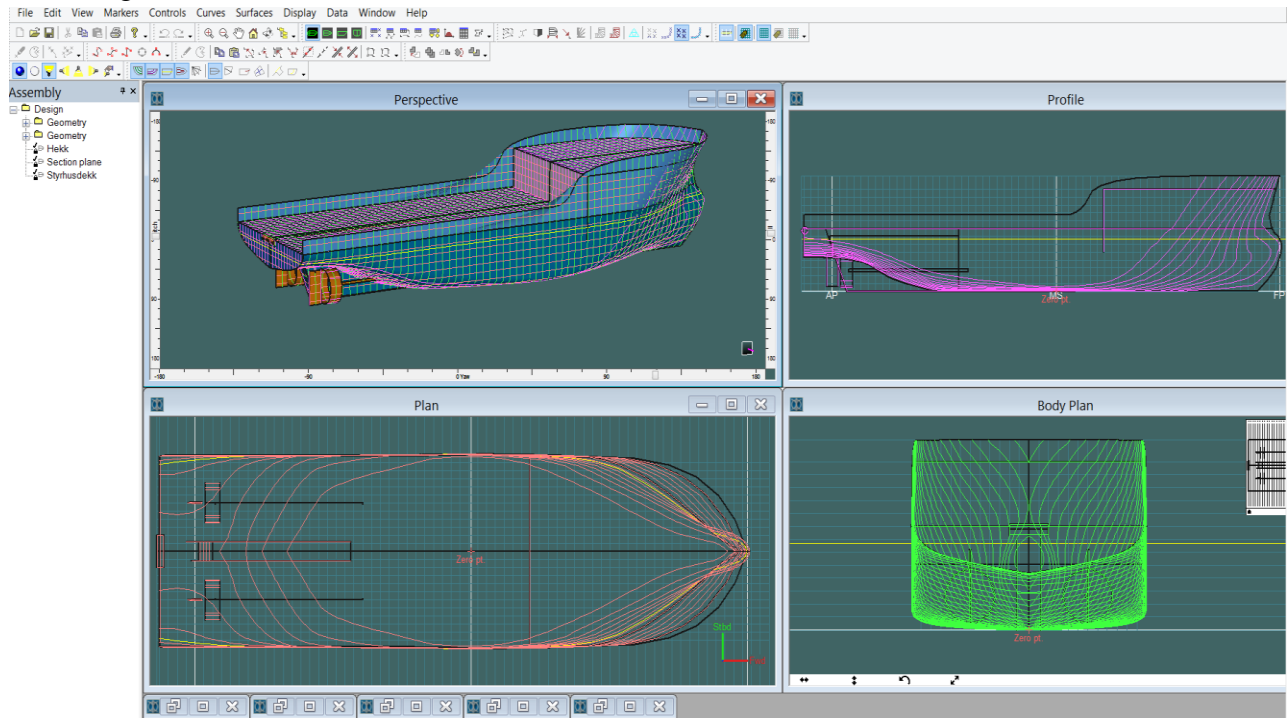
Etter møtet med Aas Mek. Verksted blir vi gjort oppmerksom på at når skipet ligger stillestående ved oppdrettsmerder, så er det ønskelig å ha en lav avstand fra hoveddekket og ned til gangvei på merden på grunn av praktiske hensyn.

Derfor senker vi dybde hoveddekk med 600 mm fra 5,4 meter til 4,8 som gir en ny og lavere verdi av fribord. Fribord (F) = $D - T = 4,8 - 4 = 0,8$ meter. Den nye dybden gir en mer praktisk fribordshøyde samtidig som minimum takhøyde på tanktop beholdes.

3.3 Linjer

3.3.1 Maxsurf Modeler Advanced

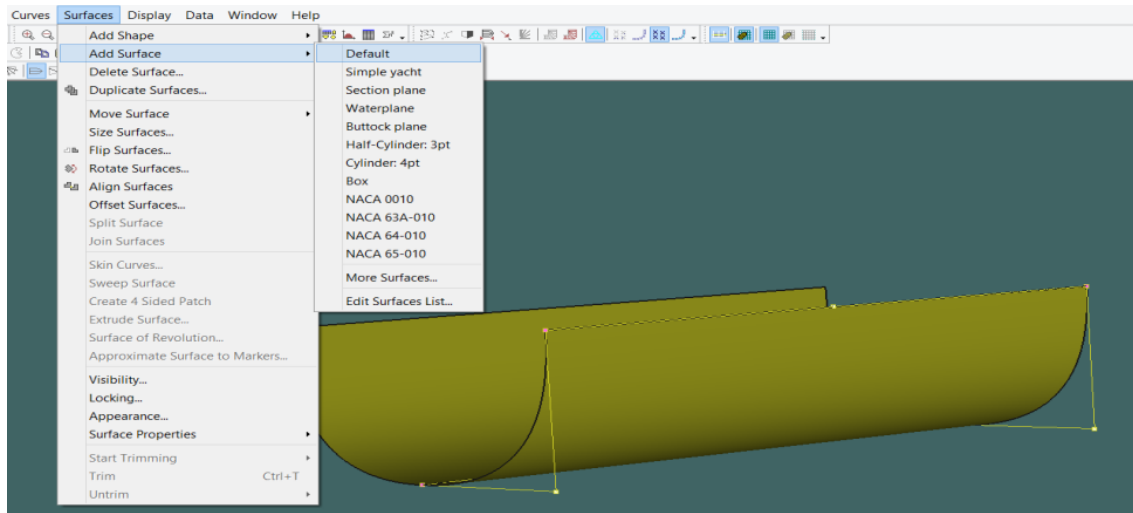
Skoget til skipet blir modellert ved å sette sammen flere flater som kan formgis i en montering.



Figur 3.3.1: De ulike snittene av modellen vår i Maxsurf.

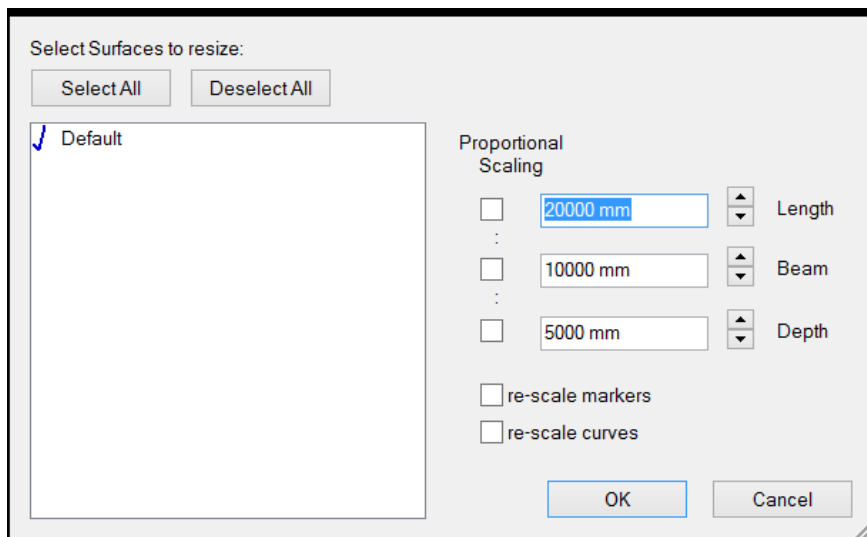
Man har muligheten til å manipulere flatene i fire ulike snitt: perspektiv, profil, plan og tverrsnitt. Linjene i vinduet for profil kalles profil-linjer. De viser vertikale langskipssnitt av skipet (x-retning), for eksempel et snitt hver 500 mm fra senterlinjen i skipet til skutesiden. Linjene i vinduet for plan kalles vannlinjer. De viser horisontale snitt av skipet i vertikalt (z-retning), for eksempel et snitt hver 600 mm fra kjøll til toppen av skipet. Navnet på disse linjene kommer av at de representerer strømning langs skipet ved ulike dypganger. Linjene i vinduet for tverrsnittet kalles spantelinjer. De viser vertikale tverrskipssnitt av skipet (y-retning), for eksempel et snitt hver 600 mm fra hekk til baug.

Det første man starter med er å sette inn en standard flate. Dette er en halvsirkel ekstrudert i lengderetningen. Denne legges inn i modellvinduet ved å trykke på "default" som vist på figur 3.3.2.



Figur 3.3.2: Standard-flaten man begynner modelleringen med (default).

Neste steg er å sette hoveddimensjoner på skipet. Dette gjør man ved å velge dimensjoner på flaten som skal behandles. Man finner “size surfaces” under Surfaces-fanen.



Figur 3.3.3: Endring av størrelsen til flatene.

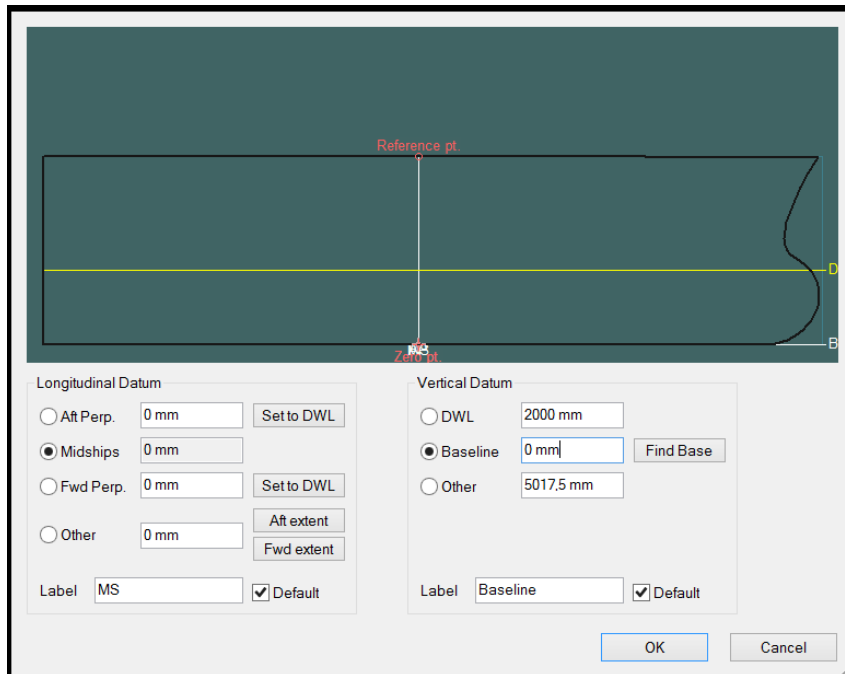
Figur 3.3.3 viser at man kan skrive inn lengde, bredde og dybde på skipet. Dybden her er gjerne avstanden fra kjøll til toppunktet på baug.

Nå kan vi behandle flaten vi har lagt inn ved å flytte på kontrollpunktene i de ulike snittene. Man kan også legge til flere kontrollpunkt om ønskelig.



Figur 3.3.4: Kontrollpunkt i snittene.

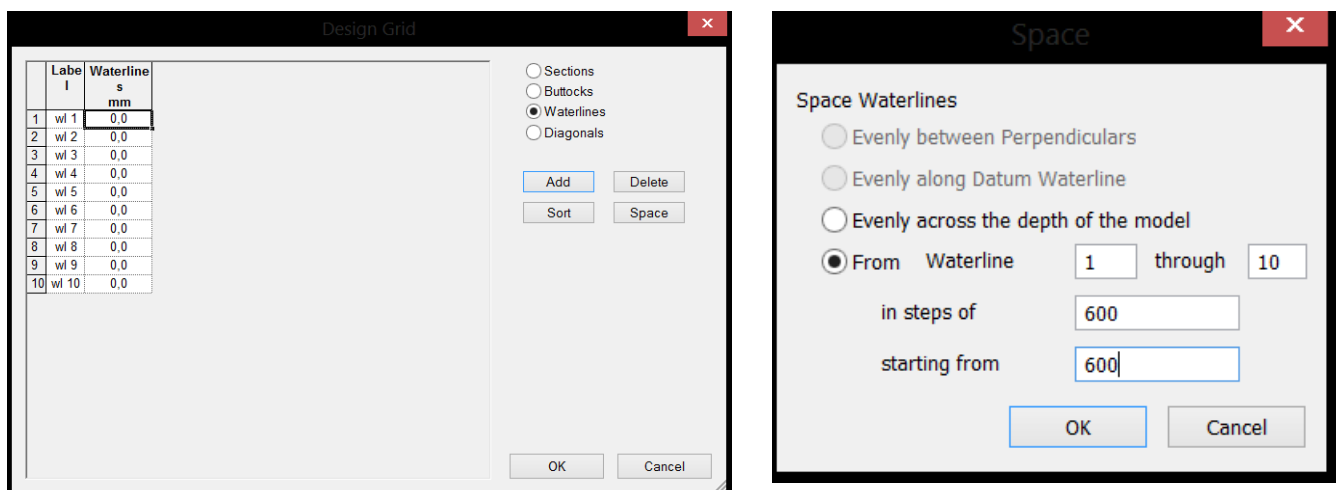
På figur 3.3.4 kan man se at ved å flytte på punktene i tre snitt har vi raskt fått opp basisformen på et skip. Vi har U-form i tverrsnitt, spiss baug i plansnitt og bulb i profilsnittet. Den svarte linjen representerer kanten på skroget i senterlinjen. Videre må man definere hvor basislinjen, AP, FP og DWL skal plasseres.



Figur 3.3.5: Referansevinduet.

Først trykker man på “Find Base” ved 0 mm, og deretter legger man inn antall mm man vil ha som maks dypgang på skipet ved DWL.

For å legge til de ulike linjene bruker man “design grid” under Data-fanen, som vist på figur 3.3.6.

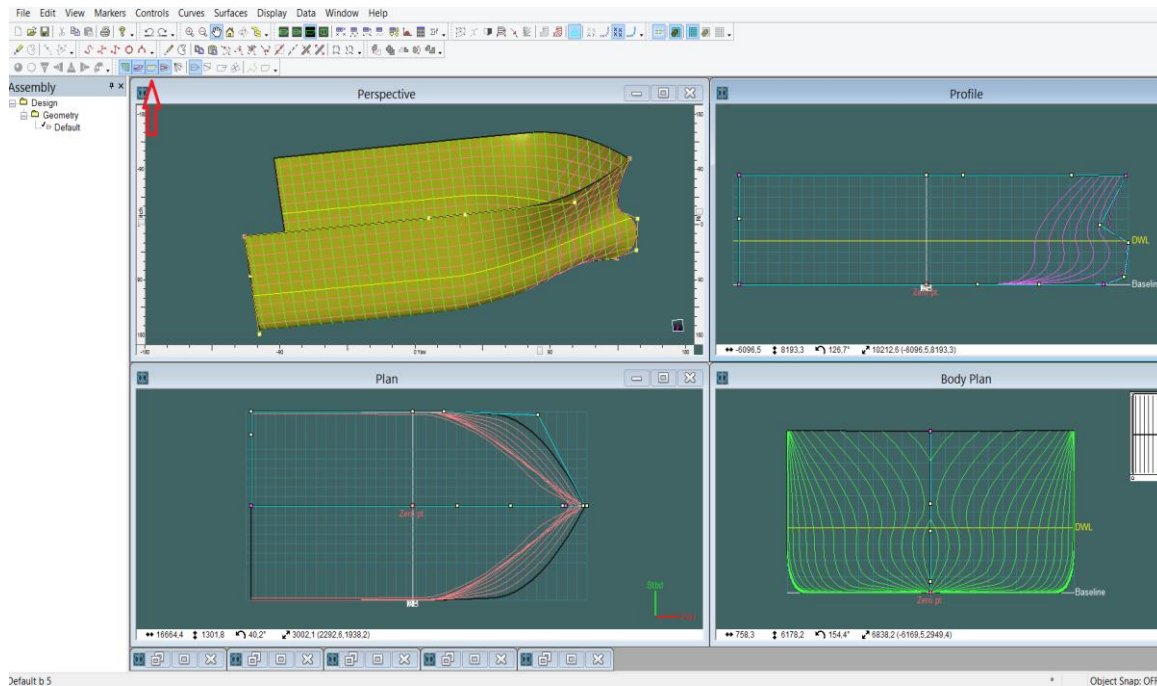


Figur 3.3.6: Vindu for bestemmelse av hvilke skroglinjer som skal vises.

I dette vinduet kan man legge inn linjene. Man velger antall linjer og avstanden mellom dem. For profillinjene er det greit å bruke en halv meter mellom hver. For vannlinjer er det fritt hvilken avstand man bruker, men man må ha et passelig antall slik at man ser formen på skroget. For spantelinjer bruker man samme avstand som standard spanteavstand for skipet. Man må også passe på at linjene dekker hele skipets lengde (f.eks. $20 \text{ m} / 0,6 \text{ m} = 34$ nødvendige snitt).

Kapittel 3 – Metode

Ved å skru på visning av linjene (rød pil på figur 3.3.7) kan man nå se skroglinjene og vurdere videre utforming ved å flytte på kontrollpunktene.



Figur 3.3.7: Hovedvindu i Maxsurf Modeler.

Siste steg er å se på hydrostatikken for skipet vi har modellert. For å sjekke denne finner vi “Calculate hydrostatics” under data fanen som vist på figur 3.3.8.

Measurement	Value	Units
1 Displacement	311.2	t
2 Volume (displaced)	30360442	mm ³
3 Draft Amidships	2000.0	mm
4 Immersed depth	1999.6	mm
5 WL Length	19763.1	mm
6 Beam max extents on WL	9998.5	mm
7 Wetted Area	22424469	mm ²
8 Max sect. area	19563971	mm ²
9 Waterpl. Area	15831125	mm ²
10 Prismatic coeff. (Cp)	0.785	
11 Block coeff. (Cb)	0.768	
12 Max Sect. area coeff. (Cm)	0.983	
13 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.801	
14 LCB length	-1714.8	from z
15 LCF length	-1583.0	from z
16 LCB %	-8.677	from z
17 LCF %	-8.010	from z
18 KB	1033.9	mm
19 KG fluid	5017.5	mm
20 BMT	3785.0	mm
21 BML	12256.8	mm
22 GMt corrected	-198.6	mm
23 GML	8273.2	mm
24 KMT	4818.9	mm
25 KML	13290.7	mm
26 Immersion (TPc)	1.623	tonne/
27 MTC	0.000	tonne.
28 RM at 1deg = GMt Disp. sin(1)	-1078.8	tonne.
29 Length:Beam ratio	1.977	

Density (water)

Std. densities

VCG

Da får vi opp vinduet som viser data over hydrostatikken til skipet. Programmet finner disse verdiene ved å definere flaten vi har utformet som skipets stålskrog og gå ut ifra at skipet har en dypgang som er lik valgt DWL.

Ved å se på denne tabellen kan vi avgjøre hvilke endringer som må gjøres på skroglinjene eller dimensjonene ved å bruke kunnskaper om skip vi har opparbeidet oss i løpet av utdanningen.

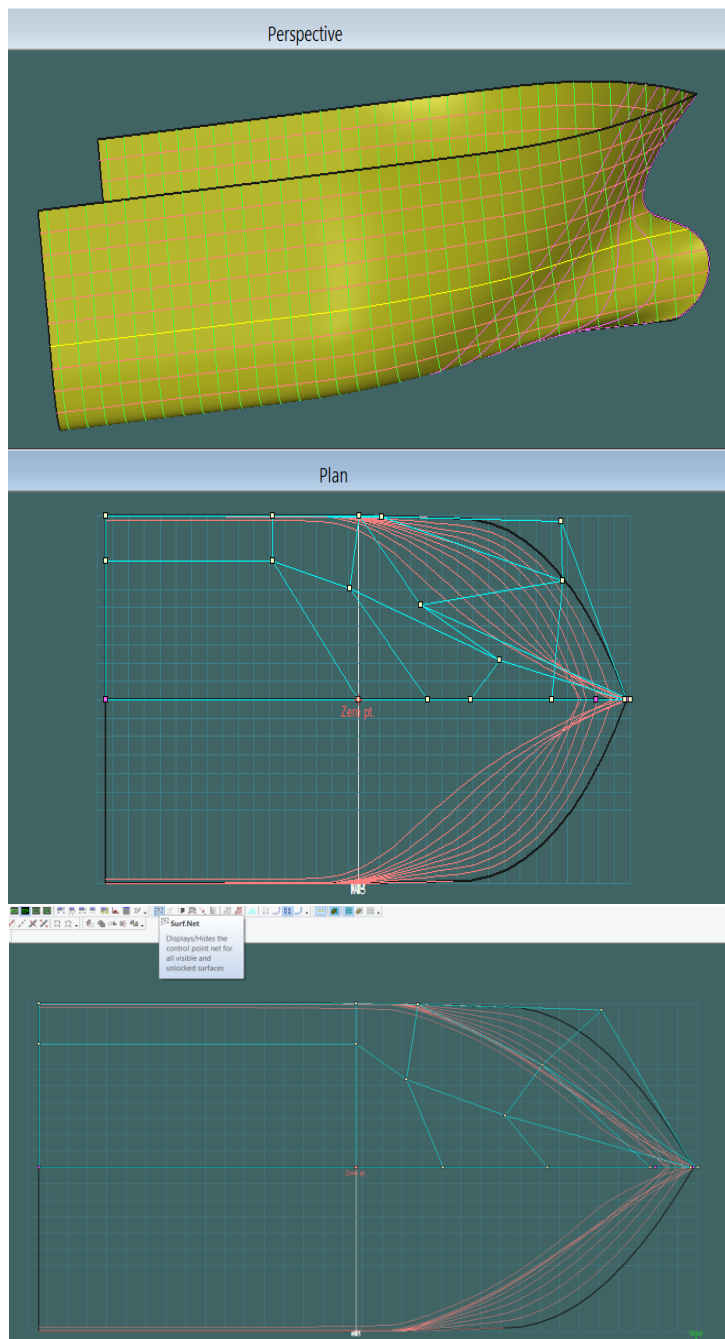
Dersom man har et estimat over hvor stort deplasement man trenger, hva blokk-koeffisienten skal ligge på og hvor man vil ha oppdriftspunktet plassert i lengderetning på skipet, kan man utføre endringer som justerer disse parametrene.

Hvis man ser at LCB er for langt fram i skipet og C_B er for høy, kan man slanke forskipet ved å endre på vannlinjene.

Figur 3.3.8: Vindu for hydrostatiske data.

Kapittel 3 – Metode

Hvis man skrur på "Surft.Net" får man opp flere punkter som er plassert i midten av flaten, i motsetning til punkter kun plassert i kantene. Disse punktene vises på figur 3.3.9.



Figur 3.3.9: Her ser vi hvordan de ekstra kontrollpunktene fra "Surft.Net" ser ut.

Ved å endre på punktene kan man forme forskipet slik at det blir slankere. Man kan også gjerne forme vannlinjene i en S-form for optimal innstrømning av vann for redusert skrogmotstand. På figur 3.3.10 kan man se at LCB er flyttet til -2300 mm og C_B er redusert til 0,713 ved å endre linjene i forskipet.

Measurement	Value	Units
1 Displacement	284.0	t
2 Volume (displaced)	27704099	mm ³
3 Draft Amidships	2000.0	mm
4 Immersed depth	1999.7	mm
5 WL Length	19426.8	mm
6 Beam max extents on WL	9999.4	mm
7 Wetted Area	21037995	mm ²
8 Max sect. area	19563971	mm ²
9 Waterpl. Area	15077551	mm ²
10 Prismatic coeff. (Cp)	0.729	
11 Block coeff. (Cb)	0.713	
12 Max Sect. area coeff. (Cm)	0.983	
13 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.776	
14 LCB length	-2301.8	from z
15 LCF length	-1927.9	from z
16 LCB %	-11.849	from z
17 LCF %	-9.924	from z
18 KB	1044.5	mm
19 KG fluid	2700.0	mm
20 Bmt	3881.1	mm
21 BML	11868.9	mm
22 GMt corrected	2225.6	mm
23 GML	10213.4	mm
24 KMt	4925.6	mm
25 KML	12913.4	mm
26 Immersion (TPc)	1.545	tonne/
27 MTC	0.000	tonne.
28 RM at 1deg = GM.Disp.sin(1)	11029.9	tonne.
29 Length:Beam ratio	1.943	

Density (water)

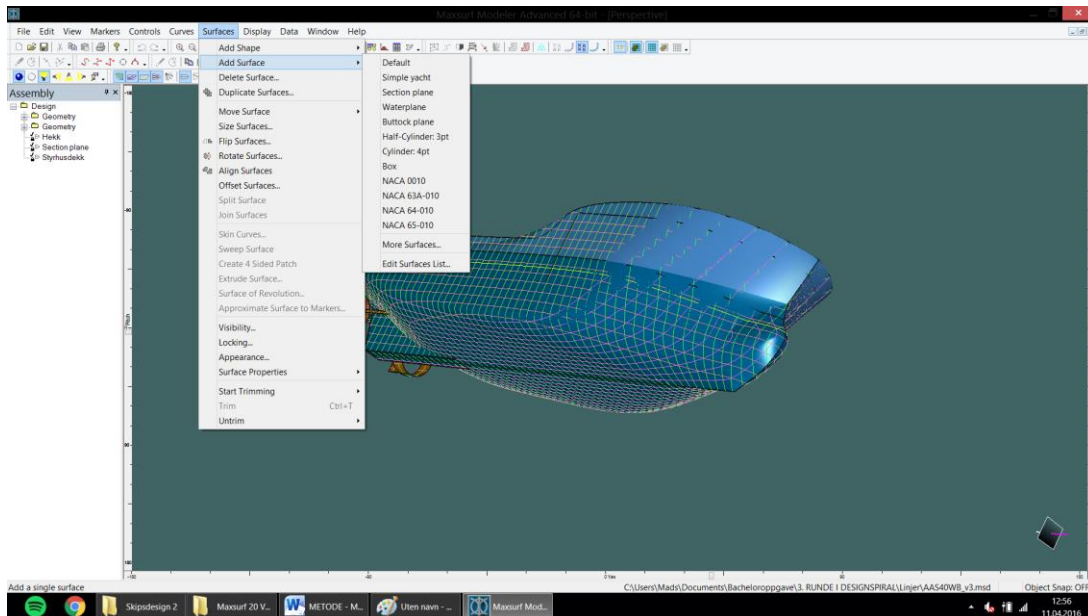
Std. densities

VCG

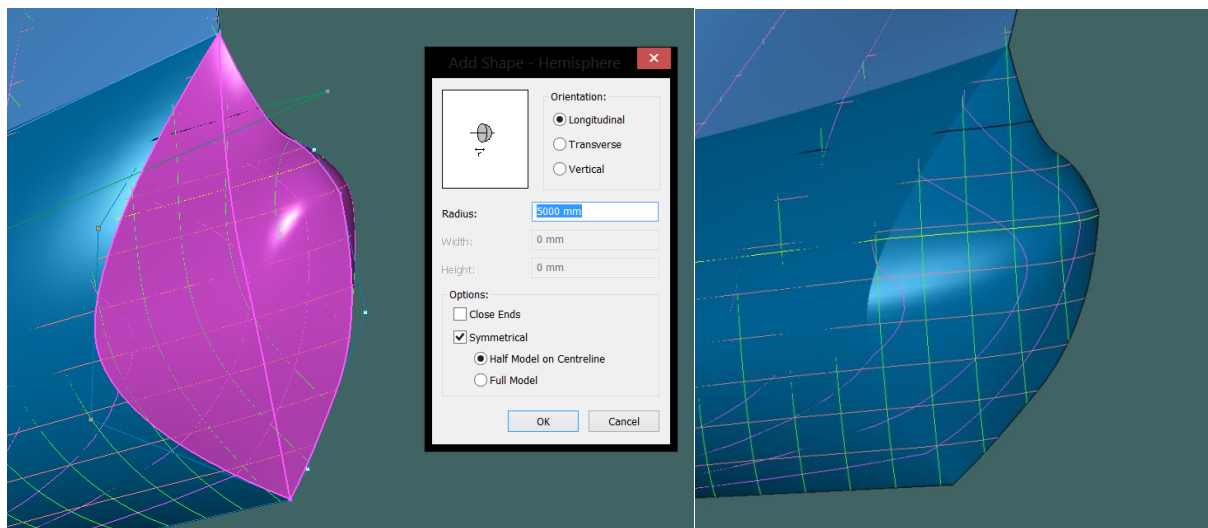
Figur 3.3.10: De nye hydrostatiske dataene.

Kapittel 3 – Metode

Etter at man har fått denne basisen under kontroll kan man begynne å legge inn flere flater i modellen. Dette gjør man ved å bruke “Add shape” eller “Add surface” under Surfaces-fanen som vist på figur 3.3.11.



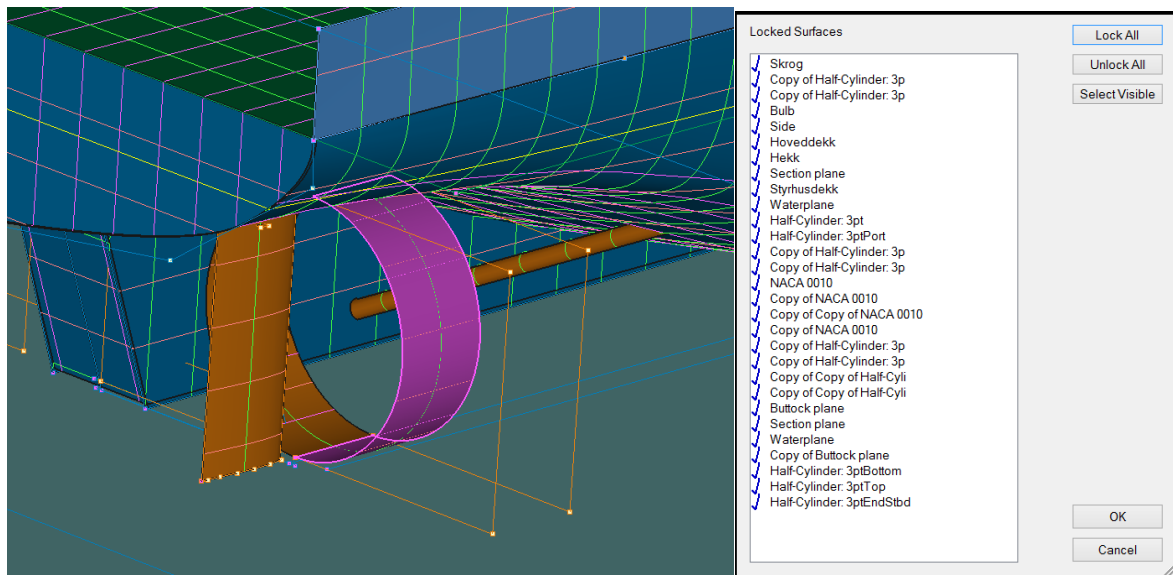
Figur 3.3.11: Vi legger inn flere flater i modellen.



Figur 3.3.12: Her ser vi hvordan man kan bruke en "shape" til å utforme bulb.

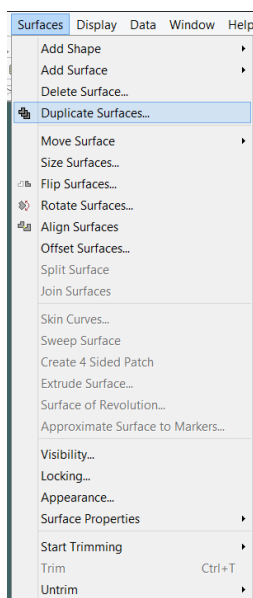
For å lage til en bulb legger vi til en halvkule, former den og knytter den til skrogflaten. Eksempel på dette kan vises i figur 3.3.12. Vi legger også inn andre flater som sylindere eller planflater og former dem til propellysere, aksling, skag og skutesider over hoveddekk i modellen. Noen av disse kan man se på figur 3.3.13.

Bulben ble laget slik at tuppen ligger på en dypgang lik 3,5 meter som er midt mellom minimum (3 meter) og maksimum (4 meter).

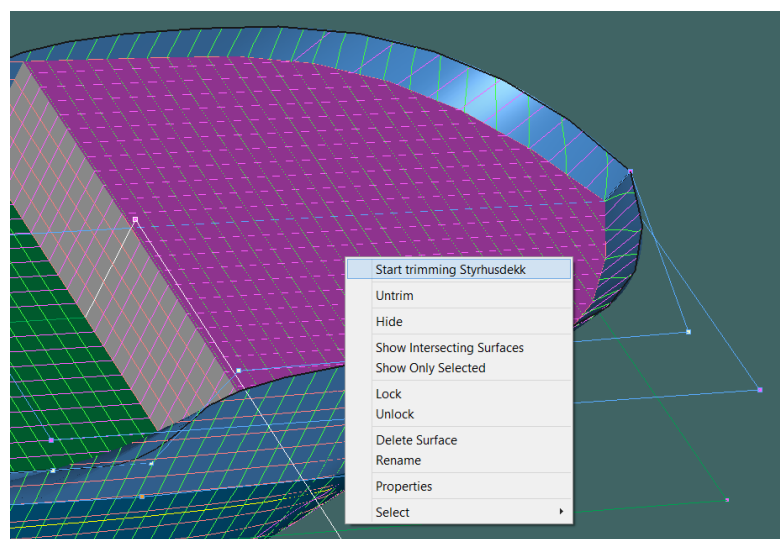


Figur 3.3.13: Hekken til skipsmodellen med liste over flater som er brukt.

Totalt så består 3D-modellen vår av 29 flater som vist på figur 3.3.13.



For å kontrollere og flytte de ulike flatene rundt i rommet har man flere muligheter liggende i menyen for Surfaces. Her har man flere verktøy til å plassere eller kopiere flatene slik som man vil. Man kan også gjøre flater usynlige for en periode eller låse dem fast i en posisjon. Hvis man ønsker å trimme en flate mot en annen, for eksempel en flate man har brukt som dekk mot sideflaten, kan man gjøre dette ved å bruke trimming funksjonen. Først trykker man på den flaten man vil trimme og deretter høyreklikker man for å få opp menyen. På denne menyen kan man velge “Start trimming”.

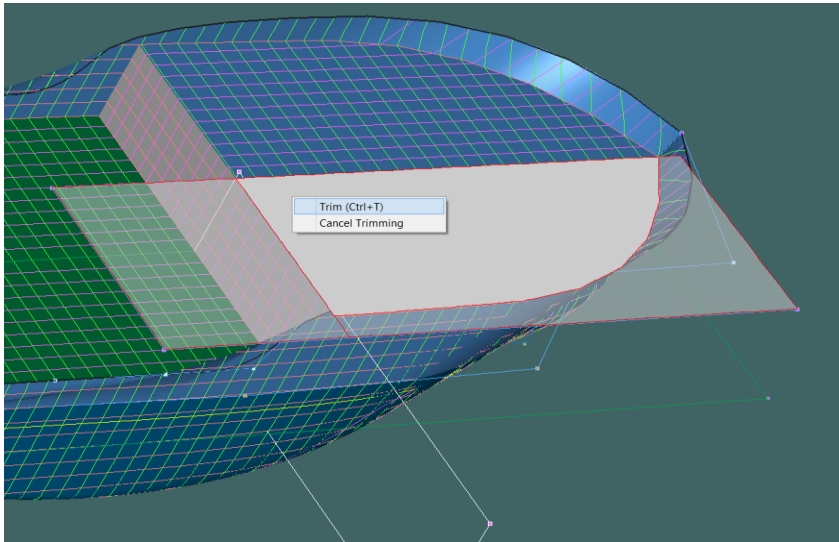


Figur 3.3.15: Trimmefunksjon for en flate.

Figur 3.3.14:
Kontrollfunksjoner for flater.

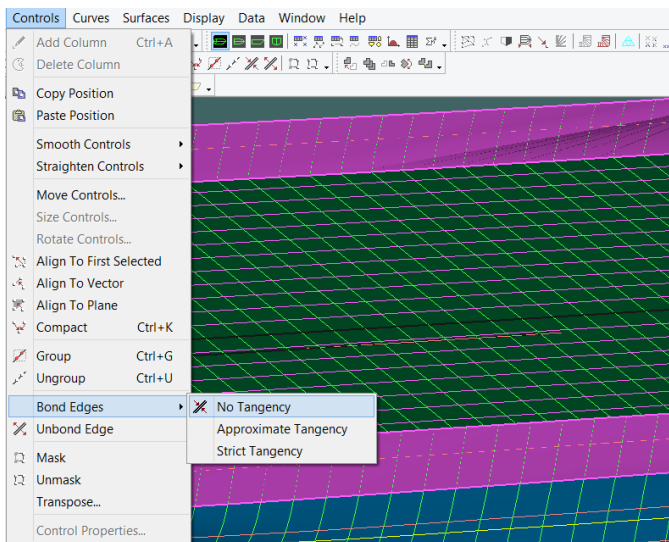
Kapittel 3 – Metode

Flaten blir så delt opp i flere stykker avhengig av kantene som inngår. Man velger deretter de delene man vil trimme vekk, for så å ende opp med en grå ferdigtrimmet overflate.



Figur 3.3.16: Den grå flaten etter trimming.

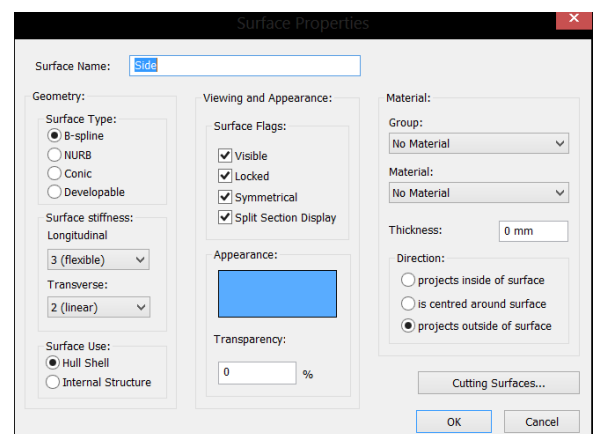
Hvis man vil sveise eller slå sammen to flater i stedet for å kun låse de fast i en posisjon kan man bruke “Bond Edges” funksjonen under Controls-fanen som vist på figur 3.3.17.



Figur 3.3.17: Illustrasjon av sammenslåingsfunksjonen brukt mellom sideflatene over og under hoveddekket (mellom rosa og blå overflate).

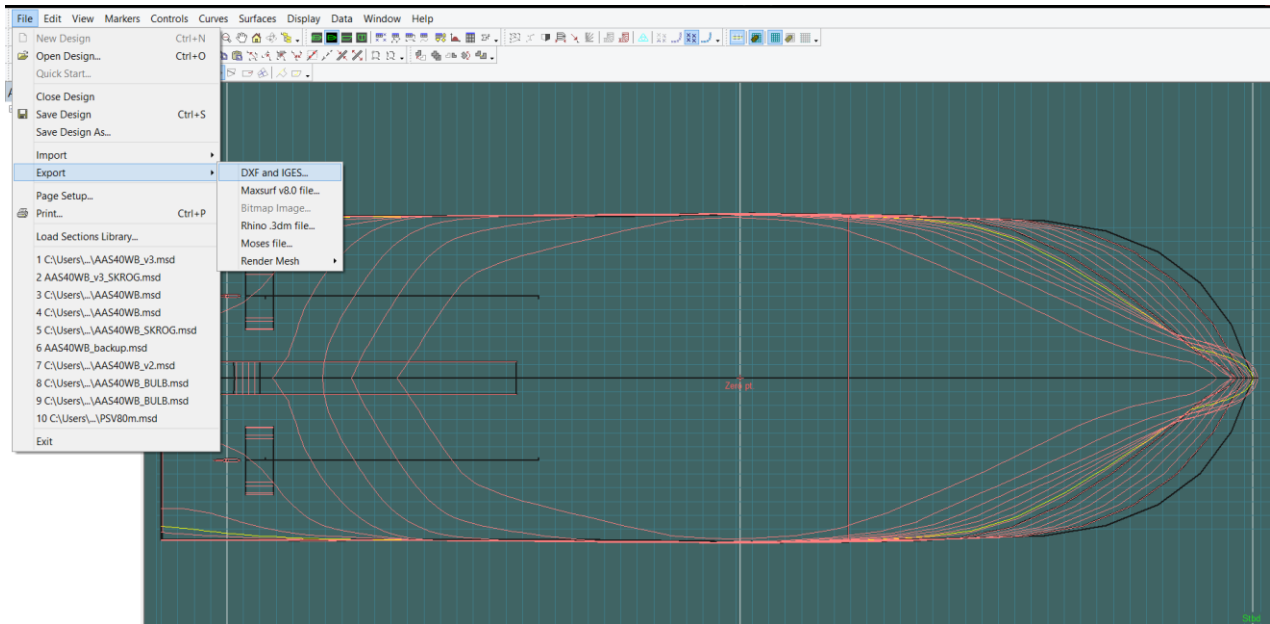
Her er det et krav om at de to flatene som skal slå sammen må ha samme antall kontrollpunkt på kantene, samme surface type og surface stiffness.

Figur 3.3.18: Egenskapene til en flate.



Kapittel 3 – Metode

Når man er fornøyd med hvordan linjene ser ut og de hydrostatiske dataene er godkjent, kan man eksportere linjene ut i en DXF-fil som kan åpnes i AutoCAD for bruk i linjeplan og hovedarrangement. Dette gjør man ved å velge “Export DXF” under File-fanen som vist på figur 3.3.19.



Figur 3.3.19: Eksportering av vannlinjer.

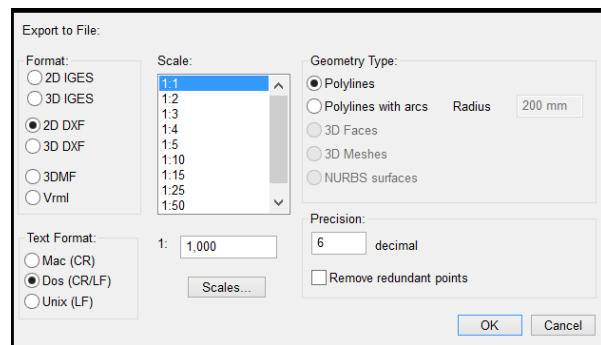
Ved eksportering vil alle linjene som vises i modellvinduet bli med. Hvis man bare er ute etter spesifikke vannlinjer for bruk i GA-tegningen, er det raskest å gå tilbake inn i design grid menyen og endre oppsettet av vannlinjer.

En kombinasjon av disse funksjonene er den metoden vi har brukt til å utforme 3D-modellen av vårt skip i Maxsurf Modeler Advanced.

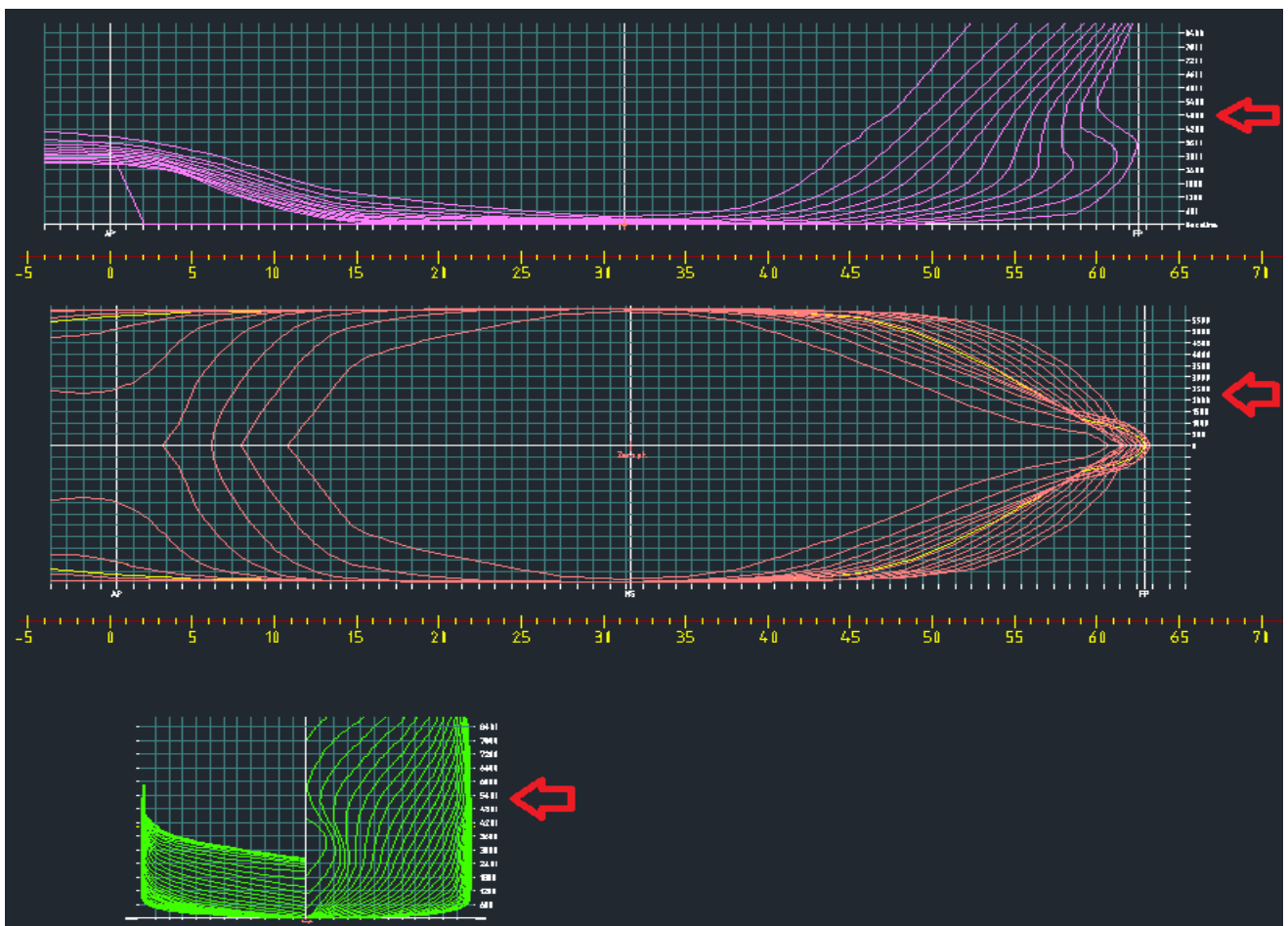
3.3.2 Linjetegning

Når 3D-modellen i Maxsurf er ferdig har man muligheten til å lage en linjetegning av skipsskroget ved å ta de 2D-linjene man eksporterer ut fra Maxsurf og legge dem inn i en AutoCAD tegning. Linjene eksporteres ut som 2D DXF fil i 1:1 skala og lagres med et valgfritt filnavn. Dette gjøres for alle de tre snittene profil, plan og seksjon (tverrsnitt).

Neste steg er å åpne disse DXF-filene og kopiere linjene inn i egen AutoCAD tegning der linjetegningen skal utformes. Profil-linjene plasseres øverst, deretter plan-linjene og til slutt spantelinjene.



Figur 3.3.20: Eksporteringsvinduet.



Figur 3.3.21: Linjetegning for skipet i AutoCAD.

Nivåtabeller og spantetabell for skipet legges til manuelt for å vise sammenhengen mellom linjer og spant på skipet. Til sammen gir disse linjene i tre snitt en visuell oversikt over hvordan skipsskroget er formet, altså en linjetegning, som vist på figur 3.3.21.

3.4 Lettskipsvekt

Vekt

Det første som blir gjort når vi skal komme i gang med beregning av lettskipsvekten er å gå nøye gjennom spesifikasjonen fra oppdragsgiver. Her er mesteparten av utrustningen som er forventet å være ombord i skipet listet opp, samt opplysninger om dem. For å få en oversikt over alle komponentene i beregningene så benyttes et regneark i dataprogrammet Microsoft Excel. Vektene blir først estimert for å komme videre med prosjektet, før det blir benyttet forskjellige metoder for å finne mer nøyaktige verdier. All utrustning er delt inn i 5 kategorier.

Skipsskrog

Første kategori er ”skipsskrog”. Det som lander under denne kategorien er vekt av stålseksjoner på skipet, som ikke er definert som utrustningsvekt.

- For å finne vekt av hovedskroget benyttes dataprogrammet Nauticus Hull. Vi går inn i Section Scantlings og utfører tverrsnittsanalyse for snitt akterut, midtskips og forut på skroget. Vi starter med snittet i midtskipet, som også er det kritiske snittet. Etter å ha modellert tverrsnittet trykker vi på ”Report and Printing” slik at vi får opp rapporten til analysen. Går vi til side 8 finner vi arealet til snittet. Ved ”Cross sectional area of the longitudinal elements” under ”Effective” ser vi at arealet er lik $6193,1 \text{ cm}^2$. Vi vet at de tre snittene er 13,33 meter hver og at materialet vi benytter er stål. Massetettheten til stål er ca. 8 g/cm^3 . Disse verdiene bruker vi i formelen for skrogvekt:

$$\begin{aligned}W_{skrog \text{ midt}} &= 6193,1 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 8 \text{ g/cm}^3 \cdot 13,33 \text{ m} \cdot 1,4 \cdot 10^{-6} \\ &= 92,46 \text{ tonn}\end{aligned}$$

For å finne skrogvekten til snittet akterut benytter vi samme framgangsmåte. Vi trykker ”Report and Printing” og går til side 8 i rapporten. Her er arealet $4573,6 \text{ cm}^2$. Vi bruker denne verdien sammen med de andre verdiene vi har og regner ut:

$$\begin{aligned}W_{skrog \text{ akter}} &= 4573,6 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 8 \text{ g/cm}^3 \cdot 13,33 \text{ m} \cdot 1,4 \cdot 10^{-6} \\ &= 68,28 \text{ tonn}\end{aligned}$$

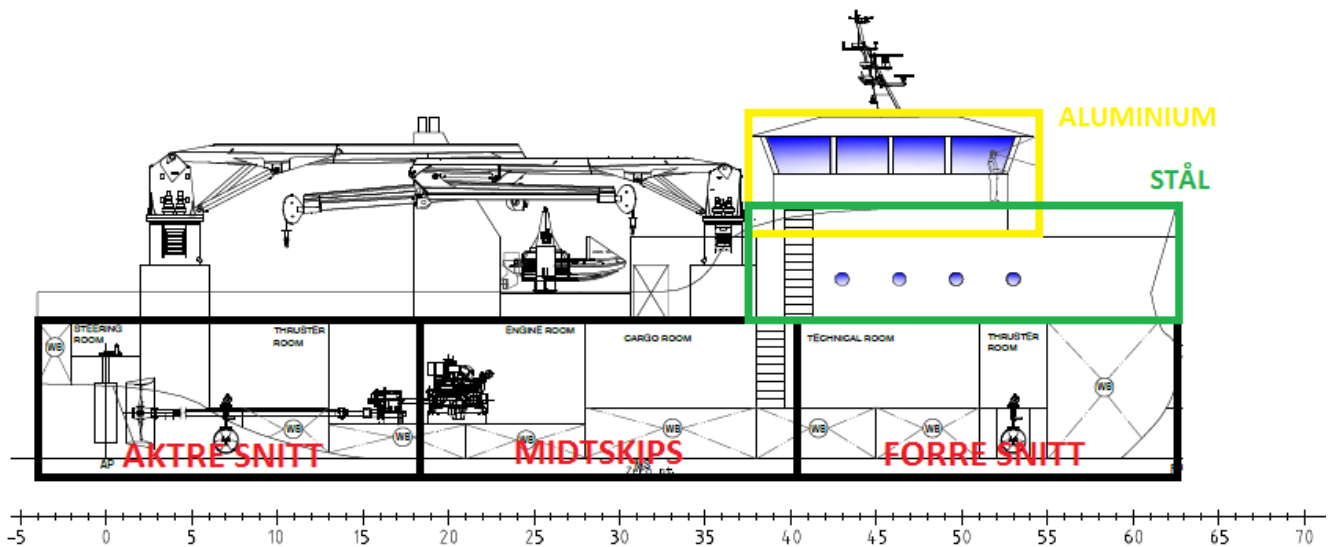
Til slutt finner vi skrogvekten til snittet forut. Vi går til side 8 i rapporten og ser at arealet er lik $3940,5 \text{ cm}^2$. Skrogvekten i dette snittet blir da:

$$\begin{aligned}W_{skrog \text{ forut}} &= 3940,5 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 8 \text{ g/cm}^3 \cdot 13,33 \text{ m} \cdot 1,4 \cdot 10^{-6} \\ &= 58,83 \text{ tonn}\end{aligned}$$

Nå som vi har vekten til alle snittene kan vi finne den totale skrogvekten.

Kapittel 3 – Metode

- I rorhus skal det ifølge spesifikasjonen benyttes aluminium. Resten av overbygget skal være av stål. Ut ifra denne informasjonen estimerer vi en vekt for det totale overbygget.
- Vi estimerer et vektstillegg for tverrgående bærere som ikke inkluderes i tverrsnittsanalysen.



Figur 3.4.1: De tre snittene i beregningene av skrogvekt og overbyggsesjoner.

Maskineri

Neste kategori er ”Maskineri”.

- Skipet skal utrustes med to stk. hovedmotorer type Caterpillar Marine Propulsion C32. Vekten finner vi ut fra et datablad av Pon Equipment AS levert av oppdragsgiver. [29]
- Skipet skal ifølge spesifikasjonen ha to hjelpemotorer av samme type som hovedmotorene.
- Vi estimerer vekten til generator, gir, akslinger, ror, propeller og thrustere. Vi skal ha to generatorer koblet til hjelpemotorene av typen Stamford 2. Gir skal være av typen Mekanor, levert av Finnøy. Det skal være ror til hver propell, av stål. Propellaksel skal arrangeres med akselbrems. Skipet skal utstyres med 2 stk. vribare propeller fra Finnøy Gear & Propeller AS, med diameter mellom 1600-2200 mm. Propellene skal være montert med dyse. Det skal være en thruster akterut og en forut. Disse skal være av typen Petter Marine med kapasitet på ca. 250 kW.

Skipsutstyr

Under kategorien ”Skipsutstyr” inngår utstyr knyttet til skipets daglige drift. For å finne vektene under denne kategorien ble det for det meste tatt utgangspunkt i empiri, eller undersøkelse på internett.

- I spesifikasjonen står det at skipet skal være utstyrt med blant annet ankervinsj og varpvinsj fra MBH. Etter å ha sendt mail til Mjosundet båt og hydraulikk fikk vi tilsendt en typisk tilbudspakke med informasjon om noen produkter som de leverer. Vi

fikk vektene på davit, ankervinsj [30] og en MOB-båt [31] i tillegg til AutoCAD-tegninger på vinsjer og davit med MOB-båt.

- Varp- og hjelpevinsjens vekt er estimert.
- Det er også oppført i spesifikasjonen at det skal være to kraner på dekk, en type PKM550-16 [32] og en type PKM1450-16 [33]. Etter et raskt søk på internett fant vi tekniske data med vekt av kranene på hjemmesiden til Bergen Hydraulic AS.
- I spesifikasjonen er det listet opp dekksutstyr som skipet skal utrustes med. Det skal monteres fire stk. kapstans på hoveddekk med kapasitet på 5 tonn hver. Vi benytter PDF fra Rapp Hydema Syd hvor det er oppført at en kapstans med kapasitet på 5 tonn veier mellom 250-300 kg [34].
- I styremaskinrom skal det monteres inn to styremaskiner. Her blir det benyttet en PDF-fil fra Rolls Royce med teknisk informasjon om styremaskiner [35]. Vi tar i bruk den minste styremaskinen tilgjengelig med tanke på at styremaskinene på denne PDF-en er tiltenkt større skip.
- Ombord så skal det være en høytrykksvasker av type KEW. Vi tar oss dermed inn på hjemmesiden til KEW og bruker vekten til en passende høytrykksvasker [36].
- 2 strøk med primer og et toppstrøk skal anvendes på skipet innvendig og utvendig. Vi estimerer vekten for all malingen.
- Vi må estimere vekten av enkelte utstyrs-komponenter fordi vi ikke har funnet nøyaktige data for dem. Løftebjelker, signalmast, slingrekjø, hekkroll, taupinner, skorstein hydraulisk platelås, haikjeft og slepekrok er dekksutstyr som blir estimert for vektberegningen.

Utstyr for mannskap

Neste kategori i lettskipsvekten er ”Utstyr for mannskap”. Dette innebærer utstyr og komponenter som virker for mannskapets interesse og komfort.

- Redningsutstyr som skal være ombord skipet er to redningsflåter, 6 redningsdrakter og en MOB-båt.
- Aktuell vekt til redningsdrakt og redningsflåte finner vi på hjemmesiden til Seatronic Båttutstyr AS [37].
- For å beregne vektene av lugarer, messe, gang og garderobe bruker vi summen av de tilhørende komponentene. Lugarer skal bestå av toalett [38], dusjkabinett [39] som vi finner fra Bad.no. Vask, seng, benk og skuff skal også inkluderes i lugarene og disse verdiene blir estimert.
- Messens vekt er summen av et bord, sofabenk, to stoler, radio, TV, komfyr, kjøleskap, kjøkkenbenk, oppvaskmaskin, vask og overskap. Siden disse vektene ikke påvirker vektberegningen nevneverdig blir vektene estimert.
- Garderoben består av en vask og 6 åpne garderobeskap. Den samlede vekten her blir også estimert.
- I gangen skal det bare plasseres en vaskemaskin med tørketrommel som dermed utgjør den totale vekten her. Her finner vi vekten fra hjemmesiden til Hvitevarer Skousen [40].

- Oppvarming av innredning og styrehus skjer ved bruk av 220 volts elektriske varmeovner, mens i garderobe og bad skal det være varmekabler i dørk. Vekten av oppvarming finner vi ved å estimere vekten av 10 varmeovner og vekten av nødvendig antall varmekabler.
- Det skal også være et felles WC ombord skipet der vekten består av et toalett [38], og en vask som vi estimerer vekten til.
- I styrhuset skal det innredes kartbord, bropult med instrumenter, manøverhendler og sittegruppe. Vi estimerer en totalvekt for disse komponentene.

System

Siste kategori i lettskipsberegningen er ”System”.

- Vi estimerer vekten til alle pumpene som inngår i systemet.
- Det elektriske ombord skipet består av mange komponenter, men ikke nevneverdige store vekter. Vektene her finner vi på internett eller ved estimering. Det skal monteres inn en radar som består av en scanner unit og en display unit. Vekten blir estimert.
- Vekten av VHF [41] finner vi på ebay.com, mens vekten til radioen blir estimert.
- DP-system av type Petter Marine KP 200 monteres inn og vekten finner vi i en PDF fra PMH [42].
- For belysning utvendig monteres det 10 stk. flomlys på rorhus og 3 stk. på skorstein. Her finner vi vekt i en PDF fra Vision X [43].
- På styrehustak skal det monteres 2 stk. søkelyskastere [44]. Vektene finner vi i en PDF fra Ibak Marine med teknisk informasjon.
- Følgende av de elektriske komponentene estimeres: Ekkolodd, kartmaskin og kart, autopilot, nødpeilesender, mobiltelefon, kompass, TV med antenneanlegg og hovedtavlen.
- Ventilasjon av sanitærrom og bysse skjer ved å montere inn vifter for avsug fra bysse og garderobe, i tillegg til en vifte for friskluft til innredning og rorhus med 3 kW forvarmingselement. I maskinrom installeres to vifter. Det skal også være eksossystem for avgasser. Ifølge Witt [45] ligger vekten av maskinromsvifter mellom 500-1500 kg. Vi estimerer dermed vekten for en maskinromsvifte ut ifra denne informasjonen. Vekten til de andre viftene og vekten til eksossystemet estimerer vi.
- Varmtvann skal tas ut av varmtvannstank med kapasitet 1 x 300 liter. Vekten til tanken finner vi på hjemmesiden til Comfort hvor de selger en varmtvannstank med nødvendig kapasitet [46].
- Vekt på ledninger og rør estimeres.

For å finne den totale lettskipsvekten summeres alle utstyrskomponentene som er listet opp i regnearket. I Excel gjøres dette enkelt ved å skrive inn koden ”=SUMMER(G3:G86)” når vektene av utstyret er listet opp i kolonne G fra rad 3 til rad 86.

Plassering – VCG og LCG

Plassering av utstyr baserer seg på kravene fra spesifikasjonen og resultatene fra stabilitetsberegningene. Utstyret tildeles et vertikalt tyngdepunkt, VCG og et langskips tyngdepunkt, LCG, slik at utstyret får den posisjonen som er gitt i spesifikasjonen, eller som generelt passer best.

Skipsskrog

- For å finne plassering av LCG for de tre snittene av hovedskroget tar vi lengden til snittet delt på to. Snittet i akterskipet går fra hekken og 13,33 m fram. Vi finner LCG her ved å dele 13,33 på 2. Midtskip-snittet går fra 13,33 m til 26,66 m fra hekk. Her er LCG på midten av skipet. Det forre snittet går fra 26,66 m til 40 m fra hekk. LCG finner vi her ved å legge sammen 26,66 og 6,66. VCG til snittene finner vi i Section Scantlings i Nauticus Hull. Man finner det aktuelle snittets VCG ved å kjøre gjennom tverrsnittsanalysen og trykke ”Report and printing”. Går vi til side 8 i rapporten ser vi VCG under ”Effective” ved ”Position of the centroid: Zog”.
- Overbyggets VCG ligger litt under brodekket, mens LCG ligger ca. ved spant 48.
- Tillegget for bærerene vil få en LCG ved senter og VCG litt over midten.

Maskineri

- Hovedmotorene, hjelpemotorene, generator og gir skal være plassert i motorrommet. Motorrommet strekker seg fra spant 13 til 28. LCG blir valgt for komponentene slik at de er plassert i motorrommet. Siden komponentene står på dobbeltbunnen blir VCG lagt litt over dobbeltbunn.
- Akslingen går fra spant 4 til 15 så LCG blir dermed plassert midt mellom de to spantene, mens VCG er like under tanktop.
- Propellene er plassert 5 spant foran hekk, mens ror er plassert like bak.
- Ifølge spesifikasjonen skal det være en thruster ved baug og en akter. Dermed har vi et thrusterrom foran og et akter med tilhørende verdier for LCG og VCG for thrusterne.

Skipsutstyr

- Ankervinsjene skal være plassert på bakk, så LCG er dermed plassert ved FP mens VCG er plassert like over bakkdekk. Varpvinsjen er plassert på hoveddekk, inn mot veggen til overbygg. Slepekroken er plassert bak på varpvinsjen.
- Ifølge spesifikasjonen skal de to hjelpevinsjene være plassert både foran og bak på styrbord side på hoveddekk.
- Kapstansene får en VCG plassert på hoveddekk, og en gjennomsnittlig LCG ved senter av skipets lengde.
- Haikjeft og taupinner er plassert i senter, bak på hoveddekk.
- Hekkrull plasseres i senter på hekken.
- Platelås skal stå bak på hoveddekket.

- Dekkskranene skal begge være plassert på styrbord side. Den ene er plassert like bak overbygg mens den andre står bak på hoveddekk.
- Skorstein er plassert på hoveddekk på babord side, like bak overbygg.
- Ifølge spesifikasjonen skal høytrykksvaskeren plasseres i maskinrom, og tildeles dermed verdier for LCG og VCG ut i fra denne informasjonen.
- Malingen som brukes tildeles langskipstygndepunkt på senter av skipet, mens den vertikale plasseringen av tyngdepunktet settes høyere enn senter på grunn av større fylldighet høyere på skipet.
- Signalmast plasseres på toppen av styrhus.
- Diverse stativer for antenner, lys og lanterner gis verdi for LCG like foran midtskip og VCG like over tanktop.
- Løftebjelkene skal brukes for overhaling av hoved- og hjelpemaskiner og plasseres derfor i maskinrom.
- Styremaskinene plasseres i styremaskinrom, som er arrangert ved AP.

Utstyr for mannskap

- Redningsflåtene og redningsdraktene plasseres på bakkdekk.
- MOB-båten med davit er plassert på babord side av hoveddekk.
- Lugarer, messe, gang, garderobe, WC og oppvarming har alle sine tyngdepunkter like over hoveddekk ved overbygget.
- Utstyret som trengs på brodekk har LCG og VCG ved brodekket.

System

- Følgende pumper skal monteres i maskinrom:
 - 1 Spilloljepumpe
 - 1 Ferskvanns Hydroforpumpe type ABS
 - 1 Leveringspumpe
 - 1 FO-Transferpumpe
 - 2 Lensepumper
 - 1 Senkepumpe
 - 1 Flyght senkepumpe
 - 1 Ballastpumpe
 - 1 Kombinert brann-/spylepumpe
 - 1 Nødbrennpumpe
- Rør skal fordeles utover hele skipets lengde og tildeles dermed en LCG midtskips og VCG ved dypgang.
- Av elektrisk utstyr tildeles følgende komponenter LCG og VCG for å bli plassert i styrhus: Radar, kartmaskin og kart, ekkolodd, autopilot, VHF, radio, fri flyt nødpeilesender, mobiltelefon, kompass, TV og DP-systemet.
- Hovedtavlen skal plasseres i maskinrom og gis tilhørende verdier for LCG og VCG.
- Søkelyskaster og flomlys skal stå på topp av rorhus, i tillegg skal det stå tre flomlys på skorsteinen.

Kapittel 3 – Metode

- I bysse, garderobe, innredning og styrhus må det være ventilasjon. Viftene som brukes gis verdier for tyngdepunktene slik at de plasseres her.
- I maskinrom skal det monteres to vifter i tillegg til eksosanlegget.
- Varmtvannstanken skal stå i teknisk rom.
- Til slutt tildeles ledninger en LCG midt på skipets lengde og VCG ved skipets dypgang.

Til slutt finner gjennomsnittsposisjonen for LCG og VCG. Dette gjøres i Microsoft Excel ved å liste opp alt av utstyr nedover regnearket på samme måte som med vektene. VCG for hver enkelt komponent er listet fra F3 til F86. For å finne gjennomsnittlig VCG trykker vi på en ny celle og skriver inn følgende:

$$=(F3*G3+F4*G4+F5*G5+F7*G7+F9*G9+F6*G6+F10*G10+F11*G11+F12*G12+F13*G13+F14*G14+F15*G15+F16*G16+F17*G17+F18*G18+F20*G20+F21*G21+F22*G22+F23*G23+F24*G24+F25*G25+F26*G26+F27*G27+F28*G28+F29*G29+F30*G30+F31*G31+F32*G32+F33*G33+F34*G34+F35*G35+F36*G36+F37*G37+F38*G38+F40*G40+F41*G41+F42*G42+F43*G43+F44*G44+F45*G45+F46*G46+F47*G47+F48*G48+F49*G49+F50*G50+F51*G51+F52*G52+F54*G54+F55*G55+F56*G56+F57*G57+F58*G58+F59*G59+F60*G60+F61*G61+F62*G62+F63*G63+F64*G64+F65*G65+F66*G66+F67*G67+F68*G68+F69*G69+F70*G70+F71*G71+F72*G72+F73*G73+F74*G74+F75*G75+F76*G76+F77*G77+F78*G78+F79*G79+F80*G80+F81*G81+F82*G82+F83*G83+F84*G84+F85*G85+F86*G86)/G87.$$

Det som skjer i denne formelen er at vi multipliserer komponentenes VCG med vekten, og legger sammen. Til slutt deles dette med den totale vekten for alt utstyret.

LCG for hver enkelt komponent er listet opp fra E3 til E86. Når vi skal finne gjennomsnittlig LCG bruker vi samme metode og skriver følgende i en ny celle:

$$=(E3*G3+E4*G4+E5*G5+E7*G7+E9*G9+E6*G6+E10*G10+E11*G11+E12*G12+E13*G13+E14*G14+E15*G15+E16*G16+E17*G17+E18*G18+E20*G20+E21*G21+E22*G22+E23*G23+E24*G24+E25*G25+E26*G26+E27*G27+E28*G28+E29*G29+E30*G30+E31*G31+E32*G32+E33*G33+E34*G34+E35*G35+E36*G36+E37*G37+E38*G38+E40*G40+E41*G41+E42*G42+E43*G43+E44*G44+E45*G45+E46*G46+E47*G47+E48*G48+E49*G49+E50*G50+E51*G51+E52*G52+E54*G54+E55*G55+E56*G56+E57*G57+E58*G58+E59*G59+E60*G60+E61*G61+E62*G62+E63*G63+E64*G64+E65*G65+E66*G66+E67*G67+E68*G68+E69*G69+E70*G70+E71*G71+E72*G72+E73*G73+E74*G74+E75*G75+E76*G76+E77*G77+E78*G78+E79*G79+E80*G80+E81*G81+E82*G82+E83*G83+E84*G84+E85*G85+E86*G86)/G87$$

Her multipliserer komponentenes LCG med vekten, og legger sammen. Til slutt deles dette med den totale vekten for alt utstyret.

3.5 Tverrsnittsanalyse

3.5.1 Nauticus Section Scantlings

Nauticus Hull er et program som brukes til å effektivt behandle styrkeberegninger, design og verifisering av skipsstruktur med utgangspunkt i DNV sitt regelverk. Programvaren er omfattende, men brukervennlig. I dette kapittelet modelleres det til sammen tre forskjellige snitt av AAS 40 WB i Section Scantlings for å beregne skrogvekten og sjekke langskipsstyrken. Snittene modelleres fra akterskip, midtskip og forut i spantene: 7, 31 og 47. Spantetabellen er satt opp fra -4 til 68, hvor AP befinner seg på 0 og FP på 63. Vi bruker stål av typen NV-NS som material.

For å starte en ny oppgave og definere et nytt fartøy i programmet Nauticus Hull trykker man på "Create Job" under kategorien "Workflow" i hovedmenyen. Klikk deretter på "Create and Open" for å starte en oppgave. Et nytt vindu for "Select Vessel" under kategorien "Vessel" vil komme fram for det definerte fartøyet. Her definerer man en egen ID for fartøyet eller velger en eksisterende fra nedtrekkslisten. Her er det også mulig å legge til en eventuell beskrivelse av oppgaven.

Gå inn på "Edit Ship Data" i menyen til venstre for angi nødvendig informasjon og verdier for fartøyet. Under "Applicable Rules" velger man regelverk for skrogdesign etter ønske. Vi bruker regler fra DNV for skip under 100 meter. Før man begynner på tverrsnittsanalysen fyller man ut de resterende kategoriene fra menyen som baserer seg på identifikasjon og annen generell data.

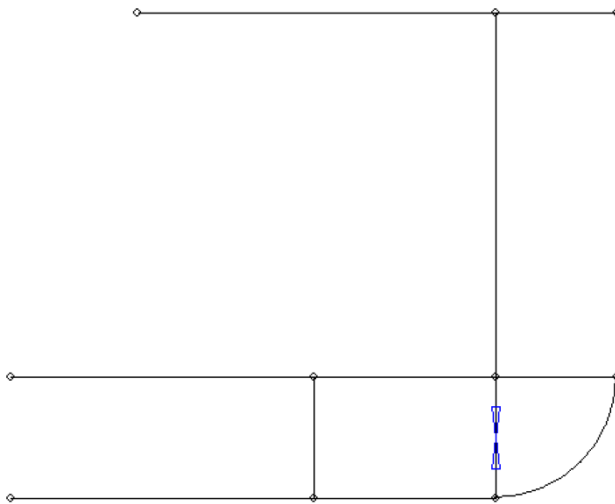
Parameter	Value	Unit
Length btw. perpendiculars, Lbp	40	(m)
Rule length, L	40	(m)
Freeboard length, Lf	40	(m)
Breadth moulded, B	12	(m)
Depth moulded, D	4,8	(m)
Draught moulded, T	4	(m)
Block coefficient, Cb	0,644	
Waterplane area coefficient, Cwp	0,855	

Figur 3.5.1: En av kategoriene for definering av skipets data er "Main Dimensions".

Kritisk Snitt - Midtskip

For å gjennomføre en tverrsnittsanalyse av fartøyet i Nauticus Hull går man inn på "Rule Check Analyses" under kategorien "Analyses" i menyen til venstre. Klikk deretter på "New" og velg "Section Scantlings" fra listen over tilgjengelige analyser. Dette vil åpne et nytt vindu hvor man kan modellere, kjøre analysen og sjekke dimensjoner opp mot regelverk. Klikk på "Section" i menyen øverst i vinduet og deretter "New Cross-Section" for å definere hvilket tverrsnitt man vil jobbe med. Her tar vi først for oss spant 31 som er det kritiske snittet. Vi legger inn avstanden til snittet fra AP, som er 20400 mm, i tillegg til verdier for standard stiveravstand og spennlengde. Vi bruker en stiveravstand på 600 mm og spennlengde på 2400 mm. Grunnen til at det kritiske snittet befinner seg midtskips kommer av plasseringen av den største lasteluken på styrkedekket.

Vi lager snittet ved å sette inn det ytre skallet og velge en radius på slaget. Her setter vi slagradiusen til 1200 mm og legger inn indrebunn, langskipsskott, bærere fra menyen til venstre i vinduet. I dette snittet legger vi inn vanntette vertikale langskipsskott som indre sider for ballasttankene, 4800 mm fra senter. Delene av disse skottene som befinner seg under tanktop har utkapp og er dermed ikke vanntette i disse områdene.

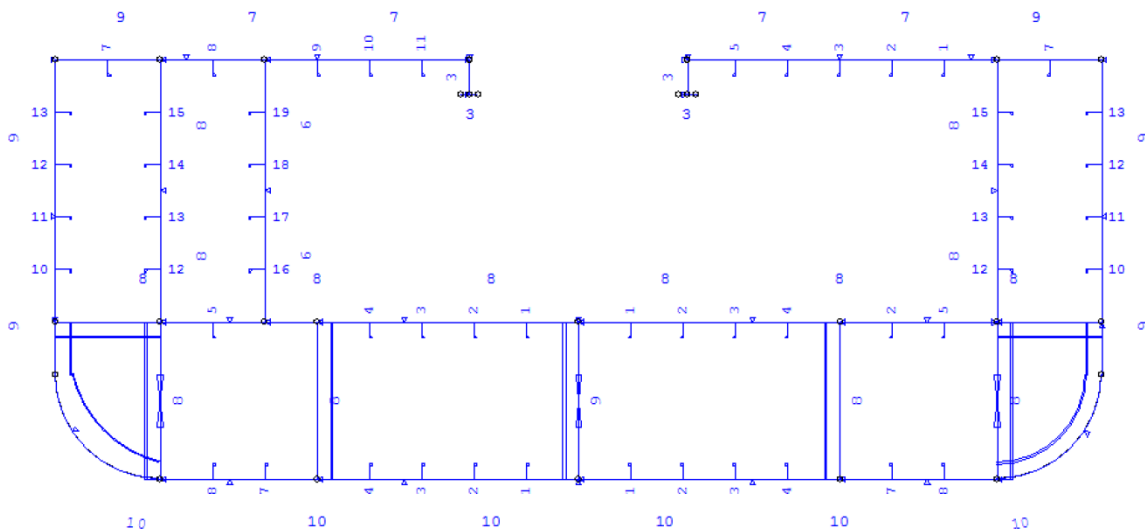


Figur 3.5.2: Det ytre skallet, med lasteluke, skott og utkapp.

Vertikale vanntette skott skal dele tankene med drivstoff og ballast plassert 3000 mm fra senter på hver side under tanktop. En senterbærer med utkapp er også plassert mellom ballasttankene i bunn. Et annet vertikalt skott er plassert 3600 mm fra senter på babord side over tanktop. Dette skottet er den innerste siden for en gang med en total bredde på 1200 mm. Gangen befinner seg altså mellom indre side av ballasttanken (4800 mm fra senter) og dette skottet. Merk at for å utarbeide asymmetriske snitt slik som vi gjør her, kan vi speile den ene halvdel ved å gå inn på "Section" og klikke på "Mirror Duplication". Deretter kan vi gjøre endringer på den ene siden av snittet.

I midten av styrkedekket har vi en lukeåpning som strekker seg 1250 mm ut fra senter på hver side, slik at vi får en åpning på 2500 mm ned til lasterommet. På hver ende av denne luken har vi en langskipsbærer med dimensjonene 400 mm x 3 mm steg og 200 mm x 3 mm flens. Vi legger inn dekkslaster på styrkedekk og indrebunn i lasterommet. Lasten settes til 4 tonn/m³ på styrkedekk, og 2 tonn/m³ på indrebunn. Begge lastene har opplagringshøyde på 1000 mm. Legg merke til at man velger segmenttype for utheving fra ”Select” menyen nederst i vinduet.

Videre setter vi inn plater og stivere på segmentene. Skipet er hovedsakelig langskipsavstivet, bortsett fra skott og tverrgående plater under tanktop. Grunnen til at vi bruker langskipsavstivning er for å ta hensyn til tverrgående objekt. Så om vi hadde benyttet tverrskipstivere ville ikke vekten av snittet vært realistisk. For platene velger man bredde, styrke og tykkelse. Før vi skal gjennomføre analysen og begynne med mer nøyaktig dimensjonering, velger vi en generell platetykkelse på 10 mm. Bredden på platene utarbeides slik at de ligger naturlig plassert mot skott og bærere. Man kan også velge å legge inn utkapp på segmenter i menyen for plater og utkapp. Utkappene har en standard bredde på 600 mm. For stiverne legger vi inn profilkategori og -type. Under kategorien ”Bulb” velger vi profiltypen ”20 HPBulb” med de foreløpige dimensjonene 180 x 10. En stiver kan orienteres over på ønsket side av et segment ved å klikke på ”Switch Side”.

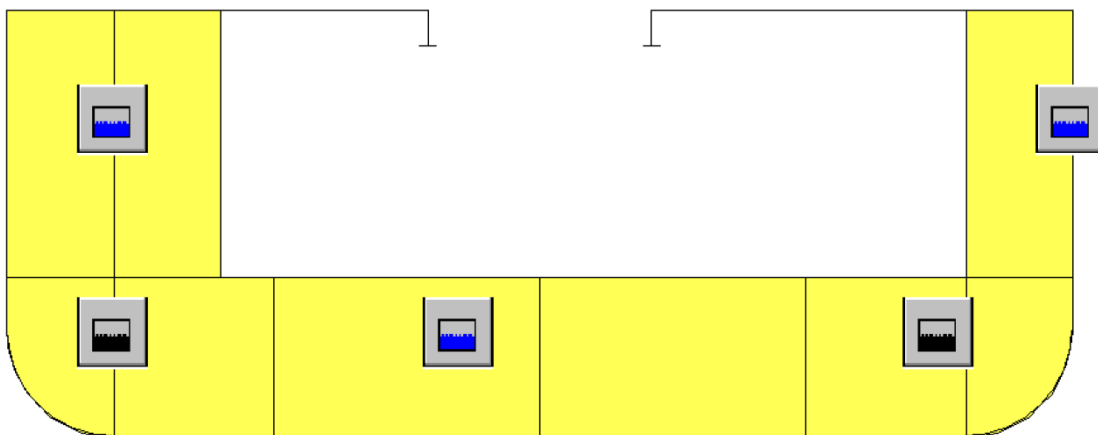


Figur 3.5.3: Det kritiske snittet der nødvendige komponenter er lagt inn.

Før vi kjører i gang tverrsnittsanalysen må vi kartlegge avdelinger i ”Compartment Window” øverst i menyen til venstre. Her kan vi navngi, nummerere og definere innhold og dimensjoner på de ulike avdelingene i tverrsnittet. Klikk på ”New Compartment” for å angi navn, nummer og hvilket spant et rom startes og avsluttes i langs skipet. Gå deretter inn på ”Edit Compartment” for å velge innhold, definere lengde og evt. høyde av luftrør til hoveddekk, om avdelingen skal være en tank. Her kan vi også legge inn øvrig informasjon om lengde og bredde for skulping, og høyde fra basislinjen til WL i skadet tilstand. Tankene har en skulpelengde på 2400 mm.

Oversikt over snittets avdelinger:

1. Den første avdelingen er ballasttanken som befinner seg helt ute mot skutesiden på høyre side. Tanken strekker seg fra spant 28 til 45 med en samlet lengde på 10200 mm, og en bredde på 1200 mm. Det er tidligere nevnt at tanktop har en høyde på 1800 mm.
2. Drivstofftanken under tanktop har en bredde på 3000 mm, og går fra spant 28 til 38 i lengderetning, som til sammen utgjør en lengde på 6000 mm.
3. Ballasttanken under tanktop er like lang som drivstofftanken, og strekker seg 3000 mm til hver side av senter. Tanken har en total bredde på 6000 mm.
4. Lasterommet settes som et tørt område med de samme lengdemålene som drivstoff- og ballasttanken i bunn. Rommet har en total bredde på 8400 mm og en høyde på 3000 mm slik som alle andre avdelinger mellom tanktop og styrkedekk.
5. Dette snittet har en gang mellom lasterommet og ballasttanken på venstre side, som gjør at snittet ikke er symmetrisk. Gangen defineres som tørt område med en bredde på 1200 mm og lengde på 6000 mm.
6. De resterende to avdelingene på venstre side er av samme type og dimensjoner som avdeling nr. 1 og 2.



Figur 3.5.4: Det kritiske snittet med definerte avdelinger i "Compartment Window".

Når snittet er ferdig kartlagt går man tilbake til tverrsnittsvinduet for å kjøre tverrsnittsanalysen. Gå inn på "Report" i den øverste horisontale menyen og deretter på "Report and Printing" for å få opp en oversikt over rapportalternativer. Her er det mulig å huke av hvilke detaljer man vil at analysen skal inneholde. Den ferdigstilte analysen bruker vi til å sjekke de nåværende plate- og stiverdimensjonene opp mot regler fra DNV, slik at dimensjonene kan optimaliseres. Vi endrer dimensjonene slik at de går overens med kravene i analysen. I rapporten er det dimensjonene som er markert med en stjerne som ikke er godkjent, og må endres for at de skal stemme overens med regelverket. Det ferdig modellerte snittet kan brukes som en del av vektberegningen av hovedskroget og for å sjekke langskipsstyrke.

Section Scantlings - v.15.2.2684										Signature :		130769	
Vessel ID: Aas40WB2										Ship Id No :		Aas40WB2	
Kritisk Snitt										Ref. date :		2018-02-29	

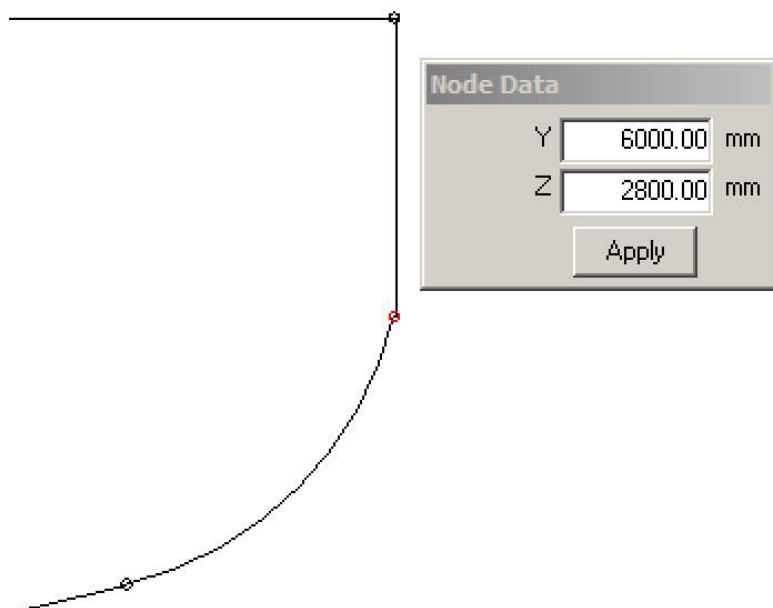
15 Local Rule Requirements - Plates

Plate No	ACT	t _{act} mm	Steel	t _k mm	t _{kb} mm		Ω _s m ²	Eff (%)	Span mm	Spac mm	τ N/mm ²	σ _F N/mm ²	f ₁
	LOC	t _{loc} mm	Pos			Load Ref.		Loc. ref.	y _l mm	z _l mm	Comp ref.	σ N/mm ²	p kN/m ²
	BUC	t _{buc} mm	η	ψ	k	c	Buc. ref.	y _b mm	z _b mm	σ _L N/mm ²	σ ₀ or τ ₀ N/mm ²	σ ₀₁ or τ ₀₁ N/mm ²	
Outer Shell													
Bottom													
1	ACT	10.0	std	1.0	1.0		-	100	2400	600	0.0	235.0	1.00
	LOC	10.00	Bottom			Sea		Min	300	0		120.0	47.6
	BUC	4.41	0.90	1.00	4.00	1.32	compr		600	0	21.5	152.3	23.9
2	ACT	10.0	std	1.0	1.0		-	100	2400	600	0.0	235.0	1.00
	LOC	7.60	Bottom			Sea		Min	2100	0		120.0	47.6
	BUC	4.41	0.90	1.00	4.00	1.21	compr		2000	0	21.5	152.3	23.9
Bilge													
3	ACT	10.0	std	0.0	0.0		-	100	2400	600	0.0	235.0	1.00
	LOC	7.60	Bottom			Sea		botFI	4500	0		120.0	49.9
	BUC	3.41	0.90	1.00	4.00	1.21	compr		4000	0	21.5	168.0	23.9

Figur 3.5.5: Etter at tverrsnittsanalysen er utført sjekker man dimensjonene til plater og stivere.

Forskip

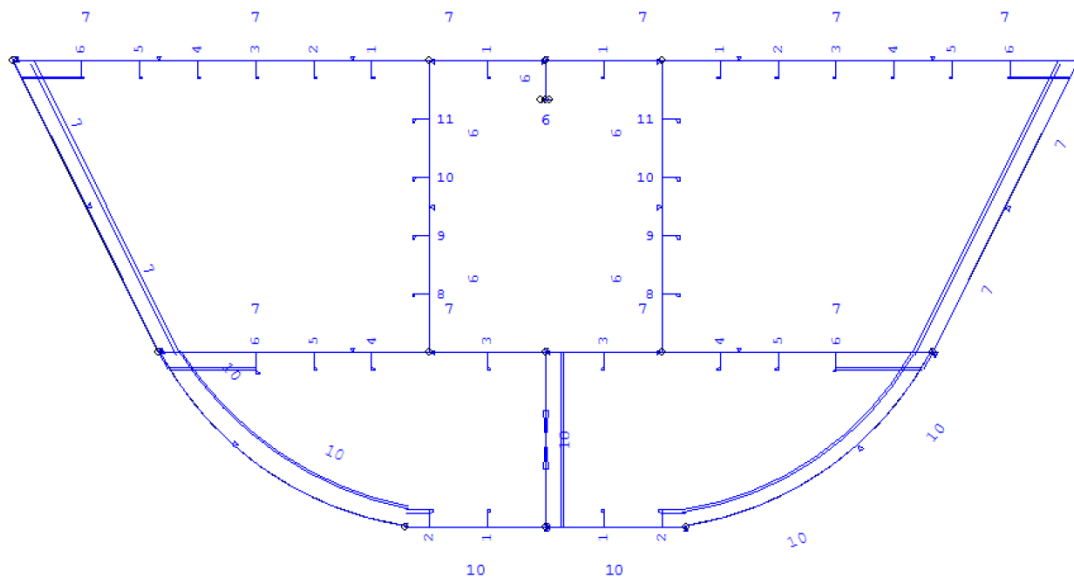
Tverrsnittet vi skal modellere fra forskipet befinner seg i spant nummer 47 med en avstand på 30600 mm fra AP. Det første man begynner med er å legge inn det ytre skallet. Vi definerer vi en slagradius på 1200 mm for så å flytte på de eksisterende nodene i skallet for å gi snittet riktig form. Vi bruker hovedarrangementet vårt til å hjelpe oss med utformingen. Bruk "Node Data" oppe i høyre hjørne av vinduet for å kontrollere koordinatene til hvert knutepunkt på skallet i y- og z-retning. Denne boksen kommer automatisk opp når et knutepunkt velges.



Figur 3.5.6: Flytting av noder for å gi snittet riktig form.

Når det ytre skallet er ferdig utformet legger vi inn tanktop på 1800 mm, en senterbærer i ballasttanken under tanktop, og et vanntett vertikalt langskipsskott som skiller ferskvannstank og teknisk rom plassert 1200 mm fra senter. Vi har en vertikal senterbærer under styrkedeck med dimensjonene steg på 400 mm x 6 mm og en 100 mm x 6 mm flens. En dekkslast på 1 tonn/m³ plasseres med en opplagringshøyde på 1000 mm i teknisk rom.

Når alle segmentene er utarbeidet er det på tide å legge inn plater og stivere. Dette gjøres på samme måte som i det første snittet. Man legger inn dimensjoner før man optimaliserer dem etter at analysen er gjennomført. Stiverne får samme profilkategori og –type som i første snitt.

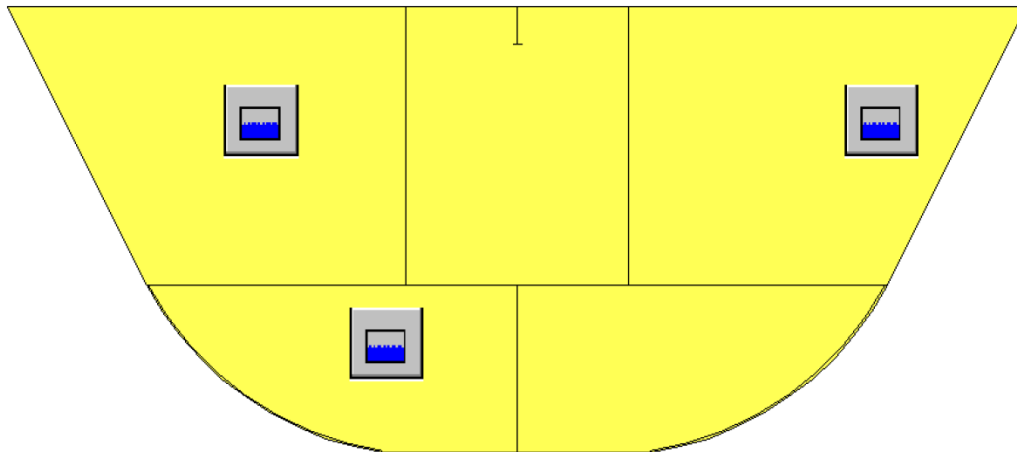


Figur 3.5.7: Struktur, og fordelingen av tverrskips- og langskipsavstivning i snittet forut.

Vi lager tre forskjellige avdelinger i dette tverrsnittet, og siden snittet er symmetrisk fra senter trenger vi bare å modellere den ene siden. Programmet speiler denne delen automatisk.

Oversikt over snittets avdelinger forut:

1. Den første avdelingen er en sidetank bestående av ferskvann, som går fra spant 45 til 55 med en lengde på 6000 mm langs skipet. Tanken har en skvulpelengde på 2400 mm og –bredde på 4300 mm.
2. Den andre avdelingen som omfatter seksjonen i bunn er en ballasttank som strekker seg 3600 mm fra spant 45 til 51. Tanken har en bredde på 4000 mm fra senter.
3. Den tredje og siste avdelingen er det tekniske rommet som befinner seg i midten av snittet. Dette er et tørt område med en lengde på 7800 mm fra spant 38 til 51. Rommet strekker seg 1200 mm ut fra senter i bredden.



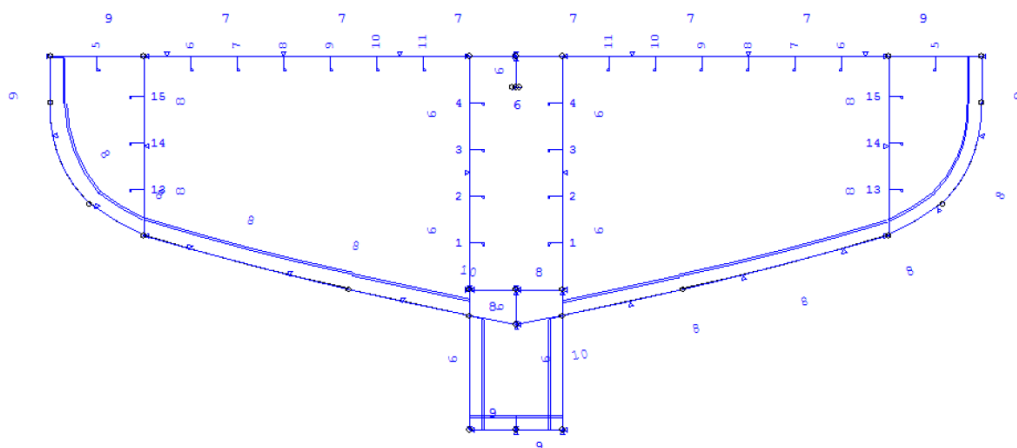
Figur 3.5.8: Avdelingene i snittet forut.

Når alle avdelingene er definerte og kartlagt kan man kjøre i gang analysen og sjekke om dimensjonene holder mål.

Akterskip

Snittet vi skal modellere i akterskipet tar vi fra spant nummer 7 med en lengde på 6600 mm fra AP. Her legger vi inn det ytre skroget med slagradius på 1200 mm til å begynne med. På lik linje med tverrsnittet i spant 47 flytter man på knutepunktene for å skape en avrundet form, og slagradiusen vil dermed endre seg som følge av dette. Her er snittet formet slik at det nederste punktet på bunnplaten har en høyde (z-verdi) på 1350 mm over basislinjen. Vi legger inn skag, indrebunn og senterbærer.

Vertikale vanntette langskipsskott er plassert 4800 mm fra senter og utgjør indre sider av ballasttankene. Vi legger også inn skott som deler lasterommene fra thrusterrommet (600 mm) ut fra hver side av senter. I styrkedekket har vi en dekkslast på 4 tonn/m^3 med en opplagringshøyde på 1000 mm, thrusterrommet har $0,5 \text{ tonn/m}^3$ opp til 1000 mm, og lasterommene har 2 tonn/m^3 opp til 1000 mm. Videre legger man inn plate- og stivere med foreløpige dimensjoner, og definerer de ulike avdelingene i tverrsnittet. Her er sider, bunn og skag tverrskipsavstivet.

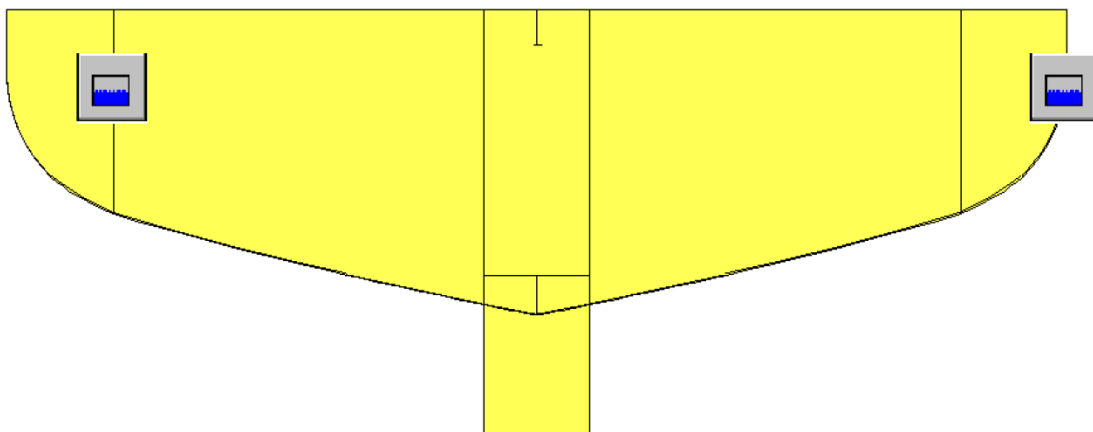


Figur 3.5.9: Det modellerte snittet i akterskipet.

Selve tverrsnittet er symmetrisk, men de to lasterommene på hver side av thrusterrommet har forskjellige lengder. Vi bruker derfor speilfunksjonen for å definere avdelingsforskjellene i snittet.

Oversikt over snittets avdelinger:

1. Den første avdelingen er ballasttanken på styrbord side. Denne tanken strekker seg fra spant -2 til 13 med en lengde på 9000 mm, og maks bredde på 1200 mm.
2. Vi har et 4200 mm langt 'tørt' lasterom fra spant 6 til 13. Dette lasterommet starter 600 mm fra senter ved siden av thrusterrommet, og strekker seg 4200 mm bort til indre side av ballasttanken.
3. Avdelingen under tanktop er et tørt område som går fra spant 6 til 8. Det har en lengde og bredde på 1200 mm, og en høyde på 450 mm.
4. Thrusterrommet strekker seg 600 mm til hver side fra senter. Avdelingen har de samme lengdemålene som lasterom nr. 2.
5. Lasterommet som befinner seg til venstre for thrusterrommet er lik avdeling nr. 2, bortsett fra at den har en lengde på 6600 mm mellom spant 2 og 13.
6. Den siste avdelingen er ballasttanken på babord side. Denne tanken har de samme dimensjonene som avdeling nr. 1.

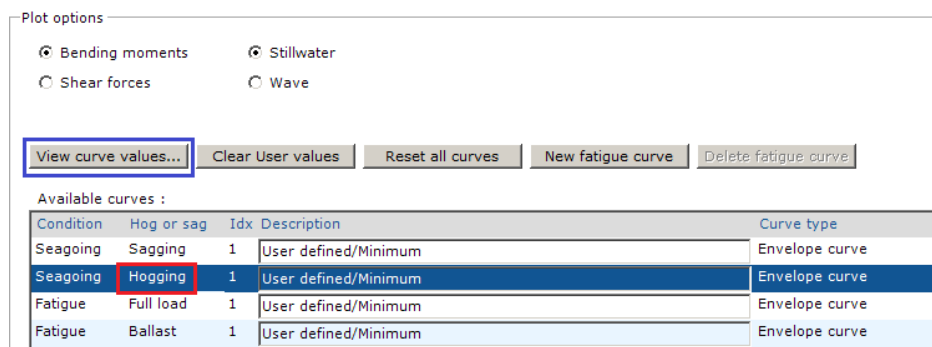


Figur 3.5.10: De seks ulike avdelingene i tverrsnittet.

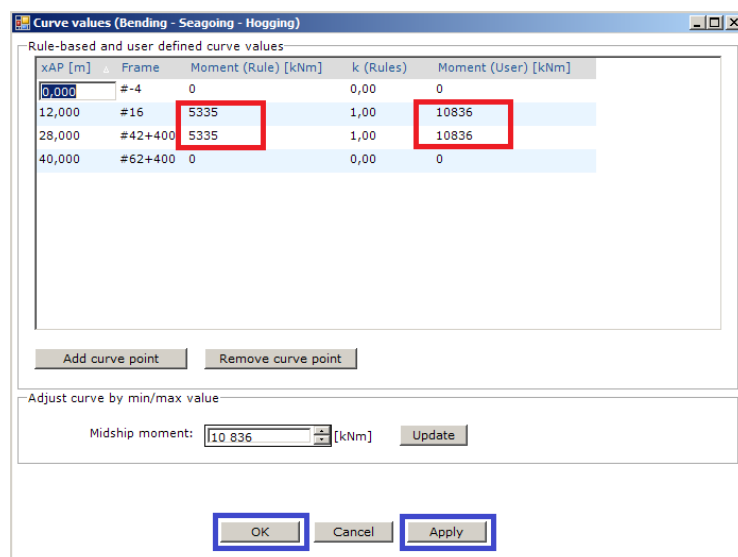
Man sjekker om dimensjonene er akseptable ved å gå tilbake til tverrsnittsvinduet og studere resultatene fra tverrsnittsanalysen. Videre er det mulig å bruke resultater tverrsnittsanalysen til å sjekke langskipsstyrken.

3.5.2 Langskipsstyrke

Vi benytter oss av Nauticus Hull og ser på tverrsnittsanalysene av skroget for å sjekke langskipsstyrken. Når vi skal i gang med å sjekke langskipsstyrken må vi først sjekke momentene i Maxsurf Stability opp mot regelmomentet fra DNV i Nauticus Hull. Vi ser i kapittel 4.5 at det største momentet oppstår under avgang lastet kondisjonen. I og med at dette er et hogging-moment må vi se på regelmomentet for hogging. For å finne dette regelmomentet går vi inn på ”Hull Girder Loads”, deretter trykker vi på ”Hogging” under ”Available curves”. Vi får nå opp en graf som viser hvordan regelmomentet er fordelt utover lengden av skroget. Vi trykker på ”View curve values” og under ”Moment (Rule)” finner vi regelmomentet.

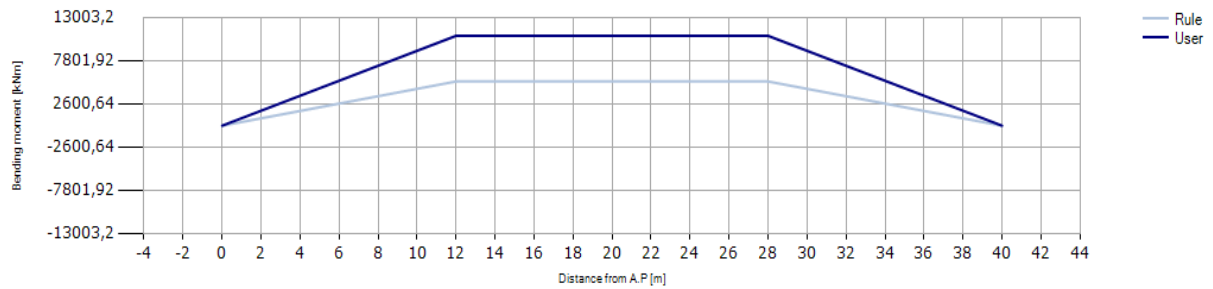


Figur 3.5.11: Vi finner regelmoment for hogging.



Figur 3.5.12: Vi plotter inn brukerdefinert moment.

Regelmomentet til DNV er 5335 kNm ved 12 og 28 meter fra AP, mens momentet vi fikk fra Maxsurf Stability er 10836 kNm. Vi må dermed gå inn på ”Moment (User)” for 12 og 28 meter og skrive inn 10836 for så å trykke ”Apply” og ”Ok”. Nå får vi opp en ny graf som viser hvordan momentet fra Maxsurf fordeler seg langs lengden i forhold til regelmomentet. Som vi ser fra figur 3.5.3 opptrer de største bøyemomentene mellom 12-28 meter fra AP, og minker deretter utover mot AP og FP.



Figur 3.5.13: Bøyemoment fordelt utover skrogets lengde.

Nå som vi har korrigert bøyemomentet går vi inn i ”Section Scantlings” for å sjekke langskipsstyrken for de ulike snittene som vi har modellert.

Midtskips

Vi begynner med det kritiske snittet og trykker ”Report and Printing”.

4 Design Bending Moments		
AT ACTUAL POSITION (20.4 m from AP)		
	SAGGING (kNm)	HOGGING (kNm)
Still water bending moments:		
- Standard values according to Rules, Ms	5335	5335
- Given as input in Brix Explorer (curves)	0	10836
- Given as input (Design Bending Moments dialog)	0	0
Design still water bending moments, Ms	5335	10836
Design wave bending moments, Mw	8939 (Rules)	7350 (Rules)
Design wave bending moments, Mw for buckling check	8939 (Rules)	7350 (Rules)

Figur 3.5.14: ”Design Bending Moments” fra side 9 i Nauticus rapporten.

På side 9 i rapporten vises bøyemomentene. Under ”Hogging” finner vi stille vannsmomentet fra ”Design still water bending moments, Ms”, som er 10836 kNm. Bølgemomentet finner vi under ”Hogging” fra ”Design wave bending moments, Mw”, som er 7350 kNm.

6 Hull Girder Strength Summary

	ACTUAL	RULE	STATUS (%) (100=Rule)
Cross-sectional area(cm ²) :	6193		
Height to the neutral axis(mm) :	2171		
Moment of inertia(m ⁴) :	1.843		
Section modulus, bottom(m ³) :	0.849	0.180	472.9
Section modulus, deck line (z = 4800 mm).....(m ³) :	0.701	0.180	390.4
Material factor, f1, strength deck	1.00		
Material factor, f1, bottom	1.00		

Figur 3.5.15: ”Hull Girder Strength Summary” fra side 11 i Nauticus rapporten.

For å finne motstandsmomentet går vi til side 11 under ”6 Hull Girder Strength Summary”. Under ”Section modulus, bottom” finner vi motstandsmomentet i bunn, og under ”Section modulus, deck line” finner vi motstandsmomentet i dekk. Når vi skal regne ut langskips bøyemoment bruker vi den laveste verdien av motstandsmomentene. Vi ser at motstandsmomentet i dekk er lik $0,7 \text{ m}^3$ mens i bunn er den $0,849 \text{ m}^3$, og vi bruker dermed motstandsmomentet i dekk i utregningen. Til slutt finner vi materialfaktoren på samme side, under ”Material factor, f_1 , strength deck” og ”Material factor, f_1 , bottom”. Denne er lik 1 i begge tilfellene. Nå kan vi plote verdiene inn i formelen for langskips bøyemoment:

$$\sigma_L = \frac{(10836 + 7350) \text{ kNm} \cdot 1000 \cdot 1000}{0,7 \text{ m}^3 \cdot 10^9} = 25,98 \text{ N/mm}^2$$

Vi ganger momentene over brøkstreken med 1000 først for å gjøre om kNm til Nm, så ganger vi det med 1000 en gang til for å endre Nm til Nmm. Så endrer vi motstandsmomentet fra m^3 til mm^3 ved å multiplisere 0,7 med 10^9 . Dermed får vi oppgitt svaret i N/mm^2 .

Forskipet

Vi vil sjekke langskipsstyrken i forskipet, og bruker samme framgangsmåte som for det kritiske snittet. På side 9 i rapporten finner vi stille vannsmoment og bølgemoment under ”Actual position”. Stille vannsmomentet her er lik 4154 kNm, mens bølgemomentet er lik 2415 kNm. På side 11 rapporten finner vi motstandsmomentet i dekk og bunn, og materialfaktor. I dekk er motstandsmomentet lik $0,572 \text{ m}^3$, mens i bunn er den lik $0,454 \text{ m}^3$. Vi bruker dermed motstandsmomentet i bunn. Materialfaktoren er lik 1 i dekk og bunn. Vi setter disse verdiene inn i formelen for langskips bøyemoment og får:

$$\sigma_L = \frac{(4154 + 2415) \text{ kNm} \cdot 1000 \cdot 1000}{0,454 \text{ m}^3 \cdot 10^9} = 14,47 \text{ N/mm}^2$$

Akterskip

Til slutt sjekker vi langskipsstyrken i akterskipet, på samme måte som tidligere. På side 9 i rapporten, under ”Actual position”, finner vi momentene. Stille vannsmomentet er lik 5960 kNm og bølgemomentet er lik 3032 kNm. På side 11 ser vi at motstandsmomentet i dekk er lik $0,432 \text{ m}^3$, mens motstandsmomentet i bunn er lik $0,307 \text{ m}^3$. Vi benytter da motstandsmomentet i bunn for utregningen. Materialfaktoren er lik 1 både i bunn og dekk. Verdiene settes inn i formelen og vi finner langskips bøyemoment:

$$\sigma_L = \frac{(5960 + 3032) \text{ kNm} \cdot 1000 \cdot 1000}{0,307 \text{ m}^3 \cdot 10^9} = 29,29 \text{ N/mm}^2$$

3.6 Lastkondisjoner

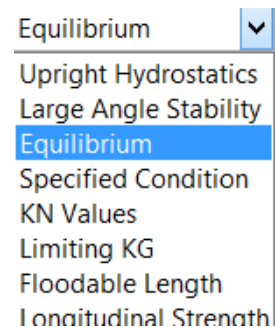
Maxsurf Stability Advanced

Når man har modellert 3D-modellen ferdig kan man gå videre for å teste hvordan skroget oppfører seg når man har installert alt av utstyr (lettskipsvekt) og fyller opp tanker eller lasterom (dødvekt).

De lastkondisjonene som skal være godkjente med tanke på dypgang (trim) og stabilitet er ifølge *MSC 267(85) 3.4.1.2 [57]*:

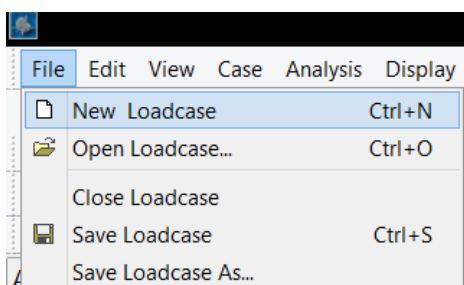
- Lettskip - Ingen dødvekt ombord i skipet
- Avgang lastet - Maksimalt lastet, 100 % drivstoff og forsyninger
- Avgang ballast - Ingen last, 100 % drivstoff og forsyninger
- Ankomst lastet - Maksimalt lastet, 10 % drivstoff og forsyninger
- Ankomst ballast - Ingen last, 10 % drivstoff og forsyninger

Menyen til venstre viser de ulike analysene man kan utføre. I “Upright Hydrostatics” kan man raskt få ut hydrostatikk for ulike dypganger, for eksempel for hver halve meter mellom kjøll og maks dypgang. I “Large Angle Stability” kan man teste ut stabiliteten og skipets evne til å rette seg selv ved ulike krengevinkler. Resultatet kan vises i form av en tabell eller som en grafisk framstilling. I “Equilibrium” ser man hvordan skipet vil ligge i sjøen ved de ulike lastkondisjonene. Man ser på hvilke dypganger skipet har ved AP, midtskips og FP, hvilken trim skipet har, om stabiliteten er god nok og hvordan skipet krenger.



Figur 3.6.1: Meny for analyse.

I “Longitudinal Strength” får man opp en grafisk framstilling av krefter som påvirker skipet i form av kurver. Oppdrift, bøyemoment, vektfordeling, netto last og skjærkrefter inngår i disse kurvene.



For å starte analysen laster man inn samme fil som ble laget i modeller modulen (.msd). Første steg er å lage en ny lastkondisjon. Man lager en ny fil for hver lastkondisjon man vil teste om skipet kan håndtere, som vist på figur 3.6.2. Den første som blir laget ferdig er gjerne lettskip, fordi man kan kopiere de enhetene som inngår i utrustningen av skipet til de andre lastkondisjonene etterpå.

Figur 3.6.2: Oppretting av ny lastkondisjon.

Neste steg er å endre til “Longitudinal Strength” i menyen og legge inn alle enhetene som inngår i lettskipsvekten som maskineri, propellsystem, overbygg i vinduet vist på figur 3.6.3. Det legges også inn last på hoveddekk og i lasterom.

Kapittel 3 – Metode

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
1 DEKKS LAST HOVEDDEKK	1	0,000	0,000			-12,000	-20,000	4,000	0,000	6,000
2 DEKKS LAST LASTEROM	1	0,000	0,000			1,000	-2,000	-4,000	0,000	3,000
3 CARGO HEKK 1	1	0,000	0,000			-14,000	-17,000	-11,000	0,000	4,000
4 CARGO HEKK 2	1	0,000	0,000			-13,000	-15,000	-11,000	0,000	4,000
5 Sikrovekt HEKK	1	85,040	85,040			-13,300	-20,000	-6,700	0,000	3,000
6 Sikrovekt MIDT	1	120,230	120,230			0,000	-6,700	6,700	0,000	3,000
7 Sikrovekt BAU	1	76,280	76,280			13,300	6,700	20,000	0,000	3,000
8 Overbygg 120 m² * 0.2 tonn + al	1	50,000	50,000			11,000	5,000	17,000	0,000	7,000
9 Cat C 32 el Cummins KTA 38, 2x7	2	4,000	8,000			-6,500	-7,700	-5,300	0,000	3,000
10 Cat C32 6-700KW/220V, 50Hz	2	5,000	10,000			-7,000	-10,000	-4,000	0,000	2,000

Figur 3.6.3: Lasteenheter i Maxsurf Stability.

Når man legger til enhetene så skriver man inn data som vekt og plassering. Long. Arm er avstanden fra nullkryss til midten av enheten. Man definerer også utstrekningen til enheten ved å bruke Aft. Limit og Fwd. Limit. Vekten blir dermed fordelt over lengden. Når hele listen over enheter er lagt inn får man opp total vekt, LCG og VCG nederst i vinduet.

109	Total Loadcase					476,246	689,968	0,000	-0,718		0,000	3,627
-----	----------------	--	--	--	--	---------	---------	-------	--------	--	-------	-------

Figur 3.6.4: LCB, VCG og total vekt for den aktuelle lastkondisjonen.

På figur 3.6.4 ser man at den totale vekten på lettskipet er 476 tonn, LCG er 0,718 m bak nullkryss og VCG er 3,627 m over basislinjen. Da alt av utrustning er lagt inn i lastkondisjonen er neste steg å legge inn tankene.

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A.Bott. m	Formed
1 Aft Peak	Tank	100	100	1,025	Sea Water	none	-21,15	-19,95	-6	6	4,8	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
2 Fore Peak	Tank	100	100	1,025	Sea Water	none	14,25	18,938	-6	6	4,8	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
3 Fresh Water 01	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	8,25	14,25	-6	-1,2	4,8	1,8	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
4 Fresh Water 02	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	8,25	14,25	1,2	6	4,8	1,8	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
5 Side PS 01	Tank	100	100	1,025	Sea Water	none	-19,95	-10,95	-6	-4,8	4,8	1,8	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
6 Side PS 02	Tank	100	100	1,025	Sea Water	none	-10,95	-1,95	-6	4,8	4,8	1,2	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
7 Side PS 03	Tank	100	100	1,025	Sea Water	none	-1,95	8,25	-6	-4,8	4,8	1,8	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Figur 3.6.5: Vinduet som viser tankene i Maxsurf Stability.


For å legge inn tanker i skipet bruker man “Room definition” som vist på figur 3.6.5. Her har man muligheten til å legge inn det tankarrangementet som er planlagt for skipet, for så å fylle dem opp. Man kan velge type væske som skal befinne seg i tanken (vannballast, ferskvann og brenselolje). For å definere plassering og størrelse på tankene legger man inn grensene til tanken i form av Aft, Fore, Stbd, Port, Top og Bottom. Tanken trimmes og formes automatisk mot skipskroget hvis grensene ligger utenfor. Ved å gå tilbake til “Load Case” kan man finne data om de ulike tankene.

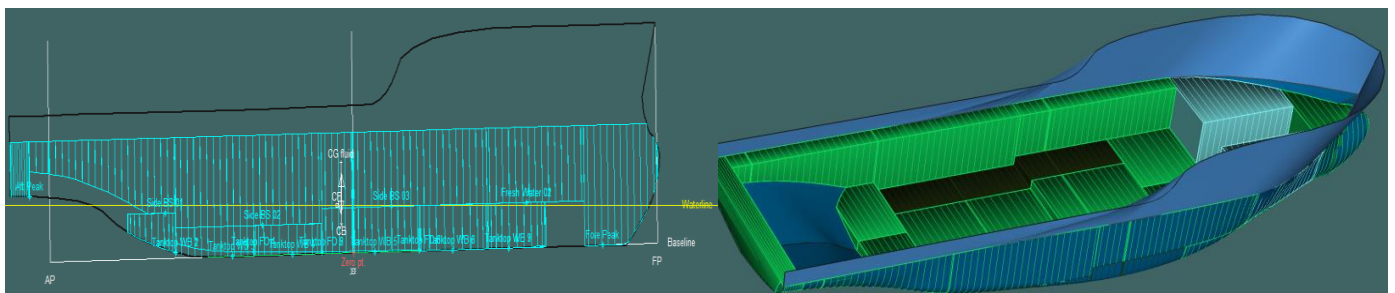
Kapittel 3 – Metode

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³
84	Fore Peak	0%	48,675	0,000	47,488	0,000
85	Aft Peak	0%	22,838	0,000	22,281	0,000
86	Fresh Water 01	0%	52,719	0,000	52,719	0,000
87	Fresh Water 02	0%	52,719	0,000	52,719	0,000
88	Side PS 01	0%	18,149	0,000	17,707	0,000

Figur 3.6.6: Eksempler på tankenheter.

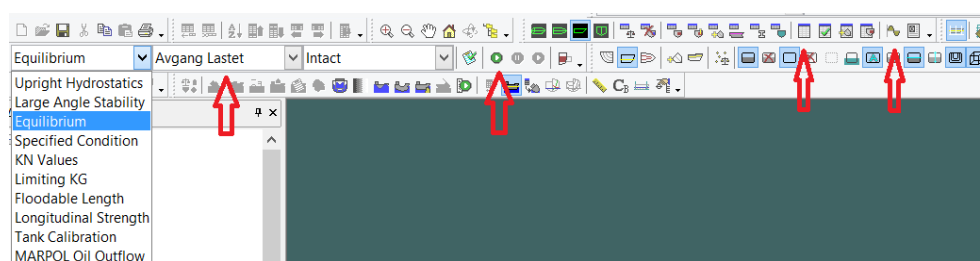
Figur 3.6.6 viser at man har oversikt over nøyaktig hvor store de enkelte tankene er i antall kubikkmeter, og hvis man fyller dem opp til en gitt prosentandel får man opp volumet under “Total”.

Ved å bruke perspektiv-menyen får man se ulike snitt av skipet.  Hvordan tankene er plassert vises grafisk. De ulike væsketyperne bestemmer farger på tankene, grønn er vannballast, lyseblå er ferskvann og svart er drivstoff.



Figur 3.6.7: Profilsnitt og grafisk illustrasjon av modellen i Maxsurf Stability.

På profil snittet kan man se hvordan skipet ligger i sjøen i forhold til dypgang. Da kan man vurdere hvilke ballasttanker som må fylles for å forbedre trim, eller eventuelt endre på hvordan tankene er plassert hvis resultatet er dårlig. Når alle lastenheter og tanker er på plass kan man begynne å kjøre de forskjellige analysene.

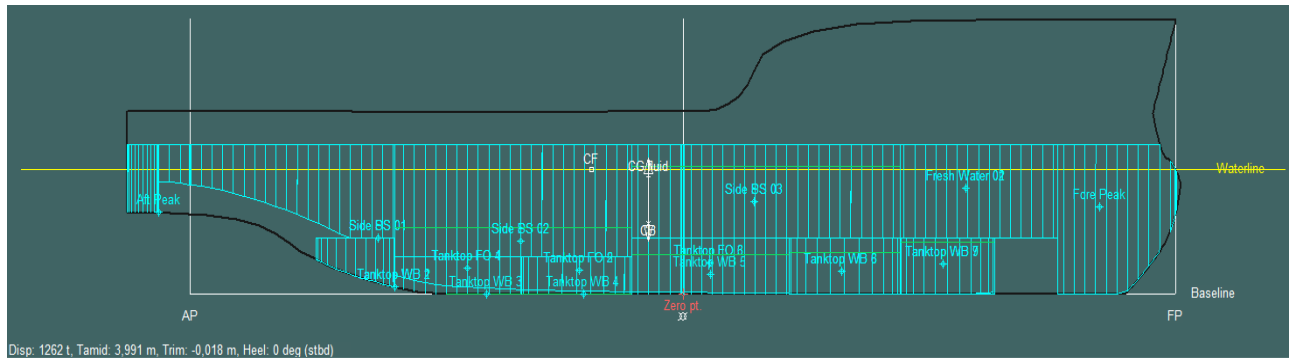


Figur 3.6.8: Vinduet i Maxsurf Stability.

Man velger hvilken type analyse som skal kjøres bra menyen, hvilken lastkondisjon man vil teste (pil nr.1), trykker på “Start Analysis” (pil nr. 2), og ser på resultatene i modellvinduet i tabellform (pil nr. 3) eller grafisk form (pil nr. 4).

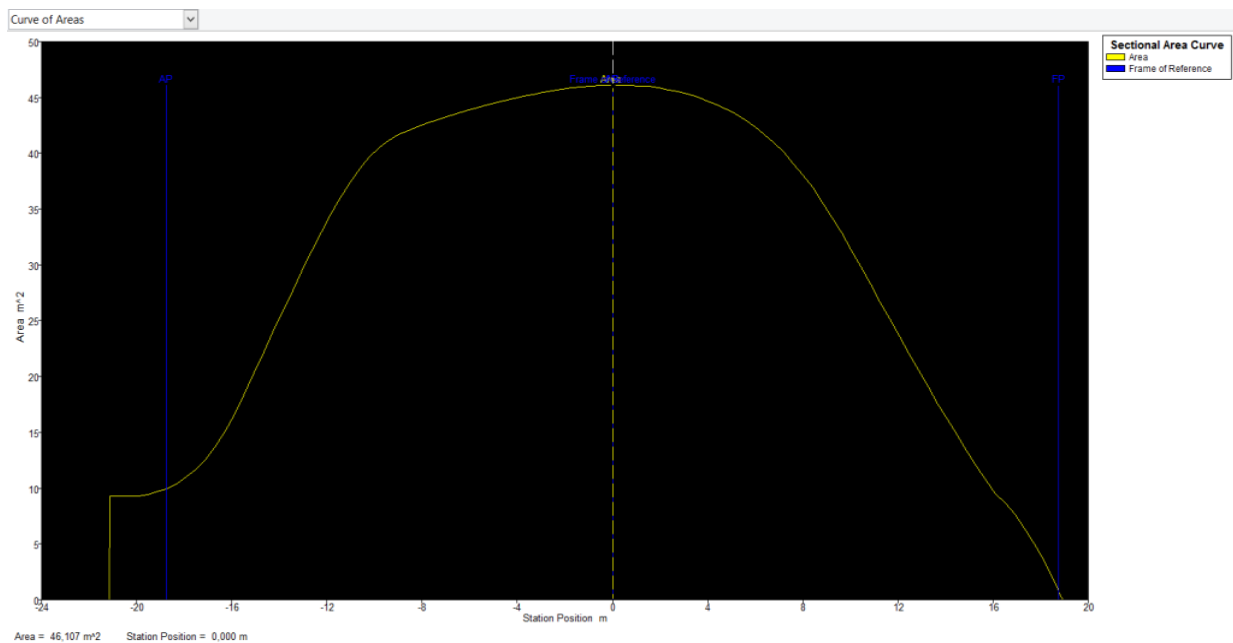
1	Draft Amidships m	3,991
2	Displacement t	1262
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	4,000
5	Draft at AP m	3,982
6	Draft at LCF m	3,989
7	Trim (+ve by stern) m	-0,018
8	WL Length m	39,903
9	Beam max extents on WL m	12,014
10	Wetted Area m ²	603,36
11	Waterpl. Area m ²	409,99
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,669
13	Block coeff. (Cb)	0,642
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,962
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,855
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-1,317
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-3,482
18	KB m	2,280
19	KG fluid m	3,756
20	BMt m	3,544
21	BML m	34,809
22	GMt corrected m	2,068
23	GML m	33,333
24	KMt m	5,824
25	KML m	37,089
26	Immersion (TPc) tonne/cm	4,202
27	MTC tonne.m	11,219
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	45,551
29	Max deck inclination deg	0,0281
30	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,028

Figur 3.6.9: Hydrostatiske data for lastkondisjonen.



Figur 3.6.10: Profilsnitt av skipet ved en lastkondisjon etter at analysen er kjørt.

I modellvinduet (profil snitt som vist på figur 3.6.10) får man i hjørnet opp data som deplasement, dypgang midtskips og trim i antall meter (dypgang AP – dypgang FP). Dette snittet kan man bruke til å vurdere om dypgangen ved propellanlegg eller bulb er tilfredsstillende. I tabellformen har man flere hydrostatiske data som resultat av lastkondisjonen. Her har man en god oversikt over de viktigste verdiene som brukes for å vurdere om skipet behandler lastsituasjonen på en god måte.

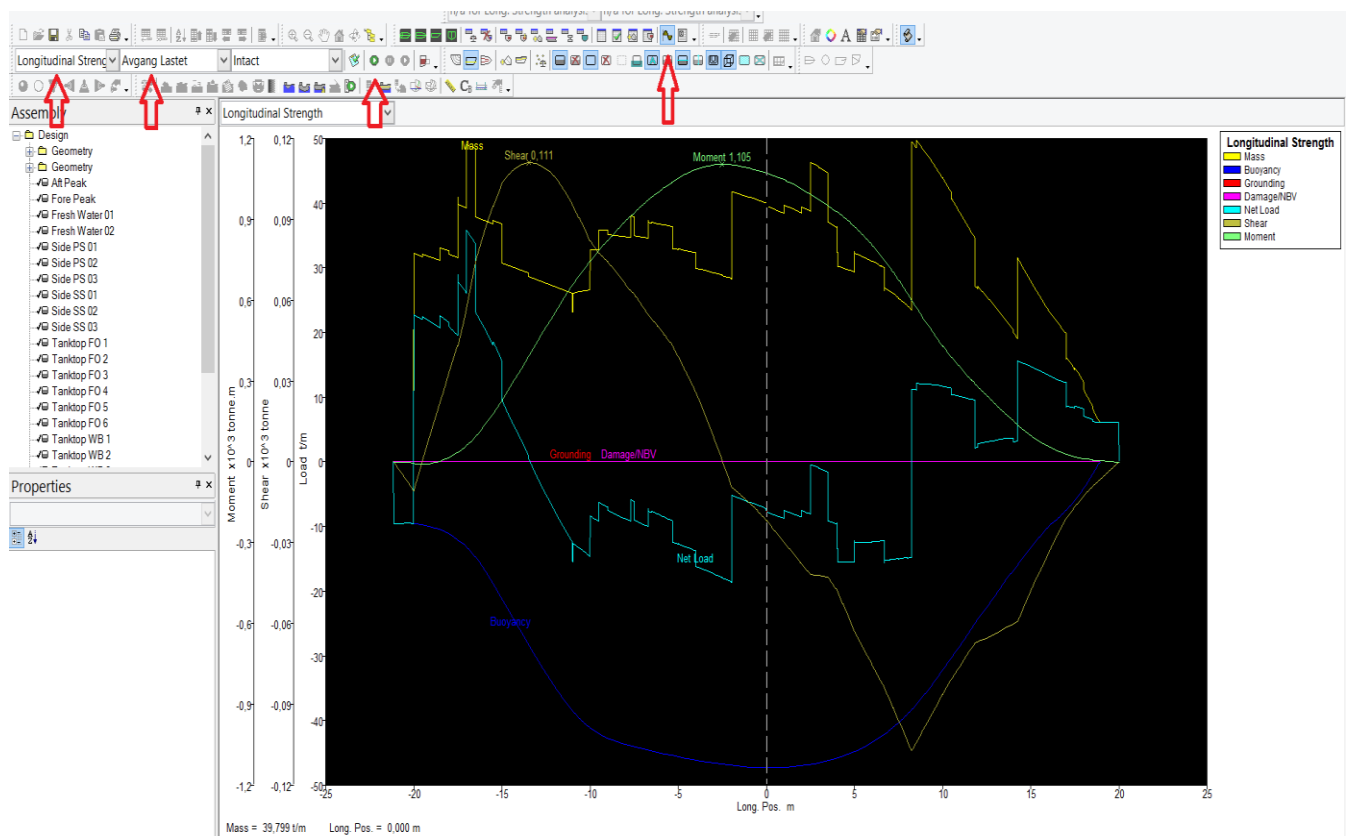


Figur 3.6.11: Seksjonsarealkurve for skipet ved en gitt lastkondisjon.

Hvis man velger å se på resultatene av equilibrium-analysen grafisk får man opp seksjonsarealkurven (SAK) som vist på figur 3.6.11. Den beskriver hvor stort deplasementet (oppdriftskreftene som virker på skipet) er i langskipsretningen.

Kapittel 3 – Metode

Den neste analysen man kjører er for langskipsstyrke. Dette gjør man ved å velge “Longitudinal Strength” i menyen, velge hvilken lastkondisjon man vil teste (pil nr. 2), trykker på “Start Analysis” (pil nr. 3), og ser på resultatene i grafisk form (pil nr. 4) som vist på figur 3.6.12.



Figur 3.6.12: Analyseresultatene i form av kurver.

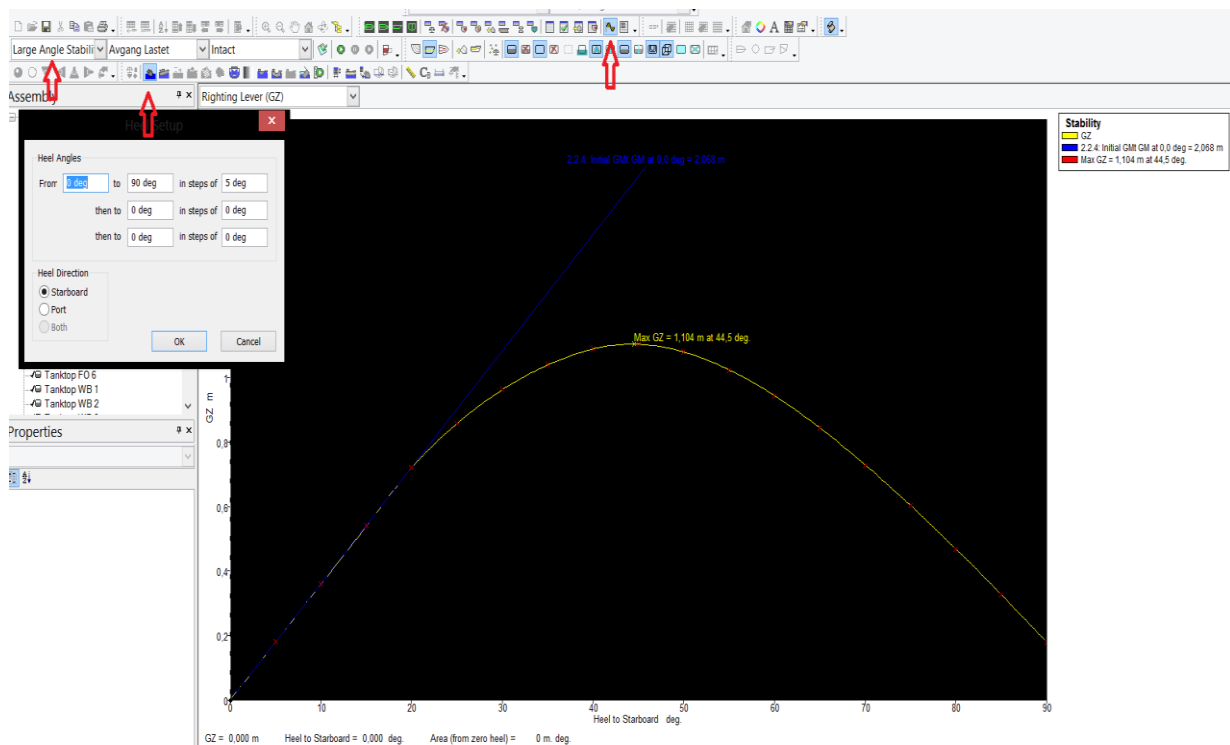
I dette vinduet får man opp 5 forskjellige kurver:

- Vekt (gul) - Viser hvordan vektfordelingen er langs skipet i antall tonn per meter.
- Oppdrift (blå) - Viser hvor store oppdriftskreftene er langs skipet i antall tonn per meter.
- Netto last (lyseblå) - Viser netto last som virker på skipet (vekt + oppdrift) i antall tonn per meter.
- Moment (grønn) - Viser momentet (hogging eller sagging) som virker på skipsskroget i antall tonn per meter.
- Skjærkraft (gull) - Viser skjærkreftene som virker på skipet i antall tonn.

Denne analysen gir en god oversikt over kraftbildet ved de ulike lastkondisjonene som må godkjennes. Resultatet her kan vurderes og brukes som begrunnelse til å endre på hovedarrangement, tankarrangement eller lastarrangement. Grafen viser sammenhengen mellom netto last og momentet, der man i dette eksempelet ser at skipet vil bøyes oppover på midten (hogging-moment) siden netto last er negativ (større oppdrift enn last). Det høyeste momentet fra denne analysen brukes også i Nauticus Section Scantlings som designmomentet for dimensjonering av stålstruktur.

Kapittel 3 – Metode

Den siste analysen gjelder krenkning av skipet. Man har visse kriterier angående stabilitet som må oppfylles og dette kan sjekkes ut ved å kjøre analysen som heter “Large Angle Stability”.

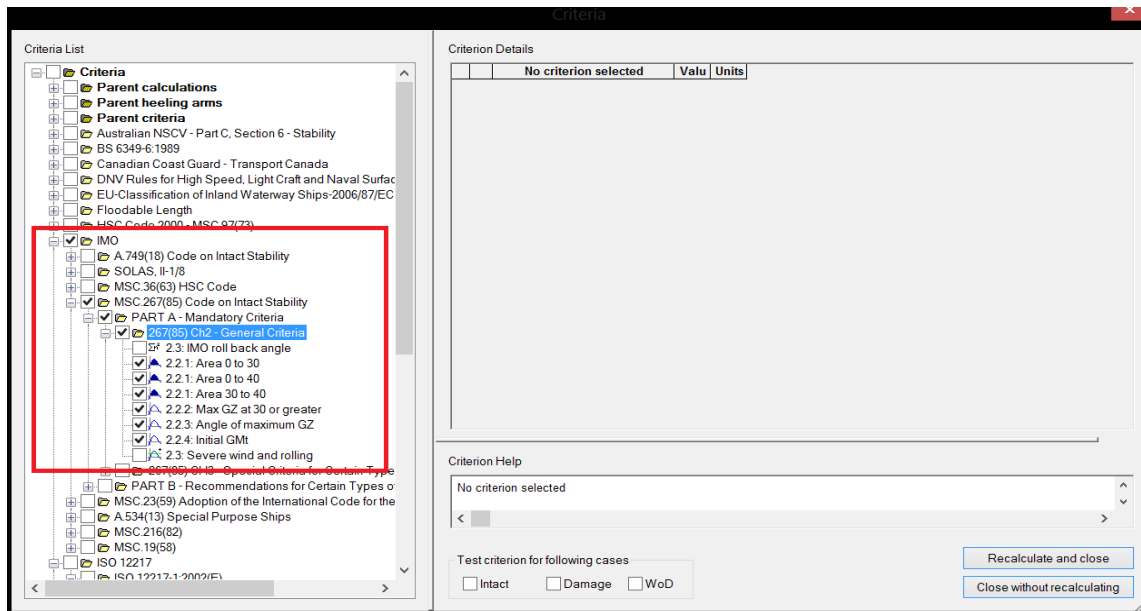


Figur 3.6.13: GZ-kurven til skipet ved en gitt lastkondisjon.

For å starte analysen velger man “Large Angle Stability” (pil nr. 1) i menyen, så trykker man på ”Heel” (pil nr. 2) for å velge hvilke grader og steg man vil krenge skipet. Trykk deretter på ”Graph Window” (pil nr. 3) for å få opp GZ-kurven. Det er også mulig å se på resultatet i tabellform for nøyaktige tall ved de ulike krengevinklene. Grafen viser hvor stor den rettende armen GZ er ved forskjellige krengevinkler i antall meter. Eksempel på en slik graf kan vises i figur 3.6.13. Slik som de andre analysene er det mulig å kjøre denne testen for alle lastkondisjonene for å se om skipet behandler krenkning på en god måte.

Hvis man vil teste om resultatet er godkjent med hensyn på offisielle regler kan man legge til kriterier i analysen. Dette gjør man ved å velge “Criteria” i Analyse-fanen og huke av reglene som gjelder for den relevante skipstypen. Dette er vist på figur 3.6.14.

Ifølge *Forskrift om bygging av skip - § 19 (delkapittel 2.10.1)* så må vårt skip følge reglene fra: IS-koden 2008, Chapter 2, 2.2.1 til 2.2.4.



Figur 3.6.14: Oppsett av hvilke regler som skal sjekkes i kriterievinduet.

	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass	
2		from the greater of					
3		spec. heel angle	0,0	deg	0,0		
4		to the lesser of					
5		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
6		angle of vanishing stability	90,0	deg			
7		shall not be less than (>=)	3,1513	m.deg	15,7244	Pass	+398,98

Figur 3.6.15: Resultatvinduet etter sjekk av stabilitetskriterier.

Man får opp kriteriene ved å trykke på “Criteria Results” som vist på figur 3.6.15. Da får man opp tabellen som viser om resultatet fra krengeprøven består de offisielle kravene. Tabellen viser hvordan resultatet står opp mot minimumskravet for hver regel.

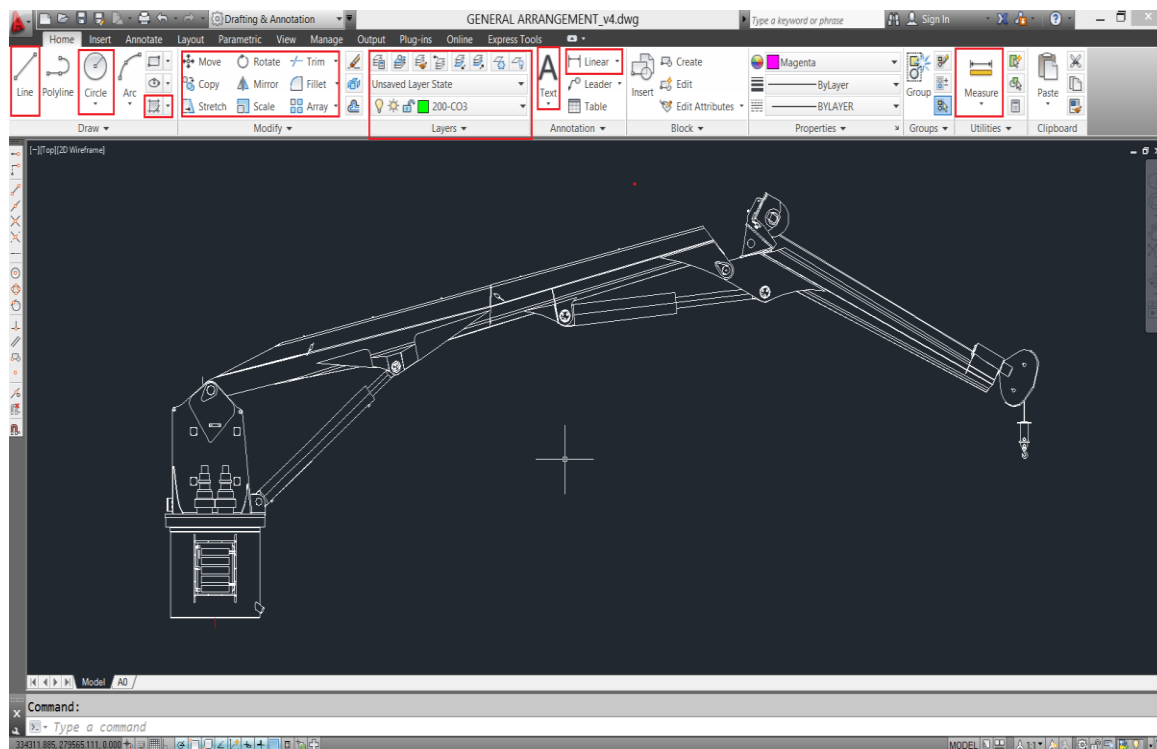
Ved å bruke disse tre metodene for å teste hvordan skipet ligger i sjøen og håndtere de ulike lastkondisjonene som må godkjennes, kan vi vurdere hvilke endringer som må gjøres for at resultatet skal bli godkjent. Eksempler på dette kan være at hvis man har en alt for høy trim ved en gitt lastkondisjon, og ikke klarer å minimere den ved hjelp av ballasttankene må man endre på arrangementet. Et annet eksempel er hvis dypgangen til skipet ved en gitt lastkondisjon ikke tilfredsstillende kravet om minimum dypgang, og dermed ikke kan bruke propellene. Dette kan fort skje ved lastkondisjonen ankomst ballast hvis skipet har for liten ballastkapasitet.

3.7 Hovedarrangement

3.7.1 AutoCAD



Dette er den programvareløsningen vi har valgt å bruke for å tegne GA. Ifølge Autodesk.no [47] står CAD for “Computer Aided Design”, som betyr at det er en programvare som gjør det mulig å lage elektroniske plantegninger i 2D eller modeller i 3D. I dette programmet kan man lage tegninger av skip, hus og diverse systemer som rør eller elektriske anlegg i 1:1 skala for best mulig nøyaktighet og oversikt. Man tegner altså komponenter og systemer i de reelle dimensjonene, for så å skalere ned tegningen ved plotting. Ifølge tutorial45.com og Study.com [48][49] er AutoCAD er en av de mest brukte programmene innen ingeniørbransjen fordi programmet gjør det mulig å planlegge komplekse systemer med høy nøyaktighet. Det brukes f.eks. ved prosjektering av skip eller hus der man tegner inn rominndeling og utstyr som skal plasseres for å sikre at designet er av god kvalitet før det bygges. Versjonen som er brukt til å utforme hovedarrangementet i dette prosjektet er AutoCAD 2013 student versjon.



Figur 3.7.1: Modellvinduet i AutoCAD.

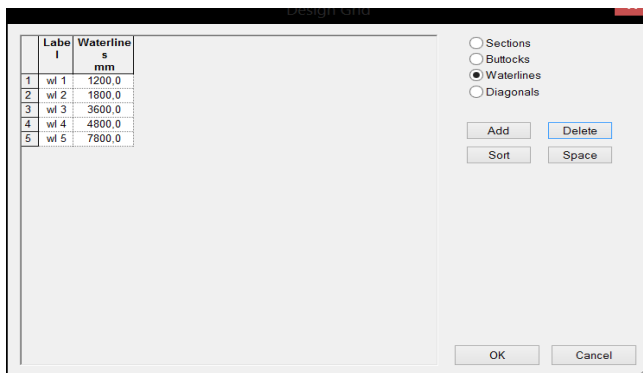
På figur 3.7.1 kan man se hvilke basisfunksjoner som blir brukt under tegningen markert ved bruk av røde rektangler:

- Linjer
- Sirkler
- Flytting, rotering, kopiering, speiling, og skalering av objekter (markering av flere linjer)
- Trimming og avrunding av to linjer
- Valg av linjeegenskaper som farge, tykkelse og type
- Tekst og dimensjonering
- Måling av avstand, radius eller vinkel

Ved å bruke en kombinasjon av disse funksjonene og komponenttegninger mottatt fra leverandører, har vi klart å lage et komplett hovedarrangement.

3.7.2 Tegning av hovedarrangement

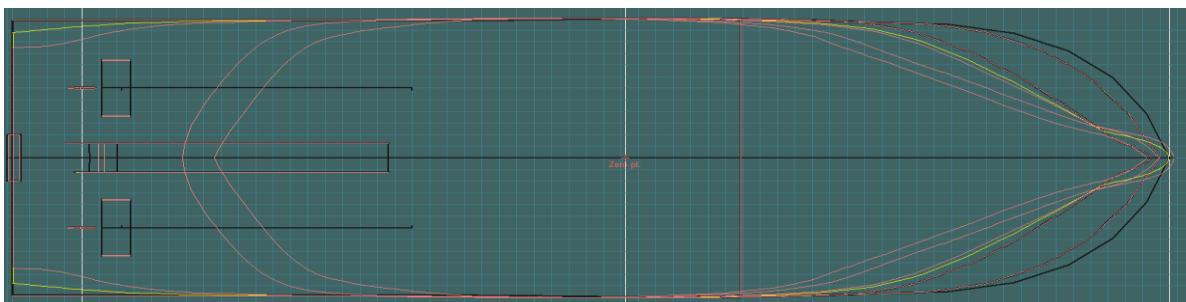
Det aller første man starter med er å ta ut de linjene man trenger fra Maxsurf modellen. Man eksporterer ut de samme snittene fra modellen som man har planlagt å ha i hovedarrangementet. Den enkleste metoden er å endre vannlinjer i ”design grid” slik at det er



kun de gjeldende snittene som kommer ut. Dette gjør man ved å legge inn nivåene som dekkene ligger på, som vist på figur 3.7.2.

Her er det lagt inn nivåer over basislinjen som tilsvarer tanktop, hoveddekk og A-dekk i den påbegynte GA-tegningen.

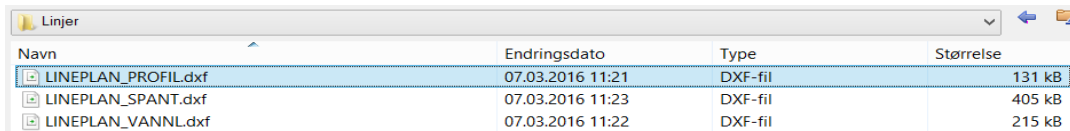
Figur 3.7.2: Valg av hvilke plansnitt som skal eksporteres.



Figur 3.7.3: Grafisk illustrasjon av de plansnittene som er valgt.

Når profil-, vann- og spantelinjer er eksportert ut i DXF-filer åpnes de i AutoCAD. Deretter må man kopiere linjene inn i filen for hovedarrangementet (.dwg).

Kapittel 3 – Metode

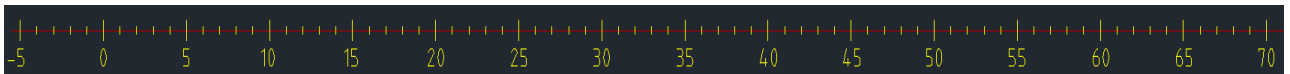


Navn	Endringsdato	Type	Størrelse
LINEPLAN_PROFIL.dxf	07.03.2016 11:21	DXF-fil	131 kB
LINEPLAN_SPANT.dxf	07.03.2016 11:23	DXF-fil	405 kB
LINEPLAN_VANNL.dxf	07.03.2016 11:22	DXF-fil	215 kB

Figur 3.7.4: De eksporterte filene med linjer som skal brukes i hovedarrangementet.

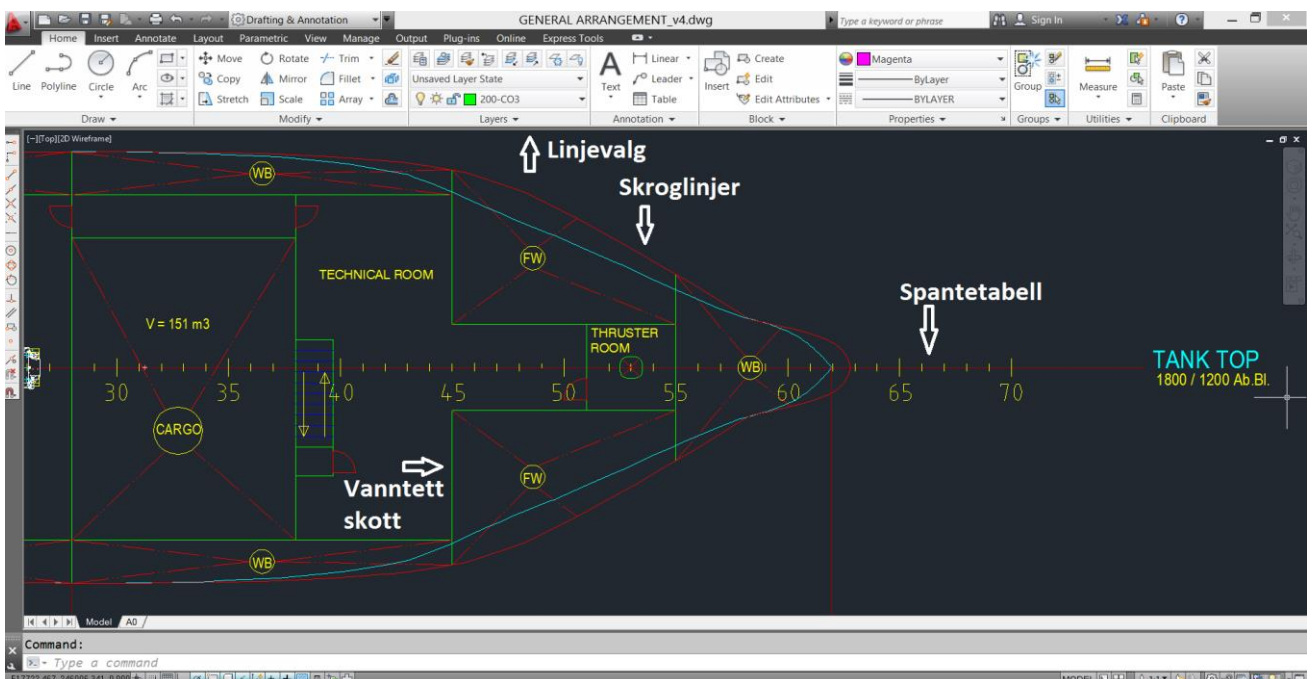
Profillinjene plasseres øverst på tegningen med vannlinjene under. Spantelinjer plasseres på høyre side av profilsnittet.

Før vi går videre trenger man en spantetabell. Den brukes for å holde kontroll på plassering av skott, linjer og utstyr. Spantetabellen består ganske enkelt av streker og tall der avstanden mellom strekene i AutoCAD er lik spanteavstanden som er valgt for skipet (600 mm i dette prosjektet).



Figur 3.7.5: Spantetabellen i AutoCAD.

I eksportfilen blir også AP og FP som ble definert i modellen tatt med. Dette kan brukes for å plassere skroglinjene riktig i forhold til spantetabellen. AP plasseres på samme x-koordinat som spant 0 i tabellen. Etter at skroglinjer og tabell er riktig plassert i profil- og plansnittene kan man begynne å tegne inn de vanntette skottene.



Figur 3.7.6: Vinduet i AutoCAD med utsnitt av GA.

Linjene som inngår i de forskjellige seksjonen av skipet blir gitt ulike farger, som vist på figur 3.7.6:

- Skroglinjen for gjeldende dekk er farget turkis
- Skroglinjen for dekket over gjeldene er farget rød
- Vanntette skott er farget grønn
- Stiplete røde kryss illustrerer hvilke områder som er tanker eller lasterom
- Stiplete gule linjer viser dekk og skott i profilsnittet

Når de vanntette skottene tegnes inn så blir det tatt hensyn til flere ting:

- Plassering av alle skott på et spant, riktig i forhold til spantetabellen
- Inndeling av skipet i avdelinger ved bruk av kollisjonsskott og andre vanntette skott som går vertikalt langs hele skipets dybde
- Strukturdesign - langskipsskott og tverrskipsskott plasseres slik at man ikke trenger unødvendige stålkomponenter ($x \cdot stiveravstand$)
- Plassering av vertikale skott over og under dekket på samme spant om mulig for å ta hensyn til skjærkrefter i dekket
- Samsvar mellom skott tegnet inn på profil- og plansnittene

Etter at alle skottene er tegnet inn (grønne linjer) sjekker vi om arealer og volum i de ulike rommene etter inndelingen er godkjent. Dette gjøres for å få plass til alt utstyret som skal inn i rommet. Tekst med forkortelser og kryss brukes for vise hvor tankene er plassert i skipet. Tekst brukes også for å oppgi hvilke rom som vil bli brukt til hva, som teknisk rom, thruster rom, lasterom og maskinrom. Etter at basislinjene er tegnet inn på alle snittene kan man begynne å legge inn komponentene som inngår i utrustningen av skipet. Vi henter inn komponenttegninger av de viktigste delene, som kraner, maskiner, propeller, thrustere og dekksutstyr i AutoCAD format (.dwg). Dette får vi fra oppdragsgiver og maritime leverandører nevnt i spesifikasjonen:

- Aas Mek. Verksted
 - Styremaskin til ror
 - Propell, aksling og gir
 - Hovedmaskin til propulsjon
 - Hjelpemaskin med generator
 - Thruster
- MBHydraulikk AS
 - MOB-båt og davitkran
 - Varpvinsj
 - Hjelpevinsj
- Bergen Hydraulic AS
 - Stor dekkskran
 - Liten dekkskran

- Vard Aukra
 - Lysmast
 - Brokonsoller
 - Utstyr i kjøkken/messe

Tegningene av disse komponentene åpnes i AutoCAD, kopieres inn i hovedarrangementet og plasseres i planlagt posisjon. Arrangementet i overbygget tegnes ved å ta hensyn til krav om bredde i gang, krav til minste areal, naturlig lys i lugarer og praktisk plassering. Når maskinkomponenter og annet utstyr er plassert, så har man muligheten til å vurdere om arrangementet er bra eller dårlig. Vi sjekker om det er nok klaring rundt motorene, om alle kontainerne får plass på dekk og retter på eventuelle problemstillinger som dukker opp.

3.8 Hydrodynamikk

3.8.1 Modellforsøk

Vi gjennomfører et modellforsøk for å regne på motstand og propulsjon til skipet. Det første som blir gjort er å frese ut en skalert modell i et skum-material. Vi sender en DXF-fil av modellen i Maxsurf til ansvarlige for fresemaskinen slik at de kan frese ut eksemplarer til oss. Modellen freses ut og skaleres for å få en bredde på 20 cm av praktiske årsaker. Vi kan dermed finne modellskalaen: $1200 \text{ cm} / 20 \text{ cm} = 60$. Modellen blir frest ut i to deler som vi må lime sammen, men først må vi lage et lasterom som skal fylles med ballast.



Figur 3.8.1: Fresing av modeller.

Det er enklere å lage et lasterom før delene er limt sammen. Vi må passe på å plassere lasterommet riktig slik at vi unngår trim. Lasterommet strekker seg mellom 7-33 cm fra hekk, bredden på lasterommet er 14 cm og dybden er 6 cm. Vi bruker en kniv for å skjære ut lasterommet, og når dette er gjort kan vi sette sammen delene. Vi bruker lim og har modellen fastspent over natten for at delene skal sitte godt sammen. Dette kan vi se i figur 3.8.2. Nå som skroget er limt sammen begynner vi å pusse modellen med pussepapir for å gjøre den så glatt og fin som mulig. Dette gjør vi for å unngå unødvendig motstand på grunn av en betydelig ru overflate. Deretter benytter vi fugemassen Tec7 som vi ser i figur 3.8.3 og fuger langs skøyten for å gjøre modellen vanntett.



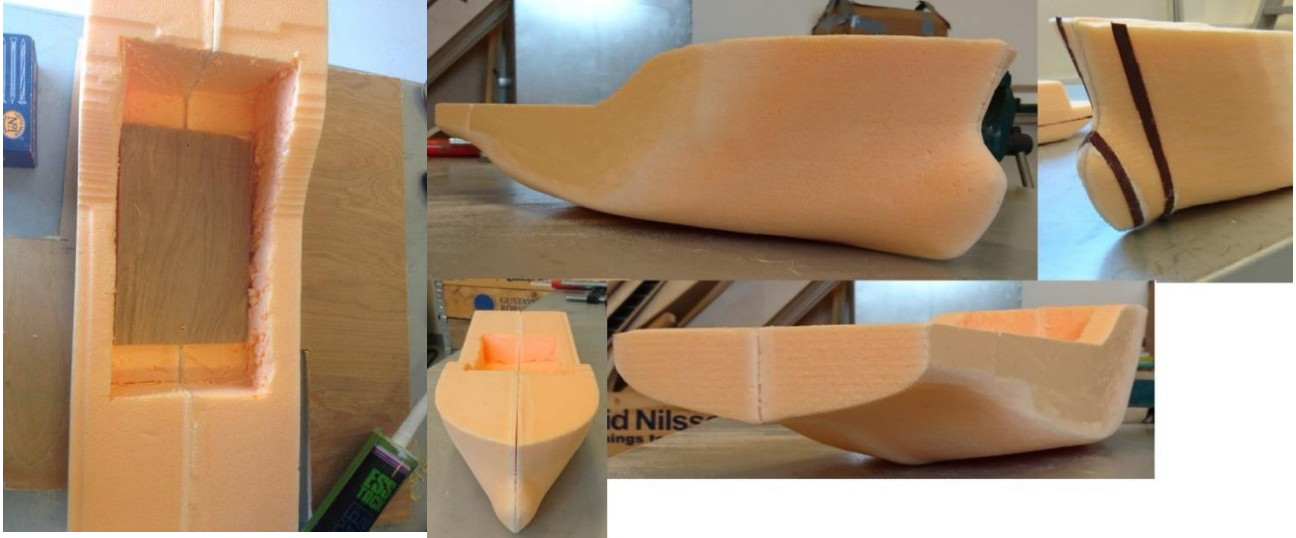
Figur 3.8.2: Modell sammenklemt.



Figur 3.8.3: Fuging av skøyter.

Kapittel 3 – Metode

Vi må lime fast en plate i lasterommet som skal skrues fast til armen i slepetanken. Vi sager ut en plate på 14 cm x 22 cm og lager to hull i platen som passer med armen. Disse hullene er befinner seg 18,8 cm fra hverandre. I figur 3.8.4 ser vi hvordan platen plasseres i lasterommet. Det skal også limes fast to striper med slipepapir på siden av skroget, som vi ser i figur 3.8.5. Det skal være en ved 1/3 lengde av bulben, og en 5% av L_{PP} bak bulben, noe som tilsvarer 3,3 cm. Dette er for å få et ruhetstillegg som gir turbulent strømming istedenfor laminær strømming ved bulben. Platen og slipepapiret limes fast og virker over natten.



Figur 3.8.4: Modell med plate.

Figur 3.8.5: Modellen sett fra ulike vinkler.

Nå som modellskroget er ferdig er vi klar for å gjennomføre sleptesten i tanken. Tanken ser vi i figur 3.8.6 og inneholder ferskvann. Modellen slepes gjennom tanken ved hjelp av en arm som skrues fast i platen. Etter at modellen er plassert i tanken og armen er skrudd fast, legger vi inn vekten.

Modellskalaen som benyttes er 1:60, som gir følgende data for modellen:

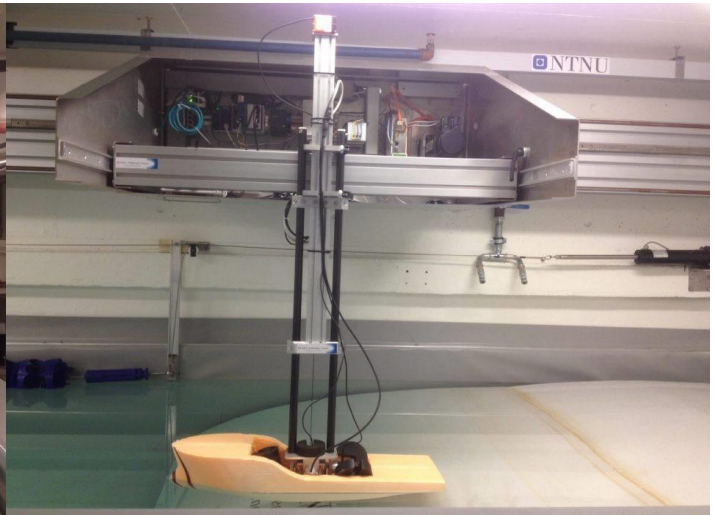
- $B_M = 1200 \text{ cm} / 60 = 20 \text{ cm}$
- $L_M = 4000 \text{ cm} / 60 = 66,67 \text{ cm}$
- $D_M = 480 \text{ cm} / 60 = 8 \text{ cm}$
- $T_M = 400 \text{ cm} / 60 = 6,67 \text{ cm}$
- $C_B = 0,644$

$$\begin{aligned}\Delta_M &= L_M \cdot B_M \cdot T_M \cdot C_B \cdot \rho_{fw} = 66,67 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} \cdot 6,67 \text{ cm} \cdot 0,644 \cdot 0,001 \text{ kg/cm}^3 \\ &= 5,73 \text{ kg}\end{aligned}$$

Med andre ord skal modellen ha et deplasement på 5,73 kg. Vi veier modellen for å finne ut hvor mye ballast vi må legge oppi lasterommet. Modellen veier 0,474 kg, så vi må dermed fylle lasterommet med 5,256 kg ballast. Vi benytter lodd som tilsammen veier 4,75 kg, og estimerer at armen som vi ser i figur 3.8.7 veier ca. 0,5 kg.

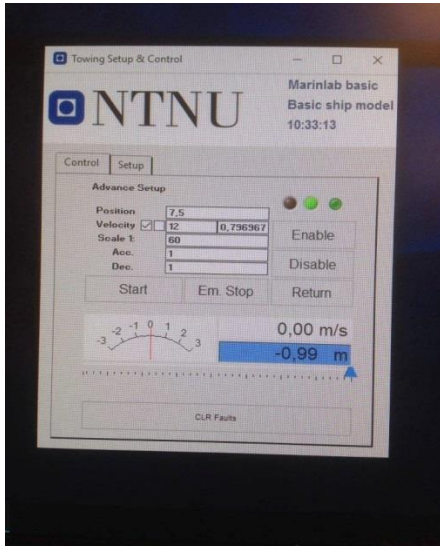


Figur 3.8.6: Bilde av slepetanken.



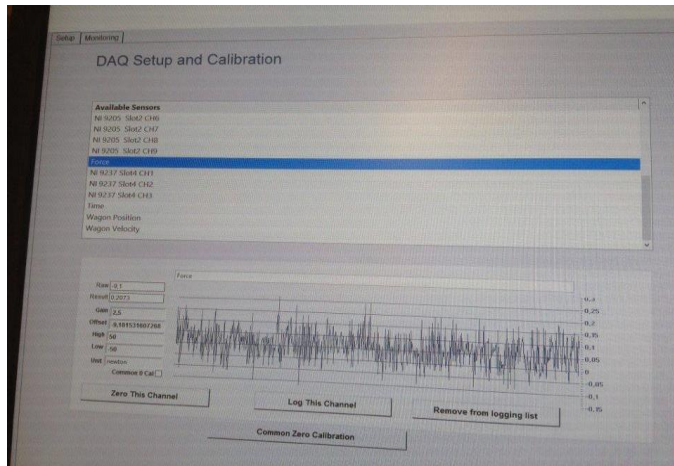
Figur 3.8.7: Armen montert i lasterommet.

Nå som skipet er montert og ballasten er plassert om bord, benytter vi dataprogrammet NTNU Marinlab Basic for å kjøre slepetesten. Vi trykker først på ”Open DAQ Setup & Cal” og ”Open Towing Control & Setup”, før vi trykker på den grønne Check-knappen. I vinduet ”Towing Setup & Control” som vi ser i figur 3.8.8, under ”Advanced Setup”, skriver vi inn ønsket fart for skipet i fullskala, som er 12 knop for vårt skip. Maskinen regner dette om til modellens hastighet i m/s. Deretter skriver vi inn skalaen som er 1:60. Posisjonen er satt som 7,5 fordi modellen skal kjøre 7,5 meter gjennom tanken.



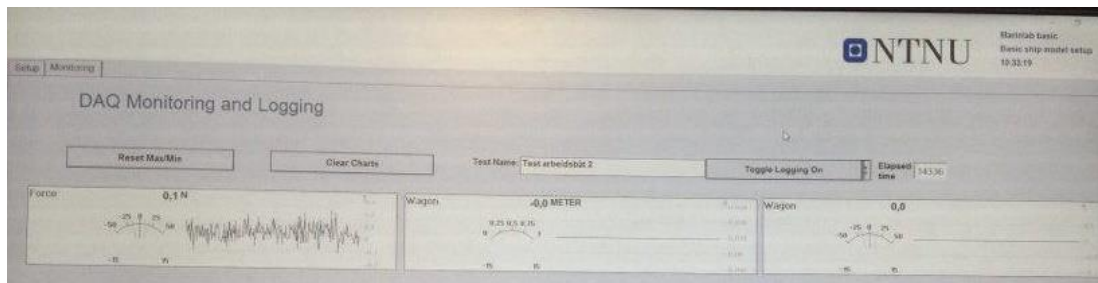
Figur 3.8.8: Towing Setup & Control.

Vi går inn på vinduet vist i figur 3.8.9, og trykker på ”NI 9237 Slot 4 CH0” under ”Available sensors”, og endrer navnet til ”Force”. Under ”Gain” skriver vi 2,5, ”High” skal være lik 50 og ”Low” lik -50. Vi skriver inn ”newton” som ”unit”. Trykk deretter på ”Zero This Channel” og ”Log This Channel” før man går inn på overvåkningsvinduet ved å trykke på ”Monitoring” øverst i vinduet.



Figur 3.8.9: DAQ Setup and Calibration.

I overvåkningsvinduet (figur 3.8.10) skriver vi inn ønsket testnavn. Nå som vi er klare for å kjøre igjennom testen trykker vi på ”Toggle Logging On”, venter 5 sekunder og trykker på Start-knappen som vi ser i figur 3.8.8. Når slepetesten er gjennomført og modellen har nådd enden av tanken, trykker vi på ”Toggle Logging Off” og returnerer modellen tilbake til startposisjonen. For mest mulig nøyaktighet gjennomfører vi testen 5 ganger. Det er viktig at vi venter lenge nok mellom hver test slik at vannet i tanken blir helt stille. Vi venter i ca. 7-8 minutter.



Figur 3.8.10: Overvåkningsvinduet.

Resultatet av slepetesten vises i form av en Excel-fil hvor motstanden (R_{TM}) er listet opp for hver tidsenhet skipet kjører gjennom tanken. Vi finner gjennomsnittsmotstanden for hver enkelt av testene, før vi finner en endelig gjennomsnittsmotstand av de 5 målingene.

I tabell 3.8.1 ser vi slepemotstanden for de 5 testene, og gjennomsnittet av dem.

Test nr.1	1,059393522	N
Test nr.2	1,060521709	N
Test nr.3	1,16185985	N
Test nr.4	1,216047592	N
Test nr.5	1,151413817	N
Gjennomsnitt	1,129847298	N

Tabell 3.8.1: Slepemotstand til modell.

3.8.2 Skrogmotstand

I forrige delkapittel er en slepetest beskrevet. Denne testen er gjennomført for å kunne regne på motstand som virker på fartøyet, og propulsjonsegenskapene vi trenger for å drive skipet framover. Som et resultat av modellforsøket i slepetanken ved NTNU, har vi mulighet til å regne ut slepemotstand for AAS 40 WB i full skala. I tillegg til slepemotstand, vil også thrustkraft, effekt-verdier og virkningsgrader også beregnes over de neste delkapitlene. Skipets lengde på 40 meter og hastighet på 12 knop er gitt. Det er dermed mulig å regne ut Froudes tall. Merk at vi gjør om skipets hastighet fra knop til m/s.

$$Fn = \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} = \frac{12 \cdot \frac{1852}{3600}}{\sqrt{9,81 \cdot 40}} = \frac{6,173}{\sqrt{9,81 \cdot 40}} = 0,31$$

Skipets fart er altså 6,173 m/s.

Froude-tallet kan vi bruke til å finne modellens fart. Slepetankens størrelse, og praktiske forhold ved fresemaskinen gjør at modellbredden bør være 20 cm. Vi bruker modellskala 1:60, slik at $\lambda = 60$. Lengden til modellen blir:

$$L_m = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{40}{60} = 0,67 \text{ m}$$

Farten til modellen finner vi ved å omgjøre formelen til Froude tallet.

$$V_m = Fn \cdot \sqrt{g \cdot L_m} = 0,31 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,67} = 0,79 \text{ m/s}$$

Vi vil finne friksjonsmotstandskoeffisienten C_F for både modell- og fullskala. For å kunne regne ut denne verdien må vi først finne Reynoldstallene Re_s og Re_m . Når vi skal regne ut reynoldstallet for skipet i full skala bruker vi kinematisk viskositet $\nu_{sw} = 1,19 \cdot 10^{-6}$ for saltvann.

$$Re_s = \frac{V_s \cdot L_s}{\nu_{sw}} = \frac{6,173 \cdot 40}{1,19 \cdot 10^{-6}} = 207495798$$

For å finne Reynoldstallet for skipet i modellskala bruker vi kinematisk viskositet for ferskvann $\nu_{fw} = 1,14 \cdot 10^{-6}$.

$$Re_m = \frac{V_m \cdot L_m}{\nu_{fw}} = \frac{0,79 \cdot 0,67}{1,14 \cdot 10^{-6}} = 464298$$

Med Reynoldstallene ferdig utregnet kan vi finne friksjonskoeffisientene.

$$C_{Fs} = \frac{0,075}{(\log(Re_s) - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log(207495798) - 2)^2} = 1,88 \cdot 10^{-3}$$

$$C_{Fm} = \frac{0,075}{(\log(Re_m) - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log(464298) - 2)^2} = 5,58 \cdot 10^{-3}$$

Fra modellforsøket i slepetanken har vi at målt slepemetstanden er 1,13 N i modellskala. Skipets areal av våt overflate er 608 m² ifølge hydrostatikken i Maxsurf. Vi finner den dimensjonsløse totalmotstandskoeffisienten til modellen ved å skalere ned arealet av våt overflate.

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_{fw} \cdot V_m^2 \cdot S_m} = \frac{1,13}{\frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 0,79^2 \cdot \left(\frac{608}{60^2}\right)} = 0,0214$$

Vi kjenner til totalmotstandskoeffisienten og friksjonsmotstandskoeffisienten til skipet i modellskala, og kan dermed finne restmotstandskoeffisienten.

$$C_R = C_{Tm} - C_{Fm} = 0,0214 - 0,0056 = 0,0158$$

Det er kjent at restmotstandskoeffisienten er den samme for skipet i fullskala, og vi kan dermed finne totalmotstandskoeffisienten for skipet.

$$C_{Ts} = C_{Fs} + C_R = 0,0019 + 0,0158 = 0,0177$$

Til slutt finner vi slepemetstanden. Totalmotstanden multipliseres med 0,4 siden tester som har blitt utført i slepetanken har vist seg å gi resultater som har vært 60% for høy. Dette kommer av ruheten til materialet modellen er laget av.

$$R_{Ts} = C_{Ts} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{sw} \cdot V_s^2 \cdot S_s = 0,0177 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 6,173^2 \cdot 608 \cdot 0,4 = 84066 \text{ N}$$

Slepemetstanden til skipet i fullskala er altså 84 kN. Det er også mulig å finne skrogmotstanden til skipet i Maxsurf Resistance. På figur 4.7.1 kan man se resultatet fra programmet ved bruk av Holtrops metode. Denne analysen ga en slepemetstand på 82 kN, som er kun 2 kN mindre.

3.8.3 Propulsjon

Vi ønsker å finne thrustkraften AAS 40 WB er i stand til å utrette med de propellspesifikasjonene vi har fått fra Finnøy Gear & Propeller, og om den er stor nok til å skyve skipet i en hastighet på 12 knop. I det tekniske databladet er det gitt at propellene skal være av typen P50 med diameter på 1600-2200 mm og turtall på 292 RPM ved 12 knop. Vi har mottatt tegninger for propellarrangementet som tar utgangspunkt i en diameter på 2000 mm. I dette delkapittelet vil vi først finne thrustkraften ved å bestemme en thrustreduksjonsfaktor fra empirisk tabell, og videre bruke et friprøvediagram for å til slutt finne thrustkraften. Vi kan videre kontrollere resultatet ved å bruke en forenklet formel for direkte utregning.

Fartøyet vårt har et to-skruesystem og en normal fyldighet. Vi studerer tabellen i figur 2.9.4 og velger å bruke en thrust-reduksjon på 0,12. Vi bruker formelen som viser sammenhengen mellom w og t for å finne en tilhørende medstrømsfaktor.

$$w = \frac{t}{1,57 - 2,3 \cdot \frac{C_B}{C_{WL}} + 1,5 \cdot C_B} = \frac{0,12}{1,57 - 2,3 \cdot \frac{0,644}{0,855} + 1,5 \cdot 0,644} = 0,15$$

Vi kjenner til skipets fart og kan dermed gjøre om formelen for medstrømsfaktor og bruke den til å finne innstrømningshastigheten av vannet inn mot propellen.

$$V_a = V_s \cdot (1 - w) = 6,173 \cdot (1 - 0,15) = 5,247 \text{ m/s}$$

Denne verdien kan vi bruke til å finne framgangstallet.

$$J_a = \frac{V_a}{n \cdot D} = \frac{5,247}{\frac{292}{60} \cdot 2} = 0,539$$

For å finne thrustkoeffisienten må vi gå inn i friprøvediagrammet i figur 2.9.3 og ta utgangspunkt i framgangstallet vi har regnet ut. Med et framgangstall på 0,539 får vi 0,28 som thrustkoeffisient. Ved å gjøre om formelen for thrustkoeffisienten kan vi regne ut thrustkraften per propell.

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 = 0,28 \cdot 1025 \cdot \left(\frac{292}{60}\right)^2 \cdot 2^4 = 108759 \text{ N}$$

Thrustkraften fra hver propell er altså 109 kN. Dette gir en total thrustkraft på 218 kN ved 12 knop.

En annen måte å finne thrustkraften på er gjøre om formelen for thrustreduksjonsfaktor. Her får vi bruk for målt slepemotstand og antatt verdi for t ut ifra empirisk tabell. Med denne metoden får vi en total thrustkraft på:

$$T = \frac{R_T}{(1-t)} = \frac{84066}{(1-0,12)} = 95530 \text{ N}$$

Altså en thrustkraft på 191 kN.

3.8.4 Effekt og virkningsgrader

Videre vil vi gjerne finne nødvendig levert effekt til propell, og sjekke om motorytelsen i spesifikasjonen til AAS 40 WB er tilstrekkelig i forhold til slepeeffekten som går med til å slepe skipet. I kapittel 3.1 er en motorytelse på 749 kW per propell gitt. Vi vil også finne ut hva øvrige effekt-verdier og virkningsgrader blir for fartøyet vårt.

Vi kjenner til skipets fart og slepemotstand, og kan derfor begynne med å regne ut slepeeffekten.

$$P_E = R_T \cdot V_s = 84 \cdot 6,173 = 519 \text{ kW}$$

For et skip med akselpropeller er det naturlig å gå ut ifra en mekanisk virkningsgrad på 0,97. Vi bruker denne informasjonen sammen med gitt motorytelse til å regne ut maksimal levert effekt til hver propell.

$$P_D = P_B \cdot \eta_M = 749 \cdot 0,97 = 727 \text{ kW}$$

Det er også mulig å finne nødvendig levert effekt ved å bruke momentkoeffisienten. Med et framgangstall på 0,539 kan vi bruke friprøvediagrammet i figur 2.9.3 til å lese av momentkoeffisienten som $10 \cdot K_Q = 0,42$. Momentkoeffisienten blir dermed 0,042.

Siden $Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5$ får vi:

$$P_D = 2\pi \cdot n \cdot Q = 2\pi \cdot K_Q \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5 = 2\pi \cdot 0,042 \cdot 1,025 \cdot \left(\frac{292}{60}\right)^3 \cdot 2^5 = 998 \text{ kW}$$

Oppgitt motoreffekt er ikke nok for vårt design. Nødvendig motorytelse:

$$P_B = \frac{P_D}{\eta_M} = \frac{998}{0,97} = 1029 \text{ kW}$$

Kapittel 3 – Metode

Thrusteffekten, eller skyveeffekten som den også kalles, regner vi ut ved å bruke thrustkraft og innstrømningshastighet for den ene propellen.

$$P_T = T \cdot V_a = 109 \cdot 5,247 = 572 \text{ kW}$$

Med utregnet slepe- og thrusteffekt kan vi finne forholdet mellom dem (skrogvirkningsgraden):

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{519}{572} = 0,91$$

Dersom vi bruker formelen for skrogvirkningsgrad som inneholder thrustreduksjon- og medstrømsfaktor får vi:

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w} = \frac{1 - 0,12}{1 - 0,15} = 1,04$$

Vi vil finne propellvirkningsgraden η_0 . Med en momentkoeffisient på 0,042 blir propellvirkningsgraden:

$$\eta_0 = \frac{J_a}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q} = \frac{0,539}{2\pi} \cdot \frac{0,28}{0,042} = 0,57$$

Propellvirkningsgraden kan også regnes ut ved å bruke slepeeffekt og dreiemoment.

$$\eta_0 = \frac{P_T}{2\pi \cdot n \cdot Q}$$

For å sjekke hva propellvirkningsgraden blir med denne metoden må vi finne dreiemomentet. Med en $K_Q = 0,042$ kan vi regne ut dreiemomentet slik:

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5 = 0,042 \cdot 1025 \cdot \left(\frac{292}{60}\right)^2 \cdot 2^5 = 32,6 \text{ kNm}$$

Vi setter denne inn i formelen for propellvirkningsgrad og får:

$$\eta_0 = \frac{P_T}{2\pi \cdot n \cdot Q} = \frac{565}{2\pi \cdot \left(\frac{292}{60}\right) \cdot 32,6} = 0,57$$

Vi ser at de to metodene gir samme propellvirkningsgrad.

Det er mulig å finne propulsjonsvirkningsgraden som forholdet mellom slepeeffekt og levert effekt til propell.

$$\eta_D = \frac{P_E}{P_D} = \frac{519}{998} = 0,52$$

Med gitt thrusteffekt, levert effekt og propellvirkningsgrad er det mulig å finne rotasjonsvirkningsgraden ved å vende på denne formelen for slepeeffekt.

$$P_T = P_D \cdot \eta_0 \cdot \eta_R$$

Rotasjonsvirkningsgraden regner vi ut slik:

$$\eta_R = \frac{P_T}{P_D \cdot \eta_0} = \frac{572}{998 \cdot 0,57} = 1,00$$

Vi kan deretter regne ut propellvirkningsgraden i det wake-bildet vi har når propellen er i arbeid bak skroget.

$$\eta_B = \eta_0 \cdot \eta_R = 0,57 \cdot 1,00 = 0,57$$

Til slutt kan vi regne ut den totale virkningsgraden.

$$\eta_T = \eta_D \cdot \eta_M = 0,52 \cdot 0,97 = 0,50$$

3.8.5 Tauekraft

Skipets tauekraft ved 6 knop:

Figur 4.7.1 viser at ved 6 knop er skrognmotstanden R_T lik 10 kN. Propellens RPM senkes til 270 for å ikke overbelaste propulsjonsmotor.

$$V_a = V_s \cdot (1 - w) = 3,08 \cdot (1 - 0,15) = 2,62 \text{ m/s}$$

$$J_a = \frac{V_a}{n \cdot D} = \frac{2,62}{\frac{270}{60} \cdot 2} = 0,29$$

For å finne thurstkoeffisienten må vi gå inn i friprøvediagrammet i figur 2.9.3 og ta utgangspunkt i framgangstallet vi har regnet ut. Med et framgangstall på 0,29 får vi 0,43 som thurstkoeffisient. Ved å gjøre om formelen for thurstkoeffisienten kan vi regne ut thurstkraften per propell.

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 = 0,43 \cdot 1025 \cdot \left(\frac{270}{60}\right)^2 \cdot 2^4 = 142803 \text{ N}$$

Thrustkraften fra hver propell er altså 143 kN.

Dette gir en total thrustkraft på 286 kN.

Med et framgangstall på 0,29 kan vi bruke friprøvediagrammet i figur 2.9.3 til å lese av momentkoeffisienten som $10 \cdot K_Q = 0,50$. Momentkoeffisienten blir dermed 0,050 og dreiemomentet blir:

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5 = 0,050 \cdot 1025 \cdot \left(\frac{270}{60}\right)^2 \cdot 2^5 = 33,2 \text{ kNm}$$

Nødvendig akseleffekt blir:

$$P_D = 2\pi \cdot n \cdot Q = 2\pi \cdot \left(\frac{270}{60}\right) \cdot 33,2 = 939 \text{ kW}$$

Taukraften til skipet finner vi ved å legge sammen de to motvirkende kreftene thrust og motstand:

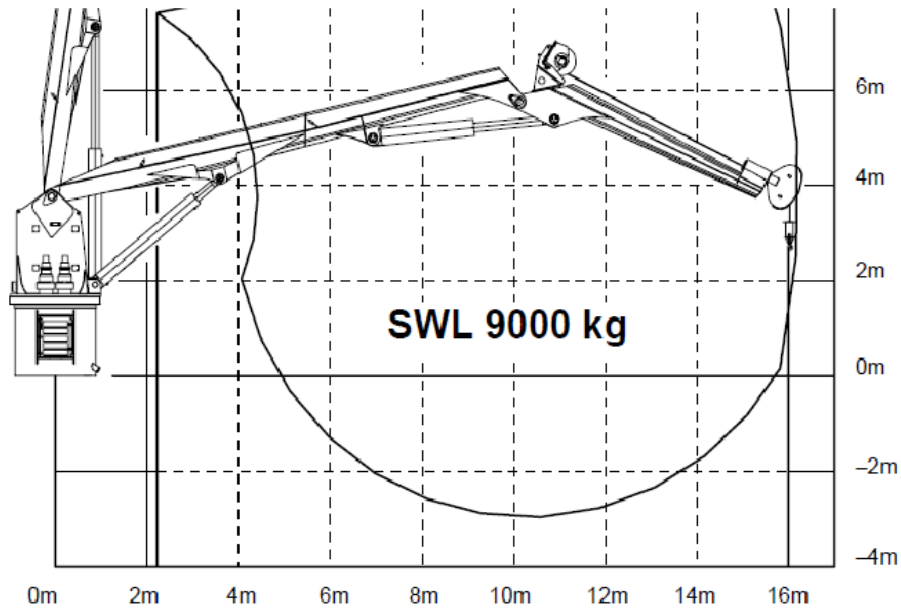
$$TK = 2 \cdot T - R_T = 2 \cdot 143 - 10 = 276 \text{ kN}$$

Skipets taukraft i antall tonn ved en hastighet på 6 knop er da 28 tonn.

3.9 Kranoperasjoner

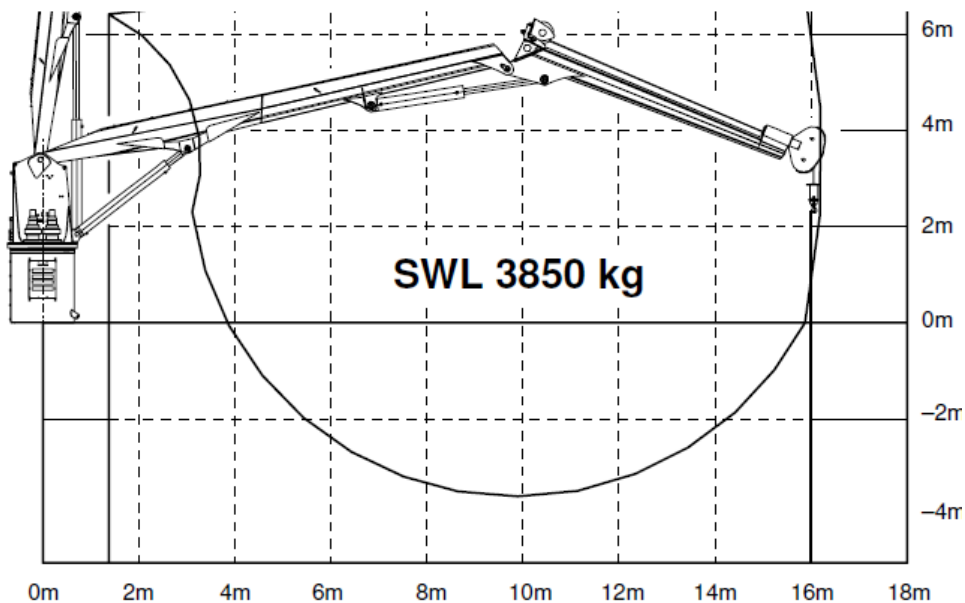
Diagrammene vi fikk fra Bergen Hydraulic AS viser hvor mye vekt kranene tåler (safety work load) når armen strekkes ut til 16 m. Maks last ved denne posisjonen er henholdsvis 9000 kg for den største kranen og 3850 kg for den minste.

PKM1450 – 16m



Figur 3.9.1: Diagram som viser hvor mye PKM1450 kan løfte ved 16 meter utstrekning.

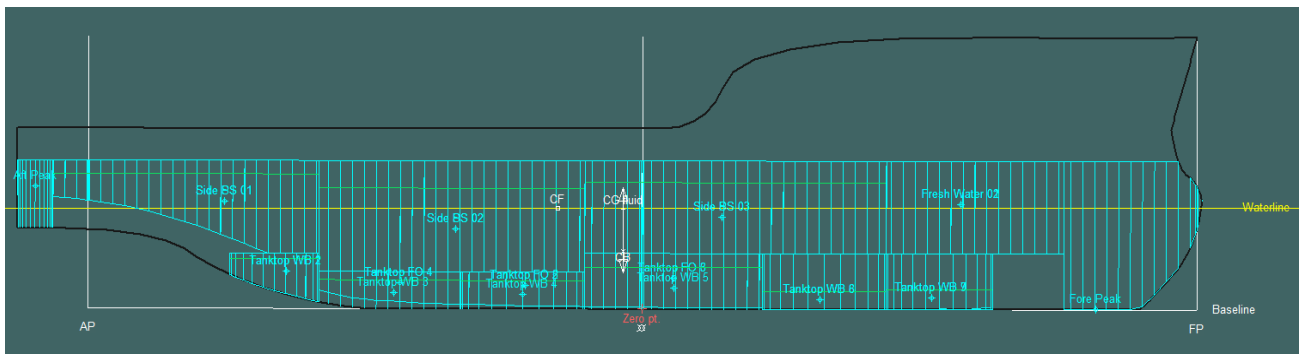
PKM 550 – 16m



Figur 3.9.2: Diagram som viser hvor mye PKM550 kan løfte ved 16 meter utstrekning.

Kapittel 3 – Metode

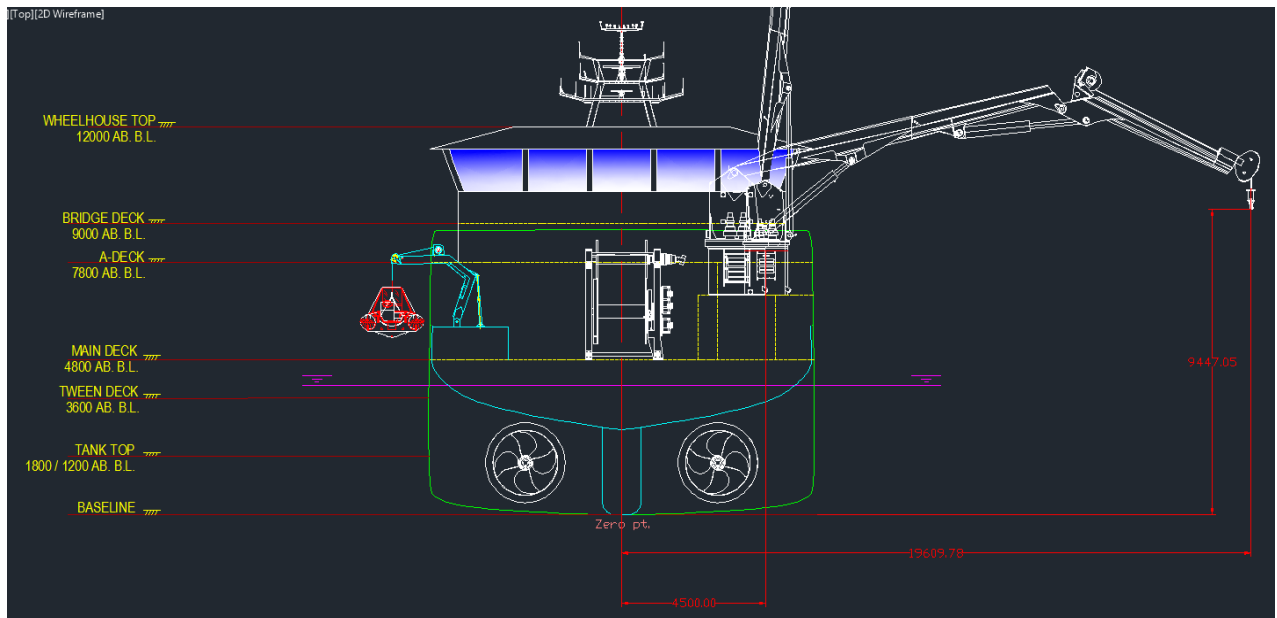
Hydrostatikk ved avgang ballast, sidetanker er 75% fylt opp, vises i tabell 3.9.1.



Figur 3.9.3: Profilsnitt fra Maxsurf Stability ved avgang ballast.

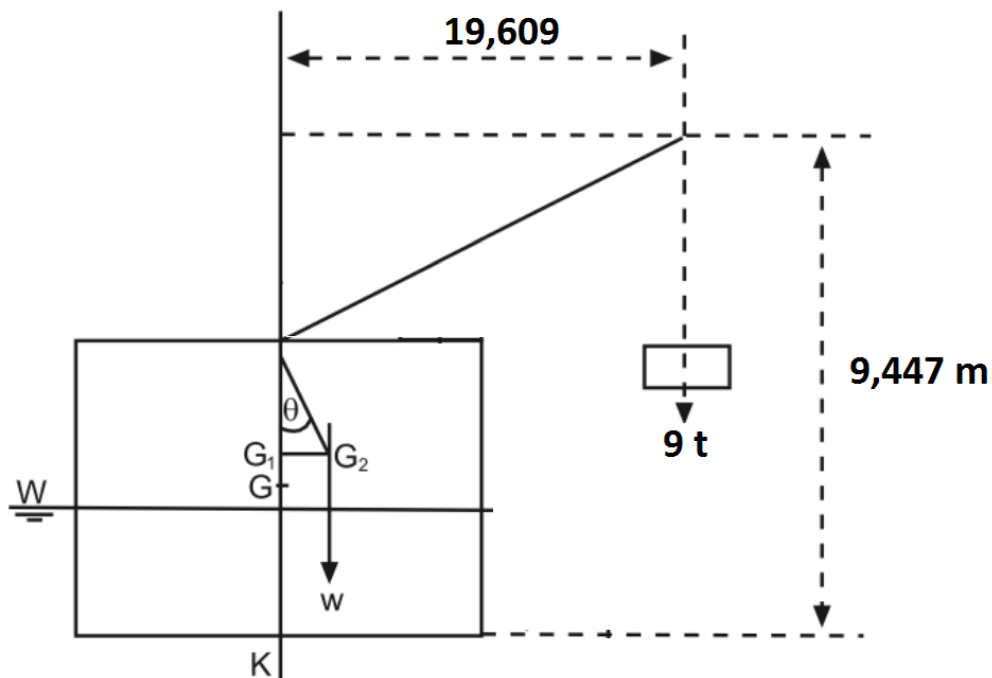
Draft Amidships m	3,269
Displacement t	962,7
Heel deg	0
Draft at FP m	3,304
Draft at AP m	3,235
Draft at LCF m	3,264
Trim (+ve by stern) m	-0,069
WL Length m	40,054
Beam max extents on WL m	12,017
Wetted Area m²	526,315
Waterpl. Area m²	389,729
Prismatic coeff. (Cp)	0,626
Block coeff. (Cb)	0,591
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,954
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,81
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,649
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-2,87
KB m	1,86
KG fluid m	3,233
BMt m	4,127
BML m	40,812
GMt corrected m	2,754
GML m	39,439
KMt m	5,987
KML m	42,672
Immersion (TPc) tonne/cm	3,995
MTc tonne.m	10,124
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	46,273
Max deck inclination deg	0,1051

Tabell 3.9.1: Hydrostatiske resultater fra lastkondisjonen (avgang ballast).



Figur 3.9.4: Måling av avstander ved å bruke hovedarrangementet i AutoCAD.

Måling av avstander ble utført i AutoCAD. Fra senter til kran (d) og fra kjøll til kran (KG).



Figur 3.9.5: Skisse som viser løft av last med dekkskran.

Ifølge Ship Design I, Week 42 - Loads that affect stability, List and Trim Calculations, Henrique Gaspar [50] gjør lasten at skipet får et nytt tyngdepunkt i vertikal retning, G_1 , fordi den har en annen KG enn skipet. For å finne tyngdepunktet som avhenger av krengeingen, G_2 , deler vi krengeomomentet på deplasementet. Vi finner krengevinkelen, θ , ved å dele avstanden mellom G_1 og G_2 på avstanden mellom G_1 og metasenter M.

Løft med PKM 1450, 16 m arm og 9 tonn last

Vekt [t]	KG [m]	Moment [tm]
962,7	3,233	3112,409
9	9,447	85,023
971,7		3197,432

w [t]	d [m]	Krengemoment [tm]
9	19,609	176,481

- $KG_1 = 3197,432/971,7 = 3,290 \text{ m}$
- $\text{Krengemoment} = W \cdot G_1G_2 = 176,481 \text{ tm}$
- $G_1G_2 = 176,481/971,7 = 0,181 \text{ m}$
- $GG_1 = KG_1 - KG = 3,290 - 3,233 = 0,057 \text{ m}$
- $GM = 2,754 \text{ m}$
- $G_1M = GM - GG_1 = 2,754 - 0,057 = 2,7 \text{ m}$
- $\tan \theta = G_1G_2/G_1M = 0,181/2,7 = 0,067$
- $\tan^{-1} 0,067 = 3,833 \text{ grader}$

Skipet vil krenge 3,833 grader mot styrbord ved løft av 9000 kg last ved 16 m arm med PKM1450.

Løft med PKM 550, 16 m arm og 3,85 tonn last

Vekt [t]	KG [m]	Moment [tm]
962,7	3,233	3112,409
3,85	9,082	34,965
966,55		3147,374

w [t]	d [m]	Krengemoment [tm]
3,85	20,608	79,3408

- $KG_1 = 3147,374/966,55 = 3,256 \text{ m}$
- $\text{Krengemoment} = W \cdot G_1G_2 = 79,340 \text{ tm}$
- $G_1G_2 = 79,340/966,55 = 0,082 \text{ m}$
- $GG_1 = KG_1 - KG = 3,256 - 3,233 = 0,023 \text{ m}$
- $GM = 2,754 \text{ m}$
- $G_1M = GM - GG_1 = 2,754 - 0,023 = 2,731 \text{ m}$
- $\tan \theta = G_1G_2/G_1M = 0,082/2,731 = 0,030$
- $\tan^{-1} 0,030 = 1,718 \text{ grader}$

Skipet vil krenge 1,718 grader mot styrbord ved løft av 3850 kg last ved 16 m arm med PKM 550.

Løft med begge kranene samtidig, 16 m arm og 9 tonn + 3 tonn last

Vekt [t]	KG [m]	Moment [tm]
962,7	3,233	3112,409
9	9,447	85,023
3,85	9,082	34,965
975,55		3232,397

w [t]	d [m]	Krengemoment [tm]
9	19,609	176,481
3,85	20,608	79,3408
		255,8218

- $KG_1 = 3232,397/975,55 = 3,313 \text{ m}$
- $\text{Krengemoment} = W \cdot G_1G_2 = 255,8218 \text{ tm}$
- $G_1G_2 = 255,821/975,55 = 0,262 \text{ m}$
- $GG_1 = KG_1 - KG = 3,313 - 3,233 = 0,08 \text{ m}$
- $GM = 2,754 \text{ m}$
- $G_1M = GM - GG_1 = 2,754 - 0,08 = 2,674 \text{ m}$
- $\tan \theta = G_1G_2/G_1M = 0,262/2,674 = 0,097$
- $\tan^{-1} 0,1058 = 5,540 \text{ grader}$

Skipet vil krenge 5,540 grader mot styrbord ved løft med begge kraner samtidig.

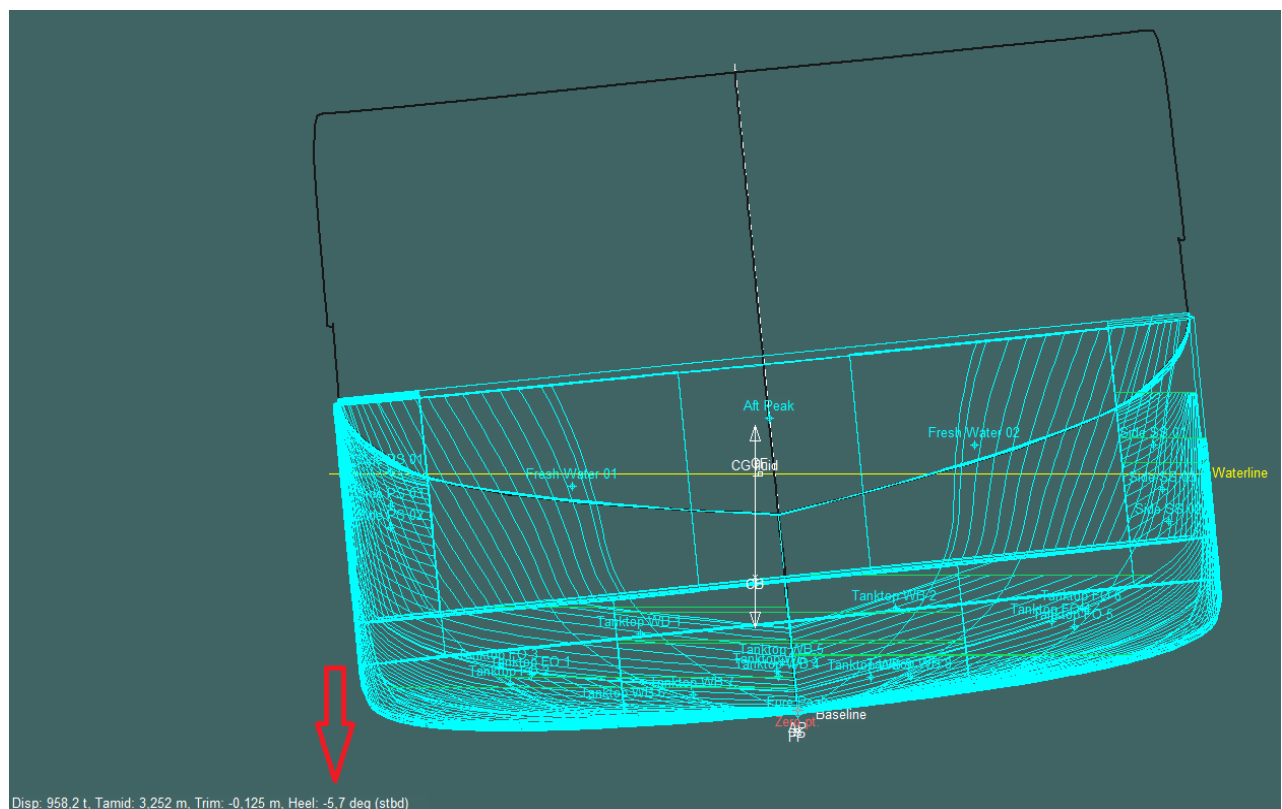
Kompensering av krengevinkel ved hjelp av vannballast

Man kan kompensere for krengingen av skipet ved å endre hvordan ballasttankene på begge sidene er fylt opp. Hvis skipet krenger mot styrbord kan man pumpe vann fra ballasttankene over til babord side, og dermed jevne ut krengevinkelen som oppstår ved kranløft på grunn av usymmetrisk vektfordeling. Beregningene er gjort i lastkondisjonen avgang ballast, som har sidetankene fylt opp til 75% av total kapasitet. Hvis vi endrer innholdet av tankene til 100% på babord side og 45 % på styrbord side i Maxsurf Stability kan vi se hvor mye skipet vil krenge mot babord og rette opp skipet.

Kapittel 3 – Metode

84	Alt Peak	100%	22.838	22.838	22.281	22.281	-20.545	0,000	3,943	0,000	Maximum
85	Fore Peak	0%	48.675	0,000	47.488	0,000	16.508	0,000	0,000	0,000	Maximum
86	Fresh Water 01	100%	52.719	52.719	52.719	52.719	10.753	-2,806	3,396	0,000	Maximum
87	Fresh Water 02	100%	52.719	52.719	52.719	52.719	10.753	2,806	3,396	0,000	Maximum
88	Side PS 01	100%	18.149	18.149	17.707	17.707	-14.459	-5,304	3,754	0,000	Maximum
89	Side PS 02	100%	37.856	37.856	36.933	36.933	-6.344	-5,374	3,021	0,000	Maximum
90	Side PS 03	100%	33.539	33.539	32.721	32.721	2.764	-5,349	3,344	0,000	Maximum
91	Side SS 01	45%	18.149	8.167	17.707	7.968	-13.403	5,255	3,076	1,111	Maximum
92	Side SS 02	45%	37.856	17.035	36.933	16.620	-6.264	5,363	2,045	1,236	Maximum
93	Side SS 03	45%	33.539	15.092	32.721	14.724	2.634	5,325	2,520	1,384	Maximum
94	Tanktop FO 1	100%	8.525	8.525	9.027	9.027	-8.210	-3,623	0,637	0,000	Maximum
95	Tanktop FO 2	100%	11.816	11.816	12.512	12.512	-3.956	-3,929	0,750	0,000	Maximum
96	Tanktop FO 3	100%	31.303	31.303	33.149	33.149	1,022	-4,058	1,006	0,000	Maximum
97	Tanktop FO 4	100%	8.525	8.525	9.027	9.027	-8.210	3,623	0,837	0,000	Maximum
98	Tanktop FO 5	100%	11.816	11.816	12.512	12.512	-3.956	3,929	0,750	0,000	Maximum
99	Tanktop FO 6	100%	31.303	31.303	33.149	33.149	1,022	4,058	1,006	0,000	Maximum
100	Tanktop WB 1	75%	10.777	8.083	10.514	7.886	-11.989	-2,071	1,226	31,684	Maximum
101	Tanktop WB 2	75%	10.777	8.083	10.514	7.886	-12.087	1,475	1,223	31,684	Maximum
102	Tanktop WB 3	75%	24.867	18.650	24.260	18.195	-8.398	-0,242	0,545	46,020	Maximum
103	Tanktop WB 4	75%	23.944	17.958	23.360	17.520	-4.031	-0,220	0,486	40,268	Maximum
104	Tanktop WB 5	75%	52.583	39.438	51.301	38.476	1,063	-0,143	0,694	57,525	Maximum
105	Tanktop WB 6	25%	36.292	9.073	35.407	8.852	5,963	-2,386	0,339	59,695	Maximum
106	Tanktop WB 7	25%	20.449	5.112	19.950	4.987	9.740	-1,417	0,386	22,104	Maximum
107	Tanktop WB 8	25%	36.292	9.073	35.407	8.852	6,081	1,606	0,333	59,695	Maximum
108	Tanktop WB 9	25%	20.449	5.112	19.950	4.987	9,845	1,056	0,383	22,104	Maximum
109	Total Loadcase			958,228	689,968	481,409	-0,632	-0,305	2,859	374,508	
110	FS correction								0,391		
111	VCG fluid								3,250		

Figur 3.9.6: Hvordan sidetankene er fylt opp med vannballast i Maxsurf Stability.

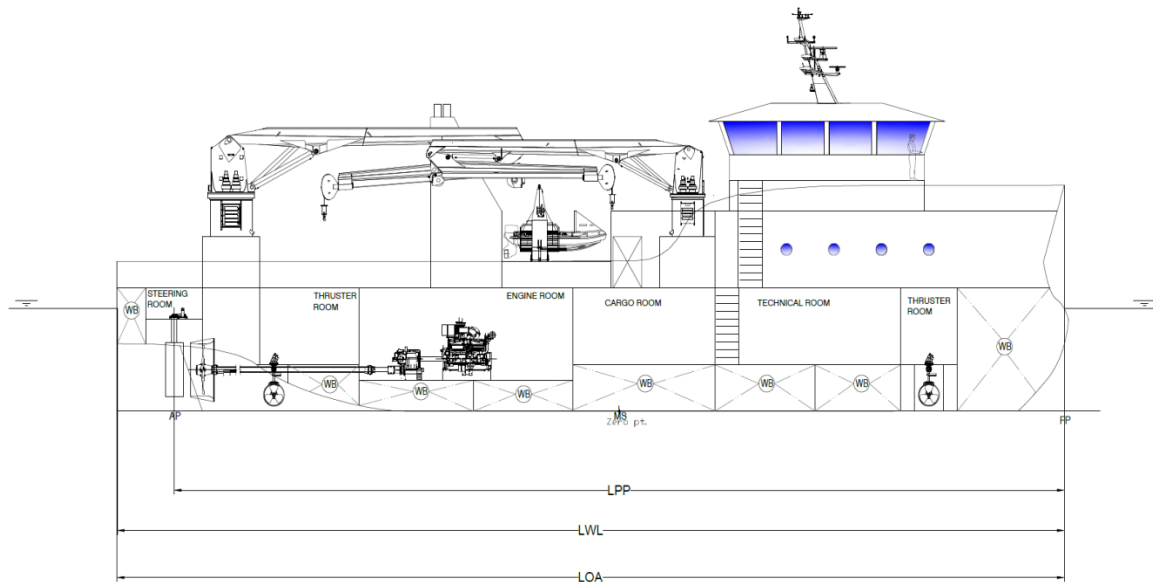


Figur 3.9.7: Tverrskipssnitt av skipet i Maxsurf Stability etter endret innhold i tankene.

Simulasjonen i Maxsurf Stability viser at skipet krenger 5,7 grader mot babord ved den nye tankstatusen. Dersom vi går ut ifra at skipet utfører kranoperasjon nummer 3, løft med begge kranene samtidig, så fant vi ut at krengevinkelen ble 5,54 grader mot styrbord. 5,54 grader – 5,7 grader = -0,16 grader. Krengevinkelen er redusert ned til kun 0,16 grader mot babord ved å endre på innholdet til sidetankene.

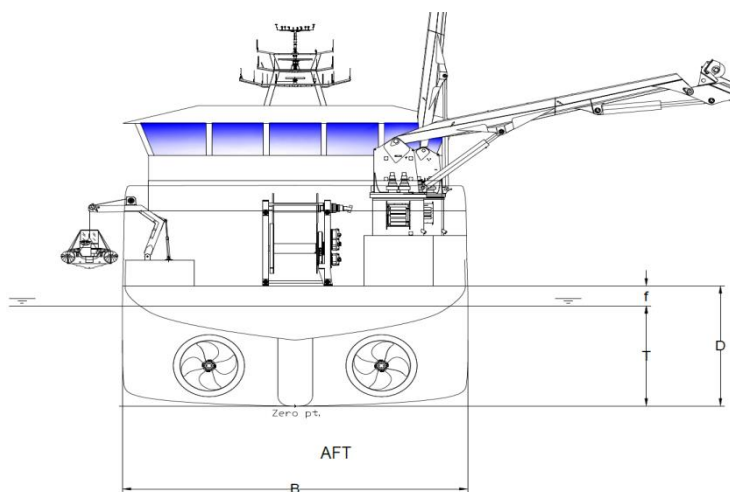
4.1 Hoveddimensjoner

4.1.1 Lengder, bredde, dybde, dypgang og fribord



Figur 4.1.1: Arbeidsbåten sett fra siden.

- LOA = 39906 mm
- LWL = 39906 mm
- LPP = 37505 mm



- B = 12000 mm
- D = 4800 mm
- T = 4000 mm
- f = 800 mm

Figur 4.1.2: Arbeidsbåten sett fra hekken.

4.1.2 Hydrostatikk

- Deplasement (DWL): 1267 tonn
- C_B (DWL): 0,644
- Nullpunkt (MS): 21,155 meter foran akterskip
- LCB (DWL): 1,338 meter bak nullpunkt

4.1.3 Dekknivå

- Tanktop: 1200 / 1800 mm over basislinjen
- Hoveddekk: 4800 mm over basislinjen
- A-dekk: 7800 mm over basislinjen
- Styrhusdekk: 9000 mm over basislinjen
- Styrhustak: 12000 mm over basislinjen

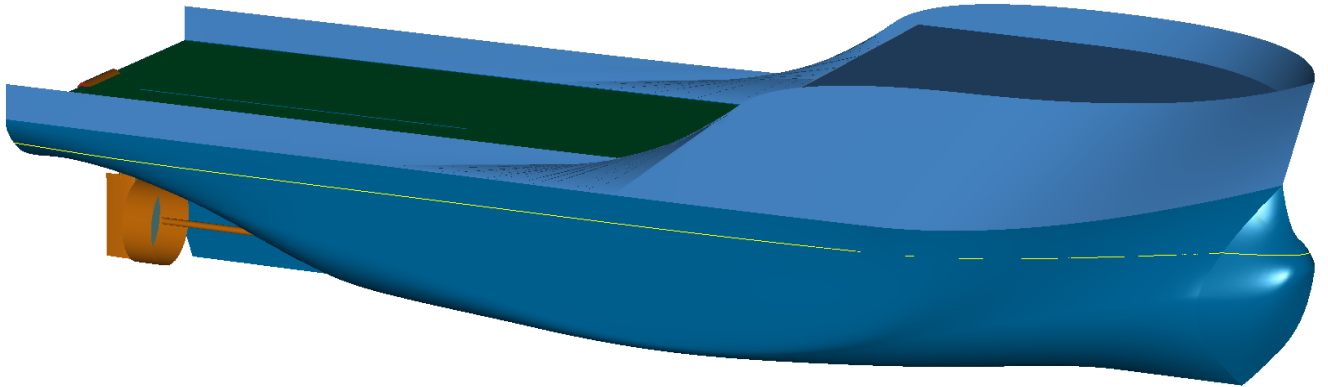
4.1.4 Kapasitet

- Ferskvann: 55 m³
- Brennolje: 125 m³
- Vannballast: 481 m³
- Dekksareal: 248 m²
- Dekkslast: 335 tonn
- Lasterom: 257 m³
- Dødvekt: 792 tonn
- Kontainere: maks 10 stk. 20 fot (TEU)
- Lugarer: 6 stk.
- GT: 536 tonn

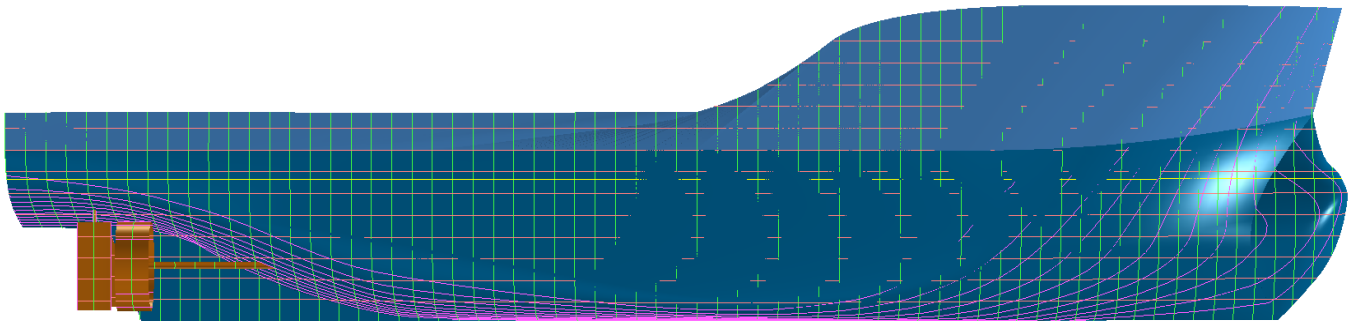
4.2 Linjer

4.2.1 Maxsurf 3D-modell

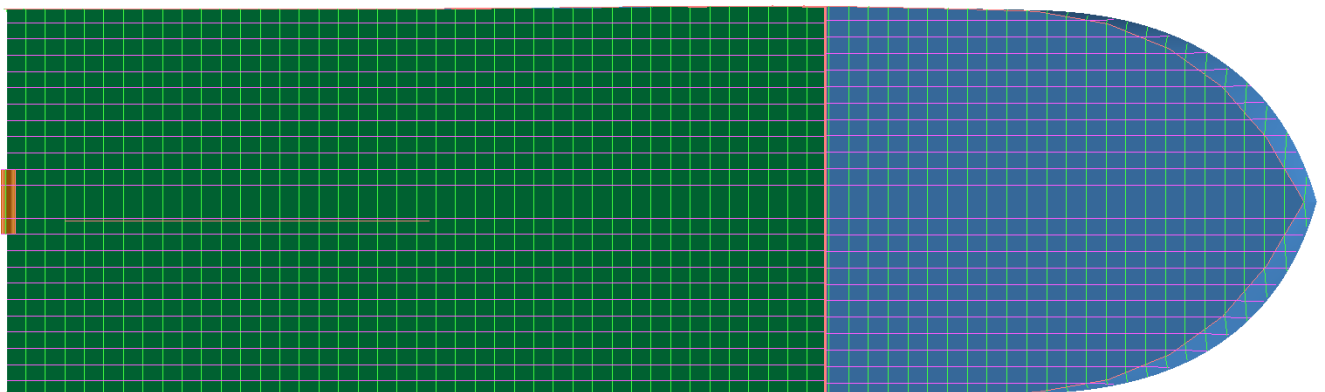
Her ser man hvordan den endelige Maxsurf-modellen ble seende ut:



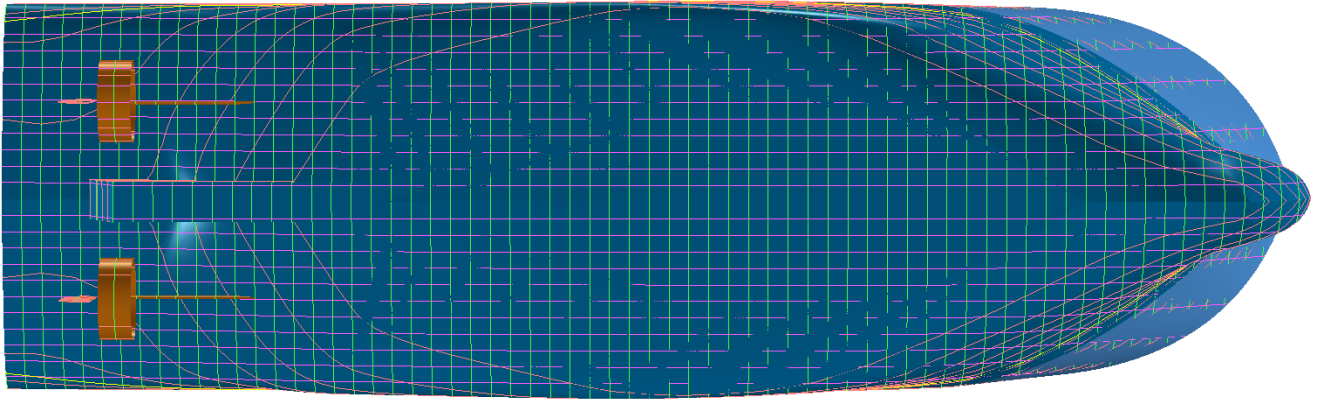
Figur 4.2.1: Skrogmodellen sett i perspektivmodus.



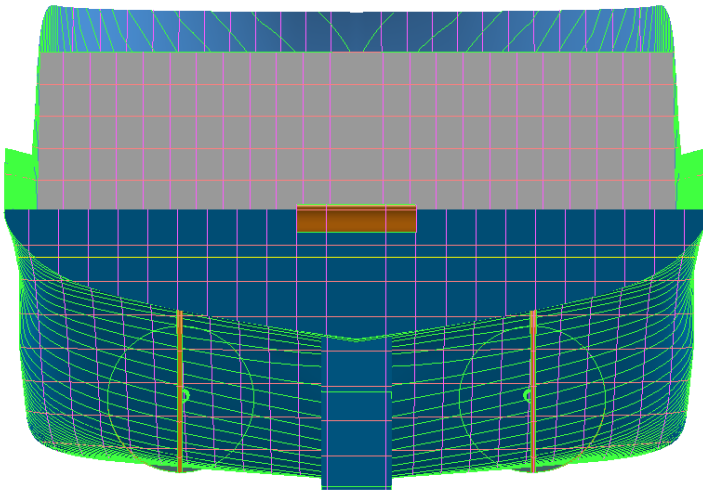
Figur 4.2.2: Skrogmodellen sett fra siden.



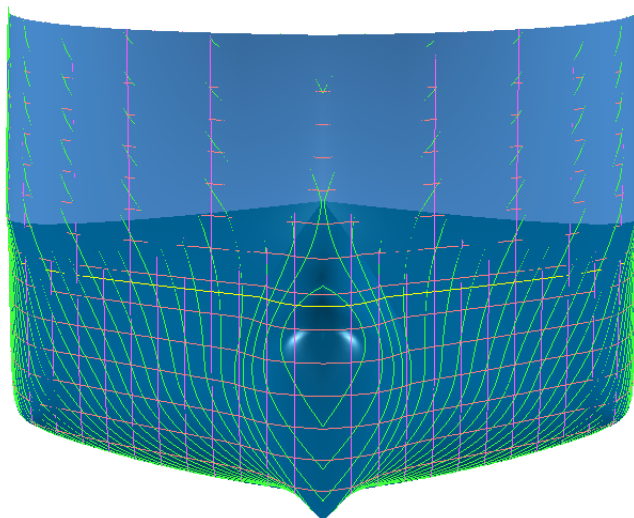
Figur 4.2.3: Skrogmodellen sett ovenfra.



Figur 4.2.4: Skrogmodellen sett nedenfra.



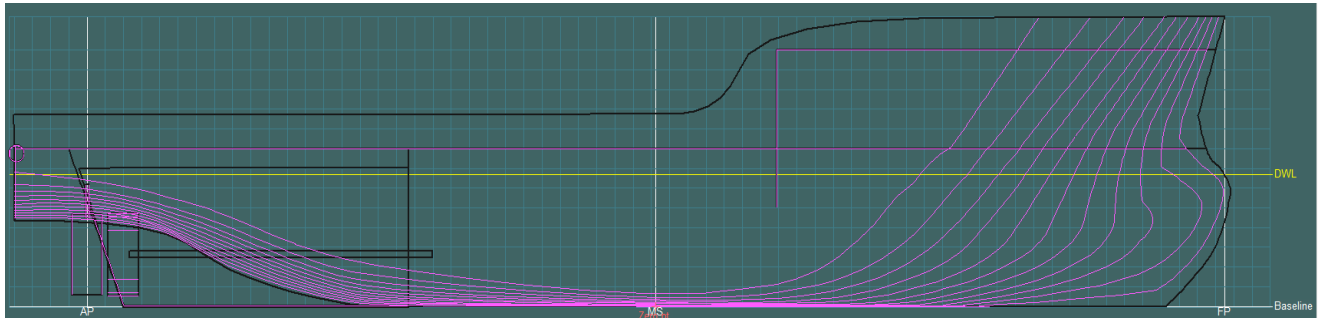
Figur 4.2.5: Skrogmodellen sett fra baksiden.



Figur 4.2.6: Skrogmodellen sett fra framsiden.

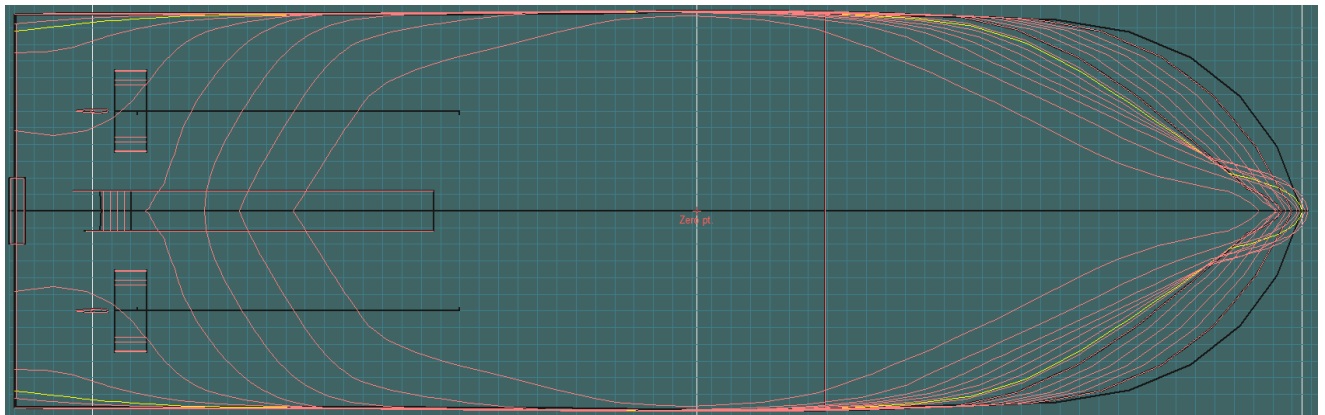
4.2.2 Maxsurf linjer

Her ser man hvordan skipets profillinjer ser ut. De er farget lilla og viser hvordan skipet ser ut fra siden for hver 500 mm fra senter. Den gule streken representerer design dypgang.



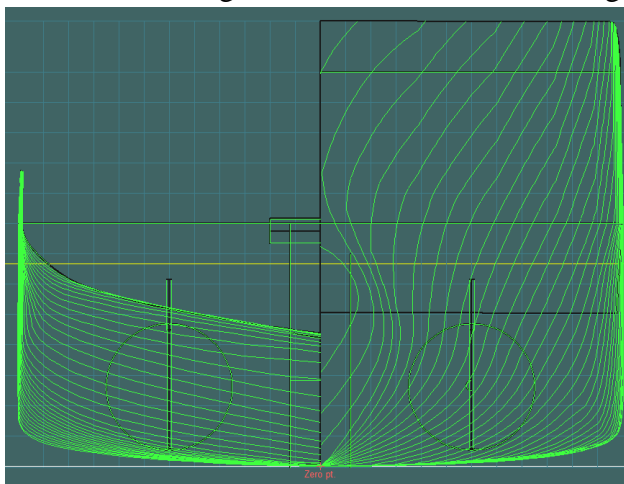
Figur 4.2.7: Profillinjene i Maxsurf Modeler.

Her ser man hvordan skipets vannlinjer ser ut. De er farget rød og viser hvordan skipet ser ut sett fra bunnen for hver 600 mm fra kjøll.



Figur 4.2.8: Vannlinjene i Maxsurf Modeler.

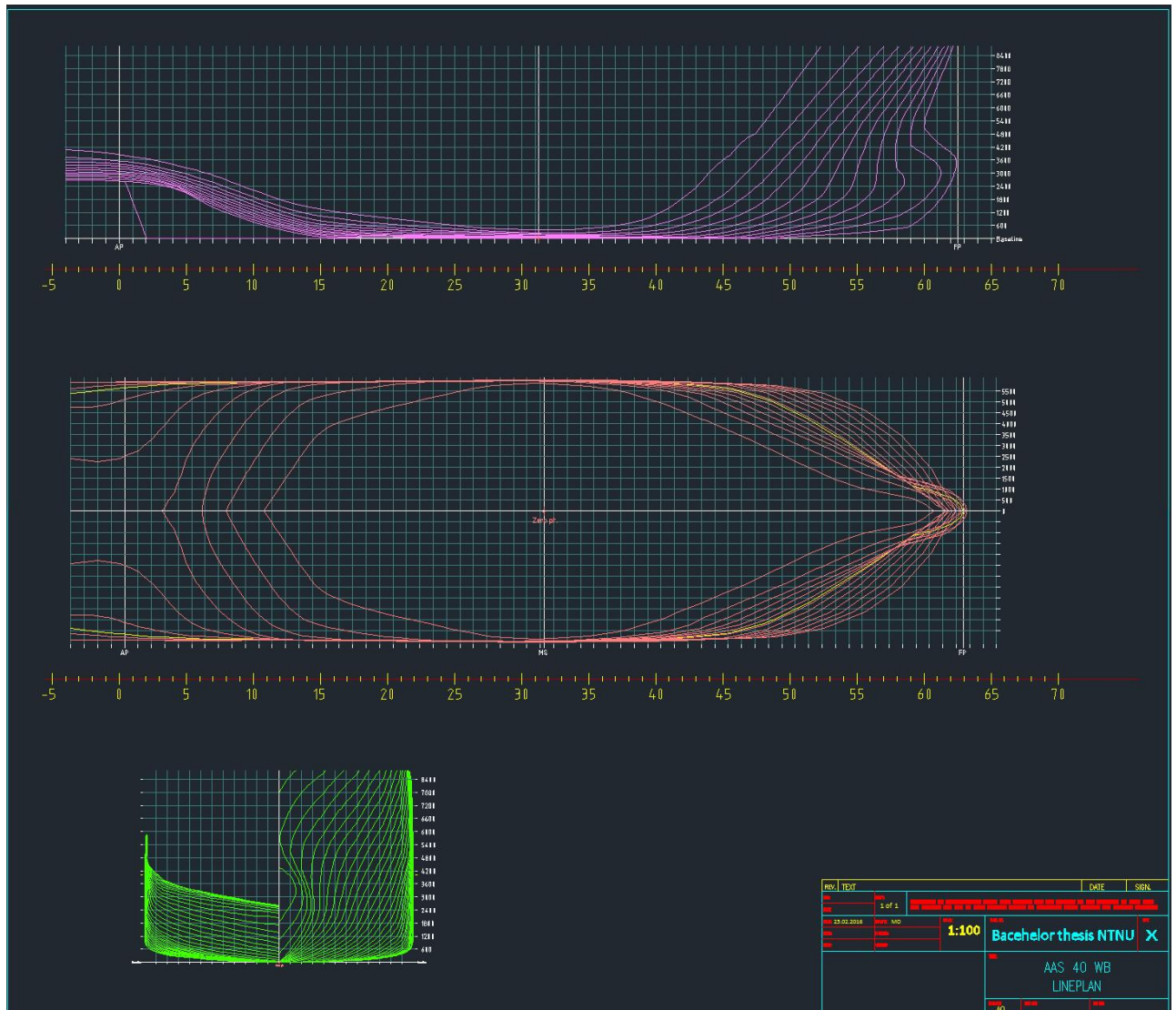
Her ser man hvordan skipets spantelinjer ser ut. De er farget grønn og viser hvordan skipet ser ut sett fra hekk og bau for for hver 600 mm langskips.



Figur 4.2.9: Spantelinjene i Maxsurf Modeler.

4.2.3 Linjetegning

Her ser man hvordan linjetegningen til skipet ser ut i AutoCAD. De tre snittene er lagt inn i samme tegning, sammen med spantetabell og nivåtabell.



Figur 4.2.10: Linjetegningen av skroget i AutoCAD.

4.3 Vektestimering

Her ser man en tabell med estimat av lettskipsvekt. Se bunnen av tabell for LCG i meter fra hekk, VCG i meter over kjøll og vekt i antall tonn.

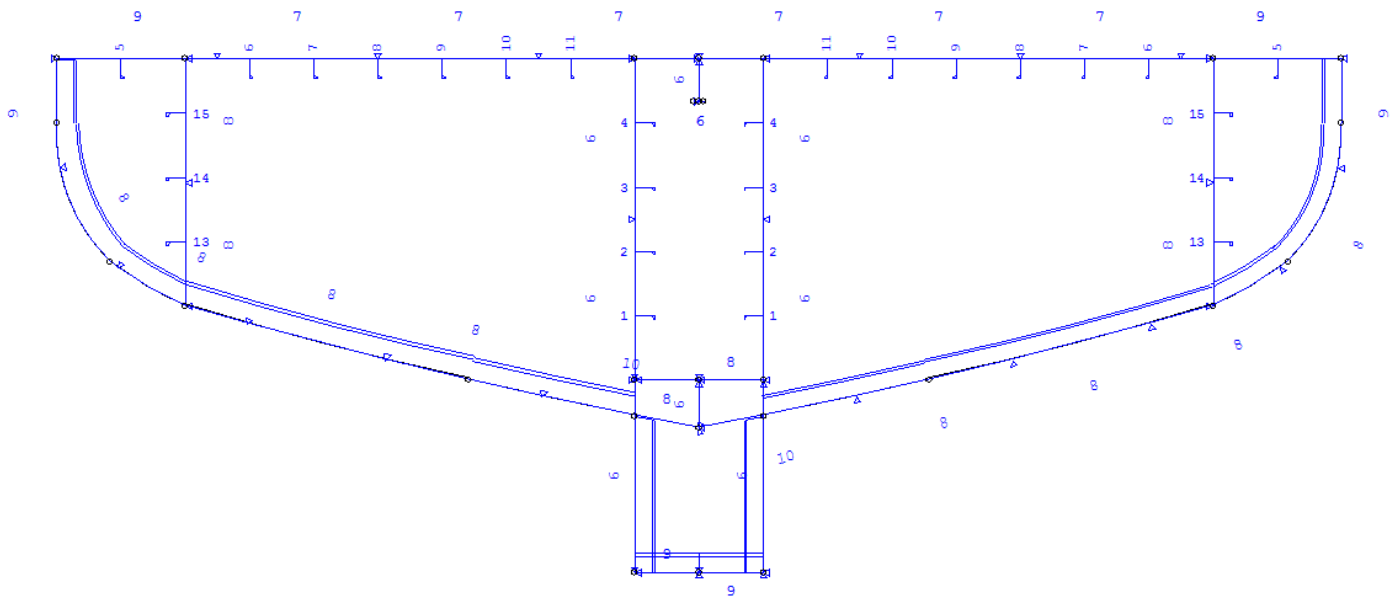
Komponenter	Antall	Beskrivelse	LCG [m]	VCG [m]	Vekt [t]
SKIPSSKROG					
Hovedskrog	1	Vekt fra Section Scantlings hekk (0 - 13,33)	6,70	3,00	68,28
	1	Vekt fra Section Scantlings midt (13,33 - 26,66)	20,00	3,00	92,46
	1	Vekt fra Section Scantlings baug (26,66 - 40)	33,33	3,00	58,83
Tverrskipsskott	1	Vektstillegg for tverrskipsskott	20,00	4,00	60,00
Overbygg	1	Overbygget i aluminium	31,00	7,00	50,00
MASKINERI					
Hovedmotor	2	Caterpillar Marine Propulsion C32	13,50	2,00	6,00
Hjelpemotor	2	Caterpillar Marine Propulsion C32	13,00	2,00	6,00
Gir	2	Mekanor, Finnøy. Reduksjon 5,94:1	11,50	1,50	6,00
Aksling	2	Propellaksel m/akselbrems	7,00	1,50	5,00
Ror	2	Ror i stål	2,00	1,50	2,00
Propell	2	Finnøy. Montert i dyse	3,00	1,20	10,00
Sidepropell	1	Forut, Petter Marine ca. 250 KW	33,00	1,50	4,00
	1	Akter, Petter Marine ca. 250 KW	5,50	1,50	4,00
Generator	2	Stamford 2, kap. 6-700 kW/, 220V	13,00	2,00	10,00
SKIPSUTSTYR					
Vinsj	2	Ankervinsj type MBH 1-AV-24K2	37,50	8,40	0,70
	1	Varpvinsj MBH 1-VA-80-AHB-1-VA-20-AHB-GA	23,00	5,50	2,00
Slepekrok	1	Monteres bak varpvinsj, 300kN SWL	22,00	5,50	0,01
Kapstans	4	Monteres på hoveddekk, kapasitet på 5 tonn	20,00	5,50	1,10
Hjelpevinsj	2	Foran og akter på SB, kapasitet 2 tonn	25,00	5,50	0,07
Haikjeft	1	Monteres i flushfundament	3,00	5,50	0,20
Taupinner	1	Monteres i flushfundament	3,00	5,50	0,10
Hekkrull	1	Monteres på hekk, bredde 1000 mm	1,00	5,50	1,00
Hydraulisk platelås	1	Monteres akter på hoveddekk	3,00	5,50	0,30
Dekkskran	1	PKM550-16	23,00	6,00	7,59
	1	PKM1450-16	4,00	6,00	14,80
Høytrykkvasker	1	Type KEW, i maskinrom	20,00	5,50	0,02
Skorstein	1	I stål	27,00	8,00	10,00
Maling	1	2 strøk primer, 1 toppstrøk	20,00	4,00	1,00
Slingrekjøll	1	Forkant av arbeidsdekk, 3-4 m framover	20,00	3,00	0,50
Signalmast	1	På topp av styrhus	32,00	10,00	2,00
Diverse stativer	1	For antenner, lys og lanterner	25,00	2,00	0,10
Løftebjelker	1	For overhaling av hoved- og hjelpemaskiner	15,50	5,00	0,50
Styremaskin	2	Elektro/hydraulisk styremaskiner	2,00	4,00	0,80
UTSTYR MANNSKAP					
Redningsdrakt	6	1 drakt per person	29,00	7,00	0,03
Redningsflåte	2	For 6 personer, på bakkdekk	35,00	8,40	0,06
MOB-båt	1	Narwhal SV-420	18,00	5,00	0,20

Kapittel 4 – Resultater

Davit	1	Davit for MOB-båt	18,00	5,00	0,32
Lugarer	2	2-manns lugar med innredning	35,00	5,00	0,46
	4	1-manns lugar med innredning	35,00	5,00	1,48
Messe	1	Messe med innredning	35,00	5,00	0,24
Gang	1	Vaskemaskin med tørketrommel	35,00	5,00	0,07
Garderobe	1	6 åpne skap og vask	35,00	5,00	0,20
Oppvarming	10	220 volts el. varmeovner	35,00	5,00	0,05
	2	Varmekabler i dørk i garderobe og bad	35,00	5,00	0,02
WC	1	Felles WC med toalett og vask	35,00	5,00	0,20
Styrhus	1	Generell utstyr på broen	33,50	9,00	5,00
SYSTEM					
Pumper	1	FO-transferpumpe kap. 10 m ³ /t	14,00	3,00	2,00
	1	Spilloljepumpe kap. 2 m ³ /t	14,00	3,00	1,00
	2	Lensepumpe kap. 20 m ³ /t	14,00	3,00	4,00
	1	Senkepumpe med kap. 25 m ³ /t	14,00	3,00	2,00
	1	Flyght senkepumpe med kap. 25 m ³ /t	14,00	3,00	2,00
	1	Ballastpumpe med kap. 95 m ³ /t	14,00	3,00	4,00
	1	Brann/spylepumpe, type Speck e.l.	14,00	3,00	1,00
	1	Nødbrennpumpe diesel drevet	14,00	3,00	1,00
	1	Leveringspumpe for ferskvann med kap 10 m ³ /t	14,00	3,00	2,00
	1	Ferskvanns Hydroforpumpe type ABS	14,00	3,00	2,00
Rør	1	Diverse rør	20,00	4,00	12,00
Elektro	1	Radar, skanner unit og display unit	33,50	9,00	0,08
	1	Kartmaskin og kart	33,50	9,00	0,04
	1	Ekkolodd	33,50	9,00	0,01
	1	Autopilot	33,50	9,00	0,05
	1	VHF	33,50	9,00	0,001
	1	Radio	33,50	9,00	0,002
	1	Fri flyt nødpeilesender	33,50	9,00	0,001
	1	Mobiltelefon	33,50	9,00	0,0002
	1	Kompass	33,50	9,00	0,02
	1	Tv m/antenneanlegg	33,50	9,00	0,01
	1	DP-system type Petter Marine KP 200	33,50	9,00	0,05
	1	Hovedtavle	15,00	3,00	0,50
	2	Søkelyskastere 1000 W	38,00	11,50	0,05
	10	Flomlys på rorhus	38,00	11,50	0,24
	3	Flomlys på skorstein	27,00	11,50	0,07
Ventilasjon	1	Vifte monteres for avsug fra bysse	15,50	5,00	0,05
	1	Vifte monteres for avsug fra garderobe	15,50	5,00	0,01
	1	Vifte for friskluft til innredning og rorhus	15,50	5,00	0,01
	2	Maskinroms-vifte	17,00	4,00	2,00
	1	Eksosanlegg	17,00	4,00	0,30
Varmtvann	1	Varmtvannstank 300 L montert i teknisk rom	28,00	2,00	0,04
Ledninger	1	Diverse ledninger	20,00	4,00	5,00
SUM			19,542	3,840	475,216

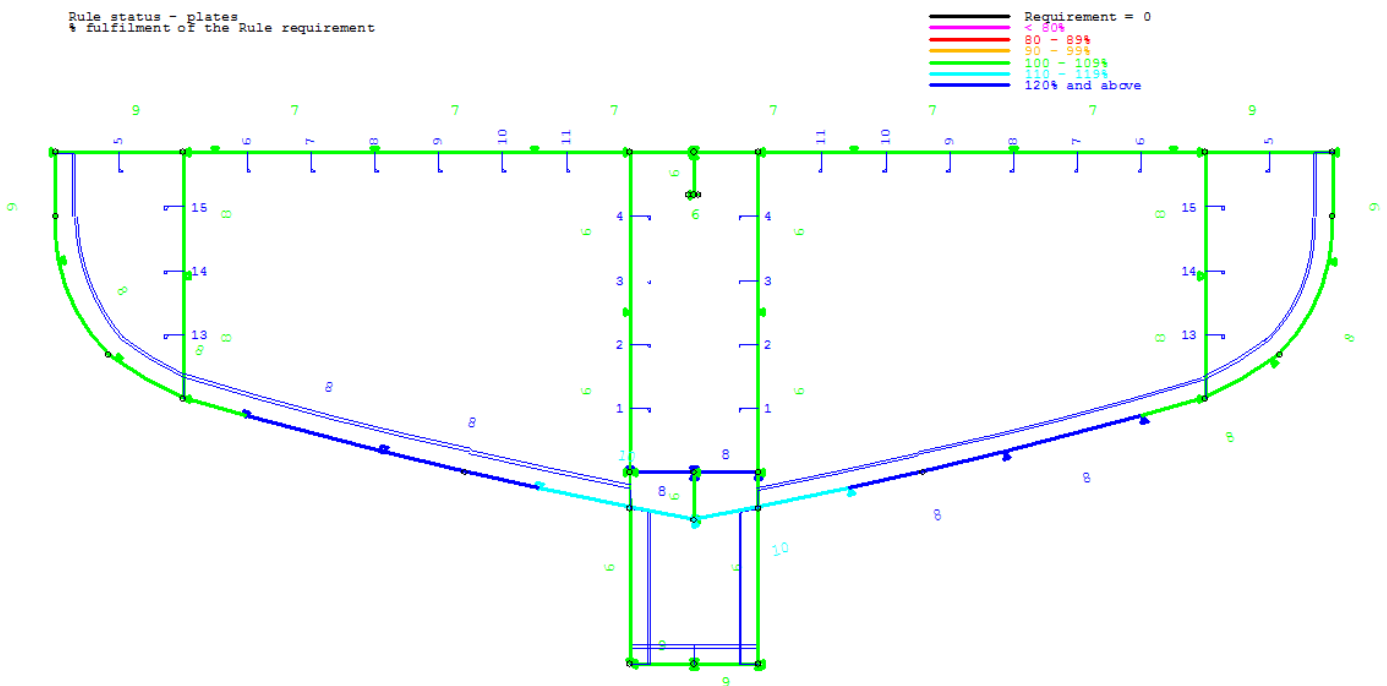
4.4 Tverrsnittsanalyse

På figur 4.4.1 ser man dimensjonering av stivere og plater ved spant 7 i skipet.



Figur 4.4.1: Dimensjonering av aktre tverrsnitt i Nauticus Section Scantlings.

På figur 4.4.2 kan man se status på platene i snittet, grønn gir optimal dimensjonering:



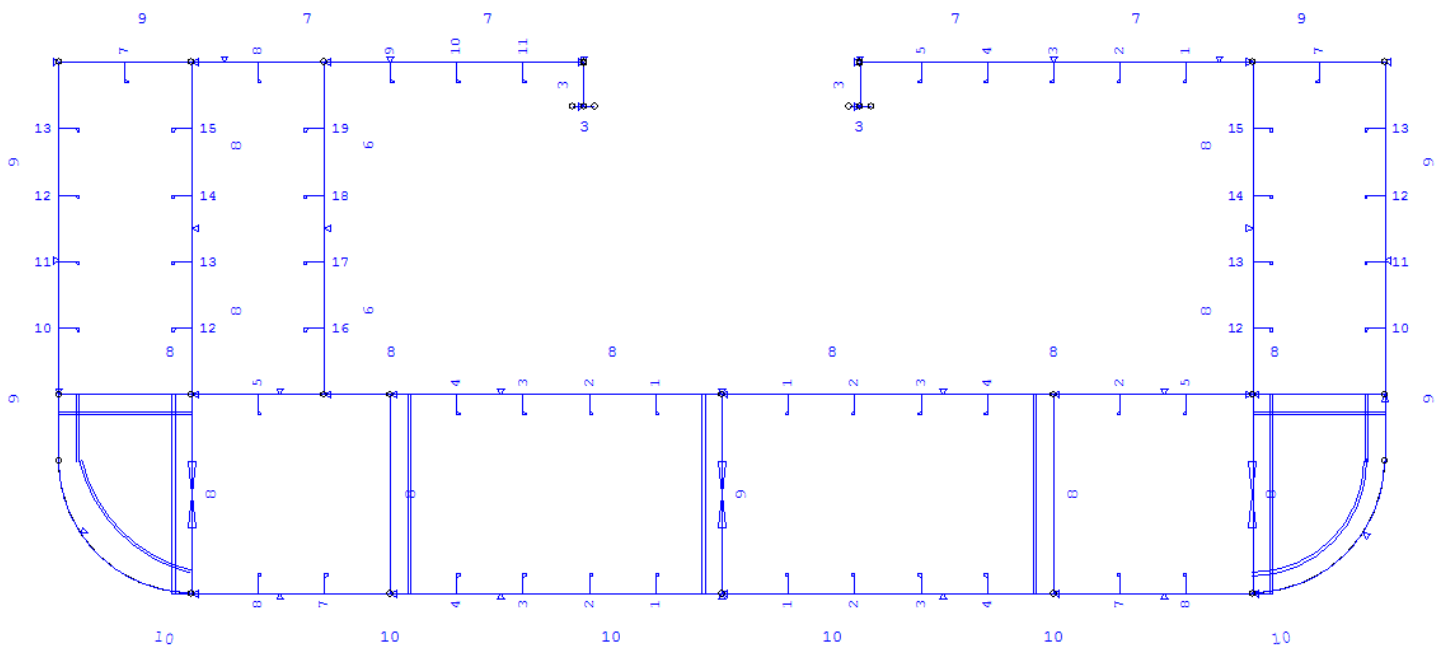
Figur 4.4.2: Regelstatus på platene i det aktre tverrsnittet.

Langskipsspenning ved spant 7:

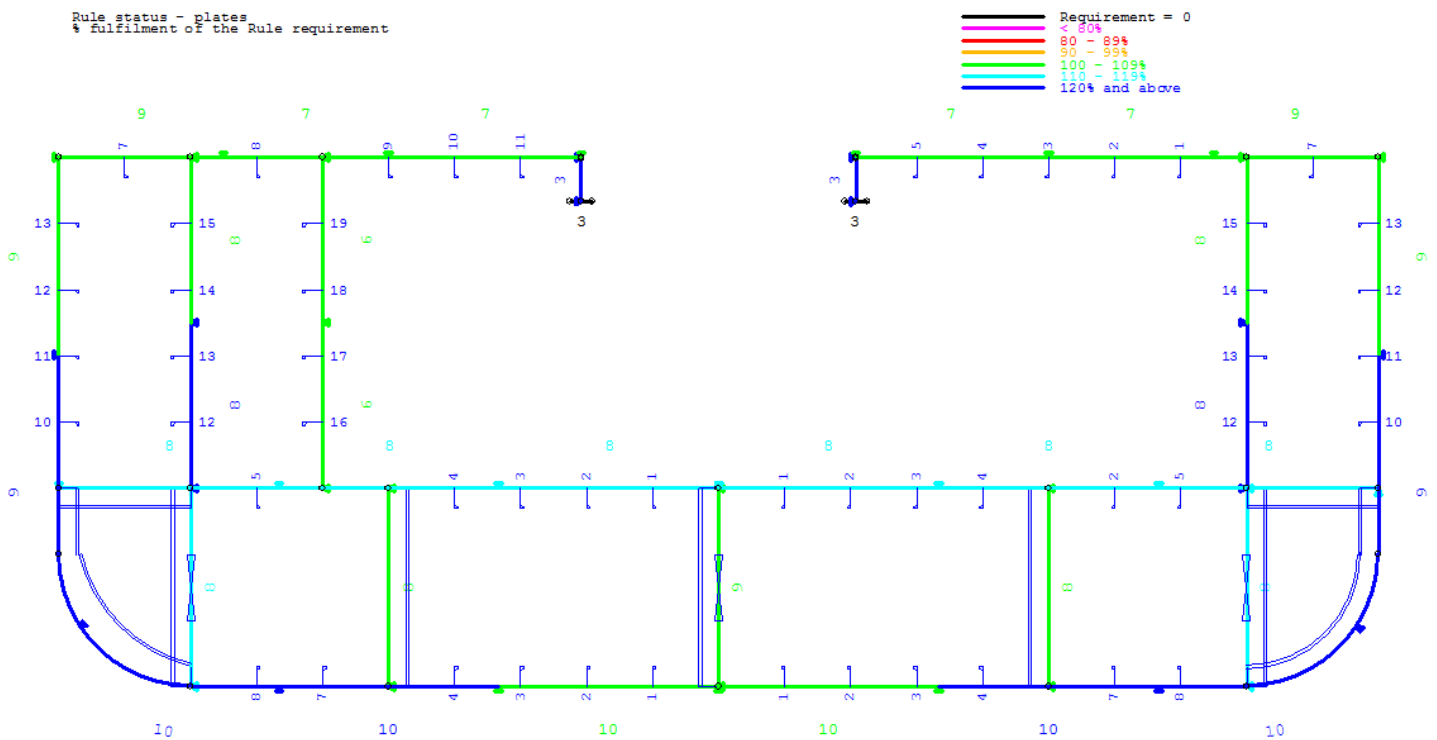
$$\sigma_L = 29,29 \text{ N/mm}^2$$

Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.4.3 ser man dimensjonering av stivere og plater ved spant 31 i skipet.



Figur 4.4.3: Dimensjonering av midskips (kritisk) tverrsnitt i Nauticus Section Scantlings.



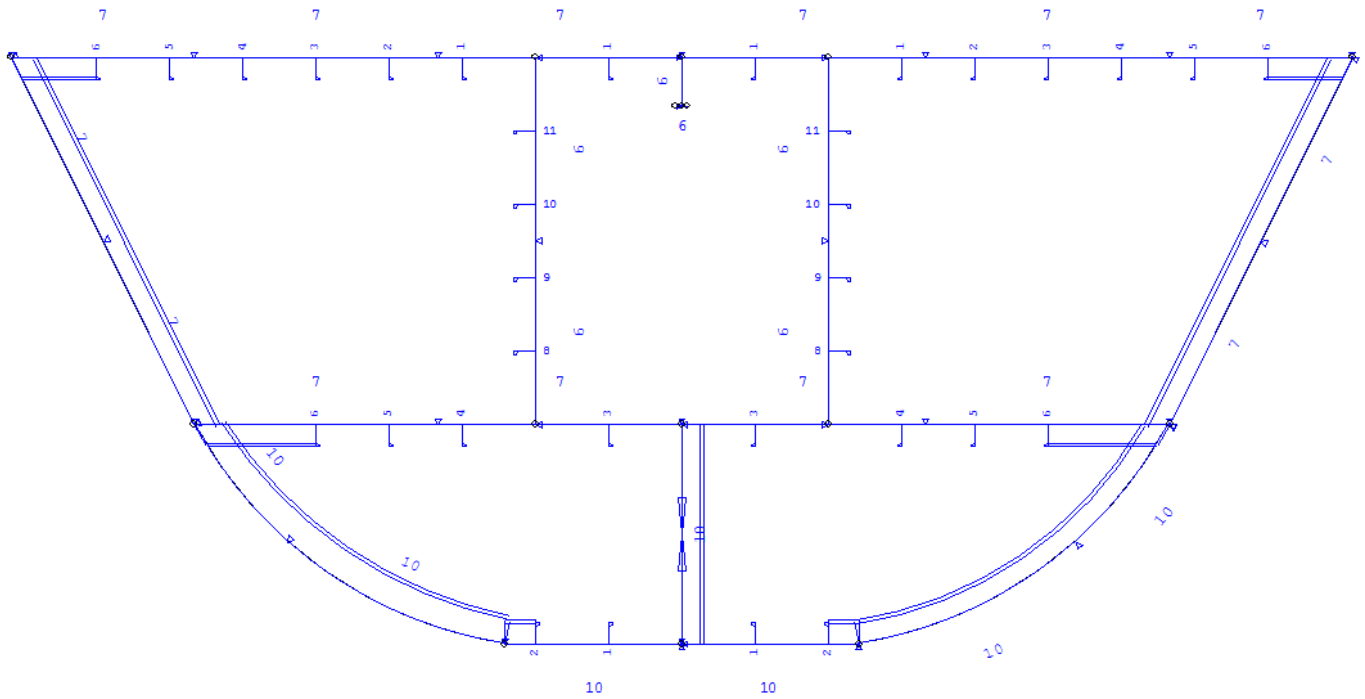
Figur 4.4.4: Regelstatus på platene i tverrsnittet midskips.

Langskipsspenning ved spant 31:

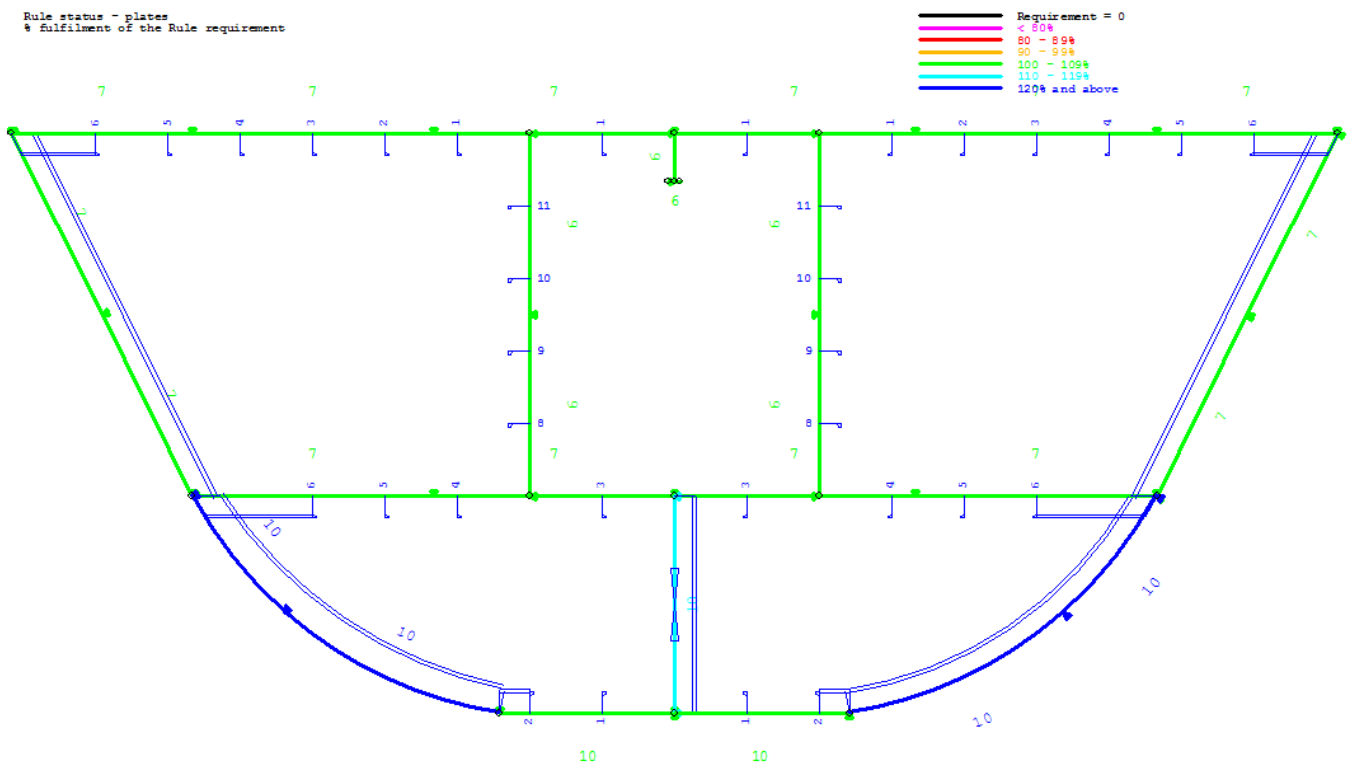
$$\sigma_L = 25,98 \text{ N/mm}^2$$

Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.4.5 ser man dimensjonering av stivere og plater ved spant 47 i skipet.



Figur 4.4.5: Dimensjonering av tverrsnitt foran i Nauticus Section Scantlings.



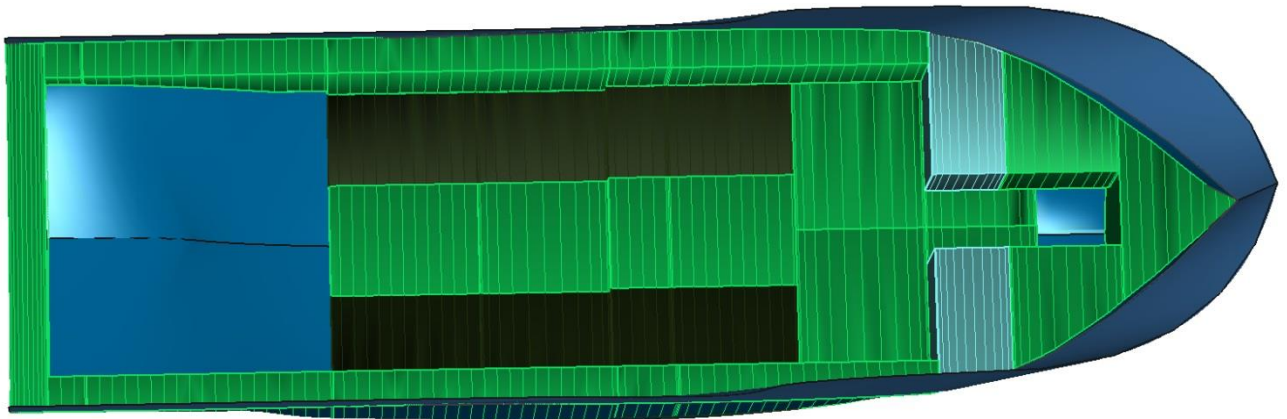
Figur 4.4.6: Regelstatus på platene i tverrsnittet foran.

Langskipsspenning ved spant 47:

$$\sigma_L = 14,47 \text{ N/mm}^2$$

4.5 Lastkondisjoner

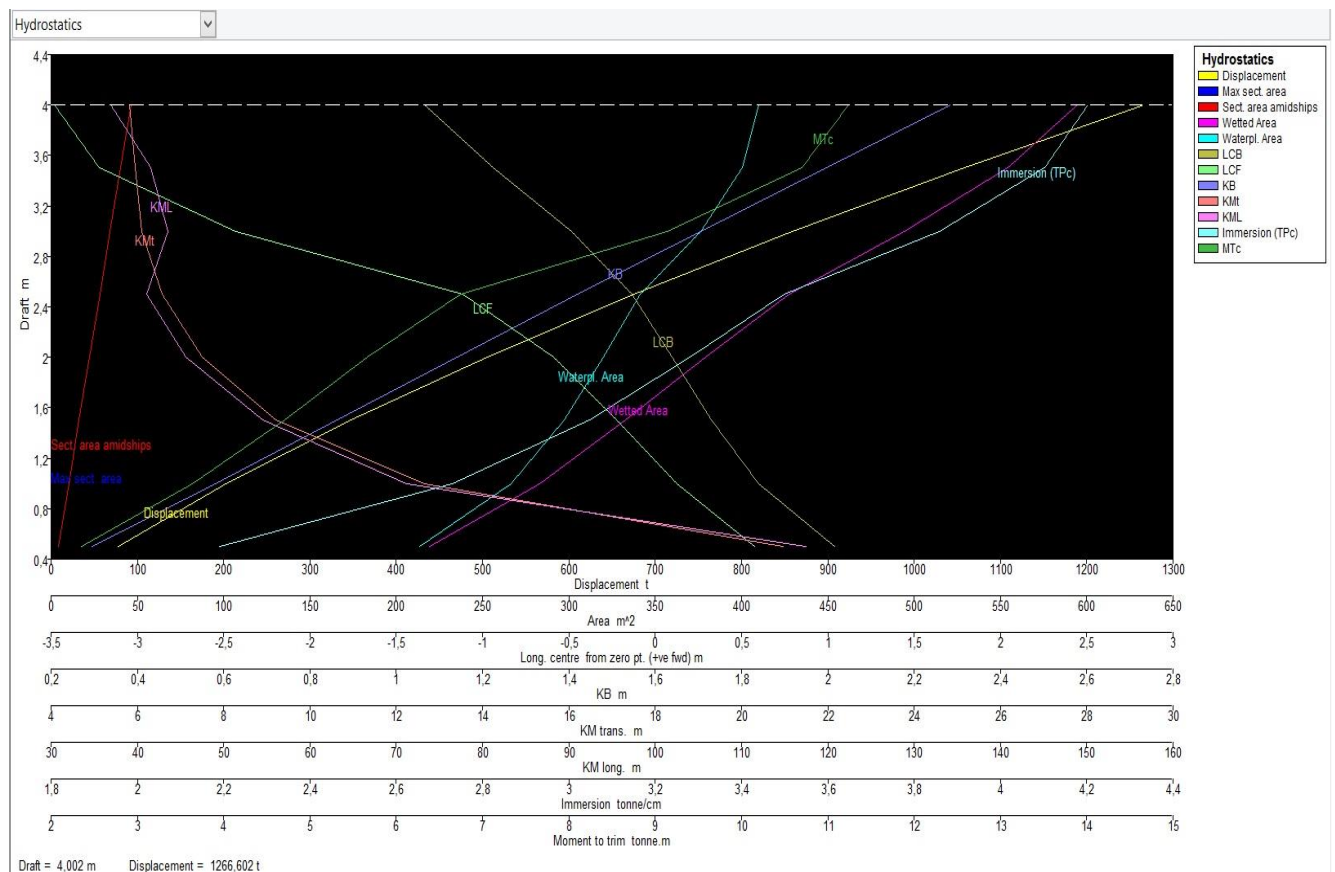
På figur 4.5.1 ser man hvordan modellen ser ut når de forskjellige tankene er lagt inn.



Figur 4.5.1: Skrogmodellen sett ovenfra i Maxsurf Stability.

4.5.1 Hydrostatikk for skipet

På figur 4.5.2 ser man kurver som viser hvordan ulike hydrostatiske data endrer seg basert på deplasement og dypgangen til skipet i kurveform. LCB flytter seg bakover i skipet når skipet får større dypgang. Dette er bra med tanke på at mye av dekkslasten vil være bak nullpunkt.



Figur 4.5.2: Grafisk presentasjon av hvordan hydrostatiske data endrer seg i form av kurver.

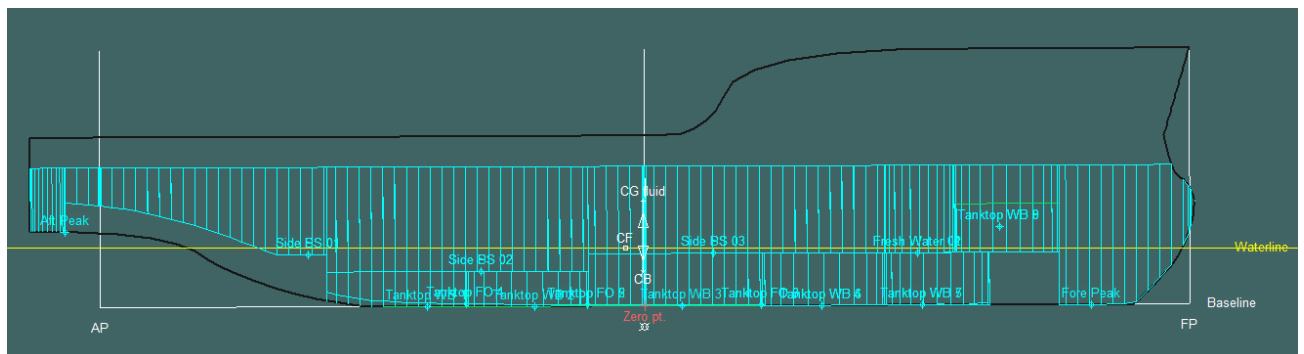
Kapittel 4 – Resultater

Depth m	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Displacement t	77,57	202,2	347,2	505,7	675	858,9	1059	1267
Heel deg	0	0	0	0	0	0	0	0
Draft at FP m	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Draft at AP m	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Draft at LCF m	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0	0	0	0	0
WL Length m	29,502	31,524	33,008	34,153	36,65	40	40,081	39,903
Beam max extents on WL m	11,481	11,99	12,008	12,017	12,018	12,018	12,016	12,014
Wetted Area m ²	219,062	283,073	332,672	378,983	427,476	494,044	554,348	594,658
Waterpl. Area m ²	213,615	266,4	297,382	320,073	341,305	376,349	400,354	409,975
Prismatic coeff. (Cp)	0,576	0,609	0,632	0,65	0,637	0,612	0,641	0,67
Block coeff. (Cb)	0,444	0,521	0,569	0,6	0,597	0,581	0,612	0,644
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,782	0,865	0,906	0,927	0,94	0,949	0,956	0,962
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,631	0,705	0,75	0,78	0,775	0,783	0,831	0,855
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	1,04	0,599	0,327	0,098	-0,134	-0,486	-0,938	-1,338
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0,576	0,128	-0,223	-0,589	-1,116	-2,428	-3,223	-3,479
KB m	0,295	0,581	0,862	1,141	1,42	1,706	1,998	2,286
KG m	3,669	3,669	3,669	3,669	3,669	3,669	3,669	3,669
BMt m	20,677	12,078	8,35	6,36	5,152	4,394	3,961	3,535
BML m	117,211	70,64	53,621	44,505	39,702	41,87	39,576	34,673
GMt m	17,303	8,989	5,543	3,833	2,903	2,431	2,29	2,151
GML m	113,837	67,552	50,815	41,977	37,454	39,907	37,905	33,29
KMt m	20,972	12,658	9,212	7,502	6,572	6,1	5,959	5,82
KML m	117,506	71,221	54,484	45,646	41,123	43,576	41,574	36,959
Immersion (TPc) tonne/cm	2,19	2,731	3,048	3,281	3,498	3,858	4,104	4,202
MTc tonne.m	2,354	3,642	4,704	5,66	6,741	9,139	10,699	11,243
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	23,423	31,722	33,591	33,824	34,201	36,436	42,305	47,558
Max deck inclination deg	0	0	0	0	0	0	0	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 4.5.1: Hydrostatikk for skipet ved åtte ulike dypganger.

4.5.2 Lettskip (0 t dekslast, 0 t forsyninger, 0% FO og FW)

På figur 4.5.3 ser man en grafisk illustrasjon av hvordan skipet ligger i sjøen ved lettskip-kondisjonen. Den gule streken er DWL. Skipet trimmer akterover pga. tungt maskineri bak.



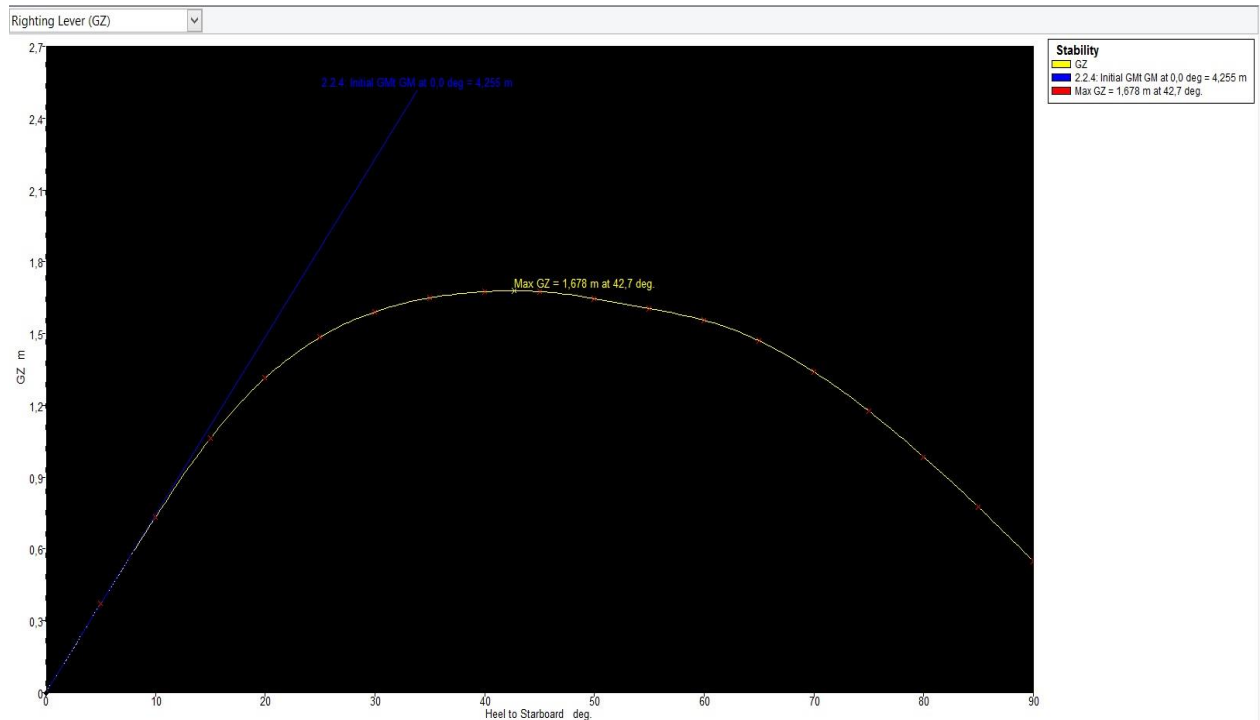
Figur 4.5.3: Profilsnitt av skipet i Maxsurf Stability.

EQUILIBRIUM LETTSKIP	
Draft Amidships m	1,895
Displacement t	476,3
Heel deg	0
Draft at FP m	1,532
Draft at AP m	2,258
Draft at LCF m	1,915
Trim (+ve by stern) m	0,726
WL Length m	34,454
Beam max extents on WL m	12,017
Wetted Area m ²	373,02
Waterpl. Area m ²	320,97
Prismatic coeff. (Cp)	0,639
Block coeff. (Cb)	0,542
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,911
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,775
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,766
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1,004
KB m	1,1
KG fluid m	3,627
BMt m	6,783
BML m	47,54
GMt corrected m	4,255
GML m	45,012
KMt m	7,881
KML m	48,631
Immersion (TPc) tonne/cm	3,29
MTc tonne.m	5,716
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	35,367
Trim angle (+ve by stern) deg	1,1087

Tabell 4.5.2: Viser hydrostatiske data for skipet ved lettskip lastkondisjon.

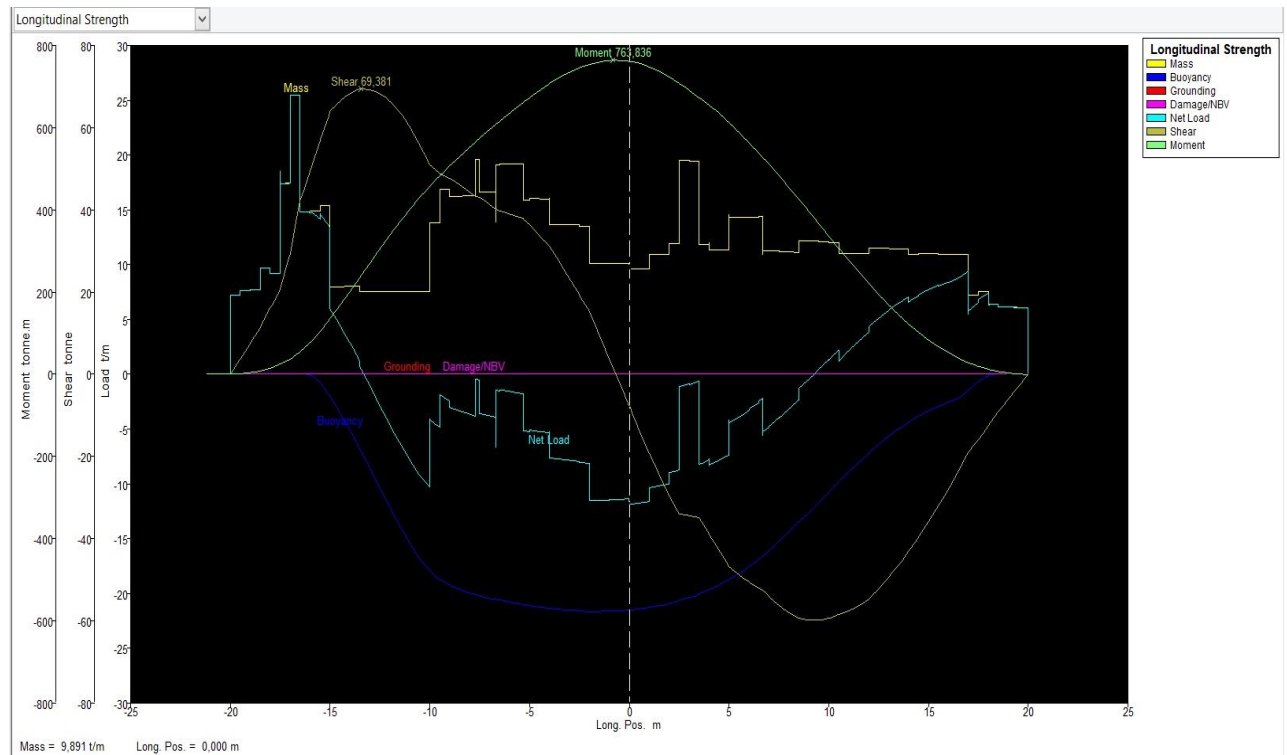
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.5.4 ser man grafen som viser størrelsen på rettende arm GZ ved en krengevinkel mellom 0-90 grader.



Figur 4.5.4: GZ-kurven for skipet i MaxsurfStability.

På figur 4.5.5 ser man grafene som viser hvor store de ulike globale kreftene som virker på skroget er langs skipet.



Figur 4.5.5: Kraftene som virker på skipsskroget i MaxsurfStability.

Kapittel 4 – Resultater

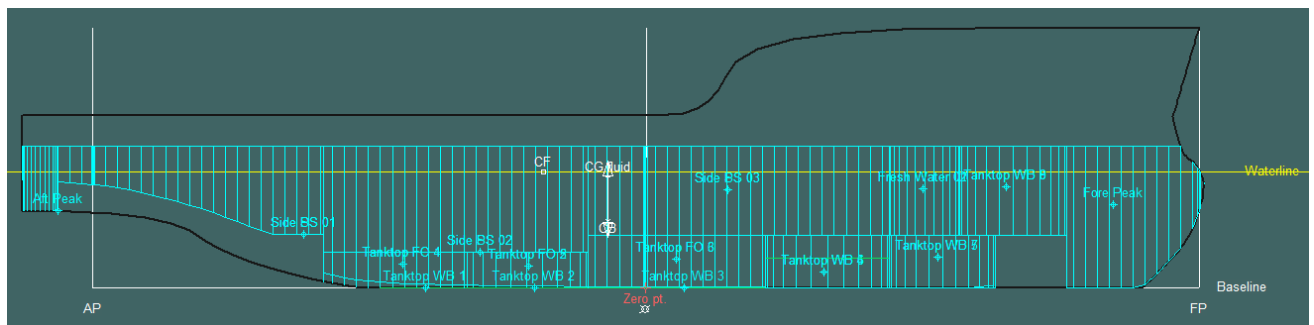
I tabell 4.5.3 har vi sjekket om skipet består regelkravene for stabilitet ved lettskip.

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	angle of vanishing stability	90	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	28,9159	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0	deg	0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40	deg	40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	45,3533	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40	deg	40	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	16,4374	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30	deg	30	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90	deg		
	angle of max. GZ	42,7	deg	42,7	
	shall not be less than (\geq)	0,2	m	1,678	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	42,7	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25	deg	42,7	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,15	m	4,255	Pass

Tabell 4.5.3: Resultat av kriteriesjekk for skipet ved lettskip lastkondisjon.

4.5.3 Avgang Lastet (335 t dekkslast, 2 t forsyninger, 100% FO og FW)

På figur 4.5.6 ser man en grafisk illustrasjon av hvordan skipet ligger i sjøen ved avgang lastet kondisjon.



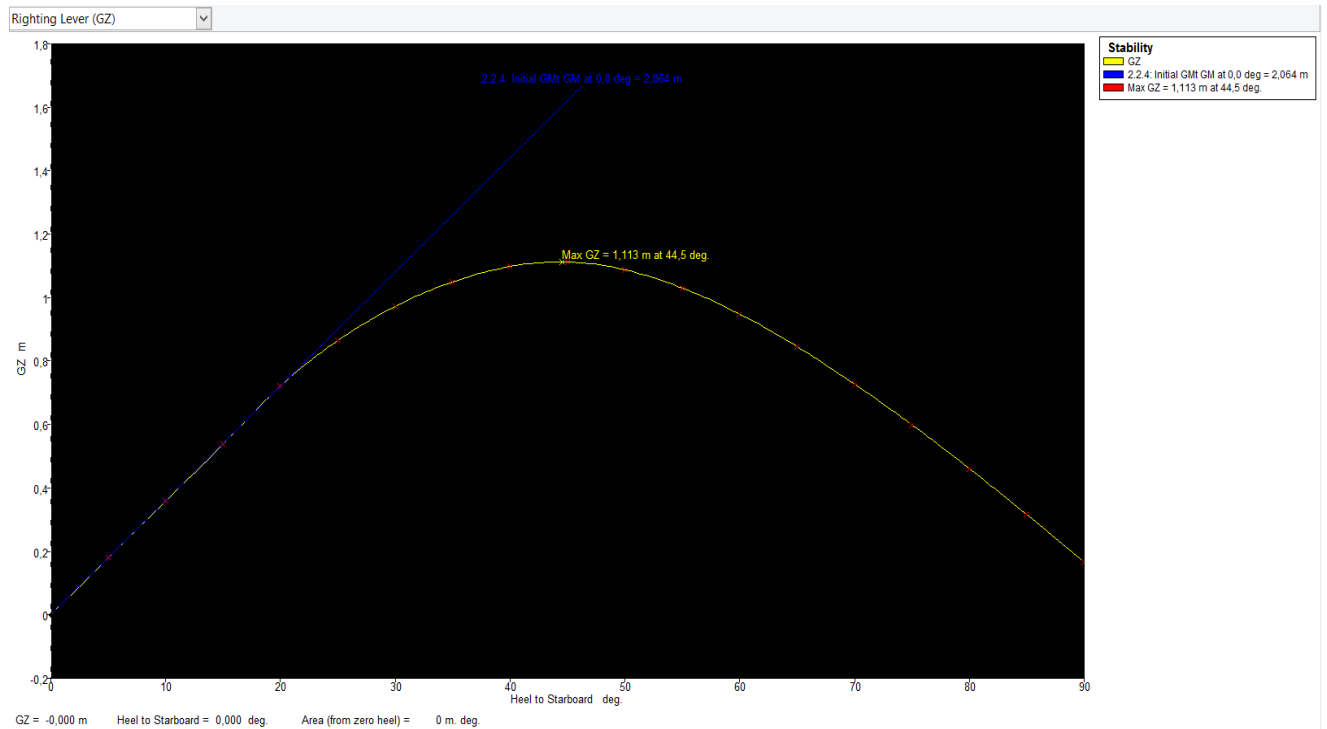
Figur 4.5.6: Profilsnitt av skipet i Maxsurf Stability.

EQUILIBRIUM AVG. LASTET	
Draft Amidships m	3,934
Displacement t	1239
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,936
Draft at AP m	3,931
Draft at LCF m	3,933
Trim (+ve by stern) m	-0,005
WL Length m	39,938
Beam max extents on WL m	12,015
Wetted Area m ²	597,959
Waterpl. Area m ²	409,296
Prismatic coeff. (Cp)	0,666
Block coeff. (Cb)	0,640
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,961
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,853
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-1,288
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-3,467
KB m	2,248
KG fluid m	3,776
BMt m	3,592
BML m	35,377
GMt corrected m	2,064
GML m	33,849
KMt m	5,840
KML m	37,624
Immersion (TPc) tonne/cm	4,195
MTc tonne.m	11,179
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	44,625
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,0082

Tabell 4.5.4: Hydrostatiske data for skipet ved avgang lastet lastkondisjon.

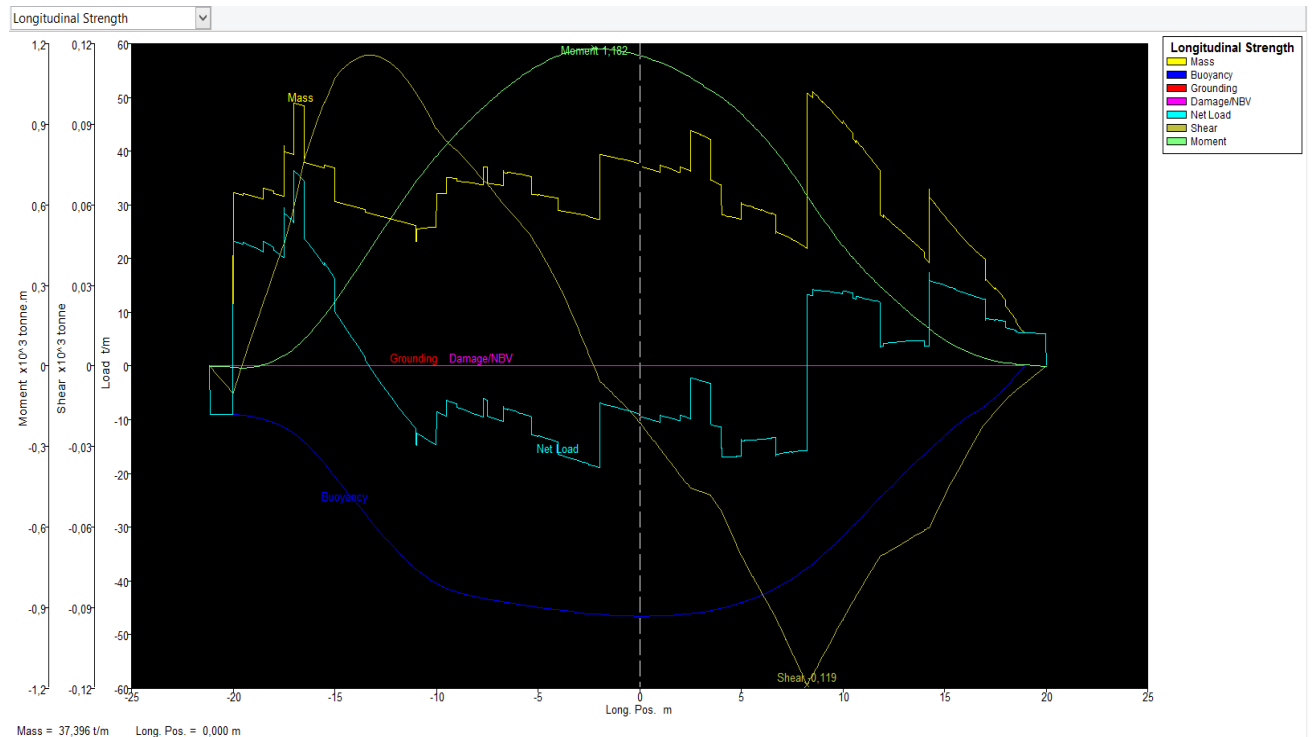
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.5.7 ser man grafen som viser størrelsen på rettende arm GZ ved krengevinkel mellom 0-90 grader.



Figur 4.5.7: GZ-kurven for skipet i Maxsurf Stability.

På figur 4.5.8 ser man grafene som viser hvor store de ulike globale kreftene som virker på skroget er langs skipet.



Figur 4.5.8: Kraftene som virker på skipsskroget i Maxsurf Stability.

Kapittel 4 – Resultater

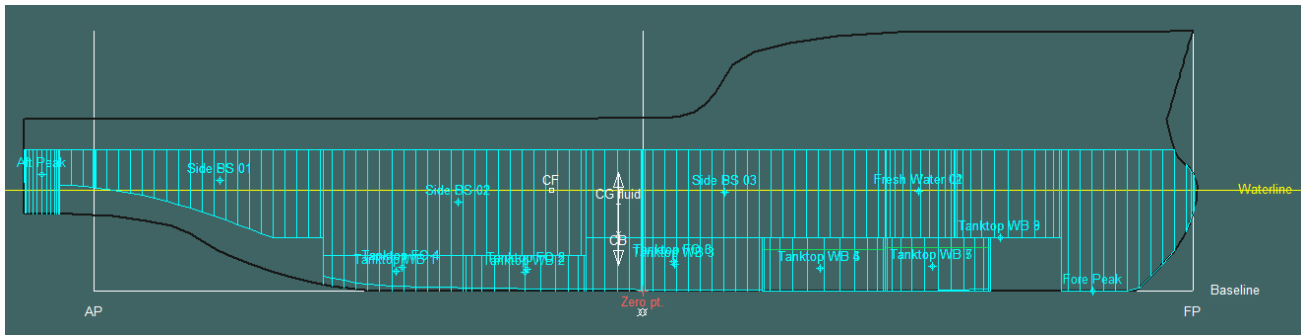
I tabell 4.5.5 har vi sjekket om skipet består regelkravene for stabilitet ved avgang lastet.

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	15,7847	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	26,2337	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	10,4490	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	44,5	deg	44,5	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	1,113	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	44,5	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	44,5	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	2,064	Pass

Tabell 4.5.5: Resultat av kriteriesjekk for skipet ved avgang lastet lastkondisjon.

4.5.4 Avgang Ballast (0 t dekkslast, 2 t forsyninger, 100% FO og FW)

På figur 4.5.9 ser man en grafisk Illustrasjon av hvordan skipet ligger i sjøen ved avgang ballast kondisjon.



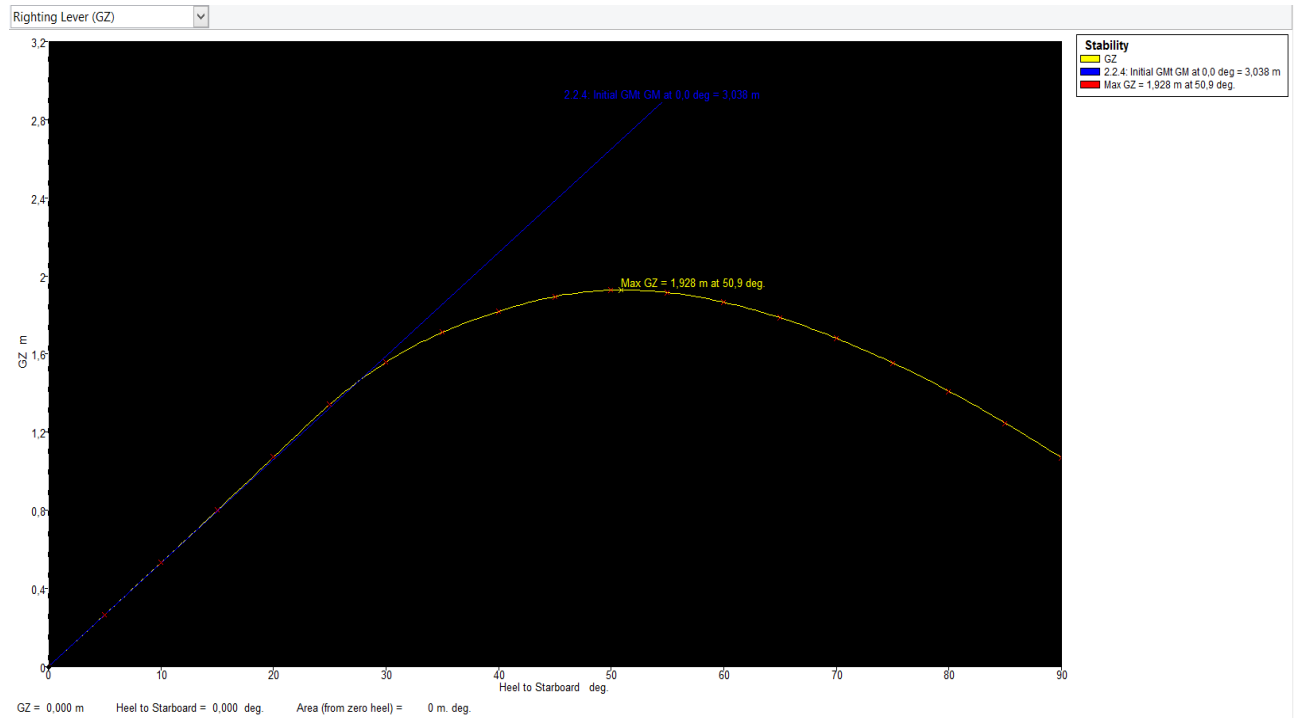
Figur 4.5.9: Profilsnitt av skipet i Maxsurf Stability.

EQUILIBRIUM AVG. BALLAST	
Draft Amidships m	3,412
Displacement t	1023
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,411
Draft at AP m	3,413
Draft at LCF m	3,412
Trim (+ve by stern) m	0,001
WL Length m	40,070
Beam max extents on WL m	12,017
Wetted Area m ²	544,593
Waterpl. Area m ²	397,275
Prismatic coeff. (Cp)	0,636
Block coeff. (Cb)	0,607
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,955
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,825
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,861
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-3,129
KB m	1,946
KG fluid m	2,939
BMt m	4,030
BML m	40,249
GMt corrected m	3,038
GML m	39,256
KMt m	5,977
KML m	42,195
Immersion (TPc) tonne/cm	4,072
MTc tonne.m	10,704
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	54,219
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0019

Tabell 4.5.4: Viser hydrostatiske data for skipet ved avg. ballast lastkondisjon.

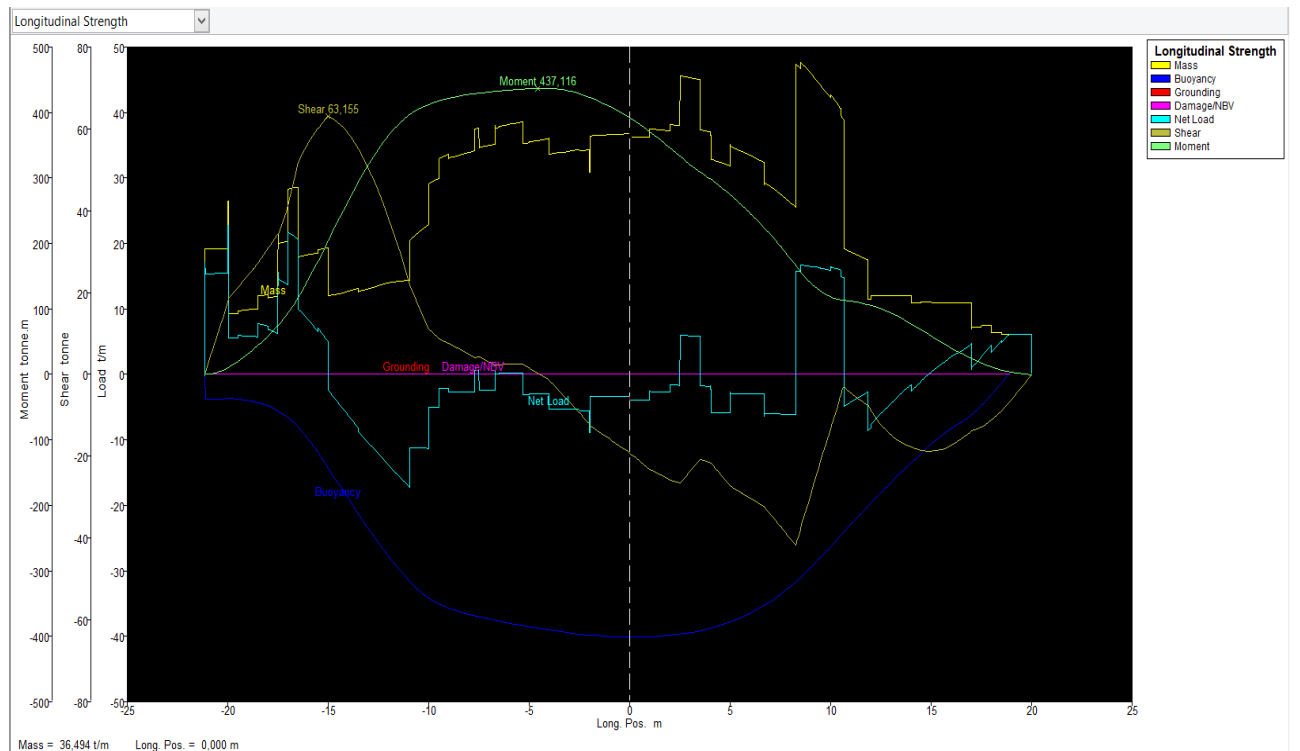
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.5.10 ser man grafen som viser størrelsen på rettende arm GZ ved krengevinkel mellom 0-90 grader.



Figur 4.5.10: GZ-kurven for skipet i MaxsurfStability.

På figur 4.5.11 ser man grafene som viser hvor store de ulike globale kreftene som virker på skroget er langs skipet.



Figur 4.5.11: Kraftene som virker på skipsskroget i MaxsurfStability.

Kapittel 4 – Resultater

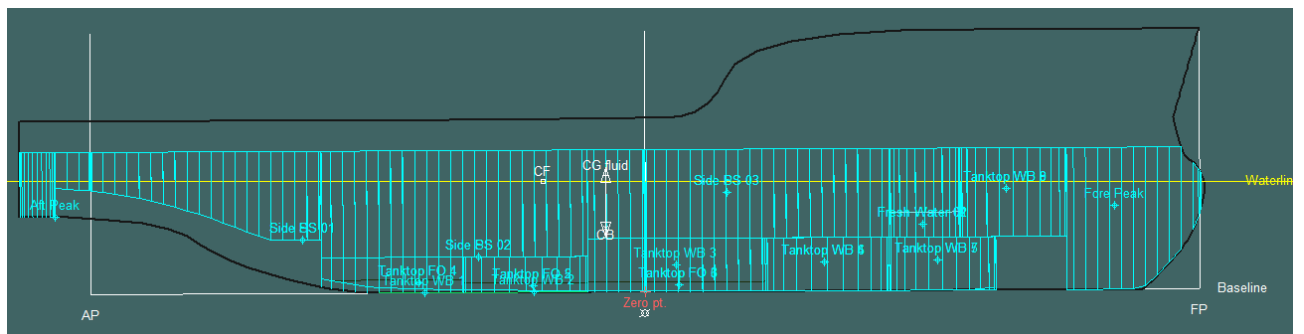
I tabell 4.5.5 har vi sjekket om skipet består regelkravene for stabilitet ved avgang ballast.

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	23,9822	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	41,0184	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	17,0361	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	50,9	deg	50,9	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	1,928	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	50,9	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	50,9	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	3,038	Pass

Tabell 4.5.5: Resultat av kriteriesjekk for skipet ved avg. ballast lastkondisjon.

4.5.5 Ankomst Lastet (335 t dekkslast, 0,2 t forsyninger, 10% FO og 25% FW)

På figur 4.5.12 ser man en grafisk illustrasjon av hvordan skipet ligger i sjøen ved ankomst lastet kondisjon.



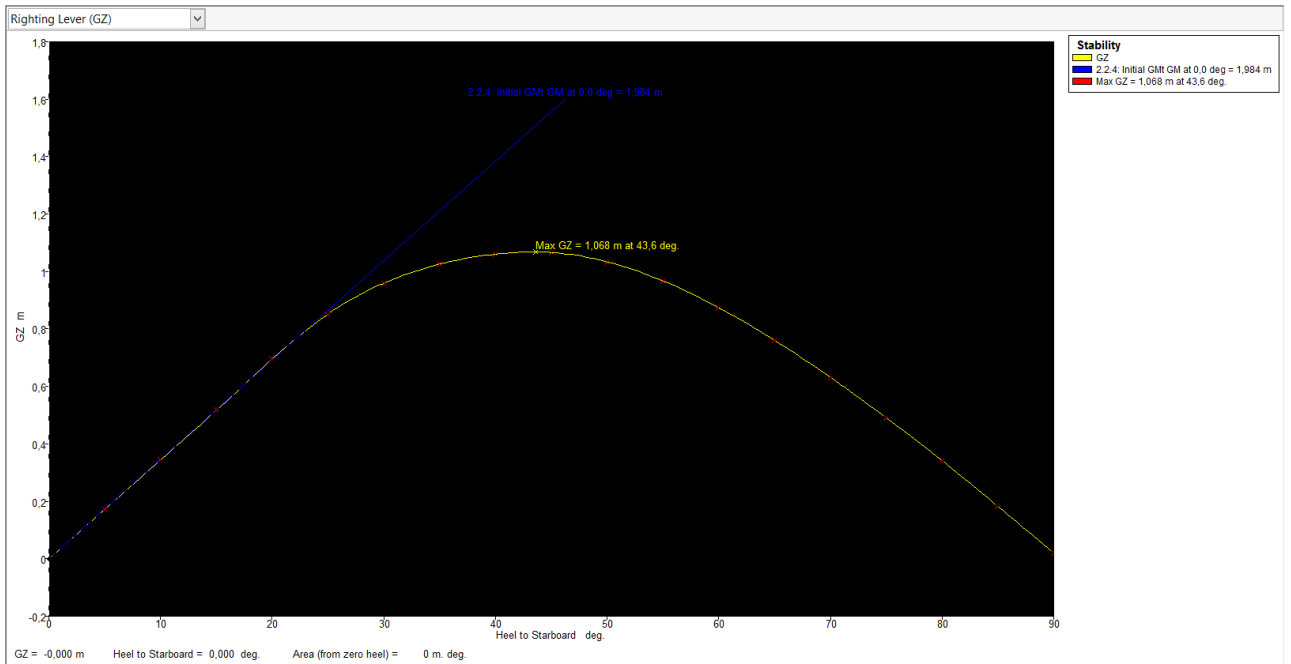
Figur 4.5.12: Profilsnitt av skipet i Maxsurf Stability.

EQUILIBRIUM ANK. LASTET	
Draft Amidships m	3,724
Displacement t	1159
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,627
Draft at AP m	3,821
Draft at LCF m	3,742
Trim (+ve by stern) m	0,193
WL Length m	40,066
Beam max extents on WL m	12,016
Wetted Area m ²	579,693
Waterpl. Area m ²	407,199
Prismatic coeff. (Cp)	0,657
Block coeff. (Cb)	0,622
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,958
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,846
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-1,338
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-3,437
KB m	2,138
KG fluid m	3,934
BMt m	3,779
BML m	37,560
GMt corrected m	1,984
GML m	35,765
KMt m	5,917
KML m	39,698
Immersion (TPc) tonne/cm	4,174
MTc tonne.m	11,049
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	40,111
Trim angle (+ve by stern) deg	0,2953

Tabell 4.5.6: Viser hydrostatiske data for skipet ved ank. lastet lastkondisjon.

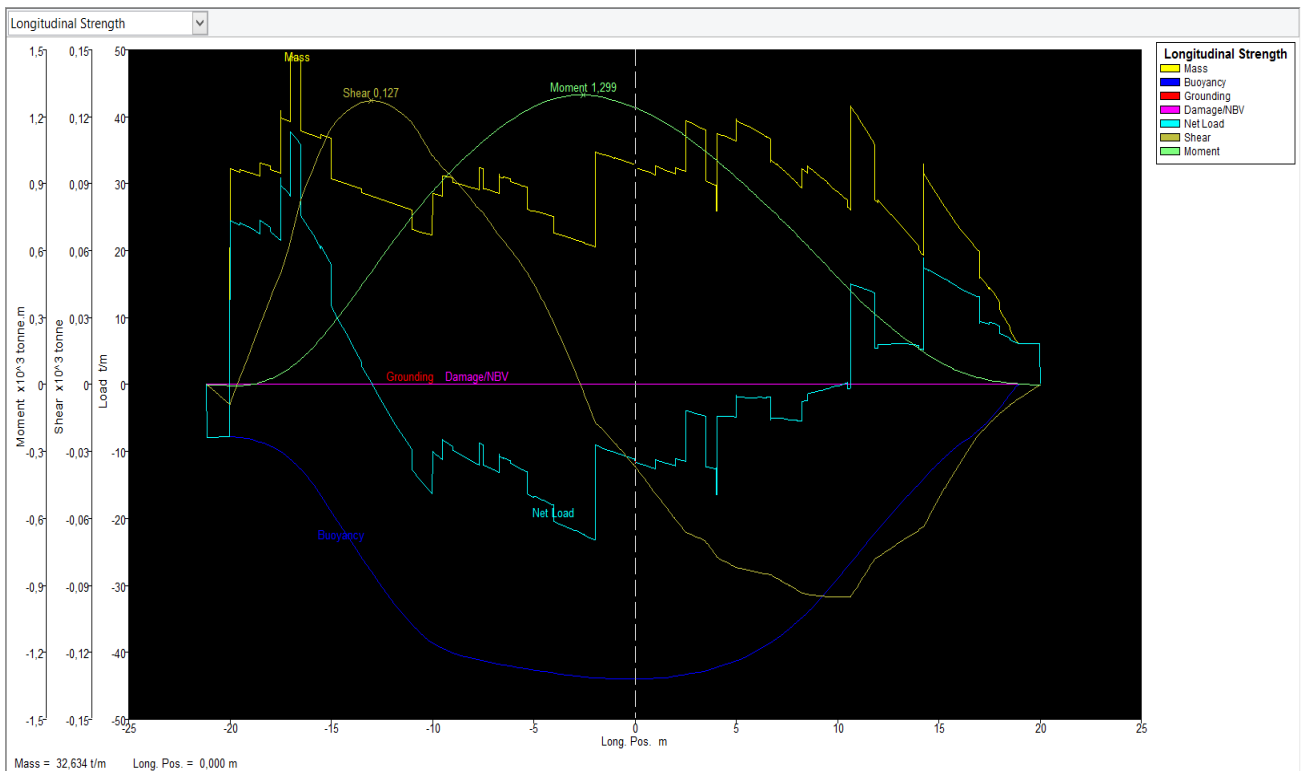
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.5.13 ser man grafen som viser størrelsen på rettende arm GZ ved krengevinkel mellom 0 og 90 grader.



Figur 4.5.13: Viser GZ-kurven for skipet i Maxsurf Stability.

På figur 4.5.14 ser man grafene som viser hvor store de ulike globale kreftene som virker på skroget er langs skipet.



Figur 4.5.14: Viser grafer for kreftene som virker på skipsskroget i Maxsurf Stability.

Kapittel 4 – Resultater

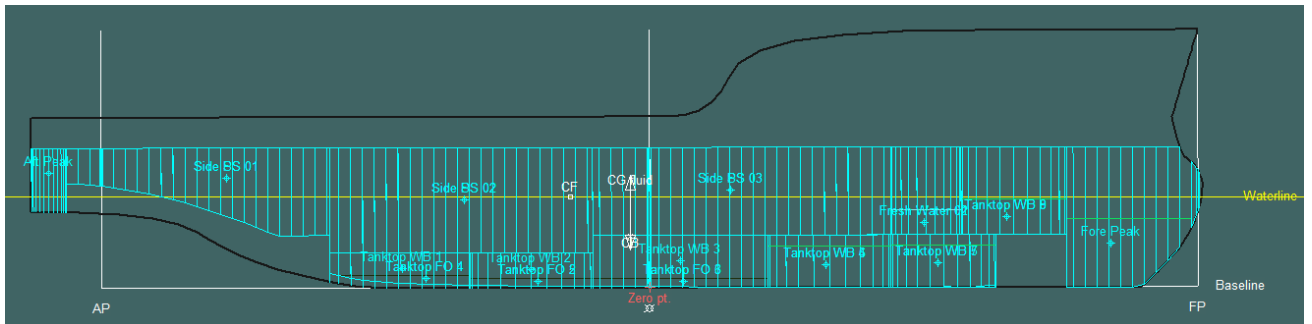
I tabell 4.5.7 har vi sjekket om skipet bestå regelkravene for stabilitet ved ankomst lastet.

267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	15,3390	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	25,5440	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	10,2050	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	43,6	deg	43,6	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	1,068	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	43,6	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	43,6	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	1,984	Pass

Tabell 4.5.7: Resultat av kriteriesjekk for skipet ved ankomst lastet lastkondisjon.

4.5.6 Ankomst Ballast (0 t dekkslast, 0,2 t forsyninger, 10% FO og 25% FW)

På figur 4.5.15 ser man en grafisk Illustrasjon av hvordan skipet ligger i sjøen ved ankomst ballast kondisjon.



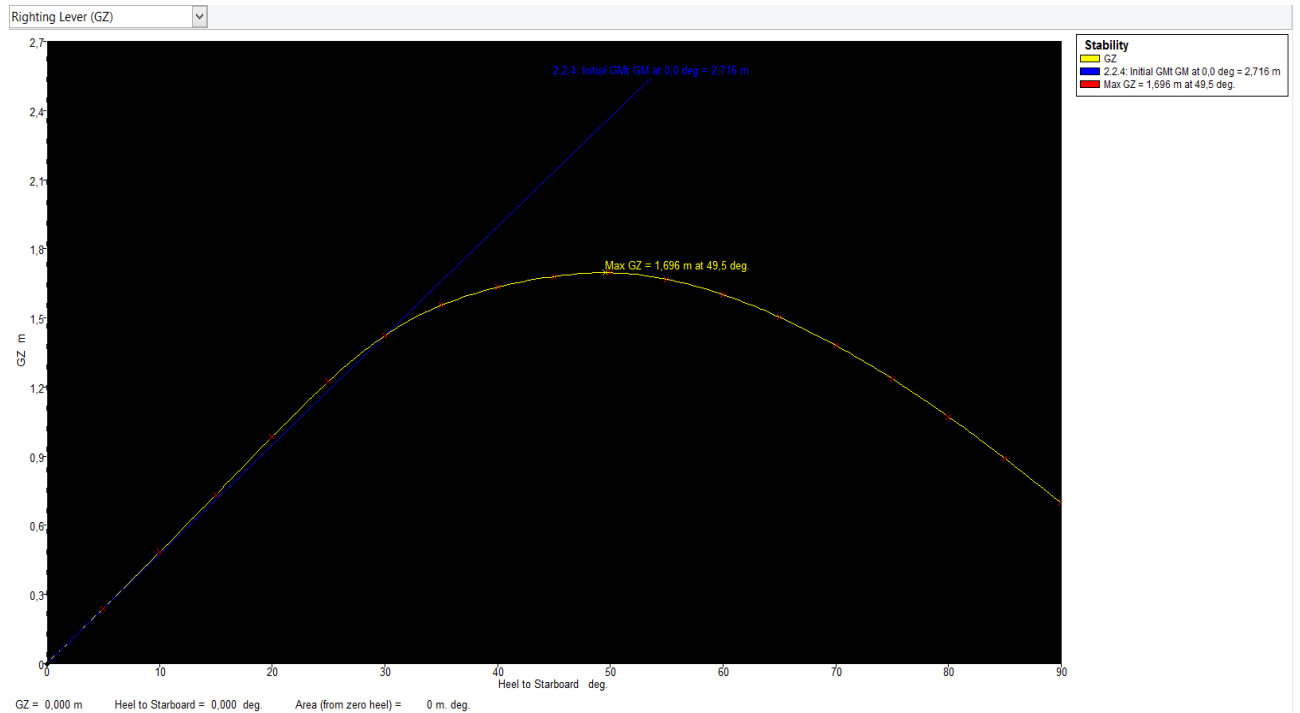
Figur 4.5.15: Profilsnitt av skipet i Maxsurf Stability.

EQUILIBRIUM ANK. BALLAST	
Draft Amidships m	3,106
Displacement t	902,0
Heel deg	0,0
Draft at FP m	3,074
Draft at AP m	3,139
Draft at LCF m	3,111
Trim (+ve by stern) m	0,065
WL Length m	40,014
Beam max extents on WL m	12,017
Wetted Area m ²	509,332
Waterpl. Area m ²	384,181
Prismatic coeff. (Cp)	0,620
Block coeff. (Cb)	0,586
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,951
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,799
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,657
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-2,719
KB m	1,770
KG fluid m	3,353
BMt m	4,299
BML m	42,092
GMt corrected m	2,716
GML m	40,509
KMt m	6,069
KML m	43,862
Immersion (TPc) tonne/cm	3,938
MTc tonne.m	9,743
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	42,751
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0996

Tabell 4.5.8: Hydrostatiske data for skipet ved ank. lastet lastkondisjon.

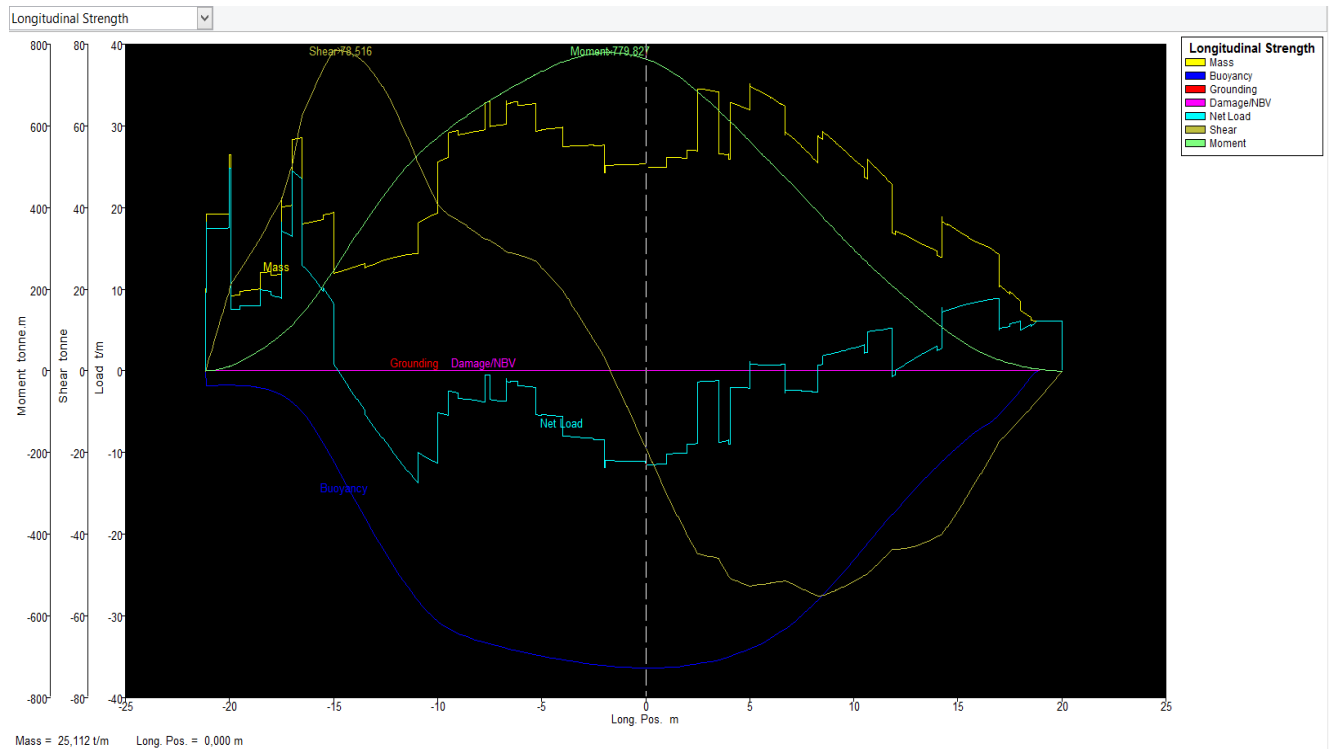
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.5.16 ser man grafen som viser størrelsen på rettende arm GZ ved krengevinkel mellom 0-90 grader.



Figur 4.5.16: GZ-kurven for skipet i Maxsurf Stability.

På figur 4.5.17 ser man grafene som viser hvor store de ulike globale kreftene som virker på skroget er langs skipet.



Figur 4.5.17: Kraftene som virker på skipsskroget i Maxsurf Stability.

Kapittel 4 – Resultater

I tabell 4.5.9 har vi sjekket om skipet består regelkravene for stabilitet ved ankomst ballast.

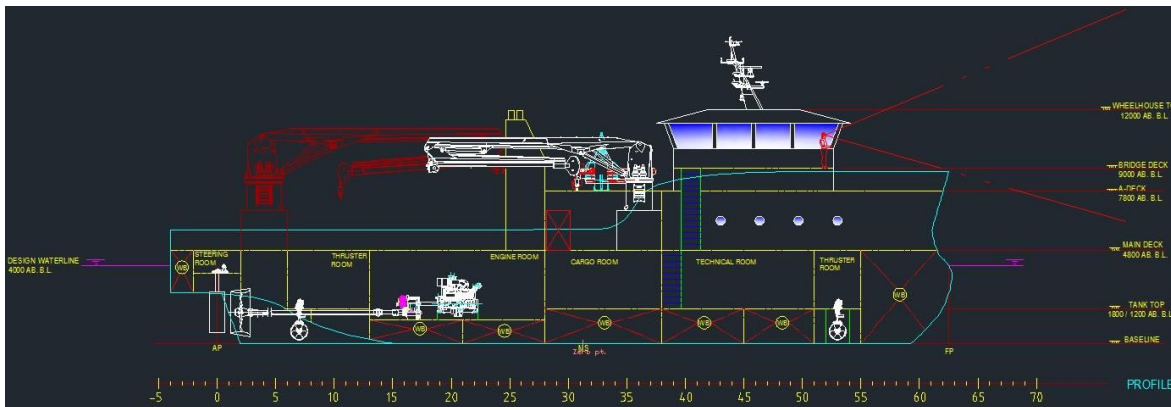
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	3,1513	m.deg	21,9082	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	0,0	deg	0,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	5,1566	m.deg	37,3664	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40				Pass
	from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	40,0	deg	40,0	
	first downflooding angle	n/a	deg		
	angle of vanishing stability	90,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	1,7189	m.deg	15,4582	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
	in the range from the greater of				
	spec. heel angle	30,0	deg	30,0	
	to the lesser of				
	spec. heel angle	90,0	deg		
	angle of max. GZ	49,5	deg	49,5	
	shall not be less than (\geq)	0,200	m	1,696	Pass
	Intermediate values				
	angle at which this GZ occurs		deg	49,5	
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ				Pass
	shall not be less than (\geq)	25,0	deg	49,5	Pass
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt				Pass
	spec. heel angle	0,0	deg		
	shall not be less than (\geq)	0,150	m	2,716	Pass

Tabell 4.5.9: Resultat av kriteriesjekk for skipet ved ankomst ballast lastkondisjon.

4.6 Hovedarrangement

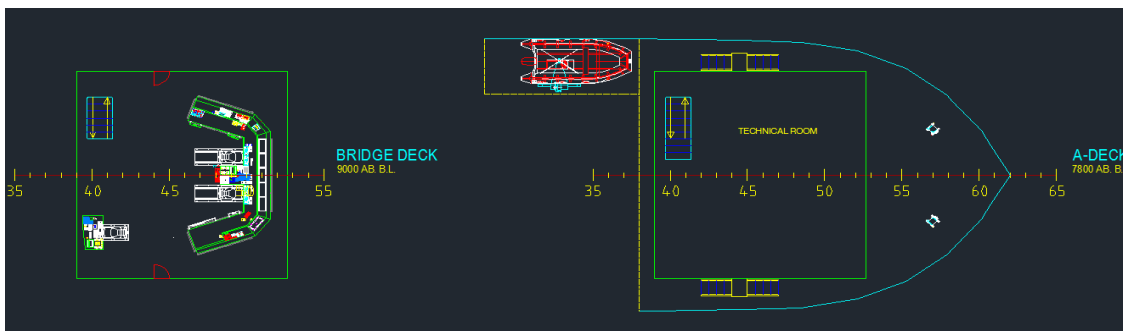
Figurene i dette kapittelet viser hvordan tredje versjon av GA så ut i AutoCAD.

På figur 4.6.1 ser man hvordan skipet ser ut sett fra siden. Snittet viser hvor de største maskinkomponentene er plassert langs skipet og hvordan skipet er inndelt med vanntette skott.



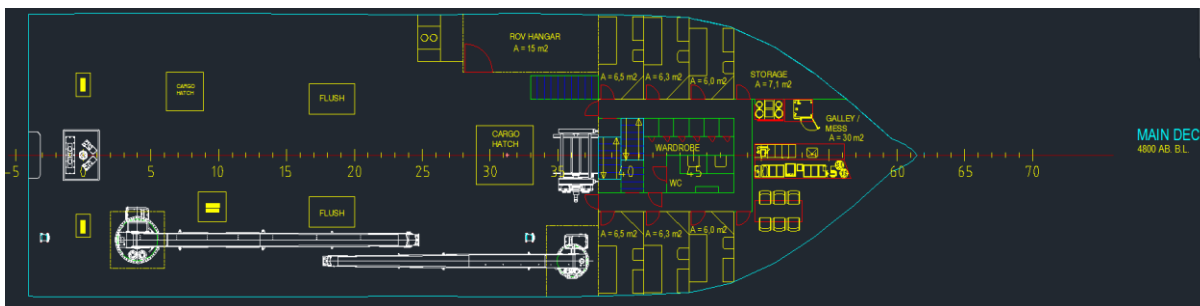
Figur 4.6.1: Profilsnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

På figur 4.6.2 ser man hvordan brodekket ser ut. Snittet viser at det er plass til en brokonsoll og en styringskonsoll for styring av kraner og vinsjer på dekk.



Figur 4.6.2: Plansnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

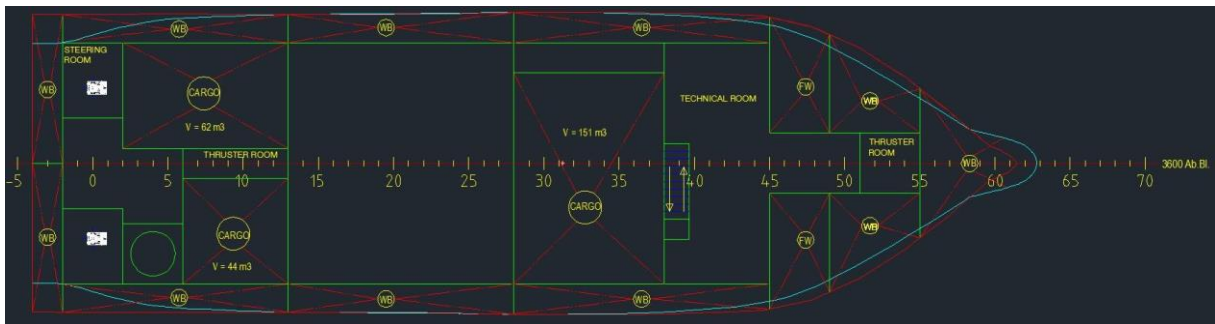
På figur 4.6.3 ser man hvordan hoveddekket på skipet ser ut. Snittet viser hvordan kraner, lasteluker, slepevinsj, skorstein, MOB-båt, ROV-hangar, og innredning i overbygget er arrangert.



Figur 4.6.3: Plansnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

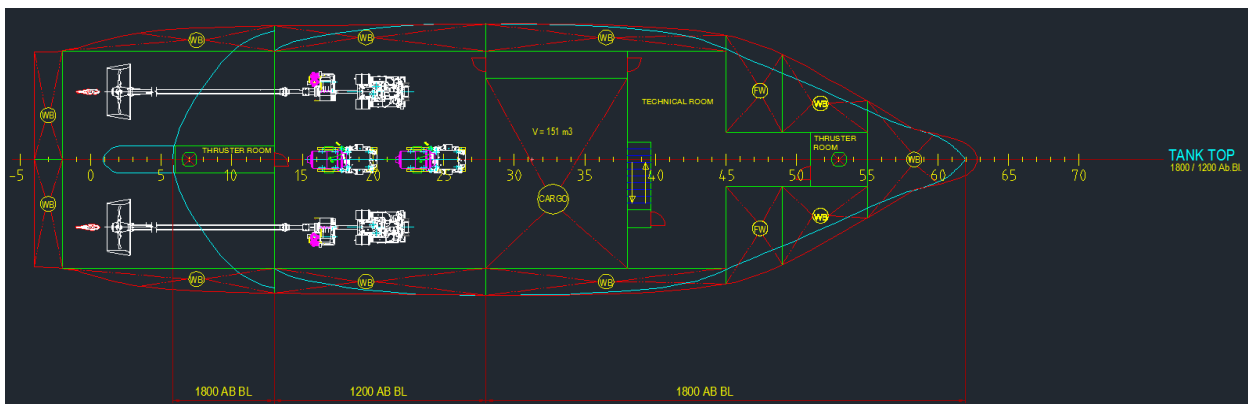
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.6.4 ser man hvordan snittet ved 3600 mm over basislinjen ser ut. Det viser hvor lasterom og ballasttanker er plassert, hvor styremaskinene til ror blir installert og hvor fundamentet til den største kranen befinner seg.



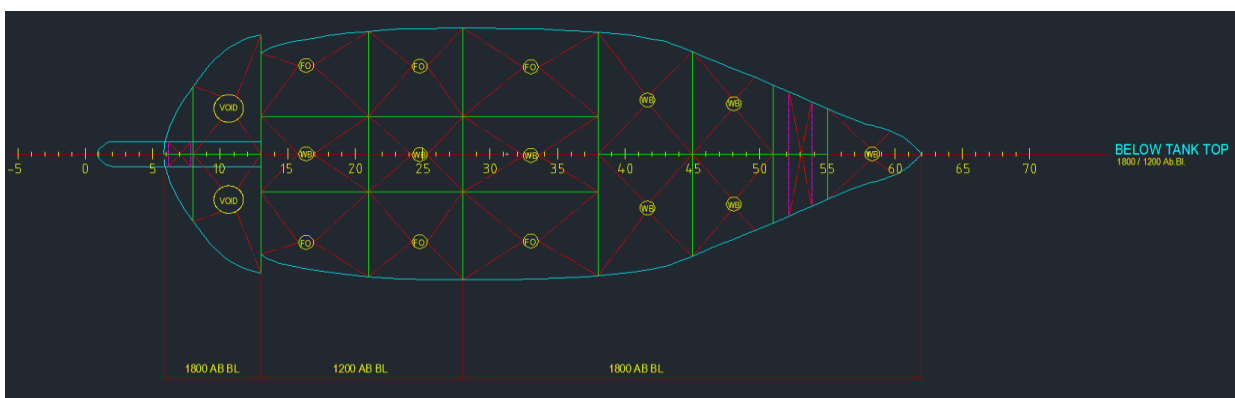
Figur 4.6.4: Plansnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

På figur 4.6.5 ser man hvordan tanktop i skipet ser ut. Snittet viser arrangement av maskinrom og propulsjonsanlegg. Det viser også plassering av thrustere, og teknisk rom med trapper. Tankarrangementet til skipet er godt synlig på dette snittet.



Figur 4.6.5: Plansnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

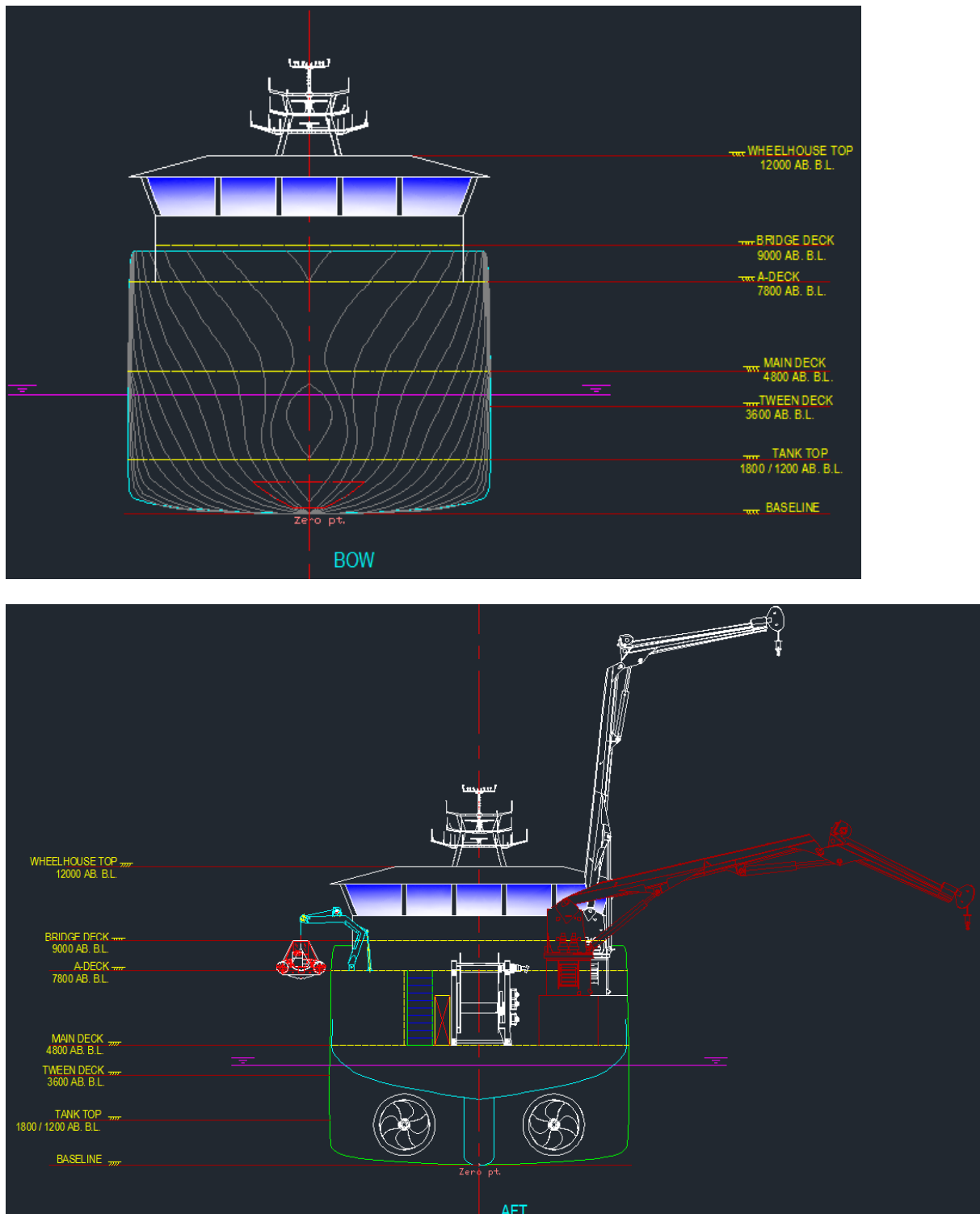
På figur 4.6.6 ser man hvordan skipet ser ut under tanktop. Snittet viser arrangement av tanker og tunnel-thrustere i dobbeltbunn. Drivstofftankene er plassert i de tre tankene mellom spant 13 og 38 på babord og styrbord side.



Figur 4.6.6: Plansnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

Kapittel 4 – Resultater

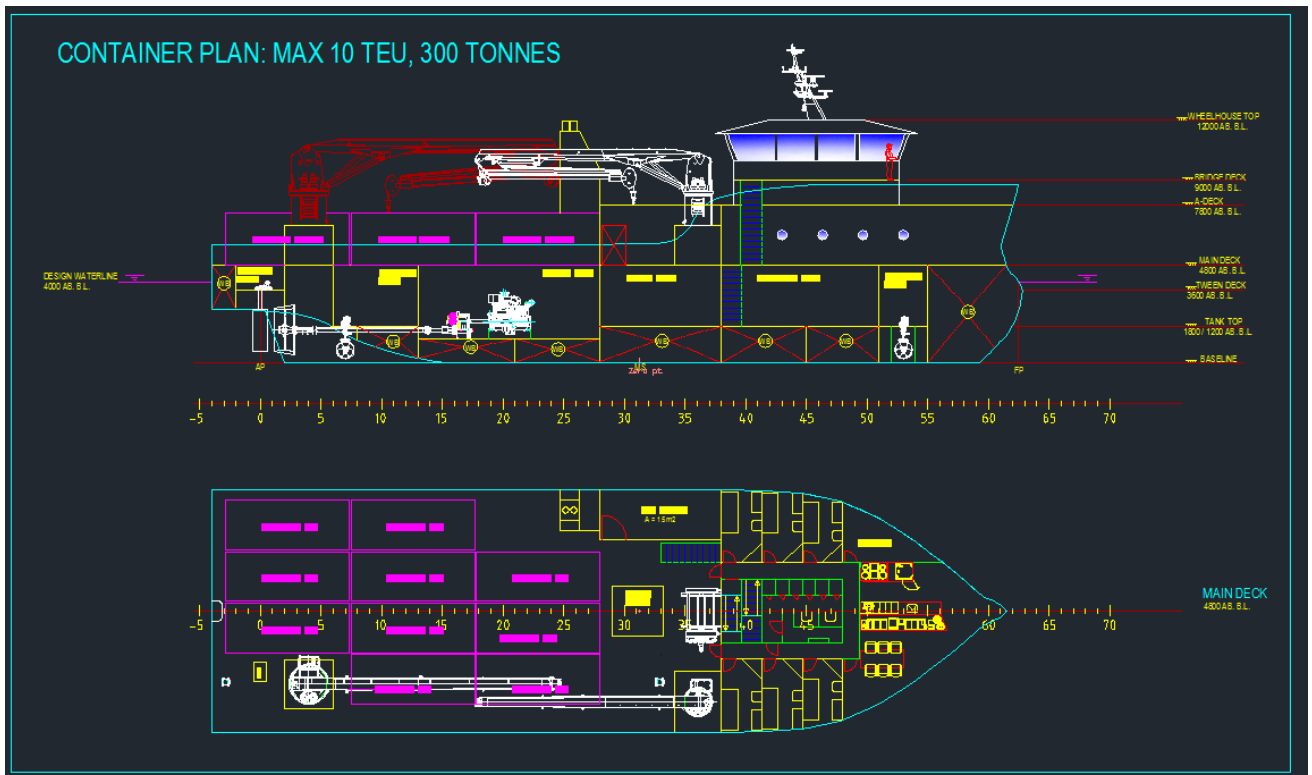
På figur 4.6.7 ser man hvordan skipet ser ut sett fra hekk og baug. Snittene viser hvordan maskinkomponentene er plassert tverrskips.



Figur 4.6.7: Tverrsnitt av skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

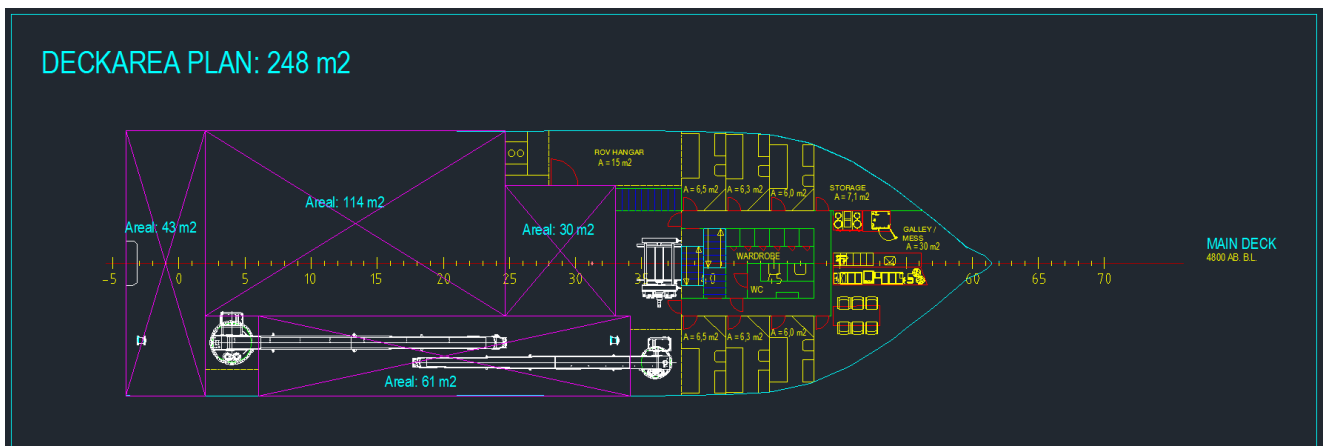
Kapittel 4 – Resultater

På figur 4.6.8 ser man en plan over kontainerarrangement. Snittene viser at 10 stk. 20 fot kontainere (rosa) får plass på hoveddekket ved tett plassering. Kontainerne gir en dekkslast på ca. 300 tonn.



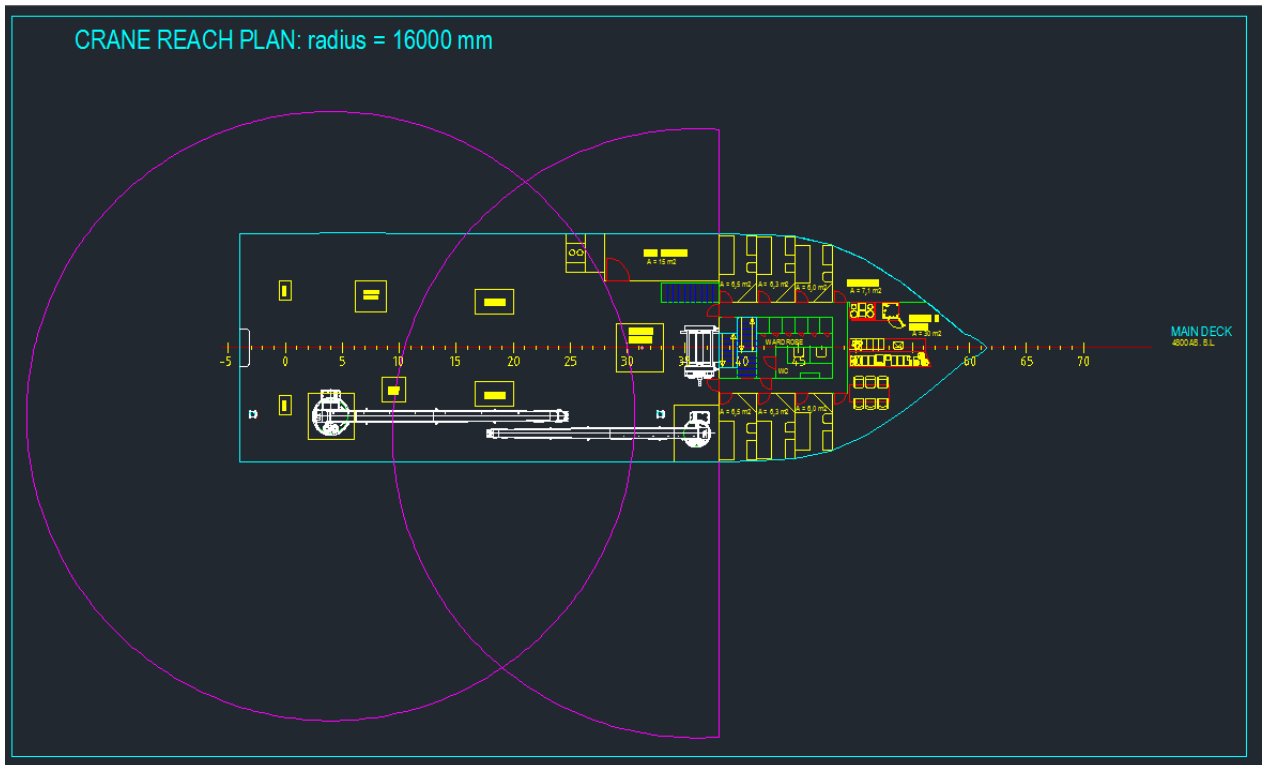
Figur 4.6.8: Kontainerplan for skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

På figur 4.6.9 ser man en plan som gir oversikt over dekkarealet til skipet. Snittet viser at totalt areal som kan brukes på hoveddekket er 248 m². Kranene er montert på søyler.



Figur 4.6.9: Dekksarealplan for skipet fra arrangementstegning i AutoCAD.

På figur 4.6.10 ser man en plan over rekkevidden til kranene som er installert på hoveddekket. Snittet viser området kranene kan dekke ved en slik plassering.



Figur 4.6.10: Kranrekkeviddeplan for skipet fra arrangementstegningen i AutoCAD.

På figur 4.6.11 ser man hvordan tittelfeltet i tegningen ser ut med de viktigste dimensjonene og kapasitetene. Informasjon om skala, tegningsnavn, tegner er også med.

Workboat

**MAIN PARTICULARS
APPROX.**

L.O.A.	40 m
L.P.P.	39.9 m
BREADTH MLD.	12.0 m
DEPTH MAIN DK.	4.8 m
MAX DRAUGHT	4.0 m

FRESH WATER	55 m ³
FUEL OIL	125 m ³
WATER BALLAST	481 m ³
CARGO DECK AREA	248 m ²
CARGO HOLDS	257 m ³

ACCOMMODATION:	
SINGLE CABINS	6 Persons
TOTAL	6 Persons

Class.:
Unclassed, follows Sjøfartsdir. rules for cargo ships / workboats above 24 meters

REV.	TEXT	DATE	SIGN.
1	Issue		
ACCORDING TO INTERNATIONAL LAWS, THIS DRAWING AND ITS CONTENTS IS THE PROPERTY OF MADS OVA. THE DRAWING CAN NOT BE MADE PUBLIC, COPIED OR OTHERWISE USED, WITHOUT OUR WRITTEN CONSENT.			
DATE:	ISSUE:	SCALE:	DRG. NO.
26.05.2016	MO	1:100	Bachelor thesis NTNU
DATE:	PROJECT:	X	
DATE:	ISSUE:		
TITLE AAS 40 WB GENERAL ARRANGEMENT			
DESIGNER:	PROJECT:	SCALE:	
AO			

Figur 4.6.11: Tittelfeltet fra arrangementstegningen i AutoCAD.

Større versjon av GA og plan kan finnes under vedlegg, kapittel 8.1.

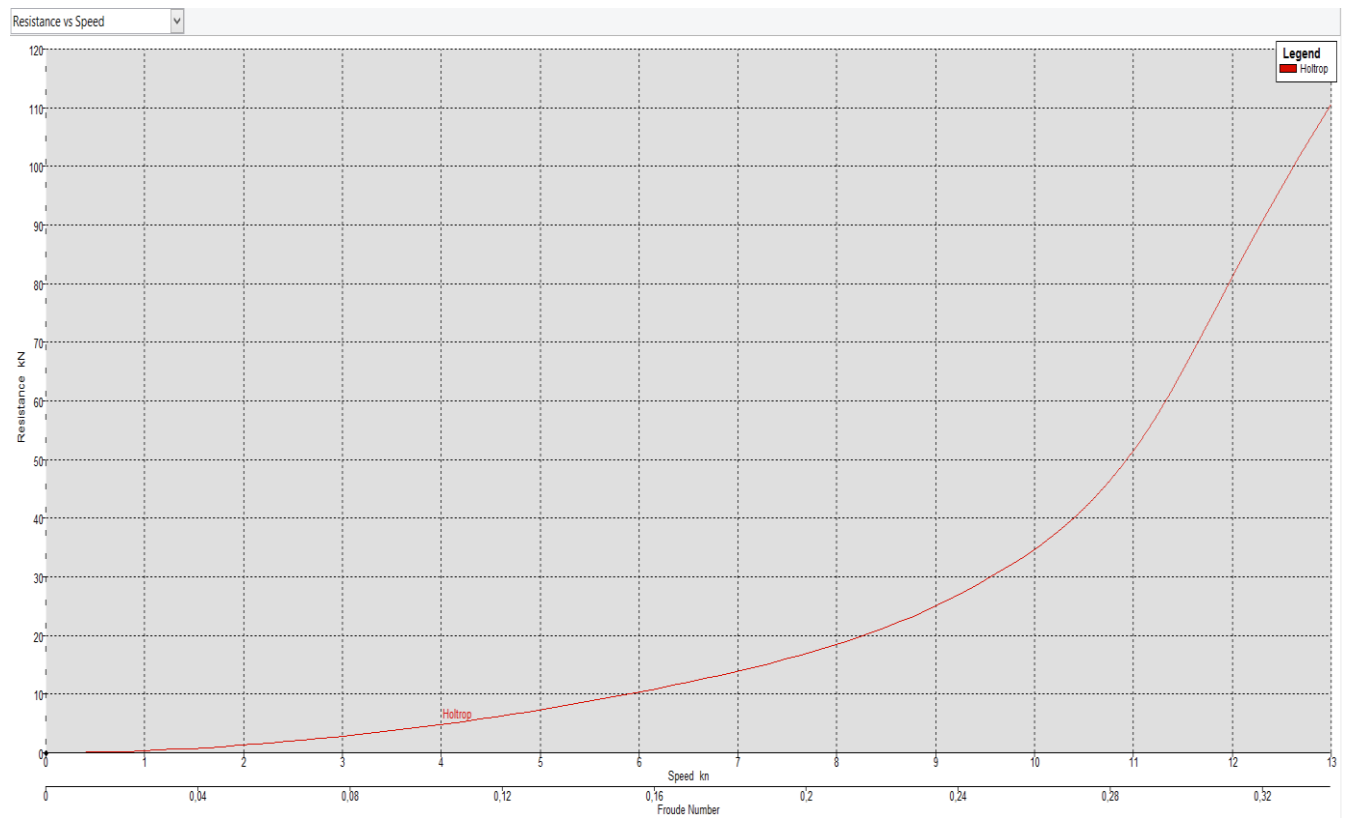
4.7 Hydrodynamikk

4.7.1 Modell

Skala	λ	60	
Lengde	L_m	667	mm
Bredde	B_m	200	mm
Dypgang	T_m	67	mm
Dybde	D_m	80	mm
Deplasement	Δ_m	5,73	kg
Froudes tall	Fn	0,31	
Reynoldstall	Re_m	464298	
Totalmotstandskoeffisient	C_{Tm}	0,0214	
Friksjonsmotstandskoeffisient	C_{Fm}	0,0058	
Restmotstandskoeffisient	C_{Rm}	0,0158	
Fart	V_m	0,79	m/s
Slepemotstand	R_{Tm}	1,12	N

Tabell 4.7.1: Oversikt over modellens hydrodynamiske enheter.

4.7.2 Skip



Figur 4.7.1: Skrogmotstand målt i Maxsurf Resistance ved bruk av 3D-modell.

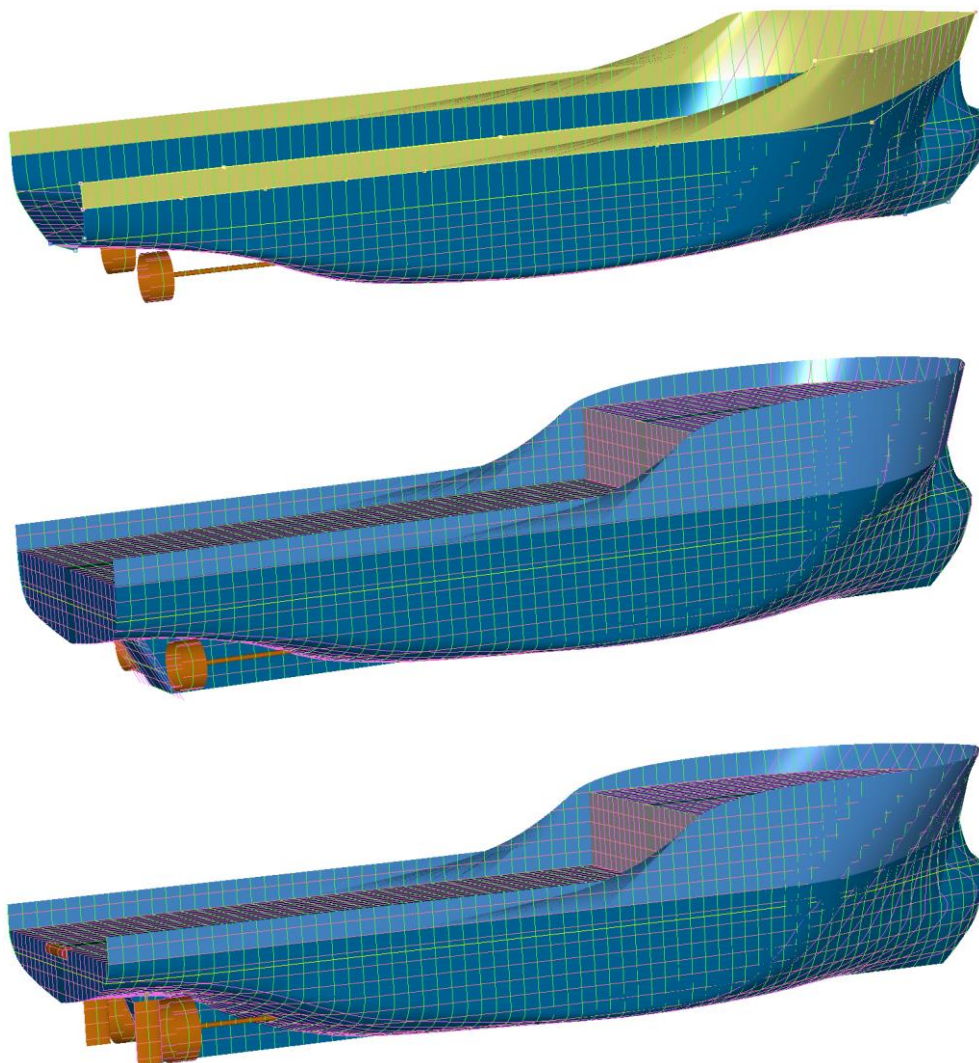
Kapittel 4 – Resultater

Skala	λ	1	
Lengde	L_s	40000	mm
Bredde	B_s	12000	mm
Dypgang	T_s	4000	mm
Dybde	D_s	4800	mm
Deplasement	Δ_s	1267	tonn
Froudes tall	Fn	0,31	
Reynoldstall	Re_s	207495798	
Totalmotstandskoeffisient	C_{Ts}	0,0177	
Friksjonsmotstandskoeffisient	C_{Fs}	0,0018	
Restmotstandskoeffisient	C_{Rs}	0,0158	
Fart	V_s	6,173	m/s
Slepemotstand	R_{Ts}	84066	N
Medstrømsfaktor	w	0,15	
Thrustreduksjonsfaktor	t	0,12	
Innstrømningshastighet	V_a	5,247	m/s
Framgangstall	Ja	0,539	
Thrustkraft per propell	T	108759	N
Thrustkoeffisient	K_T	0,28	
Momentkoeffisient	K_Q	0,042	
Dreiemoment	Q	32,6	kNm
Effekt levert fra motor	P_B	1029	kW
Slepeeffekt	P_E	519	kW
Akseleffekt levert til propell	P_D	998	kW
Thrusteffekt	P_T	572	kW
Skrogvirkningsgrad	η_H	0,91	
Rotasjonsvirkningsgrad	η_R	1,00	
Propellvirkningsgrad	η_0	0,57	
Propellvirkningsgrad	η_B	0,57	
Propulsjonsvirkningsgrad	η_D	0,52	
Mekanisk virkningsgrad	η_M	0,97	
Total virkningsgrad	η_T	0,50	
Taukraft ved 6 knop	TK	276	kN

Tabell 4.7.2: Oversikt over skipets hydrodynamiske enheter.

5.1 Linjeutforming

For å utforme skroglinjene til skipet laget vi en modell i Maxsurf. Det første utkastet besto av tre flater: en for skroget under hoveddekk, en for skutesidene over dekk og en for bulben. Grunnen til at vi delte modellen inn i tre deler var for å kunne forme de nevnte partiene uavhengig av hverandre, samtidig som de var sveiset sammen. I tillegg la vi inn to sirkulære flater som representerte propelldysene. Disse la vi inn for å gjøre det litt enklere å utforme hekken til skipet ved at man visuelt kunne se om det var nok plass til propellanlegget. Senere la vi inn plane flater som skulle fungere som dekk, overbygg og skag. Disse flatene hadde ingen funksjon for skroglinjene, men gjorde at modellen ga en mer realistisk visualisering av hvordan skipet hadde blitt seende ut.

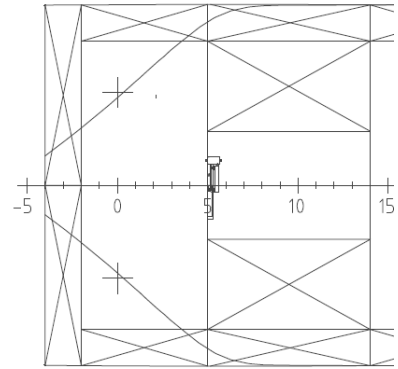


Figur 5.1.1: Første, andre og tredje versjon av skrogmodell i Maxsurf Modeler.

Endringer av linjene

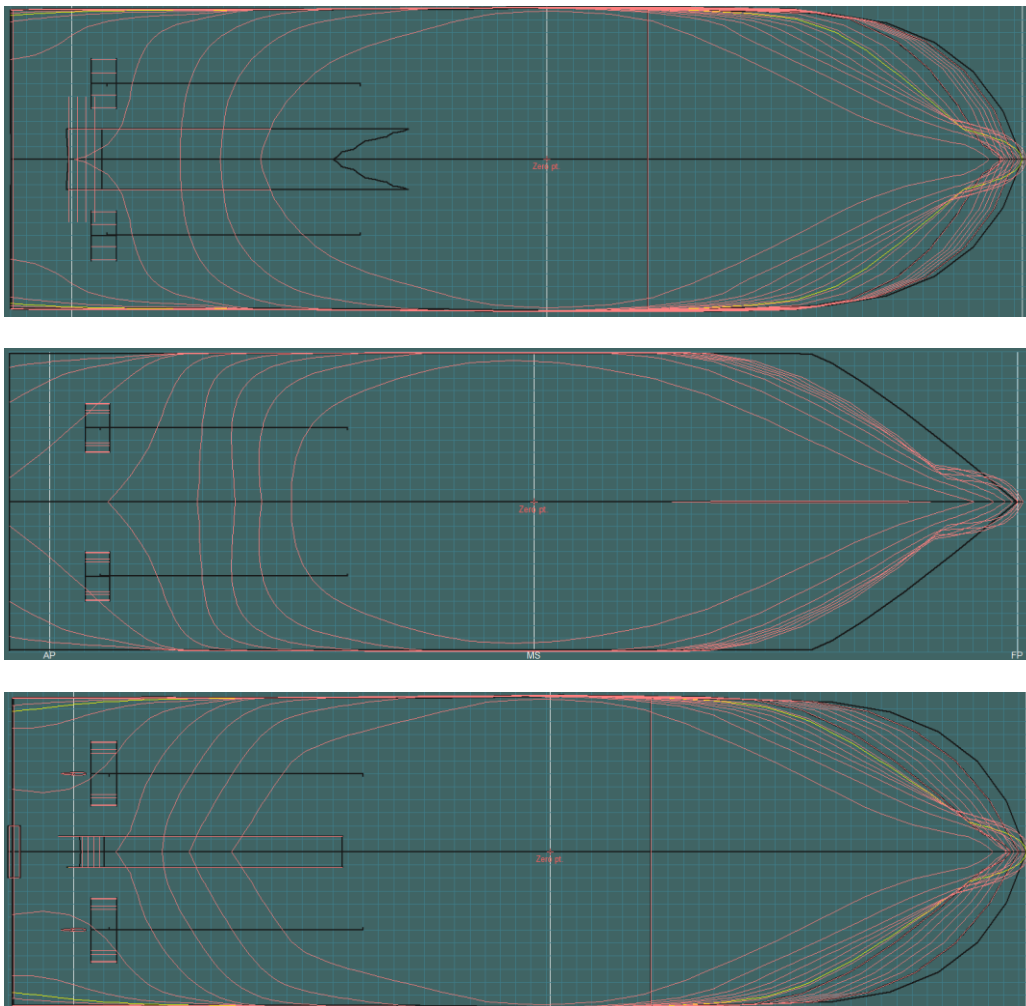
På figur 5.1.1 ser man hvordan 3D-modellen ble endret i løpet av de tre rundene vi gikk gjennom designspiralen.

Første utkast av skroglinjene ga noen problemer som måtte løses i versjon to. Ved punktet i styremaskinrommet der roret skulle installeres, ga ikke linjene nok areal til å plassere dekk. Linjene i hekken måtte derfor endres slik at de ble bredere. På figur 5.1.2 kan man se at bunnplaten i hekken kommer opp gjennom dekket der styremaskinen skal monteres.



Figur 5.1.2: Hekparti ved 3600 mm i første GA.

Partiet over vannlinjen foran i skipet var for spiss, noe som ga problemer i GA når lugarer, messe og garderobe skulle plasseres. Dermed måtte formen på forskipet avrundes slik at vi fikk nok deksareal i overbygget. Bulben fikk rundere linjer og skuldrene under vann ble forbedret. Vi endret også skroglinjene slik at skipet fikk mer oppdrift i hekk, og mindre i baug for å balansere trim i lastet tilstand.



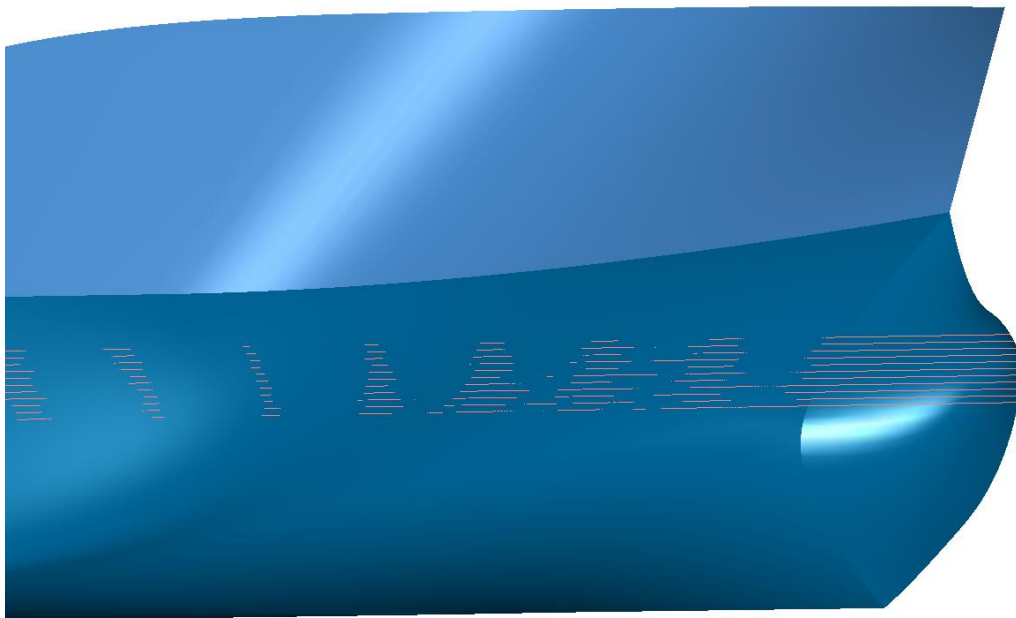
Figur 5.1.3: Viser første, andre og tredje versjon av vannlinjer i Maxsurf Modeler.

På figur 5.1.3 kan man se at i den tredje versjonen av skroglinjene forbedret vi skuldrene foran ytterligere, ved å gjøre de slankere og lage til en bedre overgang mellom linjene under og over vannoverflaten. Målet var å få en glatt S-formet innstrømning for å unngå avløsning ved skuldrene. Når vi fikk tegningen for propellsystemet ble det oppdaget at propelldysen hadde en større diameter enn forventet. Dysen var 2500 mm i diameter, som var 500 mm større enn den dysen vi hadde lagt inn i modellen. Dermed måtte vi legge inn nye sirkulære flater med rett diameter og forme hekken på nytt. Dette kan sees i figur 5.1.1. Andre endringer som ble gjort i modellen var å senke hoveddekket og legge inn en mindre bredde på skag.

Under testing av lastkondisjonene (kapittel 4.5) viste resultatene at skroglinjene etter tredje runde resulterer i at skipet har noe aktere trim ved alle lastkondisjonene hvis man ikke bruker vannballast til å kompensere. Grunnen til dette er fordi kreftene fra vekt og oppdrift ikke er like store over hele skipslengden. Hvis vi hadde strukket det fylldige midtpartiet av skipet et par spant lengre bak og samtidig trukket starten av de skuldrene lengre bak, så hadde vi flyttet LCB bakover og aktere trim ville blitt mindre. Problemet er at det blir vanskelig å utføre denne endringen siden ror- og propellsystem tar mye plass.

Bulb

I spesifikasjonen sto det at skipet skulle ha en høy bulb. Siden en arbeidsbåt ikke opererer ved en fast dypgang, legger man ofte inn en høy bulb slik at den skal være effektiv uansett hvilken lastkondisjon skipet har når den seiler mellom områder. Dette betyr at bulben strekkes mer vertikalt enn vanlige bulber.

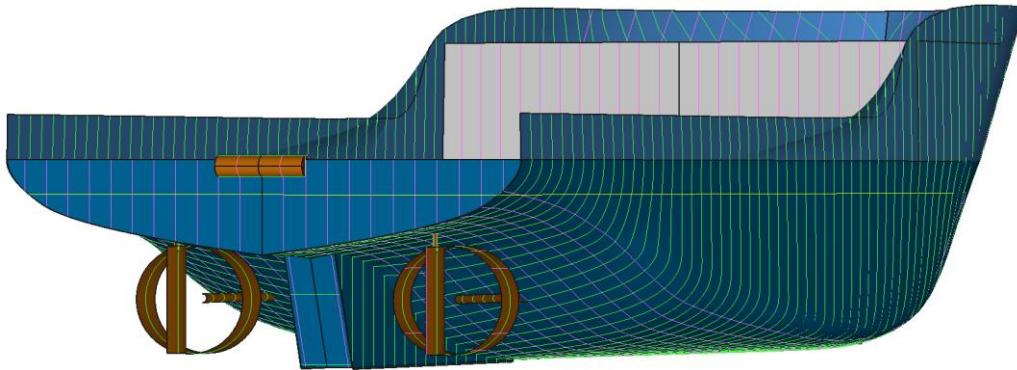


Figur 5.1.4: *Vannlinjer på bulben mellom minimum- og designdypgang.*

På figur 5.1.4 kan man se at vi formet bulben slik at den er effektiv ved alle dypganger mellom tre og fire meter.

Hekk

Ved formet hekken med hensyn til skrogmotstand. Det er anbefalt å ha S-form på profillinjene (lilla) og V-form på spantelinjene (grønn) i skip med to propeller. På figur 5.1.3 kan man se at vannlinjene i hekken er avrundet slik at man unngår avløsning.



Figur 5.1.5: Hekkpartiet til skipsmodellen i Maxsurf Modeler.

På figur 5.1.5 kan man se at i tillegg til å være hevet slik at propelldysene får plass, så er hekken V-formet for å redusere bølgeslag opp i skroget ved lav dypgang. Hjørnene er avrundet for å redusere drag så mye som mulig. Linjene gjør det mulig å montere propellanlegget, men det er noe usikkert hvor stor klaringen mellom dyse og skrog er. I det siste møtet med Aas ble vi gjort oppmerksomme på at profillinjene til hekken hadde for krappe krumninger og må gattes ut til en mer jevn S-form. Grunnen til dette er fordi hekken ikke vil slippe vannet, men heller dra det med seg framover.

Resultat

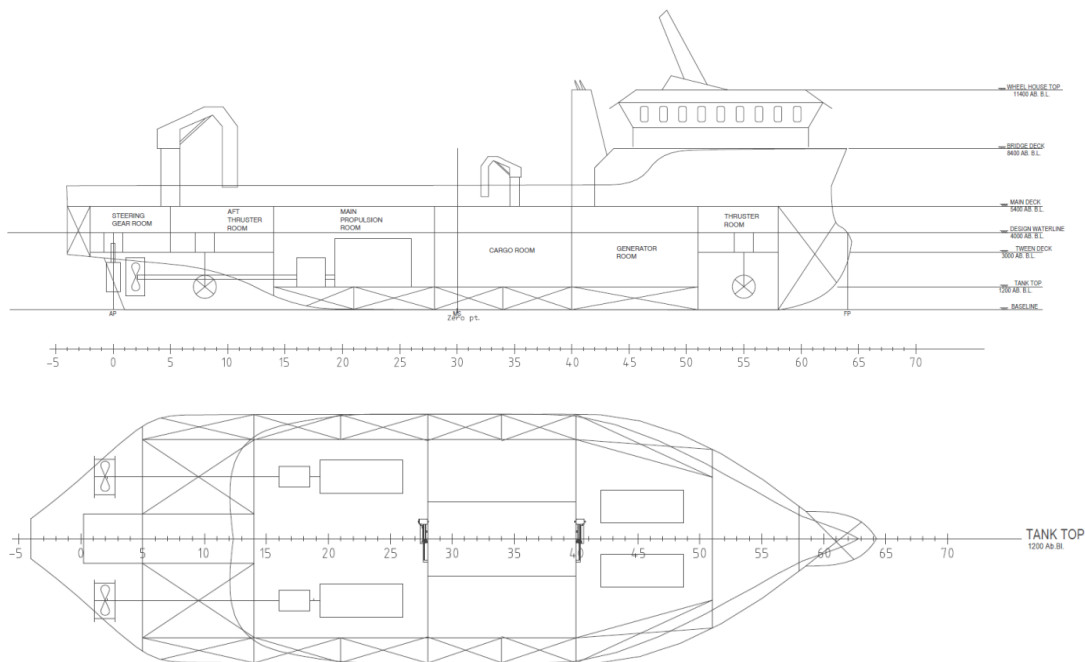
Linjeutformingen for dette skroget har gitt et resultat som er et steg opp fra de vi har laget tidligere i studiet. Denne gangen har vi glattere linjer på fremre og bakre skuldre, en bedre S-formet hekk med V-formet tverrsnitt og en avrundet bulb. Vi har også lagt inn ekstra flater som tilsvarer skag, dekk, overbygg og propellanlegg som gir en mer realistisk modell av skipet. Linjetegningen til skipet kan sees på figur 4.2.10.

I dette prosjektet har vi også testet skroglinjene våre ved å utføre en slepetest i det nye anlegget i lab-bygget. Denne testen ga oss informasjon om hvor mye skrogmotstand de linjene ga ved en hastighet på 12 knop. Resultatet av denne testen ser man på tabell 4.7.1 og 4.7.2. Beregningene vi gjorde etter slepetesten viste at motorene måtte oppgraderes fra 749 til 1029 kW. Dette er en forutsetning dersom skipet skal ha en hastighet på 12 knop ved 4 meter dypgang med de valgte propellene og skroglinjene vi har utformet. Disse beregningene kan finnes seg i kapittel 3.8.4.

Målet med linjeutformingen var å drive skipet i 12 knop ved 4 meter dypgang med det maskineriet som sto i spesifikasjonen. Resultatene viser at vi ikke har nådd dette målet, men vi har funnet hvilke motorer som er nødvendige. Vi føler at vi har tatt linjeutformingen et steg videre sammenlignet med tidligere prosjekter, og det er vi godt fornøyde med.

5.2 Arrangement

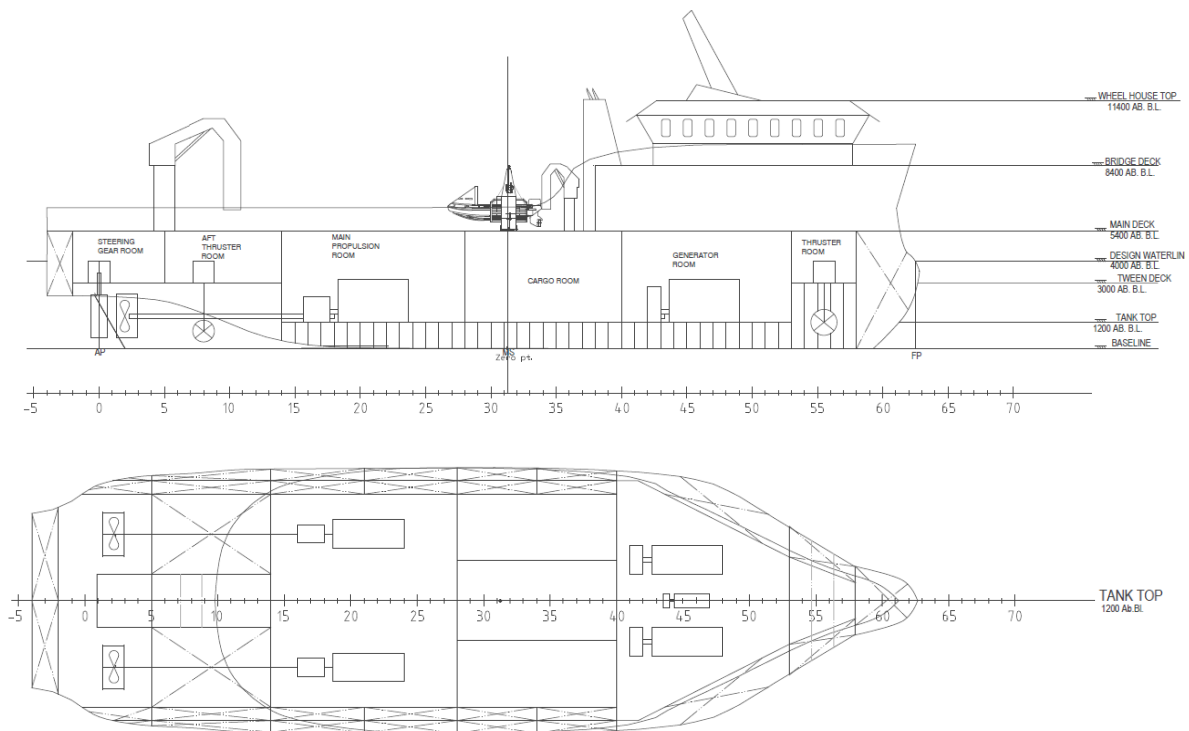
Designet av arbeidsbåten er inspirert av forsyningsfartøy brukt i oljeindustrien [51] og de moderne servicebåtene FSV Group har satset på de siste årene [52]. Med en lengde på 40 meter ligger skipet mellom de typiske størrelsene på PSV (70-90 meter) og arbeidsbåter (15-28 meter). Vi har vært å besøkt flere verft i løpet av utdanningen, som Vard Sjøvik, Vard Aukra, Ulstein Verft og Aas Mek. Verksted. Der fikk vi informasjon om hvordan verftene fungerer, samt omvisning på forsyningskip, konstruksjonsskip og arbeidsbåt. I tillegg har medlemmer av prosjektgruppen studert skip brukt i oljeindustrien i tidligere skoleprosjekter. Dette er gjort i faget Skipsdesign ved NTNU i Ålesund og studiepoenggivende praksis ved Vard Aukra. Kunnskapen som ble oppbygd gjennom studiet ble et godt grunnlag for å lage et første utkast av designet vårt.



Figur 5.2.1: Profil og tanktop i første versjon av GA.

Det første vi gjorde var å sette opp et arrangement for tanker og maskineri. I figur 5.2.1 ser vi arrangementet med doble sider og bunn, for- og aftpeak, propulsjonssystem med hovedmotorer bak, thrustere ved bulb og skag, og kraner på hoveddekk. På dette arrangementet hadde vi to maskinrom, et for propulsjon og et for strømgenerering.

Når utkastet var ferdig begynte vi å drøfte problemer med dette utkastet. Vi så i GA at styrerommet hadde ikke nok plass til styremaskin, og at dekket måtte heves eller linjene i hekk endres. Det var ikke plass til lugarer og garderobe på hoveddekk, så vi måtte runde av skuldrene til skroget over vannlinjen.



Figur 5.2.2: Profil og tanktop i andre versjon av GA.

På figur 5.2.2 ser man hvordan hovedarrangementet ble endret. Vi tok med oss en utskrift av denne versjonen og presenterte den i et møte med Aas Mek. Verksted. Der fikk vi verdifull informasjon og konstruktiv kritikk som vi tok med oss videre inn i tredje runde. Endringer som ble utført basert på tilbakemeldinger fra oppdragsgiver:

- Drivstofftanker ut mot sjø var lov på grunn av regel (under 500 m³ kubikk), så vi endret tankplan i sider og tanktop
- Endret dybde tanktop til 1200 mm i maskinrom for å få plass til propellanlegg og 1800 mm ellers for mer tank kapasitet
- Fjernet unødvendig takhøyde på tanktop ved å endre dybde av hoveddekk til 4800 mm
- Endret tankarrangement til drivstoff og ballast i tanktop (kunne ha drivstoff i sidetanker også hvis det var nødvendig)
- Ganger i innredning skulle være 90-100 mm brede
- Lugarer skulle være ca. 6-7 m² og plasseres slik at naturlig lys kom inn gjennom vindu
- Endret motorarrangement til 1 stk. motorrom for å spare penger
- Motor for strømgenerering var Cat 18
- Trapper mellom dekk skulle ha 45 grader helning og være 800 mm bred
- Thrusterrom foran ble redusert til ca. 2 • 2 m, plassert på tanktop
- Laget en større forpeak tank for mer effektiv justering av trim
- Endret området mellom lasterom og thrusterrom til teknisk rom
- Ved full ballast lastkondisjon skulle det være lavt fribord på grunn av praktiske hensyn til merde

- 9 stk. containere på 31 tonn hver ble tilsammen 279 tonn på hoveddekk, og i tillegg kom last under dekk, så vi trengte en kapasitet på rundt 300 tonn last totalt
- Endret inndeling av ballasttanker slik at de ble færre og større på grunn av praktiske hensyn til bygging og pumpesystem
- Reduserte størrelsen på skag siden det var nok med 1 meter bredde
- Endret til 3 meter avstand mellom dekk (takhøyde)
- Endret klaringen rundt maskiner til ca. 800 mm
- Flyttet skorstein lengre bak for å gjøre det enklere å installere eksosanlegget og lage plass til ROV-hangar
- Hevet kraner på søyle for utnyttelse av dekkareal under kranarmer
- Flyttet tanker for ferskvann fra hekk til front av skipet for å justere trim
- La inn to lasterom i hekk der tanker for ferskvann var plasserte

Vi kontaktet leverandører av maritimt maskineri og dekksutstyr for å få tak i AutoCAD-tegninger av maskineri som skulle inn i skipet. Disse tegningene ga oss muligheten til å lage en mer nøyaktig arrangementstegning siden maskintegningene også var i 1:1 skala.

Resultatet av disse endringene av hovedarrangementet i tredje runde vises i kapittel 4.6 som AutoCAD-tegninger og i kapittel 8.1 som større utskrift. På disse figurene kan man se at de viktigste delene av maskineri og innredning i overbygget er på plass.

Det endelige hovedarrangementet er den mest nøyaktige og realistiske tegningen vi har laget i løpet av studiet så langt, så vi er godt fornøyde med den. Men selv om vi er fornøyde med resultatet så er vi klar over at det er en del avvik og mangler på tegningen. Ved å studere utstyrslisten i kapittel 3.1 kan man se at det er en del utstyr som ikke er tegnet inn, så det er noe usikkert om alt får plass. De ulike pumpene, frittstående tanker for spillolje eller smøreolje hadde vært fint å hatt med for å være sikker på at det er ledig areal i maskinrommet og i teknisk rom. I thrusterrom skal det plasseres maskineri som tilhører drift av sidethrustere. Akslingen mellom gir og propell går igjennom vannballasttanker i hekk (disse er egentlig overflødig og kan fjernes på grunn av aktre trim). Styremaskiner er plassert i boks med tilgang gjennom luke på hoveddekk og det er usikkert om dette er en godkjent løsning.

Lasteluke til hoved-lasterom er nærme slepevisj og den største kranen har problemer med å rekke luken, dette kan sees på figur 4.6.10 i kapittel 4.6. I det siste møtet med Aas ble vi gjort oppmerksomme på at i de fleste rom er det påkrevd å ha flere veier ut ved brann eller andre nødsituasjoner. For maskinrommet kan problemet løses ved å sette inn en spiraltrapp mellom tanktop og hoveddekket ved skorsteinen. Man kunne også sette opp strukturen i hekken slik at man kan gå ned til aktre thrusterrom gjennom trappen.

Kapittel 5 – Drøfting

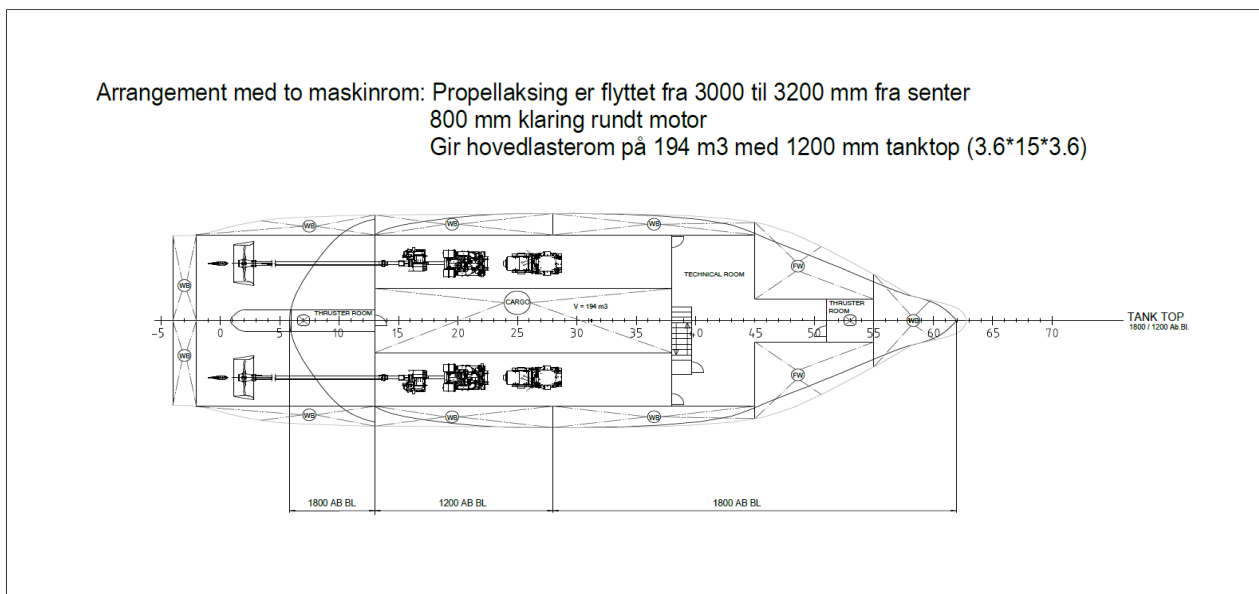
I starten av prosjektet bestemte vi oss for at designet skulle gi en økning av kapasitetene tilsvarende økningen av lengden til skipet. I denne tabellen kan man se at vi har nådd målet:

	AAS 28 WB		Vårt design		Økning	
Lengde	28	m	40	m	42	%
Dekksareal	170	m ²	248	m ²	45	%
Lasterom	150	m ³	257	m ³	71	%
Kontainere	6	stk.	10	stk.	66	%
Drivstoff	59	m ³	125	m ³	112	%
Ferskvann	37	m ³	55	m ³	49	%
Ballastvann	136	m ³	481	m ³	254	%
Fart	10,5	knop	12	knop	14	%

Tabell 5.2.1: Økning av kapasitet.

Her kan man se at vårt design gir en høyere kapasitet for tank og last. Vi kunne fått en større økning av dekkareal hvis vi la inn et kortere overbygg med to etasjer. Generelt sett har vi fokusert på å maksimere tank-kapasitet samtidig som det er nok dekkareal til utrustningen som skal installeres.

Vi har også et forslag til arrangement av tanktop der vi har lagt inn to maskinrom. Dette vises i figur 5.2.3.



Figur 5.2.3: Viser hvordan man kan dele inn tanktop med to maskinrom.

Denne løsningen har både fordeler og ulemper. Løsningen gir 30 m³ større volum i hovedlasterommet, bedre vektfordeling av hovedmotorer og last, og man kan flytte lasteluken til midten av hoveddekk. Ulempen er at denne løsningen blir vanskeligere og dyrere å bygge fordi man må bruke mer stål, og systemer for rør og elektro blir mer innviklet. Valg av disse løsningene er opp til kunden. Løsningen gir en mer praktisk arbeidssituasjon for personene som skal jobbe på dekk, noe som kan være verdt den ekstra kostnaden.

5.3 Tverrsnittsanalyse

Resultatet av tverrsnittsanalysen er presentert i resultatkapittelet 4.4. Her ser vi strukturen til de tre snittene vi endte opp med etter flere gjennomførte tverrsnittsanalyser. Vi har også presentert platestatusen til snittene for å vise at vi har benyttet godkjent platetykkelse. Til slutt sjekket vi langskips bøyespenning som vi har regnet ut for hvert snitt.

Aktre snitt

Studerer vi platestatusen til det aktre snittet i figur 4.4.2 ser vi at platene er optimalisert så mye som mulig. Det som er grønt betyr at platene er 100-109 % godkjent, og kan dermed ikke optimaliseres mer. Det turkise er 110-119 %. Vi prøvde med en mindre tykkelse på disse platene for best mulig optimalisering, men de ble for svake om tykkelsen var mindre enn 10 mm. Til slutt ser vi at de mørkeblåe platene er 120 % og over godkjent. Disse platene er dimensjonert slik for å unngå bruk av for mange ulike platetykkelser for produksjonen sin del, samtidig som at de er sterke nok. Stiverne i snittet er overdimensjonert for å være sikker på at de er sterke nok. Inne i thrusterrommet er det derimot ikke avstivet i dekk fordi det er så lite plass. Her holder det med å legge inn plater for å støtte opp dekket.

Bøyespenningen til det aktre snittet er lik $29,29 \text{ N/mm}^2$, mens kravet for langskipsstyrken er at bøyespenningen skal være mindre eller lik 175 multiplisert med materialfaktor. Materialfaktoren er som vi vet fra kapittel 3.5.1 lik 1. Dermed har vi en langskipsstyrke for skroget som er langt innenfor kravet. Dette betyr at vi kunne klart oss med større stiveravstand, og mindre stiverdimensjoner. Vi kunne også klart oss med tverrskipsavstivet struktur i hele snittet, noe som hadde tilført til en enklere og billigere produksjon.

Kritisk snitt

Platene i det kritiske snittet er også dimensjonert for å være sterke nok, men optimalisert så mye som mulig samtidig som det skal være produksjonsvennlig. På samme måte som ved det aktre snittet viser figur 4.4.4 de grønne platene som er optimalisert best mulig. De turkise er litt overdimensjonert, men her har vi ikke mulighet til å redusere tykkelsen. Det som er mørkeblått har den tykkelsen de er tildelt for å ikke ha for mange ulike tykkelser, og dermed gjøre produksjonen mer komplisert enn nødvendig. I sidene i dobbeltbunn er det tenkt at det skal legges inn tverrgående plater. Dette er symbolisert i figuren ved at det er lagt inn tverrskips-stivere. Vi setter inn plater for en enklere produksjon. Platene kan enkelt kuttes slik man ønsker og settes inn, mens stivere må bøyes og sveises sammen inn i hjørnene. Samtidig er det billigere med plater enn stivere. Ser vi på de vertikale bærerne i dobbeltbunnen vises det at tverrskips-stivere går helt ut til platehuden og indre bunn. I praksis vil de kuttes av litt før de når bunnene for å unngå at unødvendige spenninger skal oppstå.

Vi har lagt inn utkapp på den vertikale bæreren i dobbeltbunn i senter og på bærerne i dobbeltbunn ved de indre sidene. Dette er for å symbolisere at tankene på hver side av utkappene skal sammenslåes. I realiteten vil disse utkappene være et langskipsgående hull som ligger mellom spantet.

Bøyepeningen ved dette snittet er lik $25,98 \text{ N/mm}^2$. Med andre ord er langskipsstyrken her også mer enn sterk nok, og vi kunne nøyet oss med en tverrskipsavstivet struktur i hele snittet.

Forre snitt

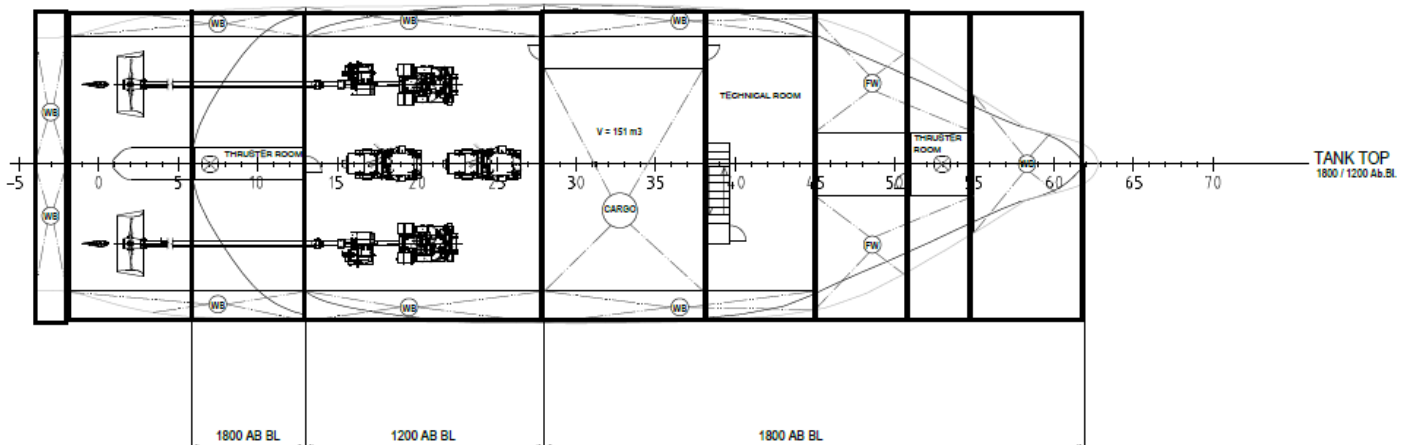
Til slutt studerer vi det forre snittet. På figur 4.4.6 ser vi at alle platene utenom den ved senterbæreren og i slaget er optimalisert. Platene i slaget er dimensjonert for å oppnå kravet om at plater i slag skal minst ha den største tykkelsen av platene i bunn og side. Utkappet i senterbærer har samme funksjon som utkappene i det kritiske snittet. Stiverene er overdimensjonert også i dette snittet.

Bøyepeningen i snittet er lik $14,47 \text{ N/mm}^2$. Langskipsstyrken her er dermed enda sterkere enn i de to andre snittene. Vi kunne endret på stiverdimensjoner, stiveravstand, eller gjort snittet tverrskipsavstivet.

5.4 Vekt

Resultatet av lettskipsvekten er presentert i kapittel 4.3 som en tabell i et regneark. Tabell 4.3.1 viser alt av utstyr som skal være med i beregningen på en oversiktlig og ryddig måte. Nederst i tabellen vises totalvekten av lettskipet, samt gjennomsnittlig LCG og VCG.

Den totale lettskipsvekten er nok ikke 100 % nøyaktig, men den er mer enn bra nok for at vi skal kunne gjøre gode stabilitetsberegninger. Vi har kommet oss på et ganske detaljert nivå med tanke på hvor mye utstyr vi har med i beregningene, men det er fortsatt mye vi mangler som til sammen utgjør en ekstra vektandel på lettskipet. Det er gjort estimater på mye av utstyret forårsaket av at vi ikke har funnet spesifikke verdier på alt. For eksempel rør, ledninger, eksosanlegg m.m. og dette utgjør avvik for totalvekten. Vekten av aluminiums-overbygget er også estimert, og dersom vi hadde hatt nøyaktige data ville totalvekten forandret seg. I tverrsnittsanalysen blir det ikke gjort rede for tverrgående bærere, noe som medførte at vi måtte gjøre et estimat av bærervekten. Vi valgte å gjennomføre tverrsnittsanalyser for tre ulike snitt på skroget. Om vi hadde valgt å gjøre en analyse for flere snitt ville skrogvekten vært mer nøyaktig. Figur 5.4.1 viser et eksempel på hvordan vi kunne delt opp skroget i tverrsnittsanalysen, og dermed fått et enda mer nøyaktig estimat.



Figur 5.4.1: Eksempel på snittinndeling for tverrsnittsanalysen.

Vi valgte å fokusere på langskips posisjon og vertikal posisjon når vi skulle plassere utstyret. Utstyret er tildelt en LCG og VCG slik at de plasseres ombord skipet på en fornuftig måte. Vi kunne også sett på tverrskips posisjonering om vi ville hatt en enda mer nøyaktig plassering, men LCG og VCG gir oss det vi trenger ved analysen av lastkondisjonene. Etter hvert som arrangementet ble endret underveis, måtte tilhørende utstyr også endre posisjon. For eksempel hadde vi først to motorrom, som vi ser i figur 5.2.1. Da vi endret arrangementet til ha et motorrom, ble alle motorene plassert inn i dette rommet. Kraner, skorstein og MOB-båt på hoveddekk ble flyttet på for bedre utnyttelse av dekkarealet.

5.5 Lastkondisjoner

I kapittel 4.5 kan vi se resultatene fra lastkondisjonene vi har testet skipet i. Vi utførte disse analysene i Maxsurf Stability ved å legge inn lastenheter og tanker inn i modellen. Disse ble tidligere utformet i Modeler modulen. Alle lastenhetene fra lettskipsvektanalysen ble lagt inn i “Load Case Window”, og alle tankene fra hovedarrangementet ble lagt inn i “Room Definition Window”. Tankene fylles opp med drivstoff, ferskvann eller sjøvann.

De kondisjonene vi har testet er de som står i MSC.267 (85) - INTERNATIONAL CODE ON INTACT STABILITY [16], som sier at skipet skal testet ved de to verste tilfellene: fullastet ved fulle tanker, og når det har ingen last med nesten tomme tanker. Dersom skipet kan håndtere disse kondisjonene på en god måte, kan man anta at alle andre lastkondisjoner imellom blir en lett utfordring.

Disse resultatene viser at skipet kan ta 335 tonn dekkslast og 2 tonn med forsyninger samtidig som drivstoff- og ferskvannstanker er oppfylt.

	Lettskip	Avgang lastet	Avgang ballast	Ankomst lastet	Ankomst ballast
Deplasement [t]	502	1239	1023	1159	902
Dypgang AP [m]	2,05	3,93	3,41	3,82	3,14
Dypgang midt [m]	1,99	3,93	3,41	3,72	3,11
Dypgang FP [m]	1,92	3,94	3,41	3,63	3,07
Trim [m]	0,13	-0,01	0,00	0,19	0,07
KG [m]	3,62	3,78	2,94	3,93	3,35
GM [m]	3,93	2,06	3,04	1,98	2,72
Hoggingmoment [tm]	833	1182	437	1299	779
Cb	0,59	0,64	0,61	0,62	0,59

Tabell 5.5.1: Diverse resultater fra lastkondisjonene.

Tabellen over viser at skipet har nok vannballastkapasitet til å holde seg til den nødvendige dypgangen og er i stand til å justere trim ned mot 0 ved alle lastkondisjonene. Ved ankomst ballast er 389 av 481 m³ med vannballast i bruk.

KG holder seg omtrent en meter under hoveddekk, noe som vi kan si oss fornøyd med. Dette gir en GM som holder skipet stabilt når det er lastet med containere på dekk. Stabiliteten er ikke et stort problem siden skipets L/B-forhold er nokså høyt. GZ-kurvene viser at skipet holder seg innenfor de kravene som er satt til den rettende armen ved krenkning. Max verdi på GZ-armen oppstår etter 40 graders krengevinkel, noe som er godt over kravet som er 30.

Blokk-koeffisienten holder seg innenfor en svingning på kun 0,05 siden skroglinjene og bulb er utformet slik at skipet skal fungere godt ved alle dypganger mellom 3-4 meter.

Analysene av langskipsstyrke viser at skroget vil påvirkes av et hogging-moment. Grunnen til at dette skjer er fordi netto last er negativ i seksjonen i midten av skipet der tverrsnittet er U-formet, og dermed presser oppdriften skipskroget oppover. Dette er et vanlig problem på denne typen skip siden man har mye last i form av maskineri bak, i tillegg til overbygg i front som legger vekt på endene til skroget.

Man kan redusere dette hogging-momentet ved å endre maskineriet til et system med azimuth-propeller, som drives av elektromotorer og et generatorsett for strømgenerering. Da kan man plassere hovedmotorene lengre fremover i skipet til det området hogging-momentet er størst siden man ikke trenger å ta hensyn til propellakslinger.

Resultatene fra Maxsurf Stability viser at dette skipet kan håndtere en stor mengde dekkslast samtidig som tankene er fylt, er stabilt og ligger fint i sjøen. De viser også at skipet håndterer tilfellene der det ikke er last ombord. Vi har nådd målet vårt som var at skipet skal kunne ta 10 containere på 30 tonn hver og håndtere ballastkondisjonene på en god måte.

5.6 Regelverk

I dette kapitlet drøftes skipets stabilitet og arrangement opp mot regelverket i kapittel 2.10.

Stabilitet

Under prosjekteringen har vi tatt hensyn til reglene som gjelder for vårt type skip. Dette har ikke vært noe problem, både når det gjelder stabilitetskriterier og arrangement. I kapittel 2.10 er det listet opp de forskjellige reglene angående stabilitet som vi må oppfylle for skipet vårt ved de ulike lastkondisjonene. Vi har laget lastetilstander ut ifra regel 3.4.1.2 om lastekondisjoner for et lasteskip.

I kapittel 4.5 presenteres resultatene ved de ulike lastkondisjonene. På figur 4.5.4 i resultatkapitlet ser vi GZ-kurven til lettskip-kondisjonen, og i tabell 4.5.3 ser vi stabilitetsresultatene sammenlignet med regelkravene fra §19 (2) ved denne kondisjonen. I denne tabellen ser vi kravene mellom krengevinkel 0 til 30, 0 til 40, og 30 til 40. Det er også listet opp maksimum GZ, vinkel ved maksimum GZ, og krav for GM. Som vi ser står det ”Pass” ved hvert kriterium, som betyr at vi har bestått alle kravene for stabilitet ved denne lastkondisjonen. Dette er automatisk beregnet i Maxsurf Stability, og om noen av kravene ikke hadde vært oppfylt ville det stått ”Fail”. Resultatene fra de andre lastkondisjonene ser vi fra kapittel 4.5.3 til 4.5.6. Her er regelkravene også oppfylt.

Ifølge punkt 2.1.2 ved §32 (1) skal fri overflate effekt gjøres rede for i hver kondisjon. Dette er ikke lagt ved i resultatkapitlet, så dermed ser vi fri overflatemoment i tabellen under. Lettskip er ikke vedlagt i tabellen fordi i denne kondisjonen er det ingen fri overflatemoment. Under ”Total FSM tonne m” ser vi total overflatemoment til alle kondisjonene i tonn meter.

Ved ankomst ballast oppstår det klart mest moment, dette kommer av at mange av ballasttankene er delvis fylt opp og drivstoff er på 10 % i denne kondisjonen, noe som medfølger moment ved nesten alle tankene. Ser vi på ankomst lastet kondisjonen er det totale momentet minst her. Årsaken til dette er at nesten alle ballasttankene i denne kondisjonen er enten fulle, eller helt tomme. Når tankene er enten 0 % eller 100 % fylt opp medfølger det ingen fri overflatemoment, noe som resulterer i at ankomst lastet kondisjonen har minst total overflatemoment.

Kapittel 5 – Drøfting

	Total Mass t	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long arm m	Trans arm m	Vert arm m	Total FSM tonne m
Avgang lastet							
Total Loadcase	1238,661	668,950	426,855	-1,288	0,000	3,679	119,389
FS correction						0,096	
VCG fluid						3,776	
Avgang ballast							
Total Loadcase	1022,633	668,950	542,926	-0,859	0,000	2,779	163,596
FS correction						0,160	
VCG fluid						2,939	
Ankomst lastet							
Total Loadcase	1158,641	668,950	340,108	-1,327	0,000	3,773	186,294
FS correction						0,161	
VCG fluid						3,934	
Ankomst ballast							
Total Loadcase	901,994	668,950	416,550	-0,656	0,000	2,925	385,906
FS correction						0,428	
VCG fluid						3,353	

Tabell 5.6.1: Total fri overflatemoment ved alle kondisjonene utenom lettskip.

Ifølge punkt (3) i §32 skulle vi også utarbeide slepetilstander for skipet vårt. Skipet skal oppfylle kravene fra §34, punkt (a) og (b). Dessverre har ikke vi hatt mulighet til å utføre disse tilstandene forårsaket at vi ikke har mulighet til å modellere dette i Maxsurf Stability. Det er ikke mulig å legge inn den kraften som kreves, for så å sjekke GZ. Vi har heller ikke bakgrunn for å gjøre dette på en annen metode.

Arrangement

Vi sjekker opp reglene for arrangement opp mot skipet vårt. Som vi ser på hovedarrangementet i figur 4.1.1 i kapittel 4.1 er det montert inn dobbeltbunn fra kollisjonsskottet til aktre thrusterrom. Samtidig er den indre bunnen forlenget ut til sidene, og har en høyde på 1200 og 1800 mm. Dette oppfylder kravene fra punkt 1 og 2 i regel 9 i lastelinjekonvensjonen. Der står det at indre bunn skal ikke i noen tilfeller være mindre enn $h = 12000 \text{ mm} / 20 = 600 \text{ mm}$, eller 760 mm om høyden er mindre. Kollisjonsskottet er plassert 4,5 meter fra forre perpendikulær, og dette sjekker vi opp mot regel 12, punkt 1. Ifølge denne regelen skal skottet være plassert mellom $0,05 \times 40 \text{ m} = 2 \text{ meter}$, og $0,05 \times 40 \text{ m} + 3 = 5 \text{ meter}$ fra FP. Vi har også innfridd regel 12 punkt 4, og punkt 9 dersom vi installerer vanntette dører.

Lysventilene på skipet er plassert i overbygg, ca. 1500 mm over skottdekket. Dette gjør at regel 15 punkt 3.1 og 5.1 er innfridd. Når det gjelder fribord må vi ifølge regelen fra §47 som sier at minstekravet for fribord er 334 mm. Skipet vårt ligger på 800 mm maks i fribord, så vi befinner oss godt innenfor kravet.

5.7 Hydrodynamikk

5.7.1 Modellforsøk

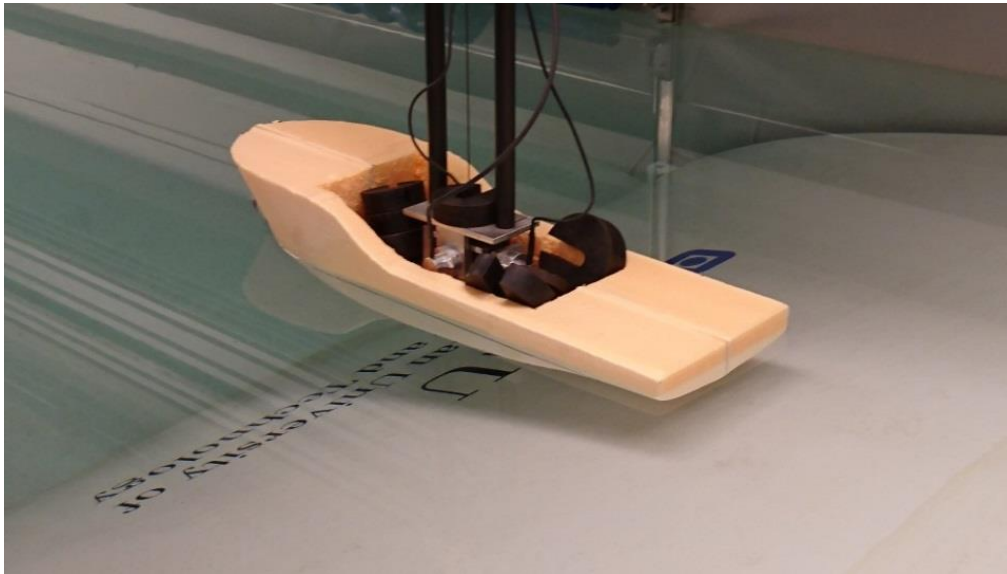
Modellforsøket var en vellykket og lærerik metode for å finne slepemetstanden til skipet, og det var godt å få et lite avbrekk fra rapportskrivningen ved å gjøre noe praktisk. Resultatet av testen er presentert i kapittel 4.7.1.

Ved å gjennomføre et modellforsøk fant vi modellens slepemetstand, noe vi trengte for å regne videre på motstand og propulsjon til skipet i full skala. Før vi hadde gjennomført testen hadde vi bare brukt empiriske grafer og tabeller for å gjennomføre beregningene, noe som ga unøyaktige svar. Ved å bruke verdiene fra modellforsøket ble svarene slik som vi hadde forventet, både for motstanden og propulsjonsdelen.

Studerer vi resultatene fra alle rundene av modellforsøket ser vi at det er litt avvik. Motstandene befinner seg mellom 1,059 N og 1,216 N. Gjennomsnittet av dette gir et bra estimat for slepemetstanden, men det blir ikke 100 % nøyaktig. Selv om modellforsøket var vellykket og ga oss et fornuftig resultat, var det selvsagt flere avvik som må være med i betraktningene. For det første opplever et skip i fullskala appendixmotstand i form av vedheng som stikker ut av skipet, som akslinger, ror, slingrekjøler og liknende. Modellen har ikke noen vedheng som dette og vil derfor oppleve en mye mer laminær strømming. Ruhetstillegget vi la til i form av slipepapir hjelper for å få en mer liknende strømming som et fullskala skip opplever, men det er umulig å si om det er godt nok. Luftmotstand er også noe skip i fullskala opplever til en viss grad, mens modellen inne i slepetanken får en luftmotstand som er neglisjerbar.

Et annet avvik med testen er at modellen ikke fikk 100 % riktig dypgang når den ble lastet. Dette førte til at vi måtte fjerne 0,5 kg fra modellen for at det skulle bli riktig. Årsaken til dette er mest sannsynlig vekten til armen som skrues fast i lasterommet. Vi valgte å estimere at den veier 0,5 kg fordi beregningene som er gjort for deplasement i den dypgangen er riktig. Vektene var ikke jevnt fordelt nede i lasterommet, de ble plassert for å få modellen til å ligge så stabilt som mulig.

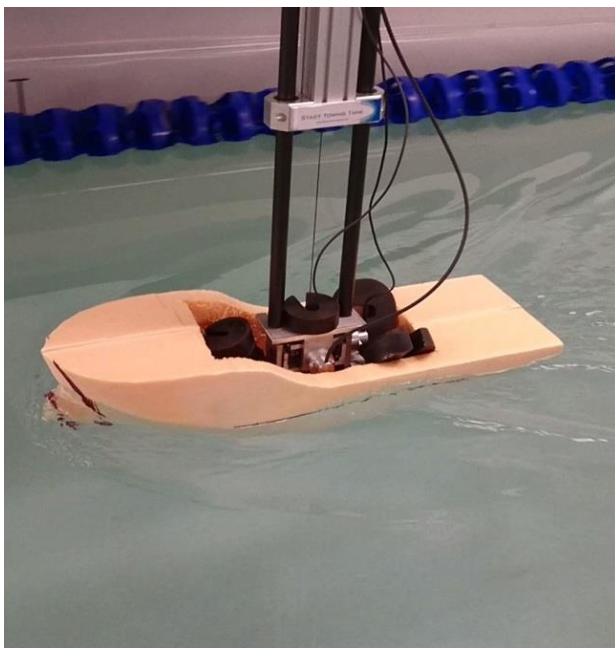
I figur 5.7.1 ser vi hvordan modellen trimmer litt, og hvordan vektene er plassert i lasterommet. Da vi var ferdig med testingen var det en del vann inn i lasterommet. Dette kan ha medført at vekten til modellen ble økt, men ikke så mye at det spiller noen stor rolle for resultatet.



Figur 5.7.1: Modellen med DWL.

Ved hjelp av modellforsøk har man mulighet til å finne formfaktor, som er en korreksjon av friksjonsmotstanden for å ta hensyn til skipets fylldighet. Denne fylldigheten fører til økt hastighet rundt skroget, som igjen fører til økt friksjonskraft. Formfaktoren antas å være lik for modell og fullskala, så man kan finne den ved å slepe modellen ved så lav hastighet at den ikke lager bølger. Vi valgte å se vekk fra formfaktoren, og dermed ikke utføre denne delen i modellforsøket. Dette har ikke noe å si på motstanden beregnet for modellen, men når man skal skalere til fullskala benyttes formfaktoren når restmotstanden skal beregnes [53].

På figur 5.7.2 ser vi hvordan modellen bryter gjennom vannet og hvordan bølgedannelsen ser ut rundt modellen. Det brytes ikke perfekt gjennom vannet og det skyves en del vann ved bulben som medfører økt motstand, men merk at dette er ved fullastet dypgang.



Figur 5.7.2: Bølgedannelse rundt modell.

5.7.2 Skrogrmotstand, propulsjon, effekt og virkningsgrader

Å ha muligheten til å utføre en slepetest er veldig nyttig med tanke på beregninger av motstand og propulsjon. Det er imidlertid en rekke feilkilder som kan diskuteres i tilknytning til kapittelet om hydrodynamikk. I dette delkapittelet diskuteres forutsetninger og en rekke avvik som kan ha oppstått. Flere effekt-verdier og virkningsgrader er regnet ut på forskjellige måter for sammenligning.

Motstand

I delkapittel 2.9.1 tar vi utgangspunkt i følgende verdier for kinematisk viskositet: $\nu_{sw} = 1,19 \cdot 10^{-6}$ og $\nu_{fw} = 1,14 \cdot 10^{-6}$. Disse verdiene har vi tatt fra tidligere notater og er dermed ikke helt nøyaktig. Verdiene er imidlertid kontrollert opp mot tabeller for kinematisk viskositet med gitt temperatur, og det viser seg at de stemmer bra med antatt temperatur i sjø og tank. For å oppnå mer nøyaktige resultater kunne vi målt temperaturen i slepetanken og utført manuelle beregninger. Vi kunne også brukt en gjennomsnittlig sjøtemperatur fra hele året, og gjort det samme for ν_{sw} .

Når det kommer til restmotstand har vi bare operert med restmotstandskoeffisienten C_R . Vi har ikke tatt i bruk formfaktor, skalert luftmotstand eller regnet ut øvrige spesifikke motstandstillegg (appendixmotstand). Vi har regnet ut friksjonskoeffisienten fra ITTC-formelen og brukte den sammen med koeffisienten for total motstand for å finne C_R . For å oppnå en mer nøyaktig verdi for restmotstandskoeffisienten kunne vi lagt mer vekt på skalering og dekomponering av restmotstanden og regnet ut C_R fra grunnen av.

Etter vi regner ut slepemotstanden i full skala ganger vi totalmotstanden med 0,4. Ruheten til modellen vil ikke gjenspeile slepemotstanden som virker på skipsskroget i full skala, og vi tar hensyn til dette ved å innføre denne faktoren for korrigerings. Dette kommer av ruhetsforskjellen mellom stål og skum-materialet modellen er laget av. Flere tester har blitt gjennomført nede i tanken, og ut ifra disse gir verdien 0,4 et foreløpig brukbart resultat. En sammenligning av slepemotstanden vi har fra utregningene våre med resultatene fra Maxsurf Resistance viser også at en faktor på 0,4 stemmer bra.

Propulsjon

I delkapittel 3.8.3 har vi regnet ut thrustkraften ved bruk av to forskjellige metoder. I den første og generelt mer nøyaktige metoden har vi tatt i bruk en empirisk tabell for thrustreduksjonsfaktor, for så å bruke et friprøvediagram til å finne thrustkraften. Vi har gjort flere forsøk på å få tak i et friprøvediagram med vår propellkarakteristikk uten resultater. Vi har derfor tatt utgangspunkt i et diagram for en vilkårlig CPP utstyrt med dyse og et P/D-forhold på 1.1. Et unøyaktig friprøvediagram vil fort føre til betydelige avvik når man f.eks. skal lese av thrustkoeffisienten med et gitt framgangstall. Dette diagrammet gir oss derimot en god indikasjon på hva koeffisientene vil være, siden diagrammet og propellene våre deler de samme hovedtrekkene. På en annen side er P/D-forholdet på 1.1 generelt høyt for en arbeidsbåt med fokus på slepeegenskaper. Metoden har gitt oss en total thrustkraft på 218 kN. Et mer passende friprøvediagram hadde vært gunstig for videre beregninger.

Den andre metoden vi har brukt for å regne ut thrustkraften er ved direkte utregning med slepemotstand og thrustkoeffisient. Utregningen har gitt oss en thrustkraft på 191 kN. Metoden for direkte utregning er ikke like grundig som den andre, men friprøvediagrammet er som sagt ikke helt nøyaktig. Det er derfor sannsynlig at en total thrustkraft på 218 kN er for mye. Thrustkraften er høy siden fartøyet er dimensjonert etter tauekraften.

For å regne ut levert effekt til propell har vi brukt motorytelsen fra spesifikasjonen og fått 727 kW. Denne effekt-verdien har vi også regnet ut ved å finne momentkoeffisienten fra friprøvediagrammet. Fra metode-kapittelet ser vi at denne framgangsmåten har gitt en levert effekt på 998 kW. Igjen ser vi at diagrammet vårt har gitt en høyere verdi enn antatt. For å drive skipet fremover med en hastighet på 12 knop og et turtall på 292 rpm, viser det seg at motorytelsen i spesifikasjon er for lav. Vi har derfor regnet ut en ny motoreffekt ved å bruke den leverte effekten vi har funnet med dreiemomentet.

Kapittel 6

Konklusjon

Det finnes utallige metoder og dataprogrammer dagens skipsingeniører kan ta i bruk for å prosjektere et fartøy. Denne rapporten viser vår framgangsmåte for hvordan man prosjekterer en arbeidsbåt og kommer frem til et fullverdig hovedarrangement. På bakgrunn av hva vi har lært i løpet av studieforløpet har vi kommet frem til en akseptabel løsning på den gitte problemstillingen. Vi startet prosessen ved å ta hensyn til krav om dimensjoner og arrangement, og vi sørget for at kapasitetskravene alltid var oppfylt. Med kunnskaper om hydrodynamikk klarte vi også å sjekke at skipet vårt hadde tilstrekkelig stabilitet og tauekraft.

Om vi hadde mer tid til å jobbe med prosjektet kunne vi vurdert å ta i bruk andre mulige propulsjonssystem, regnet mer på strukturen til skipet og laget klasses tegninger. Vi kunne også ha fokusert mer på lettskipsvekten og regnet videre på propulsjon og effektbehov.

Prosjektgruppen hadde som mål fra dag én om å jobbe jevnt og effektivt gjennom hele semesteret. Vi har fordelt arbeidsoppgaver innad i gruppen på en strukturert og god måte. Ved å være tre gruppe medlemmer har vi klart å arbeide parallelt og effektivt med arbeidsoppgavene. Det å jobbe i prosjekt har vært en god motivasjonsfaktor, og har gjort dette til en svært lærerik prosess. Både veileder og oppdragsgiver har vært til god hjelp gjennom prosjektet, og har gitt oss verdifull informasjon som vi har implementert i arbeidet.

Det er selvsagt mye utvikling og detaljer som står igjen før arbeidsbåten kan realiseres og bygges, men resultatene våre tyder på at vi er på god vei. Det er fullt mulig å bygge videre på vårt prosjekt for å lage et komplett design av en arbeidsbåt som skal kunne utføre nødvendige arbeidsoppgaver for oppdrettsnæringen.

Referanser

- [1] Norsk Industri. Svolvekonferansen – Foredrag om arbeidsbåter 2015. Internett: norskindustri.no; [hentet 2016-04-20]. Tilgjengelig fra: https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/foredrag/2015/svolvaer_foredrag_strand.pdf
- [2] Fraktestoføyenes rederiforening. Marine Supply bygger servicefartøy for oppdrettsnæringen. Internett: Fraktestoføyene.no; [hentet 2016-05-31]. Tilgjengelig fra: <http://www.fraktestoføyene.no/2015/08/12/marine-supply-bygger-servicefartoy-for-oppdrettsnaeringen/>
- [3] Skipsrevyen. Skipsrevyen båtomtaler 2013 M/S MULTI SERVER. Internett: Skipsrevyen.no; [hentet 2016-03-20]. Tilgjengelig fra: <http://www.skipsrevyen.no/ms-multi-server/>
- [4] Maritime. Maritime nyheter. Internett: maritime.no; [hentet 2016-03-20]. Tilgjengelig fra: <http://maritime.no/nyheter/leverte-ny-arbeidsbat/>
- [5] Intrafish. Internett: intrafish; [hentet 2016-03-20]. Tilgjengelig fra: http://www.intrafish.com/incoming/article1395901.ece/alternates/article_main/Steigen_205.jpg
- [6] Halse. K.H. ShipDesign kompendium Powerpoint. Skipsdesign 2.
- [7] Gaspar. H. Week 35 – Terminology & Definitions Powerpoint. Skipsdesign 1.
- [8] Halse. K.H. PowerPoint 2 – Linjetegning. Skipsdesign 2.
- [9] Halse. K.H. PowerPoint 6 – Skrogutforming. Skipsdesign 2.
- [10] Halse. K.H. PowerPoint 5 – Undervannsskrog. Skipsdesign 2.
- [11] H. Schneekluth, V. Bertram. Ship Design for Efficiency and Economy. 2. utg. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1998. 220 s.
- [12] Halse. K.H. PowerPoint 10 – Propellplassering. Skipsdesign 2.
- [13] Bentley. Bentley products. Internett: Bentley.com; [hentet 2016-04-3]. Tilgjengelig fra: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/offshore-structural-analysis-software/maxsurf>
- [14] T. Våge. PowerPoint Vektestimering. Ulsteinvik: Ulstein Design.
- [15] A.J. Sollied. Strukturdesign av skip. Ålesund: 2009. 52 s.
- [16] MARITIME SAFETY COMMITTEE. MSC.267 (85) - INTERNATIONAL CODE ON INTACT STABILITY. Internett: imo.amsa.gov.au; [hentet 2016-04-21]. Tilgjengelig fra: <https://imo.amsa.gov.au/secure/res-msc/267-85.pdf>
- [17] Transport Canada. Ballast water defined. Internett: tc.gc.ca; [hentet 2016-04-021]. Tilgjengelig fra: <https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/oep-environment-ballastwater-defined-249.htm>
- [18] Neeley-Chaulk. Narciki. General Arrangement. Internett: Neeley-Chaulk.com; [hentet 2016-04-10]. Tilgjengelig fra: http://www.neeley-chaulk.com/narciki/General_arrangement

- [19] Ratson. Landing Craft General Arrangement. Internett: Ratson.com; [hentet 2016-04-10]. Tilgjengelig fra: <http://www.ratson.com/landingcraft/landingcraft45m.htm>
- [20] Tessem, N. Stabilitet. Internett: Store norske leksikon; [hentet 2016-04-19]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/stabilitet>
- [21] Gaspar. H. PowerPoint Week 38 & 39. Skipsdesign 1.
- [22] McClary, D. Understanding the all-revealing GZ curves. Internett: Sailboat-Cruising.com; [hentet 2016-04-06]. Tilgjengelig fra: <http://www.sailboat-cruising.com/gz-curves.html>
- [23] Gaspar. H. PowerPoint Week 40 & 42. Skipsdesign 1.
- [24] Boatdesign.net . Internett; [hentet 2016-04-06] Tilgjengelig fra: <http://www.boatdesign.net/forums/attachments/sailboats/49113d1288356027-ezelfin-sectional-area-curve-4054164609736.jpg>
- [25] Gaspar. H. PowerPoint Week 36. Skipsdesign 1.
- [26] Forskrift om bygging av skip. 2014. Forskrift om bygging av skip m.v. av 2014-07-01 nr. 1072.
- [27] 2008 IS Code. 2008. Adoption of the international code on intact stability m.v. av 2016-12-04.
- [28] International Convention on Load Lines. 1996. m.v. av 1996-04-05.
- [29] Pon Equipment AS. Caterpillar marine propulsion engine C32 dita acert. [hentet 2016-02-26]. 14 s.
- [30] Mjosundet båt og hydraulikk A/S. T-1754 Pristilbod. 04. 2016 Jan: 10 s.
- [31] Narwhal inflatable craft. S.O.L.A.S Rescue boat SV- 420. 11 s.
- [32] Bergen Hydraulic AS. PKM 550 [Internett]. Bergen; [hentet 2016-02-10]. Tilgjengelig fra: <http://www.bghyd.no/kraner/pkm-knekkarmskraner/53/pkm-550>
- [33] Bergen Hydraulic AS. PKM 1450 [Internett]. Bergen; [hentet 2016-02-10]. Tilgjengelig fra: <http://www.bghyd.no/kraner/pkm-knekkarmskraner/50/pkm-1450>
- [34] Rapp Hydema Syd.[Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-02-11]. Tilgjengelig fra: <https://www.hydemasyd.com/media/1072/hch-03-5.pdf>
- [35] Rolls-Royce. Steering gear. [Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-02-18]; 5 s. Tilgjengelig fra: <http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/steering-gear.pdf>
- [36] KEW. Poseidon 2-20X. [Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-03-02]; 8 s. Tilgjengelig fra: http://kewparts.com/uploads/2/7/2/3/2723556/kew_catalog.pdf
- [37] Seatronic Båttutstyr AS [Internett]. Moss; [hentet 2016-03-02]. Tilgjengelig fra: <http://www.seatronic.no/>
- [38] Bad.no [Internett]. Bergen; [hentet 2016-02-11]. Tilgjengelig fra: <https://www.bad.no/p-5b688346/gulvmontert-toalett/aqualux-2000-toalett-med-dobbelspyl-s-laas-og-sete>

- [39] Bad.no [Internett]. Bergen; [hentet 2016-02-11]. Tilgjengelig fra: <https://www.bad.no/p-4ccaf1e0/dusjkabinett/macro-fjord-rett-dusjkabinett-90x80-servicehylle-uten-dusjbatteri-matt-hvit-screen-glass-venstre>
- [40] Skousen [Internett]. Oslo; [hentet 2016-02-10]. Tilgjengelig fra: <http://www.skousen.no/hvitevarer/vaskemaskin/kombinert-vask-tork-maskin/product/Ig-fl1695rdh/>
- [41] Ebay [Internett]. Plymouth; [hentet 2016-02-10]. Tilgjengelig fra: <http://www.ebay.co.uk/itm/COBRA-MRF77B-VHF-GPS-RADIO-MARINE-YACHT-MOTORBOAT-POWER-BOAT-GREY-/221930902620>
- [42] Petter's Marine Hydraulics. Keep Position [Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-02-18]; 2 s. Tilgjengelig fra: http://pmh.no/wp-content/uploads/2015/12/pmh_kp-200.pdf
- [43] Vision X. Pitmaster series [Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-02-11]; 4 s. Tilgjengelig fra: http://www.skipsutstyr-polarlight.no/files/Pitmaster_info.pdf
- [44] Ibak Marine. Marine Searchlight [Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-02-12]; 2 s. Tilgjengelig fra: <http://www.ibak-marine.com/fileadmin/Hunger/IBAK-marine/Downloads/Prospekte/NHS350.pdf>
- [45] Witt, K.C. Energy Efficient Engine Room Ventilation [Elektronisk artikkel]. [hentet 2016-02-12]; 3 s. Tilgjengelig fra: <http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/Witt.pdf>
- [46] Comfort AS [Internett]. Skedsmo; [hentet 2016-02-12]. Tilgjengelig fra: <http://www.comfort.no/varme-og-inneklima/varmtvannsbereeder/boligberegder/hoiax-titanium-expand-300-liter>
- [47] Autodesk produkter. Internett: Autodesk.no; [hentet 2016-04-2]. Tilgjengelig fra: <http://www.autodesk.no/products/autocad/overview>
- [48] Tutorial45. Hva brukes AutoCAD til. Internett: Tutorial45.com; [hentet 2016-04-2]. Tilgjengelig fra: <http://tutorial45.com/what-is-autocad-used-for/>
- [49] Study. Hva er AutoCAD. Internett: Study.com; [hentet 2016-04-2]. Tilgjengelig fra: http://study.com/what_is_auto_cad.html
- [50] Henrique Gaspar. Week 42 - Loads that affect stability. List and Trim Calculations. Powerpoint. Skipsdesign 1.
- [51] Solstad Offshore. PSV flåte. Internett: solstad.no; [hentet 2016-04-27]. Tilgjengelig fra: <https://solstad.no/blog/fleet/normand-arctic/>
- [52] FSV Group. Fartøysliste Internett: fsvgroup.no; [hentet 2016-04-27]. Tilgjengelig fra: <http://www.fsvgroup.no/fartoy>
- [53] Kamsvåg. Ø. PowerPoint Part 1. Motstand. 2015. 68.s.
- [54] Reynolds Number [Internett]. USA: National Aeronautics and Space Administration; 2014-06-12 [hentet 2016-05-03]. Tilgjengelig fra: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/BGH/reynolds.html>

- [55] Viscosity & Density [Internett]. Wilmslow, UK: Pipeflow; [hentet 2016-05-10]. Tilgjengelig fra: http://www.pipeflow.com/public/documents/Viscosity_And_Density_Units_And_Formula.pdf
- [56] Kamsvåg. Ø. PowerPoint Part 2. Motstand (Friksjon- og totalmotstand). 2015. 105.s.
- [57] Kasten. M. Controllable Pitch Propellers. [Internett]. USA; [hentet 2016-05-03]. Tilgjengelig fra: <http://www.kastenmarine.com/CPprops.htm>
- [58] Nerland. K. PowerPoint Part 4. Marine Hydrodynamics – Propulsion: Propulsor Types (Friprøvedigram, CPP, FPP & Dyse). 2015. 31.s.
- [59] SCP Controllable-Pitch Propeller [Internett]. Spay, Tyskland: Pipeflow; [hentet 2016-05-10]. Bilde tilgjengelig fra: <http://www.schottel.de/marine-propulsion/scp-cp-propeller/>
- [60] Twin Screw Vessels and Bank Effects [Internett]. USA: Marginal Maritime Advice; 2008-10-23 [hentet 2016-05-03]. Tilgjengelig fra: <http://marginalmaritimeadvice.blogspot.no/2008/10/lesson-37-twin-screw-vessels-and-bank.html>
- [61] Ducted Twin Screw [Internett]. California, USA: Oscar Niemeth Towing, Inc; [hentet 2016-05-10]. Bilde tilgjengelig fra: <http://www.oscartugs.com/index.cgi?page=img.html>
- [62] Nerland. K. PowerPoint Part 2. Marine Hydrodynamics – Propulsion: Propeller Characteristics (Åpent-vann test). 2015. 28.s.
- [63] MAN Diesel & Turbo. Propeller Propulsion, Kapittel 2. Basic Principles of Ship Propulsion. København, Danmark. 2011. s. 14-26.
- [64] Nerland. K. PowerPoint Part 3. Marine Hydrodynamics – Propulsion: Propulsive Factors og Resistance and Propulsion Tests (Thrustreduksjon, rotasjon-, skrog- og mekanisk virkningsgrad). 2015. 27.s.

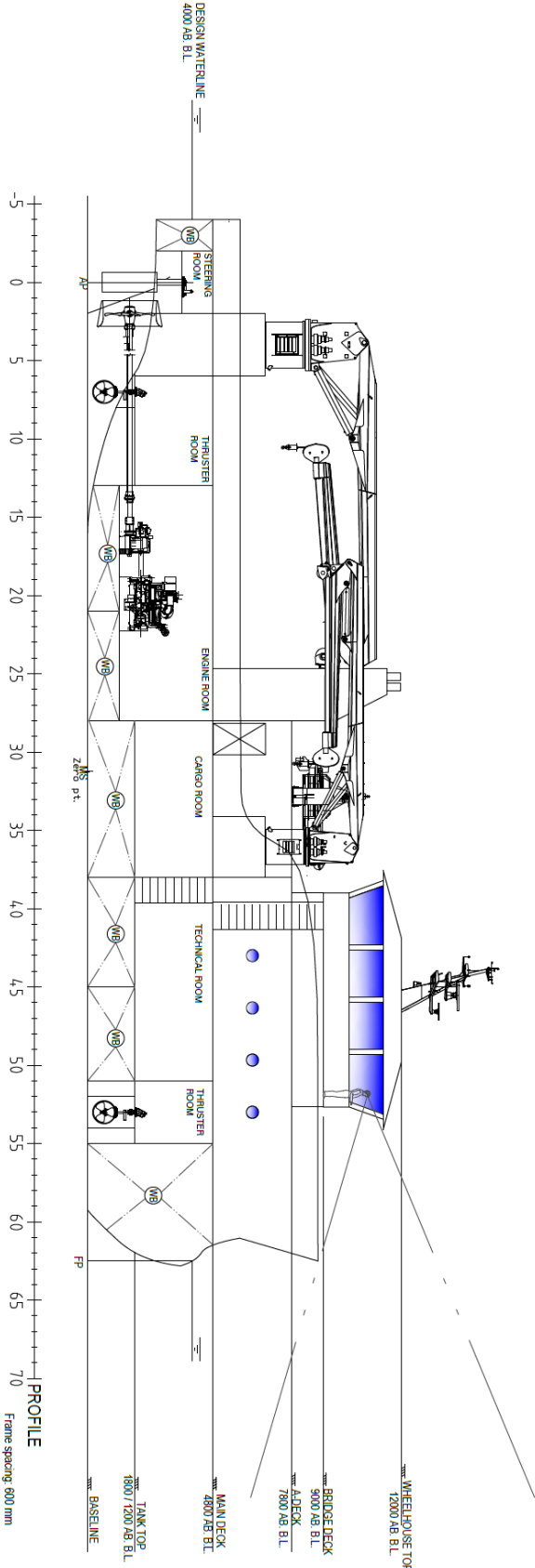
Vedlegg

Prosjektplan

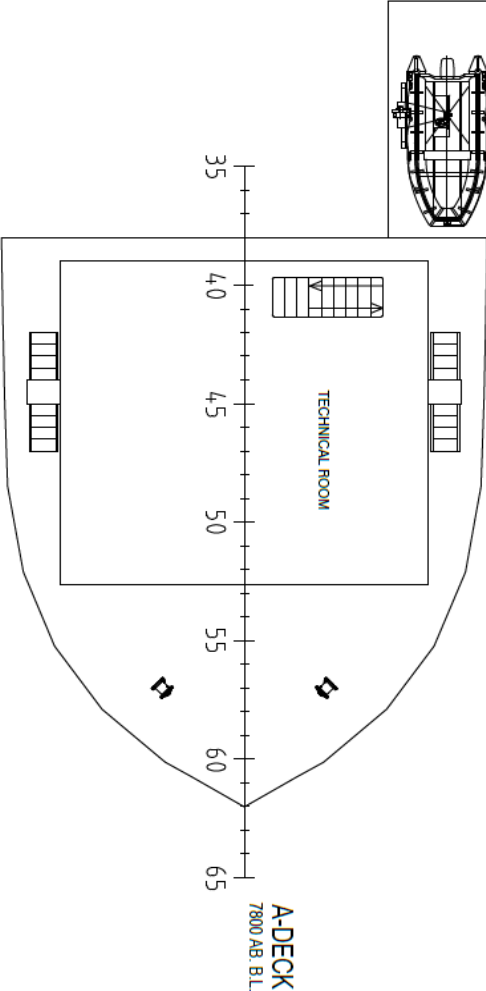
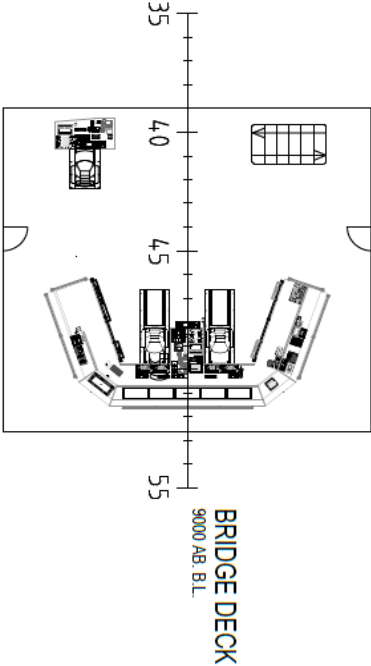
	Uke	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Aktivitet																					
Studere spesifikasjon, danne egen oversikt	AOM										P										
Skissere første GA	M										A										
Startverdier på dimensjoner: LBDTC _g	AOM										S										
Propulsjon	O										K										
Lage oppsettet av GA i AutoCAD, tekst, spærtebøll etc	M										E										
Uthorning av linjer v1.0 i Maxsurf	M										F										
Hente informasjon om utrustning, vekt og dimensjoner	A										E										
Letskyvekarakteristikk: regneark	A										R										
Plassere dekk	AOM										I										
Plassere utrustning	AOM										E										
Plassere lasteløker	AOM																				
Plassere vannrette skott	AOM																				
Plassere hovedmotor, gir, aksel, propell, ror	AOM																				
Plassere thruster	AOM																				
Plassere tanker	AOM																				
Lage/endre 3 snitt av fartøyet i Nautilus: hekk, midt og baug	O																				
Utføre analyse av stabilitet, lastkondisjoner, Maxsurf Stability	M																				
Vurdere resultater fra beregninger/analyser, drøfte endringer	AOM																				
Optimalisering av dimensjoner																					
Opt. av arrangement																					
Opt. av linjer																					
Opt. av vektfordeling																					
Opt. Nautilus																					
Opt. Lastkondisjoner																					
Vurdere resultater fra beregninger/analyser, drøfte endringer																					
Tegne GA i AutoCAD																					
Skrive teknisk rapport																					
Lage presentasjon av prosjektet																					

Større versjon av GA og planer (PDF)

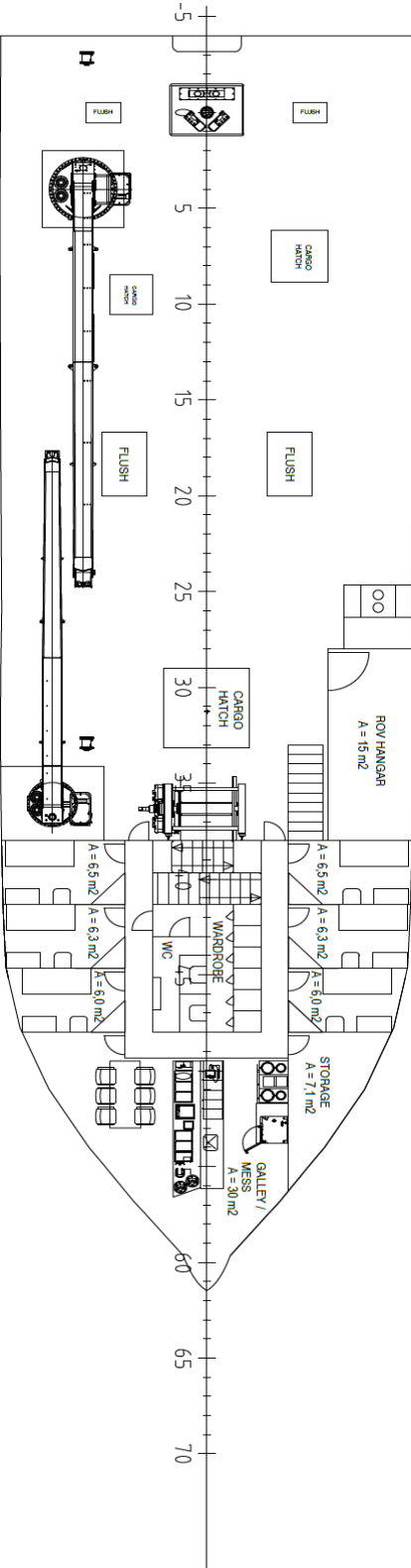
Profilsnitt senter



Bro og A-dekk

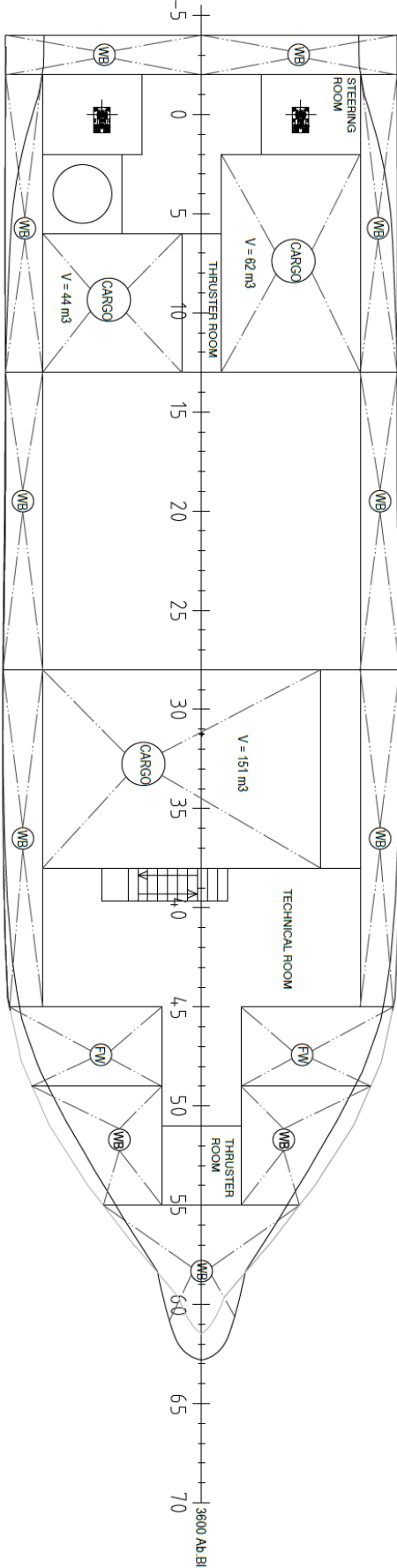


Hoveddekk

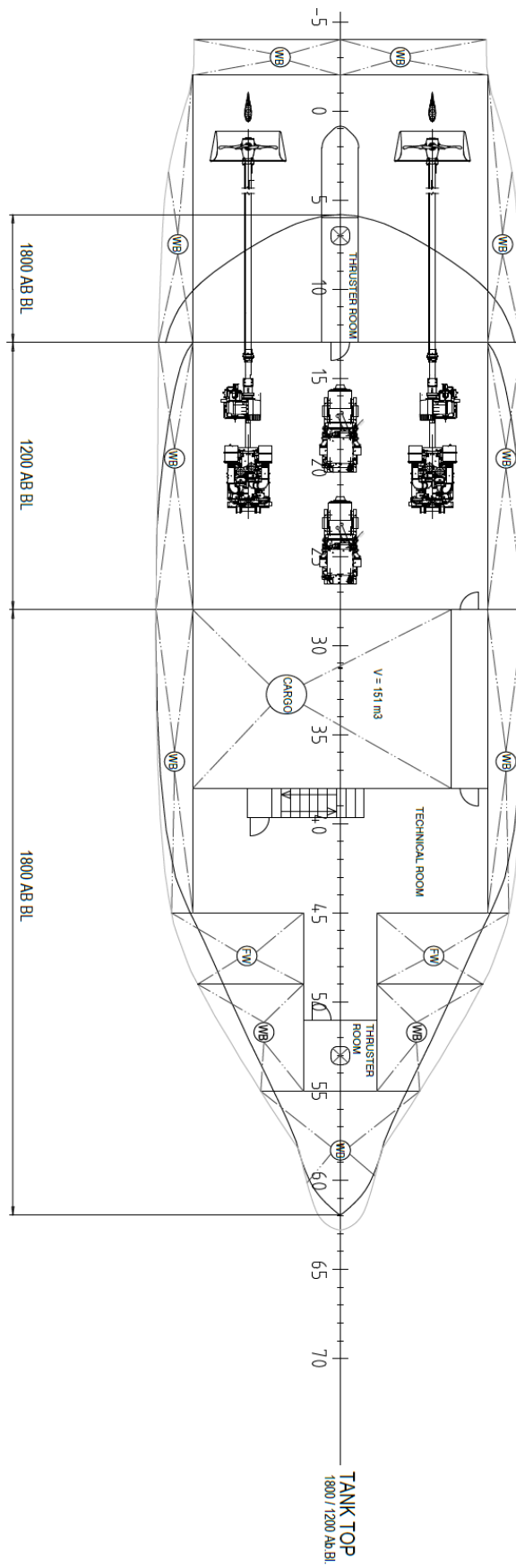


MAIN DECK
4800 AB, BL

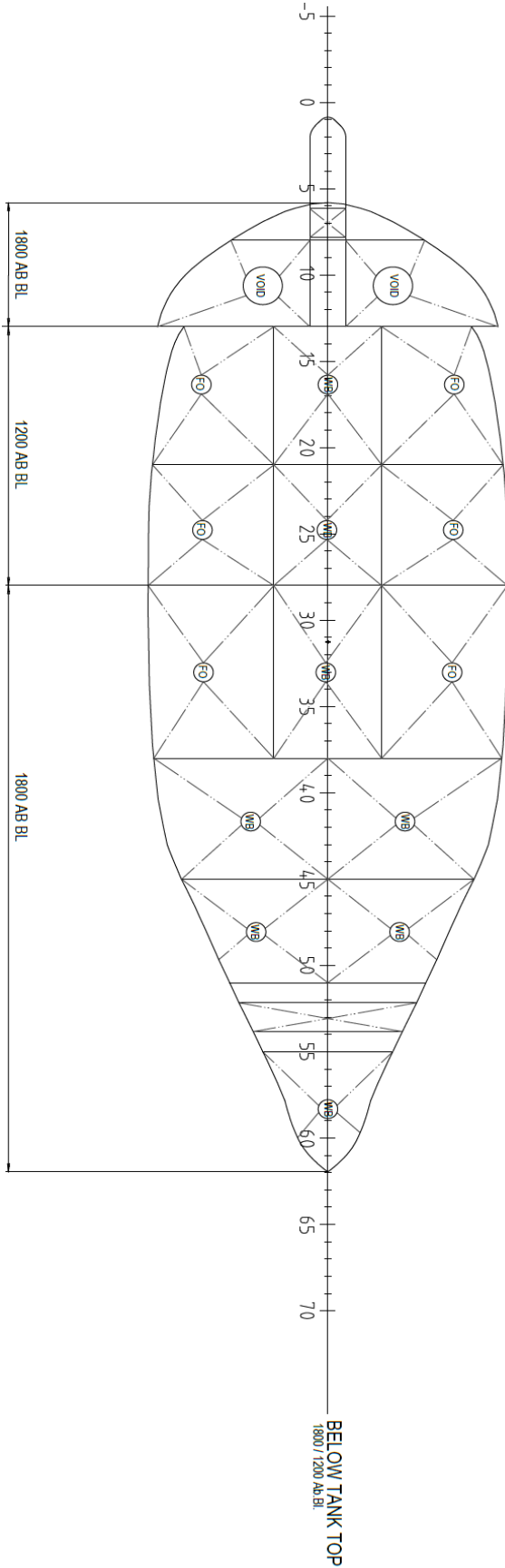
3600 mm over basisinjen



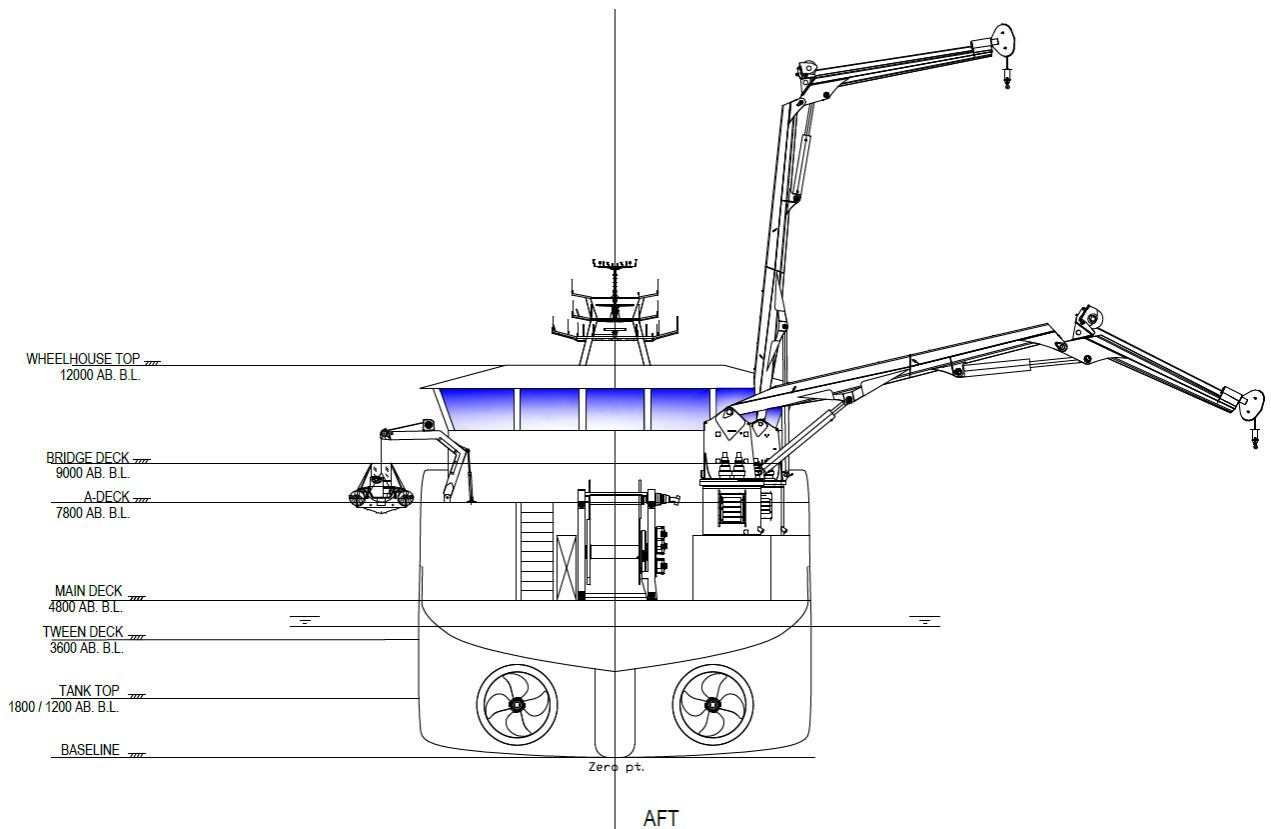
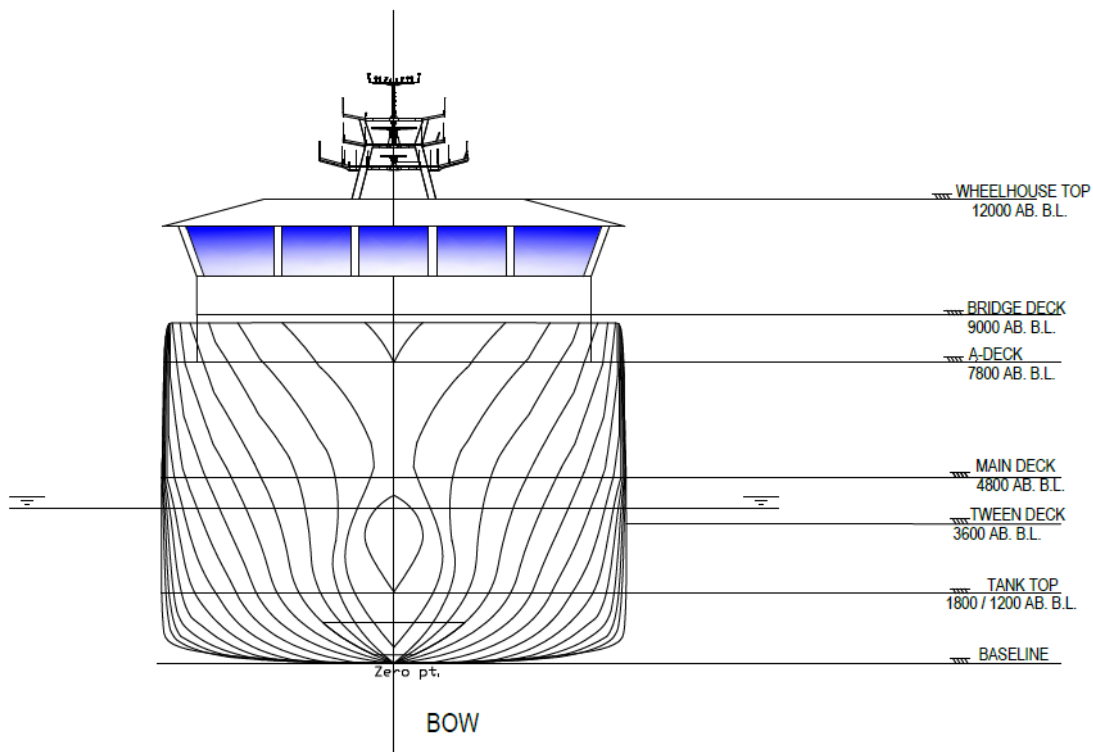
Tanktop



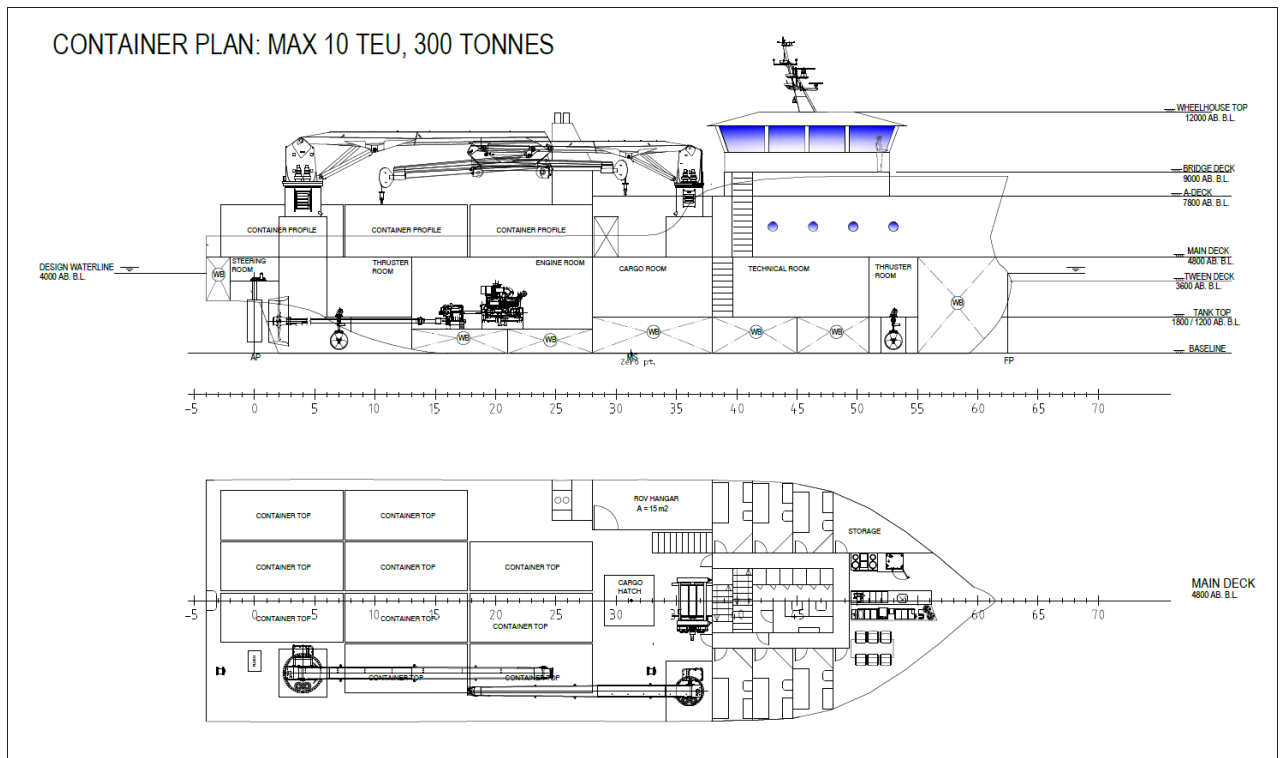
Under tanktop



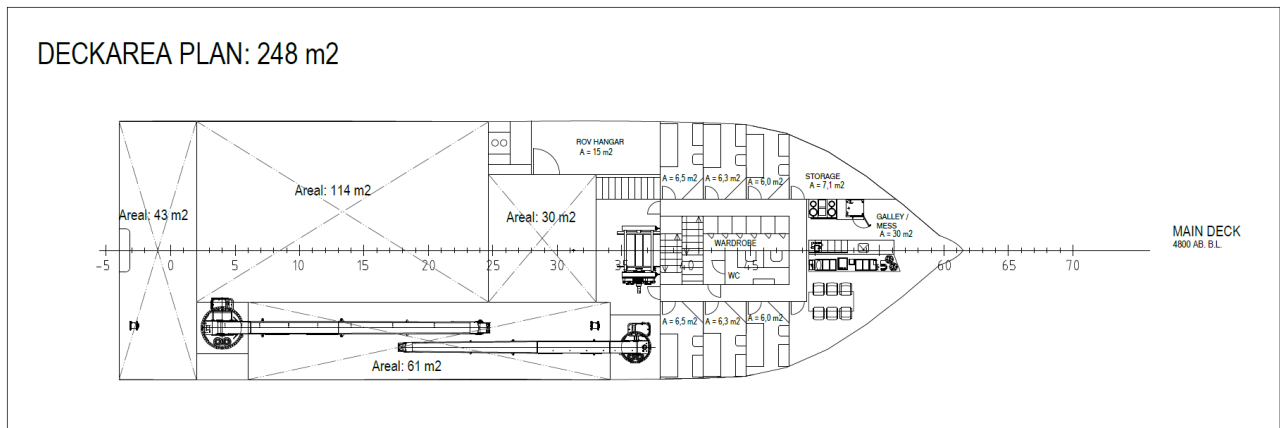
Baug og hekk



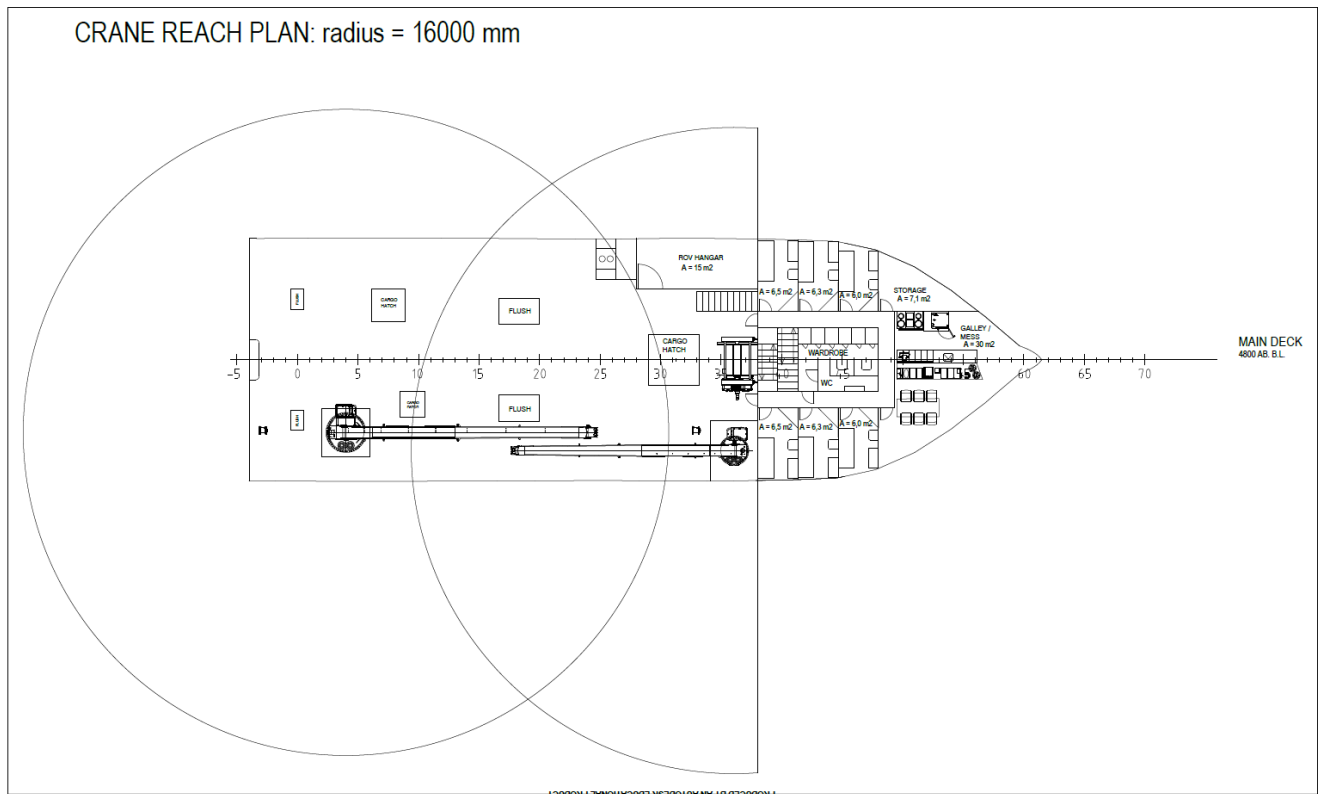
Kontainerplan



Deksareal

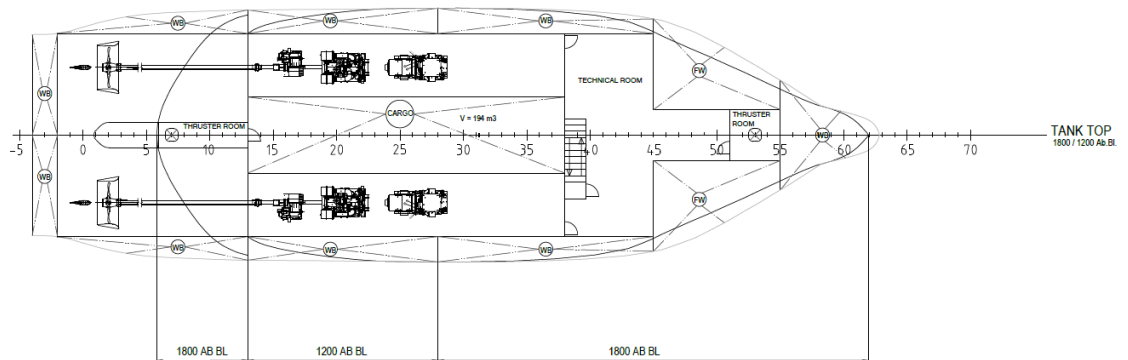


Rekkevidde til kranene



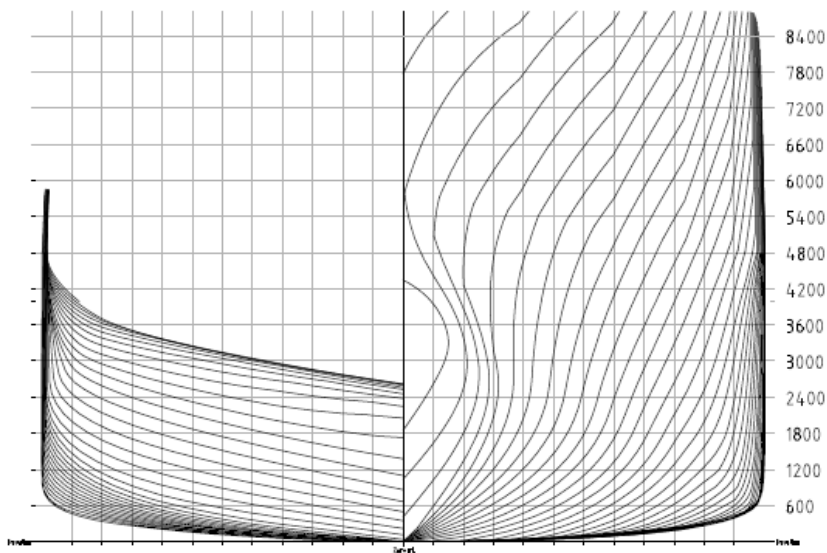
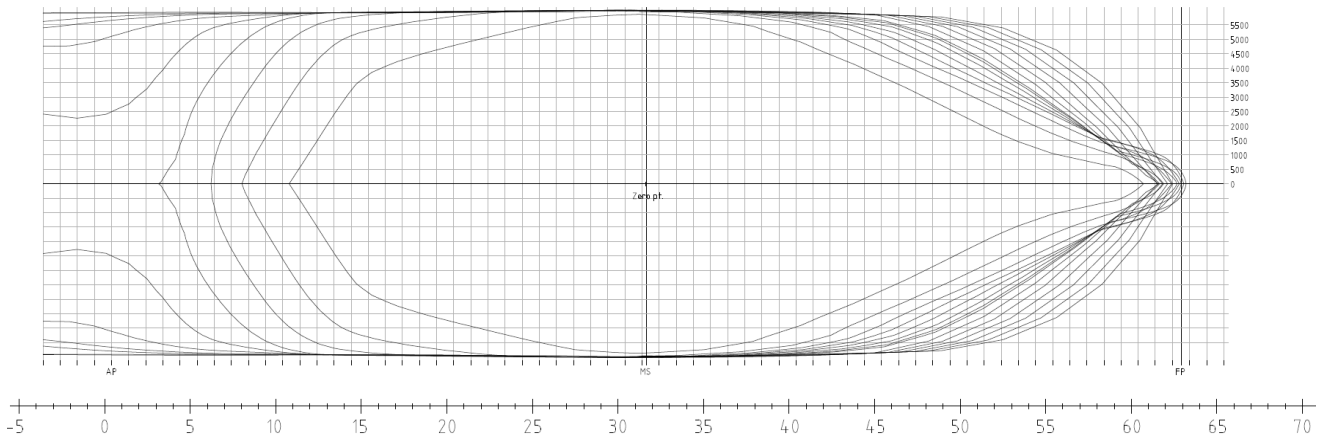
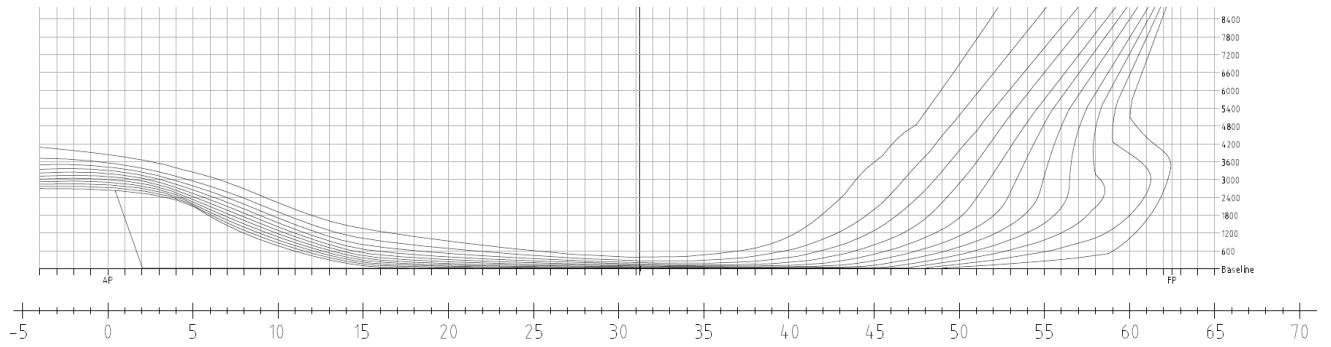
Arrangement av tanktop med to maskinrom

Arrangement med to maskinrom: Propellaksing er flyttet fra 3000 til 3200 mm fra senter
 800 mm klaring rundt motor
 Gir hovedlasterom på 194 m³ med 1200 mm tanktop (3.6*15*3.6)



Linjetegning PDF versjon

Her ser man hvordan linjetegningen blir hvis den printes.



Last- og tankenheter i Maxsurf Stability (Avgang Lastet)

Denne tabellen viser hvordan listen over last- og tankenheter så ut i programmet.

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m3	Total Volume m3	Long arm	Trans Arm	Vert Arm	Total FSM tonne
DEKKSLAST HOVEDDEKK	1	300	300			-12	0	6	0
DEKKSLAST LASTEROM	1	20	20			1	0	3	0
CARGO HEKK 1	1	10	10			-14	0	4	0
CARGO HEKK 2	1	5	5			-13	0	4	0
Forsyninger	1	2	2			12	0	5	0
Skrogvekt HEKK	1	85,04	85,04			-13,3	0	3	0
Skrogvekt MIDT	1	120,23	120,23			0	0	3	0
Skrogvekt BAU	1	76,28	76,28			13,3	0	3	0
Overbygg 120 m2 * 0.2 tonn + al	1	50	50			11	0	7	0
Cat C 32 el Cummins KTA 38, 2x7	2	4	8			-6,5	0	3	0
Cat C32 6-700KW/-220V, 50Hz	2	5	10			-7	0	2	0
Mekanor, Finnøy el. Reduksjon 5	2	3	6			-8,5	0	2	0
Propellaksel m/akselbrems	2	2,5	5			-13	0	1,5	0
Ror i stål	2	1	2			-18	0	1,5	0
Vribar, Helset el. Finnøy monte	2	5	10			-17	0	1,2	0
Forut, Petter Marine ca. 250 KW	1	1	1			13	0	1,5	0
Akter, Petter Marine ca. 250 KW	1	1	1			-14,5	0	1,5	0
Stamford 1, kap. 63 kw/79 kVA,	1	1,37	1,37			-7	0	2	0
Stamford 2, kap. 6-700 kW/ 220V	2	5	10			-7	0	2	0

Ankervinsj typ Adrian Eller MBH	2	0,25	0,5			17,5	0	8,4	0
Varpvinsj type MBH 1-VA-80- AHB-	1	2	2			3	0	5,5	0
Slepekrok	1	0,01	0,01			3	0	5,5	0
Kapstans	4	0,275	1,1			0	0	5,5	0
Hjelpevinsj	2	0,035	0,07			2	0	5,5	0
Hai kjeft	1	0,2	0,2			-17	0	5,5	0
Taupinner	1	0,1	0,1			-17	0	5,5	0
Hekkrull	1	1	1			-19	0	5,5	0
Hydraulisk platelås	1	0,3	0,3			-17	0	5,5	0
PKM550-16, 16 m arm med 4 t vin	1	7,59	7,59			3	0	6	0
PKM1450-16, 16 m arm med 6 t vi	1	14,8	14,8			-16	0	6	0
Høytrykkvasker	1	0,024	0,024			0	0	5,5	0
Skorstein	1	5	5			3	0	7	0
Maling	1	5	5			0	0	4	0
Slingrekjøl	2	0,5	1			0	0	3	0
Signalmast	1	2	2			9,5	0	10	0
Diverse stativer	1	0,1	0,1			7	0	2	0
Løftbjelker	1	0,5	0,5			-4,5	0	5	0
Styremaskin	2	0,4	0,8			-18,5	0	4	0
Redningsdrakt	6	0,004	0,026			9	0	7	0
Redningsflåte	2	0,031	0,062			15	0	8,4	0
MOB-båt	1	0,9	0,9			-2	0	5	0
Davit (kran)	1	1	1			-2	0	5	0
2-manns lugar med wc, seng, ben	1	0,464	0,464			11	0	7	0
1-manns lugar med wc og seng. 3	4	0,369	1,476			11	0	7	0
Messe	1	0,24	0,24			11	0	7	0
Gang	1	0,068	0,068			11	0	7	0
Garderobe	1	0,2	0,2			11	0	7	0
Oppvarming av innredning og sty	1	0,053	0,053			11	0	7	0
Varmekabler i dørk i garderobe	1	0,021	0,021			11	0	7	0

WC	1	0,2	0,2			11	0	7	0
Brødekk	1	5	5			11	0	7	0
FO- transferpumpe kap. 10 m ³ /t	1	2	2			-6	0	2	0
Spilloljepumpe kap. 2 m ³ /t	1	1	1			-6	0	2	0
Lensepumpe kap. 20 m ³ /t	2	2	4			-6	0	2	0
Senkepumpe med kap. 25 m ³ /t	1	2	2			-6	0	2	0
Flygt senkepumpe med kap. 25 m	1	2	2			-6	0	2	0
Ballastpumpe med kap. 95 m ³ /t	1	4	4			-6	0	2	0
Brann/spylepump e i maskinrom, t	1	1	1			-6	0	2	0
Nødbrannpumpe diesel drevet	1	1	1			-6	0	2	0
Leveringspumpe for ferskvann mo	1	2	2			-6	0	2	0
Ferskvanns Hydroforpumpe type A	1	2	2			-6	0	2	0
Diverse rør	1	10	10			0	0	4	0
Radar, skanner unit og display	1	0,078	0,078			13,5	0	9	0
Kartmaskin og kart	1	0,04	0,04			13,5	0	9	0
Ekkolodd	1	0,005	0,005			13,5	0	9	0
Autopilot	1	0,05	0,05			13,5	0	9	0
VHF	1	0,001	0,001			13,5	0	9	0
Radio	1	0,002	0,002			13,5	0	9	0
Fri flyt nødpeilesender	1	0,001	0,001			13,5	0	9	0
Mobiltelefon	1	0	0			13,5	0	9	0
Kompass	1	0,015	0,015			13,5	0	9	0
Tv m/antenneanlegg	1	0,01	0,01			13,5	0	9	0

DP-system type Petter Marine KP	1	0,053	0,053				13,5	0	9	0
Hovedtavle i maskinrom	1	0,5	0,5				-3	0	3	0
Søkelystkastere 1000w	2	0,025	0,049				18	0	11,5	0
Flomlys på rorhus	10	0,024	0,24				18	0	11,5	0
Flomlys på skorstein	3	0,024	0,072				7	0	11,5	0
Vifte monteres for avsug fra by	1	0,05	0,05				-4,5	0	5	0
Vifte monteres for avsug fra ga	1	0,005	0,005				-4,5	0	5	0
Vifte monteres for friskluft ti	1	0,007	0,007				-4,5	0	5	0
Maskinroms-vifte	2	0,5	1				-3	0	4	0
Eksosannlegg	1	0,3	0,3				-3	0	4	0
Varmtvannstank 300 L montert i	1	0,044	0,044				8	0	2	0
Diverse ledninger	1	5	5				0	0	4	0
Aft Peak	0 %	22,83 8	0	22,281	0	19,957	-	0	2,61 1	0
Fore Peak	100 %	48,67 5	48,675	47,488	47,488	15,855	0	0	2,82 2	0
Fresh Water 01	100 %	52,71 9	52,719	52,719	52,719	10,753	2,806	-	3,39 6	0
Fresh Water 02	100 %	52,71 9	52,719	52,719	52,719	10,753	2,806	-	3,39 6	0
Side PS 01	0 %	18,14 9	0	17,707	0	10,988	5,243	-	1,8	0
Side PS 02	25 %	37,85 6	9,464	36,933	9,233	-6,167	5,358	-	1,68 7	1,227
Side PS 03	75 %	33,53 9	25,154	32,721	24,54	2,697	5,341	-	2,97 5	1,384
Side SS 01	0 %	18,14 9	0	17,707	0	10,988	5,243	-	1,8	0
Side SS 02	25 %	37,85 6	9,464	36,933	9,233	-6,167	5,358	-	1,68 7	1,227
Side SS 03	75 %	33,53 9	25,154	32,721	24,54	2,697	5,341	-	2,97 5	1,384
Tanktop FO 1	100 %	8,525	8,525	9,027	9,027	-8,21	3,623	-	0,83 7	0
Tanktop FO 2	100 %	11,81 6	11,816	12,512	12,512	-3,956	3,929	-	0,75	0
Tanktop FO 3	100 %	31,30	31,303	33,149	33,149	1,022	-	-	1,00	0

		3					4,058	6	
Tanktop FO 4	100 %	8,525	8,525	9,027	9,027	-8,21	3,623	0,83 7	0
Tanktop FO 5	100 %	11,81 6	11,816	12,512	12,512	-3,956	3,929	0,75	0
Tanktop FO 6	100 %	31,30 3	31,303	33,149	33,149	1,022	4,058	1,00 6	0
Tanktop WB 1	0 %	10,77 7	0	10,514	0	10,967	0	0,21 8	0
Tanktop WB 2	0 %	10,77 7	0	10,514	0	10,967	0	0,21 8	0
Tanktop WB 3	0 %	24,86 7	0	24,26	0	-6,29	0	0	0
Tanktop WB 4	0 %	23,94 4	0	23,36	0	-2,004	0	0	0
Tanktop WB 5	70 %	52,58 3	36,808	51,301	35,911	1,059	0	0,64 2	56,678
Tanktop WB 6	70 %	36,29 2	25,404	35,407	24,785	6,037	2,315	- 0,73 1	59,695
Tanktop WB 7	90 %	20,44 9	18,404	19,95	17,955	9,88	1,654	- 0,95 7	22,104
Tanktop WB 8	70 %	36,29 2	25,404	35,407	24,785	6,037	2,315	0,73 1	59,695
Tanktop WB 9	90 %	20,44 9	18,404	19,95	17,955	9,88	1,654	0,95 7	22,104
Total Loadcase			1264,30 5	689,96 8	451,24 1	-1,296	0	3,57 9	225,49 9
FS correction								0,17 8	
VCG fluid								3,75 8	