



Kunnskap for en bedre verden

# Bacheloroppgave

**IP305012 - Bacheloroppgave**

**LNG pushbarge**

**1026, 1028**

Totalt antall sider inkludert forsiden: 107

Innlevert Ålesund, 1.6.2016

## 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"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul>	<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 høgskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§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: Henrique Gaspar

## 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 godkjennelse.

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: 1.6.2016

## Forord

Denne rapporten er skrevet for å vise arbeidsprosessen og resultatene vi har fått i bacheloroppgaven vår. Temaet i denne rapporten er utvikling av et design for en spesiell type lekter med to hovedegenskaper, frakt av flytende naturgass og mulighet for å koble seg mekanisk til og fra en pusher. Oppgaven er tilvirket ut i fra det maritime ingeniørfirmaet Multi Maritime sitt ønske om å utvikle et produkt som et alternativ til dagens typiske LNG tankere. I utgangspunktet er dette et stort prosjekt og vi studenter har sammen med veileder på skolen valgt å fokusere på design av lekteren. Utformingen av oppgaven er gjort med tanke på avgrensning av arbeidsmengde og relevans for oss som studerer til å bli skipsingeniører.

Vi vil gjerne rette en stor takk til Multi Maritime AS og de ansatte som har tatt seg tid til å presentere sin problemstilling for oss, samt å følge opp og gi råd til arbeidet vi har utført. De personene som har vært direkte hjelpelige for oss er Bjørn Olav Espe, Gjermund Johannessen, Hans Kristian Dyrli og vår kontaktperson i firmaet, Sveinung Furnes. Vi vil også takke Per Olav Dypvik i Fiskerstrand verft for å ha tatt oss godt imot på besøk der vi ble vist tegninger og fikk forklaringer til forskjellige LNG systemer.

De på NTNU i Ålesund som har vært støttende og essensielle for prosjektet er Arne Jan Sollied, Olaf Alvik, Vilmar Æsøy, Erlend Liavåg Grotle, og vår veileder for prosjektet Henrique Gaspar.

Rapporten beskriver et arbeidsomfang som skal tilsvare 20 studiepoeng og er skrevet av Skipsdesignstudenter ved NTNU i Ålesund.

Ålesund, 1. juni 2016

## Sammendrag

Hensikten med oppgaven var å designe et LNG-fartøy som skal effektivisere distribusjonen av LNG. Dette LNG-fartøyet består av to deler, en pusher og en lekter. I sammenkoblet modus vil de fungere som et vanlig skip, men de skal også kunne operere uavhengig av hverandre. De vil i sammenkoblet modus ankomme en forbruker av LNG, deretter vil pusheren koble seg fra lekteren, slik at lekteren blir tømt hos forbruker mens pusheren tar med seg en tom lekter tilbake til produsent for å fylles opp igjen. Et slikt system vil dermed trenge to, eller flere lektere per pusher.

I denne oppgaven har vi lagt vekt på å velge en sammenkoblingsmekanisme mellom pusher og lekter, samt prosjektering og strukturdesign av lekteren. Resultatet fra prosjektet inneholder linjetegninger, lettskipsvektberegninger, lastkondisjoner, general arrangement, tverrsnittsanalyse, og en oversikt over ulike gassoner som oppstår på lekteren. Det ble også gjennomført en slepetest av lekteren for å kunne ha et grunnlag for utgreiing av hvilken motoreffekt pusheren må ha.

Litteraturstudiet i rapporten omfatter DNVGL- og IGC-regelverk, samt forelesningsnotater og kjente lærebøker innen skipsdesign som «Ship Design for Efficiency and Economy», «System Based ship Design, Basic Ship Theory» og «Strukturdesign av Skip». Det er også hentet noe informasjon fra nettsider til produsenter av sammenkoblingsmekanismer.

Resultatet av oppgaven er en lekter som har kapasitet på drøyt 2000 m<sup>3</sup> LNG, med en lengde over alt på 79,8m og en bredde på 12m. Det er også valgt et sammenkoblingssystem som skal innfri de gitte kravene fra oppdragsgiver. Systemet som ble valgt heter TrioFix TR, et system som kobler seg på i tre punkter og skaper en rigid sammenkobling mellom pusher og lekter.

## Innhold

Forord .....	4
Sammendrag .....	5
Terminologi .....	9
Begrep .....	9
Forkortelser .....	12
1 Innledning .....	13
1.1 Bakgrunn .....	13
1.2 Formål .....	13
1.3 Krav .....	14
1.4 Avgrensing og problemstilling .....	14
1.5 Rapportens oppbygging .....	14
2 Teoretisk grunnlag .....	15
2.1 Prosjektering .....	15
2.1.1 Design metoder .....	15
2.1.2 Hoveddimensjoner .....	17
2.1.3 Lengde .....	17
2.1.4 Dypgang .....	18
2.1.5 Dybde .....	18
2.1.6 Fribord .....	18
2.1.7 Blokkoeffisient .....	18
2.1.8 Trim .....	19
2.1.9 Linjer .....	20
2.1.10 Stabilitet .....	20
2.1.11 Motstand .....	21
2.1.12 Vektestimering .....	23
2.1.13 Bulber .....	24
2.1.14 Utrustningsnummer .....	25
2.2 Strukturdesign .....	25
2.2.1 Langskips- eller tverrskipsavstivet .....	25
2.2.2 Skrogbjelken .....	25
2.3 Sammenkoblingsmekanismen .....	25
2.3.1 Historie .....	25
2.3.2 Fordeler med pushbargen .....	26

2.3.3 Eksisterende systemer.....	27
2.3.4 Topunktssystem .....	28
2.3.5 Trepunktssystem .....	29
2.4 LNG .....	31
2.4.1 TYPE C TANKER .....	31
2.4.2 LNG som last.....	31
2.5 Slepetest .....	32
2.6 Regelverk.....	32
2.6.1 IGC .....	32
2.6.2 DNV.....	34
2.7 Formler .....	36
2.8 Programverktøy.....	40
3 Metode .....	41
3.1 Prosjektering .....	41
3.2 Strukturdesign .....	45
3.3 Sammenkoblingsmekanismen.....	46
3.4 LNG .....	46
3.5 Slepetest .....	46
3.6 Regelverk.....	52
3.7 Programverktøy.....	53
3.7.1 Maxsurf Modeller Advanced .....	53
3.7.2 Maxsurf Stability Advanced.....	57
3.7.3 Maxsurf Resistance.....	60
3.7.4 Nauticus hull: Section Scantlings.....	61
3.7.5 AutoCAD .....	67
4 Resultat.....	71
4.1 Sammenkoblingsmekanisme.....	71
4.2 Prosjektering.....	71
4.2.1 Hoveddimensjoner .....	71
4.2.2 Linjer .....	72
4.2.3 Tankarrangement .....	74
4.2.4 Lettskipsvekt.....	75
4.2.5 Lastkondisjon.....	76
4.2.6 General arrangement .....	77

4.2.7 Gassoner .....	78
4.2.8 Motstand .....	79
4.3 Strukturdesign .....	79
4.3.1 Topologi.....	79
4.3.2 Tverrsnittsanalyse .....	79
4.4 Oppsummering av designet: .....	81
5 Drøfting.....	83
5.1 Sammenkoblingsmekanismen.....	83
5.2 Prosjektering .....	84
5.3 Strukturdesign .....	86
5.4 Alternative løsninger .....	87
5.4.1 Installerer én lastetank på 2000 m <sup>3</sup> . .....	87
5.4.2 Installerer fire lastetanker på 500 m <sup>3</sup> .....	89
5.4.3 Ulikt innhold i LNG tanker .....	91
5.4.4 Ulikt voluminnhold i lastetankene .....	92
5.4.5 Lekterens egenskaper i skadet tilstand. ....	93
5.4.6 Omorganisering av arrangement. ....	95
5.4.7 Lekterens egenskaper ved ulike sammenkoblingsmekanismer. ....	96
5.4.8 Lekterens egenskaper ved ulik hastighet. ....	96
5.4.9 Lekterens egenskaper ved ulike bulber.....	96
5.5 Virkninger av endringer .....	98
5.6 Slepetest.....	99
6 Konklusjon .....	102
7 Referanser .....	103
Vedlegg:.....	106



## Terminologi

### Begrep

Akter	= Bakerste del av skipet
Akterspeil	= Platen som går på tvers ved det akterste punktet på et skip
Akre perpendikulær	= Vertikal linje som går gjennom rorstammen eller annet punkt i hekken
Babord	= Fartøyets venstre side, sett aktenfra
Ballast	= Vekt som blir lagt til i skroget for å endre skipets egenskap
Baug	= Fremre del av skroget
Blokkoeffisient	= Et mål på hvor mye skroget under vannlinjen utfyller en rektangulær boks med samme lengde, bredde og dypgang
Bulb	= Forutgående del av skroget ved vannlinjen i baugen
Buling	= Deformasjon av plater forårsaket av trykk- og skjærspenning
Bærer	= Bjelke som tar opp krefter fra stivere
Dekk	= Etasjeskiller
Dead Weight Tonnage	= Vekter på et skip som består av last og inkluderer ikke skipets egen vekt
Deplasement	= Vekt på vannet som fortrenges av et skip
Designet dypgang	= Dypgangen skipet er designet etter
Designet hastighet	= Hastigheten skiper er ment å seile i
Dypgang	= Dybden til et skip i vann, målt i fra vannlinjen til kjølen
Flytegrense	= Mål på hvor mye krefter et material tåler før det blir plastisk deformert
Fremre perpendikulær	= Vertikal linje som går gjennom punktet der skipets baug treffer vannet
Fribord	= Vertikal avstand mellom vannlinje og styrkedekk
Forut	= Fremover på et skip
General Arrangement	= Tegning som viser inndelingen og sammensetningen av et skip
Generator	= Elektrisk maskin som omdanner mekanisk energi om til elektrisk energi
Hekk	= Den akre øvre delen av skipet
Tungoljetanker	= Vanlige drivstofftanker på noen skip

Hydrodynamikk	= Læren om væskers og gassers bevegelser på makronivå
KG	= Avstanden fra kjølen til det vertikale tyngdepunktet til et skip
Kjøll	= Nederste og sentrale delen av skroget på et fartøy
KM	= Avstanden fra kjølen til metasenteret
Kollisjonsskott	= Forreste vanntette tverrskipsskott som går fra kjøll til hoveddekk
Krengning	= Når skipet roterer om langskipsaksen
Lastkondisjon	= Ulike måter et skip kan være lastet på
Lekter	= Flytende plattform uten eget propulsjonssystem.
Lengde mellom perpendikulærene	= Lengden mellom aktre perpendikulær og fremre perpendikulær
Lengde over alt	= Lengden mellom de to punktene på skipet som ligger lengst fra hverandre
Lengde på vannlinjen	= Avstanden mellom fremre og aktre del av skipet som er i kontakt med vann ved designet dypgang
Light Weight Tonnage	= Et skips egen vekt uten last, ballast, eller drivstoff
Longitudinal Centre of Buoyancy	= Det langsgående punktet der resultanten fra oppdriftskreftene virker
Longitudinal Centre of Flotation	= Det langsgående punktet der et skip vil trimme rundt
Moment	= En krafts evne til å forandre et legemes rotasjon om sin egen akse
Motstand	= Krefter fra sjøen på skroget som oppstår når skroget presser seg fremover gjennom vannet
Overbygg	= Bygg på styrkedekk ment for å huse mannskap og/eller utrustning
Plate	= Vanntett stålplate som overfører jevnt fordelt trykk fra væske eller annen last til stiver
Panel	= Opplagret av bærere og danner hovedelementene i skrogbjelken. Består av bærere, stivere og plater
Prosjektering	= Prosessen som gjøres fra start i skipsdesign frem til en har tegnet et general arrangement
Punktlast	= En kraft som vil virke på ett punkt
Pushbarge	= Betegnelse for lekter og pusher i sammenkoblet tilstand

Pusher	= Fartøy med baugstruktur for å dytte lektere
Sammenkoblingssystem	= System for å holde sammen pusher og lekter
Skegg	= Aktergående forlengelse av skipets kjøll
Skjærkrefter	= Krefter som virker med ulik retning på et objekt
Skott	= Vertikal skillevegg som går tverrskips eller langskips
Skuteside	= Ytterste del av skipets sidepanel
Skrog	= Flytende delen av skipet
Skrogbjelke	= Hele skipet sett på som en bjelke, med tanke på lastberegninger
Spant	= Avstivere for plater i skipsskroget
Stamp	= Rotasjon rundt tverrskipsaksen
Stiver	= Langsgående eller tverrgående bjelker som tar opp linjelast fra plater
Styrkedekk	= Øverste kontinuerlige dekk som motstår langsgående bøyning
Styrbord	= Fartøyets høyre side, sett aktenfra
Tank	= Lukket beholder
Tanktopp	= Øverste del av en tank
Tanktrykk	= Trykk som oppstår inne i en tank dersom den inneholder væske
Trim	= Differansen mellom et fartøys dypgang forut og akter.
Trykk	= En kraft dividert på et areal
Utkapp ved akter	= Hulrom på lekteren som muliggjør kobling med en pusher
Vannlinje	= Langsgående linje på skroget ved vannflaten
Vannlinjekoeffisient	= Hvor stor del av skrogets areal snittet ved vannlinjen som fyller ut et rektangel med samme lengde og bredde

## Forkortelser

AP	= Aktre perpendikulær
ATB	= Articulated tug barge
B	= Bredde
$C_B$	= Blokk koeffisient
$C_{WL}$	= Vannlinje koeffisient
D	= Dybde
DWT	= Skipets dødvekt
FP	= Fremre perpendikulær
GA	= General arrangement
ITB	= Integrated tug barge
LCB	= Longitudinal center of buoyancy
LCF	= Longitudinal center of flotation
LCG	= Et skips tyngdepunkt i langskipsretning
LNG	= Liquefied Natural Gas
$L_{OA}$	= Lengde over alt
$L_{PP}$	= Lengde mellom perpendikulærene
$L_{WL}$	= Lengden av vannlinjen
LWT	= Skipets lektskipsvekt
T	= Dyppgang
TCG	= Et skips tyngdepunkt i tverrskipsretning
VCG	= Et skips tyngdepunkt i vertikal retning

# 1 Innledning

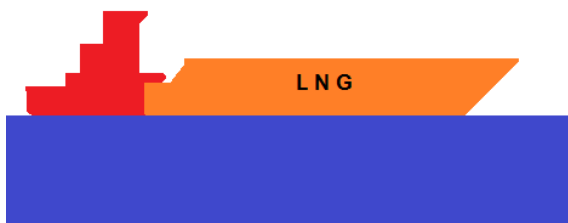
## 1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for oppgaven er et ønske fra Multi Maritime om å kunne tilby en LNG pushbarge for kunder som kan effektivisere frakten av LNG fra produsent til forbruker. I dag foregår for det meste transporten av LNG langs sjøveien med større tankere eller på land langs landeveien med lastebiler. Ved å kunne tilby en mer økonomisk gunstig måte å frakte LNG på vil Multi Maritime kunne ha et fortrinn på dette markedet.

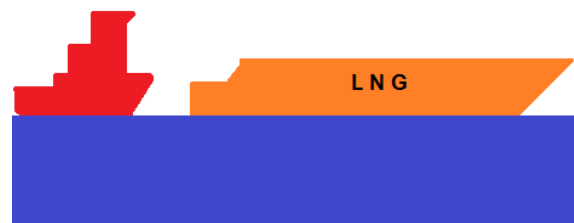
## 1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å komme frem til et forslag til design av et system for LNG pushbarge. Dette produktet er tenkt å effektivisere transporten av LNG mellom produsent og forbruker ved å transportere relativt små volum på sjøveien. Ved å bruke det nye systemet for transport kan en leker fullastet med LNG legge til kai og gradvis bli tømmt, uten at mannskap og pusher trenger å vente på at denne skal bli tom for å kunne ta den med seg tilbake til produsent. Dette gjør det mulig at lekeren kan fungere som lager for forbruker, noe som gjør at forbruker ikke trenger å pumpe gassen inn i egne tanker for lagring.

Utfordringen ligger i å designe leker og pusher samt å velge et tilkoblingsystem som gjør det mulig å kunne enkelt koble og frakoble disse. Leker og pusher skal også kunne fungere uavhengig av hverandre. Figurene 1.1 og 1.2 viser prinsippet bak produktet.

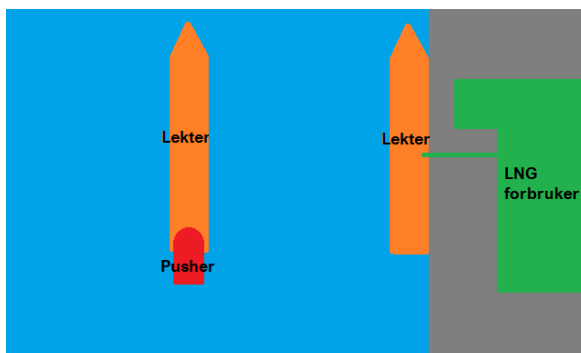


Figur 1.1: Pushbargen i tilkoblet tilstand



Figur 1.2: Pushbargen i frakoblet tilstand

Prinsipielt vil en pusher operere to leker på samme tid, der den ene tømmes av forbruker og den andre tas med tilbake til produsent for å fylles. Dette er illustrert på figur 1.3.



Figur 1.3: Leker losses hos forbruker og pusher tar med seg tom leker til produsent

### 1.3 Krav

For denne oppgaven ble det gitt følgende krav fra oppdragsgiver:

- Lekteren skal ha en lastekapasitet på 2000 m<sup>3</sup> for frakting av LNG i sylindriske type C tanker.
- Lekteren skal ha en designet hastighet på 12 knop.
- Sammenkoblingssystemet skal være enkelt, påkobling og avkobling må foregå effektivt og sikkert.
- Effektiv og sikker håndtering av fribordsvariasjon for lekter i lastet og tom kondisjon og tilhørende konsekvenser for sammenkoblingsmekanismen.
- Kostnaden for løsningen må være lav for at den skal være realiserbar
- Sammenkoblingssystemet må være kontinuerlig overvåket.

### 1.4 Avgrensing og problemstilling

Siden oppgaven er stor er det viktig å avgrense denne for å kunne oppnå resultater. Basert på oppgaven vi fikk med oppdragsgiver kunne vi blant annet valgt å fokusere på pusheren eller hele systemet sett på et overordnet nivå. Sammen med veileder på NTNU i Ålesund har følgende problemstilling blitt laget basert på forslaget fra Multi Maritime:

*«Det skal designes en LNG lekter som skal tilfredsstillere kravene fra oppdragsgiver samt å velge et tilkoblingssystem ut i fra eksisterende løsninger».*

Det vil fokuseres på at utformingen av lekteren skal tilfredsstillere de gitte kravene fra Multi Maritime, med tanke på lastekapasitet og hastighet. Det er også en del regler fra DNVGL (Det Norske Veritas Germanischer Lloyd) og IGC (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) som må tilfredsstillers. På denne måten er det forsøkt å gjøre oppgaven mest mulig relevant for oss studenter. Dersom pusheren også skulle vært en del av oppgaven hadde arbeidsmengden blitt for stort for en oppgave av denne type.

### 1.5 Rapportens oppbygging

Rapporten er oppbygd slik at den starter med å presentere teori som er grunnlaget for å løse problemstillinger. I neste del forklares metoder som er brukt for å oppnå de egenskapene vi er ute etter. Til slutt presenteres og drøftes resultatene av arbeidet som er gjort, og det gjøres en konklusjon.

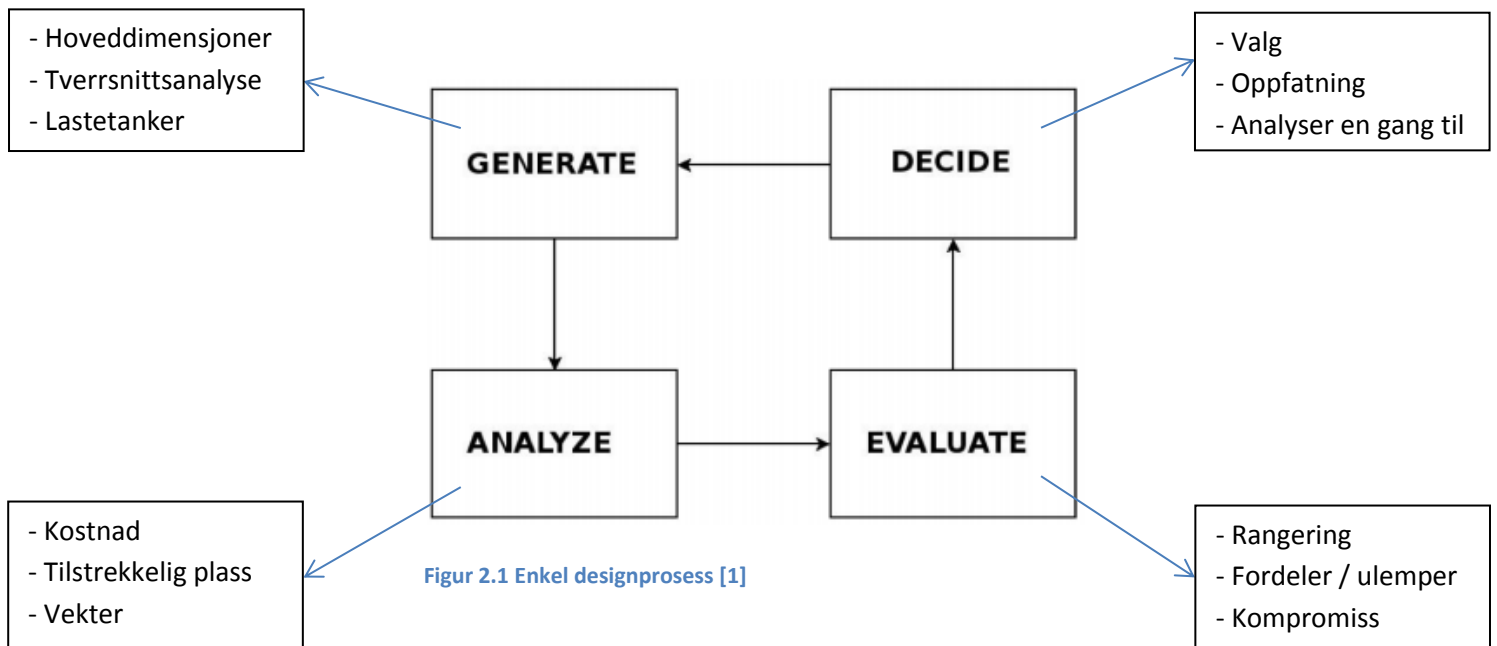
I vedlegget ligger planen over tidsbruk som ble laget i starten av semesteret. Her står bokstaven X for at det er kandidatnummer 1026 som er ansvarlig for den aktiviteten og bokstaven Y at det er kandidatnummer 1028 som er ansvarlig.

## 2 Teoretisk grunnlag

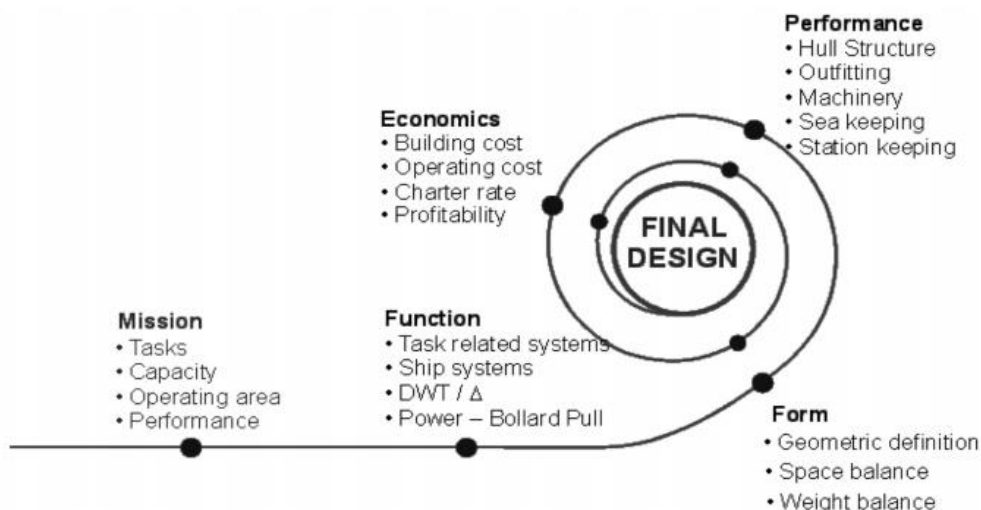
### 2.1 Prosjektering

#### 2.1.1 Design metoder

Figur 2.1 viser en enkel versjon av hvordan en designprosess går, en må bestemme seg for noe, så generere noe som må analyseres, og deretter evalueres, og slik går det rundt til en er fornøyd. På samme figur er det også gitt eksempler som passer til hver boks. Kan bruke hoveddimensjoner som et eksempel: Først må det bestemmes et førsteutkast av hoveddimensjoner, det genereres deretter en modell som videre blir analysert. I analysen av hoveddimensjoner kan vi blant annet være ute etter å se om det er tilstrekkelig plass på skipet med de gitte hoveddimensjonene. Så må analysen evalueres, her kan en finne både fordeler og ulemper med dimensjonene. En må som regel inngå kompromiss, om bredden har en maksimal begrensning må man enten øke dybden eller lengden om det er mangel på lastekapasitet. Etter evalueringen må man deretter gjøre nye valg, om man er fornøyd med dimensjonene kan man velge å gå til neste skritt, men om man er misfornøyd må man da gjøre nye endringer.

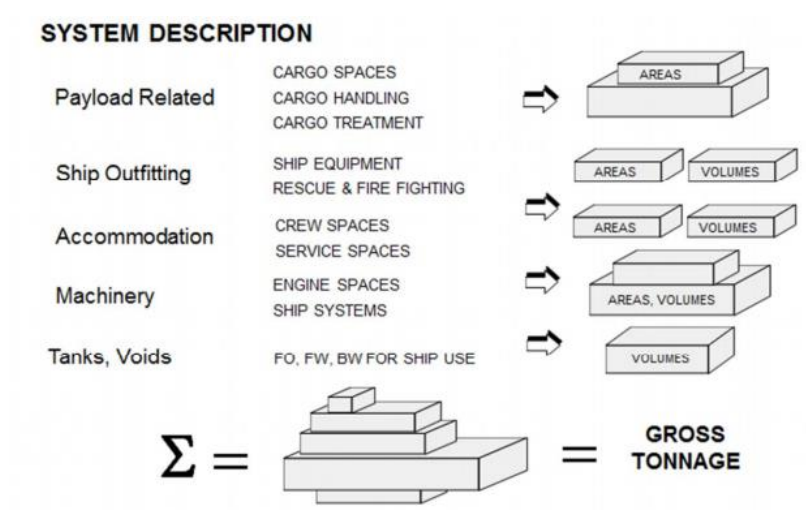


Figur 2.2 viser en mer detaljert designprosess som er spesialisert for design av skip. Her vises det at alle design har et oppdrag som en starter ut i fra, kravene vil variere, men i nesten alle tilfeller vil det være noen krav fra reder. Deretter må en begynne med førsteutkast til hoveddimensjoner, vekter, linjer, propulsjon ol. Etter hvert som en går videre i oppgaven vil man hele tiden optimalisere designet og dermed gå rundt og rundt i spiralen helt til man er kommet i midten av spiralen og er fornøyd.



Figur 2.2 Designspiral [2]

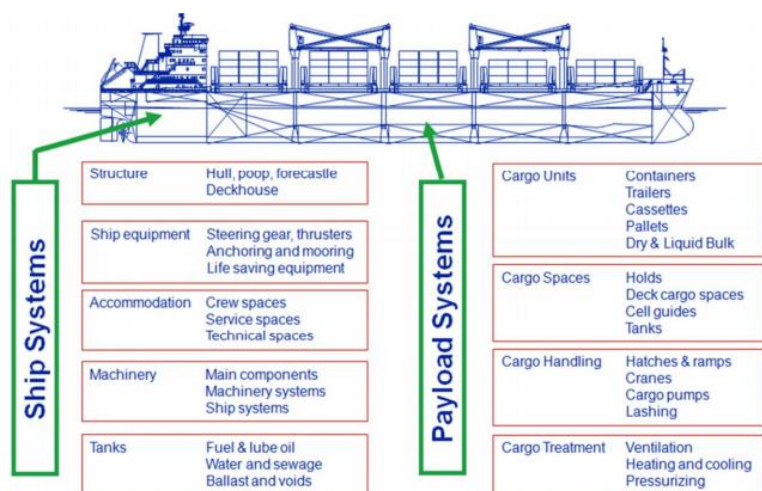
Levander [3] skriver at en metode for å designe skipet er ved å gjøre det med en bottom-up tilnærming, dette vil si at en finner alle arealer og volumer som trengs for å få plass til de nødvendige systemene skipet trenger, deretter utarbeide hoveddimensjoner ut i fra disse tallene. Denne metoden fungerer også som en huskeliste for alle ulike systemer en designer må inkludere i designet sitt. Resultatene fungerer som et startpunkt for videre prosjektering. Figur 2.3 viser hvordan de ulike systemene kan bli delt inn i mindre deler.



Figur 2.3: Oppbygging av bokser [4]

Levander [3] skriver også at skipets funksjoner blir delt inn i to hovedkategorier: nyttelastfunksjon og skipsfunksjon. I et lasteskip vil nyttelast være blant annet lasterom, utstyr for lastehåndtering og områder som er nødvendig for lastebehandling i skipet. Skipsfunksjonene er det som trengs for at skipet skal komme seg trygt fra havn til havn. Eksempler på dette er skrog, maskinerisystem og lignende. På figur 2.4 vises ulike nyttelast- og skipsfunksjoner.





Figur 2.4: Nyttelast og skipets funksjoner [5]

Levander [3] sier at de ville ideene er de som utfordrer kompetansen til mange, for i deres øyne er ikke ville ideer realistiske. Det er her en må være åpen for alt og tenke at om denne ideen faktisk fungerer kan det være revolusjonerende for industrien. Dette kan være som usymmetriske skip, et fly med bare en vinge eller en ny måte å gjøre gamle ting på.

### 2.1.2 Hoveddimensjoner

Halse [6] sier at ved bestemmelse av hoveddimensjoner er det flere rammebetingelser som vil ha påvirkning på hvilke hoveddimensjoner en til slutt ender på, dette kan være blant annet type last, seilingsdistanse, havneforhold, lovverk, regler, utstyr til lasting og lossing, klimatiske forhold og politiske forhold.

I tillegg vil en ha funksjonskrav til skipet, dette er hva det er forventet av skipet. Disse kan blant annet være lastekapasitet, minimum gjennomsnittshastighet, manøvreringsevne, maks lengde, dypgang, bredde og eventuelle krav til stabilitet.

Halse [6] skriver også at linjeutformingene til et skip er viktig for motstand, fremdriftsegenskaper, manøvrering, skipsbevegelser, bølgeslag og stabilitet.

L/B forholdet har stor betydning for motstand og sjøegenskaper. Et slankt skip vil ha mindre motstand, men vil også ha redusert sjøegenskaper i forhold til et skip med lav L/B. Et vanlig handelsfartøy vil ha et L/B forhold mellom 4 og 7.

B/T forholdet har betydning for stabilitetsegenskapene til skipet, om denne verdien er stor vil stabiliteten være god. Et vanlig handelsfartøy vil ha et B/T forhold på omtrent 2,5.

### 2.1.3 Lengde

Schneekluth og Bertram [7] sier at lengden av et skip blir bestemt basert på deplasementet og farten. Det blir som regel sett på tidligere skip eller brukt formler for å bestemme skipets lengde. Lengden som finnes blir et førsteutkast og må naturligvis optimaliseres etter hvert.

Levander [3] sier at lengden kan finnes ved å summere lengden av boksene i kapittel 2.1.1, design metoder.

#### 2.1.4 Dypgang

Schneekluth og Bertram [7] sier at dypgangen  $T$  ofte er begrenset på grunn av grunne farvann. Denne problemstillingen oppstår oftest hos supertankere, bulkskip og fartøy som skal seile langs kysten i motsetning til ute på havet.

Schneekluth og Bertram [7] sier at dypgangen skal samsvare med ligningen:

$$DW + LW = L * B * T * Cb * \rho.$$

Om skipet ikke har ytre faktorer som begrenser det skal dypgangen og bredden bestemmes i lag for å få en tilstrekkelig god stabilitet.

Levander [3] skriver at skipets dypgang skal være minimum  $T = 2 + 0,02 * L$

#### 2.1.5 Dybde

Schneekluth og Bertram [7] skriver at dybden  $D$  blir brukt til å bestemme skipets volum og fribord, dybden er også knyttet til dypgangen.

Schneekluth og Bertram [7] skriver også at dybden bør vurderes i sammenheng med langskipsstyrken, om dybden, altså steget i skrogbjelken blir redusert må dekket og bunnen, altså flensene forsterkes for å opprettholde tverrsnittsmodule. I tillegg må skutensiden styrkes for å muliggjøre korrekt overføring av skjærkrefter. Et skip med lav dybde vil også få større bøyninger, som kan skade utstyr som rør, tak, akslinger og annet utstyr. Som en følge av dette må snittet økes for å kunne bevare bøyestivheten når dybden blir redusert.

#### 2.1.6 Fribord

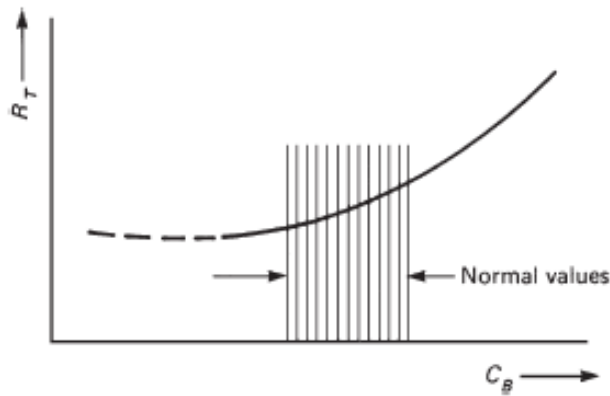
Schneekluth og Bertram [7] skriver at et skip må ha en ekstra sikkerhetsgrense over minstekravet en har i rolig sjø, dette for å opprettholde oppdrift og stabilitet når skipet er på havet. Denne ekstra sikkerheten er reserveoppdriften som er i skrogkomponenter over vannlinjen.

Schneekluth og Bertram [7] skriver også at det er flere fordeler med å ha fribord, de er som følger:

- Et tørt dekk vil gjøre det tryggere å gå på dekk, unngå at vann kommer ned i skipet gjennom åpninger og beskytte overbygget mot ujevn sjø.
- Reserve oppdrift i skadet tilstand.
- Vil forbedre egenskapene til den rettende armen i intakt tilstand.
- Vil forbedre skipets egenskaper i skadet tilstand.

#### 2.1.7 Blokkoeffisient

Schneekluth og Bertram [7] skriver at motstanden blir svært påvirket av blokkoeffisienten, en høy blokkoeffisient vil føre til høyere motstand, noe som figur 2.5 viser. Schneekluth og Bertram [7] skriver videre at Blokkoeffisienten forteller i hvilken grad skroget under vannlinjen fyller ut volumet av et prisme med samme bredde, lengde og dybde som skroget under vann.



Figur 2.5 Skipets motstand som funksjon av blokkoeffisienten [8]

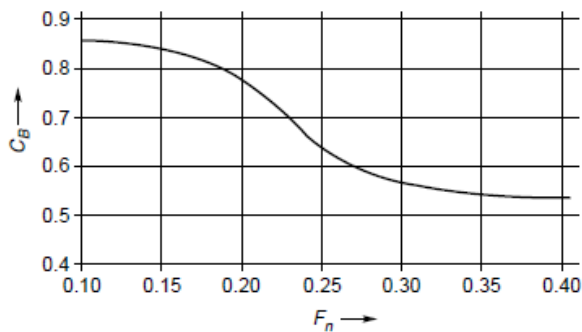
Schneekluth og Bertram [7] skriver også at om blokkoeffisienten reduseres må bredden økes for å opprettholde stabiliteten. Det er funnet flere formler for kalkulering av blokkoeffisienter, Ayres formel sier at:

$$Cb = C - 1,68 * F_N$$

Schneekluth og Bertram [7] skriver at resultatet av optimaliseringsberegninger har gitt grunnlag for to formler for blokkoeffisient. Formlene er gyldig for  $0,48 < C_b < 0,85$  og  $0,14 < F_N < 0,32$ . Formlene sier at:

$$Cb = \frac{0,14}{F_N} * \frac{\frac{L}{B} + 20}{26} \quad Cb = \frac{0,23}{F_N^{\frac{2}{3}}} * \frac{\frac{L}{B} + 20}{26}$$

Figur 2.6 Viser anbefalt blokkoeffisient basert på Froudes tallet, denne grafen er laget basert på statistikker fra 1994.



Figur 2.6 Anbefalt blokkoeffisient basert på Froudes tallet [9]

### 2.1.8 Trim

Rawson og Tupper [10] skriver at trimmen er forskjellen i dypgang akter og forut. Om dypgangen er høyere ved akter kalles dette trim om hekken, om det er motsatt blir det kalt trim om baugen. Om ikke annet er spesifisert vil trimmen være definert mellom perpendikulærene.

Rawson og tupper [10] skriver også at om en skal forandre trimmen må en legge til en vekt på en av sidene til LCF, som er punktet et skip vil trimme om.

Levander [11] skriver at maksimal trim ikke bør overstige 1,5 % av skipets lengde.

Det Norske Veritas [12] skriver derimot at den maksimale trimmen ikke skal overstige 1,0 % av  $L_{pp}$ .

### 2.1.9 Linjer

Halse [13] sier at linjene bør være myke og glatte uten brå overganger. Eventuelle brå overganger på linjene vil føre til økt motstand grunnet avløsninger rundt skroget. Det er gunstig at vannet skal kunne strømme uten hindring rundt og under skroget.

Schneekluth og Bertram [7] skriver at om alle hoveddimensjonene er fastsatt er det lite en kan endre på når en begynner å tegne linjer, men linjene vil påvirke ulike faktorer som:

- Manøverabilitet
- Størrelsen på volumet under dekk
- Motstanden
- Evnen til å holde kurs
- Seakeeping-egenskaper
- Rulledemping

Schneekluth og Bertram [7] skriver også at et normalt skip har som regel enten V-formet eller U-formet skrog, det er så klart fordeler og ulemper uansett hvilket en velger.

Schneekluth og Bertram [7] skriver at et V-formet skrog vil ha følgende egenskaper i forhold til et U-formet skrog:

- Større volum ved dekk
- Større lokal bredde i  $C_{wl}$ , fører til økt KM
- Mindre våt overflate, fører til lavere stålvekt
- Mindre krumme flater, fører til billigere konstruksjon av det ytre skallet
- Bedre sjøegenskaper
- Større deksareal
- Høyere bølgeomotstand i forskipet, som gir høyere totalmotstand enn U-formet skip om en har  $F_N$  mellom 0,18-0,25.

### 2.1.10 Stabilitet

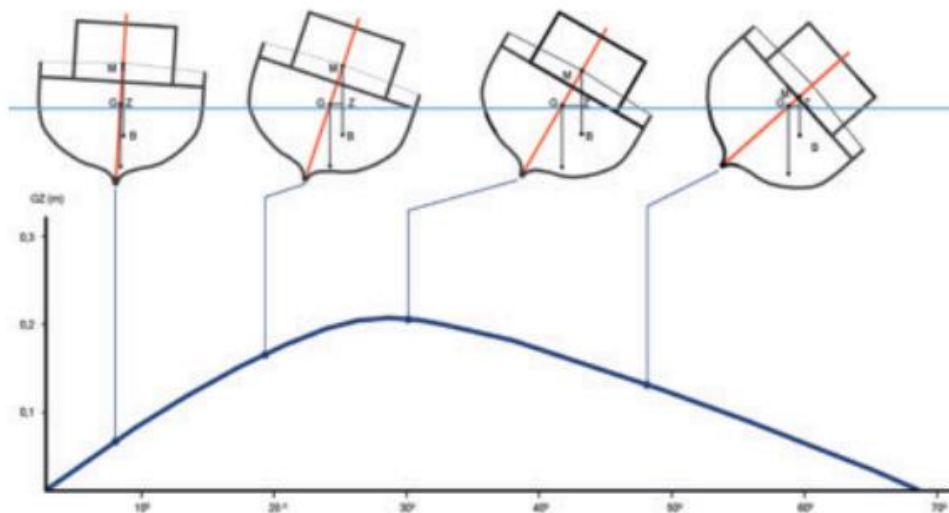
Rawson og Tupper [10] skriver at stabilitet blir betraktet som evnen et system har til å returnere til sin opprinnelige tilstand etter den har blitt tilført bevegelse.

Sjøfartsdirektoratet [14] skriver at når skipet krenger vil oppdriftslinjen krysse skipets senterlinje, dette krysspunktet kalles metasenteret som har bokstaven M i figur 2.7.

Sjøfartsdirektoratet [14] skriver at avstanden fra metasenteret M og tyngdepunktet G har fått navnet metasenterhøyden GM. Denne høyden er et uttrykk for skipets stabilitet og uttrykket initialstabiliteten for et skip. Desto høyere denne verdien er, desto vanskeligere er det å få skipet til å krenge.

Schneekluth og Bertram [7] sier at GM for et tankskip bør ligge på mellom 0,8-1,0.

Sjøfartsdirektoratet [14] skriver at den horisontale avstanden mellom B og G når et skip krenger blir kalt for den rettende armen, GZ. Størrelsen på den rettende armen har noe å si for egenskapene skipet har til å kunne returnere fra en krenkning. GZ vil endre seg samtidig som krenkningen endrer seg, på figur 2.7 vises dette. Denne figuren viser krengevinkel på x-aksen og hvordan GZ forandrer seg på y-aksen. Resultatet av alle GZ-verdiene danner en kurve som blir kalt for GZ-kurve.



Figur 2.7 GZ-kurve [15]

Halse [6] sier at det er flere måter å endre stabiliteten på et skip, både positivt og negativt.

- Ved å øke  $C_{wl}$  vil stabiliteten forbedres. Men ved å øke den vil også motstanden til skipet økes.
- Kan også bedre stabiliteten ved å senke KG, dette kan gjøres ved å flytte tyngre komponenter nedover i skipet, eller innføre enten fast ballast eller vannballast. Fast ballast er lite ønskelig ettersom den ikke kan enkelt fjernes. Det kan også brukes lettere metall i overbygget, men dette vil føre til økte kostnader.
- Den tredje måten å forbedre skipets stabilitet er å øke arealet under kurven til den rettende armen, den såkalte GZ-kurven.

Kravene til stabilitet for alle typer skip fra Sjøfartsdirektoratet [16] vises i tabell 2.1.

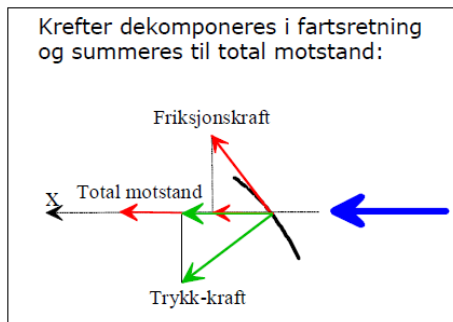
Kriteria	Krav	Enhet
Areal 0-30	3,15	m <sup>2</sup>
Areal 0-40	5,15	m <sup>2</sup>
Areal 30-40	1,72	m <sup>2</sup>
Maks GZ over 30 deg	0,2	m
Vinkel til maks GZ	25	Grader
Initial GM	0,15	m

Tabell 2.1: Stabilitetskriterier

### 2.1.11 Motstand

Kamsvåg [17] skriver at hensikten med å regne på motstanden på et skip er å kunne bestemme slepeeffekt og deretter motoreffekt og størrelse. Motstanden til et skrog kan bestemmes ganske nøyaktig ved å utføre en slepetest av en modell av skipet.

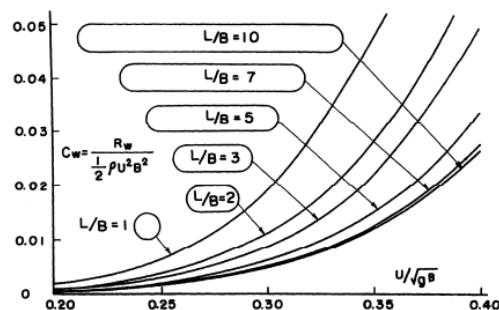
I følge Kamsvåg [17] kan totalmotstanden som virker på et skip når det går i vann deles inn i to deler; friksjonsmotstand som virker som en skjærkraft på overflaten og trykkmotstand som virker normalt på overflaten. Dette vises på figur 2.8



Figur 2.8: Totalmotstand på skip [18]

Kamsvåg [17] sier at for å beregne total motstand deles motstandskomponentene inn i friksjonsmotstand, bølgemotstand og viskøs trykkmotstand. Friksjonsmotstanden kommer av at det er friksjon mellom væsken som beveger seg langs flaten. Her oppstår det forskjeller i hastighetene i grensesjiktet.

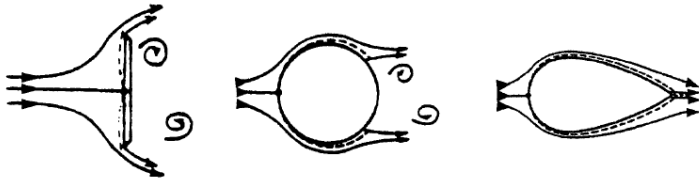
Halse [19] sier at et langt og tynt skip vil ha mindre bølgemotstand enn et kort og bredt med samme Froudes tall, noe som figur 2.9 viser. Selv om et langt skip vil ha mer friksjonsmotstand langs skroget vil et bredt skip ta opp mer trykkmotstand i baugen, noe som gjør at den totale motstanden blir lavere jo høyere L/B forhold skipet har.



Figur 2.9: Bølgemotstand basert på skipets slankhet [20]

Maxsurf Resistance [21] sier at for tankere, lasteskip, tugger, containerskip og trålere bør bruke Holtrop algoritmen når det skal regner på motstand.

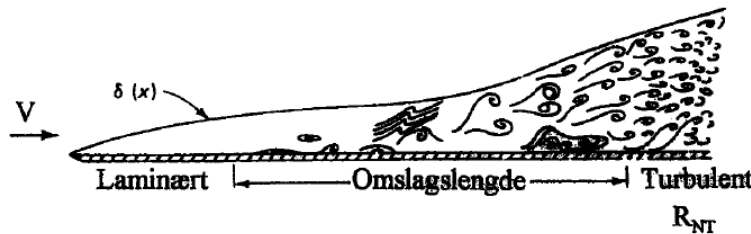
Kamsvåg [17] skriver at viskøs trykkmotstand er motstand som oppstår grunnet strømningsavløsninger. Slike avløsninger skjer ofte rundt akselbraketter, slingrekjøler, sidethrustere, og på skip med tverr hekk. Avløsninger skaper en etterstrømning som drar med seg vann bak objektet. Ved å forme forskjellige deler kan man redusere denne etterstrømningen, som vist på figur 2.10.



Figur 2.10: Avløsningsdiagrammer i strømning [22]

I følge Kamsvåg [17] oppstår det motstand når et skip genererer bølger i vannet den beveger seg i. Det er denne motstanden man kan påvirke i størst grad på et skip med gitt størrelse og hastighet, ved å forme skroget for å redusere mengden av bølger som skapes.

Munson, Okiishi, Huebsch, og Rothmayer [23] skriver at laminær strømning er en væskestrøm der alle partikler i væsken har samme hastighet. I motsetning sies det at i en turbulent strømning har de forskjellige væskepartiklene ulik hastighet og retning. Figur 2.11 viser hvordan laminær strømning går over til å bli turbulent i en væskestrøm langs en plate.



Figur 2.11: Forskjell mellom laminær og turbulent strømning [24]

Munson, Okiishi, Huebsch, og Rothmayer [23] sier at Reynoldstallet,  $R_N$  er en dimensjonsløs parameter som beskriver om en strømning er turbulent eller laminær langs en flate. En høy verdi for  $R_N$  viser til en turbulent strøm.

Munson, Okiishi, Huebsch, og Rothmayer [23] skriver at  $R_N$  er et mål på forholdet mellom treghetskreftene på en væske og de viskøse kreftene på et element. Der treghetskreftene og de viskøse kreftene er avgjørende i en problemstilling vil Reynoldstallet spille en viktig rolle. Dersom  $R_N$  er svært liten ( $\ll 1$ ) så er dette en indikasjon på at de viskøse kreftene er dominerende og det kan være mulig å neglisjere treghetskreftene: tettheten til væsken vil være lite avgjørende for problemstillingen. Om så  $R_N$  har høy verdi er det treghetskreftene som er dominante og væsken kan sees på som ikke-viskøs.

Munson, Okiishi, Huebsch, og Rothmayer [23] skriver at viskositet er en væskes evne til å motstå strømning. Ved å dele viskositeten til en væske med sin egen tetthet får man kinematisk viskositet. Dette forteller om hvor lett en væske flyter langs en flate under påvirkning av en kraft. Munson, Okiishi, Huebsch, og Rothmayer [23] mener den kinematiske viskositeten til vann ved  $20^\circ\text{C}$  er  $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 2.1.12 Vektestimering

Våge [25] skriver at en enkel måte å gjøre vektestimering på er å bruke program som Nauticus 3D-beam og Section Scantlings for å analysere langskipselementer og bjelkestrukturen. Deretter legges på

5-7 % for sveiser og kneplater. Det kan også utføres en analyse på Section Scantlings for å finne tverrsnittsarealet, deretter multiplisere med 100 cm for å få gjøre om arealet til et volum, så multiplisere med tettheten til stål, 7,8 tonn/m<sup>3</sup> for å få skrogvekt per meter, for å gjøre den endelige vekten mer nøyaktig må en legge til 40 % for å få med vekten til de tverrgående bærerene i skroget.

Utrustningsgrad = utrustningsvekt / lettskipsvekt. Denne graden er som regel på 20 % for et tankskip.

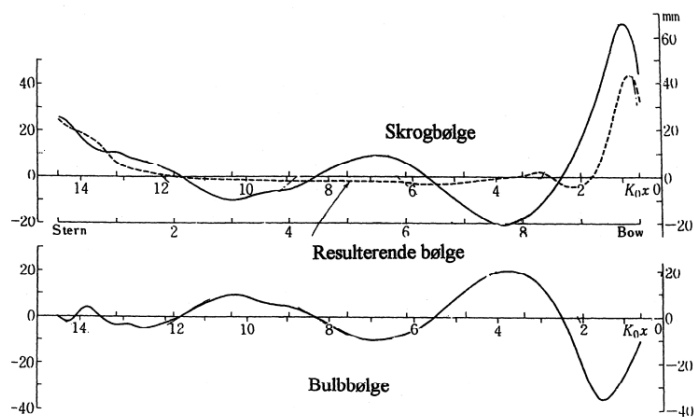
Våge [25] skriver også at det første stadiet for estimering av vekter er å estimere stålvekter og å estimere utrustningsvekt basert på hvilken utrustningsgrad en har antatt. Deretter vil en revurdere stålvekten og utrustningsvekten estimeres på avdelingsnivå. Senere må vektene stadig revurderes om det skjer endringer i hoveddimensjoner, utstyr, arrangement osv. Det er viktig å kalkulere LCG, VCG og TCG i tillegg til å estimere vektene.

### 2.1.13 Bulber

Halse [26] sier at ved å innføre en bulb på et skip vil en som regel få bedre motstandsegenskaper, og ettersom motstanden går ned vil en ha lavere krav til installert propulsjonsytelse. Overgangen mellom bulbbaugen til skroget kan enten ha glatte overganger eller være diskontinuerlig. Om en velger glatte overgangen vil skipet oftest få redusert motstand, men ved å ha diskontinuitet i overgangen vil skipet være enklere å konstruere.

Halse [19] sier at for Froudes tall under 0,25 vil en bulb lage et bølgesystem i motfase med skrogets eget bølgesystem. Dette vil gjøre den totale bølgen mindre enn den originalt ville vært, og dette reduserer motstanden. For Froudes tall over 0,25 kan bulben virke positivt ved at fylldigheten flyttes fremover. Figur 2.12 viser et bølgesystem med og uten bulb, ser at den blir kraftig redusert i baugen.

### Bølgesystem med og uten bulb



Figur 2.12 Bølgesystem med og uten bulb [27]

Halse [26] Skriver at ved å innføre en bulb vil en få følgende effekter:

- Besparelse i drivstofforbruk
- Redusert motstand for skip med  $F_N$  mellom 0,17-0,7
- Mulig å få opptil 20 % reduksjon i motstand



### 2.1.14 Utrustningsnummer

DNV [28] skriver at utrustningsnummeret blir brukt for å bestemme anker og ankerkjetting som skal være om bord på et fartøy.

## 2.2 Strukturdesign

### 2.2.1 Langskips- eller tverrskipsavstivet

Sollied [29] skriver at på generell basis bør ethvert skip over 70 m være langskipsavstivet i bunn og dekk, dette på grunn av bulekapasiteten til platene. En kan derimot ha tverrskipsavstivning i skutesidene av hensyn til produksjon.

Sollied [29] skriver også at når en har langskipsavstivning er det nødvendig med tverrskipsbærere som tar opp punktlaster fra stiverne, som oftest vil avstanden på stivere være mellom 500-700 mm, og da vil avstanden mellom bærere være denne avstanden multiplisert med et heltall mellom 2-5.

### 2.2.2 Skrogbjelken

Sollied [29] skriver at et skrog vil normalt være konstruert som en skallkonstruksjon, her vil platene, stiverne og bærerne til sammen danne et panel. Disse panelene vil være dekk, bunn, skuteside og skott, til sammen utgjør disse panelene skrogbjelken. Skrogbjelken kan sees på som et firkantør, her vil styrkedekk og bunn utgjør topp- og bunnflens, mens skutesidene og langsgående skott vil fungere som steget i profilen.

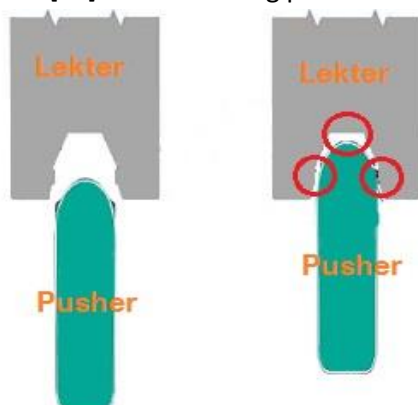
## 2.3 Sammenkoblingsmekanismen

### 2.3.1 Historie

Hill [30] skriver at pushbargen er en videreutvikling av den tradisjonelle lekteren som slepes av en taubåt. Det er flere problemer med den tradisjonelle måten å taue på, dette er blant annet hastigheten tauingen går i, evnen til å taue i all slags vær og muligheten til å kontrollere lekterens bevegelser uten å bruke flere taubåter. Hill [30] skriver også at de hydrodynamiske egenskapene til en lekter som slepes av en taubåt er heller ikke gode sammenlignet med et skip.

Hill [30] skriver videre at for å prøve å løse disse problemene ble det allerede sent på 1800-tallet patentert forskjellige metoder for å koble sammen lektere og pushere. Disse systemene var i hovedsak rigide systemer som gjorde lekteren, sammen med pusheren om til et skip. Slike rigide pushbarge systemer kalles ITB. På grunn av at disse tidlige ITB systemene ikke kunne kobles fra hverandre til sjøs og operere uavhengig av hverandre har det ikke blitt bygget ITB systemer siden 1980 tallet.

Hill [30] skriver at tidlig på 1970-tallet ble det første ATB systemet utviklet, ved navn «ARTUBAR», av den maritime arkitekten Edwin Fletcher. Dette var det første systemet med én frihetsgrad mellom lekter og pusher, som gir uavhengig stampbevegelse. Dette systemet ble videreutviklet av det japanske firmaet Taisei Engineering. Det ble nå lagt vekt på å utvikle lektere og pushere hver for seg istedenfor å fokusere på å lage et skip som kunne dele seg.



Figur 2.13 Sammenkobling mellom lekter og pusher

Figur 2.13 viser hvordan et slikt sammenkoblingssystem fungerer, dette systemet tillater ikke en frihetsgrad men har mulighet til å koble seg på og av i sjøen.

### 2.3.2 Fordeler med pushbargen

Hill [30] skriver at ATB systemet er utviklet for å kombinere den økonomiske gevinsten ved bruk av lektere samtidig som hastigheten og påliteligheten til et skip. Et viktig kjennetegn ved disse systemene er at lekteren og pusheren kan operere uavhengig av hverandre. En pusher kan være en taubåt som er konstruert for å koble seg sammen med en lekter og danne et ATB system, samtidig som den kan utføre andre oppgaver som tauing eller dytting av andre konstruksjoner. En pusher kan også være konstruert og optimalisert spesielt for å være nettopp en pusher. I et slikt tilfelle vil den i praksis bare kunne brukes som pusher for de lekterne den er designet for.

Hill [30] skriver at ATB systemene er designet for hastighet i motsetning til tradisjonelle lektere som var designet for maksimal stabilitet. For å redusere motstanden til lekteren i sjøen vil den kunne designes med baug og bulb slik som på et konvensjonelt skip. Dette fører til at lekteren krever mindre motorkraft fra pusheren og kan oppnå høyere hastigheter enn en konvensjonell lekter. Lekteren kan også taues av andre taubåter dersom den må flyttes på når pusheren ikke er tilstede. Hill [30] skriver også at hastigheten på lektere som taues ligger vanligvis på rundt 7 knop, mens med en ATB kan man oppnå hastigheter på opp mot 15 knop.

Hill [30] skriver at tilkoblingen mellom pusher og lekter krever mye mindre tid og arbeid å koble sammen. Med et automatisk system kreves det ingen mannskap på dekk som må løfte tunge taueredskaper. En viktig egenskap med ATB systemer som det blir lagt vekt på i dette prosjektet er muligheten for «*drop and swap*». Altså kan pusheren legge til lekteren ved en kai og koble seg fra. Deretter kan den koble seg til en annen lekter.

Marcon [31] skriver på sine nettsider at en pushbarge vil være kortere enn en lekter som slepes av en taubåt, ved at avstanden mellom de to elimineres. Marcon [31] skriver også at siden pushbargen er koblet sammen vil lekteren ha mulighet for å stoppe seg selv, i motsetning til en tauet lekter. Pushbargen har da mye bedre manøvreringsmuligheter.

Marcon [31] skriver at det finnes to forskjellige måter å koble sammen en pushbarge på; med tau og med et mekanisk sammenkoblingssystem. En tauet sammenkobling har en øvre grense for hvilke sjøforhold den kan operere i, mens et mekanisk system kan dimensjoneres for å gå i alle sjøforhold.

Marcon [31] mener at et system basert på tau krever et mannskap på 5-8 og mellom 10 og 20 minutter for sammenkobling. Dette er dekkarbeid som må utføres i all slags vær og kan føre til mye unødvendig dødtid dersom en taubåt skal arbeide med flere lektere i en kortere rute. I en tauet sammenkobling vil det alltid oppstå en viss grad av slakk mellom pusher og lekter. Dette fører til at senterlinjene til henholdsvis lekter og pusher ikke holder seg parallelle, noe som fører til forsinkelse av bevegelser av lekteren satt i gang av pusheren.

Marcon [31] mener dermed at ved å bruke et mekanisk system oppstår ikke denne forsinkelsen under manøvrering. Den ekstra kostnaden ved å investere i et mekanisk system vil spares inn i løpet av ikke lang tid. Med et mekanisk system trenger selve tilkoblingen ikke ta mer enn mellom 30 og 40 sekunder, der alt styres fra broen.

### 2.3.3 Eksisterende systemer

Marcon [31] skriver at det er hovedsakelig japanske Taisei Engineering som i dag designer og konstruerer ulike tilkoblingssystemer for pushbarger. De har flere ulike typer modeller som er optimalisert for ulik bruk og består av topunktssystemer og trepunktssystemer, disse kalles henholdsvis Articouple og Triofix. Marcon [31] skriver at hovedforskjellene mellom to- og trepunktssystemene er at ved topunkts har lekteren og pusheren uavhengig stamping i forhold til hverandre, de er dermed festet sammen på styrbord og babord side av pusheren. Trepunktssystemet har også et feste i baugen på pusheren og fører til at lekteren og pusheren er festet sammen i alle frihetsgrader.

På Marcon [31] sine nettsider står det også at hver av disse typene er designet for å kunne kobles sammen uavhengig av forskjellen i dypgang hos lekter og pusher. Dermed vil lekterens variable dypgang når den er lastet eller tom ikke ha noen innvirkning på muligheten for å koble seg til eller av en pusher.

Marcon [31] skriver videre at Articouple sin topunktssammenkobling består av to sammenkoblinger. Dette gjør at kostnadene på topunktssystemet er lavere enn for trepunktssystemet. Den variable stampingen til topunktssystemet gjør at pusheren vil bevege seg i forhold til lekteren under fart. Dette krever større klaring mellom pusher og lekter for at det ikke skal oppstå kontakt mellom de under fart. Marcon [31] mener at denne klaringen er lite gunstig sett med et hydrodynamisk perspektiv, den vil skape turbulens i mellomrommet og vil øke motstanden for pushbargen under fart. Dette er også grunnen til at hastigheten til en slik pushbarge er en del lavere enn for et konvensjonelt skip med samme motorkraft. En annen bakdel med et slikt system er at pusheren blir utsatt for stamping fra lekteren, noe som gjør at det kan oppleves som lite behagelig for mannskapet om bord i pusheren. Det kan også oppstå støy på grunn av disse bevegelsene.

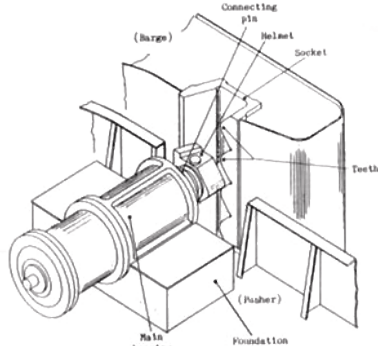
Marcon [31] skriver at Triofix trepunktsserien har en tilkobling i baugen på pusheren og midt i lekterens utkapp. Klaringen mellom lekter og pusher kan også reduseres betraktelig, siden det ikke er noen bevegelser mellom disse, noe som gjør at virvelmotstanden ikke blir i nærheten så stor. Marcon [31] mener at dette gjør at man kan oppnå større hastigheter enn med en topunktssammenkobling. Samtidig vil fraværet av den relative stampingen øke komforten om bord for mannskapet. Den stive trepunktssammenkoblingen tilbyr altså større operasjonell ytelse enn topunktssystemet men vil være noe mer kostbart.

Marcon [31] mener at i bølger vil lastene være veldig forskjellige på tilkoblingene. Med topunkts og variabel stamping vil det oppstå større vertikale laster på koblingene, mens på trepunkts vil det være større langsgående spenninger i lekteren. Lasten på koblingen vil også variere ut i fra hvor i lengderetningen den er plassert på pusheren. Marcon [31] skriver at dersom koblingen flyttes bakover på pusheren, mot midtskipet, på et topunktssystem vil langskiplasten minke mens den vertikale lasten vil øke. Her vil også den variable stampingen øke. I et trepunktssystem vil det oppstå liknende tendenser i vertikal og langsgående laster.

### 2.3.4 Topunktssystem

Articouple: Articouple er et topunktssystem som er delt inn i tre serier: K, F og FR.

Produsenten [32] skriver at K-serien festes ved at armen går inn i spor, eller såkalte tenner i skroget, det er flere tenner vertikalt for å tillate festing ved ulike dypganger. Produsenten [33] påstår det er et

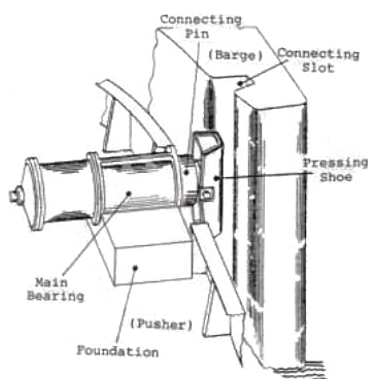


Figur 2.14: Articouple K [32]

pålitelig system uten slidedeler som passer bra for større fartøyer og røffe sjøforhold. Sammenkoblingen styres fra broen og skal fungere bra selv om det er en relativ krenkning mellom leker og pusher, eller at pusheren får små bevegelser fra bølger.

Produsenten [32] skriver videre at det er mulig å omgjøre en konvensjonell slepebåt ved å installere et KD-system, som er en variant for Articouple K. Dette betyr at et K-system installeres oppå dekket til slepebåten, og endringen fører ikke til videre endringer for slepebåten enn at systemet tar plass på dekk. Figur 2.14 viser hvordan dette systemet ser ut, her ser en armen som går inn i de ulike tennene.

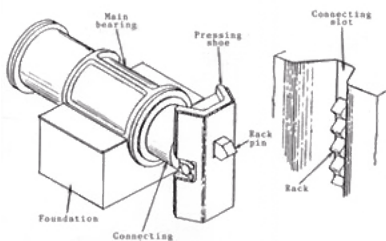
Produsenten [33] skriver at F-serien skiller seg fra K-serien ved at det brukes gummisko for å lage friksjon mellom pusher og leker i stedet for stegsystemet som Articouple K har. Her blir det altså ikke brukt noen mekaniske tenner. Produsenten [33] påstår at dette systemet kan brukes i bølgehøyder opp til 3 meter. Fordelen med F-serien er at det er den aller enkleste måten å koble



Figur 2.15: Articouple F [33]

sammen pusher og leker på. Det ble utviklet for bruk på lektere som skulle dumpe last samtidig å holde seg i tilkoblet tilstand, men i dag er det i bruk på lektere som frakter vanlig gods i havner og steder med relativt rolige sjøforhold, alt på grunn av den enkle tilkoblingen og den gode nok sjødyktigheten. Produsenten [33] skriver også at F-serien består av to underkategorier, FD og FC. FD-serien monteres på dekk av en taubåt for mindre lektere og FC-serien monteres inne i skroget på pusheren for medium til store lektere og pushere. Figur 2.15 viser hvordan dette systemet ser ut, her ser en armen med gummi som fester seg til siden ved hjelp av friksjon.

Produsenten [34] skriver at FR-serien kombinerer den mekaniske og sjødyktige K-serien og friksjonen fra F-serien. Disse er ofte brukt der det er nødvendig å ha pusher og leker i sammenkoblet tilstand under lossing og lasting i røffere sjø. I dette systemet kan de mekaniske tennene trekkes

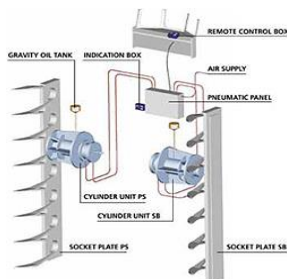


Figur 2.16: Articouple FR [34]

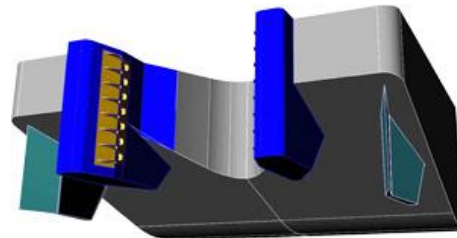
tilbake og dypgangen kan variere fritt ved bruk av gummiskoene. Dette systemet er det mest kostbare siden det består av to mekanismer og trenger utbytting av gummiskoene. Figur 2.16 viser hvordan dette systemet ser ut, her ser en armen som fester seg ved å bruke både friksjon og tenner.

Lightering System: Det eksisterer også andre produsenter som har utviklet sine egne løsninger for topunkts tilkoblinger. Beacon Finland [35] skriver at de har utviklet tilkoblingssystemet «Lightering

System», som gjør at pushbargen kan være i tilkoblet tilstand under lossing og lasting ved å tillate vertikale bevegelser i tilkoblingen. Tilkoblingen kan også låses mekanisk for å hindre vertikale bevegelser. Beacon Finland har i dag forskjellige modeller på sine tilkoblinger og hevder at fartøy med en slik kobling kan gå i opptil 7 m bølgehøyde. Figur 2.17 viser hvordan dette systemet ser ut, her ser en de ulike sporene som lekteren kan koble seg til uavhengig av relativ dypgang. Figur 2.18 viser hvordan festemekanismen ser ut.

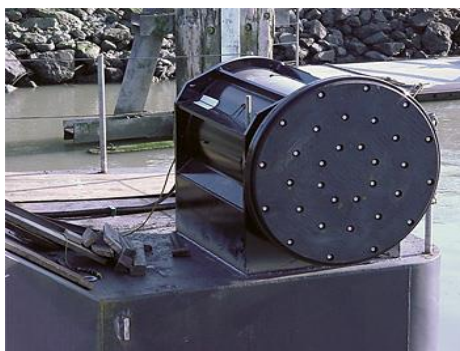


Figur 2.17: Lightering System [35]



Figur 2.18: Festemekanismen til Lightering System [35]

Clamp system: Kanskje det aller enkleste systemet som eksisterer i dag kalles «Clamp System». Produsenten Westec [36] skriver at dette systemet består av to klemmer plassert på lekteren som ved hjelp av hydraulikk presser to runde flater av gummi inn mot skutesiden til pusheren. Dette systemet tillater uavhengig stamping ved å la klemmene rotere. En fordel med klemmesystemet er at det ikke tar plass i pusheren da de plasseres på lekteren. Westec [36] skriver videre at forandringer i dypgang justeres enkelt ved å trekke tilbake den ene klemmen for å la pusheren flyte fritt. Noen ulemper med systemet er at det ikke er veldig robust i røff sjø og er ikke komplett mekanisk. På figur 2.19 vises klemmene på lekteren, mens figur 2.20 vises systemet i sammenkoblet modus.



Figur 2.19: Clamp System på lekter [36]

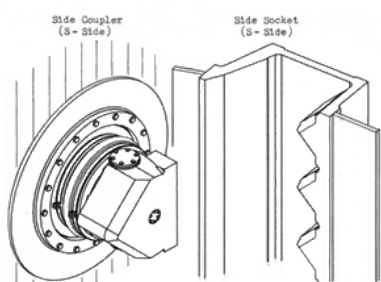


Figur 2.20: Sammenkoblet modus [36]

### 2.3.5 Trepunktssystem

Triofix: Triofix er et trepunktssystem som er delt inn i TK-, TR- og TRF-serien.

Produsenten [37] skriver at Triofix TK-serien bruker topunktssystemet Articouple K som tilkobling i sidene og en enkel kile i baugen på pusheren for å gjøre systemet til et trepunktssystem. Triofix TK-serien er et pålitelig system som brukes på større fartøy som opererer i røff sjø. Figur 2.21 viser hvordan sammenkoblingssystemet på sidene ser ut, dette systemet er det samme som på figur 2.14. Produsenten hadde ingen illustrasjon av hvordan kilen i baugen av pusheren vil se ut,

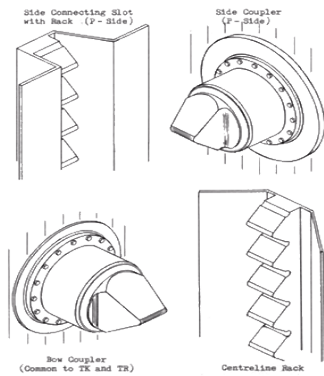


Figur 2.21: Triofix TK [37]



men antakeligvis lignende kilen som systemet Triofix TR har, disse kilene vises på figur 2.22

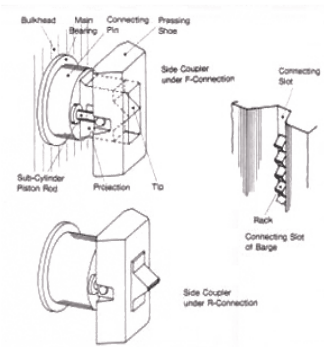
Triofix TR-serien består utelukkende av kiler som koblinger på sidene og i baugen. Produsenten [38]



Figur 2.22: Triofix TR [38]

hevder at dette systemet er veldig enkelt og billig å bygge. Måten dette fungerer på er at koblingspinnene, som er montert på skutesidene under hoveddekket til pusheren, aktiveres utover og treffer mellom tennene i utkappet på lekteren. Deretter aktiveres baug koblingen som på samme måte treffer mellom tennene i utkappet ved senterlinjen, og dytter pusheren bakover slik at koblingene på sidene blir presset mot bakkanten av veggen. Hele systemet styres fra broen av pusheren. Figur 2.22 vises hvordan dette systemet ser ut, øverst vises tennene og koblingspinnene som blir brukt på sidene av pusheren. Nederst på figur 2.22 vises tennene og koblingspinnene som blir brukt i baugen av pusheren.

Produsenten [39] skriver at TRF-serien er en kombinasjon mellom friksjon og mekaniske tenner, slik



Figur 2.23: Triofix TRF [39]

som Articouple FR-serien var en kombinasjon av Articouple F og K. I baugen er det en kileformet kopling slik som i TK-serien. TRF-serien brukes ofte på lektere som skal dumpe last og samtidig kunne seile med en høy hastighet over lengre distanser i røffere sjø. Figur 2.23 viser hvordan dette systemet ser ut, her ser en også hvordan det ser ut når koblingspinnen er inne eller ute.

**Bludworth-cook:** Dette systemet har en kile i baugen på pusheren som treffer inn i utkappet på lekteren. Dette skaper et pivotpunkt som pusheren vil stampe rundt. En anerkjent nettside for sammenkoblingsystemer [40] skriver at systemet har en variabel trimgrense på 18 grader. Pusheren har 2 gummiplater på styrbord- og babord side, der den ene eller begge er bevegelige. Disse presses utover fra pusheren og kiler fast pusheren i utkappet. Figur 2.24 viser hvordan dette systemet ser ut i baugen av pusheren. Figur 2.25 viser systemet i sammenkoblet modus.



Figur 2.24: Bludworth-cook [40]



Figur 2.25: Sammenkoblet modus [40]

## 2.4 LNG

GASNOR [41] skriver at LNG er gass, med som regel over 90 % metan, i flytende tilstand. Det er mange ulike mål for massetettheten til LNG, blant annet GASNOR [41] mener at LNG har en massetetthet på  $450 \text{ kg/m}^3$  ved atmosfærisk trykk og temperatur  $-160^\circ\text{C}$ . Mens The Engineering ToolBox [42] skriver at massetettheten til LNG varierer mellom  $410 - 500 \text{ kg/m}^3$ .

Devold [43] skriver at gassen er gjort flytende for å gjøre den mer effektiv å transportere og lagre. Volumet til gassen i flytende form er omtrent  $1/600$  del av volumet i gassform. LNG tankere brukes i de rutene der det ikke er gunstig å legge rør for transport. Etan, propan og butan har alle frysepunkt lavere enn  $-180^\circ\text{C}$  og kan derfor være en del av den flytende gassen. Flytegjøringsprosessen består av i hovedsak tre trinn: forkjøling, kondensering og etterkjøling. Her kjøles gassen til å begynne med ned til  $-30^\circ\text{C}$  deretter kjøles den ytterligere ned til  $-115^\circ\text{C}$ . Til slutt kjøles den nå flytende gassen ned til omtrent  $-162^\circ\text{C}$  som er en stabil tilstand.

Devold [43] skriver at lagring i terminaler og på tankere gjøres i isolerte tanker ved absolutt trykk opp til  $125 \text{ kPa}$ . Det vil oppstå varmelekkasjer som fører til at den flytende gassen koker og fordamper. LNG lagres derfor som en kokende kryogen, det vil si at væsken er lagret ved kokepunktet for lagringstrykket. Den gjenstående væsken absorberer fordampingsvarmen og hjelper dermed på å holde på temperaturen i tanken. Den gassen som fordamper kan for eksempel brukes som drivstoff på skip der den fraktes.

### 2.4.1 TYPE C TANKER

I følge den nåværende IMO IGC koden, må LNG drivstofftanker velges fra «Independent Types A, B or C.» LNG type C tanker er sylindriske tanker med avrundede ender. LNG bunkering [44] skriver på sine nettsider at fordelene med disse tankene er at de tillater å lagre LNG med over  $2 \text{ bar}$  trykk, krever lite vedlikehold, er lette å installere og koster mindre enn type A og B. En bakdel med å bruke type C tanker er at selve tankene tar større plass om bord, LNG bunkering [44] mener at en type C tank tar mellom to til fire ganger så stor plass som en vanlig tungoljetank. På figur 2.26 vises en typisk sylindrisk type C tank, av mindre størrelse.



Figur 2.26: Sylindrisk type C tank [45]

### 2.4.2 LNG som last

Breaking Energy [46] skriver på sine nettsider at LNG har blitt transportert på sjøveien siden 1960 tallet og har vist seg som det mest sikre drivstoffet å transportere. I gassform er LNG brannfarlig og utgjør farer som må håndteres på riktige måter, men sammenlignet med andre flytende brennstoffer som bensin og diesel er disse farene vesentlig lavere. Dersom LNG blir sølt vil gassene varmes opp,

fordampes og etterlater ingen rester som ligger igjen og utgjør en brannfare. LNG er heller ikke giftig og vil ikke skade miljøet dersom det skulle oppstå søl på havet, så lenge det ikke er en brannkilde til stede som kan sette fyr på gassene før de forsvinner opp i atmosfæren.

Det er noen faktorer som gjør LNG tryggere enn andre brensler, et eksempel er Breaking Energy [46] som skriver at:

- Metangass er lettere enn luft og forsvinner raskt i forhold til andre brensler som kan danne en dam på bakken og etterlate seg slam
- Metan er ikke giftig
- LNG tanker har ofte dobbel vegg som gjør de sterke og mer robuste enn tanker for andre brensler og kjemikaler
- Metan er ikke eksplosivt i luft og mindre brennbar enn andre gasser

Det er også farer med LNG, Breaking Energy [46] sier at det som må tas høyde for er:

- LNG som koker og utvider seg hurtig kan føre til eksplosjoner. Dette kan oppstå ved svikt i tankene
- Dersom store volum LNG dumpes i vann kan det oppstå en eksplosjon, uten at gassen antennes. Her kan det oppstå skader på omkringliggende bygninger og utstyr.
- Dersom LNG søles i et område der gasser ikke slippes ut. Dette utgjør en stor brannfare dersom det skulle oppstå en brannkilde
- LNG lagres ved omtrent  $-160^{\circ}\text{C}$  og kan gi frostskafer dersom det kommer i kontakt med hud
- Metanbranner må bekjempes med tørre kjemikalier da vann kan forverre brannen
- LNG lukter ikke og det blir dermed vanskelig å oppdage at det er gass tilstede i luften

For å kunne håndtere farene ved LNG om bord på skip brukes det arealklassifisering fra IGC.

## 2.5 Slepetest

Kamsvåg [17] skriver at målet med en slepetest er å finne restmotstandskoeffisienten for modellen som blir slept, ettersom denne er den samme som restmotstandskoeffisienten for et fullskala skip. For å finne denne må man først finne totalmotstandskoeffisienten til modellen, som er resultatet man får ut av en slepetest. Deretter tar man totalmotstandskoeffisienten og trekker fra friksjonsmotstandskoeffisienten som kan regnes ut med formel, og da har man restmotstandskoeffisienten.

For å bestemme hvilken hastighet modellen skal slepes med sier Kamsvåg [17] at Froudes tallet brukes. Dette tallet er likt for modell og fullskala. Ettersom Froudes tallet er likt kan vi løse ut denne ligningen med hensyn på hastigheten til modellen.

## 2.6 Regelverk

### 2.6.1 IGC

IGC-regelverket [47] sier at et skip skal tåle både den hydrostatiske endringen i tankene om de blir fylt og skrogskaden som følge av en ekstern kraft.

IGC-regelverket [48] sier at et skip må følge en av fire følgende standarder når en skal bruke IGC-regelverket: 1G, 2G, 2PG eller 3G. IGC-regelverket definerer de ulike typene som følger:



- 1G: Tankskip som skal frakte produkt som krever maksimal forebyggende tiltak for å hindre at gassen lekker ut.
- 2G: Tankskip som skal frakte produkt som krever betydelige forebyggende tiltak.
- 2PG: tankskip på under 150 m som krever betydelige forebyggende tiltak. Produktene er fraktet i type C tanker.
- 3G: Tankskip som skal frakte produkt som krever moderate forebyggende tiltak.

IGC-regelverket [49] sier at om en tank får hull i seg skal den betraktes som komplett fylt med saltvann i skadet tilstand.

IGC-regelverket [50] sier at avstanden mellom en kurvet gjenstand og en flat vegg som skal inspiseres i sin helhet skal være minimum 380 mm.

IGC-regelverket [51] sier at en lastetank ikke skal fylles mer enn 98 % av det totale volumet på referansetemperatur.

IGC-regelverket [52] sier at for å kunne ha ett kontrollrom eller lignende i en gassone må det avskilles med luftsluser. Dette er to ståldører som er gasstette, med avstand 1,5-2,5 meter i fra hverandre. Luftslusen må være i stand til å holde oppe ett overtrykk.

IGC-regelverket [53] sier om avstanden  $d$ , som er en avstand en får basert på hvor mye volum man har i hver tank. Denne avstanden bestemmer hvor langt fra skutesiden det er lovlig å ha en lastetank.

IGC-regelverket [54] sier at plasseringen av lastetanker for 2G skip skal være minimum avstanden i skadet tilstand som ble regnet ut i 2.3.1, og må være høyere enn « $d$ » som en finner i 2.4.1.

IGC-regelverket [55] sier at for hver type av væske skal en av tankene ha fri væskeoverflate i lastkondisjoner

IGC-regelverket [56] sier om avstandene fra lastetanker til ytterskallet som trengs i tilfelle det skjer en skade på skipet, disse er som følger:

Skade i siden:

Langskips utstrekning:  $1/3L^{(2/3)}$  eller 14,5 m, der den minste brukes

Tverrskips utstrekning  $B/5$  eller 11,5 m, der den minste brukes

Vertikal utstrekning: Oppover uten noen grense

Skade i bunn for  $0,3L$  fra fremre perpendikulær:

Langskips utstrekning:  $1/3L^{(2/3)}$  eller 14,5 m, der den minste brukes

Tverrskips utstrekning:  $B/6$  eller 10 m, der den minste brukes

Vertikal utstrekning:  $B/15$  eller 2 m, der den minste brukes

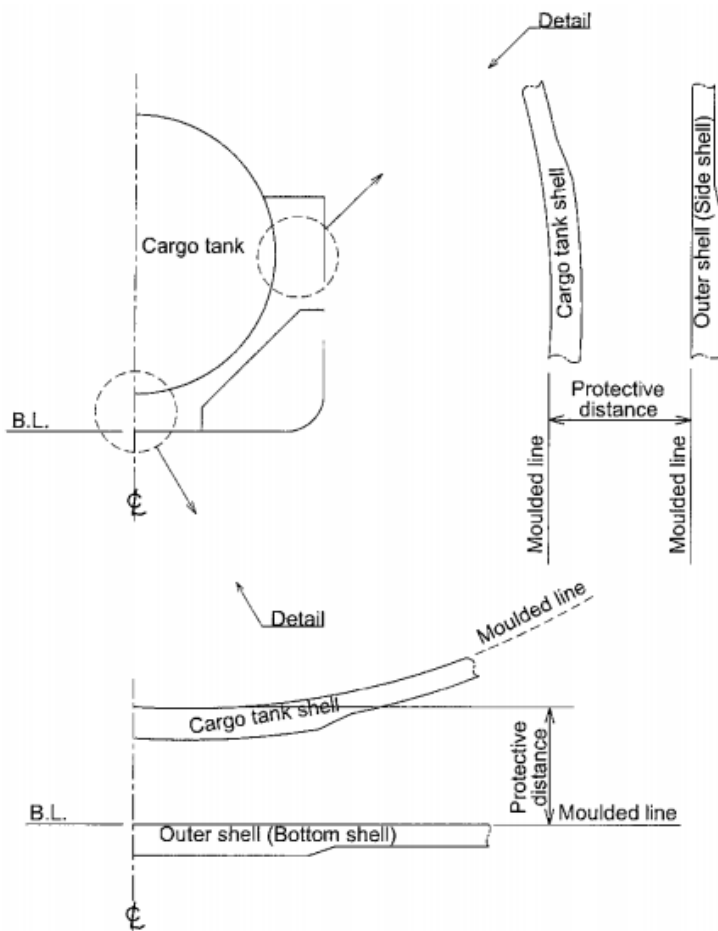
Skade i bunn for alle andre deler av skipet:

Langskips utstrekning:  $1/3L^{(2/3)}$  eller 14,5 m, der den minste brukes

Tverrskips utstrekning:  $B/6$  eller 5 m, der den minste brukes

Vertikal utstrekning:  $B/15$  eller 2 m, der den minste brukes

IGC-regelverket [57] sier at den vertikale utstrekningen i skadet tilstand i bunn skal bli målt til bunnen av lastetanken. Tverrskips utstrekningen i skadet tilstand i siden skal bli målt til siden av lastetanken. Se figur 2.27 for illustrasjon.



Figur 2.27: Beskyttende avstander [58]

IGC-regelverket [59] sier at intet soveværelse, servicestasjonen eller kontrollstasjoner skal være plassert i lasterommet. Skottene som skiller slike rom med lasterommet skal være plassert slik at en unngår å få gass inn i slike rom om det skjer en svikt.

## 2.6.2 DNV

I følge DNV [60] og [61] er arealklassifisering en metode som brukes for å analysere områder der eksplosive gasser kan fremstå i atmosfæren om bord i skip som frakter LNG i tanker. Formålet med denne klassifiseringen er å muliggjøre utvelgelse av hvilke elektriske apparater som kan opereres trygt i forskjellige områder på skipet, konstruksjonsmessige forhold og installasjoner. Disse områdene er inndelt i sone 0, 1 og 2. De reglene som er brukt i denne oppgaven er definert som følger.

Sone 0: DNV [62] sier at sone 0 er områder der eksplosiv gass er til stede kontinuerlig eller over lengre perioder.

DNV [63] sier at områder som vil falle inn under sone 0 er:

- Inne i lastetanker, utstyr og rør som vil inneholde LNG.

Sone 1: DNV [64] sier at sone 1 er områder hvor det er sannsynlig at eksplosiv gass vil opptre under normal operasjon.

DNV [65] sier at områder som vil falle inn under sone 1 er:

- Lasterommet: rommet som inneholder LNG tankene.
- Tank domer: inneholder rørtilslutninger til tankene.
- Ventilrom og i tillegg 1,5 m radius utenfor døråpning.
- Gassmast: halvkule med 6 m radius på undersiden samt en sylinder med 6 m radius over med ubegrenset høyde.
- Kobling mellom bunkringsstasjon og bunkringslange: 3 m radius.
- Kraner for operasjon av bunkringslange: 3 m radius langs hele operasjonsområdet til kranene.
- Innløp for ventilasjon til lasterommet: kule med radius 1,5 m. Dette innløpet kan ikke stå i en gassone, som ikke er generert fra seg selv.
- Utløp for ventilasjon til lasterommet: kule med radius 3 m. Dette utløpet kan ikke stå i en gassone som har lavere verdi enn seg selv.
- Døråpning til lasterom: kule med radius 3 m.

Sone 2: DNV [66] sier at sone 2 er områder hvor det ikke er forventet at eksplosiv gass vil oppstå under normal operasjon, og om den oppstår er det sjeldent og under korte perioder.

DNV [67] sier at områder som vil falle inn under sone 2 er:

- Lasteområdet: 3 m bak bakre og foran fremre LNG tank opp til en høyde på 2,4 m over værdekket.
- Dør til ventilrom: 1,5 m utenfor sone 1.
- Gassmast: 4 m utenfor sone 1.
- Sammenkobling mellom bunkringsstasjon og bunkringslange: 1,5 m utenfor sone 1.
- Kran for operasjon av bunkringslange: 1,5 m utenfor sone 1.
- Innløp ventilasjon til lasterommet: 1,5 m utenfor sone 1.
- Utløp for ventilasjon til lasterommet: 1,5 m utenfor sone 1.
- Døråpning til lasterom: 1,5 m utenfor sone 1.
- Rom som befinner seg fremfor det åpne lasteområdet i sone 1 som ligger under hoveddekket og har en åpning som ligger mindre enn 0,5 m over hoveddekket med mindre inngangen til slike rom ikke er vendt mot lastetankområdet og sammen med alle andre åpninger til rommet, inkludert ventilasjonssystemets innløp og eksos ligger minst 10 m horisontalt fra et lastetankutløp eller gassutløp, og at rommene er mekanisk ventilert.

DNV [68] sier at inntak for ventilasjon til områder i gassoner må befinne seg i områder som, i fravær av sin egen gassone, ikke er i en gassone.

DNV [69] sier at på seg at luft utløp fra gassoner må befinne seg i et åpent område som er i samme eller mindre grad hasardiøst enn det ventilerte rommet.

DNV [70] sier at utløp fra gassoner som er til for å kunne slippe ut gass må befinne seg 4 m over dekk og minst 10 m horisontalt fra innganger til ventilasjonsinnløp, kontrollrom, innkvartering og andre områder som ikke er gassoner.

DNV [71] beskriver hvor kollisjonsskottet skal plasseres.

Avstanden  $X_C$  fra perpendikulæren  $P_F$  til kollisjonsskottet skal ligge mellom grensene:

$$X_C(\text{minimum}) = 0.05L_F - x_r \text{ (m)}$$

$$X_C(\text{maximum}) = 0.05L_F + 3 - x_r \text{ (m)}$$

For skip som har en del av undervannsskroget som strekker seg foran  $P_F$  som for eksempel en bulb, skal  $x_r$  være den minste av:

$$x_r = 0.5x_b \text{ (m)}$$

$$x_r = 0.015L_F \text{ (m)}$$

DNV [72] sier at lengden til et skip med uvanlig akterutforming vil bli spesielt vurdert.

## 2.7 Formler

$$DW + LW = L * B * T * C_b * \rho \quad [1]$$

Der DW er dødvekten i tonn til skipet

LW er lettskipsvekten i tonn til skipet

L er skipets lengde i meter ved designet vannlinje

B er skipets bredde i meter ved designet vannlinje

T er skipets dypgang i meter

$C_b$  er skipets blokkoeffisient

$\rho$  er massetettheten til væsken i tonn/m<sup>3</sup>

$$T = 2 + 0,02 * L \quad [2]$$

Der T er skipets dypgang i meter

L er skipets lengde i meter mellom perpendikulærene

$$C_b = C - 1,68 * F_n \quad [3]$$

Der  $C_b$  er skipets blokkoeffisient

C er et tall basert på empiri, 1,06 brukes

$F_N$  er Froudes tallet til skipet

$$C_b = \frac{0,14}{F_N} * \frac{\frac{L}{B} + 20}{26} \quad [4]$$

Der  $C_b$  er skipets blokkoeffisient

$F_N$  er Froudes tallet til skipet

L er skipets lengde i meter ved vannlinjen

B er skipets bredde i meter ved vannlinjen

$$Cb = \frac{0,23}{Fn^2} * \frac{\frac{L}{B} + 20}{26} \quad [5]$$

Der  $C_b$  er skipets blokkoeffisient

$F_N$  er Froudes tallet til skipet

L er skipets lengde i meter ved vannlinjen

B er skipets bredde i meter ved vannlinjen

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 * B * H + 0,1 * A \quad [6]$$

Der EN er utstyrnummeret til skipet

$\Delta$  er skipets vektdeplasement i tonn

B er skipets bredde i meter

H er høyden i meter fra vannlinjen til toppen av det øverste dekkshuset

A er skipets areal i kvadratmeter over vannlinjen, sett fra siden

$$\sigma = \frac{Ms + Mw}{Z_{min}} \quad [7]$$

Der  $\sigma$  er langskipsbøyespenning i MPa

Ms er stille vannmoment i kNm

Mw er bølgemoment i kNm

$Z_{min}$  er motstandsmoment i  $m^3$

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g * L}} \quad [8]$$

Der  $F_N$  er Froudes tallet til skipet

V er skipets fart i meter per sekund

$g$  er gravitasjonsakselerasjonen i  $m/s^2$

$L$  er skipets lengde i meter

$$R_T = C_T * \frac{1}{2} \rho * V^2 * S \quad [9]$$

Der  $R_{TS}$  er totalmotstand i N

$C_{TS}$  er motstandskoeffisienten

$\rho_S$  er massetettheten til væsken i  $kg/m^3$

$V_S$  er hastigheten i  $m/s$

$S_S$  er den våte overflaten i  $m^2$

$$R_N = \frac{V * L}{\nu} \quad [10]$$

Der  $V$  er hastigheten til strømmingen i  $m/s$

$L$  er lengden i meter

$\nu$  er den kinematiske viskositeten i  $m^2/s$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \quad [11]$$

Der  $C_f$  er friksjonsmotstandskoeffisienten

$R_n$  er Reynoldstallet

$$C_{RM} = C_{TM} - (1 + k) * C_{FM} - C_{AAM} - C_{BDM} \quad [12]$$

Der  $C_{RM}$  er friksjonsmotstandskoeffisient til modell

$K$  er formfaktor til modell

$C_{FM}$  er friksjonsmotstandskoeffisient til modell

$C_{AAM}$  er luftmotstandskoeffisient til modell

$C_{BDM}$  er motstandskoeffisient for tverrhekk til modell

$$C_{TS} = C_{RS} + (1 + k) * (C_{FS} + \Delta C_F) + C_{AAS} + C_{BDS} + C_A \quad [13]$$

Der  $C_{TS}$  er totalmotstandskoeffisient til fullskala skip

$C_R$  er restmotstandskoeffisient til fullskala skip

$K$  er formfaktor

$C_{FS}$  er friksjonsmotstandskoeffisient til fullskala skip

$\Delta C_F$  er differansen mellom friksjonsmotstandskoeffisienten til modell og fullskala skip.

$C_{AAS}$  er luftmotstandskoeffisienten til fullskala skip

$C_{BDS}$  er motstandskoeffisienten for tverr hekk til fullskala skip

$C_A$  er korrelasjonskoeffisient til fullskala skip

$$x_r = 0.5x_b \quad [14]$$

Der  $x_b$  er distansen fra  $P_f$  til den fremste enden av bulben

$P_f$  = Det fremre punktet der  $L_f$  blir målt til

$$x_r = 0.015L_f \quad [15]$$

Der  $L_f$  er lengden av skipet som definert i International Convention on Load Lines: Lengden skal være 96 % av den totale lengden på en vannlinje ved 85 % av høyden ved den minste høyden på fribordet målt fra kjølen

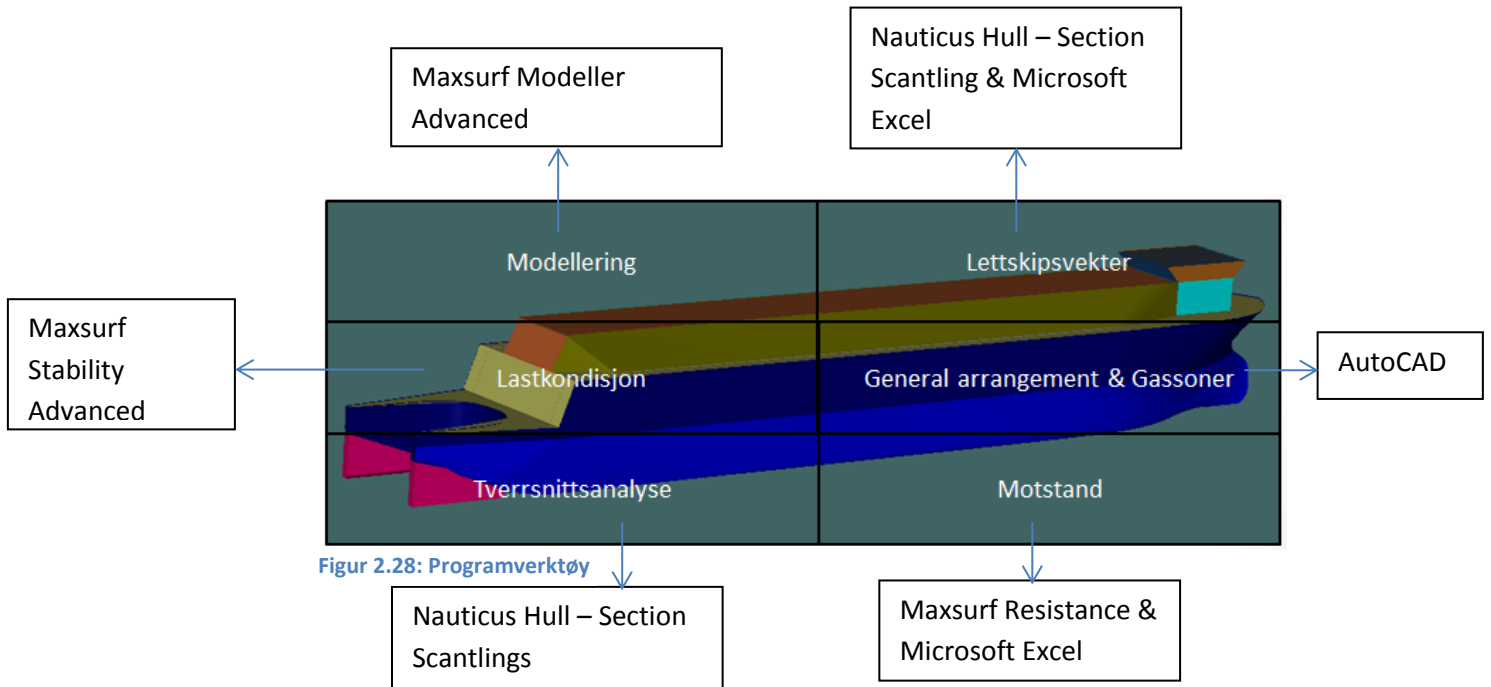
$$X_C(\text{minimum}) = 0.05L_f - x_r \quad [16]$$

$X_r$  skal være den minste verdien av formel [14] og formel [15]

$$X_C(\text{maximum}) = 0.05L_f + 3 - x_r \quad [17]$$

## 2.8 Programverktøy

Figur 2.28 viser hvilke programmer som brukes i de forskjellige delene av prosjektet. Bruken av de ulike programmene blir forklart mer detaljert i kapittel 3.7.





## 3 Metode

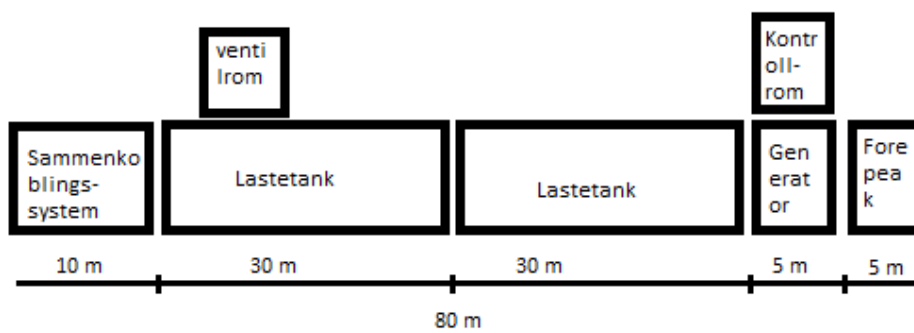
### 3.1 Prosjektering

Dette prosjektet ble utført ved å bruke Kai Levanders «design spiral». Dette er en anerkjent metode innen skipsdesign, som vi gjorde oss kjent med tidligere i skipsdesignstudiet. Dette er en metode vi betrakter som sikkert for det endelige optimaliserte designet med ønsket egenskaper. Det er en itererende prosess hvor designet gradvis forbedres inntil kravene er nådd og vi er fornøgd med designet. Utgangspunktet var antakelser som vi visste var unøyaktige, men for å komme i gang var de nødvendige.

Det finnes mange formler for estimering av lengder, bredde og dybde, men ettersom dette er formler som er basert på empiri for tradisjonelle skip, er de ikke overførbare for vårt prosjekt ettersom vi designer en leker. Empiri vil ikke stemme overens med vår leker fordi den ikke har vanlig maskineri og det er en forholdsvis «vill idé» med tanke på sammenkoblingssystemet, og dermed vil ikke formlene stemme overens med lekerens reelle lengde. Vi har derfor valgt å ikke følge formler for anbefalinger eller empiri når det gjelder lengde, bredde og dybde. Derimot vil formler for blokkoeffisient og Froudes tall være gyldig ettersom de tar utgangspunkt i de hoveddimensjonene vi har kommet frem til.

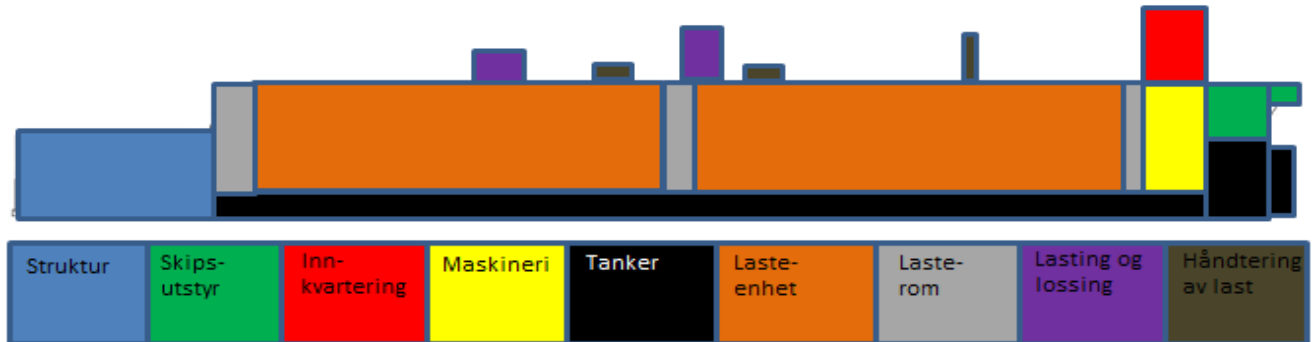
For å bestemme hoveddimensjonene ble det brukt bokser som vist i kapittel 2.1.1. Basert på boksene til lekeren vår fant vi en initiallengde som ble brukt som et førsteutkast. Etter noen runder i designspiralen endte vi opp på den lengden vi mener er optimal. Alle kravene som blir stilt av IGC og DNV er innfridd med minst mulig margin, dette gjelder både avstanden til kollisjonsskottet, avstand mellom tanker og ulike flater og et generatorrom som er forholdsvis kort. Som nevnt i innledningen var det ingen flere krav angående lastetankene fra oppdragsgiver enn at lekeren skulle ha type C sylindriske tanker. Noe som gav oss frihet til å kunne velge dimensjoner selv. Etter samtaler med stipendiater som forsker på drivstofftanker til LNG ble det anbefalt et lengde/diameterforhold på mellom 2,5-6, som er et relativt stort gap. Her valgte vi å ta utgangspunkt i to tanker med en lengde på 30,0 m og en indre diameter på 7,6 m noe som er en slankhet på 3,9 som er innenfor forholdet vi ble anbefalt.

På figur 3.1 vises en enkel figur på hvordan vi brukte boksene til å finne et startpunkt til lekerens lengde. Her ble boksene fordelt i høyden der dette var mulig for å redusere lekerens lengde. Utgangspunktet er naturligvis ingen endelig lengde og denne må optimaliseres senere for blant annet å redusere stålvekt og motstand.



Figur 3.1: Startpunkt lengde

På tabell 3.1 vises hvordan vi har utført en bottom-up tilnærming på designet av lekteren. Her har vi funnet de ulike systemene lekteren trenger for å frakte lasten og deretter gått mer detaljert inn på hvert av systemene. De ulike systemene er fargekodet for å finne de systemene en er interessert i. Figur 3.2 viser plasseringen og fargekodene av disse systemene på lekteren, tabell 3.1 viser lengde, bredde og høyde på systemene. Vi føler at dette vil være den mest gunstige metoden for å finne hoveddimensjoner i vårt tilfelle.



Figur 3.2: Fargekodet system på leker

System			Lengde [m]	Bredde [m]	Høyde[m]
Skipsfunksjoner	Struktur	Sammenkoblingssystem	10	12	4
	Skipsutstyr	Anker	4	4	4
		Ankerkjetting	4	4	4
	Innkvartering	Kontrollrom	5	6	5
	Maskineri	Generatorrom	5	8	6,6
	Tanker	Ballast styrbord	65	1,2	3
		Ballast babord	65	1,2	3
Ballast kjøøl		65	12	1,2	
Fore peak		5	8	5	
Nyttelastfunksjoner	Lasteenhet	Aktre lastetank	30	8	8
		Fremre lastetank	30	8	8
	Lasterom	Lasterom	60	9,6	10
	Lasting og lossing	Kraner	3	2	2
		Ventilrom	5	4	3
	Håndtering av last	Aktre dome	1	1	1
		Fremre dome	1	1	1
Ventilasjonsmast		1	1	2	

Tabell 3.1: Bottom-up tilnærming

Lekterens bredde ble bestemt på grunnlag av innerdiameteren til lastetankene. Deretter kunne vi gå maksimalt ut 2,4 m basert på regelverk til tverrskipets utstrekning i skadet tilstand i siden. Bredden ble dermed optimalisert basert på dimensjonene til LNG tankene. Ettersom innerdiameteren på tankene er 7,2 m vil et tillegg på 2,4 m på hver side gi en endelig bredde på 12,0 m som kun kan reduseres om vi velger å gjøre tankene slankere. Dette gir lekteren et L/B forhold på 6,7, som er en relativt slank leker, spesielt med tanke på at det i tillegg vil komme en pusher som vil øke slankheten.

Dybden til lekteren må være tilstrekkelig til at tankene kan stå plassert i bunnen av lekteren. Med en ytre diameter på 8 m på lastetankene ville den totale høyden blitt på omtrent 10 m om vi valgte å ha et styrkedekk. For å spare stålvekt velger vi å kutte dybden til 7,8 m og heller innføre et værdekk som også skal beskytte tankene for eventuelle skader.

Lekterens dypgang må variere mellom to dypganger ettersom lekteren vil enten seile fullastet eller tom, dette medfører ulik dypgang. Vi har i dette prosjektet derfor bare latt dypgangen bli det den blir fordi det ikke vil være noen krav da vi ikke har noe propulsjon på lekteren. Her er heller ikke noe krav om begrensninger fra havdyp. Formel [1] kan brukes for å regne ut hva dypgangen blir i lastet kondisjon basert på de andre hoveddimensjonene:

$$DW + LW = L * B * T * C_b * \rho \Rightarrow T = \frac{DW+LW}{L*B*C_B*\rho} = \frac{2098}{79,8*12*0,71*1,025} = 3,0 \text{ m}$$

Formel [2] anbefaler følgende dypgang:

$$T = 2 + 0,02 * L = 2 + 0,02 * 79,8 = 3,6 \text{ m}$$

Denne formelen er basert på empiri fra konvensjonelle skip, og blir derfor ikke særlig gjeldende for lekteren. Men den bekrefter antakelsen vi hadde om at dypgangen vil være lavere da lekteren har en spesiell akterutforming og ikke har eget propulsjonssystem om bord. B/T forholdet ender på 4, som er svært høyt og lekteren blir dermed sett på som svært stabil.

For å kunne regne på blokkoeffisienten må en først regne ut Froudes tall, ved å bruke formel [8] ble vårt Froudes tall som følgende:

$$\frac{V}{\sqrt{g*L}} = \frac{6,17}{\sqrt{9,81*79,8}} = 0,22$$

Blokkoeffisienten ble tidlig antatt til å ligge på rundt 0,75, men ettersom det er ønskelig med lav motstand senket vi denne til 0,71. Dette ble støttet av flere formler som anbefalte en blokkoeffisient på mellom 0,65-0,69, mens en empirisk graf viser at blokkoeffisient kan ligge på noe over 0,7 med et Froudes tall på 0,22. Det vil heller ikke være plassmangel for tankene ettersom de er plassert langs senterlinjen og står med en viss høyde fra kjølen. Formel [3], [4] og [5] viser de ulike anbefalingene til blokkoeffisient som ble funnet i kjent litteratur.

$$C_b = 1,06 - 1,68 * 0,22 = 0,69$$

$$C_b = \frac{0,14}{0,22} * \frac{\frac{79,8}{12} + 20}{26} = 0,65$$

$$C_b = \frac{0,23}{0,22^{\frac{2}{3}}} * \frac{\frac{79,8}{12} + 20}{26} = 0,65$$

Som vist i teorien anbefaler Levander at maksimal trim ikke bør overstige 1,5 % av skipets lengde, mens DNV sier at den maksimale trimmen ikke skal overstige 1,0 % av lengden mellom perpendikulærene. I dette prosjektet har vi valgt å følge anbefalingen til DNV, altså en maksimal trim på 0,8 m.

Teorien i kapittel 2.1.10 viser anbefalinger for metasenterhøyden og har dermed optimalisert stabiliteten til lekteren for å tilnærme seg disse. Dette fordi en for høy metasenterhøyde vil føre til krappe rullebevegelser og en for lav metasenterhøyde vil føre til at lekteren blir ustabil. For å oppnå ønsket metasenterhøyde ble det skapt fri væskeoverflate i ballasttankene ved å fylle de mellom 1% og 99 %. Ved å gjøre dette innfrir vi kravet til IGC om at minst en tank per væsketype skal ha fri væskeoverflate.

Metoden for å gjøre skrogvektestimering på er å ta tverrsnittene vi har modellert på Section Scantlings og analysere tverrsnittsarealet, som midtskips er 7296 cm<sup>2</sup>. Ved å gjøre trinnene som er nevnt i teorien ender vi med en vekt på 8,0 t/m. Om vi multipliserer dette med 60 meter, som er lengden av lekteren som har dette tverrsnittet ender vi opp med 480 ton. Til slutt legges det på 3 % på den endelige vekten som er tillegg til vekt for sveis. Det ble anbefalt et tillegg på 5-7 % fra teorien, men på grunnlag av samtaler med oppdragsgiver ble det valgt 3 %. Samme prosedyre ble brukt akter og forut i lekteren for å etablere skrogvekten. Disse vektene ble betraktelig lavere ettersom lengden som hadde de tverrsnittene er kortere.

For å finne vekten av anker og ankerkjetting ble formel [6] for utrustningsnummer brukt. Denne formelen gir et tall som omgjøres til en bokstav som må sjekkes med en tabell fra DNV for å finne vekter for anker og ankerkjetting.

$$E N = 2098^{\frac{2}{3}} + 2 * 12 * 8,36 + 0,1 * \frac{443616633}{10^6} = 408,9 = m$$

Her fikk vi krav om to anker på 1290 kg per anker. Ankerkjettingen ble på 385 meter med en diameter på 28 mm ved beste stålkvalitet, og har en vekt på 6,6 tonn. Deplasement i utregningen er tatt ved designet dypgang for lekteren. Vi har ekskludert pusheren fra denne kalkulasjonen, og det kan diskuteres om den burde vært tatt med.

En bulb ble innført i designet ettersom dette er anbefalt for skip med Froudes tall på mellom 0,17 og 0,7. En vanlig lekter vil oftest ikke ha bulb siden den skal bli tauet, men ettersom denne lekteren skal bli dyttet anser vi det som gunstig å innføre en bulb.

Lastkondisjonene ble utført på to ulike måter. Først ble det testet fem ulike kondisjoner der tankene gikk fra tomme til fulle, med intervallet på 25 %. Dette for å teste at lekteren er sjødyktig med ulikt voluminnhold. Deretter gikk vi dypere inn på lastkondisjonen for tom og fullastet lekter, ettersom det er disse to kondisjonene den vil være designet for.

Arealklassifiseringen fungerer som et verktøy for å plassere ventilasjon, åpninger og dører. Ut i fra regler fra DNV i kapittel 2.6.2 er ventilasjonsinnløpet til lasterommet plassert et stykke over sone 1 området som befinner seg på værdekket for å kunne ta inn luft som ikke skal inneholde noe gass.

For at motorrommet under kontrollrommet ikke skal havne i sone 2 er det ifølge DNV sine regler i kapittel 2.6.2 nødvendig at døren er plassert slik at den ikke vender mot lasteområdet i sone 1. Disse inngangene er derfor plassert på styrbord og babord side av kontrollrommet, utenfor sone 1 generert av lasteområdet på det åpne dekket. Ventilasjonen til dette rommet må plasseres 10 m horisontalt fra ventilasjonsutløpet til lasterommet.

For at gass ikke skal samle seg opp i farlige mengder er det behov for å kunne ventilere områder der gass kan oppstå. Det er også regler for hvor inntak og utløp for ventilasjon kan befinne seg i forhold

til gassonene som er definert over. I denne oppgaven er det lasterommet som inneholder type C tankene som er ventilert. På tegningene over gassonene i kapittel 4.2.7 er de forskjellige områdene delt inn i 12 soner med utspring fra forskjellige åpninger som ut i fra reglene skaper gassoner. Disse er nummerert og gitt forklaringer til på tegningen.

### 3.2 Strukturdesign

Basert på teorien i 2.2.1 ble det i denne oppgaven valgt å innføre langskipsstivere. Det ble valgt en stiveravstand på 600 mm, dette valget ble tatt fra tidligere erfaringer. For å finne bæreravstand fulgte vi også teorien og multipliserte stiveravstanden med 4 og fikk en bæreravstand på 2400 mm.

Til slutt regnet vi ut langskipsstyrken til lekteren ved å bruke Section Scantlings. Dette ble gjort ved å regne ut langskipsbøyespenningene til de tre snittene, som formel [7] viser.

$$\sigma_a = \frac{(19050 + 23937) * 10^6}{0,301 * 10^9} = 143,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{(44711 + 74908) * 10^6}{1,543 * 10^9} = 77,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{(28014 + 40230) * 10^6}{0,972 * 10^9} = 70,2 \text{ MPa}$$

Langskipsbøyespenningene må være mindre enn  $175 * f_1$ , som i vårt tilfelle er 175 MPa ettersom materialfaktor er 1,0 for den type stål som ble valgt. Her fant vi stillevanmoment og bølgeomment for de tre snittene som figur 3.3 viser og tok deretter det minste motstandsmomentet for hvert av tverrsnittene som vises på figur 3.4.

### 9 Design Bending Moments

AT ACTUAL POSITION (10.2 m from AP)	SAGGING (kNm)	HOGGING (kNm)
Design still water bending moments, Ms .....	19050 (Rules)	19050 (Rules)
Design wave bending moments, Mw .....	23937 (Rules)	20819 (Rules)
Design wave bending moments, Mw for buckling check .....	23937 (Rules)	20819 (Rules)

Figur 3.3: Stillevanmoment og bølgeomment

	ACTUAL	RULE	STATUS (%) (100=Rule)
Cross-sectional area ..... (cm <sup>2</sup> ) :	3931		
Height to the neutral axis ..... (mm) :	2341		
Section modulus, bottom ..... (m <sup>3</sup> ) :	0.701	0.342	204.8
Section modulus, deck line (z = 7800 mm) ..... (m <sup>3</sup> ) :	0.301	0.342	87.8 *
Material factor, f1, strength deck .....	1.00		
Material factor, f1, bottom .....	1.00		

NOTE: \* indicates a requirement that is not fulfilled.

Figur 3.4: Motstandsmoment

### 3.3 Sammenkoblingsmekanismen

Metoden for valg av sammenkoblingssystem er basert på informasjonssøk på internett. Vi har tatt i bruk søkemotorene Google og Google Scholar. Ved bruk av Google har vi for det meste kommet frem til produsenters nettsider der de presenterer sine produkter og hvordan de fungerer. Det er også kommet informasjon fra andre sider som beskriver produkter i det maritime miljøet. Søk i Google Scholar har gitt resultater i form av patenter som er utstedt for produsenter. På disse patentene er det beskrivelser av virkemåte og tegninger av de patenterte produktene. Det har blitt gjort en del søk på eksisterende løsninger til sammenkoblingssystemet for at vi skal ha et best mulig grunnlag for bestemmelse av det endelige systemet som skal bli brukt i dette prosjektet.

Etter å ha funnet mange ulike sammenkoblingssystemer stod vi ovenfor et utvalgproblem der vi måtte finne den ene løsningen vi ville bruke videre. Ettersom målene fra oppdragsgiver var klare om at sammenkoblingen skulle være mekanisk, sikker og ha en enkel på/avkobling kunne vi sammenligne de ulike løsningene vi hadde funnet og bestemme hvilken vi mente var den beste.

De vanlige søkeordene som er brukt for å lete frem relevant informasjon er: Integrated tug barge, ITB, articulated tug barge, ATB, pusher barge connection systems, triofix, articouple, barge pusher connection.

Siden det for det meste er produsenter som har skrevet informasjonen vi har innhentet kan ikke denne sees på som et veldig godt grunnlag for vurdering da de mest sannsynlig ønsker å fremstille produktene sine som de aller beste og at de fungerer på en bedre måte enn de kanskje gjør i praksis. Denne informasjonen som er funnet blir dermed betraktet som svært subjektiv.

### 3.4 LNG

Ettersom massetettheten til LNG varierer med temperaturen og trykket har vi i dette prosjektet valgt å bruke massetettheten  $500 \text{ kg/m}^3$ . Selv om vi betrakter GASNOR som mer pålitelig enn The Engineering Toolbox er det alltid muligheter for at det oppstår avvik i massetettheten, og derfor velger vi å bruke en massetetthet som er høyere enn det GASNOR skriver. Dette valget er gjort fordi jo tyngre væsken er desto større vil påvirkningen vil lasten ha på lekteren. Så ved å bruke den høyeste massetettheten som LNG kan ha vil vi forsikre oss om at lekteren takler påkjennningene LNG vil gi den.

### 3.5 Slepetest

For å verifisere motstanden som ble analysert i Maxsurf Resistance ble det utført en slepetest i NTNU i Ålesund sin nye slepetank.

For å gjennomføre denne testen var det mye forarbeid som måtte utføres. Første ble skroget eksportert fra Maxsurf Modeller Advanced og sendt til de ansvarlige for fresemaskinen. Mens skroget ble frest ut laget vi et regneark i Microsoft Excel som regnet ut Reynolds tall, Froudes tall, deplasement, våt overflate, hastighet og friksjonskoeffisient for både skipet og modellen. Regnearket ble programmert til å håndtere endringer i input, så om modellen ble en annen størrelse enn planlagt ville ikke dette bli noe problem. Regnearket ble deretter programmert til å regne ut totalmotstanden til lekteren i fullskala ved å legge sammen friksjonsmotstandskoeffisienten til lekteren og restmotstandskoeffisienten til modellen. Regnearket vises på figur 3.15.

Etter at regneprogrammet var ferdig programmert gikk vi videre til forberedning av modellen, den ble frest ut i to deler langs kips.



Figur 3.5: Modellen etter fresing

Hver del måtte skjæres ut med en kniv og deretter pusses for å få en fin overflate. Deretter ble det laget et lasterom med lengde 30 cm som hadde midtpunkt i LCB for å ha like stor plass foran og bak dette punktet til å plassere vekter. Lasterommet hadde en dybde på 5 cm og bredde på 9 cm som vist på figur 3.6.



Figur 3.6: Lasterom



Figur 3.7: Liming



Figur 3.8: Sammenslåing

Etter at lasterommet var ferdig ble de to halvdelene limt sammen og stod fastspennet over natten for å la limen virke som vist på figur 3.7 og 3.8. Så ble skjøten tettet med Tec7, dette for å hindre at modellen skulle ta inn vann. Deretter ble det laget en treplate som passet nede i lasterommet, det ble boret to hull i treplaten og deretter ble den limt fast i lasterommet. Denne treplaten skulle senere bli brukt til å feste fast armen som skyver modellen i slepetanken. Så ble det tegnet på en rett linje ved designet dypgang, dette for å kunne senere kontrollere at modellen ikke har trim. Det neste var å pusse modellen grundig med sandpapir ettersom fresemaskinen gir modellen mange «hakk» under fresingen. For å få en mest mulig realistisk slepetest må skroget være så glatt som mulig. Figur 3.9 og 3.10 viser forskjellen på overflaten i hakken før og etter den ble pusset.





Figur 3.9: Ujevn overflate



Figur 3.10: Glatt overflate

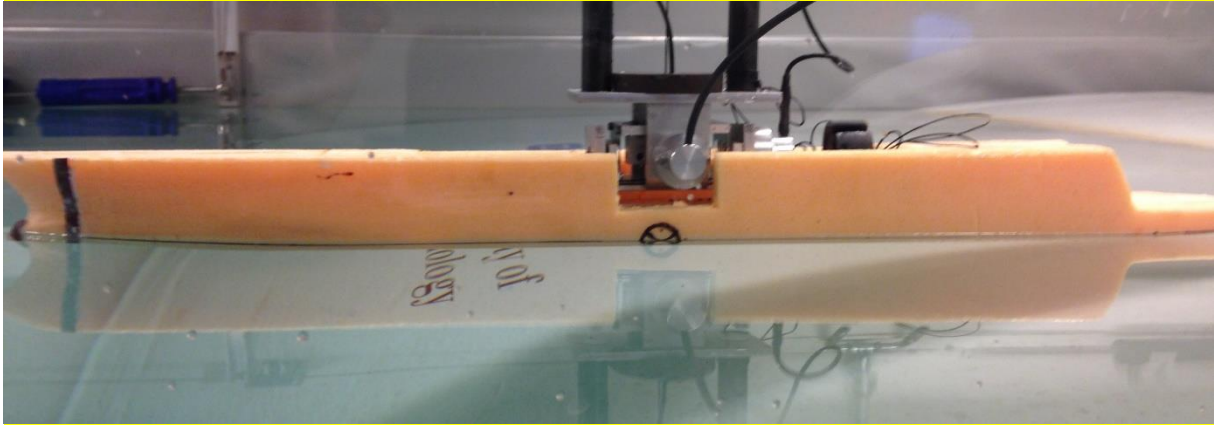
Så måtte modellen veies for at vi kunne regne ut hvor mye ballast vi måtte legge på senere. Det siste skrittet for forbedringen av modellen var å fremtvinge turbulent strømming langs skroget, dette måtte gjøres fordi i slepetanken vil lekteren bare oppleve laminær strømming ettersom hastigheten er så lav. Dette ble gjort ved å feste fast to sandpapirbiter som vist på figur 3.11. Den ene sandpapirbiten var 5 % av  $L_{pp}$  fra bulben og den andre biten 1/3 av bulbens lengde.



Figur 3.11: Sandpapirbiter for å skape turbulent strømming

Så var modellen klar for testing, den ble spent fast i armen og deretter ballastert tilstrekkelig slik at ønsket dypgang ble oppnådd. Her ble det vanskelig å følge kalkulert ballastering i Microsoft Excel ettersom armen som skyver modellen i tanken hviler med sin egen vekt i skroget. Vi fulgte da heller den påtegnede vannlinjen og la i vekter til modellen lå så dypt som den skulle. Dette førte til at total ballast som ble lagt på modellen var 1,0 kg, altså 760 gram under det som ble regnet ut. Så måtte trimmen minimaliseres, dette ble gjort ved å flytte vektene akter og forover etter behov, figur 3.12 viser nytten vi fikk av å ha tegnet på vannlinjer på modellen for å kunne sjekke både dypgang og trim.



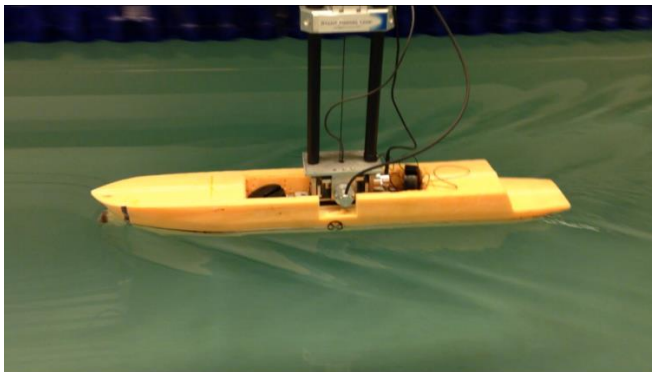


Figur 3.12: Ferdig montert modell med god trim og dypgang

Utstyret, levert av Stadt Towing Tank, og alle sensorene som brukes i slepetanken er koblet sammen med en datamaskin med tilhørende programvare som styrer testen og logger de elementene man vil ha. I vårt tilfelle ble tid, vognens plassering, hastighet og motstand logget under testen. Før testene kunne begynne måtte det føres inn hastighet og skalaforhold på datamaskinen. Vanligvis ville det vært nødvendig å regne ut hastigheten ved å bruke at Froudes tallet til modellen og lekteren er lik, men ettersom vi førte inn skalaforholdet regnet datamaskinen dette ut selv. Kan sjekke ved å bruke formel [8] til å regne ut hastigheten til modell

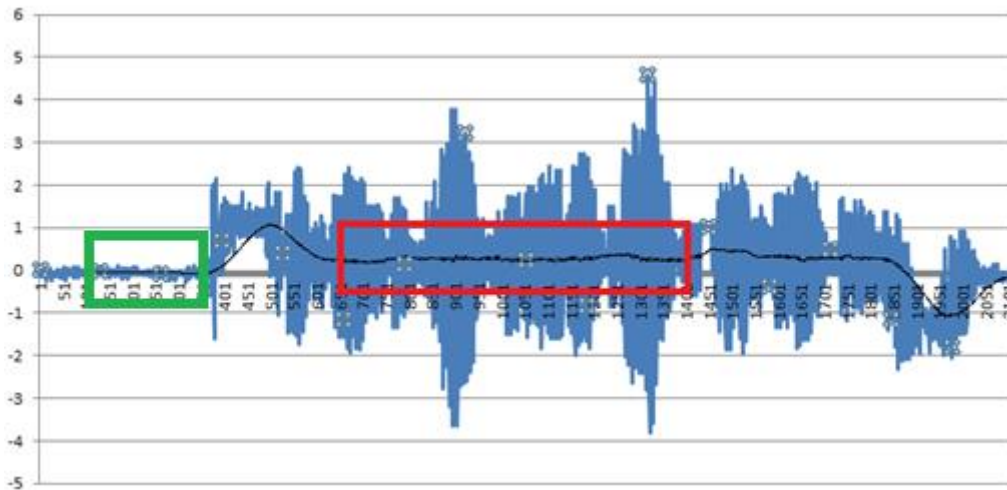
$$\frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L_s}} = \frac{V_m}{\sqrt{g \cdot L_m}} \quad \longrightarrow \quad V_m = \frac{V_s \cdot \sqrt{g \cdot L_m}}{\sqrt{g \cdot L_s}} = \frac{6,17 \cdot \sqrt{0,798}}{\sqrt{79,8}} = 0,617 \text{ m/s}$$

Det ble så utført fem slepetester, dette ble gjort for å kunne ta et gjennomsnitt av alle testene for å gjøre resultatet mest mulig korrekt. Slepetestene måtte gjennomføres med minimum ti minutter mellomrom, dette for at vannet i tanken skal bli helt rolig og sirkulasjonene skulle forsvinne før neste test. På figur 3.13 vises modellen i fart under ene testen, her ser en bølgemønsteret modellen lager.



Figur 3.13: Modellen i tank under slepetest

Ettersom kraftsensoren registrerer en kraft før modellen settes i bevegelse må dette trekkes i fra kraften som blir målt under slepetesten. Denne kraften som må trekkes fra er vist i den grønne boksen på figur 3.14. Kraften som blir målt under slepetesten vil variere når modellen akselererer, og det er dermed viktig å bruke dataene som måles når modellen er i maks fart. Dette er illustrert i den røde boksen på figur 3.14



Figur 3.14: Kraftvariasjon

Det ble gjentatt for alle slepetestene og  $R_{TM}$  for alle testene vises i tabell 3.2.

Test 1	0,36	N
Test 2	0,41	N
Test 3	0,25	N
Test 4	0,38	N
Test 5	0,36	N
Snitt	0,352	N

Tabell 3.2:  $R_{TM}$  for de ulike testene

Det ble nå tilstrekkelig informasjon fra slepetesten til å begynne utregningene for å finne totalmotstanden til lekteren. Må først gjøre om totalmotstanden til modell til totalmotstandskoeffisient  $C_{TM}$  ved å bruke formel [9].

$$R_{TM} = C_{TM} * \frac{1}{2} \rho_m * V_m^2 * S_m \quad \Rightarrow \quad C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \rho_m * V_m^2 * S_m} = \frac{0,352}{\frac{1}{2} * 1000 * 0,617^2 * 0,1077} = 0,0172$$

Deretter regnes friksjonsmotstandskoeffisienten  $C_{FM}$  ut, for å gjøre dette må også Reynoldstallet  $R_{NM}$  kalkuleres ved å bruke formel [10]:

$$R_{NM} = \frac{V_M * L_M}{\nu_M} = \frac{0,617 * 0,798}{1,14 * 10^{-6}} = 431900$$

Så kan friksjonsmotstandskoeffisienten til modellen regnes ut ved å bruke formel [11]:

$$C_{FM} = \frac{0,075}{(\log R_{NM} - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log 431900 - 2)^2} = 0,00567$$

Basert på totalmotstandskoeffisienten og friksjonsmotstandskoeffisienten til modellen kan vi regne ut restmotstandskoeffisienten til modellen  $C_{RM}$ , ved å bruke formel [12], som er lik restmotstandskoeffisienten til fullskala lekter  $C_{RS}$ . I de videre beregningene vil vi gjøre noen forenklinger i formlene, vi sier at både formfaktor, luftmotstand, korrelasjonstillegg og motstand for tverr hekk er lik 0.

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM} = 0,0172 - 0,00567 = 0,0115 = C_{RS}$$

Neste skritt er å regne ut friksjonsmotstandskoeffisienten til fullskala lekter, må dermed igjen regne ut Reynoldstall ved å bruke formel [10], men denne gangen for fullskala lekter:

$$R_{NS} = \frac{V_S * L_S}{\nu_S} = \frac{6,17 * 79,8}{1,19 * 10^{-6}} = 413752941,2$$

Så brukes formel [11] for å regne ut friksjonsmotstandskoeffisienten:

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(\log R_{NS} - 2)^2} = \frac{0.075}{(\log 413752419,2 - 2)^2} = 0,00171$$

Har nå tilstrekkelig informasjon for å bruke formel [13] til å kalkulere totalmotstandskoeffisienten til fullskala lekter:

$$C_{TS} = C_{RS} + C_{FS} = 0,0115 + 0,00171 = 0,0132$$

Dette tallet brukes deretter i formel [9] for totalmotstand:

$$R_{TS} = C_{TS} * \frac{1}{2} \rho_S * V_S^2 * S_S = 0,0132 * \frac{1}{2} * 1,025 * 6,17^2 * 1077 = 277,3 \text{ kN}$$

På grunn av ruheten til skummet må den endelige motstanden til fullskala lekter ganges med 0,4. Dette tallet ble funnet ved at det ble gjort forsøk i tanken med modeller som hadde en kjent motstand. Ved å gjøre dette ble det oppdaget at avviket var stort. Den totalmotstanden for fullskala lekter blir dermed:

$$R_{TS}' = R_{TS} * 0,4 = 277,3 * 0,4 = 111 \text{ kN}$$

Alle disse formlene ble ført inn på et regneark, som vist på figur 3.15, for å kunne håndtere endringer uten at det var nødvendig å gjøre alle kalkulasjoner på nytt om det oppsto problemer. Dette regnearket kalkulerte ut totalmotstanden fullskala lekter vil ha.

Skip			Modell			skalaforhold	100
L	79,8 m		L	0,798 m		g	9,81 m/s <sup>2</sup>
B	12 m		B	0,12 m		ρ s	1,025 t/m <sup>3</sup>
T	3 m		T	0,03 m		ρ m	1 t/m <sup>3</sup>
D	7,8 m		D	0,078 m			
Cb	0,71		Cb	0,71		Fargekoder:	
Cm	0,8		Cm	0,80		Input	
U	12 knop		U	0,62 m/s		Del-resultat	
Viskositet	0,00000119		Viskositet	0,00000114		Resultat	
			Rt	0,352 N			
Cf	0,00171		Ct	0,0172			
Cr	0,01148		Cf	0,0057			
Rey	413940706		Cr	0,0115			
S	1077 m <sup>2</sup>		Rey	432130			
Froude	0,22		S	0,1077 m <sup>2</sup>			
Deplas	2090,7 ton						
			Deplas	2,04 kg			
Ct	0,01319		Vekt modell	0,283 kg			
R	111,0 kN		Ballastering	1,76 kg			

Figur 3.15: Regneark for slepetest

### 3.6 Regelverk

Basert på definisjonene til IGC-regelverket vil vi bruke reglene for et 2PG fartøy i denne oppgaven, dette fordi vi har en lekter som frakter gass i sylindriske type C tanker og er under 150 m.

I alle lastkondisjoner vil det være minimum en tank av hver væske som har fri væskeoverflate, dette vil si at om ballasttankene skal bli brukt, skal minimum en av tankene ha fri væskeoverflate.

Lastetankene skal ikke bli fylt mer enn 98 % på lastkondisjon, og vil dermed alltid ha fri væskeoverflate i lastet tilstand.

Avstander i skadet tilstand:

Skade i siden:

Langskips utstrekning = 6,2 m

Tverrskips utstrekning = 2,4 m

Vertikal utstrekning: Oppover uten noen grense

Skade i bunn for 0,3L fra fremre perpendikulær:

Langskips utstrekning = 6,2 m

Tverrskips utstrekning = 2,0 m

Vertikal utstrekning = 0,8 m

Skade i bunn for alle andre deler av lekteren:

Langskips utstrekning = 6,2 m

Tverrskips utstrekning = 2,0 m

Vertikal utstrekning = 0,8 m

Avstanden i skadet tilstand gjelder fra den innerste siden av lastetankene og helt ut til ytterste side av skutesiden. Vi betrakter reglene om skadet tilstand som relevant bare når lekteren er i sammenkoblet modus med pusher og de seiler i sammenkoblet modus. Sammenkoblingsfasen vil skje under svært lav fart, under kontrollert omgivelser og i rolig sjø, det er derfor ikke betraktet som en kritisk skadesituasjon og i denne oppgaven vil derfor denne regelen kunne gjelde i sammenkoblet modus. Dette vil tillate at avstanden fra hekken til aktre LNG lastetank ikke har noen minimal grense ettersom det i praksis vil være en pusher mellom tanken en skade aktenfor.

Basert på regelverket til Det Norske Veritas har rom og skott blitt plassert slik at det ikke vil komme gass i soner den ikke skal oppstå, som ved soveværelser og oppholdsrom. Det har blitt utarbeidet et kart hvor de ulike gassonene vises.

Med utgangspunkt fra teori om regelverk i kapittel 2.6.2 har vi plassert AP på det bakerste punktet på lekteren. Lengden strekker seg fra dette punktet og fremover til FP.

For å finne hvor kollisjonsskottet skal plasseres ble teorien fra 2.6 brukt.

For å finne regellenden for lekteren er definisjonen fra International Convention on Load Lines tatt i bruk. Denne definisjonen gir lengden på lekteren  $L_F$  som brukes videre i utregninger for plassering av kollisjonsskottet. Da blir  $L_F=74,874$  m. Dette blir lengden mellom AP og  $P_F$ .

Distansen fra  $P_F$  til fremste punktet på bulben er  $x_b = 1196$  mm

Så brukes formel [14] og [15] for å finne den minste verdien for  $X_r$ ,

$$x_r = 0.5 * 1.196 \text{ m} = 0.598 \text{ m}$$

$$x_r = 0.015 * 74.874 \text{ m} = 1.12311 \text{ m}$$

Så brukes formel [16] og formel [17] for å regne ut minimum og maksimum avstand fra fremre perpendikulær til kollisjonsskottet.

Avstanden aktenfor  $P_f$  hvor kollisjonsskottet skal ligge er mellom

$$X_C(\text{minimum}) = 0.05 * 74.874 - 0.598 = 3.1457 \text{ m}$$

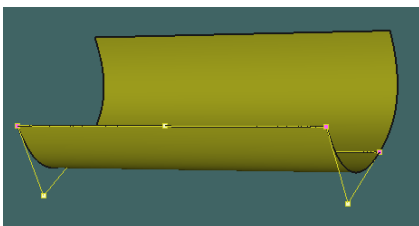
$$X_C(\text{maximum}) = 0.05 * 74.874 + 3 - 0.598 = 6.1457 \text{ m}$$

Vi har plassert kollisjonsskottet på spant 124 som ligger innenfor kravet. Det ble plassert lengst mulig forut for å gi mer plass i rommene aktenfor dette skottet.

### 3.7 Programverktøy

#### 3.7.1 Maxsurf Modeller Advanced

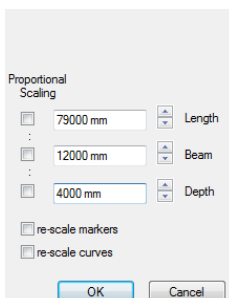
Dette programmet gir en rask og fleksibel mulighet til å modellere hvilket som helst skip man vil ved



bruk av noder og flater. Her tas det utgangspunkt i en halvsylinder som vist på figur 3.16, denne halvsylinderen må formes som et skrog ved hjelp av å flytte noder i tre ulike plan.

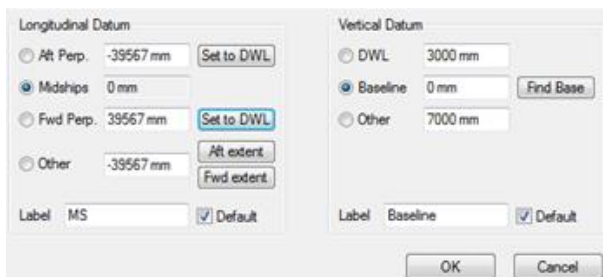
Figur 3.16: Sylinder som må bearbeides

Halvsylinderen gis de dimensjonene en vil at lekteren skal ha, dette gjelder lengde, bredde og dybde som vist på figur 3.17. Vi valgte å forme skroget ved å bruke flere flater, derfor vil denne halvsylinderen bli undervannsskroget. Dybden er satt til fire meter, som er én meter over designet dyppgang, dette for å kunne forme bulben på denne flaten.



Figur 3.17: Bestemmelse av hoveddimensjoner

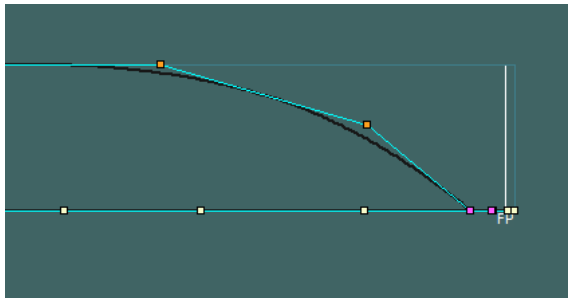
Så må vi fastsette referansepunkter, generell praksis her er å trykke på «Set to DWL» på både aktre



Figur 3.18: Fastsetting av referansepunkt

perpendikulær og fremre perpendikulær, deretter huke av for «Baseline», trykke «Find Base» og deretter skrive inn ønsket dyppgang på «DWL». Menyen er vist på figur 3.18.

Etter referansepunktene er bestemt blir baugen festet i planet sett ovenfra som vist på figur 3.19. Deretter må bulben utformes i profil som vist på figur 3.20. Dette gjøres ved å dra de ulike nodene slik at en får formen en vil.



Figur 3.19: Fronten av undervannsflyten utformet



Figur 3.20: Bulben utformet

Neste skritt er å få på plass design grid, dette er linjer som er til hjelp når en skal sjekke kvaliteten på designet. Det er tre ulike linjetyper som er viktig å få med:

Sections:

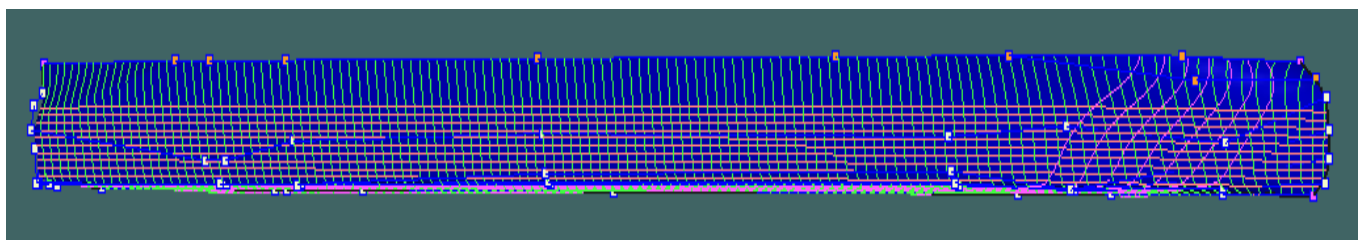
Linjer som vil vise tverrsnittet. Her valgte vi å ta like mange linjer som vi har spant, dette for å kunne enkelt plukke ut et spant om vi vil analysere det på andre program. Dermed valgte vi 133 sections-linjer med mellomrom på 600 mm. Dette vil være linjene som går vertikalt på figur 3.21.

Buttocks:

Linjer som viser glattheten på lekteren. Disse linjene skal ikke ha noen knekk eller ujevnheter. Det legges til mellom fem og ti linjer med omtrent en halv meter mellomrom. Dette er linjene i front som går skrått bakover fra fronten på figur 3.21.

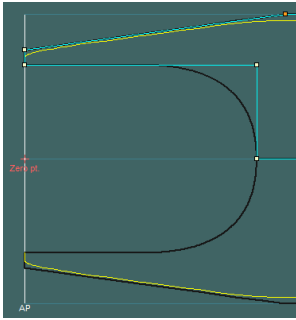
Waterlines:

Vannlinjene visualiserer skrogets uforming under vann. Legger til linjer fra kjølen av lekteren og opp til vannlinjen. Dette er de linjene som går horisontalt på figur 3.21.



Figur 3.21: Ulike linjetyper på undervannsskroget

Neste skritt på modelleringen var å få til utkuppet i hekken som en pusher skal kunne seile inn i og feste seg fast i. Dette ble gjort ved å lage en åpning i hekken som ble flyttet inn 9,6 m og hadde en radius på 3,9 m som vist på figur 3.22. Det ble i tillegg laget en liten innsnevring for å redusere graden av avløsninger som kan oppstå i hekken.



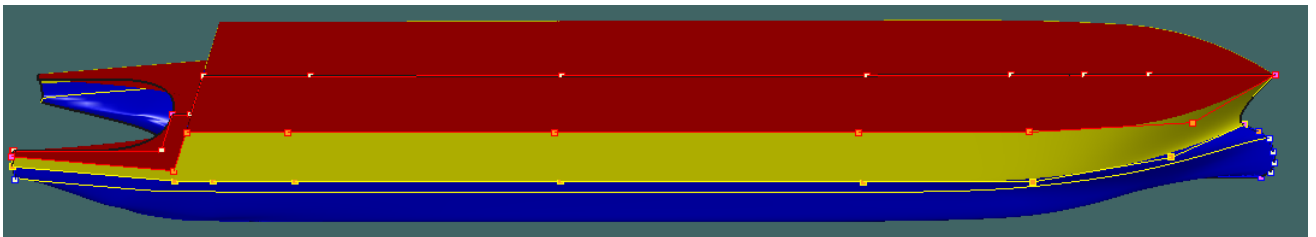
Figur 3.22: Utkuppet som muliggjør sammenkobling

For å videre modellere lekteren må den gjøres høyere, dette gjøres ved å gå til «Surfaces» «Add surface» og velge «buttocks plane». Videre må en legge på noder på denne flaten slik at den har tilsvarende som den flaten den skal festes til. Det er også viktig at flatene har samme egenskaper, dette gjelder både «surface type» som skal være satt til B-spline og frihetsgradene som må være like i den retningen flatene skal festes. Videre markeres en node på hver flate for så å trykke på «Bond edges» og her har vi tre alternativ, til denne flaten brukes «strict tangency», dette gjøres for å unngå knekk i linjene. Resultatet vises på figur 3.23 Etter dette steget har lekteren den nødvendige formen for å utføre den hydrostatiske analysen, men av estetiske årsaker kan det være greit å modellere den videre.



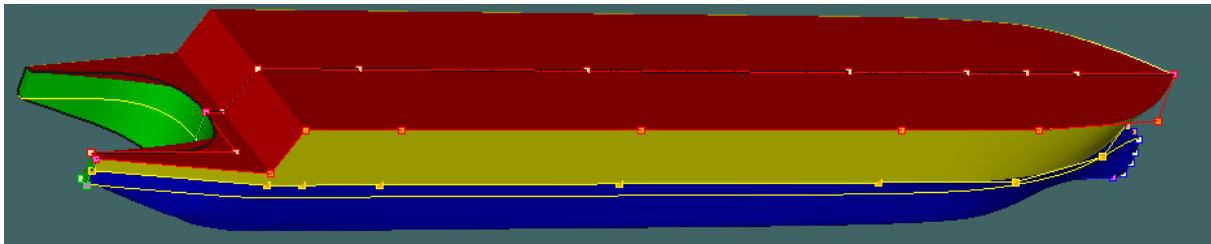
Figur 3.23: Skrog over vannlinjen

Et dekk kan legges på ved å gjøre samme trinn som tidligere, bare at nå legges det til et «waterplane» i stedet for «buttocks plane» som vist på figur 3.24. Også denne flaten skal festes med strict tangency.



Figur 3.24: Dekk

For å fullføre den tidlige modelleringen av lekteren må hekken tettes som vist på figur 3.25, dette gjøres ved å kopiere de tidligere trinnene, men nå velges et «section plane» Også denne flaten skal festes med strict tangency.



Figur 3.25: Utkappet i hekken

Det kan nå utføres en analyse over hydrostatikken som vist på figur 3.26. Her kommer det viktige tall

Measurement	Value	Units
1 Displacement	2036	t
2 Volume (displaced)	1986530511368,7	mm <sup>3</sup>
3 Draft Amidships	3000,0	mm
4 Immersed depth	3000,0	mm
5 WL Length	79134,1	mm
6 Beam max extents on WL	11594,3	mm
7 Wetted Area	1077410436,6	mm <sup>2</sup>
8 Max sect. area	32331428,2	mm <sup>2</sup>
9 Waterpl. Area	727251116,5	mm <sup>2</sup>
10 Prismatic coeff. (Cp)	0,776	
11 Block coeff. (Cb)	0,722	
12 Max Sect. area coeff. (Cm)	0,930	
13 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,793	
14 LCB length	179,8	from zero pt. (+ve)
15 LCF length	988,9	from zero pt. (+ve)
16 LCB %	0,227	from zero pt. (+ve)
17 LCF %	1,250	from zero pt. (+ve)
18 KB	1561,9	mm
19 KG fluid	0,0	mm
20 BMT	3836,1	mm
21 BML	127030,2	mm
22 GML corrected	5397,9	mm
23 GML	128592,1	mm
24 KMT	5397,9	mm
25 KML	128592,1	mm
26 Immersion (TPc)	7,454	tonne/cm
27 MTC	33,088	tonne.m
28 RM at 1deg = GMLDiap.sin(1)	191823,8	tonne.mm
29 Length:Beam ratio	6,825	
30 Beam:Draft ratio	3,885	
31 Length:VoP0.333 ratio	6,295	

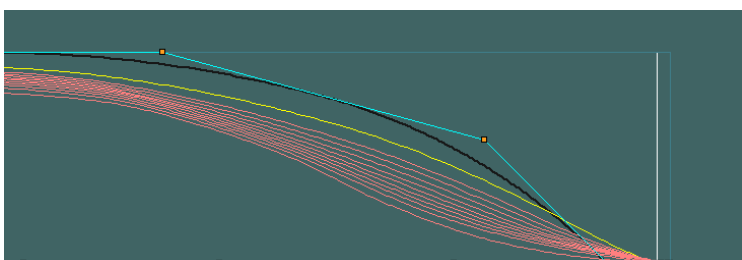
Density (water) 0 tonne/mm<sup>3</sup>  
 Std. densities 0 tonne/mm<sup>3</sup> - Std. Metric sea water (1025,0 kg/m<sup>3</sup>)  
 VCG 0 mm  
 Recalculate  
 Select Rows ... Close

som deplasement, blokkoeffisient, LCB og lignende. Disse tallene kan sammenlignes med beregninger som er gjort på deplasement tidligere i prosjektet. Blokkoeffisienten er bestemt på forhånd og det er derfor vanlig å gjøre endringer på lekteren til denne er oppnådd. Underveis i arbeidet i designsipralen er det viktig å ha kontroll på hvordan lekteren oppfører seg med tanke på blant annet trim, for dermed å kunne ha et grunnlag for å gjøre eventuelle endringer i skrogformen.

Figur 3.26: Hydrostatikk til designet dypgang

Tenkemåte bak designet:

Som nevnt i teori 2.1.9 om linjer vil det være hydrodynamisk gunstig med S-formede vannlinjer i



Figur 3.27: S-formede vannlinjer

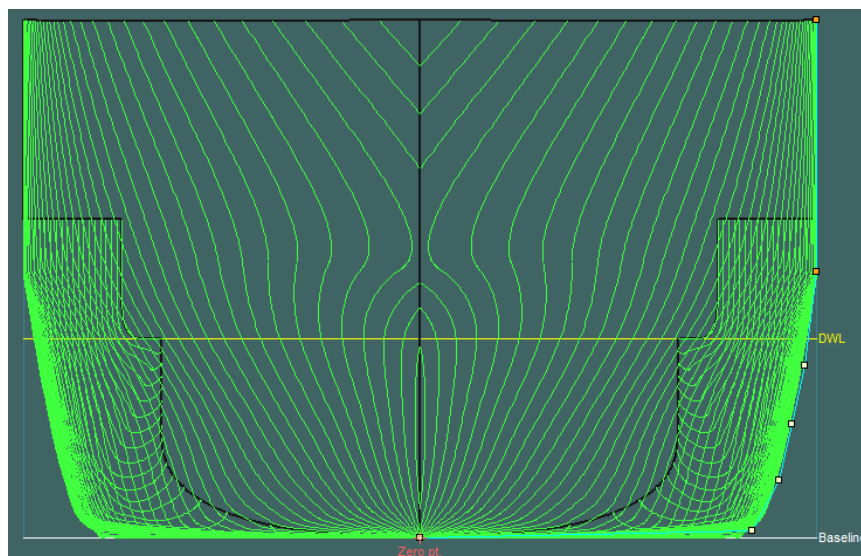
baugen for å la vannet strømme langs skroget uten av det oppstår for mye trykkmotstand og avløsninger, derfor har vi valgt å forme linjene i baugen som de er med en svak S-form som vist i figur 3.27.

For å få ønsket Blokkoeffisient må fylldigheten til lekteren reduseres, dette gjøres blant annet ved å gjøre tverrsnittet avrundet langs skutesidene og nedover mot bunnen som figur 3.28 viser.

Konvensjonelle skip vil ha et mest mulig firkantet tverrsnitt på midtskip, men ettersom denne lekteren bare skal ha to tanker plassert midt på tverrsnittet er det ikke plassmangel i skutesidene.



Det ble valgt å ha et U-formet skrog ettersom vi har Froudes tall på 0,22, noe som gjør at et U-formet skrog vil ha lavere motstand enn et V-formet.



Figur 3.28: Utforming av tverrsnitt

### 3.7.2 Maxsurf Stability Advanced

Linjene som blir tegnet i Maxsurf Modeller Advanced kan overføres til Maxsurf Stability Advanced, som er et program som analyseres ulike lastkondisjoner.

Det første som må gjøres er å lage en ny lastkondisjon som gjøres ved å gå til «Load case window» og deretter trykke på «Ctrl+n». Så må lettskipsvektene på, ved første gjennomgang vil disse tallene bare være estimat, men dette er godt nok foreløpig. Bruker «Ctrl+a» for å få en ny rad til hver lettskipsvekt, som rør, skrogvekt, kraner osv. Deretter bestemmes vekten, den aktre og fremre grensen til vektene og tyngdepunktene til vektene langs skips, tverrskips og vertikalt. Når alle vektene er på plass vil programmet kalkulere den totale lettskipsvekten og tyngdepunktene langs skips, vertikalt og tverrskips. Etter det første steget er gjennomført vil analysen se ut som figur 3.29.

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Aft. Limit m	Fwd. Limit m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
1	Skrog aft + sveis	1	47,800	47,800			-34,167	-39,567	-28,767	0,000	2,300
2	Skrog mid + sveis	1	494,400	494,400			-2,667	-28,767	23,433	0,000	3,700
3	Skrog front + sveis	1	55,000	55,000			27,933	23,433	32,433	0,000	4,000
4	Cargo tank aft	1	170,000	170,000			-13,767	-25,767	-1,767	0,000	5,500
5	Cargo tank front	1	170,000	170,000			15,393	2,593	28,193	0,000	5,500
6	Doom aft	1	1,500	1,500			-2,367	-3,567	-1,167	0,000	10,200
7	Doom forward	1	1,500	1,500			4,233	3,033	5,433	0,000	10,200
8	Overbygg	1	5,000	5,000			32,133	29,433	34,833	0,000	9,000
9	Maskinrom	1	8,000	8,000			32,133	29,433	34,833	0,000	4,000
10	Ventilrom	1	4,000	4,000			-7,767	-9,567	-5,967	0,000	11,400
11	Kran	2	2,000	4,000			0,333	-0,567	1,233	0,000	11,000
12	Mast	1	1,000	1,000			9,633	9,033	10,233	0,000	18,000
13	Ankerkjetting	1	6,600	6,600			38,133	36,633	39,633	0,000	6,500
14	Anker	2	1,290	2,580			38,233	38,233	38,233	0,000	5,500
15	Stiger cargo room	1	1,500	1,500			0,433	-28,767	29,433	0,000	5,000
16	Dieseltank	1	0,832	0,832			25,233	24,633	25,833	-1,200	1,500
17	Fortøyningsutstyr	1	1,000	1,000			0,433	-39,567	40,233	0,000	6,500
18	Rør	1	10,600	10,600			8,433	-39,567	40,233	0,000	3,000
19	Elektrisk	1	3,200	3,200			6,433	-39,567	40,233	0,000	6,500
20	Ledninger	1	2,100	2,100			5,433	-39,567	40,233	0,000	4,500
21	Ytre rekkverk/stiger	1	3,200	3,200			8,433	-39,567	40,233	0,000	7,000
22	Brannslukkere	1	0,500	0,500			0,433	-39,567	40,233	0,000	4,500
23	Diverse (10%)	1	99,400	99,400			8,433	-39,567	40,233	0,000	6,000
24	<b>Total Loadcase</b>			<b>1093,712</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,567</b>			<b>-0,001</b>	<b>4,571</b>

Figur 3.29: Lettskipsvekter

Etter at lettskipsvektene er på plass må tankene plasseres. Dette gjøres i vinduet «Room definition window», som ved lettskipsvektene får vi en ny rad ved å trykke «Ctrl+a». Så må tankene plasseres i alle retninger, tankene vil forme seg etter nærmeste skott, men må ha en rett form, og dermed vil også lastetankene bli en boks, selv om de skal være sylindriske. Så må massetettheten til tankene bestemmes, ballasttankene vil ha en massetetthet på 1 mens lastetankene har 0,5 ut i fra massetettheten til LNG. Et eksempel på tankfordeling er vist på figur 3.30.

	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
1	Aft cargo tank	Tank	100	100	0,5		none	-25,767	-1,767	-3,45	3,45	7,8	1,5	DITTO	DITTO
2	Front cargo tank	Tank	100	100	0,5		none	2,593	28,193	-3,12	3,12	7,8	1,5	DITTO	DITTO
3	Ballast S1	Tank	100	100	1		none	-28,767	-16,767	4,8	10	4,2	1,2	DITTO	DITTO
4	Ballast S2	Tank	100	100	1		none	-16,767	-4,767	4,8	10	4,2	1,2	DITTO	DITTO
5	Ballast S3	Tank	100	100	1		none	-4,767	7,233	4,8	10	4,2	1,2	DITTO	DITTO
6	Ballast S4	Tank	100	100	1		none	7,233	19,233	4,8	10	4,2	1,2	DITTO	DITTO
7	Ballast S5	Tank	100	100	1		none	19,233	34,833	2,3	5	4,2	1,2	4,8	10
8	Ballast P1	Tank	100	100	1		none	-28,767	-16,767	-10	-4,8	4,2	1,2	DITTO	DITTO
9	Ballast P2	Tank	100	100	1		none	-16,767	-4,767	-10	-4,8	4,2	1,2	DITTO	DITTO
10	Ballast P3	Tank	100	100	1		none	-4,767	7,233	-10	-4,8	4,2	1,2	DITTO	DITTO
11	Ballast P4	Tank	100	100	1		none	7,233	19,233	-10	-4,8	4,2	1,2	DITTO	DITTO
12	Ballast P5	Tank	100	100	1		none	19,233	34,833	-5	-2,3	4,2	1,2	-10	-4,8
13	Ballast M1	Tank	100	100	1		none	-28,767	-16,767	-10	10	1,2	0	DITTO	DITTO
14	Ballast M2	Tank	100	100	1		none	-16,767	-4,767	-10	10	1,2	0	DITTO	DITTO
15	Ballast M3	Tank	100	100	1		none	-4,767	7,233	-10	10	1,2	0	DITTO	DITTO
16	Ballast M4	Tank	100	100	1		none	7,233	19,233	-10	10	1,2	0	DITTO	DITTO
17	Ballast M5	Tank	100	100	1		none	19,233	34,833	-10	10	1,2	0	DITTO	DITTO
18	Front peak	Tank	100	100	1		none	34,833	40,232	-10	10	5	0	DITTO	DITTO

Figur 3.30: Tankfordeling

For å sjekke om tankene har det volumet som er ønsket kan man gå tilbake til «Load case window» og sjekke størrelsen som vist på figur 3.31. Her kan man også bestemme hvorvidt tankene skal være tomme, fulle, eller et sted imellom. På figur 3.31 er lastetankene fylt 98 %, som er det maksimale de kan fylles. Ved å fylle de 98 % regner programmet det totale volumet per tank og det bekrefte at lastekapasiteten er over 2000 m<sup>3</sup>. Ser også av figur 3.31 hva deplasementet er og dette kan sjekkes mot tidligere beregninger.

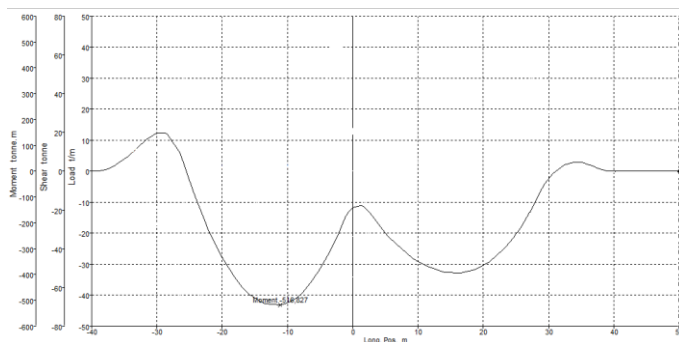
24	Aft cargo tank	98%	521,640	511,207	1043,280	1022,414	-13,742						0,000	4,587
25	Front cargo tank	98%	503,194	493,130	1006,387	986,259	15,422						0,000	4,587
26	Ballast S1	0%	32,001	0,000	32,001	0,000	-16,835						5,064	1,200
27	Ballast S2	0%	32,354	0,000	32,354	0,000	-4,835						5,093	1,200
28	Ballast S3	0%	33,164	0,000	33,164	0,000	7,165						5,114	1,200
29	Ballast S4	0%	32,491	0,000	32,491	0,000	19,165						5,034	1,200
30	Ballast S5	0%	39,751	0,000	39,751	0,000	29,006						3,292	1,200
31	Ballast P1	0%	32,001	0,000	32,001	0,000	-16,835						-5,064	1,200
32	Ballast P2	0%	32,354	0,000	32,354	0,000	-4,835						-5,093	1,200
33	Ballast P3	0%	33,164	0,000	33,164	0,000	7,165						-5,114	1,200
34	Ballast P4	0%	32,491	0,000	32,491	0,000	19,165						-5,034	1,200
35	Ballast P5	0%	39,751	0,000	39,751	0,000	29,006						-3,292	1,200
36	Ballast M1	0%	146,381	0,000	146,381	0,000	-16,835						0,000	0,000
37	Ballast M2	0%	146,215	0,000	146,215	0,000	-4,835						0,000	0,000
38	Ballast M3	0%	145,823	0,000	145,823	0,000	7,165						0,000	0,000
39	Ballast M4	0%	144,088	0,000	144,088	0,000	19,165						0,000	0,000
40	Ballast M5	0%	127,613	0,000	127,613	0,000	34,744						0,000	0,000
41	Front peak	0%	34,996	0,000	34,996	0,000	38,924						0,000	0,000
42	Total Loadcase				2098,049	3134,304	2008,674	0,572					0,000	4,579

Figur 3.31: Tankvolum og fyllevolum

1	Draft Amidships m	3,089
2	Displacement t	2098
3	Heel deg	0,0
4	Draft at FP m	3,213
5	Draft at AP m	2,965
6	Draft at LCF m	3,092
7	Trim (+ve by stern) m	-0,248
8	WL Length m	78,836
9	Beam max extents on	11,640
10	Wetted Area m <sup>2</sup>	1128,18
11	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	729,940
12	Prismatic coeff. (Cp)	0,770
13	Block coeff. (Cb)	0,695
14	Max Sect. area coeff. (C)	0,928
15	Waterpl. area coeff. (C)	0,795
16	LCB from zero pt. (+ve)	0,569
17	LCF from zero pt. (+ve)	1,026
18	KB m	1,610
19	KG fluid m	4,579
20	BMT m	3,800
21	BML m	124,141
22	GMT corrected m	0,831
23	GML m	121,172
24	KMt m	5,410
25	KML m	125,750
26	Immersion (TPc) tonne/	7,482
27	MTc tonne.m	32,126
28	RM at 1deg = GMT Disp.	30,438
29	Max deck inclination de	0,1798
30	Trim angle (+ve by ster	-0,1798

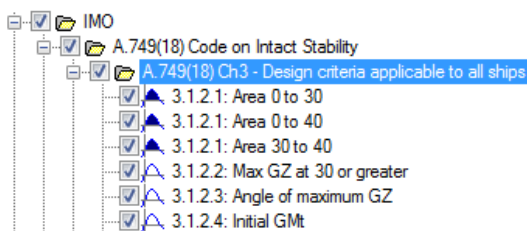
Figur 3.32: Hydrostatikk

Når dette er ordnet og både lettskipsvektene og tankplasseringene er slik en ønsker kan en gå videre til selve analysene. For å analysere hydrostatikken velges «Equilibrium» og «Start Analysis», for å se resultatet velges «Current result window», da kommer tabellen som vises på figur 3.32. For dette prosjektet er det ikke alle tallene som er like relevante, ser hovedsakelig på dypgang, deplasement, trim, blokkoeffisient, krenkning og LCB.



Figur 3.33: Globalt moment

For å måle langskipsstyrken velges det «Longitudinal strength», så kjøres analysen og for å se resultatet ser en på «Graph Window» som vist på figur 3.33. Her måles det globale momentet i tonnmeter. Om kurven er under x-aksen vil momentet være sag, og om kurven er over x-aksen vil det være hog.



Figur 3.34: Stabilitetskriterier

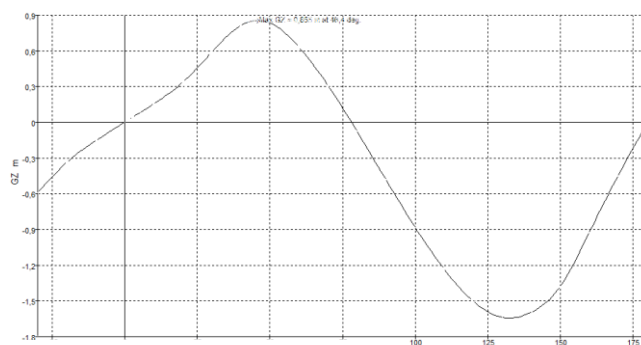
Det siste som må analyseres er stabiliteten. Først må det bestemmes hvilke stabilitetskriterier som lekteren skal måle seg opp i mot, dette finnes på «Criteria». Her velges kriteriene som er vist på figur 3.34.

Etter at kriteriene er valgt velges «Large Angle Stability» og så kan analysen kjøres. Om stabiliteten er godkjent eller ikke vises på «Criteria Results Window». Figur 3.35 viser hvordan en slik analyse kan se ut, her ser en et eksempel på at det ene kriteriet ikke er godt nok og må forbedres. For å fikse dette problemet ble ballasttankene i bunn fylt, dette gjorde at lekteren fikk et lavere tyngdepunkt og innfridde dermed kravene til initial GM.

27							
28	A.749(18) C	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass	
29		<i>in the range from the greater of</i>					
30		spec. heel angle	30,0	deg	30,0		
31		<i>to the lesser of</i>					
32		spec. heel angle	90,0	deg			
33		angle of max. GZ	40,9	deg	40,9		
34		shall not be less than ( $\geq$ )	0,200	m	0,216	Pass	+8,00
35		<i>Intermediate values</i>					
36		angle at which this GZ occurs		deg	40,9		
37							
38	A.749(18) C	3.1.2.3: Angle of maximum GZ				Pass	
39		shall not be less than ( $\geq$ )	25,0	deg	40,9	Pass	+63,64
40							
41	A.749(18) C	3.1.2.4: Initial GMT				Fail	
42		spec. heel angle	0,0	deg			
43		shall not be less than ( $\geq$ )	0,150	m	-0,110	Fail	-173,33
44							

Figur 3.35: Resultat av stabilitetsanalyse

Når en analyseres stabilitet er det også viktig å sjekke arealet under GZ-kurven, dette sjekkes i

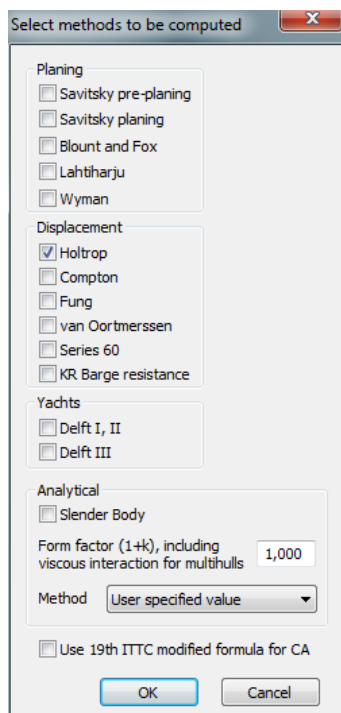


Figur 3.36: GZ-kurven for lekteren

«Graph Window» etter analysen er fullført. Kurven blir så sjekket opp imot det som er skrevet om stabilitet i 2.1.10. Figur 3.36 viser GZ-kurven for lekteren.

### 3.7.3 Maxsurf Resistance

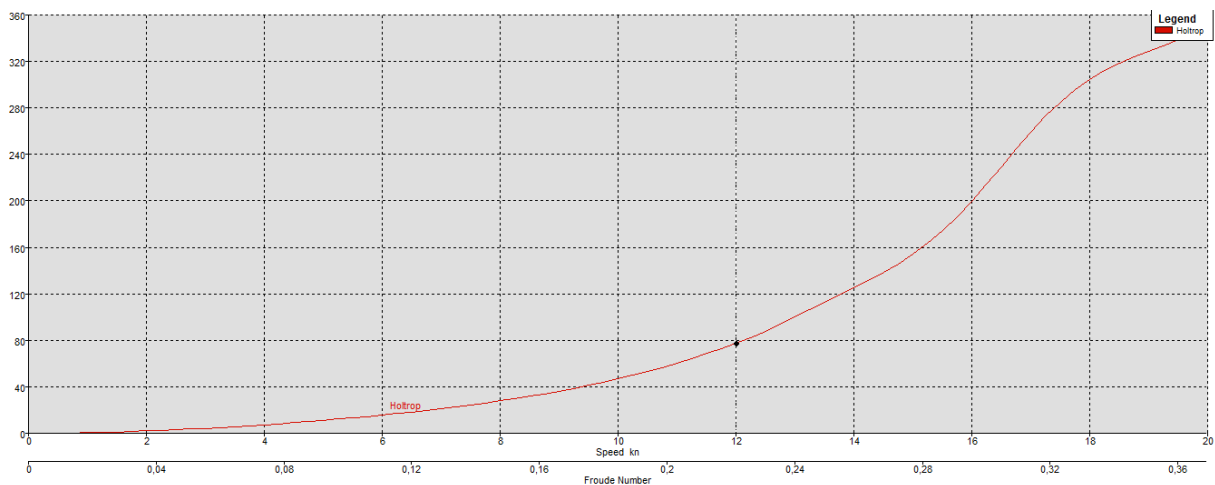
Modellen fra Maxsurf Modeller Advanced kan overføres til et eget motstandsprogram som regner på



Figur 3.37: Analysemetode

motstanden ved designet dypgang til et skrog basert på hastigheten. Det første som må gjøres er å bestemme hvilken metode som skal bli brukt for å kalkulere motstanden, for denne lekteren ble det brukt Holtrop som vist på figur 3.37 basert på informasjonen som ble funnet i kapitel 2.1.11 om motstand.

For å se resultatet av motstandsanalysen åpnes vinduet «Graph Window» og så må motstanden leses av ved den aktuelle hastigheten som vist på figur 3.38.



Figur 3.38: Motstandsresultat

### 3.7.4 Nauticus hull: Section Scantlings

Det første som gjøres er å føre inn hoveddimensjonene til lekteren som vist på figur 3.39, dette for å regne ut moment og for å vite hvilke regler programmet skal følge.

Length btw. perpendiculars, Lbp	<input type="text" value="79,8"/>	(m)
Rule length, L	<input type="text" value="79,8"/>	(m) ...
Freeboard length, Lfl	<input type="text" value="79,8"/>	(m)
Breadth moulded, B	<input type="text" value="12"/>	(m)
Depth moulded, D	<input type="text" value="7,8"/>	(m)
Draught moulded, T	<input type="text" value="3"/>	(m)
Block coefficient, Cb	<input type="text" value="0,71"/>	
Waterplane area coefficient, Cwp	<input type="text" value="0,81"/>	

Figur 3.39: Hoveddimensjoner på Nauticus hull

Så må stålqualiteten bestemmes, det vil være mest gunstig å ha lav kvalitet om lekteren ikke har

Hull Steel Material

Modulus of elasticity	<input type="text" value="206000"/>	(N/mm <sup>2</sup> )
Yield point of normal strength steel	<input type="text" value="235"/>	(N/mm <sup>2</sup> )

Midship section steel material

	Strength group	Yield point (N/mm <sup>2</sup> )	HS-steel zone height (mm)
At bottom	NV-NS	235	0
At deck	NV-NS	235	0
Between bottom and deck	NV-NS	235	

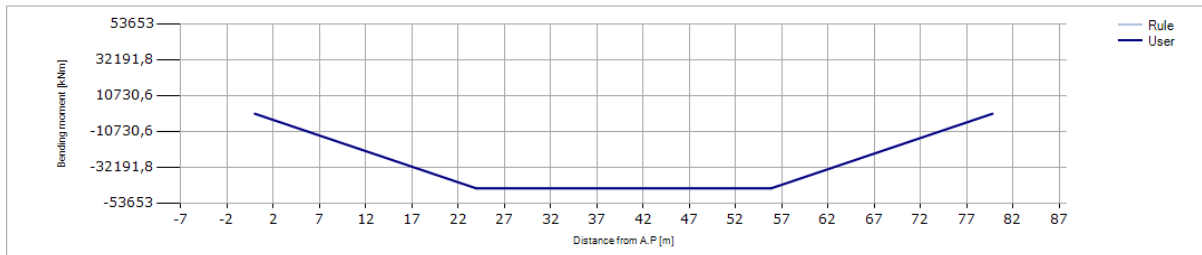
Longitudinal extension of

Entire ship length  frame No  to

Figur 3.40: Valg av material

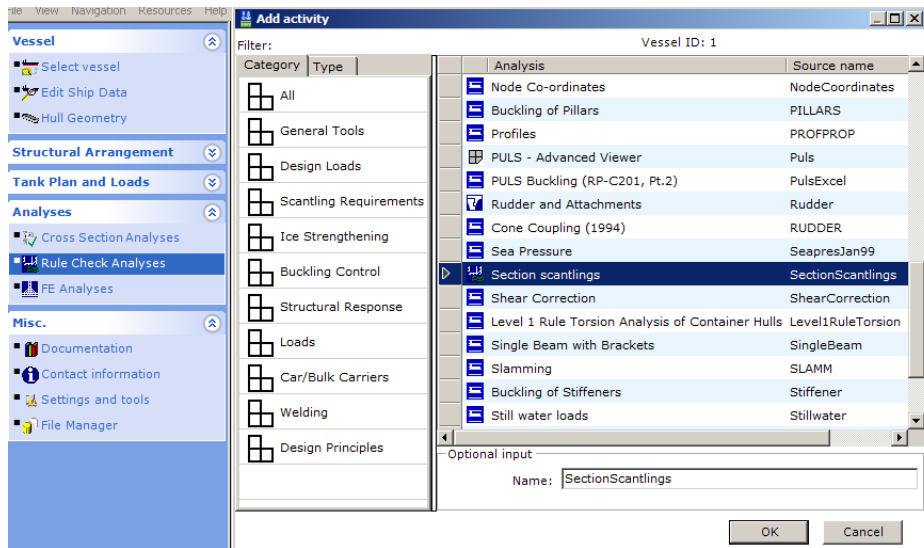
problemer med styrken, dette fordi en høyere kvalitet på stål vil være betraktelig dyrere. Elastisitetsmodulen til alle stålqualiteter er lik, men flytegrensen vil øke desto høyere kvalitet det er på stålet. Figur 3.40 viser vinduet hvor en bestemmer stålqualitet, i dette prosjektet er det brukt vanlig stålqualitet.

Basert på hoveddimensjonene vil programmet regne ut et regelkrav til det globale momentet, for denne lekteren ble dette kravet 44711 kNm som vist på figur 3.41. Om noen av lastkondisjonene som har blitt utført hadde høyere moment enn regelkravet måtte regelkravet blitt erstattet av dette.



Figur 3.41: Regelkrav for det globale moment

Figur 3.42 viser hvordan man åpner Section Scantlings på Nauticus hull.



Figur 3.42: Åpner Section Scantlings

Utfører først en tverrsnittsanalyse for tverrsnittet på midtskip som figur 3.43 viser, dette snittet

**Cross-section name and position**

How to create the new cross-section:

New cross-section from input

Import hull geometry

Longitudinal position

Midship section      Frame No: 67+300

Rule check      Dist. from AP (m): 39.900

Standard span and spacing

Standard span of longitudinals (mm): 2400

Standard spacing betw. trv. stiffeners (mm): 600

Cross-section Identification

Name: Section 1

Date: 2016.02.09      Signature: 120857

Comments:

Verification

Date:      Signature:

Drawing No and revision:

Edit

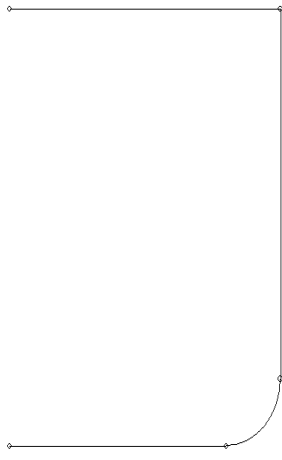
Edit Material Data      OK      Cancel      Help

ligger ikke på et spant, derfor viser programmet spant 67+300. Velger en stiveravstand på 600 mm og bæreravstand på 2400 mm som vi har bestemt tidligere.

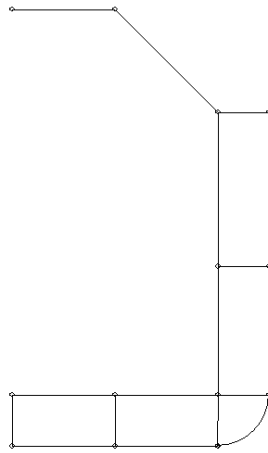
Figur 3.43: Velger spant og avstander for dette spantet

Figur 3.44 viser formen på tverrsnittet basert på linjer fra Maxsurf Modeller Advanced. På figur 3.45 har vi lagt på dobbeltbunn, innerside, tween dekk, styrkedekk, værdekk og formet toppen litt

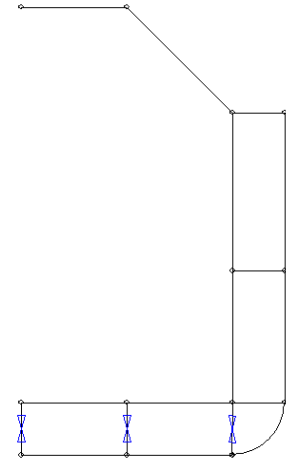
annerledes for å stemme overens med modellen. Figur 3.46 viser utkapp i skottene i dobbeltbunnen, dette for å tillate at vannet kan flyte fritt mellom og danne én tank i bunnen.



Figur 3.44: Tverrsnitt

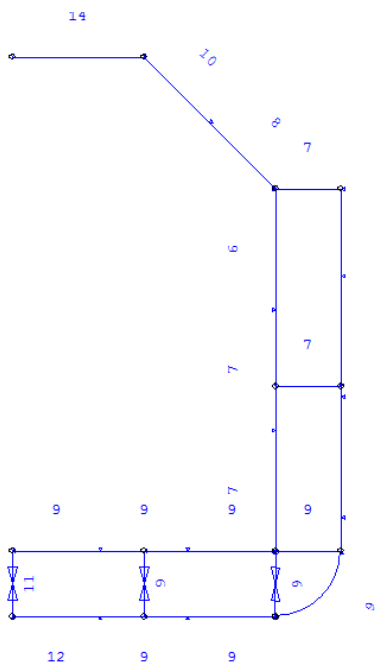


Figur 3.45: Tverrsnitt med korrekt tankfordeling

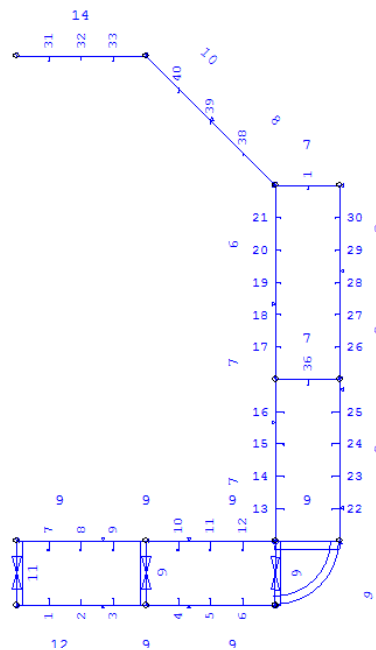


Figur 3.46: Hulrom til tankene i dobbeltbunnen

På figur 3.47 har det blitt lagt på plater med ulik lengde for at det skal gå ut med passelig antall plater med lengder. Vil ideelt ha plater på minimum 2 m, men ettersom enkelte dekk har en bredde på mindre enn 2 m må en tillate at disse blir kortere. Så festes langskipsstiverne på, de skal ha 600 mm mellomrom i vertikal og horisontal retning. Orienteringen til stiverne er viktig, i dobbeltbunnen skal de peke på hverandre og kneplaten skal peke mot senterlinjen. I innersiden skal stiverne også peke mot hverandre, men her skal kneplaten peke mot kjølen, som figur 3.48 viser. Det blir i tillegg lagt til tverrskipsavstivere enkelte plasser i bunn. Dimensjonen til stiverne vil i første omgang ikke spille noen rolle, ettersom en senere vil få krav til motstandsmomentet hver stiver skal ha.



Figur 3.47: Lagt på plater



Figur 3.48: Langskips- og tverrskipsstivere

Før en kan kjøre analysen må en legge til innhold i tankene. For lasterommet og den øverste tanken i siden vil det være tomt, dermed vil det være tilstrekkelig å definere rommet som tomrom som vist på figur 3.49.

Compartment name	Compartment type	Tank/ Hold No	Length (mm)	Top of air pipe (mm)	Volume (m3)	CG distance from AP (mm)	CG distance from CL (mm)	CG distance from BL (mm)	Free surface centre from CL (mm)
void	Void space					39900	0	5436	

Figur 3.49: Tomrom

For tankene det skal være væske i derimot må det en del definisjoner til. En må føre inn lengden på tanken og avstanden fra toppen av tanken til toppen av luftrøret som vist på figur 3.50. Luftrøret er 760 mm høyt og er plassert på hoveddekket. Så må det arealet den frie væskeoverflaten har å virke på defineres som vises på figur 3.51. Lengden vil være avstanden mellom skottene i horisontal retning og bredden vil være avstanden mellom bærerne. Det siste steget for tankoppsettet er å definere hvilken væske som er i tanken, i alle våre tilfeller vil dette være saltvann med massetetthet på 1,025 t/m<sup>3</sup> som vist på figur 3.52.

Compartment name	Compartment type	Tank/ Hold No	Length (mm)	Top of air pipe (mm)	Volume (m3)	CG distance from AP (mm)	CG distance from CL (mm)	CG distance from BL (mm)	Free surface centre from CL (mm)
Ballast	Ballast water tank	1	12600	8560		41400	5700	2700	5700

Figur 3.50: Ballasttank i dobbeltbunn

Compartment name	Sloshing length (mm)	Sloshing breadth (mm)	Design bulk cargo mass, Mh (homogeneous) (t)	Design bulk cargo mass, Mhd (empty holds) (t)	Reduced volume (m3)	Height from base to the WL in damaged condition (mm)	Over-pumping pressure, dpDyn (kN/m2)	Over-pressure, p0 (kN/m2)	Restricted filling heights	Fully coated
Ballast	2400	2400				7800	25	25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figur 3.51: Definisjon av fri væskeoverflate



Edit loads for compartment 'Ballast'													
Prescriptive loads		Fatigue loads											
Compartment loads													
Create standard													
Create new	Compartment	Load type	Density (t/m3)	Filling height from BL (mm)	Bulk cargo mass (t)	Angle of repose (deg)	Permeability	DB stress bottom (N/mm2)	DB stress inner b. (N/mm2)	Still water moment (- if sag) (kNm)	Tr (s)	Kr (m)	GM (m)
Edit													
Duplicate	▶ Ballast	Water ballast	1,025	4200				0	0	0	0	5,148	0,924
Delete													
Reset sorting													

Figur 3.52: Massetetthet til tanken

Etter tankoppsettet er ferdig kan en kjøre analysen. Målet med analysen er å få  $Z_A/Z_R$  høyere eller lik 1 både i dekk og bunn for midtskipet, hvis ikke har ikke lekteren god nok langskipsstyrke. Figur 3.53 viser at lekteren har en  $Z_A/Z_R$  som er høy nok både i bunn og dekk.

## 10 Hull Girder Strength Requirements

	BOTTOM	DECK	ABOVE DECK	SIDE
Material strength group .....	NV-NS	NV-NS	NV-NS	NV-NS
Yield point of material ..... (N/mm2) :	235	235	235	235
Material factor, f1 .....	1.00	1.00	1.00	1.00
Section modulus ratio, $Z_A/Z_R$ .....	3.508	3.409		
	Based on:			
$Z_A$	2.398	2.330		
$Z_R$	0.684	0.684		
Speed factor, $C_{sv}$ .....	0.000			
Speed/flare factor, $C_{sf}$ .....	0.000			
Wave coefficient, $C_w$ .....	6.320			
Wave coefficient, $C_{w0}$ .....	7.456			
Wave coefficient, $C_{wu}$ .....	6.320			
<b>MIDSHIP SECTION</b>				
Minimum section modulus, $Z_0$ .....	(m3) :		0.80332	0.80332
Rule section modulus a midships .....	(m3) :		0.80332	0.80332

Figur 3.53: Sjekker om lekteren innfrir kravene til  $Z_A/Z_R$

Selv om lekteren har innfridd kravene må både platene og stiverne optimaliseres, dette gjelder både om de er for svake eller for sterke. Målet er å spare vekt ved å komme akkurat over kravene som platene og stiverne får av de lokale kreftene. Figur 3.54 viser hvordan platene kan optimaliseres, her vises platene i innersiden, kravet til plate 1 er 6,88 mm og da velges en platedimensjon på 7,0 mm. Figur 3.55 viser hvordan stiverne kan optimaliseres, her får en oppgitt et minstekrav til motstandsmomentet, og må deretter prøve seg frem til en stiver som har et motstandsmoment som er like over.

## Local Rule Requirements - Plates (cont)

Plate No	ACT	t <sub>act</sub> mm	Steel	t <sub>i</sub> mm	t <sub>ib</sub> mm		Ω m <sup>2</sup>	Eff (%)	Span mm	Spac mm	τ N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>F</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>1</sub>
LOC			t <sub>loc</sub> mm	Pos		Load Ref.		Loc. ref.	y <sub>1</sub> mm	z <sub>1</sub> mm	Comp ref.	σ N/mm <sup>2</sup>	p kN/m <sup>2</sup>
BUC			t <sub>buc</sub> mm	η	ψ	k	c	Buc. ref.	y <sub>b</sub> mm	z <sub>b</sub> mm	σ <sub>L</sub> N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>c</sub> or τ <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>cr</sub> or τ <sub>cr</sub> N/mm <sup>2</sup>

### Inner Side 4800

1	ACT	7.0	std	1.0	1.0		-	100	2400	600	0.0	235.0	1.00
	LOC		6.88	Insid		WB tst 5		Lat	4800	1500	3	135.6	52.1
	BUC		4.69	1.00	0.77	4.48	1.20	oompr	4800	1200	31.5	83.1	31.5
2	ACT	7.0	std	1.0	0.0		-	100	2400	600	0.0	235.0	1.00
	LOC		6.80	Insid		WB tst 5		Min	4800	3400	3	155.4	33.0
	BUC		3.23	1.00	0.89	4.23	1.10	oompr	4800	5600	22.8	106.7	22.8
3	ACT	6.0	std	0.0	0.0		-	100	2400	600	0.0	235.0	1.00
	LOC		5.80	Insid		Damag		Min	4800	5700	4	220.0	20.2
	BUC		4.81	1.00	0.85	4.31	1.20	oompr	4800	7800	51.3	79.9	51.3

Figur 3.54: Plateoptimalisering

## 15 Local Rule Requirements - Stiffeners

Stiff. No	ACT	ACT	Pos Z <sub>a</sub> cm <sup>3</sup>	K c	Type Type	h t (mm)	b <sub>y</sub> t <sub>r</sub> (mm)	y z (mm)	σ <sub>F</sub> f <sub>1</sub> N/mm <sup>2</sup>	m w <sub>k</sub>	t <sub>hw</sub> t <sub>tr</sub> (mm)	t <sub>pl</sub> (mm)	span spac (mm)
LOC			Z <sub>r</sub> cm <sup>3</sup>	excess (%)	t <sub>mb</sub> (mm)	Load Ref.		σ N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>DB</sub> N/mm <sup>2</sup>	p kN/m <sup>2</sup>	Comp ref.	a <sub>oob</sub> cm <sup>2</sup>	
FAT/BUC			Z <sub>tr</sub> cm <sup>3</sup>	excess (%)	p <sub>d</sub> kN/m <sup>2</sup>	σ <sub>d</sub> N/mm <sup>2</sup>		σ <sub>L</sub> N/mm <sup>2</sup>	Lat N/mm <sup>2</sup>	Torsion N/mm <sup>2</sup>	Web N/mm <sup>2</sup>	b/t <sub>r</sub>	

### Outer Shell

#### Bottom

1	ACT	Bottom	0.00	20	140	0	600	235.0	12.0	1.5	12.0	2400
	ACT	95	0.0	HPbulb	9.0	0.0	0	1.00	1.09	1.5		600
	LOC		91	4	7.2	Sea		160.0	0.0	46.7		8.3
	FAT/BUC		0		0.0	0.0		45.8	211.9	0.0	0.0	0.0
2	ACT	Bottom	0.00	20	140	0	1200	235.0	12.0	1.5	12.0	2400
	ACT	95	0.0	HPbulb	9.0	0.0	0	1.00	1.09	1.5		600
	LOC		91	4	7.2	Sea		160.0	0.0	46.7		8.3
	FAT/BUC		0		0.0	0.0		45.8	211.9	0.0	0.0	0.0
3	ACT	Bottom	0.00	20	140	0	1800	235.0	12.0	1.5	9.0	2400
	ACT	92	0.0	HPbulb	9.0	0.0	0	1.00	1.09	1.5		600
	LOC		91	0	7.2	Sea		160.0	0.0	46.7		8.3
	FAT/BUC		0		0.0	0.0		45.8	215.5	0.0	0.0	0.0

Figur 3.55: Stiveroptimalisering

Når alle kravene er innfridd og platene og stiverne er optimalisert leses tverrsnittarealet og det vertikale tyngdepunktet av som vist i figur 3.56, disse tallene vil bli brukt til lettskipsvektberegningene.

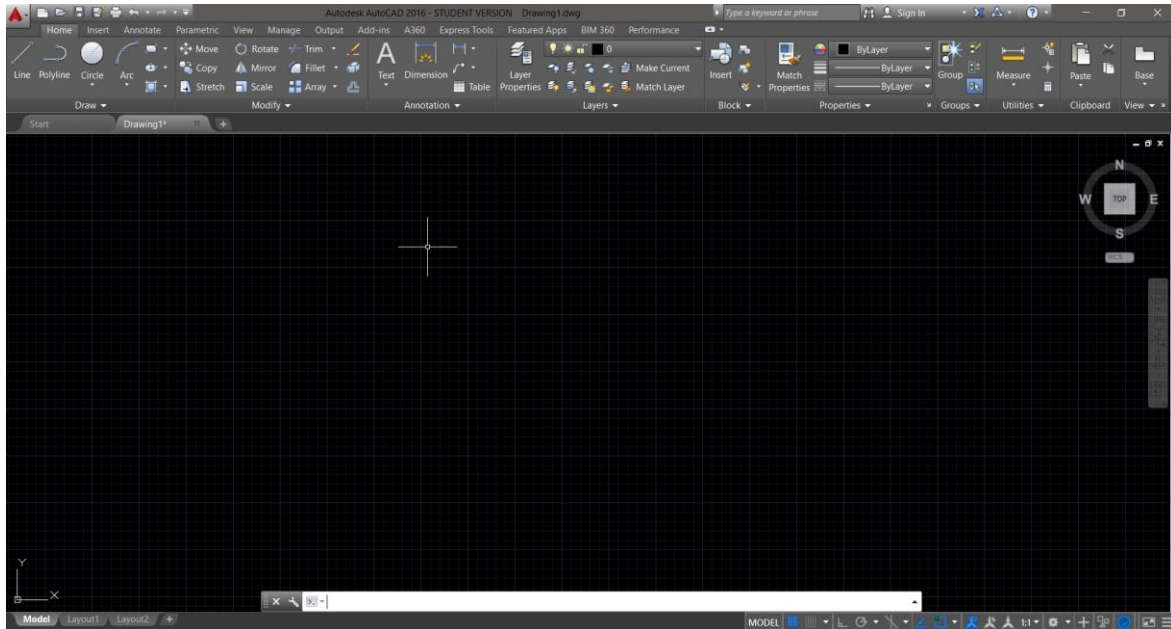
## 11 Hull Girder Strength Summary

	ACTUAL	RULE	STATUS (%) (100=Rule)
Cross-sectional area .....(cm <sup>2</sup> ) :	7297		
Height to the neutral axis .....(mm) :	3844		

Figur 3.56: Tverrsnittareal og det vertikale tyngdepunktet

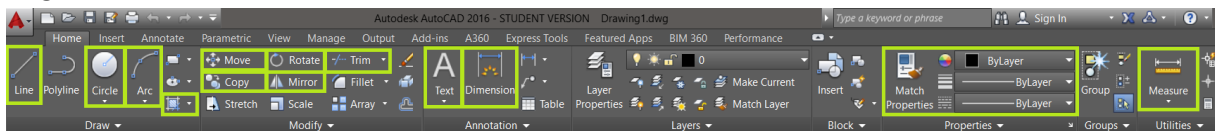
### 3.7.5 AutoCAD

For å tegne GA og gassonene til lekteren har vi tatt i bruk studentversjonen av tegneprogrammet AutoCAD 2016. Programmet kan benyttes for å tegne alt fra enkle todimensjonale tegninger til avanserte tredimensjonale modeller. I dette prosjektet ble det kun bruk for todimensjonale tegninger. Figur 3.57 viser grensesnittet til programmet.



Figur 3.57: AutoCAD grensesnitt

For å tegne GA og gassone områdene er det visse funksjoner i programmet som har gått igjen. Disse er markert med grønne rammer i figur 3.58. Disse funksjonene gjør det mulig å tegne rette streker, kurver, sirkler samt å redigere, kopiere og speile disse formene. For å fylle ut områdene i gassonene er «Hatch» funksjonen brukt. Denne funksjonen fyller ut et lukket område med valgt mønster og farge.

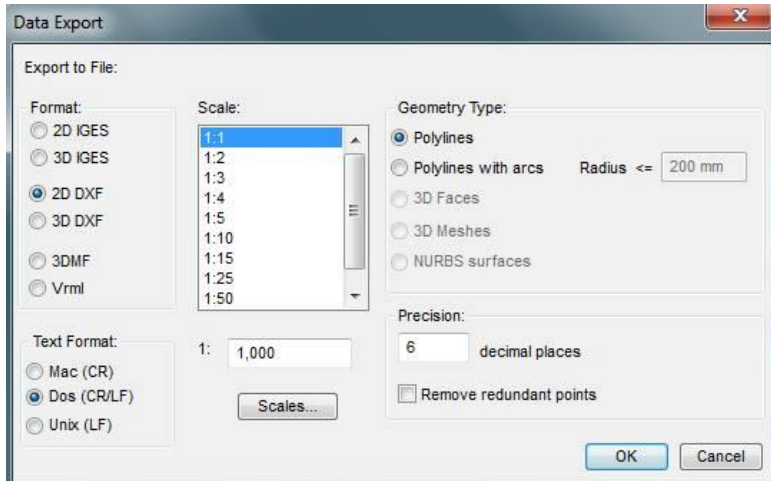


Figur 3.58: Ulike verktøy som blir brukt

Et «General Arrangement», eller en «GA» er todimensjonale tegninger av forskjellige plan, profiler og snitt av et fartøy. Disse tegningene brukes for å vise plasseringen og størrelsen til alle rommene, tankene og utstyret om bord. Det er også et nyttig verktøy for å visuelt, og ved hjelp av innebygde måleverktøy, kontrollere mål og avstander i tegningen.

GA-tegningene er i starten veldig enkle og viser bare det initiale designet der ingenting er fast bestemt og blir i løpet av prosjektperioden oppdatert med jevne mellomrom. Tegningene kan også brukes for å planlegge og muliggjør det å se hva endringer vil føre med seg. I programmet er det mulig å tegne i 1:1 skala og for å gjøre det enklest mulig brukte vi millimeter som enhet på alle tegningene.

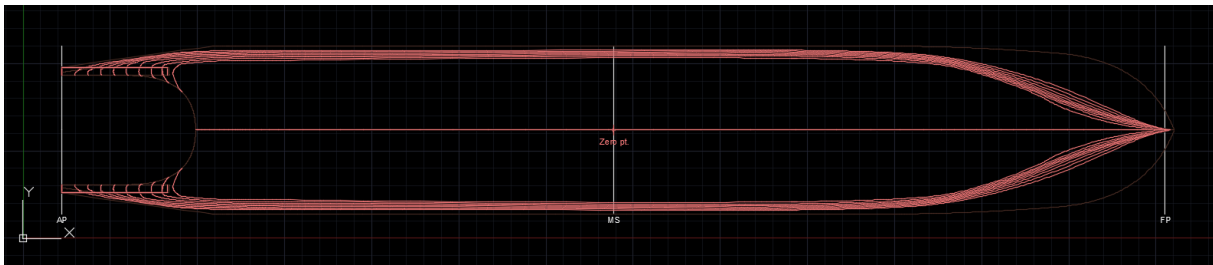
AutoCAD ble tatt i bruk etter at det første utkastet til skrogform var bestemt i MaxSurf Modeller.



Linjene fra skroget ble eksportert fra MaxSurf til AutoCAD på følgende måte. For at målene skal stemme overens i AutoCAD velger man millimeter som mål i MaxSurf, deretter trykker man på «Export», velger formatet 2D DXF og skala 1:1. MaxSurf genererer da en .dwg fil som har de korrekte målene for videre bearbeiding. Figur 3.59 viser hvordan denne menyen ser ut.

Figur 3.59 Eksportering av Maxsurf-filen

Deretter åpnes filen i AutoCAD, markeres og kopieres. Ved å bruke Ctrl-V limes den kopierte tegningen inn på filen der den skal brukes. For å kunne tegne tankene under, og rommene over tanktoppen blir det i MaxSurf laget en horisontal linje som skjærer skroget ved 1200 mm over kjølen. Denne linjen importeres til AutoCAD på samme måte som beskrevet over. Dette er en enkel og grei måte å få de korrekte målene og formene på de forskjellige delene av fartøyet inn på tegneprogrammet. Figur 3.60 viser hvordan linjene fra MaxSurf ser ut i AutoCAD.



Figur 3.60: Vannlinjene importert fra MaxSurf

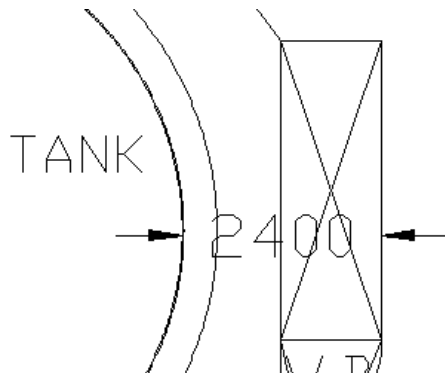
Et hjelpemiddel som er brukt ved prosjekteringen er en spantetabell som vist på figur 3.61. Dette er en linje som går langs skips og markerer for hver 600 mm. Der 0 starter ved akterspeilet, som er den bakerste enden av lekteren og øker med 1 for hver spanteavstand. For at tverrgående skott ikke skal havne for tett på de tverrgående bærerne er alle skottene plassert på et 600 mm intervall. Med denne tabellen er det veldig enkelt å plassere spant på de riktige avstandene.



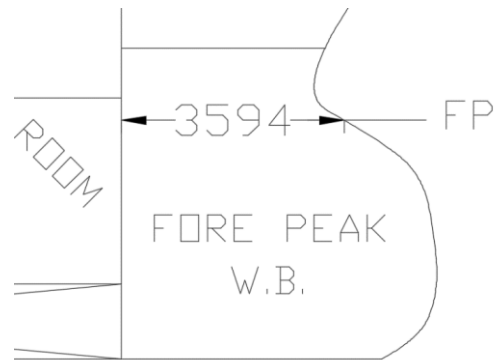
Figur 3.61: Spantetabell

Reglene for de forskjellige avstandene som for eksempel avstanden fra innersiden av LNG-tankene og ut til skutesiden, som skal være minimum 2400 mm, og avstanden fra FP til kollisjonskottet blir først

regnet ut for hånd og kan senere ut i prosjektet kontrolleres ved å bruke målefunksjonen i AutoCAD. Figur 3.62 og 3.63 viser hvordan vi har bukt AutoCAD for å dobbeltsjekke at vi har innfridd kravene.



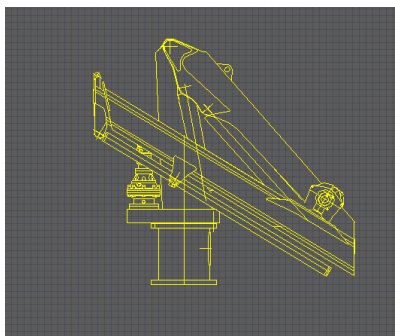
Figur 3.62: Sjekk av avstander fra innersiden av tank til skutesiden



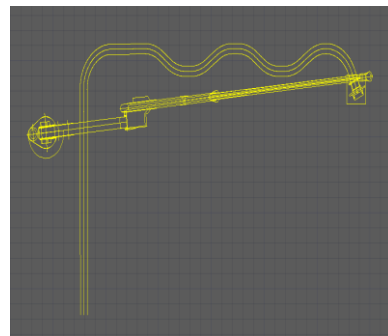
Figur 3.63: Sjekk av avstand kollisjonsskottet må ha

AutoCAD er også et glimrende verktøy som kan brukes for å ha et visuelt grunnlag for diskusjon rundt idéer og videre fremgangsmåter. Et eksempel for tidlig bruk av tegninger er å tegne og plassere LNG-tankene inn i et tverrsnitt av skroget. Her kan man med en gang få øye på hvordan tankene påvirker plassbruken i skroget. Det er også lett å se om man har areal som ikke utnyttes eller om man har for lite plass til utstyr.

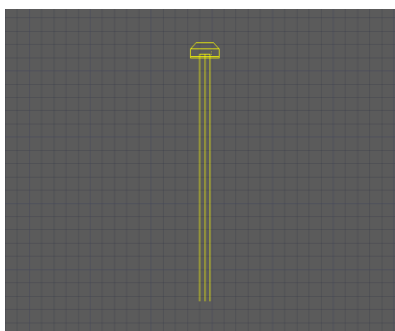
Noen av de delene som er brukt på tegningene av lekteren er ikke tegnet av oss studenter. Noen av disse er sendt fra Multi Maritime og blitt godkjent for bruk i denne oppgaven. Tegningene dette gjelder er:



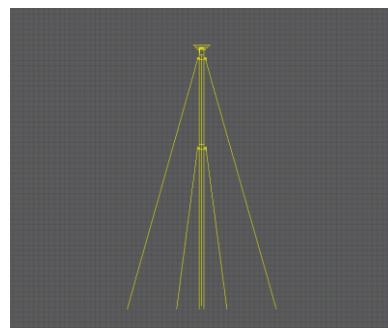
Figur 3.64: Kran under seiling



Figur 3.65: Kran ved lossing og lasting

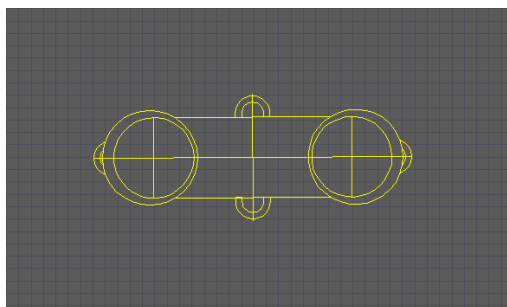


Figur 3.66: Ventilasjonsutløp og innløp

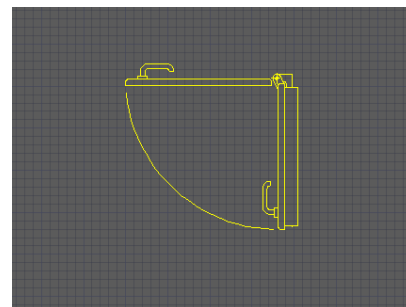


Figur 3.67 Gassmast

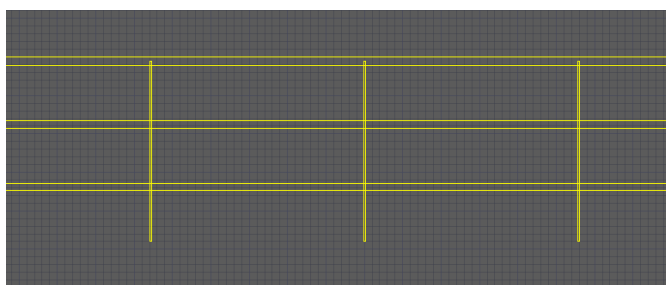
Tegningene av pullertene, rekkverket og dørene som går langs lekteren er tatt fra en GA som ble utdelt i en undervisningstime og er redigert for å passe på lekteren.



Figur 3:68: Pullert



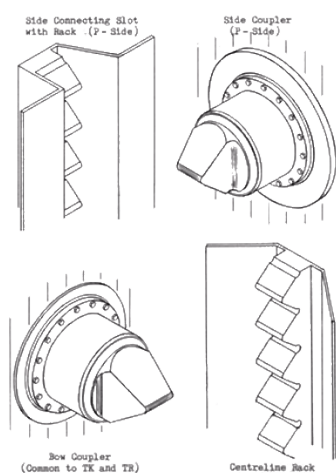
Figur 3:69: Dør



Figur 3:70 Rekkverk

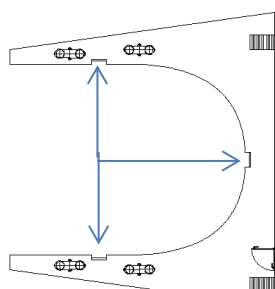
## 4 Resultat

### 4.1 Sammenkoblingsmekanisme



Ut fra en totalvurdering av tilkoblingsløsning kom det rigide Triofix TR-systemet som vises på figur 4.1. best ut. Dette var det systemet som ble vurdert som det beste for pushbargen med tanke på dens bruks- og fartsområde.

Figur 4.1 Triofix TR



Markørene på figur 4.2 viser hvor pusheren skal kjøre inn i lekteren og pilene peker på tilkoblingssporene hvor pusheren skal feste seg.

Figur 4.2: Aktre del av lekter

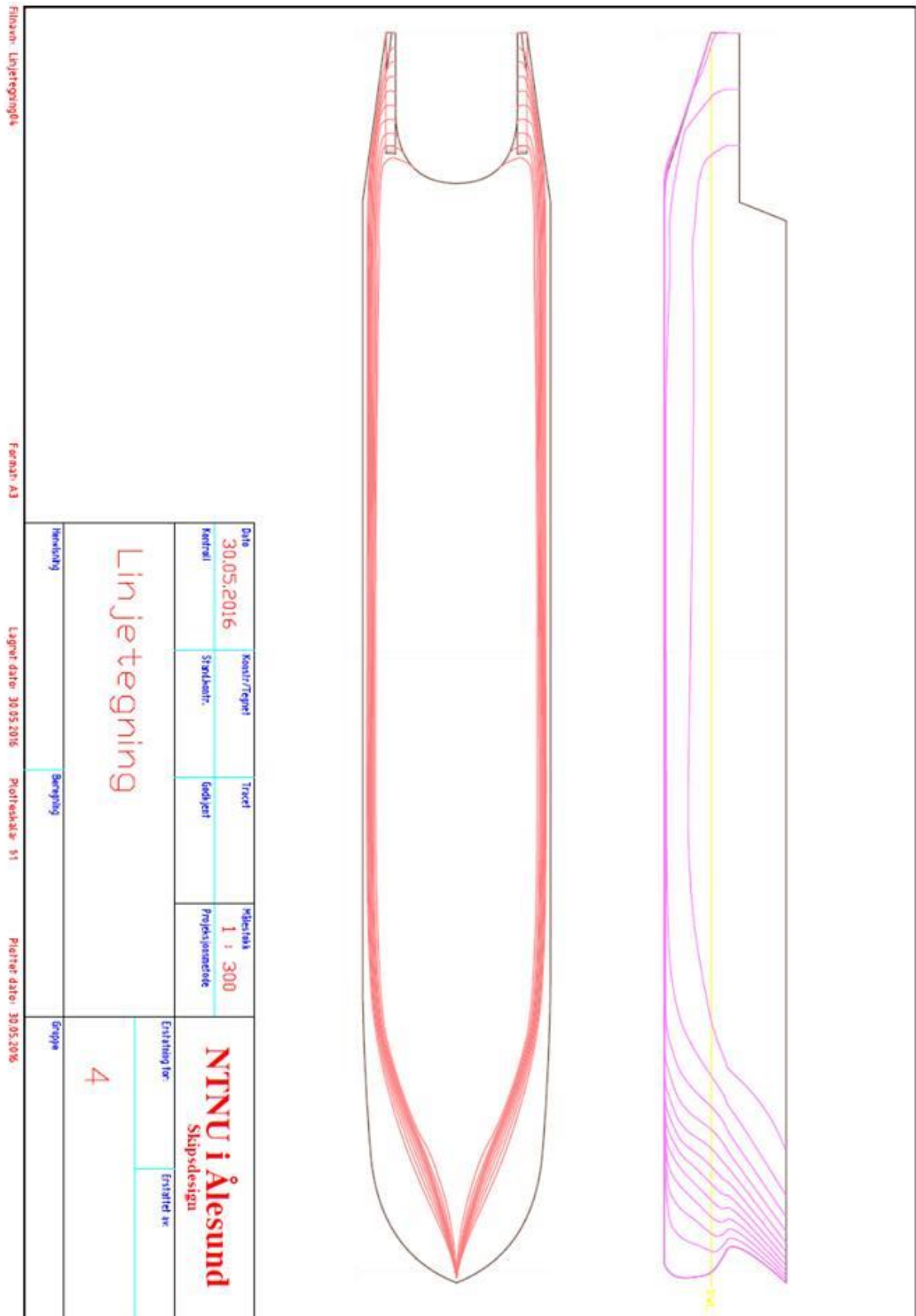
### 4.2 Prosjektering

#### 4.2.1 Hoveddimensjoner

$L_{0a}$	79,8 m
B	12 m
T	3m
D	7,8m
$C_B$	0,71

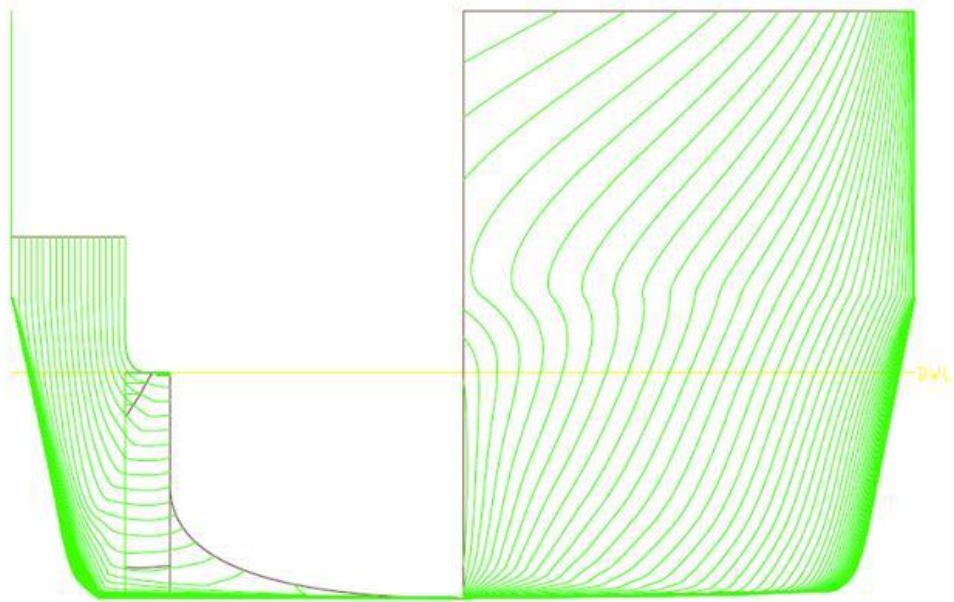
Tabell 4.1 Hoveddimensjoner

## 4.2.2 Linjer



Figur 4.3: Linjetegning sett i profil og plan





Date	Konstr/Tegnet	Tracet	Målestokk	<b>NTNU i Ålesund</b> Skipsdesign	
30.05.2016			1 : 70		
Kontroll	Stand.kontr.	Godkjent	Prosjektsj.metode	Erstatning for:	Erstattet av:
Linjetegning				03	
Henvisning	Beregning		Gruppe		

Filnavn: Linjetegning03

Format: A3

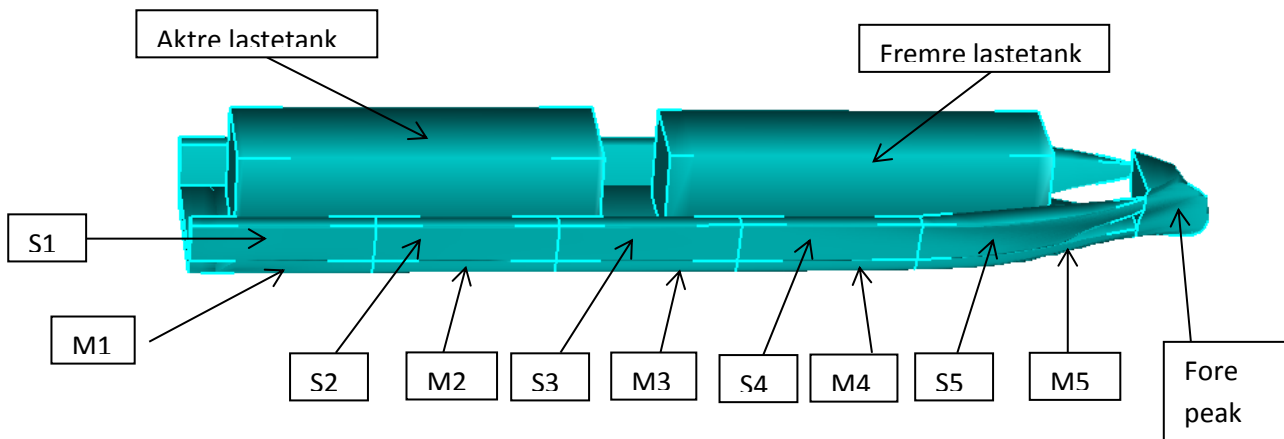
Lagret dato: 30.05.2016

Plotteskala: 1:1

Plottet dato: 30.05.2016

Figur 4.4: Linjetegning body sett forover

### 4.2.3 Tankarrangement



Figur 4.5: Tankarrangement

Velger å fordele lasten på 2000 m<sup>3</sup> på to tanker.

Den akre tanken er formet som en sylinder med halvkuler i endene og har en total lengde på 28 m. Den fremre tanken er en sylinder frem til 21,0 m der den kones innover og har en total lengde på 28,8 m. Lastetankene på figur 4.5 vises som firkantede bokser ettersom programmet ikke håndterer sirkulære former.

Lastetanker	Volum [m <sup>3</sup> ]
Akre lastetank	1046
Fremre lastetank	1002,5

Tabell 4.2: Tankarrangement for lastetanker

Ballasttanker	Volum [m <sup>3</sup> ]
S1	32
S2	32,3
S3	33,2
S4	32,5
S5	39,8
P1	32
P2	32,3
P3	33,2
P4	32,5
P5	39,8
M1	146,4
M2	146,2
M3	145,8
M4	144,1
M5	127,6
Fore peak	35

Tabell 4.3: Tankarrangement for ballasttanker

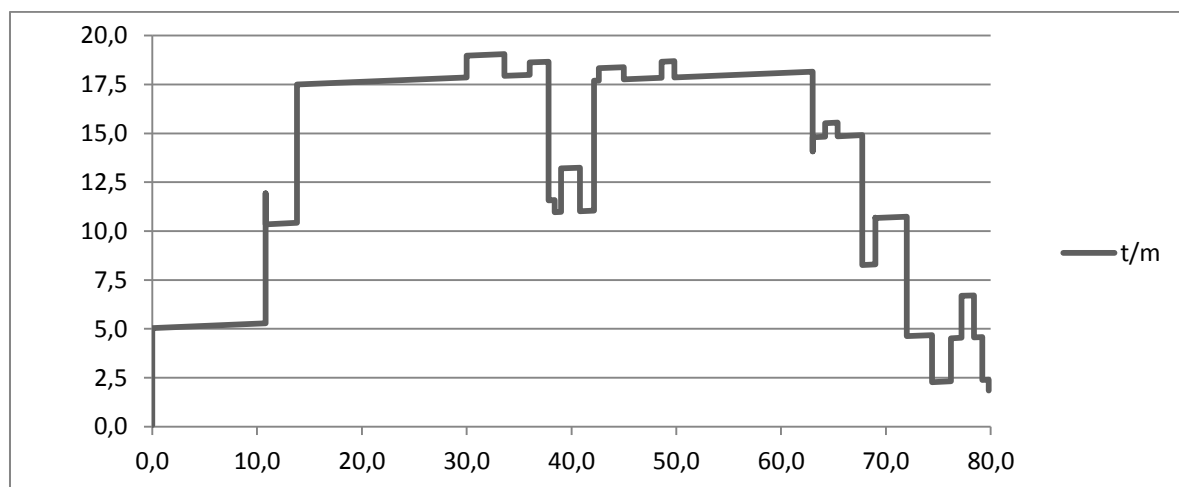
#### 4.2.4 Lettskipsvekt

Lettskipsvektene er fordelt på følgende måte med nullpunkt i hekken på lekteren

Item name	Vekt [tonn]	Long arm [m]	Aft lim [m]	For lim [m]	Trans arm [m]	Vert arm [m]
Skrog aft + sveis	47,8	5,4	0	10,8	0	2,3
Skrog mid + sveis	494,4	36,9	10,8	63	0	3,7
Skrog front + sveis	55	67,5	63	72	0	4
Cargo tank aft	170	25,8	13,8	37,8	0	5,5
Cargo tank front	170	54,96	42,16	67,76	0	5,5
Doom aft	1,5	37,2	36	38,4	0	10,2
Doom forward	1,5	43,8	42,6	45	0	10,2
Overbygg	5	71,7	69	74,4	0	9
Maskimrom	8	71,7	69	74,4	0	4
Ventilrom	4	31,8	30	33,6	0	11,4
Kran	4	39,9	39	40,8	0	11
Mast	1	49,2	48,6	49,8	0	18
Ankerkjetting	6,6	77,7	76,2	79,2	0	6,5
Anker	2,58	77,8	77,8	77,8	0	5,5
Stiger cargo rom	1,5	40	10,8	69	0	5
Dieseltank	0,832	64,8	64,2	65,4	-1,2	1,5
Fortøyningsutstyr	1	40	0	79,8	0	6,5
Rør	10,6	48	0	79,8	0	3
Elektrisk	3,2	46	0	79,8	0	6,5
Ledninger	2,1	45	0	79,8	0	4,5
Ytre rekkverk/stiger	3,2	48	0	79,8	0	7
Brannslukkere	0,5	40	0	79,8	0	4,5
Diverse (10 %)	99,4	48	0	79,8	0	6
Sum	1093.7					

Tabell 4.4: Lettskipsvekter

Dette gir følgende lettskipsvektkurve:



Figur 4.6: Lettskipsvektkurve

#### 4.2.5 Lastkondisjon

Likt volum uten ballast:

Fordeling av tanker	0/0	25/25	50/50	75/75	98/98
Dypgang	1,7	2,1	2,4	2,8	3,0
Trim	-0,25	-0,27	-0,28	-0,27	-0,25
Deplasement	1094	1350	1606	1862	2098
Moment	499 tm sag	357 tm sag	202 tm hog	302 tm sag	516 tm sag
Stabilitet	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed

Tabell 4.5: Likt volum uten ballast

Tom og fullastet leker mer detaljert:

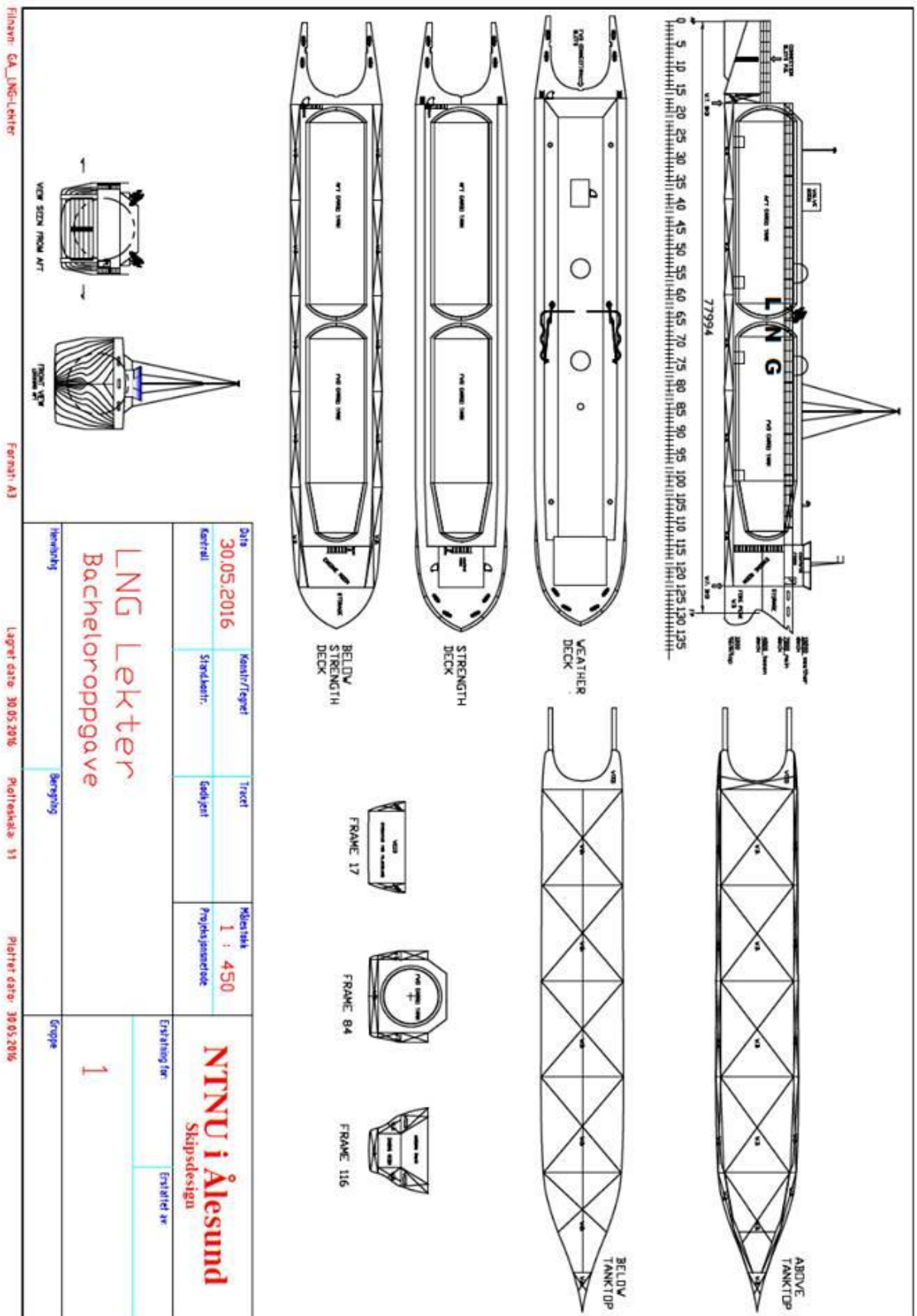
Hydrostatikk	0/0	98/98
Draft midship	1,7	3,1
Deplasement	1094	2098
Dypgang FP	1,8	3,0
Dypgang AP	1,6	3,1
Trim	-0,25	-0,25
$C_B$	0,71	0,7
LCB	0,58	0,56

Tabell 4.6: Hydrostatikk

Stabilitet	0/0	98/98
Areal 0-30	18,6	7,7
Areal 0-40	28,6	14,9
Areal 30-40	10,0	7,1
Max GZ at 30+	1,04	0,86
Vinkel max GZ	30,0	46,4
GM	2,3	0,83

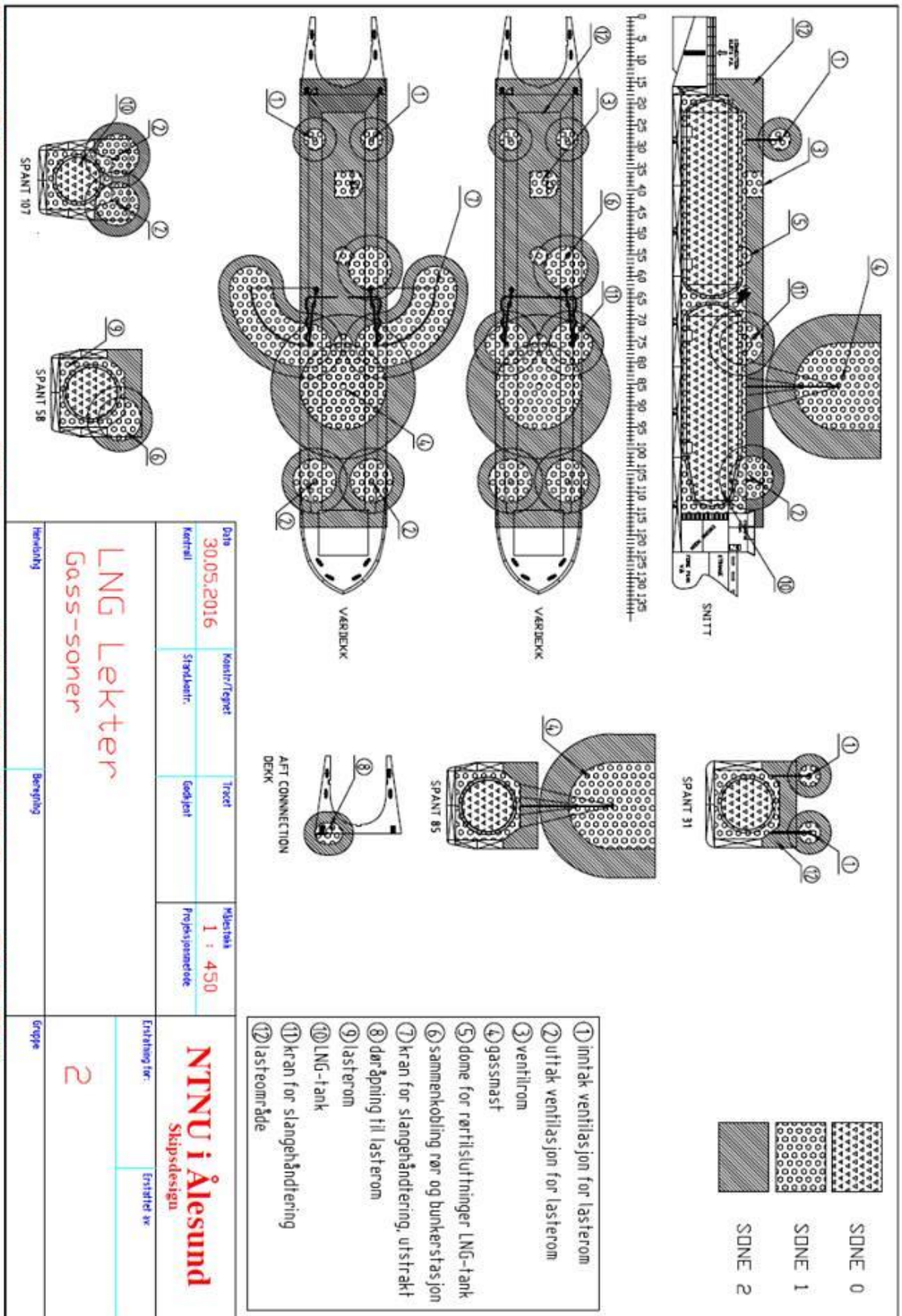
Tabell 4.7: Stabilitet

#### 4.2.6 General arrangement



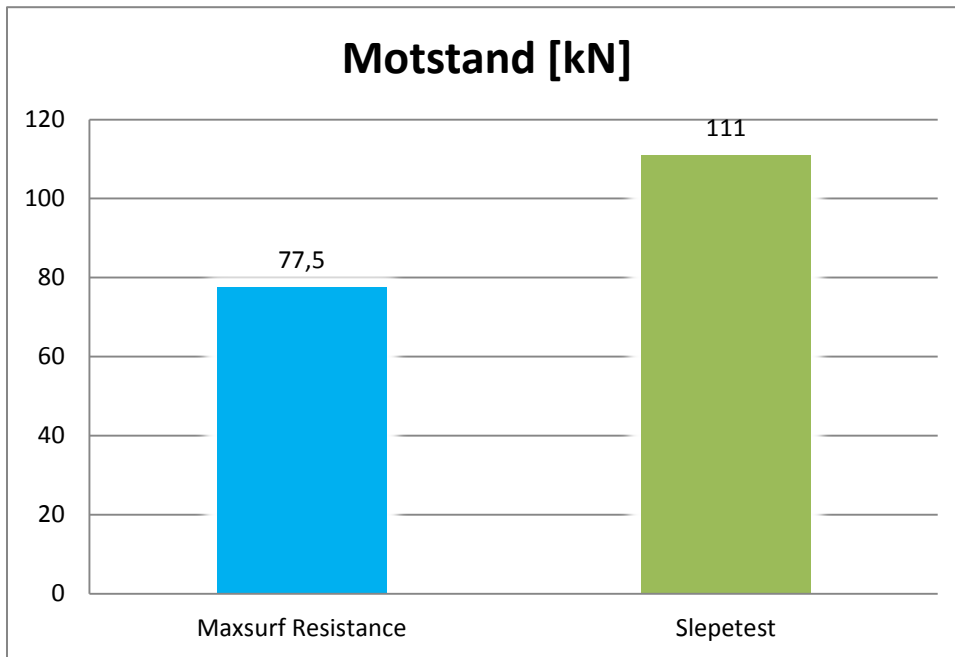
Figur 4.7: General arrangement

#### 4.2.7 Gassoner



Figur 4.8: Gassoner

#### 4.2.8 Motstand



Figur 4.9: Graf av resultatet av motstand

### 4.3 Strukturdesign

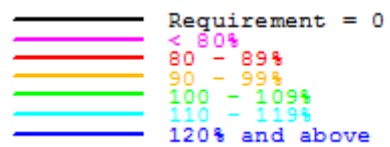
#### 4.3.1 Topologi

Stiveravstand	600 mm
Bæreravstand	2400 mm
Retning på stivere	Langskips

Tabell 4.9: Topologi

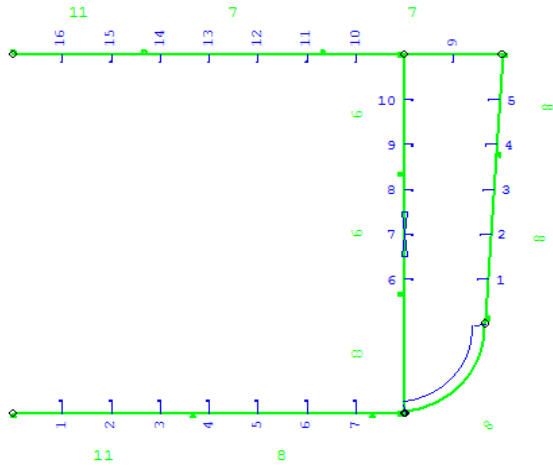
#### 4.3.2 Tverrsnittsanalyse

### Akter:

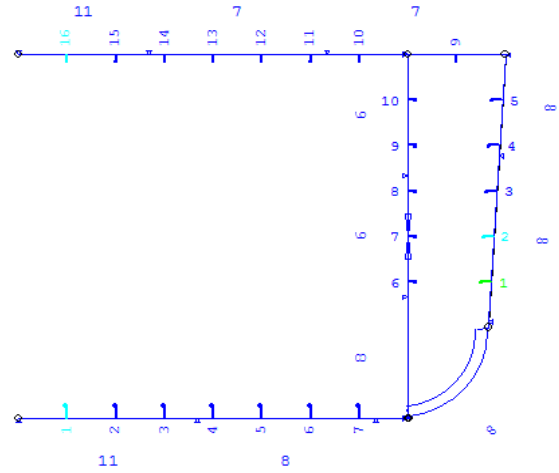


Figur 4.10: Fargekode til regelkrav





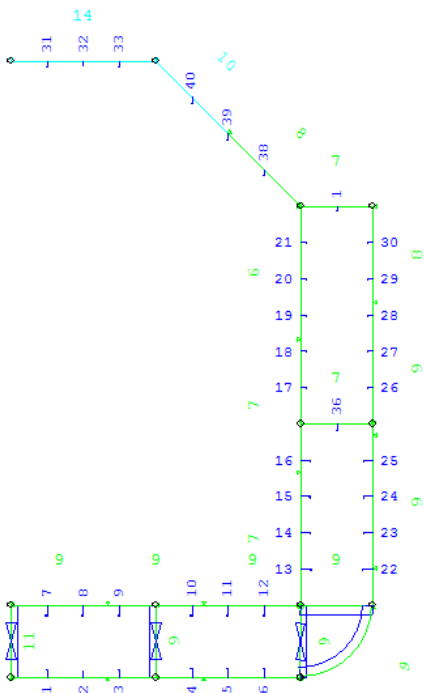
Figur 4.11: Platestatus i aktre tværsnitt



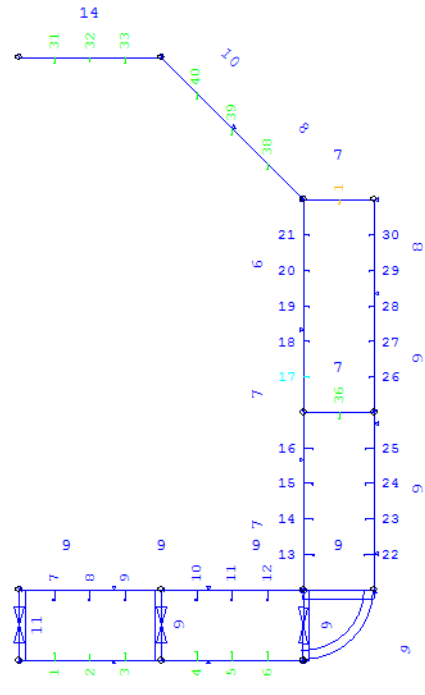
Figur 4.12: Stiverstatus i aktre tværsnitt

Langskipsbøyespenning i akterskipet = 142,8 MPa

## Midtskip:



Figur 4.13: Platestatus i midtre tværsnitt

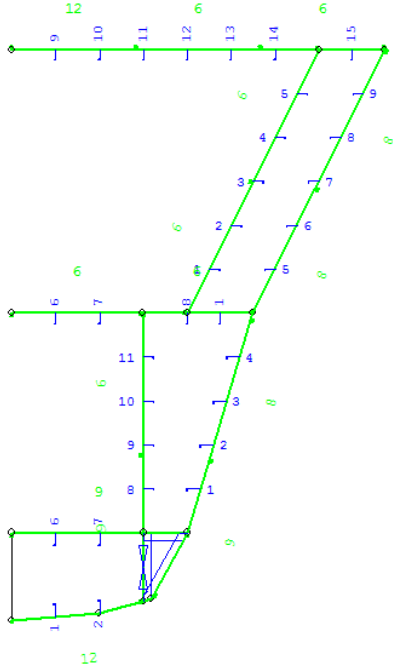


Figur 4.14: Stiverstatus i midtre tværsnitt

Langskipsbøyespenning i midtskip = 77,5 MPa

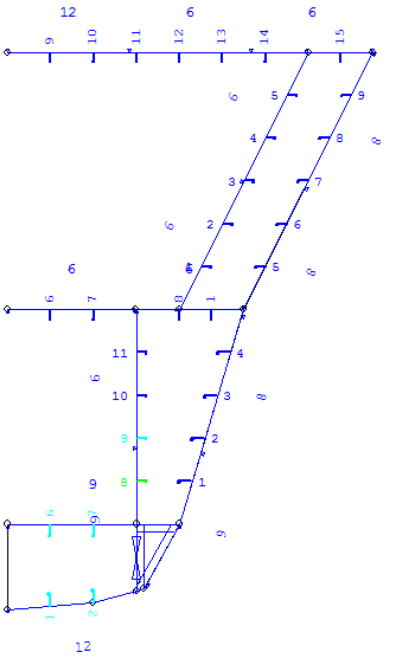


**Front:**



Figur 4.15: Platestatus i fremre tverrsnitt

Langskipsbøyespenning i forskipet = 70,2 MPa

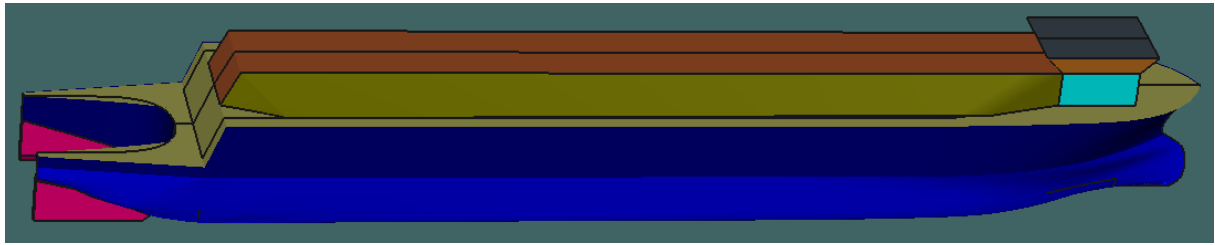


Figur 4.16: Stiverstatus i fremre tverrsnitt

4.4 Oppsummering av designet:



NTNU



# LNG PUSH BARGE VESSEL

## HOVEDKARAKTERISTIKA

Lengde over alt	79,8 m
Bredde	12,0 m
Design Dypgang	3,0 m
Dybde til hoveddekk	7,8 m
Marsjfart	12 knop

## TANKKAPASITETER

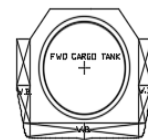
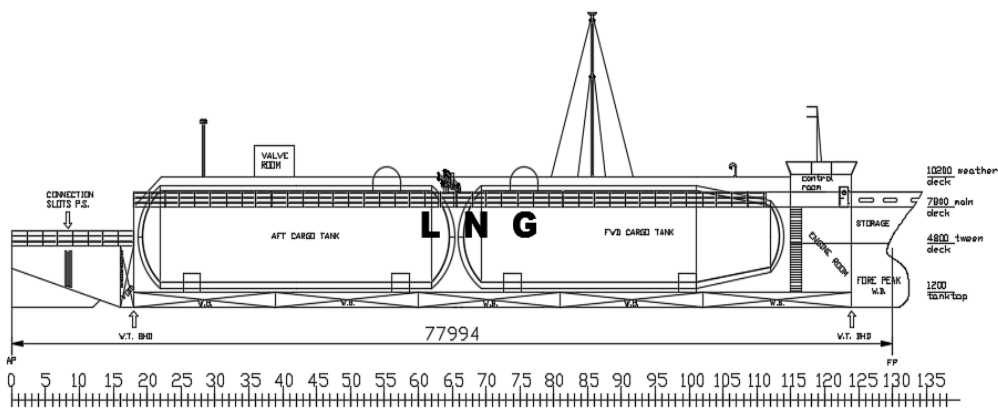
Liquefied Natural Gas	2007,5 m <sup>3</sup>
Ballastvann	1084,7 m <sup>3</sup>
Diesel Tank	~ 1,0 m <sup>3</sup>

## FORDELER MED EN TREPUNKTSKOBLING

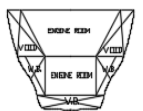
- Mindre bevegelser og støy i pusher
- Bedre driftsyttelse
- Enkel sammenkobling uansett relativt dypgående mellom pusher og lekter

## HOVEDAKTIVITETER

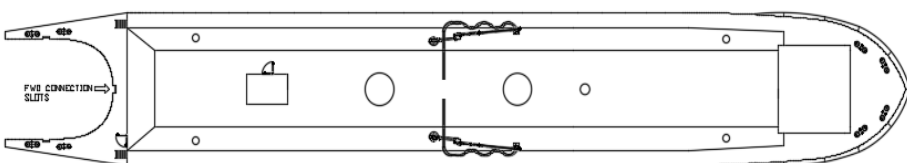
- En pusher vil koble seg sammen med en lekter og sammen segle til en LNG forbruker
- Pusheren vil koble seg fra lekteren, og lar dem ligge ved forbruker der LNG forbrukes
- Pusheren kobles sammen med en tom lekter som forbrukes har tømt.
- Den sammenkoblede pushbargen returnerer til LNG produsent for å fylles



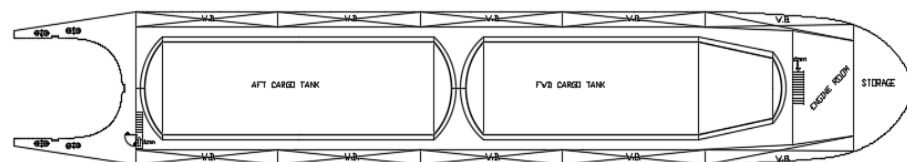
FRAME 84



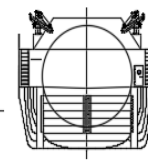
FRAME 116



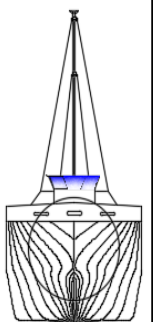
WEATHER DECK



BELOW STRENGTH DECK



VIEW SEEN FROM AFT



FRONT VIEW LOOKING AFT

## 5 Drøfting

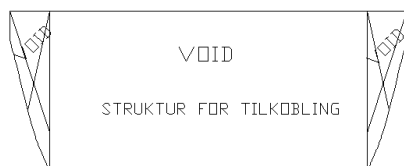
### 5.1 Sammenkoblingsmekanismen

Tilkoblingene basert på friksjon fremstår som enkle og greie å operere. Men da disse består av gummisko som må byttes ut med jevne mellomrom (2-7 år), sees disse på som lite gunstig å ta i bruk. Utbyttingen krever riktig kompetanse og utstyr, noe som kan bli kostbart over tid. I slike tilfeller vil det være mer hensiktsmessig å velge de systemene uten «F», da disse ikke har noen slidedeler som må byttes ut. I tillegg skal pushbargen kunne seile i alle slags sjøforhold, noe det kan se ut til at disse friksjonssystemene ikke vil være gode nok til. En stor fordel med slike systemer er at man kan variere dypgangen til lekteren automatisk i sammenkoblet tilstand, altså at man kan losse og laste lekteren mens den er koblet sammen med pusheren. Denne fordelene trenger ikke LNG pushbargen å benytte seg av da den i prinsippet skal koble seg fra lekteren umiddelbart etter at den har lagt seg til kai for å seile videre.

Pushbargen har et krav om å gå i 12 knop. Det er ønskelig at den også skal kunne seile over lengre avstander mest mulig effektivt. Basert på dette ønsker vi å velge et tilkoblingssystem som gjør at denne hastigheten kan oppnås ved minst mulig motstand, for igjen å spare drivstoff. Ved å kunne redusere motstanden mest mulig vil det også virke gunstig på pusheren som kan reduseres med tanke på maskineri og størrelse.

For å oppnå best driftsyttelse vurderer vi det dit hen at å velge et trepunkts system vil være det mest optimale for LNG pushbargen. Da vil pusheren låse seg til lekteren slik at det ikke blir noen bevegelser mellom de to fartøyene. Dette gjør også at avstanden mellom akter på lekteren og baugen på pusheren kan bli veldig liten og redusere avløsninger og virvlinger mellom lekter og pusher under fart.

Siden pusheren og lekteren er koblet sammen i en stiv sammenkobling må tilkoblingen være



FRAME 17

Figur 5.1: Tverrsnitt av akter del av skipet

dimensjonert slik at den kan ta opp kreftene i de tre punktene. Det videre arbeidet som må gjøres er å analysere kraftbildet på tilkoblingssystemet på pusheren og hvordan dette overføres til lekteren. Innsiden av den aktre delen av lekteren består av et tomrom, som vist på figur 5.1, som er tenkt til å kunne romme den nødvendige strukturen som skal til for å ta opp kreftene fra pusheren.

Å finne faglitteratur om sammenkoblingssystemer til lignende fartøy har vært en utfordring. Dette har ført til at vi har sett oss nødt til å støtte oss utelukkende på informasjon fra produsenters nettsider.

Utgangspunktet for prosjektet var at det skulle velges et tilkoblingssystem som utgangspunkt for videre arbeid. For stort fokus på tilkoblingssystemet vil ikke være relevant for oss som studenter i skipsdesign og denne delen av oppgaven har ikke fått like høy prioritet som resten av arbeidet som har blitt utført. Det er ut fra liten tilgang på faglitteratur og med vekt på informasjon fra produsentene selv gjort vurderinger av alternativene som har blitt funnet, men vurderingene er

overfladiske og vurderingene som førte til valg av tilkobling er altså ikke forankret i faglig litteratur og analyser. Valget av tilkoblingssystem kan dermed sees på som en forutsetning for å arbeide videre med prosjektet, ut i fra «hva vi synes virker best» og ut i fra informasjonen vi har funnet.

Med tanke på at oppgaveteksten sa at det skulle velges et eksisterende tilkoblingssystem som skulle brukes videre, mener vi at resultatet av denne delen av prosjektet er bra, og det valgte systemet skal tilfredsstille de gitte kravene om kontinuerlig overvåkbarhet, effektiv og sikker håndtering av fribordsvariasjon, effektiv og sikker påkobling og frakobling og at det skal være en automatisert mekanisk løsning.

## 5.2 Prosjektering

Prosjekteringen av et fartøy, går ut på å bestemme plasseringen av rom og utrustning om bord. For å få til dette på en best mulig måte kreves det kunnskap om hvilke komponenter som skal være ombord, hvor stor plass de krever og hvordan de eventuelt skal brukes.

Utgangspunktet for prosjektering av lekteren vår ligger rundt LNG-tankene. Det er disse tankene som skal fraktes langs en rute og står for den økonomiske gevinsten for pushbargen. Etter at tankene var dimensjonert ble lekteren bygget rundt disse. På denne måten ble lekteren formet ut i fra lastekapasiteten i større grad enn at tankene ble dimensjonert for å passe i lekteren. I starten var tankene stort sett to like sylindere med samme volum. Etter rådgiving fra Multi Maritime ble den fremste tanken konet i front slik at den tok mindre plass i bredden. Dette tillater at forskipet kunne smales inn tidligere og gav et bedre resultat på linjeutformingen. Denne utformingen av LNG-tankene ble altså gjort for å få best mulige egenskaper til sjøs.

Lasterommet er utformet med tanke på å romme tankene samtidig som det er store nok avstander til at man kan bevege seg rundt tankene inne i lasterommet. Dette er gjort for å tillate visuell inspeksjon av lastetankene. På aktre dekk er det en døråpning inn til lasterommet og en trapp som går videre ned lasterommet til LNG-tankene. Her kunne det vært bedre å heller brukt en luke og en stige for å komme seg ned i lasterommet, noe som ville krevd mindre plass. Gassonen som genereres av denne døråpningen vil dekke et lite volum over på pusheren, når denne er koblet til. Bruk av en luke på hoveddekket ville forhindret dette.

Ser av figur 4.6 at det vil være høyest vekt på midten av lekteren, dette er logisk med tanke på at det er her lekterens lastetanker befinner seg og arealet av skrogets tverrsnitt er størst.

For å kunne lage rom for det forskjellige utstyret til LNG kreves det kunnskap om dette utstyret. For å tilegne oss denne kunnskapen var vi på besøk hos Fiskerstrand Verft der vi fikk forklart hvordan lignende utstyr for LNG-systemer fungerer og hva som er nødvendig å ha om bord. Her fikk vi et bedre utgangspunkt for å kunne bestemme hvor stor plass utstyret for hver LNG-tank kreves. Senere, på besøk hos Multi Maritime, ble det bestemt å bruke domer for rørtilslutninger til LNG-tankene i stedet for coldboxes som er vanlig å bruke på mindre tanker. Dette førte til at tankene kunne flyttes nærmere hverandre og en reduksjon av lengden ble mulig.

For at mannskap skal kunne bevege seg fra pusheren og over til lekteren er det lagt til trapper som leder opp til hoveddekket til lekteren. Disse trappene er plassert foran utkappet på styrbord og babord side, for å tillate ferdsel på begge sider av lekteren.

Framme i baugen er det plassert et kontrollrom som skal være utstyrt for overvåkning og ha systemer for kommunikasjon mellom lekter og land når den ligger fortøyd. Dette rommet er på 32,4 m<sup>2</sup> noe som kan tenkes er mye større enn nødvendig. Her er det potensiale for å forbedre utformingen av dette rommet slik at det tar mindre plass og det kan brukes mindre materialer som igjen fører til redusert vekt. Fra kontrollrommet skal det være mulig å ha oversikt over laste- og losseoperasjonen, dermed kunne det vært mer hensiktsmessig å ha plassert kontrollrommet lengre bak på lekteren, et sted mellom de to lastetankene. Over forpeaken er det et lagerrom for fortøyninger og taueutstyr som skal være tilgjengelig dersom tauing av lekteren blir nødvendig. Ut i fra EN (Equipment Number) er størrelsen av ankerkjetting bestemt og det vil være mulig å finne ut om det er plass til dette i rommet under hoveddekket.

For å generere elektrisk strøm til LNG-systemer, kraner og pumper om bord, er det laget til et rom for dieselmotor og generator. Det er også tatt utgangspunkt i at det kan plasseres en drivstofftank for motorene her. Den faktiske størrelsen på nødvendig maskineri og drivstofftank er ikke gransket nok til å vite helt sikker på hvor mye plass dette trenger. Rommet befinner seg under kontrollrommet og har tilkomst med trapper.

Noe som er spesielt for denne lekteren sett i forhold til andre konvensjonelle lektere, er dette "utkappet" i hekken på lekteren. Størrelsen på akterskipet til lekteren er prosjektert med tanke på at det skal kunne inneholde den nødvendige strukturen for å ta opp de kreftene som vil virke på lekteren fra pusherens propulsjon og manøvrering. Utformingen av utkappet kan designes helt annerledes med tanke på hvordan man ser for seg at baugen til pusheren skal utformes. For å minske motstanden mest mulig vil det være nødvendig at baugen på pusheren fyller ut hele tomrommet i utkappet, og pusheren vil i dette tilfellet måtte ha en veldig rund og fyldig baug for å passe inn i utkappet.

Formen på akterskipet og tilkoblingsområdet er formet innover og ender opp som en halvsirkel med radius 9,6 m. I dette området vil pusheren kjøre inntil lekteren og feste seg. Det er formet på en slik måte for at lekteren skal dekke et stort nok område på utsiden av pusheren. Det vil gjøre til at de tre delene i tilkoblingen vil kunne plasseres i baugen og på skutesidene av pusheren i nærheten av midtskipet. I dag er alle eksisterende løsninger på markedet formet på denne måten, og det er i hovedsak dette vi har brukt som argument for formen på lekterens akterskip. Det nåværende designet i dette området gjør at pusheren må ha et veldig rundt og vertikalt baugparti for å fylle ut rommet. Dette er ikke særlig gunstig for pusheren i de periodene den skal operere alene uten å være tilkoblet. For å forbedre egenskapene til pusheren blir det nødvendig å få til en tilnærming der akterskipet på lekteren til en viss grad formes etter baugen på pusheren. Det må også være en fornuftig avstand fra innerste delen av utkappet til hylseskottet. Denne avstanden er ikke bestemt ut i fra beregninger, men heller antakelser på at dette er stort nok. Dette vanntette skottet er også starten på de første ballasttankene i bunn av skroget. Det er totalt tegnet inn 6 ballasttanker i bunnen og alle befinner seg mellom bunn og tanktop. Kollisjonsskottet er plassert for å opprettholde kravene fra DNV for plassering av dette skottet.

Over hoveddekket er det plassert et værdekk for å beskytte LNG-tankene fra omgivelsene. Dette dekket strekker seg fra akter og fremover til det møter kontrollrommet i baugen. I høyden er det plassert 2,4 meter over hoveddekket og 0,65 meter over LNG-tankene. Det er ikke tenkt at det er mulig å ferdes oppå dette dekket utover der det er nødvendig med tanke på tilgang til domer og ventilrom. Denne toppen er også tenkt utrustet med stivere for å bidra til å ta opp langskipsspenninger.

Det er innført en skegg på hver side av utkappet ved akter i lekteren. Disse er i hovedsak til for å gi lekteren økt retningsstabilitet ved dytting og tauing. Det gjør det også mulig for tennene, for sammenkobling, på innsiden av utkappet å strekke seg lengre nedover mot bunnen, da skroget på lekteren ved akter snevres inn oppover mot vannlinjen. Dette gjør at den variable dyppgangen mellom pusher og lekter ikke vil ha begrensninger på om disse kan kobles sammen eller ikke; lekteren kan være helt tom og pusheren kan være fullastet.

### 5.3 Strukturdesign

Som resultatene viser fikk vi bekreftet at valget om langskipavstivere stemmer bra. Det er ingen store problemer med langskipsstyrken, men det skal sies at bulekapasiteten ikke er kjent. Ettersom lekteren ender på 79,8 m kunne det vert et alternativ å bruke tverrskipsavstivere, og siden utkappet på 9,6 m ikke tar opp så mye moment da det er hull i midten. Men på en annen side så vil pushbargen være nærmere 100 m og det vil oppstå et større moment. Vi er derfor godt fornøyd med avgjørelsen om å ha en lekter som er langskipsavstivet.

Tverrsnittsanalysen viser at lekterne har en høy nok styrke til å håndtere kreftene som oppstår. Stiveravstanden kunne blitt økt til 700 mm uten at noe problem med styrken hadde oppstått. Vi ser at  $Z_A/Z_R$  som har et minimumskrav på 1,0 ender på 3,5 og 3,4, noe som viser at lekteren har mer enn god nok styrke. Alle langskipsbøyespenningene som ble regnet ut var under 175 MPa, noe som tyder på at lekteren har en god nok langskipsstyrke. Akter i lekteren feilet langskipsstyrken ved å bare tilfredsstille 87,8 % av regelkravet, men ettersom langskipsbøyespenningen var innenfor 175 MPa som formel [2] viser vil den ikke kunne knekke. Dette problemet oppsto antakeligvis av at dybden til det aktre tverrsnittet bare er 4 m, i motsetning til de andre tverrsnittene som er mellom 7,8 og 10,2 m. Dermed blir steget i dette tverrsnittet kortere, så om tiden hadde strukket til hadde dette problemet blitt fikset ved å gjøre stiverne og/eller platene ved dekk større. Dette ville igjen ført til en litt høyere skrogvekt i akterskipet.

For tverrsnittsanalysene ble det, etter ønske fra oppdragsgiver, lagt vekt på å optimalisere designet så mye som mulig. Det resulterte i at hver plate ble optimalisert for seg selv. Noe som gjør at produksjonen krever mer arbeid, men at lekteren vil få en lavere lettskipsvekt. Å optimalisere hver stiver blir for spesifikt og lite hensiktsmessig, derfor ble hver samling med stivere optimalisert, dette vil si stiverne mellom skottene. Det kunne blitt spart enda mer lettskipsvekt ved å optimalisere hver stiver, men dette vil resultere i mer arbeid både i designprosessen og i en eventuell byggeprosess for lekteren.

Planen var å gå videre med strukturdesign ved å utføre en bæreranalyse og deretter lage klassetegninger for lekteren, men ettersom tiden ble knapp på slutten av semesteret ble det bestemt at dette ikke ble gjennomførbart. Tverrsnittene i Nauticus Hull: Section Scantlings er heller ikke helt identiske med den endelige modellen på Maxsurf Modeller og må oppdateres ved videre arbeid.

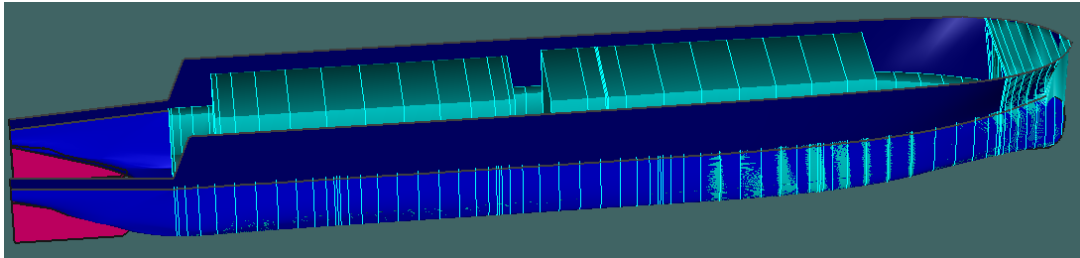
## 5.4 Alternative løsninger

Vi tar for oss noen endringer i det initiale designet og ser på endringene i egenskapene til lekteren

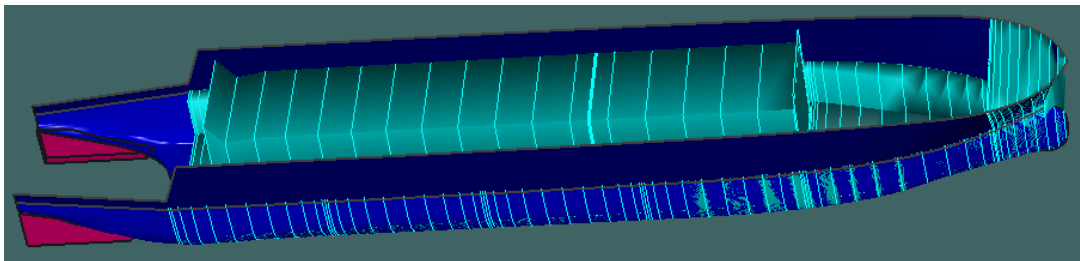
### 5.4.1 Installerer én lastetank på 2000 m<sup>3</sup>.

Erstatter de to initiale tankene med én tank som har tilsvarende volum

På figur 5.2 ser en det initiale designet, og på figur 5.3 vises et potensielt design med bare én tank, merk at halvkulene er ikke tatt med under lastkondisjoner.



Figur 5.2: Initial design



Figur 5.3: En tank, her ser en det store mellomrommet i front som kan reduseres med 4,38m.

- Mellomrommet på 380 mm mellom tankene blir fjernet, i tillegg vil hemisfærene som peker mot hverandre i midten forsvinne. Dette gjør at det forsvinner 4m med hemisfærer og 380mm med mellomrom, som resulterer i at lekterens lengde kan reduseres med 4,38m.
- Sammenligner lastkondisjonene til det initiale designet og lastkondisjonen til en lekter med bare en tank. Her vil innholdet i tankene være 50 %, det vil ikke være noe ballast i noen av lastkondisjonene. Dette gjøres for å sammenligne hydrostatikken, stabiliteten og langskipsstyrken til de to ulike designene.

Equilibrium	Initial design	En tank
Draft midship	2,4	2,4
Deplasement	1606	1604
Dypgang FP	2,5	2,4
Dypgang AP	2,4	2,4
Trim	-0,28	0,0
C <sub>B</sub>	0,70	0,73
LCB	0,57	0,0

Tabell 5.1 Hydrostatikk

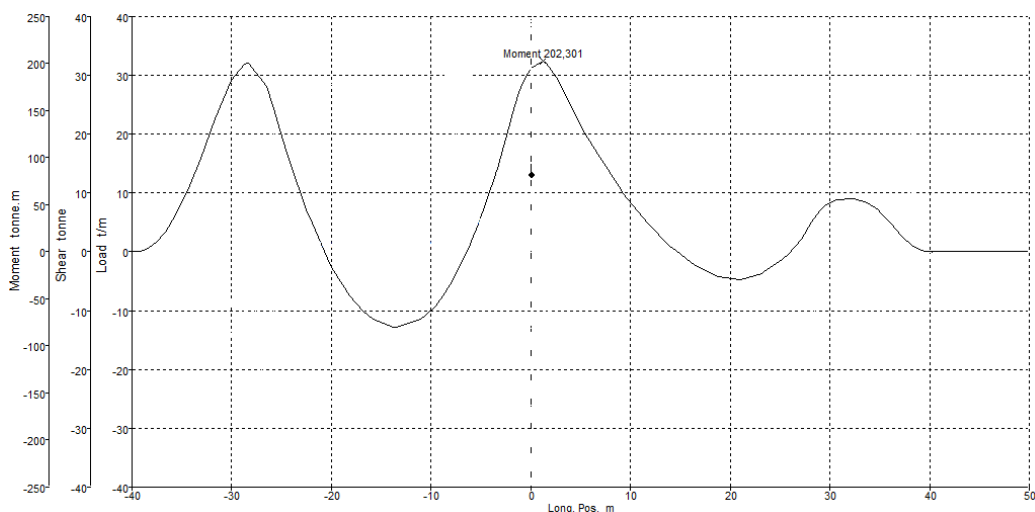
Stabilitet	Initial design	En tank
Areal 0-30	12,3	12,2
Areal 0-40	21,4	21,3
Areal 30-40	9,1	9,2
Max GZ at 30+	0,98	0,99
Vinkel max GZ	47,3	47,3
GM	1,33	1,3

Tabell 5.2: Stabilitet

-Ser av tabell 5.1 at de hydrostatiske tallene er nokså like, trimmen blir noe mindre, dette er på grunn av plasseringen av tyngdepunktet til den store tanken vil være aktenfor det samlede tyngdepunktet til de to mindre tankene. Trimmen vil antakeligvis stige igjen om lekteren reduseres med den tidligere antatte lengden, da vil tyngdepunktet til den store tanken flyttes relativt fremover og trimmen vil øke. Kan derfor konkludere med at de hydrostatiske tallene vil være identiske om det er en eller to tanker.

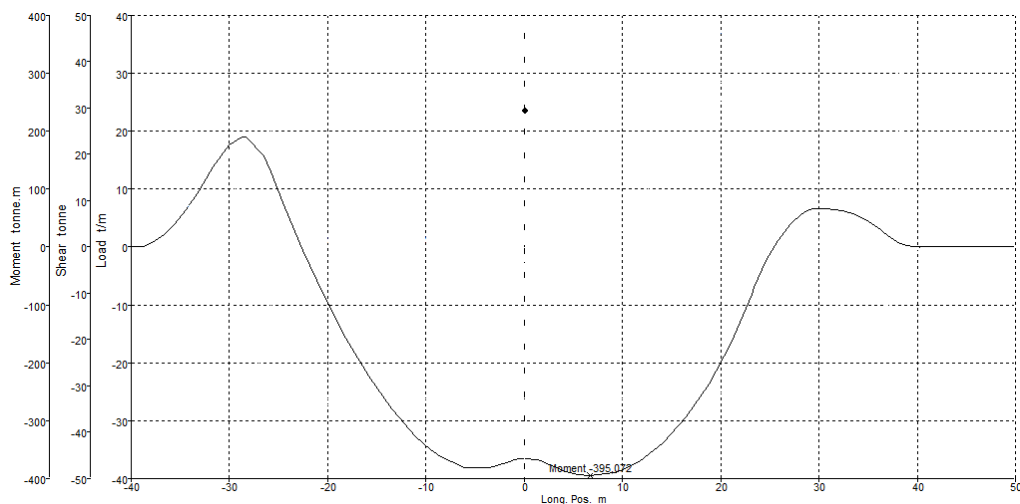
- Tabell 5.2 viser at stabiliteten ved lastet og ulastet tilstand er tilnærmet identisk. Lastkondisjonen ble utført med 50 % last i tanken for å måle effekten av fri væskeoverflate, denne effekten var tilnærmet identisk med effekten av fri væskeoverflate i to tanker. Hadde antatt at stabiliteten ville svekkes ettersom den frie væskeoverflaten vil få større areal å virke på. Viser seg at dette ikke har så stor effekt som først antatt.

- Momentet i figur 5.4 går fra å være 202 tm i hog til å bli 395 tm i sag i figur 5.5. Det vil være realistisk at momentet vil synke noe i forhold til det som er kalkulert i denne lastkondisjonen ettersom lekteren vil kunne reduseres med 4,38m, og dette vil føre til redusert moment. Det som ble gjort her var at bare tankene ble forandret.



Figur 5.4: Initial design



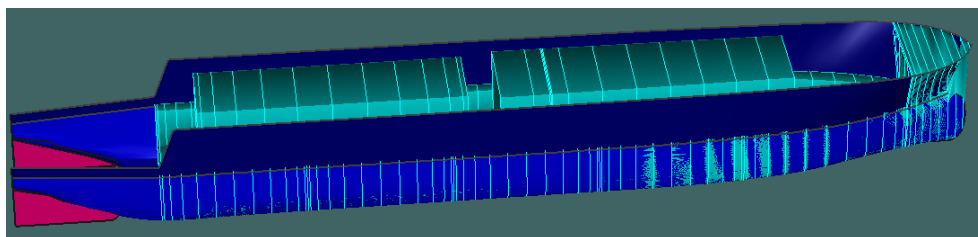


Figur 5.5: En tank

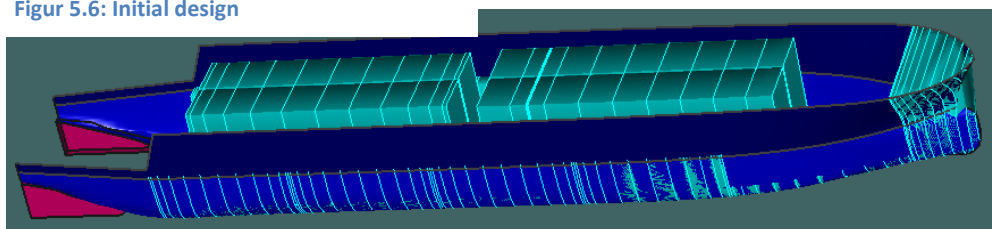
#### 5.4.2 Installerer fire lastetanker på 500 m<sup>3</sup>.

Erstatter de to initiale tankene med fire tanker som har tilsvarende volum.

På figur 5.6 ser en det initiale designet, og på figur 5.7 vises et potensielt design med fire tanker, merk at halvkulene er ikke tatt med under lastkondisjoner.



Figur 5.6: Initial design



Figur 5.7: Fire tanker

- Har fordelt tankene i samme lengdeposisjon som initial design, men har spredd tankene 380 mm på midten, som er kravet fra IGC.

- Om det må implementeres en avstand mellom tankene på 380 mm kan det være nødvendig med en økning av bredden ettersom lekteren må ha en avstand på 2,4 m fra innsiden av tanken til ytterskallet. Ettersom lekteren er optimalisert til å ha nøyaktig 2,4 m mellomrom vil dette kravet ikke tilfredsstilles om vi innfører et mellomrom på 380 mm mellom tankene som står ved siden av hverandre.

- Sammenligner lastkondisjonene til det initiale designet og lastkondisjonen til en lekter med fire tanker. Her vil innholdet i tankene være 50 %, det vil ikke være noe ballast i noen av

lastkondisjonene. Dette gjøres for å sammenligne hydrostatikken, stabiliteten og langskipsstyrken til de to ulike designene.

Equilibrium	Initial design	Fire tanker
Draft midship	2,4	2,4
Deplasement	1606	1599
Dypgang FP	2,5	2,5
Dypgang AP	2,4	2,2
Trim	-0,28	-0,32
$C_B$	0,70	0,69
LCB	0,57	0,65

Tabell 5.3: Hydrostatikk

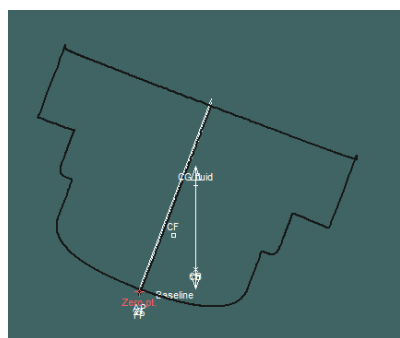
Stabilitet	Initial design	Fire tanker
Areal 0-30	12,3	14,4
Areal 0-40	21,4	25,2
Areal 30-40	9,1	10,7
Max GZ at 30+	0,98	1,18
Vinkel max GZ	47,3	49,1
GM	1,33	1,61

Tabell 5.4: Stabilitet

- Tabell 5.3 viser at hydrostatikken er identisk, dette er som antatt ettersom det ikke er noen forandring i langskipstygdepunktet til noen av tankene og innholdet er det samme.

- Tabell 5.4 viser at stabiliteten i denne lastkondisjonen er noe forbedret, dette kommer av at den frie væskeoverflaten har mindre lengde og bredde å virke på og vil dermed ha mindre effekt. Dette motsier resultatet vi fikk når vi sammenlignet det initiale designet med en lekter som kun har én tank, her var stabiliteten identisk når vi forventet at den skulle svekkes. Resultatet i denne sammenligningen stemmer overens med hypotesen vår.

- Problemet med dette tankoppsettet er om mekanismen som skal fordele LNG svikter slik at det blir fullastet LNG-tanker på styrbord side og tomme tanker på babord side. Figur 5.8 viser krengingen som oppstår i en slik kondisjon. Tabell 5.5 viser stabiliteten til lekteren når begge styrbord lastetaker er fylt helt opp.



Figur 5.8: Krenging på 20,8 grader

Stabilitet	Fire tanker
Areal 0-30	-5,1
Areal 0-40	-1,4
Areal 30-40	3,6
Max GZ at 30+	0,5
Vinkel max GZ	180
GM	1,2
Krenging [deg]	20,8

Tabell 5.5: Stabilitet

### 5.4.3 Ulikt innhold i LNG tanker

For å sjekke innvirkningen massetettheten til lasten har å si for stabiliteten i lastet tilstand har vi utført en analyse som sjekker lekerens egenskaper om LNG byttes ut med vann, en væske som har dobbel så høy massetetthet. Kondisjon som analyseres er lastet tilstand uten ballast.

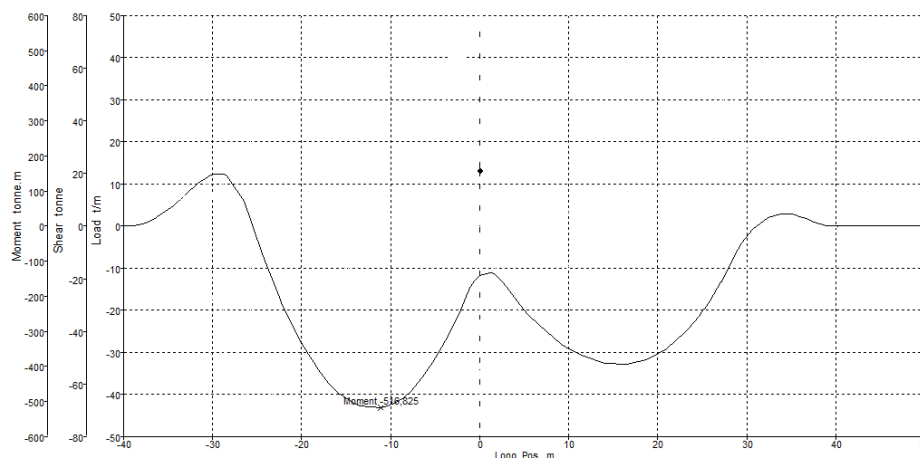
Equilibrium	LNG	VANN
Draft midship	3,1	4,4
Deplasement	2098	3102
Dypgang FP	3,0	4,4
Dypgang AP	3,1	4,4
Trim	-0,25	0,0
$C_B$	0,7	0,74
LCB	0,56	0,56

Tabell 5.6: Hydrostatikk

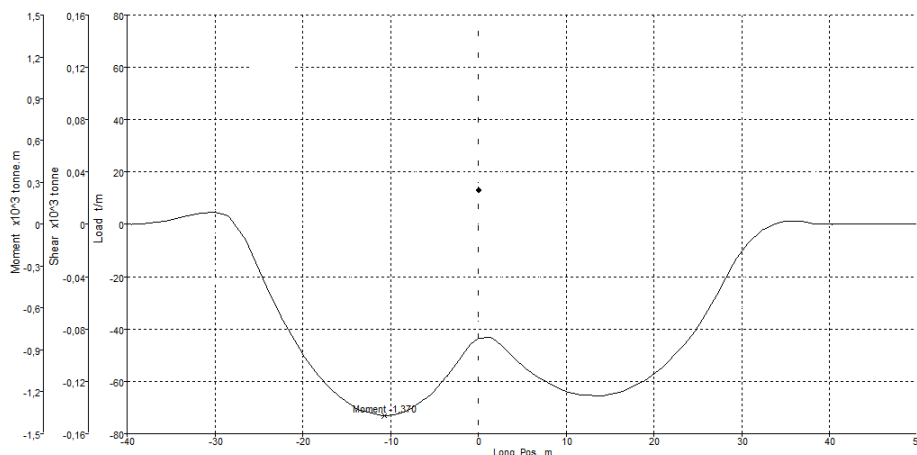
Stabilitet	LNG	VANN
Areal 0-30	7,7	5
Areal 0-40	14,9	9,7
Areal 30-40	7,1	4,7
Max GZ at 30+	0,86	0,54
Vinkel max GZ	46,4	42,7
GM	0,83	0,56

Tabell 5.7: Stabilitet

- Tabell 5.6 viser at deplasementet stiger, dette er logisk ettersom vann veier mer enn LNG. Trimmen reduseres fordi tankenes tyngdepunkt er aktenfor LCB, når det da blir høyere vekt i disse tankene vil den negative trimmen reduseres til 0,0.
- Stabiliteten i Tabell 5.7 er svekket på grunn av at vann er tyngre enn LNG, og tyngdepunktet til væsken i tankene er høyt oppe i lekeren, dette gjør at GM reduseres. Selv om stabiliteten er betraktelig svekket i forhold til når det var LNG som innhold, ser vi at den fortsatt er innenfor regelverket og kan betraktes som stabil.



Figur 5.9: Moment for LNG



Figur 5.10: Moment for Vann

- Momentet i fullastet tilstand øker fra 516 tm sag som vist på figur 5.9 til 1370 tm sag som vist på figur 5.10. En økning på 165 %, dette er som antatt ettersom det er høyere vekt midt på lekteren.

#### 5.4.4 Ulikt voluminnhold i lastetankene

- Om noe uforutsett skal skje er det mulig at lekteren må seile med ulikt volum i LNG-tankene, noe som kan bli problematisk for lekterens trim og dypgang.

- Det har derfor blitt utført seks lastkondisjoner som ansees som kritiske ved ulikt volum i LNG tankene, disse lastkondisjonene er som følgende ved prosentvis andel fylt i akre og fremre tank: 50/0, 0/50, 98/0, 0/98, 98/50 og 50/98.

- Først ble lastkondisjonene utført uten ballast for å se egenskapene til lekteren og deretter ble det lagt til ballast for å best mulig stabilisere lekteren for å se på mulighetene lekteren har for å fortsette reisen selv med ujevn last.

- Det er hovedsakelig fokus å redusere skyhøy trim som oppstår, men naturligvis også bedre stabiliteten om den ikke er tilstrekkelig. Om noen av momentene er høyere enn DNVs regelkrav vil disse også bli optimalisert for å gå under kravene.

Fordeling av tanker	50/0	0/50	98/0	0/98	98/50	50/98
Trim	1	-1,5	2,2	-2,6	0,9	-1,4
Deplasement	1355	1345	1605	1587	1856	1848
Moment	475 tm hog	500 tm sag	656 tm sag	570 tm sag	576 tm sag	486 tm sag
Stabilitet	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed

Tabell 5.8: Analyse av ulikt voluminnhold i LNG-tanker, uten ballast

Fordeling av tanker	50/0	0/50	98/0	0/98	98/50	50/98
Tanker fylt:	100 %: M5	100 %: M1 70 %: S1, P1	100 %: M4, M5 80 %: S5, P5	100 %: S1, S2, P1, P2, M1, M2	95 %: M5	90 %: M1, M2
Trim	-0,1	0,0	0,0	-0,27	-0,1	0,1
Deplasement	1482	1551	1940	2008	1978	2111
Moment	1052 tm hog	1156 tm hog	899 tm hog	608 tm hog	646 tm hog	267 tm sag
Stabilitet	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed	Passed

Tabell 5.9: Analyse av ulikt voluminnhold i LNG-tanker, med ballast

- Ser av tabell 5.8 at alle kondisjonene overstiger den maksimale grensen for trim på 1,0 %. To kondisjoner skiller seg ut, det er når den ene LNG-tanken er tom og den andre er full. Basert på dette må alle kondisjonene optimaliseres for å få redusert trimmen til et akseptabelt nivå.

- Ser av tabell 5.9 at ved å fylle ulike ballasttanker ble trimmen til alle kondisjoner redusert til et akseptabelt nivå. Ved å fylle ballasttankene ble moment økt betraktelig, men er fortsatt innenfor DNVs regelkrav. Stabiliteten er også god nok etter kondisjonene ble fikset.

#### 5.4.5 Lekterens egenskaper i skadet tilstand.

- Når uhellet først er ute er det greit å vite at lekteren klarer å holde seg flytende. For å sjekke dette utføres lastkondisjoner i skadet tilstand, har tas det utgangspunkt i tre ulike kondisjoner og hva som vil skje om det plutselig blir hull i skroget på et kritisk punkt, denne skaden skal kunne oppstå hvor som helst i lengden. Tilstandene som har blitt valgt skal være realistiske men kritiske. Som vi fant i teorien er den maksimale langskipsutstrekningen i både sidene og bunnen 6,2m. Dette gjør at om ballasttankene er 12,4 m eller kortere kan det i verste fall gå hull på tre tanker.

Dette problemet oppsto tidlig i prosjektet og stabiliteten sviktet på kriteriet om areal fra 0-30 i fullastet tilstand når tre tanker på bare den ene siden ble fylt. Basert på dette ble det valgt at ballasttankene skulle økes til 12,6 m, dette gjorde at den maksimale utstrekningen dekker maksimalt to tanker og stabiliteten ble innenfor kravene.

##### 1. Ulastet tilstand:

Anser det som kritisk om det skjer en kollisjon i siden midt mellom to ballasttanker og de to ballasttankene fylles 100 %. Fyller S3 og S4 for å sjekke hvordan lekteren oppfører seg.

	Intakt ulastet	Skadet
Draft midship	1,7	1,78
Deplasement	1094	1159
Dypgang FP	1,8	2,0
Dypgang AP	1,6	1,6
Trim	-0,25	-0,4
$C_B$	0,71	0,55
LCB	0,58	0,96
Krengning	0	7,5

Tabell 5.10: Hydrostatikk

	Intakt ulastet	Skadet
Areal 0-30	18,6	9,5
Areal 0-40	28,6	17,4
Areal 30-40	10,0	7,9
Max GZ at 30+	1,04	0,8
Vinkel max GZ	30,0	33,6
GM	2,3	2,2

Tabell 5.11: Stabilitet

## 2. Lastet tilstand:

Anser det som kritisk om det skjer en kollisjon i siden midt mellom to ballasttanker og de to ballasttankene fylles 100 %. Fyller S3 og S4 for å sjekke hvordan lekteren oppfører seg.

Equilibrium	Intakt lastet	Skadet
Draft midship	3,1	3,2
Deplasement	2098	2164
Dypgang FP	3,0	3,3
Dypgang AP	3,1	2,9
Trim	-0,25	-0,34
$C_B$	0,7	0,58
LCB	0,56	0,77
Kreninging	0	10,0

Tabell 5.12: Hydrostatikk

Stabilitet	Intakt lastet	Skadet
Areal 0-30	7,7	3,3
Areal 0-40	14,9	9,3
Areal 30-40	7,1	5,9
Max GZ at 30+	0,86	0,77
Vinkel max GZ	46,4	46,4
GM	0,83	0,86

Tabell 5.13: Stabilitet

## 3. Worst-case-scenario

En verst tenkelig situasjon for trim vil oppstå om det er 0/98 i LNG tankene, det er ingen ballasttanker som har blitt fylt opp og det i tillegg blir en kollisjon i front slik at front peak og de tilhørende nærmeste ballasttankene fylles. Dette vil si at FP, S5, P5 og M5 fylles 100 %.

Equilibrium	Intakt 0/98	Skadet
Draft midship	2,4	2,6
Deplasement	1587	1829
Dypgang FP	3,7	4,9
Dypgang AP	1,0	0,3
Trim	-2,6	-4,5
$C_B$	0,5	0,43
LCB	5,2	8,2
Krengning	0	0

Tabell 5.14: Hydrostatikk

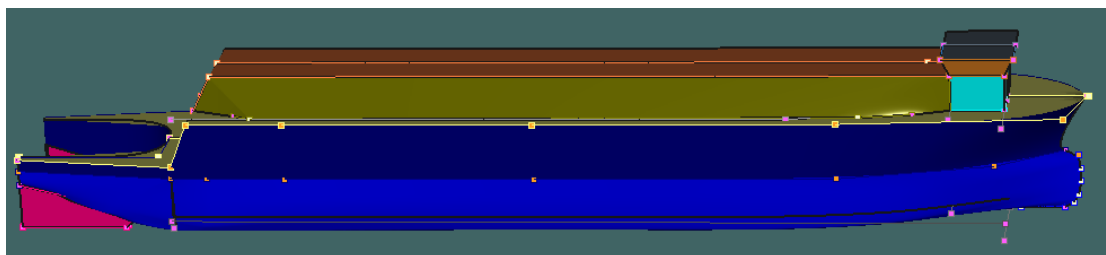
Stabilitet	Intakt 0/98	Skadet
Areal 0-30	11,8	13,1
Areal 0-40	19,9	22,8
Areal 30-40	8,2	9,7
Max GZ at 30+	0,86	1,0
Vinkel max GZ	43,6	45,5
GM	1,34	1,63

Tabell 5.15: Stabilitet

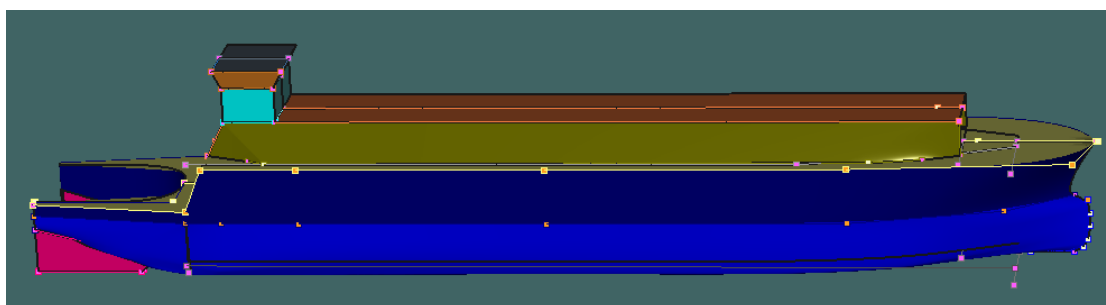
#### 5.4.6 Omorganisering av arrangement.

- Eksperimenterer med ulik plassering av arrangement og lettskipsvekter med mål å redusere lekterens trim, ideelt sett skal LCG flyttes akterover. I dette delkapittelet er det ikke tatt med noe ballast i betraktninger. Sjekker ulastet tilstand. På figur 5.11 vises det initiale designet med kontrollrom i front av lekteren, på figur 5.12 vises et potensielt design med kontrollrommet flyttet 55,8 m akterover og 2,4 m høyere.

Sjekker endringer i trim om kontrollrommet flyttes akterover.



Figur 5.11: Initial design



Figur 5.12: Kontrollrommet flyttet

	Initial design	Omorganisert
Trim	-0,25	-0,15

Tabell 5.16: Trim før og etter omorganisering

- Ser av tabell 5.16 at trimmen blir minimalt redusert, dette er som antatt ettersom tyngdepunktet til kontrollrommet blir flyttet akterover.
- Det vertikale tyngdepunktet til kontrollrommet vil stige med 2,4 m som igjen medfører svekket stabilitet.
- Vil også forstyrre sikten til pusheren om kontrollrommet skal stå der.
- Ved å flytte kontrollrommet slik det er vist på figuren vil det havne midt i en gassone, dette gjør at om det skal stå der må det innføres luftsluser, som koster både penger og plass.

- Har en bedre oversikt over lasting og lossing av lastetanker

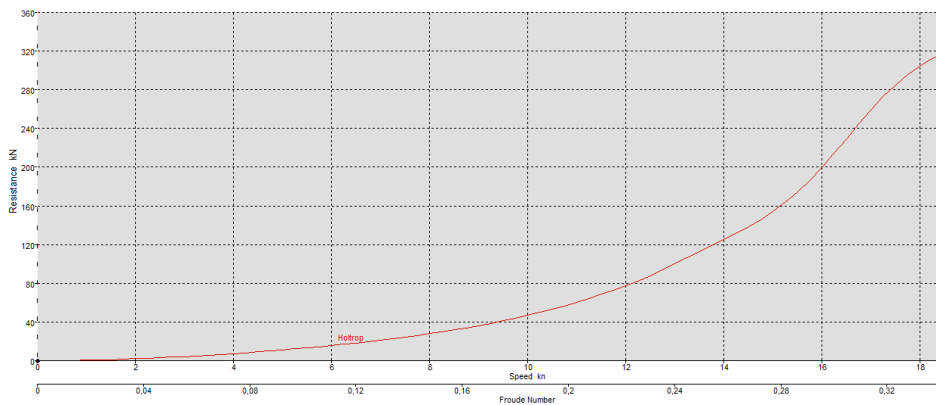
#### 5.4.7 Lekterens egenskaper ved ulike sammenkoblingsmekanismer.

Ved å bruke forskjellige sammenkoblingsmekanismer vil det være små forskjeller som må være på lekteren.

- Ved bruk av to eller trepunkts mekanismer vil lekteren trenge å ha «tenner» på utsiden av hekken.
- Ved bruk av klemmesystemet må lekteren ha plass til to store klemmer på sidene av utkappet som skal klemme inn på pusheren.

#### 5.4.8 Lekterens egenskaper ved ulik hastighet.

Ved enkelte situasjoner kan det være nødvendig å bruke ulik fart enn den som lekteren er designet for, dette kan for eksempel være om oljeprisen stiger igjen så man vil bruke mindre drivstoff ved å redusere farten, og motsatt.



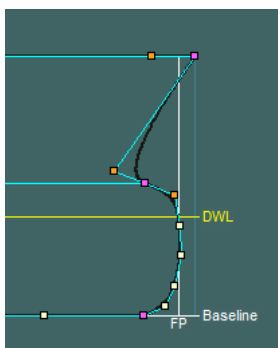
Ser av figur 5.13 at motstanden økes eksponentielt med farten, ligger på 77,5 kN ved 12 knop.

Figur 5.13: Motstand og fart

#### 5.4.9 Lekterens egenskaper ved ulike bulber.

- Analyserer her ulike bulber basert på tre ønskede resultater, LCB,  $C_B$  og motstand. Dette for å ha muligheten til å endre bulber om enkelte forutsetninger forandrer seg.

Initial design:



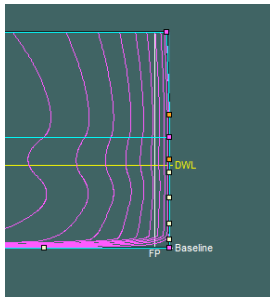
Figur 5.14: Initial

LCB	0,6	m
$C_B$	0,71	
Motstand	77,5	kN

Tabell 5.17: LCB,  $C_B$  og motstand



Bulb 1, Rett flate:

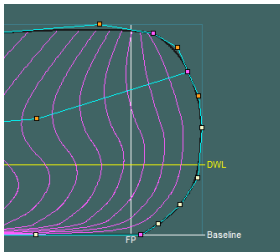


Figur 5.15: Bulb 1

LCB	3,1	m
$C_B$	0,79	
Motstand	136	kN

Tabell 5.18: LCB,  $C_B$  og motstand

Bulb 2, X-bow:

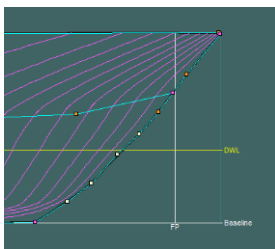


Figur 5.16: Bulb 2

LCB	2,1	m
$C_B$	0,74	
Motstand	105,5	kN

Tabell 5.19: LCB,  $C_B$  og motstand

Bulb 3, high cain spoon bow V1.0:

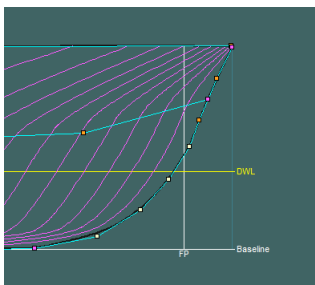


Figur 5.17: Bulb 3

LCB	-0,3	m
$C_B$	0,73	
Motstand	81,6	kN

Tabell 5.20: LCB,  $C_B$  og motstand

Bulb 4, high cain spoon bow V2.0:



Figur 5.18: Bulb 4

LCB	0	m
$C_b$	0,72	
Motstand	79,5	kN

Tabell 5.21: LCB,  $C_B$  og motstand

## 5.5 Virkninger av endringer

- Basert på den alternative løsningen med én tank i stedet for to ser vi at det vil ha mest positive effekter på lekteren om vi bytter ut to tanker med én. Både hydrostatikken og stabiliteten er enten identisk eller forbedret. Selv om momentet dobles vil det være langt innenfor DNVs regelkrav. I tillegg til dette kan lekteren redusere lengden med 4,38m, noe som er gunstig for motstand, stålvekt ol. Basert på lettskipsvekkalkuleringen i metoden vil en reduksjon på 4,38m i midtskip spare 35 tonn stålvekt. Hindringen med å ha en tank i stedet for to er produksjonsproblemer av så store sylindriske type C tanker, i følge produsent av LNG-tanker har de for øyeblikket en maksimal kapasitet rundt 1000 m<sup>3</sup>. Det er antatt at i løpet av noen år vil det kunne produseres større tanker, hadde de vært tilgjengelige nå hadde vi forandret det initiale designet og erstattet våre to tanker med én.

- Den alternative løsningen med fire tanker i stedet for to viser at selv om stabiliteten i intakt tilstand blir noe bedre ved å ha fire tanker i forhold til det initiale designet, så er det ikke verdt å ta risikoen om uhellet først er ute. Lekteren blir fort ustabil om enten systemet streiker eller ved menneskelig feil der tanker blir fylt ulikt. Usikkerheten stiger jo flere tanker man har om bord i lekteren. Dermed betraktes det initiale designet som mer ideelt enn det alternative.

- Ettersom lekterens egenskaper klarer å håndtere vann som last i stedet for LNG betraktes den også som egnet for å kunne frakte olje og andre væsker som har en massetetthet større enn LNG og mindre enn vann.

- Basert på tallene for ulikt voluminnhold i tankene er konklusjonen at selv om lekteren av en eller annen årsak blir nødt til å seile med ulikt volum i lastetankene vil det ikke være noe problem å holde lekteren flytende med en akseptabel stabilitet.

- Ulastet tilstand: Ser av tabell 5.11 at som antatt er stabiliteten svekket i denne tilstanden, lekteren er likevel mer enn stabil nok om det skulle skje en kollisjon i skutesiden og det fylles to ballasttanker. Betrakter dermed lekteren som egnet til å fortsette sin ferd om det skulle oppstå en kollisjon i ulastet tilstand.

- Lastet tilstand: Ser av tabell 5.12 at selv om vi får en krenkning på 10 grader er stabiliteten tilstrekkelig for å betraktes som stabil. Tabell 5.12 viser at kriteriet om areal 0-30 er bestått med 0,15 m, noe som er 4,7 % over kravet. Hadde det her vært fylt tre ballasttanker som vi hadde tidligere i prosjektet hadde kriteriet for areal 0-30 sviktet, selv om lekteren hadde hatt en godkjent GM ville den vært ekstra følsom for vær og bølger. Her måtte vi altså forandre det initiale designet ved å endre på ballasttankfordeling basert på for dårlig stabilitet ved skadet kondisjon i lastet tilstand. Med det nye designet betrakter vi lekteren som egnet til å tåle kollisjoner i lastet tilstand.

- Worst-case-scenario: Ser av tabell 5.13 at trimmen er langt over det maksimale kravet som ble fastsatt i metoden. Ettersom det er mer volum som er under vann i baugen vil LCB flyttes tre meter frem. Selv om trimmen er ugunstig vil lekterne fortsatt holde seg flytende. Tabell 5.14 viser en forbedring av stabiliteten på alle kriteriene. Dette er på grunn av økt vekt med lavt vertikalt tyngdepunkt. Betrakter derfor lekteren som egnet til å tåle kombinasjonen av kollisjoner som treffer på verst tenkelig plasser og feillastet lastetanker.

- Bortsett fra kontrollrommet er det få ting som kan flyttes på med det nåværende designet. Det er noen kraner og master på 1-2 tonn, men disse vil ikke utgjøre noen store forskjeller. Et alternativ er å flytte maskinrommet bak i lekteren. Problemet med dette er at da vil tankene bli flyttet 5 m

fremover for å gjøre plass til maskinrommet og dette vil gjøre at den fine balansen vi har for trim vil bli ødelagt. Det er snakk om 1000 ton LNG og to tanker på 170 ton hver som blir flyttet 5m frem i lekteren, vi betrakter dermed det nåværende arrangementet og lettskipsvektfordelingen som ideell.

- Ved å endre sammenkoblingssystem er det minimalt med endringer som må gjøres på det initiale designet. Alle potensielle endringer vil det initiale designet ha mulighet for å innfri uten påfølgende endringer andre plasser på lekteren.

- Ser av figur 5.13 at en økning i farten fra 12 til 14 knop, som er en økning på 16.7 % fører til en økning i motstanden på 61,9 %. I motsatt retning ser vi at om vi reduserer farten med 2 knop vil vi få en reduksjon i motstand på 39,8 %. Her må det altså vurderes om den optimale hastigheten er 12 knop. Ettersom oppdragsgiver ønsker en lekter som er designet for 12 knop er det dette vi har brukt, men her kan vi se følgene av å øke og redusere hastigheten.

- Bulb 1: Ser av tabell 5.18 at LCB ikke er gunstig for denne lekteren ettersom den vil bidra til enda mer fremre positiv trim som tidligere drøfting viser at vi har et problem med blant annet om det er ulikt volum i tankene. Motstanden som denne bulben har er alt for høy, en økning på 75,5 % fra initial design. Basert på dette er det klart at denne bulben ikke er gunstig for dette prosjektet.

- Bulb 2: Ser av tabell 5.19 at LCB her også er ugunstig ettersom den vil bidra til enda mer fremre positiv trim. Motstanden økes med 36,1 % fra initial design. Denne bulben er dermed uaktuell for dette prosjektet.

Bulb 3: Tabell 5.20 viser at LCB er 0,3 m aktenfor nullkryss, dermed 0,6 m aktenfor det initiale designet, noe som vil føre til mer trim i kondisjoner som 0/100, men redusert trim i kondisjoner som 100/0. LCB flyttes fordi det er mindre volum i front ettersom bulben fjernes. Motstanden er økt med 5,3 %, noe som antakeligvis kunne vært redusert enda mer om det ble jobbet videre med denne bulben. Denne bulben kunne vært et alternativ til det initiale designet.

Bulb 4: Ser av tabell 5.21 at LCB er akkurat på nullkryss, dermed 0,2 m aktenfor det initiale designet, denne bulben vil dermed også bidra til redusert trim i de verste lastkondisjonene. Motstanden er tilnærmet identisk med det initiale designet, en minimal økning på 2,6 %. Denne bulben kunne også vært et alternativ til det initiale designet.

## 5.6 Slepetest

Modellen som vi lagde er ikke tilvirket i samme materialet som brukes for konvensjonelle slepetester. Materialet modellen ble frest ut i er et skummateriale av typen sundolitt xps300sl. Skummets overflate etter at det ble frest var ganske grov og ujevnt, selv etter at modellen ble pusset. Dette er en faktor som kan tenkes at økte motstanden på modellen. Hvordan skummet reagerer med vann er ukjent for oss og ettersom at modellen ligger en stund i vann, opptil en time, kan det tenkes at skummet trekker til seg vann eller reagerer på annen måte som påvirker de målte resultatene.

Når modellen kom ut av fresen var det mange spor som måtte fjernes og for å gjøre modellen glattest mulig ble den pusset med fint sandpapir. Pussingen av modellen kan ha ført til at skrogets form ble endret, og selv om vi vurderer det dit at det ikke vil være store endringer som har oppstått kan vi ikke unnlate å ta det med som en mulig feilkilde. Sandpapistripene som ble limt på i baugen av modellen var det på et sted vanskelig å få det til å sitte helt inntil skroget. Dette er en faktor som kan ha ført til å ha økt den målte motstanden under testen.

Da modellen ble fuget mellom de to utfreste delene oppsto det ingen synlige lekkasjer da den lå i tanken. Hvorvidt modellen tok inn vann som vi ikke kunne se er vanskelig å si, men dersom den gjorde dette vil deplasementet ha økt under turene. Fugekantene var vanskelige å få helt flush med skroget og kan ha hatt innvirkning på resultatene, i form av økt motstand.

Den anbefalte størrelsen på modellene i denne tanken var 20 cm i bredden, ettersom at platene er 10 cm tykke. På grunn av at modellen vår har et så høyt lengde/bredde forhold gjorde dette at vi ikke fikk den anbefalte bredden og modellen vår ble i en mindre skala enn den burde ha vært, og dette vil føre til mindre nøyaktige resultater ut i fra modelltesten.

Utkappet for sammenkoblingen mellom lekteren og pusheren ble ikke skjært ut i modellen, og hekken ble værende utfylt. Grunnen til dette var at det ikke er meningen at lekteren skal være i bevegelse uten å ha en pusher koblet på, og dette utkappet ville ha ført til store avløsninger i hekken som i praksis ikke ville vært tilstedeværende. For å finne motstanden mer nøyaktig hadde det vært nødvendig og tatt med pusheren i testingen, men siden den ikke er fokusert på i dette prosjektet ville det blitt for tidkrevende å modellere og klargjøre denne i tillegg.

Tanken som testingen foregikk i er ny av året og er i skrivende stund under testing. Det er noen studenter som har det som sin hovedoppgave å kartlegge hvordan resultatene fra denne tanken er i forhold til andre tanker som er i bruk, samt å utvikle rutiner for tester. Vi kan derfor tenke oss at resultatene ikke er helt optimale i denne nye tanken. Tanken er også relativt liten med sine 12 meter i lengden. Den effektive lengden som blir brukt til måling blir enda mindre igjen da det er plassert utstyr som bølgegenerator og en «strand» for å absorbere bølger. Distansen der lekteren hadde toppfart, og målingene ble gjort var på omtrent 7 m som kan tenkes at er i minste laget for å få nøyaktige målinger.

Med en modell på vår størrelse var det en utfordring å få den til å ligge helt uten trim og krenkning i vannet og den kan ha ligget litt forskjellige fra den teoretiske vannlinjen som vi skulle teste på uten at dette var synlig for oss.

På forhånd hadde vi regnet ut hvilke vekter som var nødvendig å plassere i modellen for å få riktig dypgang og deplasement, men da vi skulle utføre testen oppdaget vi at måleapparatet som skulle skrues fast i modellen hvilte med sin egen vekt i lasterommet vårt. Siden denne vekten ikke var blitt målt av de som drifter tanken måtte vi bestemme hvor mye vekter vi skulle ha i modellen ved å kontrollere at vannlinjen havnet på linjen vi hadde målt og tegnet på modellen. Dette kan ha ført til små unøyaktigheter i deplasementet modellen fikk i forhold til det den skulle hatt. En annen feilkilde som kan ha vært tilstede er nøyaktigheten i selve sensorene på måleapparatet. Som nevnt er dette et helt nytt anlegg som er under utprøvinger og det kan være noen feil eller unøyaktigheter i systemet som ingen enda er klar over.

Grunnet ruheten til modellene som produseres ved NTNU i Ålesund må den utregnede motstanden ganges med 0,4. Dette tallet er oppgitt av personene som er ansvarlige for driften av tanken og kommer fra tester av modeller der motstanden var kjent. Dette viser at modellforsøkene med disse skummodellene i denne tanken varierer sterkt med andre modeller i andre tanker. Vi ser på dette som enda en mulig feilkilde i motstandsberegningene som gir oss mindre nøyaktige resultater.

I utregningene av motstanden til fullskala lekter er det gjort noen forenklinger der formfaktoren og luftmotstandskoeffisienten ikke er tatt med. Formfaktoren ville ha gitt et lite tillegg til fullskala motstandskoeffisient, men siden dette er blitt så lite har vi valgt å ikke bruke tid på å ta det med i utregningene. Vi har heller ikke brukt disse tidligere i undervisningstimene på skolen. Den samme argumentasjonen er brukt for luftmotstandskoeffisienten. Disse måtte ha blitt tatt med for å få en enda mer nøyaktig måling av totalmotstanden.

Selv om slepetesten har en del feilkilder anser vi den som mer pålitelig enn Maxsurf Resistance, et program som vi har fått beskjed fra faglærere om at vi ikke kan stole blindt på. De ulike feilkildene i testen er viktige å identifisere for å kunne redusere unøyaktigheten i senere forsøk.

Som vi ser av resultatene er motstanden forskjellig ut i fra hvilken metode som er brukt. I følge Holtrop i MaxSurf Resistance er motstanden 77,5 kN. Slepetesten og de videre utregningene gav 111 kN. Dette gir en differanse på 33,5 kN, noe som er en betydelig forskjell. Hvilken av disse metodene som gir det mest riktige svaret er vanskelig å si, men det som burde vært gjort er å lage en større modell i et annet materiale og testet denne i en mer utprøvd, konvensjonell tank. Dette hadde vært en bedre metode og gitt resultater som hadde vært enklere å stole på. Per dags dato er dette ikke mulig å gjennomføre ved NTNU i Ålesund, og vi har brukt de beste metodene som har vært tilgjengelige for oss i prosjektperioden.

Vi vurderer slepetesten som vellykket på det grunnlaget at det var en lærerik øvelse der vi fikk prøve oss på de forskjellige praktiske problemstillingene som oppstod, samt hvordan å samle inn data fra testen og bruke det videre i utregninger. Det har også hjulpet oss å se utfordringene som kan oppstå når man skal vurdere resultater fra praksis og teori.

Bølgemønsteret til modellen under slepetesten, figur 3.13, viser at det oppstår en bølgedal rundt den fremre skulderen til skroget. Dette var noe som vi hadde i tankene under linjeutformingene, at kunne komme til å oppstå. Dette ville bli brukt som grunnlag for videre arbeid med linjeutforming til lekteren. En annen ting som er viktig å drøfte etter slepetesten er hvordan vannet strømmer over bulben. Videoopptak som ble gjort under slepetesten viste etter nøyere undersøkelser at baugformen gjør at vann strømmer over bulben og opp mot baugen. Dette sier oss at bulben øker motstanden ved å løfte vann unødvendig opp mot skroget, som optimalt bare vil bli dyttet ut til sidene.

## 6 Konklusjon

Arbeidet har ført frem til et design av en lekter med ønsket lastekapasitet og et sammenkoblingssystem, og ut i fra kravene fra oppdragsgiver er følgende egenskaper nådd:

Lekteren har kapasitet til å frakte 2005,7m<sup>3</sup> LNG i sylindriske type C tanker. Sammenkoblingen som ble valgt ut er av typen Triofix TR som er et enkelt, effektivt og relativt sett rimelig tilkoblingssystem som styres fra broen og vil være kontinuerlig overvåket. Resultatene fra slepetesten og videre utregninger gav en slepemotstand på 111 kN ved 12 knop hastighet.

L<sub>oa</sub> endte opp med å bli 79,8 m, bredden ble 12 m og dybden fra kjøll til hoveddekk ble 7,8 m. Designdypgangen i lastet kondisjon ble 3 m. Blokkoeffisienten er 0,71. Deplasementet ved 3 m dypgang er 2098 tonn der lettskipsvekten utgjør 1093,7 tonn som gir et DWT/ Δ-forhold på 0,48. I lastet tilstand har lekteren en trim om hekken på 0,25 m uten bruk av ballastvann.

Lekteren er utstyrt med to kraner for slangehåndtering, kontrollrom, motorrom med generator for å drive systemene om bord, men det er ikke gått i detalj rundt disse systemene. Lekteren har 16 ballasttanker i sider og bunn som til sammen rommer 1084,7 m<sup>3</sup>. General arrangementet som er tegnet av lekteren summerer opp alle rommene og hvor utstyret er plassert.

Det er utført en arealanalyse og en tegning av hasardiøse områder om bord der det vil og kan oppstå gass i atmosfæren.

Lekteren består alle kravene om stabilitet ut i fra regelkravene i MaxSurf Stability Advanced, basert på regler for alle skip. Det langskipsgående stiverne, samt platene er dimensjonert slik at de består kravet om langskipsstyrke og sjøtrykk, jf. DNV reglene for skip under 100 m.

Videre arbeid som må gjøres er: bæreranalyse og struktur, utgreiing av generator og motor, LNG innretninger og rør om bord samt en kostnadsanalyse på tilkoblingssystemet ettersom dette er noe vi ikke har fått svar om med produsentene.

Vi har oppfylt kravene oppdragsgiver satt med tanke på lastekapasitet, tanktype og utvelgelse av et sikkert og utprøvd sammenkoblingssystem. Vi har fått et bra utbytte av prosjektperioder og det har vært spennende å kombinere de ulike fagene for å løse problemstillinger og oppnå resultat. Det har også vært lærerikt å besøke ulike bedrifter i den maritime bransjen og fått muligheten til å opprettet kontakter i næringen.

## 7 Referanser

- [1] Gaspar H. Forelesningsnotat Ship design II, s 5
- [2] Gaspar H. Forelesningsnotat Ship design II, s 10
- [3] Levander K. System Based Ship Design. 2012.
- [4] Levander K. System Based Ship Design. 2012, s 33
- [5] Levander K. System Based Ship Design. 2012, s 32
- [6] Halse K. H. Forelesningsnotat linjer.
- [7] Schneekluth H. og Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. Second edition, 1998.
- [8] Schneekluth H. og Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. Second edition, 1998, s 24 figur 1.16
- [9] Schneekluth H. og Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. Second edition, 1998, s 25 figur 1.17
- [10] Rawson KJ. og Tupper E.C. Basic Ship Theory. Fifth edition, 2001.
- [11] Levander K. System Based Ship Design. 2012, s 144
- [12] DNVGL, part 6, chapter 9, section 1, 304.
- [13] Halse K.H. Forelesningsnotat linjetegning.
- [14] Sjøfartsdirektoratet, hentet 5.4.16. Tilgjengelig fra:  
<https://www.sjofartsdir.no/Upload/Yrkesfisker/Publikasjoner/92275%20Stabilitetsguide.pdf>
- [15] Sjøfartsdirektoratet, hentet 5.4.16, s 10. Tilgjengelig fra:  
<https://www.sjofartsdir.no/Upload/Yrkesfisker/Publikasjoner/92275%20Stabilitetsguide.pdf>
- [16] Sjøfartsverket, hentet 7.4.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.sjofartsverket.se/upload/5121/749.pdf>
- [17] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand og Propulsjon Session 1-4.
- [18] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 1, s 9.
- [19] Halse K.H. Forelesningsnotat ShipDesign.
- [20] Halse K.H. Forelesningsnotat ShipDesign, s 23.
- [21] User Manual, Maxsurf Resistance, 2013.
- [22] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 1, s 25.
- [23] Munson B.R, Okiishi T.H, Huebsch W.W og Rothmayer A.P. Fluid Mechanics, seventh edition, 2013.

- [24] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 1, s 26.
- [25] Våge T. Forelesningsnotat Vektestimering.
- [26] Halse K.H. Forelesningsnotat Bulb.
- [27] Halse K.H. Forelesningsnotat ShipDesign, s 24.
- [28] DNVGL, part 3, chapter 3, section 3, c100.
- [29] Sollied A.J. Strukturdesign av Skip, 2009.
- [30] Oceantugbarge, hentet 2.2.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.oceantugbarge.com/PDF/history.pdf>
- [31] Marcon, hentet 2.2.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.marcon.com/marcon2c.cfm?SectionListsID=85&PageID=240>
- [32] Articouple, hentet 3.2.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.articouple.com/3-articouple\\_k.html](http://www.articouple.com/3-articouple_k.html)
- [33] Articouple, hentet 3.2.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.articouple.com/4-articouple\\_f.html](http://www.articouple.com/4-articouple_f.html)
- [34] Articouple, hentet 3.2.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.articouple.com/5-articouple\\_fr.html](http://www.articouple.com/5-articouple_fr.html)
- [35] Beacon Finland, hentet 4.2.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.beaconfinland.com/jak-coupling/>
- [36] Westec Equipment, hentet 4.2.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.westecequipment.com/tugbarge.cfm?sec=m>
- [37] Articouple, hentet 3.2.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.articouple.com/6-triofix\\_tk.html](http://www.articouple.com/6-triofix_tk.html)
- [38] Articouple, hentet 3.2.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.articouple.com/7-triofix\\_tr.html](http://www.articouple.com/7-triofix_tr.html)
- [39] Articouple, hentet 3.2.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.articouple.com/8-triofix\\_trf.html](http://www.articouple.com/8-triofix_trf.html)
- [40] Oceantugbarge, hentet 2.2.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.oceantugbarge.com/about-the-atb/64-connection-systems?start=3>
- [41] GASNOR, hentet 26.1.16. Tilgjengelig fra:  
<http://gasnor.no/naturgass/typiske-data-naturgass/>
- [42] Engineering Toolbox, hentet 26.1.16. Tilgjengelig fra:  
[http://www.engineeringtoolbox.com/liquefied-natural-gas-Ing-d\\_1092.html](http://www.engineeringtoolbox.com/liquefied-natural-gas-Ing-d_1092.html)
- [43] Devold H. Oil and gas production handbook, 2013.



- [44] LNG bunkering, hentet 17.2.16. Tilgjengelig fra:  
<http://www.lngbunkering.org/lng/technical-solutions/tank-types>
- [45] Maritime Propulsion, bilde hentet 21.3.16. Tilgjengelig fra:  
<http://articles.maritimepropulsion.com/article/Joint-Study-by-MAN-and-GL-on-LNG-asa-Fuel-for-Container-Ships40147.aspx>
- [46] Breaking Energy, hentet 19.5.16. Tilgjengelig fra:  
<http://breakingenergy.com/2014/12/22/how-dangerous-is-lng/>
- [47] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.1.1
- [48] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.1.2
- [49] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.5.3
- [50] IGC, annex 6. 2014. Chap 3.5.3.5.3
- [51] IGC, annex 6. 2014. Chap 15.3
- [52] IGC, annex 6. 2014. Chap 3.6.1
- [53] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.4.1
- [54] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.4.1.2
- [55] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.2.3
- [56] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.3.1
- [57] IGC, annex 6. 2014. Chap 2.4.2
- [58] IGC, annex 6. 2014. Figur 2.5.e s28.
- [59] IGC, annex 6. 2014. Chap 3.2.1
- [60] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 2.1.1.
- [61] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 1.2.1
- [62] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 1.2.2
- [63] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 2.2.1
- [64] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 1.2.3
- [65] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 2.2.2
- [66] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 1.2.4
- [67] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 2.2.3
- [68] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 3.1.2

[69] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 3.1.4

[70] DNVGL, part 5, chapter 7, section 10, 3.1.6

[71] DNVGL, part 3, chapter 2, section 3, A400

[72] DNVGL, part 3 chapter 2, Section 1, B101

#### **Formelliste:**

[1] Levander K. System Based Ship Design. 2012, s80

[2] Levander K. System Based Ship Design. 2012, s144

[3] Schneekluth H. og Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. Second edition, 1998, s26

[4] Schneekluth H. og Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. Second edition, 1998, s26

[5] Schneekluth H. og Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. Second edition, 1998, s26

[6] DNVGL, part 3, chapter 3, section 3, c100

[7] DNVGL, part 3, chapter 1, section 5, c304

[8] Levander K. System Based Ship Design. 2012, s 80

[9] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 3, s116

[10] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 1, s20

[11] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 3, s116

[12] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 3, s116

[13] Kamsvåg Ø. Forelesningsnotat Motstand 1, session 3, s116

[14] DNVGL, part 3, chapter 2, section 3, a400

[15] DNVGL, part 3 chapter 2, section 3, a400

[16] DNVGL, part 3 chapter 2, section 3, a400

[17] DNVGL, part 3 chapter 2, section 3, a400

#### **Vedlegg:**

[1]: Budsjettert tidsbruk

[1] Budsjettert tidsbruk

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Research	XV	XV																	
Sammenkobling		Y																	
Hoveddimensjon		X																	
Linjer		X	X																
Arrangement			Y																
Lettskipsvekt				Y															
Lastkondisjon				X	X														
GA					Y														
Besøk multi maritime																			
Topologi						XV													
Tverrsnittsanalyse						Y		Y											
Bærersystem						X	X												
Klassetegning								X		X									
Optimalisering								Y		-	Y	XV	XV	XV					
Modellering														XV					
Rapport															XV				