

Jon Reigstad Eide
Sivert Rosø

Prosjektering av klimavennlig PSV med CO2 lagring

Bacheloroppgave i Skipsdesign
Veileder: Henrique Gaspar
Medveileder: Håvard Vollset Lien
Mai 2024

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromoperasjoner og byggingsteknikk



Jon Reigstad Eide
Sivert Rosø

Prosjektering av klimavennlig PSV med CO2 lagring

Bacheloroppgave i Skipsdesign
Veileder: Henrique Gaspar
Medveileder: Håvard Vollset Lien
Mai 2024

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



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på vårt studium ved linjen Skipsdesign på NTNU i Ålesund. Mye tid, arbeid og dedikasjon har gått inn til denne oppgaven. Det har vært en lærerik reise vi ikke ville vært foruten. Dette er en oppgave som har gitt innblikk i den kompleksiteten som en skipsdesignprosess er og har krevd et stort fokus. Oppgaven foretar seg sentrale deler av pensum, men viser også viktigheten av et fremtidsrettet syn i designvalgene en tar.

Valget av tema var prosjektering av en klimavennlig platform supply vessel som skal anvende LNG og CCS teknologi. Dette i en tid der en må se til grønnere løsninger for å møte fremtidens utfordringer. Vi håper det vi presenterer kan inspirere til ytterlige tiltak for å redusere miljøpåvirkningen fra skipsflåten. Oppgaven har vist oss hvilke valg som må tas og viktigheten av dem for å nå de globale og lokale klimamålene.

Først og fremst vil vi rette en stor takk til Håvard Vollset Lien og Vard som har gitt oss denne oppgaven og vært tilgjengelig for veiledning. Videre vil vi også rette en takk til Henrique Gaspar som har vært vår veileder på NTNU, som har gitt gode ideer og en målrettet veiledning. Takk til Lars Erik Nygård for gode og oppmuntrende tilbakemeldinger på oppgaven. Takk til David Lien, Jon August Houge og Egil Arne Skare i henholdvis Bourbon Horizon, Siem offshore og Østensjø som ga oss nødvendig informasjon for drift av PSVer. Takk til Stian Aakre fra Wartsila som ga oss info om karbonfangst. Stor takk til Øyvind Farstad fra Kongsberg Maritime for å ha utrustet oss med kraner og vinsjer.

Vi er takknemlige for de tre årene vi har hatt på NTNU i Ålesund. Det har vært en lærerik tid innenfor et fagfelt som interesserer oss. Den kunnskapen vi har oppnådd, skal vi nå utvikle videre i arbeidslivet, og vi takker NTNU for å ha gitt oss denne solide basen.

NTNU Ålesund, 21.05.2024

Jon Reigstad Eide og Sivert Rosø

Sammendrag

I takt med globalt press og strenge miljøkrav står den maritime industrien ved en avgjørende korsvei. Med strengere internasjonale krav til reduksjon av utslipp, møter offshoreflåten betydelige utfordringer. Disse inkluderer nødvendigheten av å vurdere alternative drivstoff og utslippsreducerende teknologier. Denne bacheloroppgaven omhandler prosjektering av en klimavennlig platform supply vessel (PSV). PSVen skal anvende flytende naturgass (LNG) som drivstoff samt et karbonfangst og lagring system (CCS). Fartøyet er designet for å bidra til en mer bærekraftig fremtid for sjøfarten og bidra til betydelige reduksjoner av klimautslipp i maritim sektor.

Prosjekteringen av fartøyet ble utført i henhold til egen etablert designprosess. Etter litteraturstudier og bruk av moderne programvare for design og beregninger, har vi utviklet en løsning som ikke bare kan fange interesse, men også kan bidra til det grønne skiftet i den maritime sektoren. Oppgaven presenterer tegninger, modeller og beregninger som inkluderer general arrangement, tankplan, linjetegninger, skrogmodell, 3D-modell, stabilitetsberegninger, lettskipberegninger, utslippsberegninger og grunnleggende strukturanalyser. Disse elementene illustrerer hvordan designet møter både funksjonelle og miljømessige krav.

En sentral innovasjon i dette prosjektet er implementeringen av CCS-teknologi om bord på et fartøy. Selv om denne teknologien hovedsakelig er brukt i industrielle applikasjoner på land, viser prosjektet hvordan den kan bidra til å redusere utslipp til sjøs. Kombinert med bruk av LNG, kan denne løsningen vise seg å være en mer bærekraftig løsning for fremtidens maritime industri.

Oppgaven konkluderer med at teknologiene CCS og LNG kan spille en vesentlig rolle i det grønne skiftet. Implementeringen av CCS, en teknologi som fortsatt er relativt ukjent for maritime operasjoner, kan tilføre betydelige fordeler for å redusere CO_2 -utslipp, med sin potensielle fangstrate på 70%. Dette kombinert med LNG, som er et renere brennstoff sammenlignet med tradisjonelle drivstofftyper som MDO, gir store potensialer for utslippsreduksjon. Det anerkjennes også et klart behov for videre forskning og utvikling av teknologien innen CCS, for å muliggjøre teknologien til havs.

Summary

Amidst global pressure and stringent environmental requirements, the maritime industry stands at a crucial crossroads. With stricter international requirements for emission reductions, the offshore fleet faces significant challenges. These include the necessity of considering alternative fuels and emission-reducing technologies. This bachelor's thesis addresses the design of an environmentally friendly platform supply vessel (PSV). The PSV will utilize liquefied natural gas (LNG) as fuel and a carbon capture and storage system (CCS). The vessel is designed to contribute to a more sustainable future for maritime shipping and achieve significant reductions in emissions within the maritime sector.

The design of the vessel was carried out according to a self-established design process. Following literature studies and the use of modern software for design and calculations, we have developed a solution that not only can attract interest but also contribute to the green shift in the maritime sector. The thesis presents drawings, models, and calculations, including general arrangement, tank plan, line drawings, hull model, 3D model, stability calculations, lightship calculations, emission calculations, and basic structural analyses. These elements illustrate how the design meets both functional and environmental requirements.

A central innovation in this project is the implementation of CCS technology on board a vessel. Although this technology is mainly used in industrial applications on land, the project demonstrates how it can help reduce emissions at sea. Combined with the use of LNG, this solution could prove to be a more sustainable option for the future maritime industry.

The thesis concludes that CCS and LNG technologies can play a significant role in the green shift. The implementation of CCS, a technology that is still relatively unknown for maritime operations, can offer significant benefits in reducing CO_2 emissions, with its potential capture rate of 70%. This, combined with LNG, which is a cleaner fuel compared to traditional fuel types like MDO, offers great potential for emission reductions. It is also recognized that there is a clear need for further research and development of CCS technology to enable its application at sea.

Symbolliste

- **B** - Bredde
- **C_b** - Blokkoeffisient
- **D** - Dybde i riss
- **G** - Tyngdepunkt av fartøyet
- **GMt** - Metasenterhøyde
- **GZ** - Rettende arm
- **K** - Kjøl
- **KB** - Avstand fra kjøl til oppdriftsenter
- **KG** - Avstand fra kjøl til tyngdepunktet
- **kg** - Kilogram
- **KM** - Avstand fra kjøl til metasenter
- **kN** - Kilonewton
- **kW** - Kilowatt
- **kWh** - Kilowatt timer
- **L** - Lengde
- **LCG** - Langskip tyngdepunkt
- **LOA** - Total lengde
- **M** - Metasenter
- **m** - Meter
- **m²** - Kvadratmeter
- **m³** - Kubikkmeter
- **mm** - Millimeter
- **NM** - Nautisk mil
- **N** - Newton

-
- **T** - Dypgang
 - **t** - Tonn
 - **VCG** - Vertikalt tygdepunkt

Begrepsliste

- **BOG** - Fordampingsgass (Boil-of gas)
- **DNV** - Det norske veritas
- **CCS** - Karbonfangst og lagring (Carbon capture and storage)
- **C₂H₆** - Etan (Etan)
- **C₃H₈** - Propan (Propan)
- **C₄H₁₀** - Butan (Butan)
- **CH₄** - Metan (Methan)
- **CO₂** - Karbondioksid-gass (Carbon dioxide)
- **DP** - Dynamisk posisjonering (Dynamic positioning)
- **HFO** - Tung-olje (Heavy fuel oil)
- **IMO** - International Maritime Organization
- **LFL** - Nedre brennbarhetsgrense (Lower flammable limit)
- **LNG** - Flytende naturgass (Liquified natural gas)
- **MDO** - Marine diesel olje (Marine diesel oil)
- **MGO** - Marine gass olje (Marine gas oil)
- **N** - Nitrogen (Nitrogen)
- **NO_x** - Nitrogenoksider (nitrogen oxides)
- **SBCC** - Skips basert karbonfangst (Ship based carbon capture)
- **SO_x** - Svoveloksider (sulphur oxides)

Programliste

Bentley engineering

Bentley Systems er et firma som utvikler, vedlikeholder og selger programvare innen design, konstruksjon og infrastruktur. I dette prosjektet har vi brukt programpakken Maxsurf, som er ideell for design av marine fartøy. Med Maxsurf kan man generere et skrog i 3D, utføre stabilitets- og motstandsberegninger, og eksportere skroget til andre modelleringsmiljøer for videre utvikling.

Maxsurf Modeller

I modellversjonen av Maxsurf kan man generere et skrog basert på gitte parametere. Skroget kan deretter modelleres og justeres slik at det passer til de ønskede behovene.

Maxsurf Stability

Skroget som er modellert kan deretter åpnes i Maxsurf Stability. Her kan programmet utføre hydrostatiske beregninger av modellen under forskjellige lastkondisjoner.

Maxsurf Resitance

Programmet kan bruke ulike metoder for å beregne skrogmotstand for 3D-modellen basert på gitt hastighet og dypgang.

Autodesk

Autodesk er en amerikansk multinasjonal programvareutvikler som tilbyr en rekke programmer innenfor engineering. I dette prosjektet har vi benyttet AutoCAD og Fusion 360 fra Autodesk.

AutoCAD

AutoCAD er et tegneprogram hvor man kan lage både 2D- og 3D-tegninger. I vårt prosjekt har vi brukt AutoCAD til å lage 2D-tegninger, inkludert general arrangement, tankplan og linjetegning.

Fusion 360

I Fusion 360 kan vi bruke skroget fra Maxsurf til å modellere en visuell representasjon av det endelige designet. Dette modelleringsprogrammet er svært brukervennlig og tilbyr et smart og oversiktlig system for samarbeid.

DNV

Det Norske Veritas tilbyr en rekke programmer som gjør det enklere å kontrollere med skipsdesignet i henhold til deres regelverk.

Nauticus Hull

Nauticus Hull er et program som brukes til strukturberegninger av skipsskrog. Programmet utfører analyser og beregninger av skrogstrukturen og kontrollerer dette opp mot gjeldende regelverk.

3D Beam

Et strukturprogram der en kan utføre modellering og analyser av bjelkestrukturer.

Microsoft Office

En sammensatt datapakke med programvarer Word, PowerPoint og Excel.

Excel

Mesteparten av beregningene for oppgaven er utført i Excel, som er et nyttig regnearkprogram som gjør prosessen enkel og systematisk.

PowerPoint

PowerPoint fra Office er et program som brukes mest til å presentere. Nyttige funksjoner for denne oppgaven er å kunne lage illustrasjoner og figurer som kan gjøre løsningen av denne oppgaven enklere.

Hovedprosjektbeskrivelse

for

Jon Reigstad Eide og Sivert Rosø

Skipsdesign

Vårsemester 2024

Tittel:

Prosjektering av klimavennlig PSV med CO2 lagring

Det er i økende grad tydelig for all at de globale utslippene av klimagasser må reduseres kraftig. Parisavtalen fra 2015 setter et overordnet mål for dette. Som en følge av dette har IMO kommet med sine egne krav til skip, og norske myndigheter varsler økende CO₂-avgifter. De har også satt et mål om at Norges utslipp av klimagasser skal være halvert innen 2030, og at alle sektorer må ta sin del av kuttene. Derfor har norske skipsredere et sterkt økende press på seg til å investere enten i nye fartøyer eller oppgradere sine eksisterende fartøyer for å imøtekomme kravene.

Denne oppgaven innbefatter prosjektering/design av en moderne PSV iht. vedlagte grunnleggende kravspesifikasjon fra VARD AS, med et spesielt fokus på løsninger for LNG bunkring og lagring av CO₂.

Kandidatene skal designe/prosjekttere en PSV for offshorenæringen, basert på LNG som drivstoff og med CCS (Carbon Capture & Storage). Ytterligere kravspesifikasjon fra VARD AS (VEDLAGT)

Oppgaven skal minimum inneholde:

- Generalarrangement av skipet
- Linjetegning
- Tankplan
- Rekkeviddeberegninger, inkludert lagring av fanget CO₂
- Intaktstabilitetsberegninger
- Overordnet plan for tilgang på LNG og trygg lagring av CO₂

Veileder ved NTNU i Ålesund er Henrique Gaspar, og kontaktperson ved Vard er Håvard Vollset Lien.

Besvarelsen redigeres som en teknisk rapport, med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Kravspesifikasjon



Kravspesifikasjon

Denne kravspesifikasjonen beskriver egenskapene til en PSV – Platform Supply Vessel. Skipet skal benytte LNG som drivstoff, og skal utrustes med CCS (Carbon Capture & Storage).

Skipet skal operere i en fast rute mellom Dusavik ved Stavanger og Alvheim-feltet på norsk sokkel.

Servicefart:	10 knop
DP-klasse:	IMO DP II
Besetning:	15 personer i single lugarer + 4 doble lugarer for passasjerer
Rekkevidde på gass:	3 rundturer til Heimdal på naturgass i 10 knop.
Arbeidsdekk:	700 kvadratmeter
Dødvekt:	3500 tonn
Kapasiteter:	Mud 400 kubikkmeter Brine 400 kubikkmeter Metanol 150 kubikkmeter Special products LFL/LFL* 350 kubikkmeter Potable water 500 kubikkmeter MDO 300 kubikkmeter Drill water/ballast 900 kubikkmeter LNG (I henhold til rekkevidde)
Rulledemping:	2 stk. passive rulledempingstanker, Flume type
Dekkskraner	2 stk. kraner til proviantering og mindre løft, begge med kapasitet 3 tonn/10 meter.
Dekksvinsjer	2 stk. tuggervinsjer 10 t Redningsutstyr i henhold til regelverk

Håvard Vollset Lien, 18.januar 2024

Table of Contents

List of Figures	xiv
List of Tables	xviii
1 Dagens utfordringer	1
2 Hovedoppgave - Utvikling av klimavennlig PSV	1
2.1 Kravspesifikasjon	2
2.2 Platform supply vessel	3
2.3 Flytende naturgass	4
2.4 Karbonfangst og lagring	6
3 Problemstilling	8
3.1 Bunkring av LNG	8
3.2 Karbonfangst system og lossing av CO ₂	10
4 Fremgangsmetode	11
4.1 Designprosess	11
4.2 Mulighetsanalyse	12
4.3 Referanseskip	16
4.4 Systeminndeling og volumavgrensning	18
4.5 Konfigurasjoner	21
5 Systemdesign	24
5.1 Valgt konfigurasjon	24
5.2 System skissering	24
6 Hoveddimensjoner	26

6.1	Diskusjon rundt foreløpige dimensjoner	26
6.1.1	Lengde, bredde, dypgang og dybde i riss	26
6.1.2	Blokkoeffisient	27
6.2	Hoveddimensjoner for videre arbeid	27
7	Skrogutforming	28
7.1	Tankplassering	30
7.2	Vektberegninger	34
7.3	Stabilitetskontroll	36
7.4	Motstand	38
7.5	Linjetegning	39
8	Driftsprofil	40
8.1	Samlet data	40
9	Kraftbehov og maskinerisystemer	42
9.1	Belastning og konfigurasjon	42
9.2	Belastning maskineri	44
9.3	LNG og CCS kapasiteter	46
9.4	Alternativ løsning	49
10	General arrangement	51
10.1	Dobbel bunn	52
10.2	Tank top	52
10.3	Tween deck	53
10.4	Main deck	54
10.5	A - deck	54
10.6	Accommodation	55

10.7	Generelle krav og fremgangsmetode	56
11	Struktur	57
11.1	Global langskipsstyrke	58
11.1.1	Moment	58
11.1.2	Kritisk snitt	60
11.1.3	Snittet i Nauticus hull	60
11.2	Lokal styrke	64
11.3	Buling	66
12	Overordnet plan av LNG og trygg lagring	68
12.1	Håndtering om bord på fartøyet	68
12.2	Håndtering på land	69
13	Resultat	70
13.1	Endelig konsept	70
14	Diskusjon	73
14.1	Feilkilder og videre arbeid	75
14.1.1	Driftsprofil og maskineri	76
14.1.2	Skrog	76
14.1.3	Lettskip	77
14.1.4	Struktur	77
15	Konklusjon	78
	Litteraturliste	79
	Vedlegg	82

A	Lettskipsberegninger	82
B	Ballast, 100 % fuel and stores	83
C	Ballast, 10 % fuel and stores	84
D	Fully loaded, 10 % fuel and stores	85
E	Fully loaded, 100 % fuel and stores	86
F	Worst case, 50% cargo, 10% fuel and stores	87
G	Holtorp motstand ved dypgang 6.2 m	88
H	Linjetegning	89
I	General arrangement	90
J	Tankplan	91
K	Tanktabell	92
L	Resultater 3D Beam	93
M	LNG forbruk og CO2 fangst	94
N	3D konsept	95

List of Figures

1	Rute mellom Dusavik terminal og Alvheimfeltet (norskpetroleum.no)	2
2	Eldre og nyere design av PSV	3
3	Eksempel på et LNG system inklusiv lagringstank	4
4	Forenklet dual-fuel prinsipp (ETHZ.ch)	5
5	Illustrasjon på et landbasert CCS system (Sustainable ships)	7
6	Illustrasjon på et skipsbasert CCS system (Wartsila)	7
7	Bunkering av LNG på Vestlandet per 19.03.24 (Alternativ fuels insight, DNV)	8
8	Vekst i LNG-flåte (Alternativ fuels insight, DNV)	9

9	LNG-priser USD/t (Alternativ fuels insight DNV)	9
10	Designprosess	11
11	LOA & deck area	13
12	B & deck area	14
13	Deck area & LNG	14
14	(V) Tantalus Tide, referanseskip lastekapasiteter. (H) Siem Symphony, referanseskip LNG lagring	16
15	Tantalus Tide tank top (Tidewater)	17
16	Siem Symphony tank top (Wartsila)	17
17	Systeminndeling for PSV	18
18	Første gjennomgang av tankplassering	21
19	Implementering av LNG tank	21
20	Integrerte tanker	22
21	Tankplassering på lastedekk	23
22	Basic system design	25
23	Prosess for nåværende skrog	28
24	Utforming av hekk	29
25	Illustrasjon av skrog	30
26	Ulike geometrier for mud og brine tanker	31
27	Type C-tank (Wartsila)	31
28	Definerte komplekse tanker i Maxsurf	32
29	Definerte baugthrustere og ferskvannstank i baug	32
30	Volum for lastedekk	33
31	Tankplassering	33
32	Estimat vekt LNG tank	35
33	Estimat vekt flytende CO2 tank	35

34	Motstandskurve for alle lastkondisjoner	39
35	Driftsprofil	41
36	Energiflyt fra motor til propell	42
37	Systemdiagram	44
38	Fremdriftshruster (Wartsila)	44
39	Tunnelthruster (Wartsila)	45
40	Dual-fuel motor (Wartsila)	45
41	Linjetegning for kraftproduksjon og forbrukere	46
42	Driftsprofil tur/retur platform	49
43	Linjetegning for kraftproduksjon og forbrukere med batteripakker	50
44	Dobbelbunn	52
45	Tanktop	53
46	Tween deck	53
47	Tuggervinsj (Kongsberg Maritime)	54
48	Main deck	54
49	MOB-båt med davit (Viking LSA)	54
50	A - deck	55
51	Pedestal kran (MOTUS)	55
52	B og C - dekk	56
53	Kraftgangen	57
54	Hogg og sagg	58
55	Momentkurve	59
56	Momentkurver i Nauticus Null, blå representer DNVs minimumsmo- menter for hogg og sagg	59
57	Kritisk snitt på spant 45, nærheten av 0.4L	60
58	Inndeling av de ulike panelene i snitt 0.4 L	61

59	Definisjon av tanker	61
60	Platetykkelser 0.4L	62
61	Stiverstørrelser 0.4L	62
62	Tverrsnittene 0.3L og 0.7L	63
63	Snitt spant 63	64
64	Tverrsnittene i senter av LNG tanken	64
65	Ramme med dimensjonerende laster	65
66	3D illustrasjon av ramme	66
67	Modellert tanktop dekk	67
68	Bulingtest	67
69	Illustrasjon av karbonfangstsystemet	69
70	Endelig konsept	70
71	Over/under spesifisert fartøy (Skipsdesign 3 pensum)	73
72	Lettskipsberegninger	82
73	Ballast, 100 % fuel and stores	83
74	Ballast, 10 % fuel and stores	84
75	Fully loaded, 10 % fuel and stores	85
76	Fully loaded, 100 % fuel and stores	86
77	Worst case, 50% cargo, 10% fuel and stores	87
78	Linjetegning	89
79	General arrangement	90
80	Tankplan	91
81	Tanktabell	92
82	3D Beam resultater av Stress check og Pillar buckling	93
83	LNG forbruk og mulig CO_2 fangst	94

List of Tables

1	Shall/Should	13
2	Referanseskip informasjon	18
3	Konfigurasjoner for systemdesign	23
4	Resultat fra de ulike lastkondisjonene	38
5	Driftsprofil fra seks ulike PSVer	40
6	Timesfordeling for tre rundturer fra Dusavik terminal til Alvheim feltet	41
7	Totalbelastning for fartøyet	43
8	Drivstofforbruk for 9L20DF og 6L20DF	45
9	Parametere for LNG, CO2 og MDO	47
10	LNG-beregninger med CCS system kun på Transit	47
11	LNG-beregninger med CCS system, ekskludert Alongside in port . . .	48
12	Resultater for beregninger for MDO og LNG	51
13	Main particulars	70
14	Resultater fra Holtorps metode	88

1 Dagens utfordringer

Den maritime næringen står ovenfor store endringer grunnet restriksjoner for utslipp av klimagasser. Restriksjonene for utslipp av klimagasser er bestemt for å kunne begrense temperaturstigningen på verdensbasis. Temperaturstigningen kom frem som et hovedpunkt under parisavtalen i 2015. Parisavtalen [27] er en internasjonal avtale som hadde som funksjon og skape en felles bestemmelse for å jobbe mot truslene som klimaendringene utgjør. En del av denne avtalen som ble bestemt var at temperaturstigningen på verdensbasis skulle begrenses til under 2°C, men helst under 1.5°C. For den maritime næringen betydde dette et stor overgang som ble iverksatt av IMO. De er den internasjonale maritime organisasjonen som er underlagt FN. IMO regulerer den internasjonale skipsfarten og satte med dette et krav på at skipsfarten skulle reduserer utslippene av CO_2 til minimum 40% innen 2030 [16]. Norge har ut fra dette satt ytterligere et mål om at utslipp av klimagasser skal reduseres med 50% innen 2050. Det er nå knyttet mange utfordringer til disse målene både for skipseiere og alle næringene rundt. En slik omstilling har økt presset for skipseierne til å fornye eller bygge om skipene deres for å kunne møte disse kravene.

Mulighetene for å kunne nå disse målene er mange, men hovedfokus for de fleste ligger innenfor alternative drivstoff og behandling av avgasser. De alternative drivstoffene til den konvensjonelle dieselen og tungoljen er LNG (flytende naturgass), LPG (flytende petroleumsgass) ammoniakk, bio-drivstoff, hydrogen og metanol. Alle disse alternativene har sine utfordringer, hvorav LNG er det mest anvendte drivstoffet blant disse. Utviklingen innenfor behandling av avgasser har også sett en stor vekst de siste årene. Det kan her benyttes filtrering i form av SCR - katalysatorer, skrubber som i prinsippet vannvasker eksosen før den slippes ut og karbonfangst som rensar eksosen og lagrer biproduktet om bord. Alle disse metodene vil være med på å redusere utslippet av CO_2 , SO_x og NO_x som er nødvendig for å nå klimamålene.

2 Hovedoppgave - Utvikling av klimavennlig PSV

Offshorenæringen står ovenfor en overgangsperiode som vil bestå av investering i ny tonnasje eller oppgradering av eksisterende skip. Som et resultat av klimatiltakene så vil det være nødvendig for næringen å se til ny teknologi for å redusere utslippene fra sine skip. Hovedoppgaven som presentert i starten vil være å prosjektere en klimavennlig PSV som skal kunne benytte seg av LNG som drivstoff

og karbonfangst for bearbeiding av avgassene. Oppgaven inneholder et overordnet generalarrangement over skipet, samt tilhørende linjetegninger for utformingen av skroget. Tankplanen vil gi en detaljert oversikt over de ulike tankene, deres plassering, innhold og størrelse. Med dette kommer rekkeviddeberegninger for mengde av LNG og stabilitetsberegninger. Planen for LNG og CO_2 innebærer hvilke muligheter en har fra land til å bunkre LNG og lagring av CO_2 . Det er også en plan knyttet til systemintegrering i skipet og hvilke muligheter et slikt system vil oppnå for reduksjon av klimagasser. Oppgavens hovedformål er dermed å utforske hvilke muligheter skip av denne typen har for bruk av alternative drivstoff, undersøke hvordan et karbonfangst system kan implementeres om bord på fartøy av denne typen og prosjektere et fartøyet som vil kunne utføre kravene bestemt av oppgaven.

2.1 Kravspesifikasjon

Fartøyet skal operere i fast rute fra Dusavik terminalen i Stavanger og ut til Alvheimfeltet i Nordsjøen. Dette er en rute som utgjør ca. 120 nautiske mil en vei og denne ruten skal utføres tre ganger på LNG med 10 knop marsjfart. Alvheimfeltet er et oljefelt på norsk sokkel som opereres av Aker BP ASA. Figur 1 viser et utsnitt av norsk sokkel med oljefelt som er operert av AKER BP. Markert med mørk linje er ruten mellom feltet og Dusavik terminal.

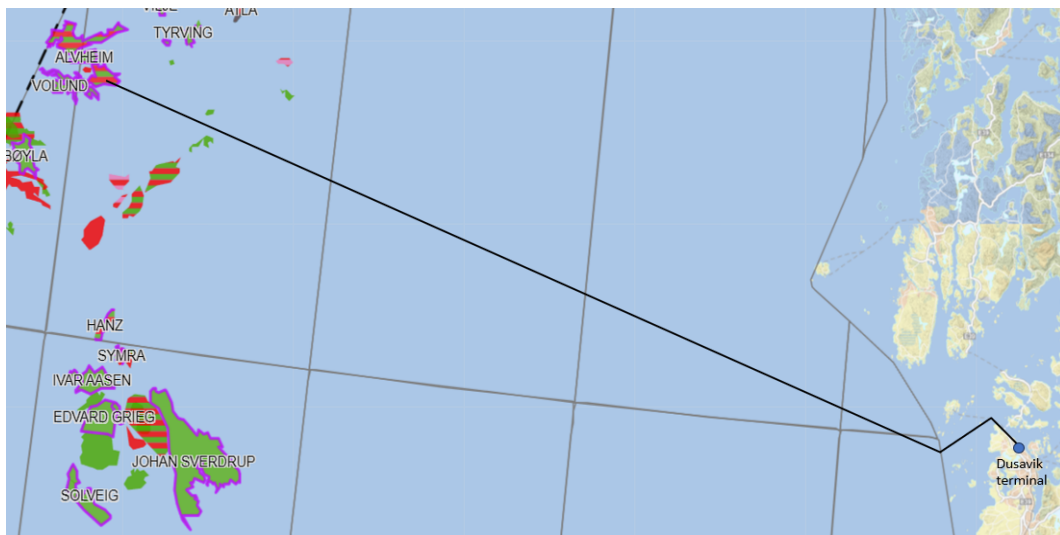


Figure 1: Rute mellom Dusavik terminal og Alvheimfeltet (norskpetroleum.no)

Innenfor fremdrift og maskineri så skal fartøyet i tillegg til LNG kunne operere med MDO, som gjør at kraftproduksjonen om bord skal være utstyrt for dual-fuel operasjon. Kapasiteten for MDO skal være på $300 m^3$. Det skal også være utført med systemer som støtter opp mot DP klasse 2 som er i henhold til Havindustritilsynets

regelverk [14] for operasjoner innenfor offshoreinstallasjoners sikkerhetssoner. Annet nødvendig maskineri er dekkskraner og tuggervinsjer med kapasiteter på 3 og 10 tonn. Annet utstyr som redningsutstyr skal inkluderes i henhold til regelverk og det skal være lugarplass til 23 personer med 15 single lugarer og 4 doble.

Skipets dødvekt skal i henhold til kravspesifikasjonen være 3500 tonn og det skal være et lastedekk på $700m^2$. Kapasitetene som skal oppfylles er kombitanker for brine og mud på $400m^3$, kombitanker for drillwater og ballast på $900m^3$. Det skal også være kapasitet for $500m^3$ ferskvann, $150m^3$ metanol og $350m^3$ med spesialprodukter som har lav brennbarhetsgrense (LFL).

2.2 Platform supply vessel

PSV eller ”platform supply vessel” er en skipstype som skal støtte offshore installasjoner med forsyninger. Denne skipstypen er en kritisk del av den maritime logistikkjeden og frakter både forsyninger i form av bulk og stykk gods. Skipene er ofte flerbruksfartøy som gjør at de ofte er utformet for å kunne utføre flere typer oppdrag. Skipet for denne oppgaven er primært et fraktefartøy som gjør at hoveddelene av skroget vil gå til oppbevaring av last. Disse forsyningene varierer i stor grad og PSVer vil dermed være utstyrt med en rekke forskjellige tanker for bulk gods i både flytende og tørr form. Lastedekket benyttes dermed for stykk godset. Lastedekket er avgjørende for størrelsen av skipet og har de siste årene variert fra $600m^2$ for eldre skip og over $1000m^2$ for nyere skip. Utformingen av PSVer har forholdt seg likt siden de kom på markedet. Skipene er ofte fordelt med lastedekk i akterkant av skipet og overbygg i forkant av skipet. I motsetning til utformingen har designet endret seg en del over de siste årene. Overbyggene er mindre rektangulære og har en mer sømløs overgang til baugen. Figur 2 viser et eksempel på hvordan PSVene har gått fra et eldre mer rektangulært design, til et mer komplekst et.



Figure 2: Eldre og nyere design av PSV

2.3 Flytende naturgass

LNG eller flytende naturgass er et drivstoff som i senere tid er blitt mye anvendt i skipsindustrien. Dette er et drivstoff som er litt renere sammenlignet med tradisjonelt drivstoff som har blitt brukt i skipsindustrien. LNG kan redusere utslippene av Nitrogenoksid (NO_x) opp til rundt 80%. Svoveloksid (SO_x) utslippene blir nesten fjernet helt [7]. LNG kan redusere klimagassutslipp som CO_2 med inntil 25% sammenlignet med MDO. Denne energikilden krever imidlertid mer plass på grunn av sin lave tetthet. Bruk av LNG møter også utfordringer knyttet til infrastruktur for lagring, distribusjon og bunkring. For å holde LNG i flytende form må den lagres ved svært lave temperaturer, omtrent -162°C . Ved å kjøle ned naturgassen til -162 grader tar LNG en sekshundredel av volumet enn når det er i gassform [28]. Det er noe som nødvendiggjør bruk av spesialiserte og kostbare fasiliteter for lagring og distribusjon.

LNG er en blanding mellom mange ulike gasser i flytende form. Den består i hovedsak mest av metan (CH_4), konsentrasjonen ligger mellom 70% til 99% av massen. Andre hydrokarbonelementer en kan finne er etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) og butan (C_4H_{10}). En kan også finne spor av mange andre gasser også som foreksempel nitrogen (N_2). Når naturgass kjøles ned til omtrent -162 grader reduseres volumet til omtrent 1/600 av gassformen. Under disse forholdene lagres LNG i tanker hvor varmeinntrenging fører til dannelse av fordampningsgass (BOG). Denne gassen brukes av motorene eller blir resirkulert tilbake til tank for å holde trykket i LNG-tanken innenfor akseptable grenser [1].

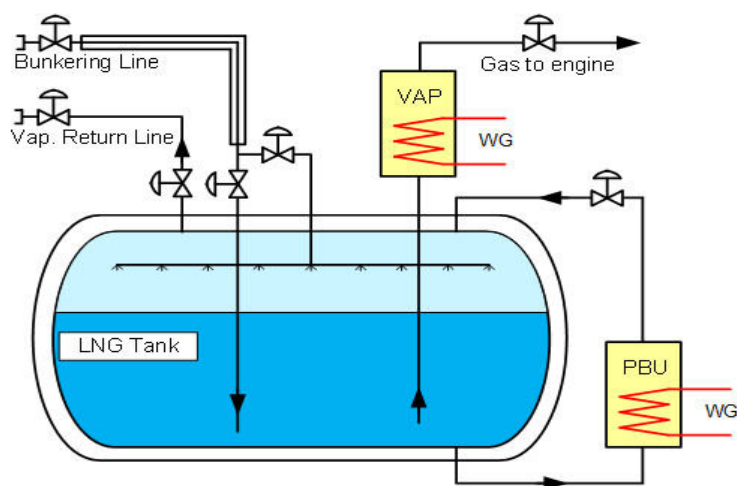


Figure 3: Eksempel på et LNG system inklusiv lagringstank

For skip som bruker flytende naturgass som drivstoff, trenger designet å inkludere noen spesielle komponenter som ikke finnes på tradisjonelle skip. Dette omfatter systemer for å holde LNG-drivstoffet trygt lagret, utstyr for å fylle drivstoffet på skipet og rør for å transportere drivstoffet til motorene som ofte er doble rør for ekstra sikkerhet. Det inkluderer også en egen enhet for å kontrollere strømmen av gassen, utstyr for å lage nitrogen (som brukes i noen prosesser om bord), og rør for å slippe ut gasser trygt. For noen typer LNG-tanker, må man også ha utstyr for å justere temperaturen og trykket inne i tankene for å holde drivstoffet stabilt [1]. Figur 3 viser hvordan et slikt system kan bygges opp. Her vises det en PBU (pressure build up unit) som opprettholder det ønskede trykket i tanken og en VAP (vaporizer) som skal varme opp LNGen til ønsket tilstand før den entrer motoren.

Fra systemet i figur 3 tas gassen videre til motoren. Motorene for denne oppgaven skal være dual fuel, som ikke bare gir muligheten for drift på LNG, men som også gir sikkerheten av å kunne driftes konvensjonelt på diesel. LNGen entrer innsuget på motoren og blandes der med spyleluften til motoren. Disse gassblandingene komprimeres og videre antennes den med diesel, derav uttrykket "Dual fuel". Figur 4 viser en forenklet illustrasjon av dette.

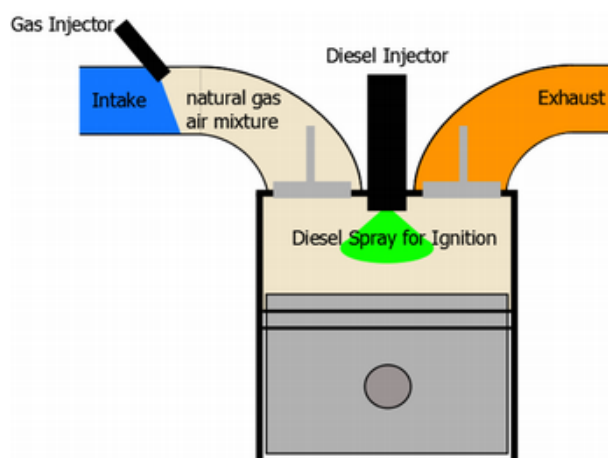


Figure 4: Forenklet dual-fuel prinsipp (ETHZ.ch)

2.4 Karbonfangst og lagring

CCS eller "Carbon capture and storage" er en type teknologi som skal være med å senke CO_2 utslippene. Dette er en type teknologi en allerede kan se i industrielle applikasjoner på land. Utslipp fra for eksempel kraftverk eller avfallsforbrenningsverk blir redusert ved å fange CO_2 fra eksos gassene [21].

Spørsmålet er om en kan ta i bruk denne teknologien om bord på et fartøy? Den maritime industrien, som driver med det meste av transport på verdensbasis står ovenfor en rekke muligheter for reduksjon av utslipp. Her kan karbonfangst sammen med alternative drivstoff være en løsning for å oppnå klimamålene. Samtidig øker antall fartøy på verdensbasis grunnet den stadig økende etterspørselen etter transport og globalisering [21]. CCS på nye eller eksisterende fartøy kan spille en stor rolle i å de-karbonisere den maritime sektoren innen 2050 [18].

Som nevnt anses LNG som et svært interessant alternativ til HFO og MDO. Det er derfor passende at CCS har størst potensial på fartøy som bruker LNG, på grunn av lavere kostnader. Forsking viser at CCS systemet kan bli best integrert på fartøy som har LNG, grunnet at systemet blir et effektivt tillegg til det tekniske systemet som allerede blir brukt til å håndtere LNG. LNG blir lagret med temperatur på -162 grader, den lave temperaturen kan brukes til å kjøle ned og gjøre CO_2 en flytende. Varmen fra eksosen kan også brukes til å varme opp CO_2 fra flytende til gass igjen [21].

CCS systemet kan deles inn i tre hovedsteg. Først vil CO_2 fanges og deretter lagres om bord. Så vil CO_2 transporteres flytende enten onshore eller offshore. Deretter vil CO_2 en selges for delvis kompensere for utgiftene brukt på de foregående stegene [21].

Selve fangst prosessen går ut på at eksosen blir ledet igjennom en kolonne som inneholder en konsentrasjon av et løsemiddel, som for eksempel ammoniakk. Dette løsemiddelet tar store deler av CO_2 en ut av eksosen. Mengden CO_2 en kan fange varierer ut fra mange design parametere og operasjonelle kondisjoner som gasstrømningshastighet, dimensjoner på installasjonen og variasjonane i motorhastighet. En fangstrate på 80-90% menes å være realistisk mulig. Den nå rene eksosen blir sluppet ut eksosrøret. Den fanga CO_2 -en blir regenerert fra løsemiddelet ved høge temperaturer. Løsemiddelet blir returnert til et lukket system som gjelder for løsemiddelet. CO_2 -en blir kjølt ned og komprimert til flytende tilstand. Deretter blir det lagra om bord på fartøyet [21]. Figur 37 viser et systemdiagram for en et landanlegg for karbonfangst.

Som nevnt over er karbonfangstsystemer om bord på skip en ny mulighet for å senke utslippene. Et av selskapene som arbeider med å utvikle slike systemer er Wartsila. Wartsila har pr.dags dato signert kontrakt for å ettermontere et CCS system om bord på et tankskip. Systemet som skal monteres er visualisert på figur 6. En kan se likheter mellom de to systemene, men det vil her være usikkerheter knyttet til størrelsen på de ulike komponentene.

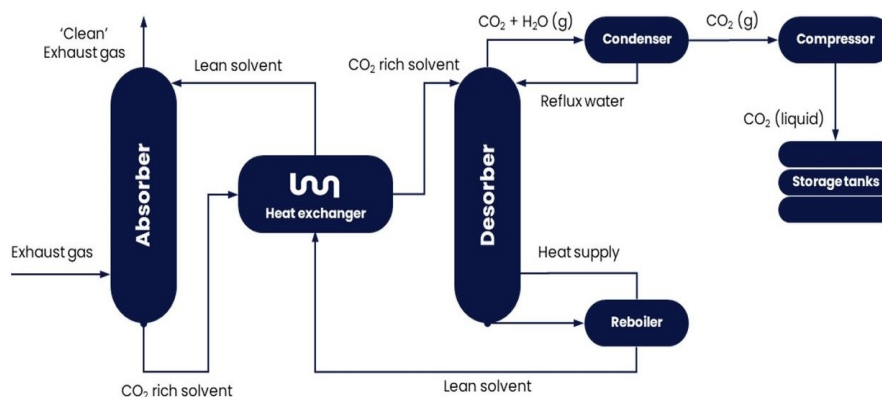


Figure 5: Illustrasjon på et landbasert CCS system (Sustainable ships)

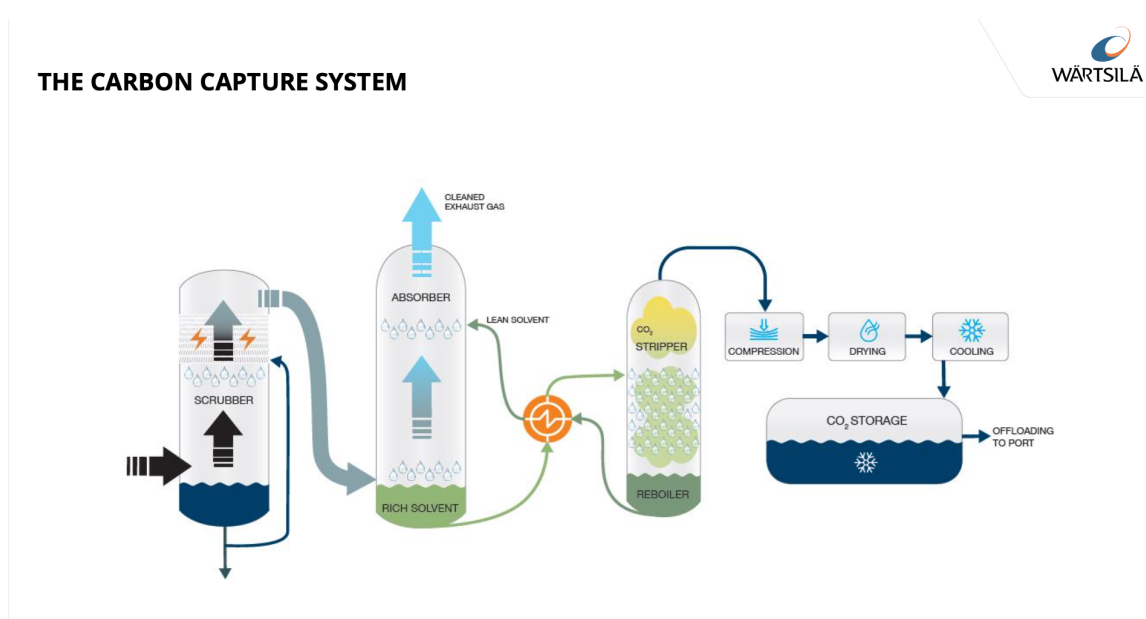


Figure 6: Illustrasjon på et skipsbasert CCS system (Wartsila)

Wartsila presiserer at det ikke vil være realistisk med en fangstrate på 90 %, men et mer realistisk tall vil være på mellom 60 - 70 %. Dette er på grunn av lastkondisjonen på motorene, hvor den må virke optimalt for å kunne kjøre karbonfangstsystemet. Effektforbruket for selve systemt anslår Wartsila at vil være mellom 10-13 %. Det vil også kreve rundt 30 % varmekonsum. Med utgangspunkt i dette ble det opplyst at tankskipet skal kunne fange opp til 50 tonn CO_2 pr dag når den for eksempel skal

krysse Atlanteren. En slik reise tar ca. 20 dager som tilsvarer en total fangst på 1000 tonn. Tankskipet skal montere tankene på dekk og trenger dermed ikke å ta hensyn til volum slik en må gjøre på mindre skip. Ved implementering av et slikt system om bord på et mindre fartøy som en PSV, vil det føre med seg komplikasjoner med tanke på tankstørrelse og systemstørrelser. Her er det foreliggende å tro at det vil føre til et kompakt skip som krever en god volumutnyttelse.

3 Problemstilling

3.1 Bunkring av LNG

Det er viktig med et godt bunkringstilbud når man skal ha et system som opererer på LNG. Ifølge et kart fra DNV, som illustrert på figur 7, er bunkringsmulighetene for LNG på Vestlandet godt etablert. Det finnes både bunkringsstasjoner og bunkringsfartøy som opererer langs kysten. I nærheten av Dusavik-terminalen ligger Risavika, som kan tilby bunkring av LNG samt MDO [6].



Figure 7: Bunkering av LNG på Vestlandet per 19.03.24 (Alternativ fuels insight, DNV)

Veksten i antall skip som bruker LNG som drivstoff har vært stabil de siste årene, med flere planlagte fartøy som potensielt kan bli en del av denne flåten. Figur 8 viser hvordan veksten i LNG-flåten er forespeilet. Blant fartøyene som er i operasjon, er det et begrenset antall som er PSV-er. I dag er det hele 36 PSV-er i drift som bruker LNG på verdensbasis. Av disse 36 driftes 18 i Norge og totalt opererer det 66 fartøy av ulike typer på LNG i Norge. Dette understreker behovet for at kystlinjen langs Norge må kunne tilby bunkring av LNG til disse fartøyene [6].

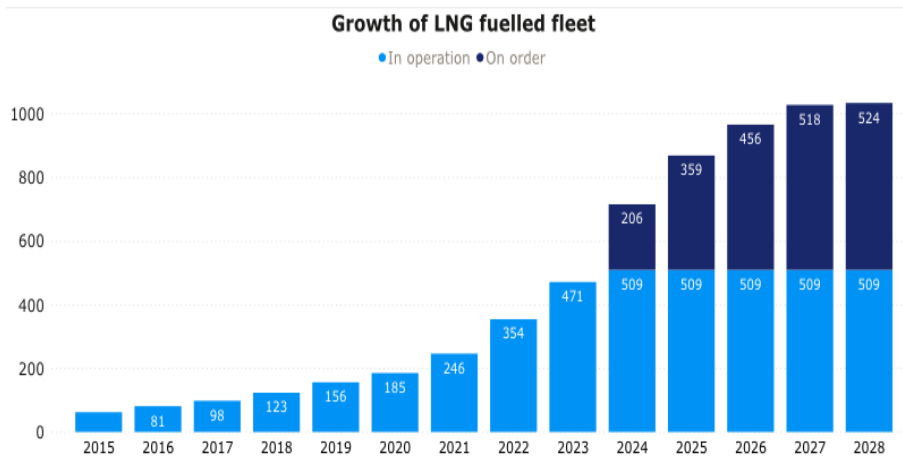


Figure 8: Vekst i LNG-flåte (Alternativ fuels insight, DNV)

Prisen på LNG har vært relativt ustabil dersom man ser på prisøkningen som skyldtes dagens verdensbilde. Figur 9 viser hvordan prisen for LNG har utviklet seg. Dette viser at dagens LNG-pris på omtrent 500 USD per tonn, sammenlignet med prisen på MDO på rundt 800 USD per tonn, er relativt lavere. Til tross for økningen i antall fartøy som bruker LNG som drivstoff, har ikke prishoppene avskrekket rederne fra å satse på LNG. Nå som prisen er på en nedadgående kurve skal en ikke se vekk ifra at redere vil se til LNG for å gjøre flåten sin mer miljøvennlig [6].

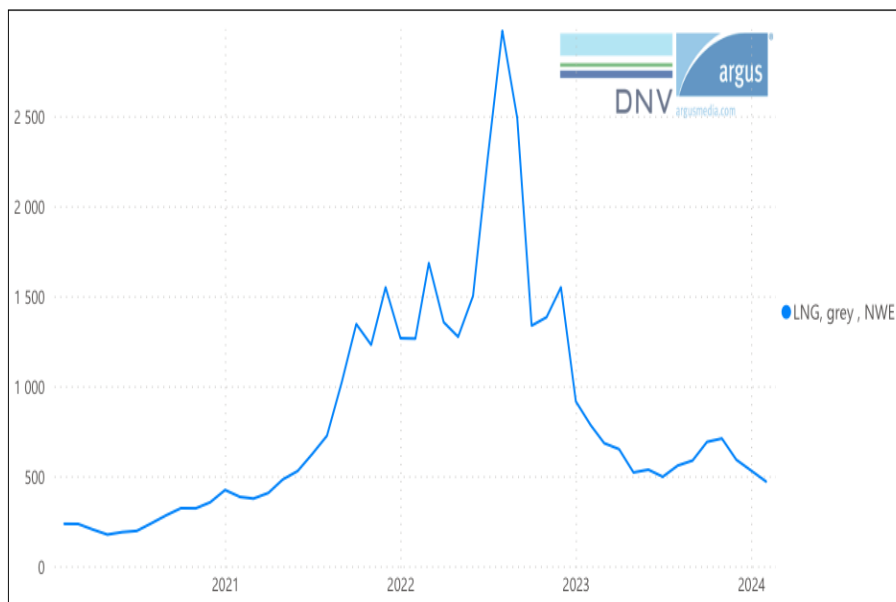


Figure 9: LNG-priser USD/t (Alternativ fuels insight DNV)

3.2 Karbonfangst system og lossing av CO_2

Karbonfangst er som sagt en ny teknologi for skipsfarten og gjør at det er lite forskning, tegninger og generelt lite kunnskap og erfaringer tilgjengelig. Her vil usikkerhetsmomentene være knyttet til systemets volum, vekt, operasjonell effektivitet og energiforbruk. Slike usikkerheter vil sette preg på en designprosess for et fartøy og dette er spesielt med tanke på vekt og volum. Dette er faktorer som direkte har innvirkning på et skips funksjon og design, og en må her gjøre vurderinger for hvilke kompromisser en må ta for å opprettholde skipets ønskede funksjoner.

Hvis vi skal bevege oss mot en fremtid der det legges større vekt på CCS, er det også nødvendig med en løsning for mottak av karbonet. Equinor har tatt initiativ til et prosjekt kalt "Northern Lights", som har som mål å utvikle verdens første infrastruktur for transport og lagring av CO_2 . Selv om prosjektet i utgangspunktet fokuserer mest på karbonfangst på land, vil det uansett bidra til å gjøre karbonfangst på skip mer gjennomførbart[23]. I Stavanger, som ligger i nærheten av Dusavik-terminalen, er det signert en intensjonsavtale for lagring og transport av CO_2 . På Forus er det ønske om at avfallsforbrenningsanlegget der skal kunne fange opp CO_2 . De mener dette vil bidra til å nå klimamålene[11]. Grunnen til at dette vil være positivt for en PSV som skal operere med CCS i dette området, er at det vurderes muligheter for havnelagring av CO_2 i Risavik. Ifølge Forus er Stavangerregionen Havn positive til dette forslaget. De mener også at Risavik er godt egnet for å kunne håndtere et slikt system [10].

Prosjekt Errai er et annet prosjekt for fangst av karbon som i Norge. Dette prosjektet er utviklet med Horisont Energi og Neptune Energy, hvor det i 2022 ble signert en intensjonsavtale om et karbonfangstanlegg i Norge [12]. Dette prosjektet skal kunne motta mellom fire og åtte millioner tonn CO_2 per år. Terminalen vil kunne motta fra ulike deler av Europa og vil være lokalisert i Gismarvik på vestkysten av Norge [22]. Disse prosjektene vil være viktige steg i veien mot utslippsreduksjonen og det er viktig at ulike aktører ser viktigheten av dette. Hvis disse prosjektene blir gjennomført vil det kunne bidra til å gjøre prosjektet med å ha et CCS system på fartøy mer mulig.

4 Fremgangsmetode

Fremgangsmetodene for denne designprosessen er en samlet prosess som tar inspirasjon fra flere ulike metoder. Disse metodene er designspiralen som kommer frem i Kai Levander sin fremgangsmåte [19] og er en klassisk fremgangsmetode innen skipsdesign. Denne metoden sammen med den systematiske fremgangsmåten fra [5] har lagt grunnlag for designprosessen i denne oppgaven.

4.1 Designprosess

Designprosessen tar utgangspunkt i fire hovedseksjoner som er listet under:

- Initial fase
- General design
- Basic design
- Detail design

Her er den initiale fasen markert med grønn farge og representerer de første møtene med oppdragsgiver. Fra disse møtene ble det satt kravspesifikasjon for videre arbeid. Fra kravspesifikasjonene blir det så utforsket hvilke muligheter som kan oppfylle disse kravene. Disse mulighetene kan dermed vurderes opp mot dagens løsninger og sette perspektiver på hva som er nødvendig i dagens marked.

Videre kan designblokker som oppfyller kravene som tankkapasitet, teknisk utstyr og nødvendig volum implementeres i 3D-program for å kunne visualisere mulighetene for plassering innad i et skrog. Etter mulighetene er vurdert blir

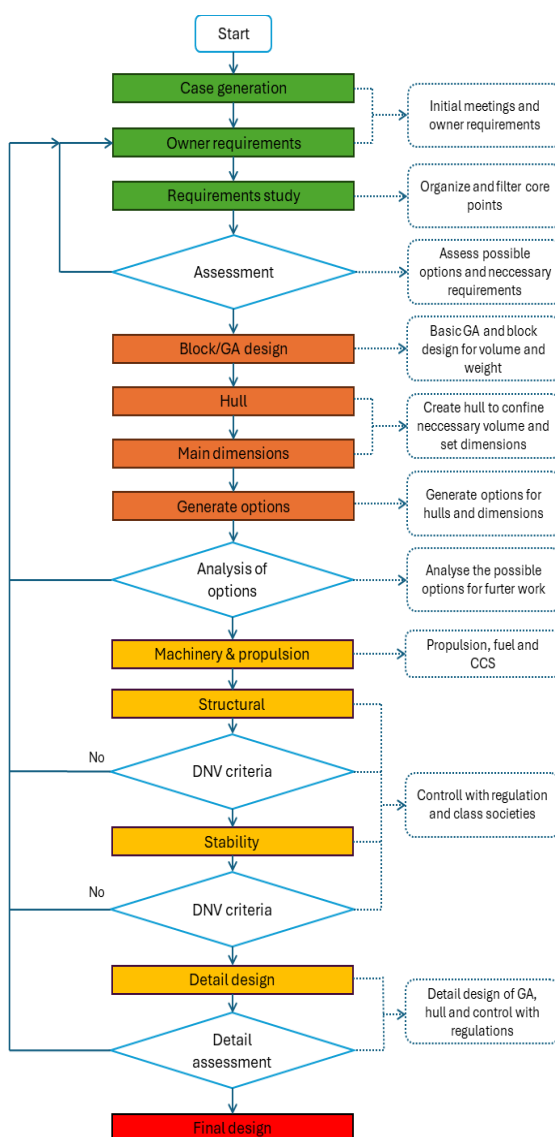


Figure 10: Designprosess

enkle GA skisser konstruert sammen med et mulig skrog. Skroget, GA og design-blokker blir vurdert opp mot referanseskip som oppfyller kravene for lastekapasiteten og for et oppfyller kravene for LNG drift. Overnevnte tegninger vil derfra bli vurdert opp mot kravspesifikasjoner og det vil her bli generert ytterligere muligheter for hoveddimensjoner og tankplassering.

Mulighetene er nå lagt for å kunne se på hvilke anvendelser en kan benytte for LNG og karbonfangst. Disse har sine egne kraft og plassbehov som gjør at statistikk og referanseskip ikke kan benyttes som hovedgrunnlag. De neste hovedpunktene som struktur og stabilitet sjekkes opp mot klassekrav og annet regelverk. Når dette er klargjort og kontrollert vil en kunne starte på detaljdesign og utarbeide ytterligere muligheter som kan kontrolleres opp mot gjeldende krav og designbegrensninger.

4.2 Mulighetsanalyse

Med utgangspunkt i kravspesifikasjonene er det mulig å kunne danne seg et bilde av skipets nødvendige størrelse og innhold. Det er dermed interessant å kunne vurdere disse opp mot hva som er standard i markedet og hvordan kravspesifikasjonene vil variere fra normen.

For å kunne gjøre dette er det valgt å vurdere disse kravene i en Shall/Should vurdering, hvor "Shall" kolumnen inneholder kravspesifikasjonene og "Should" kolonnene er gjennomsnittlige tall fra rundt 70 skip i PSV-flåten som opererer i nordsjøen. Skipsdatan er hentet fra FOSlive [9] sin oversikt over spotmarkedet i nordsjøen. Tabell 1 viser disse verdiene og denne indikerer at skipet for denne oppgavene ligger i det lave sjiktet av nødvendig volum. Verdiene i kolonnen "Shall" er som sagt ikke for et spesifikt skip, men et gjennomsnitt og dette kombinert med at flere av tankene kan kombineres med ulike laster fører til at verdiene kan virke høye. Dette er tatt i betraktning videre i sammenligningen, men gir uansett et godt blikk på hvordan skipet vil kunne sammenlignes med dagens tonnasje. Skipet vil kun basert på tabell 1 være et mindre dimensjonert skip en dagens tonnasje. Skip innenfor "Should" kolonnen er skip med lengde i området 80-90 meter, bredde mellom 17-20 meter og dypgang mellom 6 - 7.5 meter.

Table 1: Shall/Should

Requirements	Shall	Should
Payload		
Deck area	700 m^2	900 m^3
Mud & brine	400 m^3	800 m^3
Methanol	150 m^3	230 m^3
LFL products	350 m^3	250 m^3
Potable water	500 m^3	1000 m^3
MDO	300 m^3	1000 m^3
Drillwater & ballast	900 m^3	1500 m^3
Cement/dry bulk	0 m^3	350 m^3
Performance & machinery		
Service speed	10	12
Maximum speed	14	14
Dynamic positioning	Class 2	Class 2
Accommodation		
Crew	23	23

Kun basert på en vurdering av lastevolumet, tilsier dette at skipet vil være et mindre skip en dagens tonnasje. Tar en utgangspunkt i lastedekket ser en at skipene som har rundt 700 m^2 lastedekk er relativt gamle skip, men gir en indikasjon på lengden og bredden på skipet. Figur 12 og 11 viser LOA og bredde opp mot dekkarealet. Her er fokusområdet rundt 700 m^2 markert i grønn. Dette viser et område for lengde mellom 75 - 80 meter og en bredde mellom 16 - 18 meter.

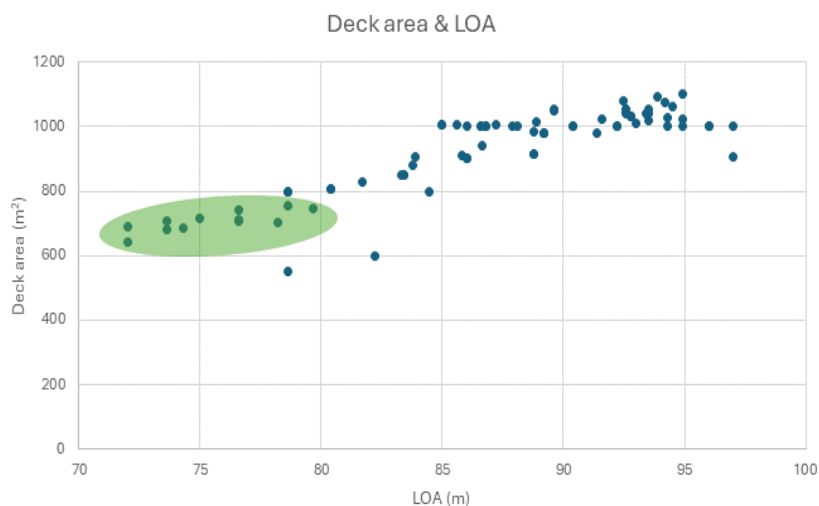


Figure 11: LOA & deck area

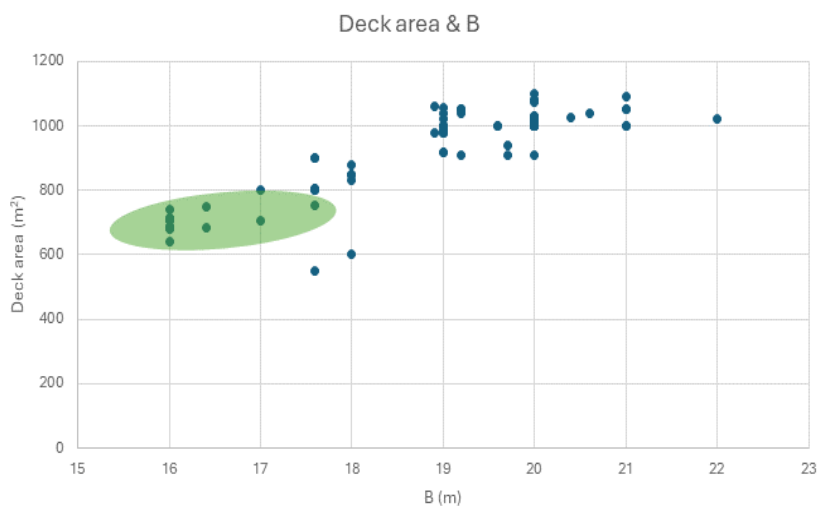


Figure 12: B & deck area

Statistikken som ble benyttet for denne sammenligningen er basert på skip som for det meste har dieselmotorer for kraftproduksjon. LNG har lavere tetthet og krever dermed et annen designfremgang for å kunne nyttegjøre volumet på en effektiv måte. Dette kombinert med at skipet skal være utstyrt med karbonfangst, krever at fremgangsmåten for volumavgrensning må ta utgangspunkt i nødvendig volum for last og nødvendig volum for LNG, CCS og deres respektive systemer. Fra DNV [6] får en innsikt i hvor mange skip som driftes på LNG og deres respektive dimensjoner. Figur 13 viser her nybygde PSVer med LNG opp mot dekkarealet. Dekksarealet ligger rundt 1000 m^2 og LNG kapasiteten fra 200 til 250 m^3 . Dette er igjen overdimensjonerte skip med LOA opp mot 95 meter, men gir en indikasjon på nødvendig mengde LNG i forhold til hoveddimensjoner.

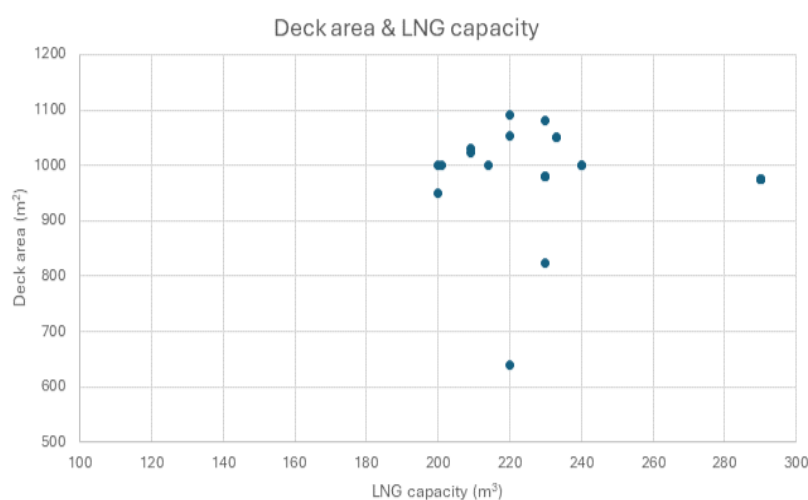


Figure 13: Deck area & LNG

Ut fra informasjonen over kan en danne seg noen rammer for videre arbeid. Med utgangspunkt i det totale lastevolumet for kravspesifikasjonen på $V_{Cargo} = 2600 m^3$ kan en gjøre grove estimater for volumdeplasement. Antar en så en gjennomsnittlig tetthet på $1.5 t/m^3$ for lasten og en blokkoeffesient på 0.7 så kan en fra Maxsurf gjøre et overslag på LNG kapasitet og videre på karbonfangstkapasitet. Dette kan videre antas som halvparten av volumdeplasementet og fra dette kan en sette opp rammer for lengde, bredde og dypgang.

Fra Maxsurf resistance ble et vilkårlig skrog med gitt blokkoeffesient og dimensjonene $L = 80m$, $B = 18m$ og $T = 6m$ testet med Holtorps metode for motstand. Dette resulterte i motstand på 500 kW ved 10 knop. Dette gir en mengde LNG lik $50 m^3$ for transitt med en total virkningsgrad lik 0.5 for den gitte kravspesifikasjonen. Tar en så utgangspunkt i $100 m^3$ LNG for hele operasjonen og fangstratene som nevnt i avsnitt 2.4 gir en kapasitet for karbonfangst på $80 m^3$ med en utslipsfaktor for LNG lik $E_{facLNG} = 2.75$. Dette gir grunnlag for følgende antagelser:

$$V_{Cargo} + V_{LNG} + V_{CCS} = \frac{1}{2} \cdot \nabla = \frac{1}{2} \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_b$$

$$\frac{2 \cdot (V_{Cargo} + V_{LNG} + V_{CCS})}{C_b} = L \cdot B \cdot T$$

$$\frac{2 \cdot (2600m^3 + 100m^3 + 80m^3)}{0.7} = L \cdot B \cdot T$$

$$7943 = L \cdot B \cdot T$$

På denne måten kan de første hoveddimensjonene grovt utarbeides og vurderes opp mot statistikk og tidligere data. Fra dette ser en at lengden i området 77 - 85 meter, bredden i området 16 - 18 meter og dypgang i området 5.2 - 6 kan være muligheter for videre arbeid. På denne måten ser en at utarbeiding av hoveddimensjoner er uendelig og en må konkretisere mulighetene før videre arbeid.

4.3 Referanseskip

For å kunne konkretisere hoveddimensjonene ble det valgt å benytte referanseskip. Dette for å kunne kontrollere nødvendig volum opp mot en mulig tankplassering og deretter kontrollere hoveddimensjoner. Her er det valgt ut to referanseskip, et for kontroll av lastevolum og et for å kontrollere plassering og mengde av LNG. Referanseskipet for lastevolum er Tantalus Tide, tidligere Normand Tantalus. Dette skipet oppfyller alle krav i kravspesifikasjonen og er i det lave sjiktet av statistikken. Referanseskipet for LNG er Siem Symphony som er operert av Siem Offshore. Dette skipet har en tankkapasitet på $230 m^3$ LNG og er i det høyere sjiktet av statistikken. Figur 14 viser begge referanseskipene.



Figure 14: (V) Tantalus Tide, referanseskip lastekapasiteter. (H) Siem Symphony, referanseskip LNG lagring

PSVer er ofte kompakte og nyttegjør volum effektivt. Figur 15 viser tanktop dekket til Tantalus Tide og dette er det en kan kalle en standard tankplassering for last. Her er lastetankene plassert jevnlig langs hele dekket og gir rom for endringer. Til sammenligning viser figur 16 hvordan en inkludering av LNG tank, markert i gult, fører til en svært kompakt dekkarrangement. Det er derfor påfallende å anta at en inkludering av et karbonfangst system i et allerede kompakt design vil gå på bekostning av volum i de øvrige dekkene. Kravspesifikasjonen tilsier at designet vil være et mindre skip, men med en vurdering av størrelsen på karbonfangstsystemet kan en tenke seg at skipet vil dimensjoneres over det nedre sjiktet av statistikken.

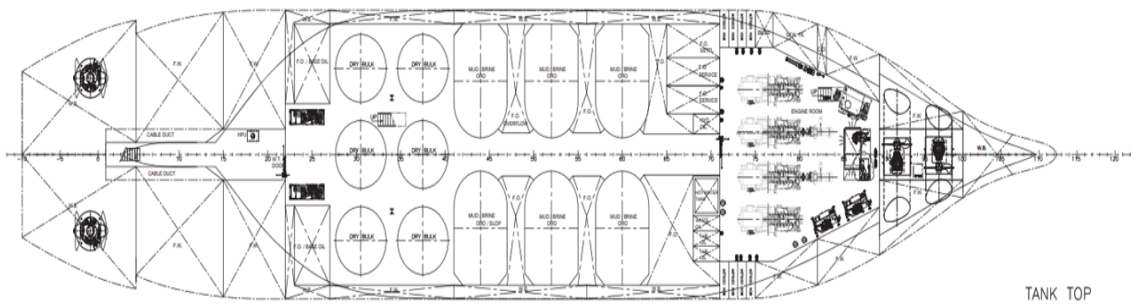


Figure 15: Tantalus Tide tank top (Tidewater)

Utover LNG tanken og systemene er referanseskipene tilsynelatende like i tankplassering. Designet for denne oppgaven behøver ikke tanker for tørrbulk som gjør at en kan se vekk fra de sirkulære tankene plassert i senter av begge referanseskipene. Dette frigjør en del volum, samt at tankene for resterende last er lavere enn normen. Dette gir mange muligheter med tanke på tankplassering.

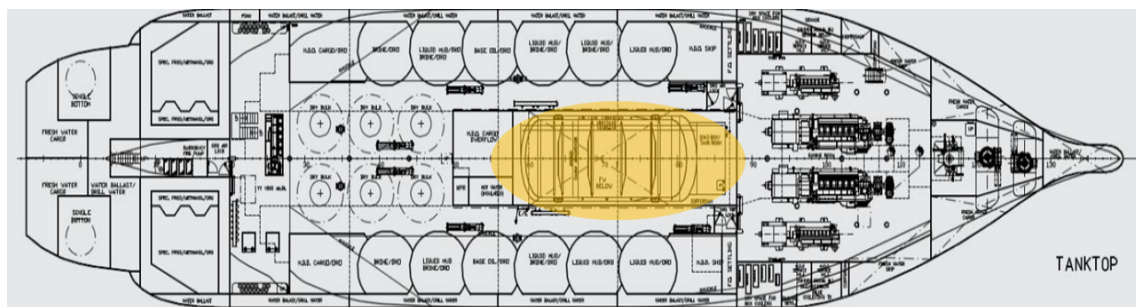


Figure 16: Siem Symphony tank top (Wartsila)

Tabell 2 viser hoveddimensjoner for referanseskip og den viser en stor likhet mellom skipene med tanke på lastekapasitet. Som nevnt over vil ikke dette designet inneholde tanker for tørrbulk som frigjør mye volum i akterskipet.

Table 2: Referanseskip informasjon

Ship specifications	Tantalus Tide	Siem Symphony
LOA	82.2 m	89.2 m
B	17 m	19 m
D	7.6 m	9 m
T	6.3 m	7.4 m
DWT	4030 t	5500 t
Deck area	810 m^2	964 m^2
MDO	920 m^3	915 m^3
Fresh water	800 m^3	820 m^3
Drillwater/ballast	1810 m^3	1850 m^3
Dry bulk	340 m^3	330 m^3
Mud / brine	980 m^3	930 m^3
Methanol	100 m^3	345 m^3
Base oil	250 m^3	230 m^3

4.4 Systeminndeling og volumavgrensning

PSVer kan grovt sett deles inn i to hoveddeler basert på systemer. Disse systemene er det som kreves for oppdraget og det som kreves for å drifte skipet. Disse delene kan ytterligere deles inn i forskjellige systemer som vist på figur 6. Her er ikke lastedekket inkludert som et system da dette er utenforliggende av det som regnes som et teknisk system. Systemene er fargekodet for å kunne bedre visualisere dette videre i oppgaven.

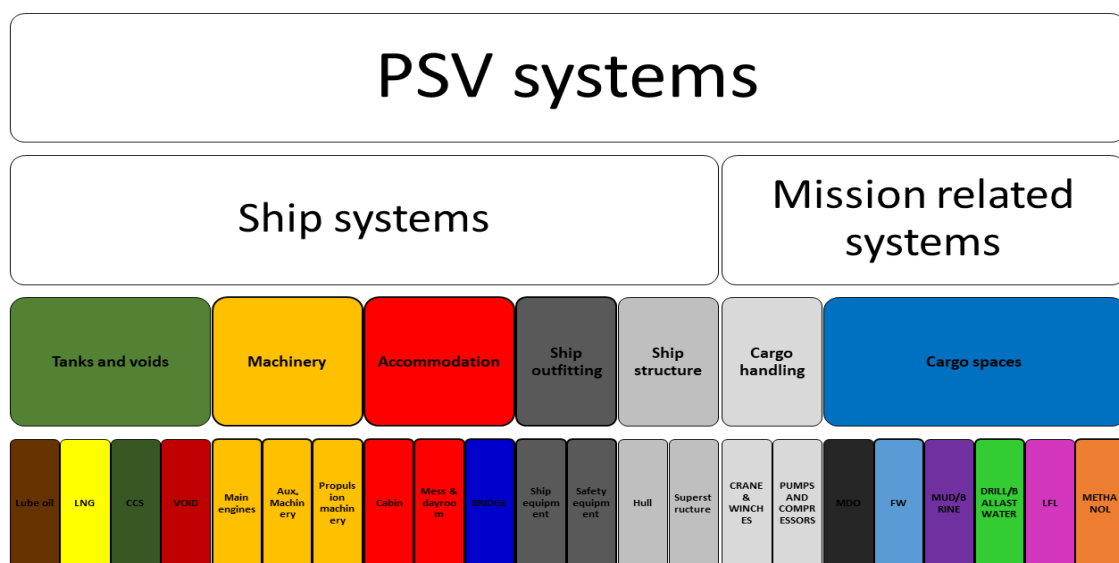


Figure 17: Systeminndeling for PSV

Cargo spaces

Lagringskapasiteten om bord på et PSV-fartøy er nøye organisert for å håndtere ulike typer laster effektivt. Den inkluderer flytende bulklaster, tørr bulklaster og stykk-gods. Flytende laster blir oppbevart i lastetanker under hoveddekket, som er spesielt designet for dette formålet. På samme måte blir den tørre bulklaster fraktet i spesielle tanker, som vanligvis er sirkulære å tåle trykk og forhindre opphopning av last i hjørnene.

Stykkergods, som containere, borerør og annet utstyr, blir lagret på lastedekket. Dette dekket må være robust og kan bære en betydelig vekt, vanligvis minst $1.5 t/m^2$, men ofte kan tallet gå helt opp til $10 t/m^2$. For å beskytte både lasten og dekket, brukes det ofte et lag med tre som fungerer som et slitesterkt materiale og demper støyen om bord i skipet. For å sikre sikkerheten til mannskapet og lasten, er lastedekket omgitt av en høy skanseledning. Denne kledningen gir ikke bare muligheter for lagring, men fungerer også som en sikker passasje for mannskapet, og bidrar til å forhindre utilsiktede fall eller skader på sjøen.

Cargo handling

For å effektivt håndtere lasten om bord, må skipet være utstyrt med nødvendig lasthåndteringsutstyr. Dette inkluderer pumper som kan flytte lasten fra skipet til plattformen. For den tørre bulklaster er kompressorer avgjørende for å trykks sette tankene, noe som muliggjør en enkel losseprosess.

Når det gjelder lasten på dekk, kreves det kraner for å gi mannskapet muligheten til å flytte lasten sikkert rundt på dekket. Disse kranene kan være fastmontert i forkant av lastedekket, eller de kan bevege seg på skinner langs skanseledningen. Den sistnevnte løsningen gir mannskapet en større rekkevidde, slik at de kan utføre lastehåndteringsoperasjoner mer effektivt.

Ship structure

Skipet er generelt delt inn i tre hoveddeler: forskipet, midtskipet og akterskipet. Midtskipet omfatter området som inneholder lastedekket, lastetanker. Akterskipet består i hovedsak av fremdriftsmaskineri og tanker. Forskipet, derimot, består hovedsakelig av maskinrom med tilhørende tekniske rom, overbygg med innredning og styrhus. Skroget omslutter det hele.

Skroget er utformet for å optimalisere hydrodynamiske effekter, noe som betyr at det er designet for å redusere motstand og forbedre skipets ytelse i vannet. Samtidig må skroget være stabilt nok til å takle ulike lasteforhold og varierende sjøtilstander.

Ship outfitting

Innenfor skipsutstyr finner man et bredt spekter av utstyr som er avgjørende for drift og sikkerhet om bord på skipet. Dette inkluderer både driftssystemer og navigasjonssystemer, samt utstyr som sikrer skipets fremdrift og sikkerhet.

Driftssystemer omfatter et mangfold av systemer som er essensielle for skipets operasjonelle funksjonalitet. Dette kan inkludere navigasjonssystemer som radar, GPS og automatiske identifikasjonssystemer (AIS) for å overvåke og navigere skipets bevegelser. Fremdriftssystemer, som thrustere og dynamisk posisjoneringssystemer (DP-systemer), bidrar til å sikre at skipet kan manøvreres sikkert, spesielt under krevende forhold som dårlig vær eller trange farvann.

Accommodation

Innredningen om bord i et skip er nøye planlagt og organisert for å imøtekomme behovene til mannskapet og eventuelle klienter om bord. Lugarene er en viktig del av innredningen og er vanligvis delt inn i separate områder for mannskap og klienter. Lugarene skal være romslige nok til å gi tilstrekkelig plass for mannskap og inneholde alt nødvendig utstyr som en person kan trenge under oppholdet.

Machinery

Maskinkomponentene om bord i et skip blir vanligvis delt inn i to hovedkategorier: hovedmaskineri, som genererer kraft for fremdrift, og hjelpemaskineri, som produserer kraft til hotellast og andre funksjoner. Innenfor et dieselelektrisk system blir kraften produsert av motorer og deretter distribuert til ulike forbrukere gjennom hovedtavlen.

Alle motorer krever støttesystemer for å fungere effektivt, inkludert systemer for smøreolje, drivstoff, kjølevann og komprimert luft. I tillegg til motorstøttesystemene, er det en rekke andre systemer om bord i et skip som er avgjørende for driften. Dette kan inkludere hydraulikkssystemer, ballastsystemer for stabilitet og trim, og vannproduksjonssystemer for forsyning av ferskvann til mannskapet og andre behov.

Tanks and voids

Skipet er konstruert med en rekke type tanker for å oppbevare ulike typer væsker som er essensielle for drift og funksjon. Disse tankene inkluderer tanker for drivstoff, ferskvann, smøreolje og ballastvann. I tillegg til lagringstankene, er det voidspaces om bord. Disse voidspaces er tomme, lukkede tanker som fungerer som en buffersone mellom lasten og områdene rundt. De bidrar til å isolere lastområdene og beskytte dem mot eventuelle lekkasjer eller skader som kan oppstå.

4.5 Konfigurasjoner

Fra den øvrige informasjonen kan en strukturere skipet og nødvendig volum. Med utgangspunkt i Tantalus Tides hoveddimensjoner og Siem Symphonys LNG kapasitet gir dette følgende mulighet som illustrert på figur 18 og 19. Dette gir noe rom for endring i akterkant av skipet, men et karbon fangstsystem vil gå på bekostning av øvrige dekk.

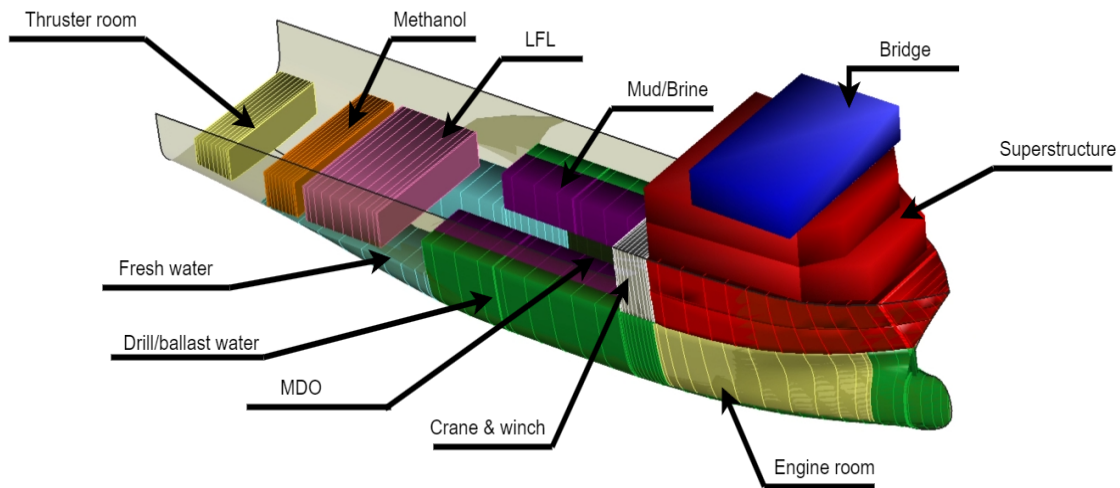


Figure 18: Første gjennomgang av tankplassering

LNG tanken som vist på figur 19 tar utgangspunkt i plassering og størrelse fra Siem Symphony. Dette er for å kunne utforske et maksimalt volum for LNG og dermed kunne nedskalere om nødvendig. Med utgangspunkt i 230 m^3 LNG, utslippsfaktor $E_{facLNG} = 2.75$ og en fangstrate på 70 % kan en beregne seg til en nødvendig tankkapasitet for karbon på rundt 190 m^3 . Dette inkluderer ikke systemvolum, men kun tankkapasitet.

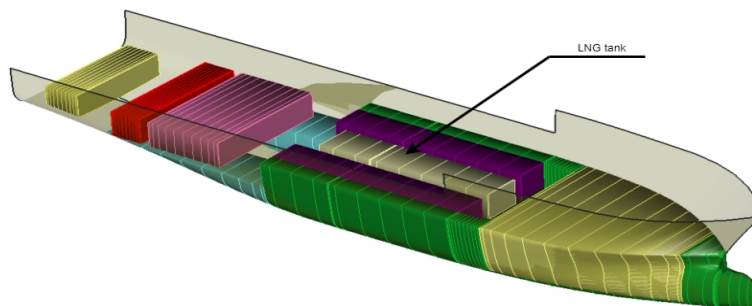


Figure 19: Implementering av LNG tank

For plassering av karbonfangsten ble det sett på to muligheter. En mulighet består av å integrere tankene, som gjør at en kan benytte seg av ledig volum under hoveddekk eller eventuelt benytte seg volumet i overbygget. Dette setter krav til isolasjon og andre sikkerhetsaspekter som en finner hos LNG systemene. Løsningen i overbygget vil kunne enklere integreres sammen med LNG systemene for å hente ut eventuelle faktorer som LNG fører med seg som lave temperaturer. Figur 20 viser to muligheter for integrering av tankene. Mulighet 1 (til venstre i figur 20) viser hvordan det er mulighet å plassere tankene under dekk. Dette fører til et trangere lastedekk, men holder hoveddimensjonene uendret. Mulighet 2 (til høyre i figur 20) viser hvordan en kan plassere karbontankene over maskinrom. Dette plasserer tankene i nærheten av eksosrørene og kan dermed føre til et mindre rensesystem med tanke på rør og annet utstyr. En slik løsning vil føre til en økning i hoveddimensjonene for å opprettholde volum til overbygg.

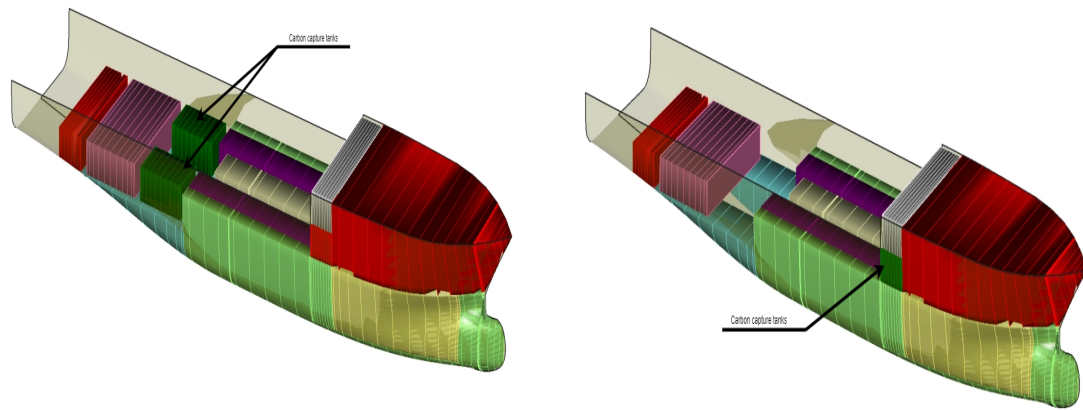


Figure 20: Integrerte tanker

Den andre muligheten som ble vurdert var å plassere i nærheten eller på lastedekket. Figur 21 viser to muligheter for plassering av tanker på dekk. Dette fører med seg at hoveddimensjonene må økes for å kunne opprettholde dekkarealet på 700 m^2 . Dette kan om mulig gjøre at en kan gå vekk fra begrensningene om isolasjon siden tankene vil være utenfor skipet. Systemet for behandling av eksosen krever et stort volum som igjen setter begrensninger for hvor en kan plassere karbonsystemet og tankene. Dette bør være i nærheten av casingen og være plassert slik at en unngår unødvendig store systemer. Systemet kan heller ikke gå på bekostning av dekksutstyret.

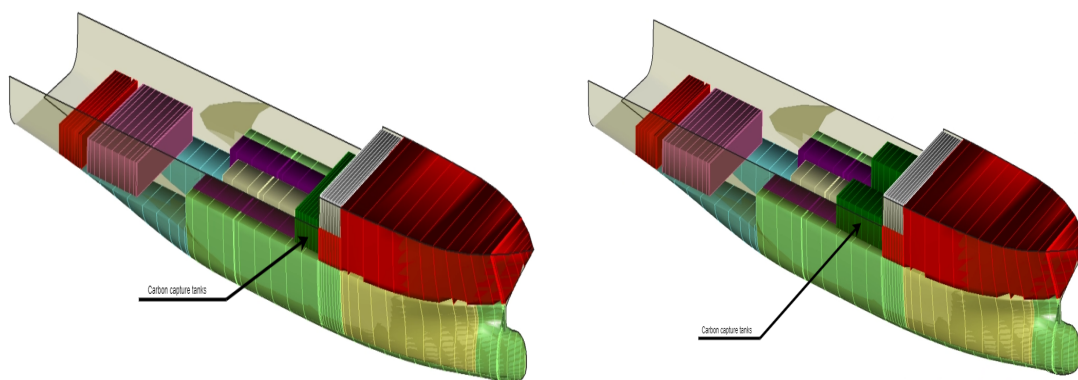


Figure 21: Tankplassering på lastedekk

Konfigurasjonene over ble delt opp i blokker og disse hadde samme volum under de ulike plasseringene. Tabell 3 viser hvordan hvor mye totalt volum som ble avsatt i skroget til nødvendige laster. Usikkerhetsmomentene knyttet til systemstørrelsen for LNG og CCS gjør at løsningen å plassere karbonfangsten opp i overbygget blir vurdert for videre arbeid. Dette medfører en økning i total lengde fra referanseskipet om tankkonfigurasjonen under dekk skal opprettholdes.

Table 3: Konfigurasjoner for systemdesign

ITEM	NO. DESIGN BLOCKS	VOLUME
BW/DW	4	910 m^3
MDO	2	300 m^3
METHANOL	1	150 m^3
LFL	1	350 m^3
FW	2	500 m^3
MUD/BRINE	2	410 m^3
ENGINE & THRUSTER ROOM	3	1320 m^3
SUPERSTRUCTURE	4	2900 m^3
BRIDGE	1	450 m^3
LNG	1	230 m^3
CCS	1	190 m^3
CRANE & WINCH	1	320 m^3
SUM	21	7610 m^3

5 Systemdesign

Når det skal gås videre med en av de prosjekterte løsningene, er det viktig å vurdere både fordeler og ulemper med hver løsning. For å følge den etablerte designprosessen, vil det argumenteres for den valgte løsningen før det presenteres en enkel tegning. Dette vil gi et grunnlag for å fastsette hoveddimensjonene som kan danne utgangspunktet for videre arbeid.

5.1 Valgt konfigurasjon

For å evaluere en integrert løsning mot en løsning på lastedekket, kan en anta at det ville vært enklere å utforme en løsning på lastedekket. Likevel, ville dette ikke være det ideelle alternativet for fartøyet. Det vil miste betydelig funksjonalitet ved at lastedekket blir opptatt av store karbontanker. Selv om det er mulig å ignorere utfordringene knyttet til isolasjon og plass, er en integrert løsning er både gjennomførbar og den mest passende for en PSV.

Et integrert system presenterer, slik en ser det, to potensielle tilnærminger. Man kan enten plassere tanken under hoveddekket sammen med de øvrige lastetankene, eller man kan plassere den bak i overbygget i nærheten av CCS-systemet og eksosrørene. Å posisjonere tanken et stykke unna CCS-systemet antas å innebære en rekke usikkerheter og utfordringer relatert til transporten av CO_2 fra systemet til tankene.

Siden det også er en del usikkerhet knyttet til størrelsen og selve systemet velges det å gå for løsningen å ha tankene i nærheten av eksosen og systemet. Dette vil bli gjennomført med å sette av et areal som vil være stort nok for størrelsen av tanken ut fra antagelser av CO_2 fangst. Plassering av karbonfangst-systemet i nærheten av LNG-systemet og casing vil gjøre at vi enklere kan dra nytte av varme og kulde ifra disse systemene. Denne løsningen krever som sagt en økning i hoveddimensjoner, men ikke til den grad som en plassering av tank på dekk vil gjøre.

5.2 System skissering

Med utgangspunkt i den valgte løsningen for integrerte tanker, men plassert i hoveddekket og integrert i overbygget kan en starte og plassere tanker innad i skroglinjer. Utgangspunktet for skroglinjene er skroget som ble benyttet for den grove tankplassering i avsnitt 4.5. Figur 22 viser denne løsningen hvor karbonfangst tanken og

systemet er markert i grønt og LNG tanken er markert i gult. Her er det satt av stort areal for mulige endringer og for usikkerhetene som er knyttet til systemene LNG og karbonfangst. Vist i grønt på figur 22 er at casingen er plassert i nærheten av karbonfangst-systemet og er i tillegg plassert i nærheten av LNG-systemet. Dette er et viktig utgangspunkt for å kunne nyttegjøre seg av varmen og kulden fra de respektive systemene og for å unngå unødvendig systemstørrelse.

Lastetankene er plassert på en hensiktsmessig måte i henhold til referanseskip, men også for å gi en mulighet for endring videre i prosjektet. Forut for LNG tanken er det også satt av rom for LNG utstyr og tavlerom. Det er her ikke tegnet inn nødvendig isolasjon og kofferdammer for noen av systemene, men det er rom for å implementere dette. Sytemene som vist i figur 6 og 3 viser at det vil være nødvendig med stort volum både til systemene i seg selv, men det må også tas hensyn til sikkerhetsfaktorene som isolasjon og kofferdammer.

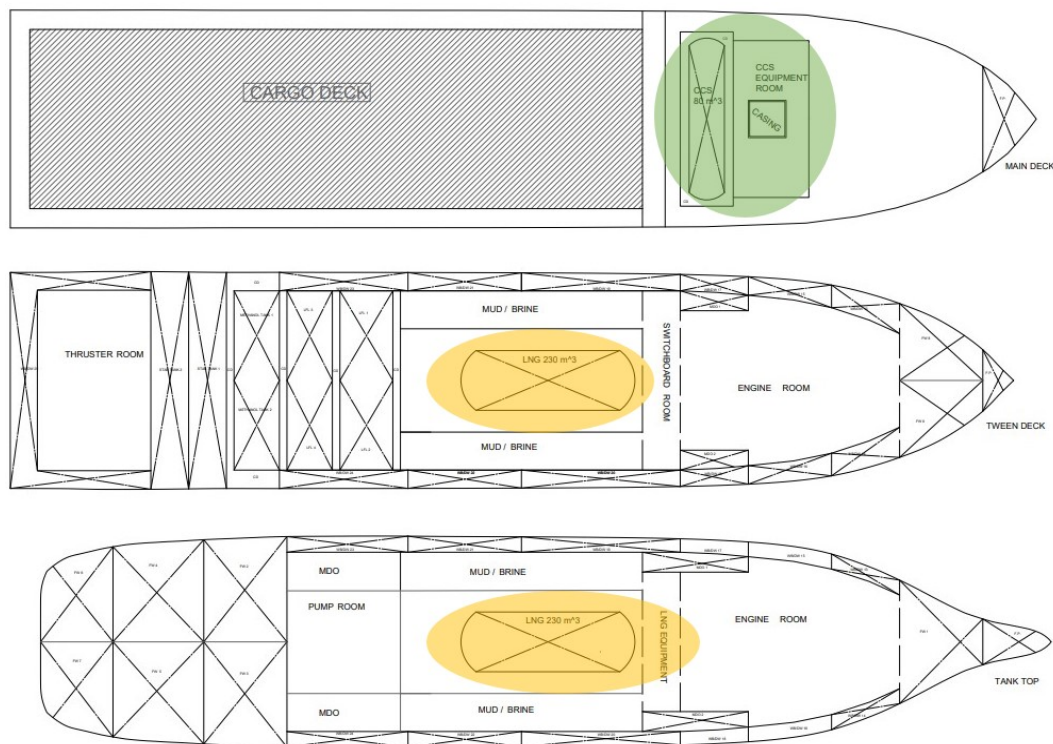


Figure 22: Basic system design

6 Hoveddimensjoner

6.1 Diskusjon rundt foreløpige dimensjoner

Det er viktig med en grundig analyse av hoveddimensjonene til et fartøy. Hoveddimensjonene til et fartøy sier en del om skipets egenskaper og karakteristikker. Ulike krav og regelverk kan ha innvirkninger på dimensjonene. For å optimalisere skroget finnes det noen grunnleggende prinsipper en kan se på.

6.1.1 Lengde, bredde, dypgang og dybde i riss

Den vanligste måten å bestemme lengden på er å se på historiske data. En normal lengde for PSV vil ligge rundt 80 til 90 meter. Lengden forteller noe om fartøyets evne til å bevege seg gjennom sjøen og dens stabilitet.

Bredden på fartøyet vil også ha mye å si for stabiliteten, men også fyldigheten. Her er det også vanlig å se på historiske data. Generelt vil en høyere bredde føre til bedre stabilitet, men også høyere motstand og dårligere manøvrerbarhet i sjøen.

Disse to parameterene har stor innvirkning på hverandre. Et høyt forhold mellom lengde og bredde vil gi egenskaper som mindre motstand og større evne til manøvrerbarhet. Motsatt gir et lavt lengde bredde forhold mer stabilt fartøy, med høyere motstand. Økt motstand fører til mer drivstofforbruk noe en vil unngå når en prøver å prosjektere en klimavennlig PSV.

Dypgangen forteller om høyden fra kjølen til vannlinja. Her er det viktig å finne riktig dypgang slik at balansen mellom stabilitet og motstand blir best mulig. Dybde i riss er høyden fra kjølen til første gjennomgående dekk. Denne forteller sammen med dypgangen hvor mye fribord det er. Denne blir stort sett avgjort av hvor mange dekk en trenger og høyden på disse.

Lengde/bredde-forholdet kan gi innsikt i et fartøys egenskaper, på samme måte kan forholdet lengde/dybde i et fartøys konstruksjon fortelle oss noe om dets styrke. Et høyere forhold indikerer større påkjenninger på skrogets bjelke, som kan føre til økt risiko for bøyning og deformasjoner. På en annen side, et lavere lengde/dybde-forhold tyder på et sterkere skrog som er bedre i stand til å motstå slike krefter og opprettholde sin strukturelle integritet.

6.1.2 Blokkoeffisient

Blokkoeffisienten (C_b) forteller en god del om skipets form og motstand i sjø. Den defineres etter hvor godt skipet klarer å fylle sin egen blokk. Lav C_b forteller at fartøyet har en slank form, som kan være en fordel å ha når lasten er lav og en vil ha økt hastighet. En høy C_b sier at fartøyet er fyldig, og forteller dermed det motsatte enn lav C_b . For en PSV vil normalt C_b ligge et sted mellom 0.65 og 0.75. Til sammenligning vil det for store fyldige laste/bulkskip vil C_b nærme seg 0.9 grunnet dets behov for å frakte stor og tung last.

6.2 Hoveddimensjoner for videre arbeid

Ut fra dette forarbeidet og ytterlige forsøk på å dimensjonere et skrog som kan passe til last og system, har noen områder for hoveddimensjoner vist seg aktuelle:

- Lengde: 80 - 85 m
- Bredder: 17 - 18 m
- Dybde i riss: 6.8 - 8 m
- Blokkoeffisient: ca. 0.7
- Dypgang: 6 - 7 m
- Deplasament: 6000 - 6500 m^3

Lengden til fartøyet avhenger av mange faktorer. Dekksarealet som er på $700m^2$ vil trekke ned nødvendig lengde, samtidig vil systemer som LNG, CCS og andre tanker bidra til å øke lengden. Figur 22 viser at det skal være mulig å implementere en slik løsning mellom 80-85m. Ut fra denne lengden vil dette også gi nødvendig plass til innredning.

Fartøyet skal ikke ha noe spesielt energikrevende hastighet som gjør at en kan være fleksibel på bredda og øke lengde/bredde forholdet. Her viser også figur 22 at lastedekket, samt skanseledning går opp med bredden. Dybde i riss vil være avhengig av antall dekk og høgden på disse. Dekk opptil "main-deck" vil bestå av "tank-top" og "tween-deck". Eksempelvis vil 1m dobbelbunn og dekkshøyde på 3.2m gi dybde i riss på 7.4m. Her vil dog regelverk for dobbelbunn bestemme nødvendig høyde. C_b vil avhenge av fyldigheten som er nødvendig for tankkapasiteten. Som nevnt skal ikke fartøyet ha en betydelig stor hastighet så her har en litt å gå på.

Kravspesifikasjonen forteller oss om en dødvekt på 3500 tonn. Statistisk sett er deplasementet for en PSV rundt $7000m^3$, men da for 5 meter lengre skrog og mer last.

7 Skrogutforming

Når en har klart å etablere et område for hoveddimensjon som en tenker at kan fungere for fartøyet, kan en begynne å utforme et skrog til disse dimensjonene. Denne utformingen gjøres i Maxsurf. Her er det viktig i startfasen å ta inspirasjon etter et kjent skrog, gjerne referanseskipets. Deretter kan en sjekke at en får de ulike verdiene for lastekapasiteten til å gå opp innenfor skroglinjene.

Det har vært prøvd mange hoveddimensjoner iløpet av design-prosessen. Dette har gjort at det har blitt snevret inn på hoveddimensjonene nevnt i avsnitt 6.2. I figur 23 kan en se fremgangen i utviklingen av skrog.

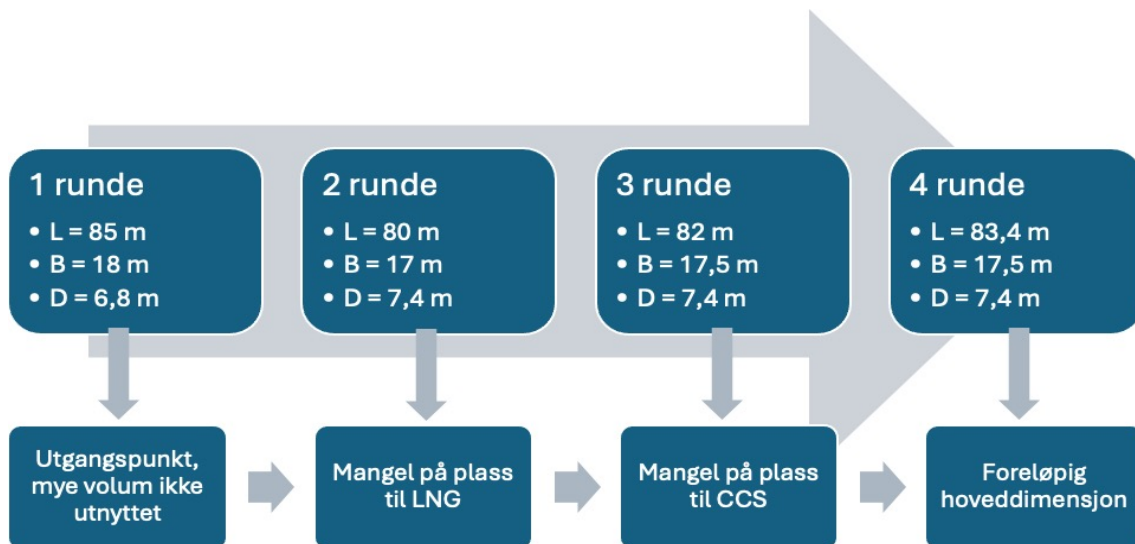


Figure 23: Proses for nåværende skrog

Utgangspunktet for det første skroget var vilkårlig og var for å kunne danne seg et bilde av nødvendig volum for tanker. Lengden for dette var 85 meter, men det ble også vurdert 90 meter som var dimensjonene for det øvrige sjiktet av statistikken. Dette viste seg å være svært overdimensjonert for denne oppgaven, men skroget på 85 meter dannet grunnlaget for videre arbeid med tankplassering. Det ble deretter laget et skrog i det lave sjiktet av statistikken hvor lengden ble tatt ned til 80 meter. Resultatene fra tankplasseringen var her noe mer lovende i forhold volumut-

nyttelse, men det ble nødvendig å øke lengden for å kunne implementerer LNG og karbonfangst-systemet.

Videre i runde 3 ble dimensjonene satt til referanseskipet og det ble her tatt inspirasjon for tankplasseringen. Disse dimensjonene ga rom for endringer i hoveddekk, men lengden måtte økes ytterligere for å kunne implementere karbontank i hoveddekket og opprettholde volum i innredningen. Lengden 83.4 meter ble valgt siden det enkelt forholder seg til en spanteavstand på 600 mm. Denne lengden vil enkelt kunne endres basert på videre resultater.

Det var videre ønskelig å ta utgangspunkt i skrogutformingen og forsøke å optimalisere dette for hastigheten. Marsjfarten på 10 knop er en relativt lav hastighet sammenlignet med andre lignende skip. Dette gir rom for endringer, men siden PSVer tradisjonelt er voluminøse skrog ville dette vise seg å være en utfordring. De første skrogene var utført med høy kjølradius og et høyt hekkparti. Dette ga en skrogform med slanke linjer og en relativt lav C_b på 0.62. Dette viste seg å bli et problem for lastekapasiteten i akterskipet og muligheten for å presse ned akterskipet i lastekondisjonene. Motstanden med en slik blokk var lav, men det viste seg å være nødvendig å øke volum i akterskipet og gå for en mer tradisjonell utforming på skipet. Som vist på figur 24 ser en hvordan en redusert høyde til hekk ville være med å øke blokkoeffesienten. Høyden ble redusert fra 4200 mm til 3600 mm.

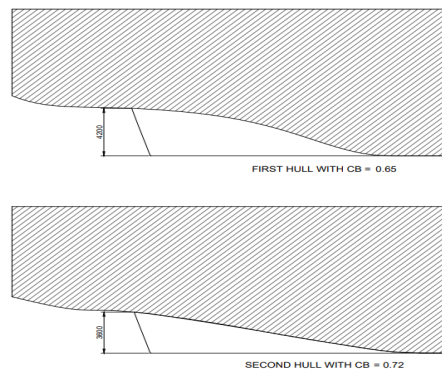


Figure 24: Utforming av hekk

Det ble også vurdert i hvor stor grad linjen fra skeggen til hekken kunne følge samme krumning. Dette ville føre til at thrusterne må monteres ved samme vinkel og det ble avgjort at thrusterene skulle monteres vannrett i korrekt høyde for videre arbeid. Med alt overnevnt kunne et mer endelig skrog utformes med gitte dimensjoner. Midtskipet ble utformet relativt likt fra skulder til start av skegg og kan dermed enkelt endres til en ønsket lengde uten å endre akter eller forskip. Figur 25 viser skroget som ville bli benyttet for videre arbeid. Figuren viser også midtskipsseksjonene som forholdte seg lik med tanke på fylde og utforming.

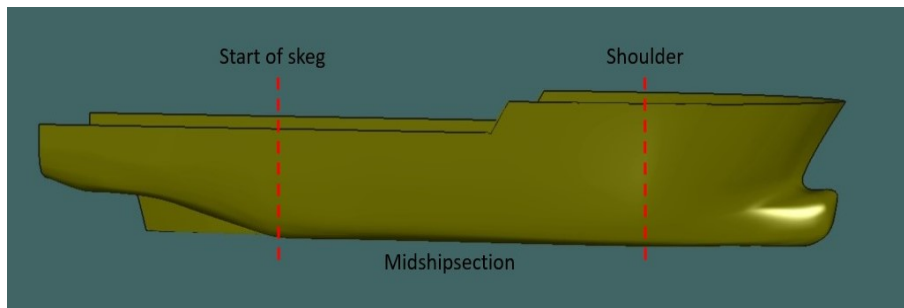


Figure 25: Illustrasjon av skrog

Med alt overnevnte endte skroget som ble benyttet videre i oppgaven som andre PSVer. Et fyldig skrog som gjør at en enkelt kan romme nødvendige tanker samtidig som det videre kan optimaliseres for den gitte hastigheten.

7.1 Tankplassering

Med utgangspunkt i figur 22 og referanseskipene kan en videre gå til en mer endelig plassering av tankene. Begrensningene i henhold til regelverk vil først og fremst handle om dobbelbunn, kollisjonsskott, antall vanntette seksjoner og kofferdammer. Skipet skal i henhold til regelverket ha minimum et kollisjonsskott, et skott i akterskipet og i forkant, samt akterkant og forkant av maskinrommet. Med utgangspunkt i dette kan forpigtanken, maskinrom og tanker i dobbelbunnen defineres. Disse blir benyttet til ballast/drill water og vil være generelt store tanker. Disse skal i henhold til kravspesifikasjoner romme $900 m^3$, men det vil også være nødvendig å implementere ytterligere tanker ved kontroll av lastkondisjoner. I tillegg til dette er det også tegnet inn vingtanker for eventuell ballast og ferskvann.

Tankene for methanol og LFL krever kofferdammer og en plassering inn mot senter av skipet. De skal ikke strekke seg til skutesiden, de skal plasseres slik at hvis de ikke er omringet av enten bunnplater eller pumperomet skal de være omringet av kofferdammer. Kofferdammene skal separere ferskvann fra eventuelle petroleumsprodukter. Dette vil være viktig ved plassering av ferskvannstanker i maskinrom eller i lasterom.

Mud og brine tankene vil ofte være konstruert med avrundete kanter og disse kan være sirkulære. I dette tilfellet ble det valgt å gå for sirkulære tanker og utnytte volumet rundt disse tankene til MDO. På grunn av innholdets høye tetthet vil det vær hensiktsmessig å plasseres disse tankene i midtskipet. En slik løsning vil skape en effektiv volumutnyttelse og gi rom for LNG tank inn mot senter av skipet. Figur 26 viser hvordan disse tankene kan konstrueres og her ble det valgt å gå for sirkulære

tanker for å enklere kunne definere disse i Maxsurf.

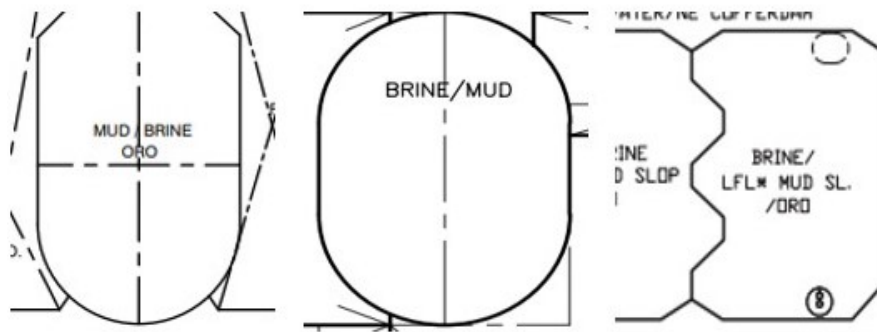


Figure 26: Ulike geometrier for mud og brine tanker

LNG tanken skal plasseres i den minste avstanden av $B/5$ eller 11.5 meter fra skutesiden. Det laveste punktet til tankens avgrensninger skal også den minste verdien av $B/15$ og 2 meter til dobbelbunnen. LNG tankene kan også deles inn i fire typer tanker. Under er det listet opp tankene i henhold til DNVs krav:

- Membran - Complete secondary barrier
- Type A - Complete secondary barrier
- Type B - Partail secondary barrier
- Type C - No secondary barrier required

Her er det tatt utgangspunkt i en type C-tank, som ikke krever en sekundær barrierer mot andre deler av skipet. Her er det satt nødvendig volum for isolasjon og LNG for videre arbeid. Fra DNVs regelverk kommer det frem at det også kreves type C-tank for CO_2 lagring, noe som gjør at en kan se vekk fra den sekundære barrieren for denne tanken også. Figur 27 viser et eksempel på en type-C tank levert av Wartsila i deres LNGPAC system.



Figure 27: Type C-tank (Wartsila)

Utover den gitte kravspesifikasjonen for ferskvann, ballastvann/drillwater og MDO er det nødvendig å se på nødvendig kapasitet i henhold til mannskapet og driften av skipet. Det er satt av $30 m^3$ ferskvann for mannskapet med en antagelse om 200 liter per person per dag som kommer frem i Kai Levander [19]. Dette gir

totalt nødvendig volum for ferskvann lik 530 m^3 . Det var også nødvendig å se på muligheten for å kunne drifte skipet kun på MDO. Her er det tatt utgangspunkt i at en tur frem og tilbake fra platform kan driftes på MDO. Dette kunne med grove antagelser settes til 60 m^3 som gir et totalt volum for MDO på 360 m^3

Defineringen av tankene i Maxsurf kan enten gjøres ved å plassere volum basert på bredde, høyde og lengden eller så kan det gjøres med å lage interne strukturer som fungerer som en barriere for volumet. Sistnevnte er nødvendig for arbeid med tanker som har en mer kompleks geometri enn rektangulære tanker. Dette var nødvendig for Mud/Brine, LNG og CCS. Figur 28 viser de sirkulære Mud/Brine tankene (grønn), MDO tankene som omringer disse (blå) og LNG tanken plassert i senter (oransje). Dette viste seg å bære med seg noen problemer for å oppnå korrekt volum, men som ble korrigert i ettertid med å implementere flere tanker i samme område.

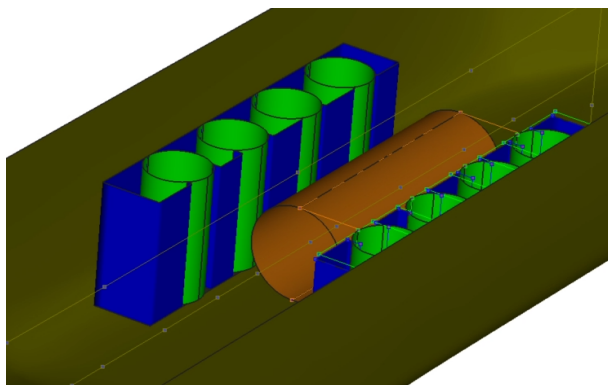


Figure 28: Definerte komplekse tanker i Maxsurf

Den samme defineringen ble også benyttet for baugthrusterne og tanker rundt disse. Thrusterne ble definert som to sylindriske interne strukturer og satt til "Non-boyant volume". Deretter ble det tegnet inn en kasse rundt disse for kunne definere tanker rundt thrusterne. Her ble det satt av volum for ferskvann rundt thrusterne og et compartment i senter for thrusterene.

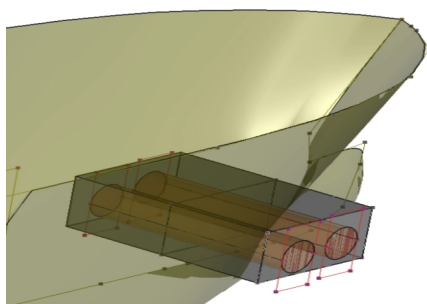


Figure 29: Definerte baugthrusterne og ferskvannstank i baug

Kravspesifikasjonen tar ikke høydepunkt for dekkslast i dødvekten. Fra DNVs regelverk er det spesifisert at lastedekket skal tåle en belastning på 1.5 t/m^2 og 80 % av sjøtrykket. Med dette ble en tank som ustrakte hele arealet av lastedekket på 700 m^2 . Høyden ble satt til en TEUs høyde på 2.59 meter og tyngdepunktet satt til senter av dette. Dette ga en total lastevekt på 1050 tonn. Dette kan en se representert i rødt på figur 30. Her kan en også se CO_2 tanken plassert i forkant av lastedekket (lys blå kasse).

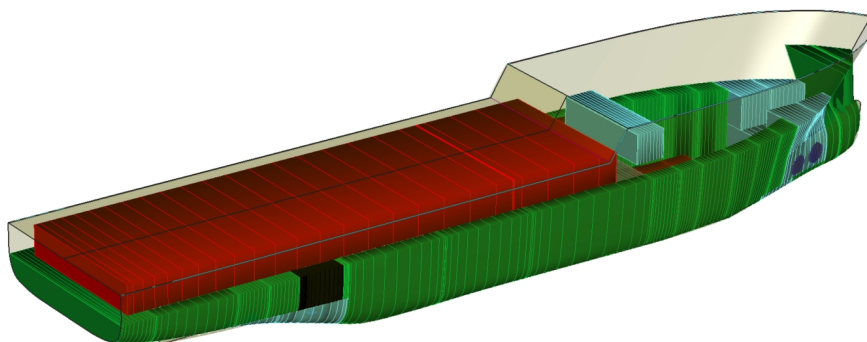


Figure 30: Volum for lastedekk

På grunn av problemer med definering av geometri i øvre dekk av skroget ble det nødvendig å forenkle CO_2 tanken til en rektangulær tank med samme spesifikasjoner. Utover dette ble mindre tanker som smørolje, bilge, gråvann og sewage plassert på en hensiktsmessig måte i maskinrommet. Stabilitetstanker ble plassert i akterkant av lasteområdet. Figur 18 viser hvordan tankene ble plassert i Maxsurf.

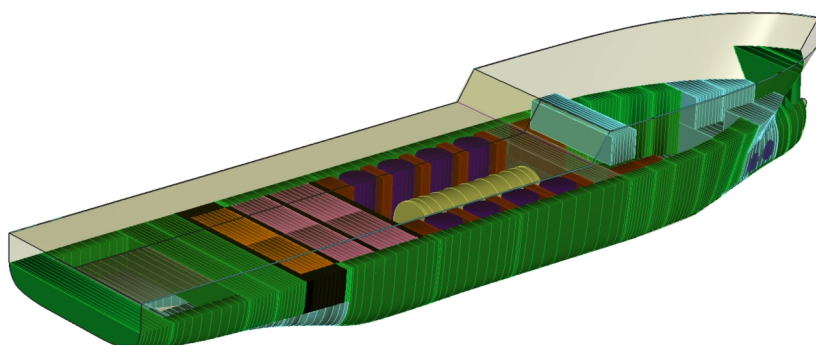


Figure 31: Tankplassering

Endelig tankplan og kapasitetstabell er vedlagt i 80 og 81. Dette krever mer nøyaktige beregninger for drivstoffkapasitet og karbonlagring som er punkter presentert videre i oppgaven.

7.2 Vektberegninger

En viktig del av å sjekke skrogets vekt er å beregne lettskipet. Lettskipet sammen med dødvekten utgjør skipets deplassement. Dødvekten er gitt i kravspesifikasjonen og er på 3500 tonn. Det vil si at maksimal dødvekt når alt er fylt er 3500 tonn. Dette er ekskludert dekkslasten nevnt i avsnitt 7.1.

Det som inngår i dødvekt er alt om bord som en kan laste, det vil si fyll i tanker, last, mannskap, proviant osv. Lettskipet er en lastkondisjon der alt av tanker og annet last er tomt. Å regne lettskipet er å ta vekten av strukturen og huden til fartøyet, samt alt som alltid skal være med på fartøyet som kraner, vinsjer, motor, propell osv.

Kalkuleringen av lettskipet blir gjort i rekneark. Dette gjør det enkelt å oppdatere vekten alt ettersom skrogdimensjonene endrer seg. Verdier som er viktig å ta med er tyngdepunktene LCG og VCG til det en definerer inn. Dette skal importeres inn i Maxsurf sammen med bakre og fremre grense til objektet. Lettskipet er her delt inn i seks ulike kategorier.

- Stål skrog
 - Her defineres alt av arealet skroget har for ulike dekk og hudplater. Disse blir multiplisert sammen med en gjennomsnittlig tykkelse for delen av skroget samt en strukturfaktor. Denne strukturfaktoren baserer seg på erfaring og tar forbehold om annen struktur i det gitte området. Etter dette legger en alle seksjonene sammen og legger til en ekstra faktor på 25% for strukturen.
- Framdrift og manøvreringssystem
 - Her legger en inn hovedmotorer og hjelpemotorer, samt baug og hoved-thrustere. Her legges det også til ekstra vekt for annet utstyr som er i maskinrom.
- Hovedutstyr
 - Utstyr som kraner, vinsjer og ankerhåndterings-system er vekt som er enkelt legge inn. Dette er også komponenter som kan ha en del å si for momentet siden det ofte er plassert høyt i fartøyet, samt noe av det ligger gjerne helt forut eller akterut.

- Systemer

- Alt av skall til tanker, rør ,kabler og annet elektrisk system blir lagt inn her. For tanker er det mye basert på statistikk der en har tonn per 1000GT. Det er også lagt inn vekt for tankene og systemet rundt LNG og karbon fangst. Vekten av LNG og CCS tanker er estimert ut fra statistikken vist i figur 32 og 33. Statistikken er hentet fra en rekke leverandører og allerede eksisterende skip.

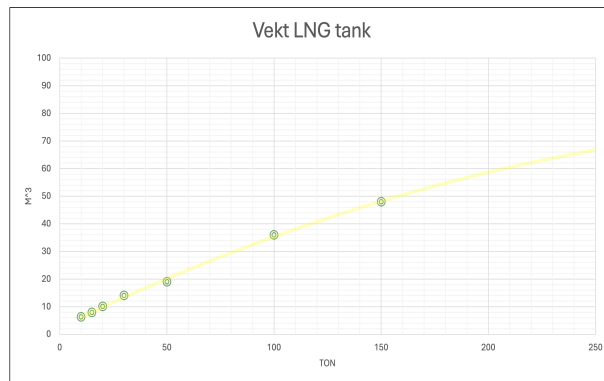


Figure 32: Estimat vekt LNG tank

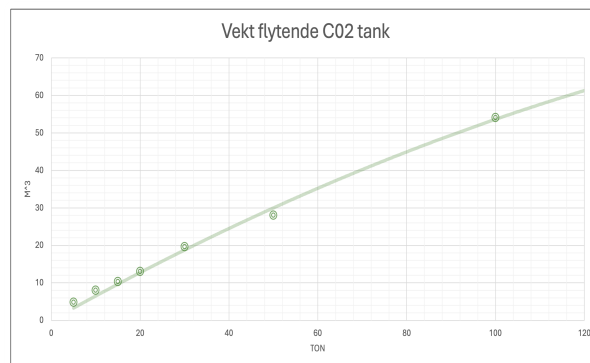


Figure 33: Estimat vekt flytende CO2 tank

- Accomodation

- For accomodation er det antatt 150 kg per kvadratmeter. Det som går inngår i dette er alt fra lugarer, køyer, toalett, messe, bysse, oppholdsrom osv. Dette er beregnet for bro, A, B og C-dekket.

- Marginer

- For hele totalvekten blir det lagt til noen marginer på totalvekten som konstruksjonsmargin (5%), designmargin (15%) og fremtidig vekst margin (10%).

Dette gir en startverdi for lettskipet til fartøyet. Dette har blitt estimert for en rekke forskjellige hoveddimensjoner gjennom prosjektet. Differansen har ikke vært stor for hver estimering, og det øker og synker ettersom hva hoveddimensjonene er.

Foreløpig vekt på lettskipet er 2769 tonn og et fullstendig oversikt over lettskipet er vedlagt i vedlegg 72. Vektsberegningen er en iterativ prosess, hvor det blir oppdatert ettersom strukturberegningene bestemmer dimensjoner på plater, stivere og bærere. For videre arbeid vil nå lettskipet importeres inn i Maxsurf Stability slik at en kan etablere ulike lastkondisjoner og kontrollere stabilitet.

7.3 Stabilitetskontroll

Intaktstabilitet refererer til tilstanden der et skip er uskadet, noe som betyr at skroget er fullstendig intakt. I motsetning til dette står skadestabilitet, som fokuserer på skipets atferd under og etter at skade har inntruffet. En slik skade kan være resultatet av en kollisjon eller grunnstøting som fører til at fartøyet tar inn vann. Her undersøker man hvor mange vanntette seksjoner som kan oversvømmes før skipet risikerer å kantre eller synke. I denne oppgaven vil vi konsentrere oss om intaktstabilitet, men det er likevel essensielt å legge til rette for god skadestabilitet gjennom hele prosessen.

Stabilitetskontrollen er essensielt i en hver skipsdesign prosess for å kunne validere hvordan skipet opererer under gitte lastekondisjoner. Disse lastekondisjonene er delt opp i avgang og ankomst havn i en lastet eller ballastkondisjon. Her skal det også reduseres i mengde drivstoff og stores for ankomst. Kontrollen av skipet skal gjøres ved intaktstabilitetsberegninger som er en rekke krav satt av IMO. Inntaktstabilitetskravet er følgende:

- the area under the righting lever curve (GZ curve) shall not be less than 0.055 metre-radians up to $\theta = 30^\circ$ angle of heel and not less than 0.09 metre-radians up to $\theta = 40^\circ$ or the angle of flooding θ_f if this angle is less than 40° . Additionally, the area under the righting lever curve between the angles of heel of 30° and 40° or between 30° and θ_f , if this angle is less than 40° , shall not be less than 0.03 metre-radians
- the righting lever (GZ) shall be at least 0.20 m at an angle of heel equal to or greater than 30°
- the maximum righting lever should occur at an angle of heel preferably exceeding 30° but not less than 25°

-
- the initial metacentric height, GM0 shall not be less than 0.15 m

For skipstypen PSV er det spesifisert 5 lastekondisjoner som må innfris i henhold til stabilitetskriteriene:

- Vessel in fully loaded departure condition with cargo distributed below deck and with deck cargo specified by position and weight, with full stores and fuel, corresponding to the worst service condition in which all stability criteria are met
- Vessel in fully loaded arrival condition with cargo as specified, but with 10% stores and fuel
- Vessel in ballast departure condition, without cargo but with full stores and fuel
- Vessel in ballast arrival condition, without cargo but with 10% stores and fuel
- Vessel in the worst anticipated operating condition

Skroget med gjeldende last og lettskip viste seg å være svært tungt i forskipet. Det ble her valgt å implementere ytterligere ballasttanker for å minske forlig trim. Dette resulterte i en økning størrelsen på aktertanken for ballast og drillwater for å kompensere for dette. Det er ønskelig med noe akterlig trim derimot. Dette for å kunne presse skipet ned i akterkant og for å kunne gi rom for det noe tunge forskipet. Dette ble forsøkt å oppnå etter beste evne. Lastekondisjonene fra 1 - 4 er tydelig i teksten og ble enkelt satt i Maxsurf Stability. Den siste lastkondisjonen "Worst Case" er noe tvetydig, men det er her foreliggende å tro at dette avhenger av delvis fylte lasterom og lite drivstoff. Her ble lastetanker og lastedekk fylt 50 % og drivstoff satt til 10 %, samt en full karbonfangst tank. Tabell 4 viser resultatene fra disse lastekondisjonene. Her ser en at GMt varierer fra 0.7 i verste tilfelle og opp til 2.4 for ballast kondisjonen. Dette er høye tall som viser at skipet har en del å gå når det gjelder intaktstabiliteten. Her kan en også se at høyeste registrerte dypgang ble 6.2 meter. Dette samsvarer noe med første antatte dypgang på 6 meter og vil være utgangspunkt for motstand videre i arbeidet. GZ - kurver for alle kondisjoner er vedlagt fra 73 til 77.

Table 4: Resultat fra de ulike lastkondisjonene

	FULLY LOAD. 100 %	FULLY LOAD. 10 %	BALLAST 100 %	BALLAST 10 %	WORST CASE
Draft midships (m)	6,198	5,471	4,449	4,495	5,320
Displacement (t)	6158.9	5241.8	4001.5	4058.1	5065.76
Draft at FP (m)	6,171	5,551	4,576	4,557	5,286
Draft at AP (m)	6,224	5,391	4,322	4,432	5,353
Draft at LCF (m)	6,200	5,465	4,444	4,492	5,322
Trim (m)	0,053	-0,160	-0,254	-0,125	0,066
WL Length (m)	79,012	79,080	80,555	80,878	79,332
Cp	0,764	0,741	0,689	0,692	0,736
Cb	0,716	0,685	0,628	0,637	0,686
Cm	0,940	0,939	0,934	0,934	0,936
Cwp	0,909	0,897	0,842	0,844	0,893
LCB (m)	40,685	41,733	43,382	43,115	41,614
LCF (m)	36,342	36,337	37,892	37,691	36,299
KB (m)	3,457	3,042	2,448	2,476	2,960
KG (m)	6,234	5,937	6,236	6,179	7,580
BMt (m)	4,591	5,187	6,116	6,097	5,328
BML (m)	91,175	103,654	120,683	121,067	106,650
GMt (m)	1,815	2,292	2,329	2,394	0,708
GML (m)	88,398	100,759	116,896	117,364	102,029
KMt (m)	8,049	8,229	8,565	8,573	8,288
KML (m)	94,632	106,696	123,131	123,543	109,610
TPc (t/cm)	12,576	12,372	11,737	11,814	12,334
MTc (t.m)	68,959	66,897	59,247	60,325	65,466

7.4 Motstand

For å kunne estimere mengde LNG og dermed nødvendig volum av karbonfangst er det nødvendig å utføre tester for skrogmotstand. Skrogmotstanden beskriver hvor mye kraft som kreves for å skyve skroget fremover i en gitt hastighet. Dette kan utføres ved modellforsøk, hvor det konstrueres en nedskalert modell som testes i en modelltank. Det kan også gjøres beregninger basert på skrogets form. For denne oppgaven ble det utført beregninger via Holtorps metode i Maxsurf Resistance. Her legges det inn skrog, med ønsket dypgang og det kan deretter testes ved ønsket hastighet. Figur 34 viser resultatene for skrogmotstanden ved alle dypganger fra lastkondisjonene i tabell 4. Grafen viser en gradvis økning i motstand fra 8 til 12 knop og markert med rød linje er ønsket motstand ved 10 knop og 6.2 meter dypgang. Motstanden målt ved 10 knop var rundt 600 kW. Det er her viktig å bemerke seg at en økning fra 10 - 12 knop resulterer i nesten en dobling av skrogmotstand. Dette

vil igjen føre til en dobling i nødvendig mengde LNG. Dette er svært utslagsgivende i forhold til utslippskrav, hvor en kan se til reduisering av marsjfart for å senke utslippene.

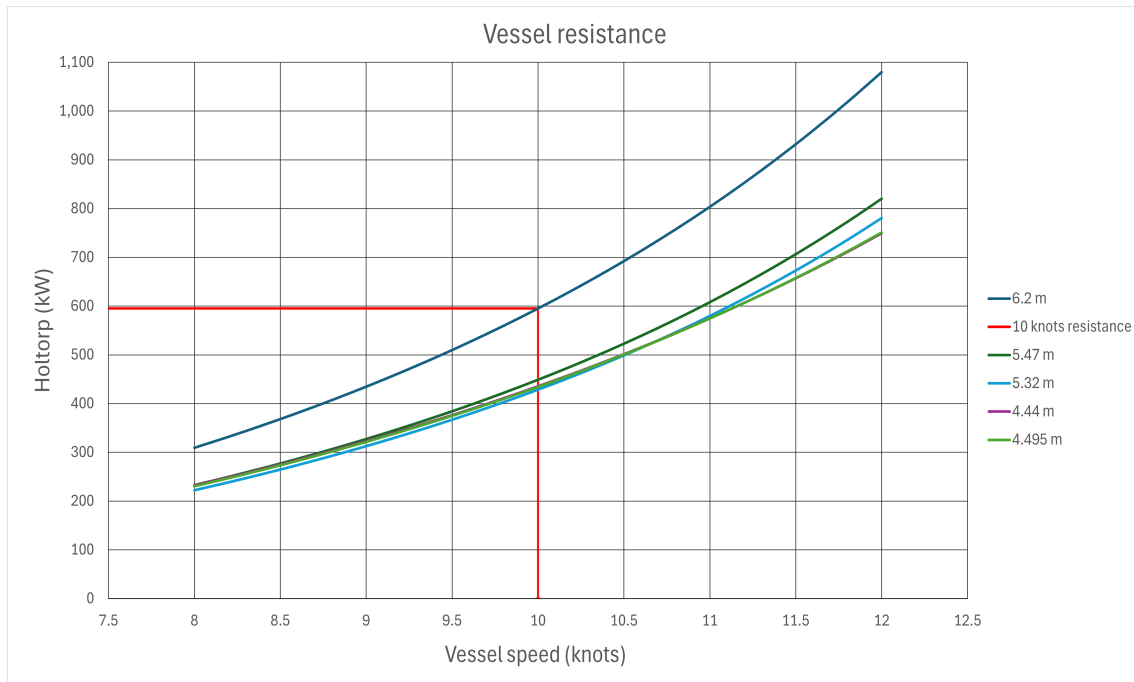


Figure 34: Motstandskurve for alle lastkondisjoner

Motstandsverdiene for skroget viste seg å varierer i stor grad ved første test. Utgangspunktet fra start var en motstand på 400 kW. Dette viste seg å skyldes problemer med definering av skroget fra Maxsurf Modeller til Maxsurf Resistance. Dette ble utbedret og skrogmodellen ble testet ved forskjellige dypganger og hastigheter for å kontrollere at resultatene varierte som forventet. Resultatene fra den endelige skrogmodellen ved dypgang på 6.2 meter er vedlagt i tabell 14.

7.5 Linjetegning

Skipet kan deles opp ulike deler for å kunne vise skrogets form. Disse delene er seksjoner, buttocks og vannlinjer. Disse delene er ulike snitt av skipet langsgående, tverrskips og vertikale. Vedlagt i figur 41 ser en skrogets linjetegninger delt opp i tre 2D-profiler, samt to 3D-profiler.

8 Driftsprofil

For prosjektering av nye fartøy er det essensielt å samle data fra lignende fartøy som allerede er i markedet. Det er også viktig å analysere rute og seilingsmønster som fartøyet potensielt vil følge. Dette gjøres for å kunne etablere en driftsprofil som deler opp skipets operasjoner. En slik profil kan benyttes til å beregne drivstoffmengde og kraftbehov. Det vil så være mulig å beregne videre utslipp og mulig karbonfangst.

8.1 Samlet data

Tidlig i dette prosjektet ble en rekke rederier, som i dag opererer PSV-er, forespurt om å dele informasjon angående driftsprofiler. Resultatet av dette var seks PSV som operer i omtrentlig samme område som oppgaven krever. Informasjonen ble organisert og plassert i fire ulike driftskondisjoner, ”Alongside port”, ”Transit”, ”Waiting at location” og ”Work”. Tabell 5 viser de fire ulike kondisjon med antall timer iløpet av et år. Det er så videre tatt et gjennomsnitt av dette som danner basis for fartøyet i denne oppgaven. Det er knyttet en del usikkerheter til å benytte et gjennomsnitt for driftsprofil. Ulike skip operer på ulike typer kontrakter, men gjennomsnittet vil være et godt grunnlag for videre arbeid.

Table 5: Driftsprofil fra seks ulike PSVer

	Alongside port/ At anchor(h)	Transit (h)	Waiting at location/St.by(h)	Work (h)
Edda Fram	2 866	2 635	2 188	1 083
Edda Frende	3 203	2 172	2 204	1 187
Edda Ferd	4 043	1 628	2 216	891
Bourbon mistral	3182	1547	2485	1752
Bourbon Clear	2264	1324,5	4030	1221
Bourbon Monsoon	4379	1965,49	1835	784
Average	3 323	1 879	2 493	1 153

Figur 35 viser driftsprofilen basert på gjennomsnittlige data. Her kan en se at store deler av skipets operasjon er under ”Alongside port” og ”Waiting at location”. Driftsprofiler vil ikke kunne gi en komplett oversikt over belastningen ved de forskjellige kondisjonene. Det vil derfor være nødvendig å anta belastninger basert på andres data. Dette gjelder spesielt auxilliary belastning som hotellast og annet maskineriutstyr.

- **Work** - Lasting og lossing ved plattform eller offshoreinstallasjon. DP operasjon
- **Waiting at location** - Vent på arbeid ved plattform eller offshoreinstallasjon. Kan være under DP
- **Transit** - Overfart mellom terminal og arbeidsfelt
- **Alongside in port/At anchor** - Vent på arbeid, lasting og lossing ved terminal

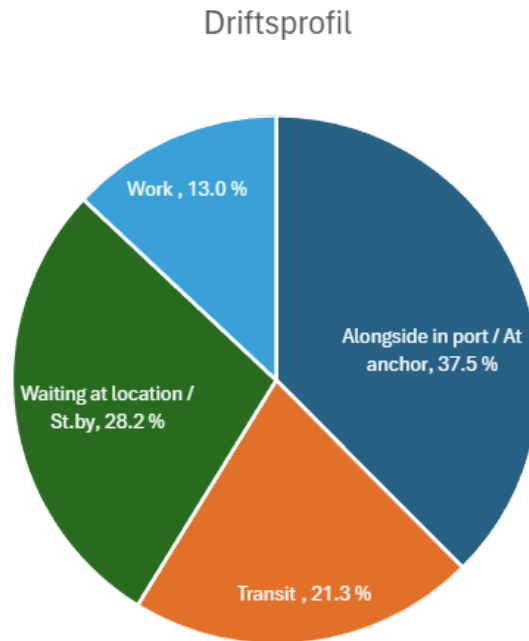


Figure 35: Driftsprofil

Fra driftsprofilens prosentmessige inndeling kan en videre begynne å dele inn timene for kravspesifikasjonen. Avstanden fra Dusavik til Alvheimfeltet har en distanse på omlag 120 nautiske mil som skal gjennomføres med en hastighet på 10 knop. Dette gir en transittid på 72 timer som vil være 21 % av skipets operasjon iløpet av de tre rundturene den skal ha til feltet. Videre kan en dermed gjøre en prosentmessig beregning for å anslå resterende driftstimer. Tabell 6 viser denne fordelingen med et totalt antall driftstimer for tre rundturer på 338.7 timer.

Table 6: Timesfordeling for tre rundturer fra Dusavik terminal til Alvheim feltet

	3 Trips (h)
Transit	72,0
Work	44,1
Alongside in port / At anchor	127,1
Waiting at location / St.by	95,5
Sum	338,7

Fordelingen i tabell 6 kan nå benyttes videre for å regne nødvendig kWh for operasjonene og dermed bestemme nødvendig mengde LNG og dermed karbonfangst.

9 Kraftbehov og maskinerisystemer

Maskinerisystemene som en ofte finner på PSVer er ofte dieselelektriske. Disse består ofte av fire hovedmotorer for kraftproduksjon og to til tre thrustere for fremdrift og likens for thrustere i baugen. Kravene fra HAVTIL (Havindustritilsynet) er at skip som operer innenfor sikkerhetsonen til rigger og offshoreinstallasjoner skal ha DP klasse 2. Dette betyr at det skal være krav til redundans i kraftproduksjonene og thrustere og det skal være klare sikkerhetsinstallasjoner og rutiner for styringssystemene. Dette kan forenkles med skipets kraftsystem deles inn i to sider. Disse to sidene skal være like og kunne utføre skipets operasjon uavhengig av hverandre. Dette betyr at ved en eventuell feil i den ene siden så skal den andre siden kunne utføre hele jobben. For å oppnå dette deles hovedtavlen i to like deler med en skillebryter (BUS-tie). Ved DP-operasjoner er denne ofte åpne slik at ved feil så skal ikke begge systemene påvirkes av det.

9.1 Belastning og konfigurasjon

Startpunktet for beregning av belastning er å bestemme utformingen på kraftproduksjonen og deretter dimensjonere etter behov. Oftest ser en at kraftsystemet er AC (alternating current) med høyspent for de største motorene. Det er dermed i senere tid kommet DC (direct current) på nyere skip. Dette er fordi det inkluderes mer batteri inn i kraftsystemet og det gir en rekke fordeler inn mot stabiliteten i systemet og en lavere totalkostnad. Det ble derimot valgt å gå for en AC-grid løsning, med thrustere for fremdrift og baugthrusterer. Figur 36 viser hvordan en ser for seg energiflyten fra motor til propell. Her er det tatt utgangspunkt i antatte virkningsgrader for elektriske komponenter og en relativt lav propellvirkningsgrad for videre arbeid. På denne måten kan en enkelt danne seg et bilde av nødvendig motoreffekt basert på skrogmotstand. Med utgangspunkt i figur 36 vil et slikt system gi en total virkningsgrad $\eta_{Total} = 0.42$. Med en motstand på 600 kW ved 10 knop tilsvarer det en nødvendig motoreffekt på 1413 kW kun for fremdriften.

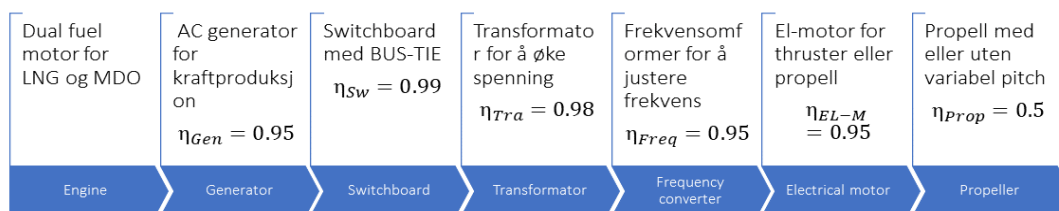


Figure 36: Energiflyt fra motor til propell

For å kunne komme frem til et forbruk av LNG, samt forventet fangst av CO_2 må en estimere den totale effekten fartøyet bruker i de ulike driftskondisjonene. Her ble det valgt å benytte seg av tall fra en artikkel som vurderer bruken av batterier i offshore service fartøy [13]. Fra denne artikkelen kom det frem tall som tar for seg den totale belastningen skipet kan ha under de ulike driftskondisjonene. Disse tallene er en komplett belastning inklusiv propulsjon og auxilliary belastning som vil kunne kombineres med tallene fra vår skrogmotstand. Tabell 7 viser disse belastningene.

Table 7: Totalbelastning for fartøyet

	Transit	Work	Alongside in port/At anchor	Waiting at location/St.by
Engine load (kW)	2300,0	1600,0	225,0	1500,0

Verdiene fra tabell 7 vil bli prosentmessig delt etter hvordan propulsjonseffekten på 1413 kW forholder seg til transit effekt på 2300 kW. Dette gir følgende antagelser for auxilliary effekt:

$$P_{AUX} = P_{Total} - P_{Propulsion} = 2300kW - 1413kW = 887kW$$

$$P_{AUX} = \frac{P_{AUX}}{P_{Total}} \cdot 100 = \frac{887kW}{2300kW} \cdot 100 = 38.57\%$$

Verdien for auxilliary belastning på 38.57 % benyttes så videre for fordelingen mellom de ulike driftskondisjonene, med unntakt av "Alongside in port". I denne kondisjonene vil ikke propulsjonsutstyr og hovedmaskineri være i gang, noe som fører til en relativt lav belastning. Fra Wartsilas informasjon angående belastning knyttet til karbonfangstsystemet kan en anta en ytterligere belastning mellom 10 - 13 %. Her er det antatt høyest verdi som da vil være 13 % av total belastning. På grunn av usikkerhetsmomentene knyttet til driften av LNG systemet er det her ilagt ekstra belastning på 7 % som gir en total ekstra belastning på 20 %. Dette gir en total belastning for transit på 2760 kW.

Fra Wartsila ble det også satt fokus på stabiliteten i lastkondisjonene og dermed stabiliteten i belastningen på motorene. Her var det essensielt å kunne opprettholde en jevn belastning på motorer for å kunne nyttegjøre seg av karbonfangsten på en effektiv måte. Det ble også i tillegg til en ekstra belastning på 13 % satt lys på en tillegg i varme på 30 %. Her kan en se for seg en economiser eller dampkjele som kan

nytte seg av varmen fra eksosen. Dette kan føre til en komplekst system, men ved å benytte seg av den høye temperaturen fra eksosen og den lave temperaturen fra LNG kan en kombinere systemene for å best mulig nyttegjøre seg av deres fordeler. Figur 37 viser et forslag til hvordan oppbygningen av systemet vil være.

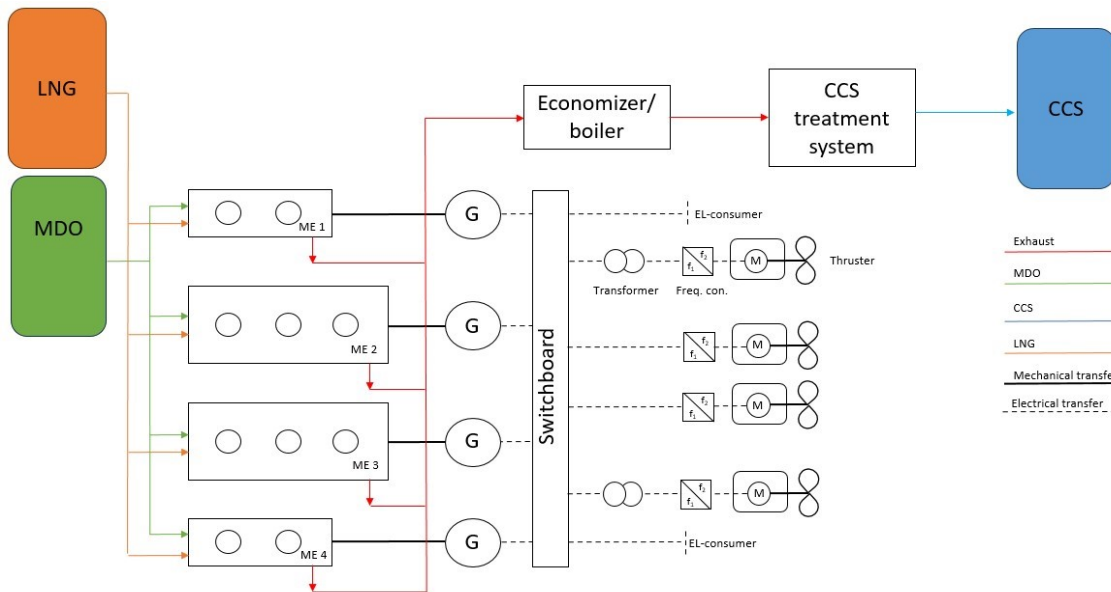


Figure 37: Systemdiagram

9.2 Belastning maskineri

Med utgangspunkt i kondisjonen ”Transit”, som vil føre til størst belastning kan en begynne å velge utstyr som oppfyller nødvendige krav. Med de øvrige antagelsene gir det en total belastning på 2760 kW for transit. For å skyve skipet frem i 10 knop trenger en minimum 600 kW. Dette er kun i marsjfart så her må en legge til sikkerhetsmarginer for maksfart og uregelmessige driftskondisjoner.

Thrusteren på figur 38 viser den valgte typen thruster for fremdrift. Dette er en Wartsila WST-14 thruster. Denne har en power range mellom 1000 - 1500 kW med en propelldiameter på 1800 - 2000 mm. Utstyret for fremdrift ble valgt på grunn av tilgjengeligheten av tegninger og for å kunne gi en bilde på størrelseorden av nødvendig utstyr videre i skisseringen av general arrangement.

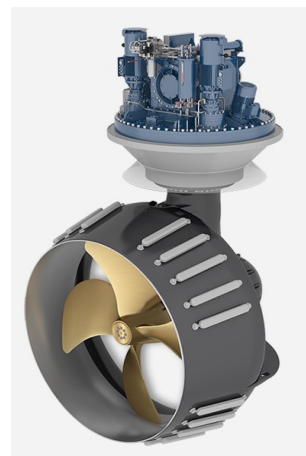


Figure 38: Fremdriftshruster (Wartsila)

Tunnelthrusterne er av typen WTT-11-CP-1750 WARTSILA med en effekt på rundt 1200 kW. Denne er illustrert på figur 39 og er en tunnelthruster med varbiabel pitch. Dette gir god manøvrerbarhet og muligheter for DP operasjoner. Begge typene thrustere vil være dublert og kreve redundans i styresystem for å oppnå kraven om DP operasjoner.

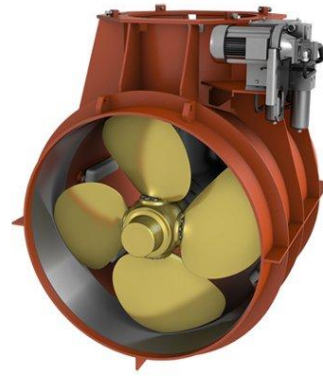


Figure 39: Tunnelthruster (Wartsila)

Med utgangspunkt i 2760 kW og varierende last ved ulike operasjoner vil fire motorer med varierende størrelser være nødvendig. Her ble det tatt utgangspunkt i Wartsilas Dual Fuel motorer og fire motorer totalt. Her landet valget på to 9L20 DF motorer og to 6L20 DF motorer. Figur 40 viser et eksempel på en slik motor. Disse møter IMO Tier 3 kravene, samt at de oppfyller kravene om belastning for skipet. Disse har en maksimal belastning på 1755 kW og 1160 kW ved 60 Hz som generatorsett. Dette gir nødvendig effekt, samtidig som en tar høyde for høye belastninger ved DP operasjoner. Fra dette kan en videre benytte spesifikk brennverdi ved ulike belastninger for å beregne nødvendig mengde LNG og dermed størrelsen på karbonfangst-tankene. Tabell 8 viser drivstofforbruket for begge motortypene ved ulike laster.



Figure 40: Dual-fuel motor (Wartsila)

Table 8: Drivstofforbruk for 9L20DF og 6L20DF

Load	kW 6L20DF	kW 9L20DF	Be LNG		Be MDO	
100	1160	1755	7941	kJ/kWh	4	g/kWh
85	986	1492	8066	kJ/kWh	5.8	g/kWh
75	870	1316	8175	kJ/kWh	6.7	g/kWh
50	580	878	8909	kJ/kWh	8.9	g/kWh

Figur 41 viser hvordan kraftproduksjonen ble konfigurert for videre arbeid. Her viser det generatorer tilkoblet hovedtavle med hovedbryter. Fra hovedtavlen forgreiner det seg til de største forbrukerne som thrustere og baugthrustere. Videre er det også markert "consumers" som er mindre forbrukere på lavere spenningsnivå som 690, 440 og 230 volt.

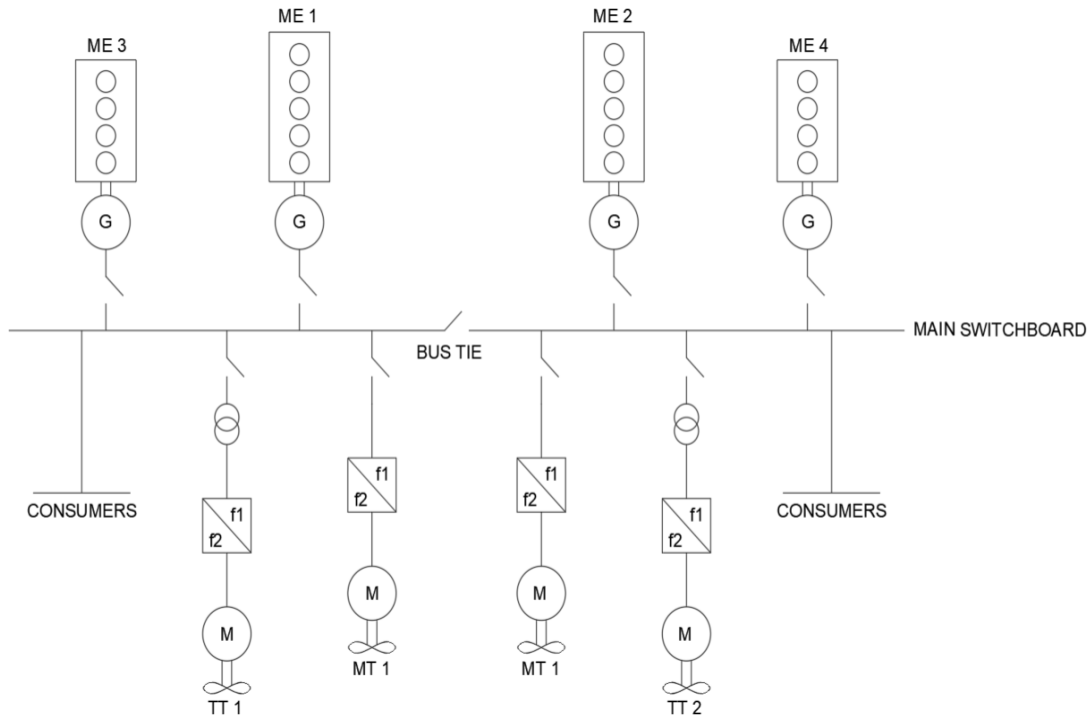


Figure 41: Linjetegning for kraftproduksjon og forbrukere

9.3 LNG og CCS kapasiteter

Som nevnt over er det en del usikkerheter knyttet til belastningen i andre kondisjoner enn transit. På grunnlag av dette ble det valgt å dimensjonere tanker for karbonfangst etter denne kondisjonen, men det vil bli vurdert å fange karbon for alle kondisjoner. For slike beregninger er noen faste parametre nødvendig. Dette er spesielt med tanke på karbonfangsten. Her ble det valgt å benytte utslippsfaktorer for MDO og LNG for å anta nødvendig volum for CO_2 . Tabell 9 viser en oversikt over disse parameterne, samt brennverdier og tettheter for de ulike mediene.

Table 9: Parametere for LNG, CO2 og MDO

Fluid parameteres	MDO	LNG	CO2	Unit
Emission factor	3.206	2.75	-	tonCO2/ton fuel
Specific energy content	42.7	45	-	MJ/kg
Density	0.86	0.426	1.101	t/m ³

Tabell 10 viser utregninger for karbonfangst kun ved transit. Her er i øverste del fordelt belastninger og fordelt med systembelastninger for LNG på 7 % og CCS på 13 %. Disse blir lagt til som en ny total over det som ble vist i tabell 7. Videre kan motorbelastningen bestemmes og en kan benytte spesifikk drivstofforbruk fra tabell 8 for å regne mengde drivstoff. Med utslippsfaktoren fra tabell 9 kan en så beregne utslipp av CO₂ og med en fangstrate på 70 % anta volum for CO₂. Dette resulterte i 209.6 m³ LNG, 3.2 m³ MDO og 65.5 m³ CO₂.

Table 10: LNG-beregninger med CCS system kun på Transit

	Transit	Work	In port/ At anchor	At location/ St.by	Note
Propulsion (kw)	1413.0	983.0	0.0	921.5	
Aux (kw)	887.0	617.0	225.0	578.5	
CCS system (kw)	299.0				13%
LNG system (kw)	161.0	112.0	0	105.0	7%
SUM (kw)	2760.0	1712.0	225.0	1605.0	
Forbruk (kwh)	198720.0	75524.1	28608.7	153240.1	
total kWh	458095.5				
ENGINE-LOAD	75%	85%		75%	
LNG (kj) ·10 ⁶	1624.5	617.4		1252.7	
m_LNG (ton)	36.1	13.5	0.0	27.8	
Volum_LNG (m ³)	84.7	31.2	0.0	65.3	
m_MDO (ton)	1.2	0.4		0.9	
Volum MDO	1.3	0.5	0.0	1.0	
m_CO2 LNG (ton)	69.5	26.1	0.0	53.9	0,7
m_CO2 MDO (ton)	2.6	1.0	0.0	2.0	0,7
Volum CO2 LNG (m ³)	63.1	23.7	0.0	48.7	
Volum CO2 MDO (m ³)	2.3	0.9	0.0	1.8	
SUM LNG (m ³)	209.2				
SUM MDO (m ³)	3.2				
SUM CO ₂ (m ³)	65.5				

Tabell 11 viser samme utregninger, men med karbonfangst for alle kondisjoner utenom ”In port”. Her er det en økning med $13.7 m^3$ LNG, men en økning $84.5 m^3$ i karbon. Dette avhenger av motorbelastningene og hvor stabil en klarer å holde den.

Table 11: LNG-beregninger med CCS system, ekskludert Alongside in port

	Transit	Work	In port/ At anchor	At location/ St.by	Note
Propulsion (kw)	1413.0	983.0	0.0	921.5	
Aux (kw)	887.0	617.0	225.0	578.5	
CCS system (kw)	299.0	208.0	0.0	195.0	13%
LNG system (kw)	161.0	112.0	0.0	105.0	7%
SUM (kw)	2760.0	1920.0	225.0	1800.0	
Forbruk (kwh)	198720.0	84699.9	28608.7	171858.0	
Total kWh	483886.7				
ENGINE-LOAD	75%	85%		75%	
LNG (kj) $\cdot 10^6$	1624.5	683.2		1404.9	
m_LNG (ton)	36.1	15.2	0.0	31.2	
Volum_LNG (m^3)	84.7	35.6	0.0	73.3	
m_MDO (ton)	1.2	0.5		1.0	
Volum MDO	1.3	0.5	0.0	1.1	
m_CO2 LNG (ton)	69.5	29.2	0.0	60.1	0,7
m_CO2 MDO (ton)	2.6	1.1	0.0	2.2	0,7
Volum CO_2 LNG (m^3)	63.1	26.5	0.0	54.6	
Volum CO_2 MDO (m^3)	2.3	1.0	0.0	2.0	
SUM LNG (m^3)	222.7				
SUM MDO (m^3)	3.4				
SUM CO_2 (m^3)	149.6				

Denne varierende lasten kan bedres med bruk av batteripakker. Batteripakker kan gå inn som en ”peak shaver”, som gjør at en kan se vekk fra de verste økningene i belastning og jevne ut belastningskurven. Tabell 10 og 11 tar ikke hensyn til belastningen ved ”in port”. Her er det tatt utgangspunkt i landstrøm som vil kunne fjerne utslippene fra denne kondisjonen. Kravene om utslipp ved land blir strammet inn mer og mer, og det er ikke hensiktsmessig å forbruke diesel eller LNG ved land om det ikke er nødvendig. En havnegenerator på MDO vil med belastningen på 28608.7 kWh ha et forbruk på ca. $7 m^3$, noe som tilsvarer ca. 20 tonn CO_2 . Tilsvarende vil det føre til et økt forbruk av LNG med $5 m^3$. Dette vil bli dekt med sikkerhetsmarginen for drivstoff på 15 %. Vedlagt i 83 er beregninger for LNG og CO_2 fangst.

9.4 Alternativ løsning

Som nevnt over kan en batteripakke hjelpe med å kontrollere belastningsbildet under DP operasjoner og lastkondisjonene som ses på som ujevne belastninger. Om en reduserer driftsprofilen til å se på en tur til og fra platformen, kan en analysere lastbildet og enklere vurdere implementeringen av en batteripakke. Figur 42 viser denne inndelingen med tilhørende energimengde i kWh.

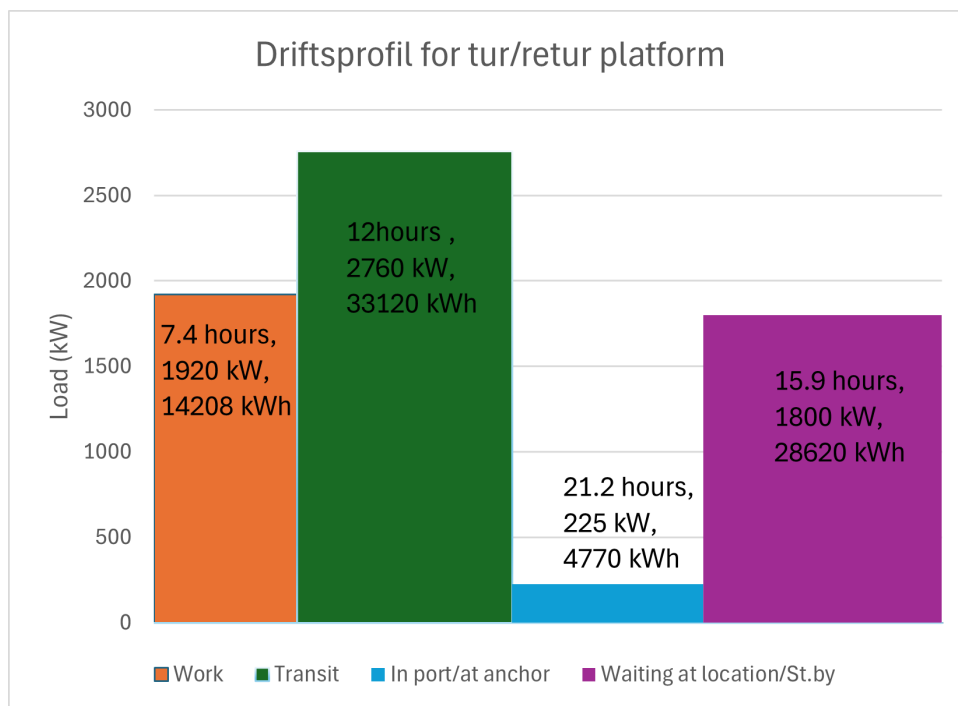


Figure 42: Driftsprofil tur/retur platform

Om en reduserer lasten i kondisjonen "Work" til 75 % belastning gir dette en motorbelastning på $870 \text{ kW} \cdot 2 = 1740 \text{ kW}$. Dette gir en rest belastning på 180 kW. Over perioden på 7.4 timer gir dette en nødvendig energikapasitet for batteri på 1332 kWh. Med en batteripakke på denne størrelsen kan en tenke seg at lastbildet vil kunne holde seg mer stabilt og en kan her se på fangst av CO_2 ved denne lastkondisjonen. En batteripakke på denne størrelsen vil ikke utgjøre store drivstoffbesparelsen, men om det muliggjør fangst av CO_2 ved flere lastkondisjoner er dette selvsagt ønskelig. Om en implementerer en batteripakke på 1332 kWh og fordeler denne belastningen over 7.4 timer gir dette via samme utregning som i tabell 10 en økning i CO_2 fangst på 20 m^3 . Det vil også føre til en reduksjon av LNG på rundt 4 m^3 . Besparelsen i drivstoff er ikke radikal, men det vil være mulig å fange mer CO_2 .

Fra Corvus [4] kan en se at en batteripakke på denne størrelsen, med ulike moduler vil ha en enhetsvekt på rundt 18 tonn. Selvom effektiviteten og energitettheten til batteri øker for hvert år, er denne vekten viktig å ta hensyn til. Det vil også være mulig å lade batteriene ved å øke motoreffekten under transit og ved land, som gir skipet en større fleksibilitet med tanke på havneanløp. Figur 43 viser hvordan batteripakkene kan implementeres i skipet. Her vil det være nødvendig å konstruere to batterirom på lik kapasitet for å opprettholde DP kravene. Batteripakkene fungerer dermed som en egen energikilde som via en likeretter kan kobles opp mot hovedtavlen. Om en skal lade batteriene under transit eller andre kondisjoner må en ta utgangspunkt i en ladekapasitet. Dette krever også en økt belastning under disse kondisjonene som igjen vil påvirke drivstoffkapasiteten.

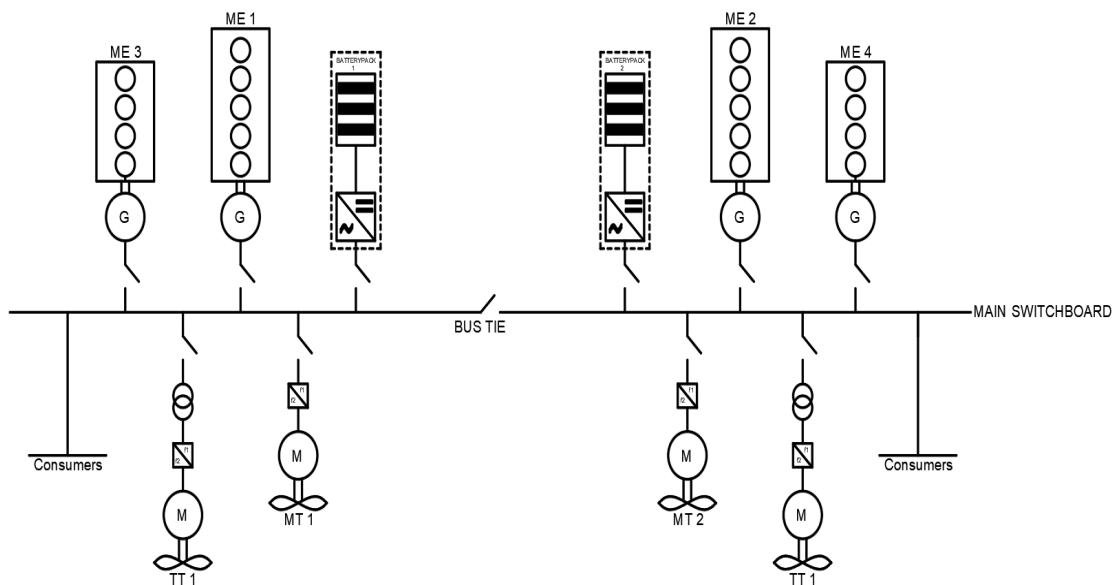


Figure 43: Linjetegning for kraftproduksjon og forbrukere med batteripakker

Utover den hybride løsningen har det blitt vurdert en tradisjonell løsning med MDO som drivstoff. Her er det valgt ut motorer tilsvarende i effekt og sylinderantall. Beregningene for MDO fulgte samme fremgangsmåte som tabell 10 og 11. Tabell 12 viser resultatene for drift på MDO for gjeldende driftsprofil sammen med resultatene for LNG. Fra figur 9 kan en se en ca. verdi på 500 USD pr. tonn LNG og pr. dags dato er prisen for MDO ca. 800 USD pr. tonn. Tabellen viser også verdien av nødvendig mengde drivstoff i USD.

Table 12: Resultater for beregninger for MDO og LNG

Alle kondisjoner uten "In port"	Volume	Weight	Price
SUM MDO	105.8 m^3	100 tonnes	80 000 USD
SUM CO2	168.8 m^3	185.8 tonnes	
Kun Transit			
SUM MDO	99.0 m^3	85.1 tonnes	68 080 USD
SUM CO2	73.8 m^3	81.3 tonnes	
Alle kondisjoner uten "In port"			
SUM LNG	222.7 m^3	94.9 tonnes	47 450 USD
SUM CO2	149.6 m^3	164.7 tonnes	
Kun Transit			
SUM LNG	209.2 m^3	89.1 tonnes	44 550 USD
SUM CO2	65.5 m^3	72.1 tonnes	

Prisene for drivstoffet er et gjennomsnitt på verdensbasis og har de siste årene økt gradvis. Dette er mye grunnet dagens verdensbilde, men en ser at LNG forholder seg lavere på snitt. Her er det viktig å poengtere forskjellene mellom tettheten til de ulike drivstofftypene. LNG har nærmere halvparten av tettheten til MDO og det kreves dermed et mye større volum for å oppnå lik energimengde. Selvom operasjonskostnadene kan reduseres med bruk av LNG vil det være store kostnader knyttet til LNG systemet. Batteri kostandene er også en faktor som er viktig å presentere. Batteripakkene som vurderes er av en passende størrelse mtp. energikapasitet, og en må dermed vurdere langsiktig bruk utover driftsprofilene som er presentert over. Det er dermed nødvendig å presentere et sammenligning av operasjonskostnader og investeringskostnader for de ulike alternativene.

10 General arrangement

General arrangementet er en 2D - tegning som skal vise et overordnet hvordan skipet er strukturert og hvordan ulike komponenter, rom og tanker er plassert. Denne skal være detaljert og kunne forklare hvordan ting er plassert og med korrekte dimensjoner. Et videre arbeid fra general arrangementet vil være mer detaljerte tegninger for ulike rom, komponenter som kreves for konstruksjon av fartøyet. Det er her valgt å presentere dekk for dekk, men et komplett general arrangement er vedlagt i rapporten som figur 79. Noen regelverk som er essensielle for utforming av generalarrangement er SOLAS og DNV. SOLAS-konvensjonen representerer en internasjonal

avtale som etablerer sikkerhetsstandarder for maritime fartøyer. Denne avtalen ble direkte motivert av tragedien med Titanic i 1912 og har som mål å sikre og beskytte liv på havet. For å oppnå dette formålet, implementeres konvensjonen gjennom spesifikke krav og inspeksjoner relatert til konstruksjonen av skip, nødvendig sikkerhetsutstyr om bord, samt operasjonelle prosedyrer. Konvensjonen omfatter nesten hele verdens handelsflåte, representert ved 99% av tonnasje. Dette illustrerer dens omfattende rekkevidde og betydning i å sette standarder for sikkerhet til sjøs globalt [2].

10.1 Dobbel bunn

Dobbelbunnen skal i henhold til DNV være minimum 760 mm høy, men et minimumskrav kan beregnes via

$$h_{DB} = 1000 \cdot \frac{B}{20}$$

Høyden er satt til 1000 mm og vil primært romme ballast og drillwatertanker. Figur 44 viser utsnittet av skipets dobbelbunn. Her vises det hvordan store deler benyttes til ballast i akterskipet og fremover i skipet er det satt av rom for gråvann, bilge og bokskjølere.

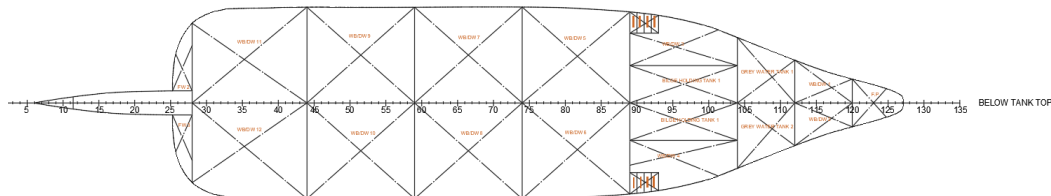


Figure 44: Dobbelbunn

10.2 Tank top

Figur 45 viser tanktoppdekket med en høyde på 3200 mm høyde. I dette dekket er det mest volum satt av til teknisk utstyr som maskinrom med tilhørende utstyr. Maskinrommet er lokalisert i forkant av skipet og store deler av dette er okkupert av hovedmotorer og nødvendig utstyr for drift av motorer. I midtskipet er det plassert lastetanker og LNG tank, med avsatt volum for LNG utstyr. Videre er ballasttanker

og lastetanker plassert hensiktsmessig i skutesiden og i akterskipet. Maskinrom som har LNG som drivstoff skal ha to uavhengige nødutganger. LNG tanken skal også være plassert en minste avstand av $B/11$ eller 11.5 meter fra skutesiden. Om LNG utstyret ikke er lokalisert ved et åpent dekk, så skal skott i kontakt med utstyret være av høyeste brannklasse. Det stilles dermed strenge krav til brannklasse og det har blitt valgt som en forenkling å sette av kofferdammer og stort volum ved siden av både tank og LNG utstyr for å sikre videre implementering av det som kreves av brannklasse. Området satt av til LNG utstyr er også stort nok til å kunne sette inn batterirom. Dette gjelder også områdene merket "Pump room". I vanntette skott er det satt inn vanntette dører som er hydraulisk operert.

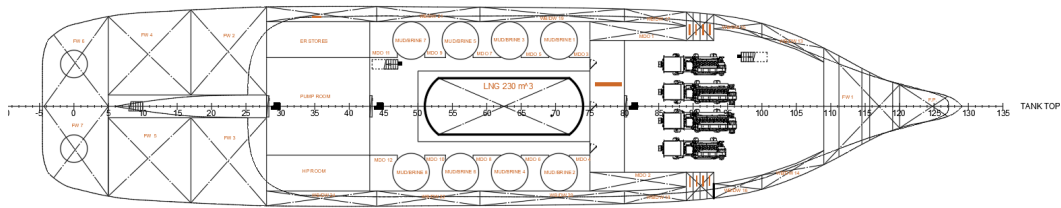


Figure 45: Tanktop

10.3 Tween deck

Tweendekket er i likhet med tanktoppedekket bestående av maskineri og lastetanker. Her gjelder samme krav for brann sikkerhet med tanke på LNG. Dekket har en høyde på 3200 mm og inneholder i tillegg til alt i tanktoppedekket et thursterrum og rom for hovedtavle. På dette dekket er maskinkontroll og diverse verksteder.

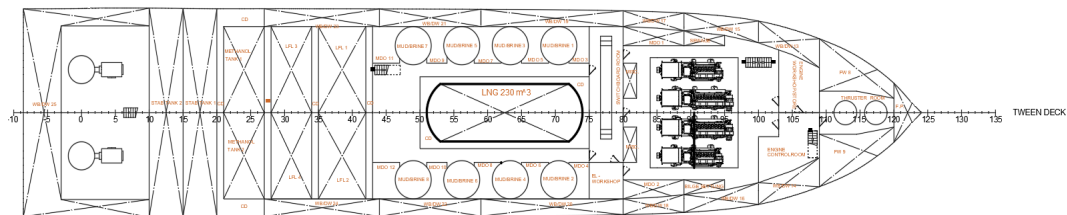


Figure 46: Tween deck

10.4 Main deck

Hoveddekket består i hovedsak av lastedekket og innredning. Her ser en hvilke områder som er satt av til karbonfangst og karbonfangstutstyr. Karbontanken følger samme fremgangsmåte med sikkerhetsmetodikken som LNG tanken nevnt i avsnittet over. Her er det i henhold til kravspesifikasjonen satt inn to tuggervinsjer på 10 tonn kapasitet i forkant av lastedekket. Figur 47 viser den valgte vinsjen, levert av Kongsberg Maritime. Innredningen opp mot tekniske rom krever her egne brannklasser som bestemmer tykkelsen på skottet. I akterkant av forpigtank er det satt av areal for ankerkjetting, markert "C.L." for chain locker. Utover dette er rom som hospital, garderobe og andre nødvendig rom satt inn. Overflaten av lastedekket utføres i treverk for å redusere støy og gi en sliteoverflate.

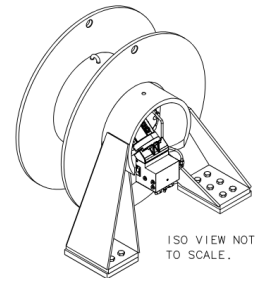


Figure 47: Tuggervinsj (Kongsberg Maritime)

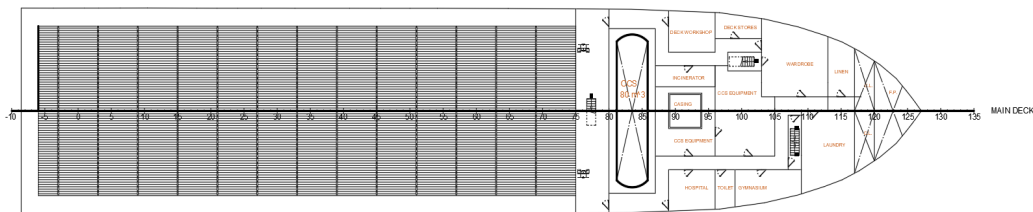


Figure 48: Main deck

10.5 A - deck

A dekket er mindre teknisk dekk, men inneholder lasthåndteringskran og MOB-båt. Dette dekket inneholder primært oppholdsrom, bysse, messe og lagringsplass. Figur 50 viser utsnittet av dette dekket. I forkant av skipet er det markert ankerlommer for oppholding av anker. I skutesiden er det plassert nødvendig mengde oppblåsbare flåter i henhold til regelverk. På babord side er

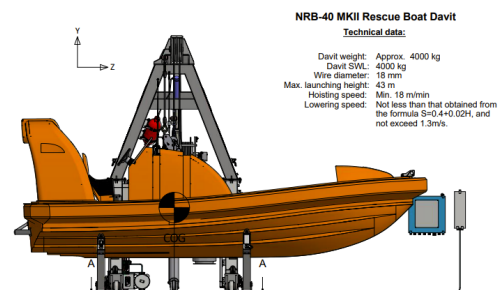


Figure 49: MOB-båt med davit (Viking LSA)

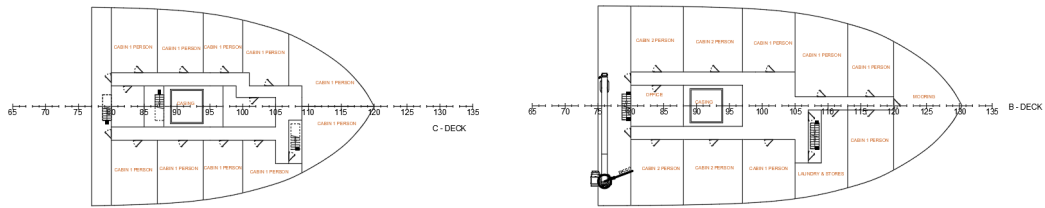


Figure 52: B og C - dekk

10.7 Generelle krav og fremgangsmetode

Kravene som settes til skipets arrangement er mange og er styrt av en rekke regelverk. Her inngår det spesielt med tanke på sikkerheten til mannskapet og driften av skipet. Regelverkene som tar for seg sikkerheten til mannskapet er spesielt SOLAS, MLC og LSA. Det har blitt fulgt en generell fremgangsmetode for å lage dekkarrangementene. Første del etter tankplassering og plassering av store komponenter er å dele opp skipet i soner for teknisk utstyr, innredning og lagring. Videre blir korridorer, dører og trapper satt for å gi en grov oversikt over hvordan en planløsning kan være strukturert. Her sørges det for å opprettholde minstemål med tanke på rømningsveier i de ulike seksjonene. Videre kan rom defineres mer spesifikt arealmessig og kan defineres i henhold til brannsonene fra SOLAS. Brannsonene regulerer isolasjonsevnen og hvilken grad det skal kunne motstå brann. Til slutt kan detaljnivået økes og en kan sette inn nødvendig innredning i lugarer, oppholdsrom osv.

11 Struktur

Skroget er selve fundamentet til et fartøy og det er derfor viktig å konstruere struktur som holder fartøyet sammen. For å oppnå dette er det viktig å følge klasseselskapets regelverk, DNV i dette tilfelle [8], og ta i bruk nyttige program for struktur som Nauticus Hull og 3D beam. Begge disse programmene er laget og levert av DNV. De har et stort regelverk for ulike typer fartøy, samt en del grunnleggende design prinsipp som gjelder for alle fartøy. For oppgavens fartøy vil det brukes regelverk som gjelder for alle fartøy, samt et eget kapittel for ”service vessels”. Offshore fartøy skiller seg litt fra andre fartøy som bulk, tank og containerskip med at det har litt mer kompleks struktur med store krav til lokal understøttelse kombinert med betydelige globalkrefter [3].

Kraftgangen på et fartøy handler om hvordan kreftene fordeler seg utover et skrog. Kraftgangen går som visst i figur 53. Plate er selve huden til skroget. De tar imot et gjevnt fordelt trykk fra væske eller annet last, og fører dette videre til stiverene. Stiverene overfører linjelast fra plate til bærer. Bærer opplager stiverene og overfører punktlast til panel. Panel danner hovedelementene i skrogbjelken. Skrogbjelken skal oppta de globale momentene og skjærkreftene [3].



Figure 53: Kraftgangen

Det er viktig å bestemme om stiverene enten skal være på langs, tvers eller en kombinasjon. Generelt har skip som er over 70m langskipsstivere i både bunn og dekk for å oppnå tilstrekkelig styrke. Med langskipsstivere blir det tverrskips bærersystemer og avstanden mellom bærerne er mellom 2-5 av spanteavstanden [3]. I dette tilfelle blir hver 5 spant inneholde en bærer. Det vil si at avstanden mellom hver bærer med spanteavstand 600mm blir 2400mm.

11.1 Global langskipsstyrke

For å sjekke den globale styrken i fartøyet vil Nauticus hull brukes. Her er deler av regelverket implementert inn i programmet. I starten er det viktig å definere inn riktige hoveddimensjoner og annet nødvendig data for fartøyet slik at analysen vil gi best mulig resultat. Deretter legges inn momenter og skjærkrefter som virker på skroget. Lasten som virker på hudplatene til skroget er stille vann og bølger. Stille vann blir det trykket når fartøyet ligger i ro og det er ingen bevegelse i vannet. Bølger blir dermed det motsatte, og vil inneholde et ujevnt trykk. DNV har et minimumsmoment som en kan konstruere fartøyet etter. For å oppnå et best mulig resultat for gjeldene fartøy kan en legge inn egne momenter. Disse momentene får vi ut fra lastkondisjonene som er definert i maxsurf.

11.1.1 Moment

$M_{TOT} = M_{SW} + M_W$ er en formel som forteller om hvordan Nauticus behandler momentene. M_W blir bestemt i Nauticus hull ved hjelp av empiri, mens M_{SW} blir bestemt i maxsurf utifra lastkondisjonene. M_{TOT} er dermed summen av moment sjøvann og moment stille-vann.

To nyttige begrep innenfor momenter og krefter er kondisjonene hogg og sagg. Hogg er den mest vanlige kondisjonen for fartøy og det er når en får oppdrift midtskips som fører til bøyning på skrogbjelken som er demonstrert i figur 54. Sagg er motsatt effekt der en får oppdrift akterut og forut. Dette er viktige kondisjoner som en må ta hensyn til når en skal se på momentkurvene. Dette skyldes vekt som er ulikt fordelt over hele fartøyet.

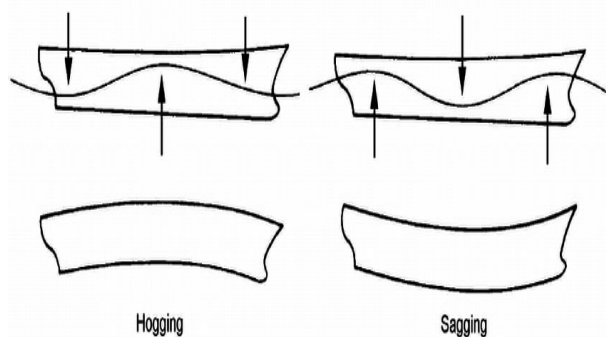


Figure 54: Hogg og sagg

Momentkurven ut fra lastkondisjonene kan en se i figur 55. Her kan en se at alle lastkondisjonene gir hogg, selv om et tilfelle gir indikasjoner til sagg er den fortsatt et positivt moment som tilsier hoggkondisjon. Den skisserte "max" kurven er omslutningskurven for alle momentene. Dette er for å lage et maks moment som kan brukes for å representere alle momentene, altså M_{SW} . Dette vil legges inn i Nauticus hull og momentet fra lastkondisjonene har større verdi for DNVs minimumsmoment M_S og er rundt 70 000 kNm for hogg. Siden fartøyet ikke viste noe sagg vil 50 000 kNm være dimensjonerende i henhold til DNV regelverk, vist i figur 56 (blå linjer). Her er grønne linjer egne momentkurver.

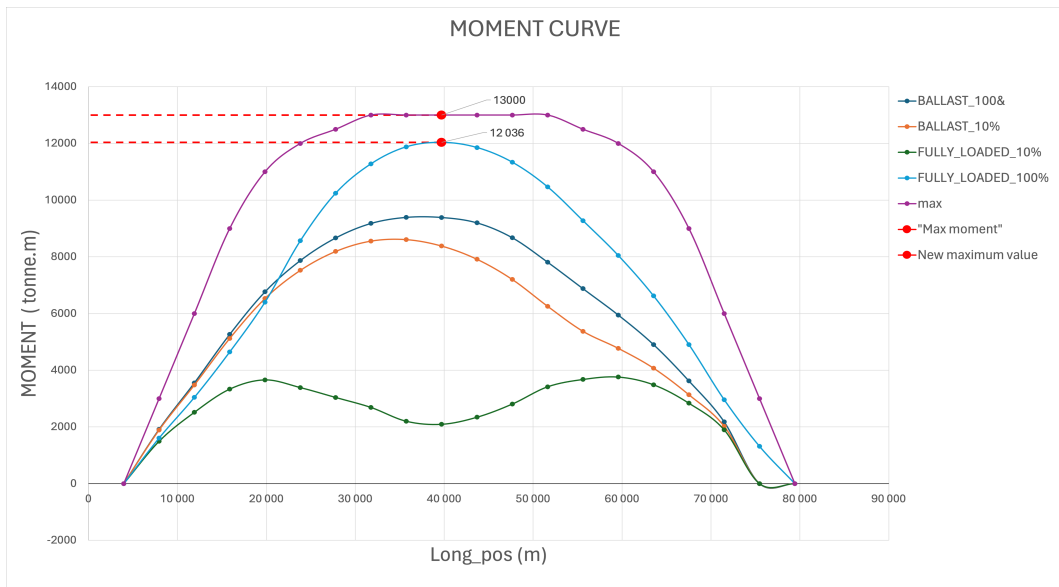


Figure 55: Momentkurve

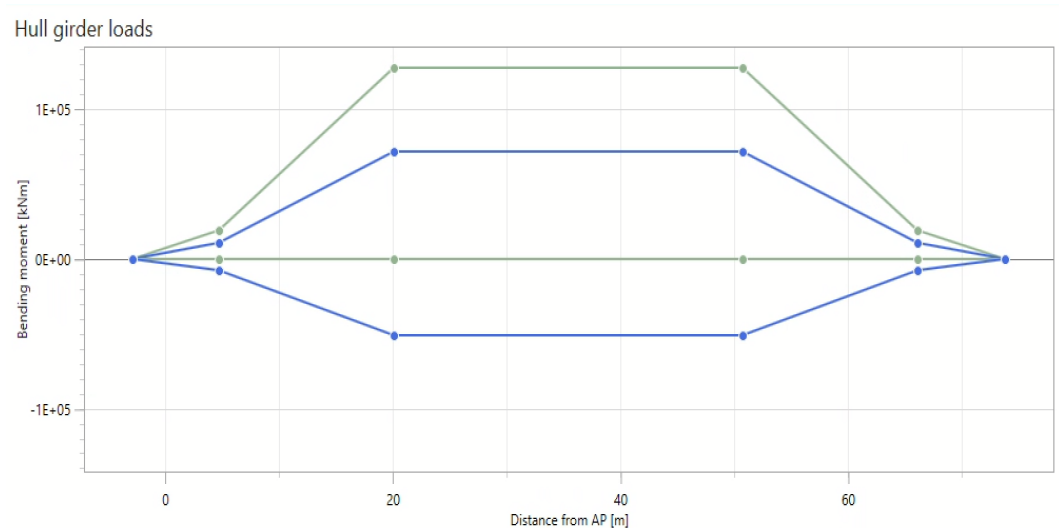


Figure 56: Momentkurver i Nauticus Null, blå representer DNVs minimumsmomenter for hogg og sagg

Det er en rekke flere definisjoner en kan legge inn i Nauticus hull for å oppnå et mest mulig presist resultat. En viktig ting er å definere tanker og lastkondisjoner. Dette er for å få riktig platestykkelse og tilstrekkelig med stivere i henhold til regelverk i området en lager snittet.

11.1.2 Kritisk snitt

Det er viktig å analysere skroget slik at en kan lage et snitt der en tenker vil være ekstra utsatt for spenningene. Her ble det etablert tverrsnitt på området rundt 0.4L, 0.3L og 0.7L. Her er det viktig å finne områder som ser sårbare ut. Med sårbare så menes det områder som har spenningsskygger eller mangler kontinuerlig struktur. For oppgavens skrog blir det et område som ikke har så mye tanker og dermed er mer åpent. I figur 57 kan en se spant 45, som er kritisk snitt rundt 0.4 L. Her kan en se dobbelbunn og vingtanker, samt MDO tank og lastedekk med skanseledning øverst. Mellom tankene på tanktop og tweendekk er åpent et område.

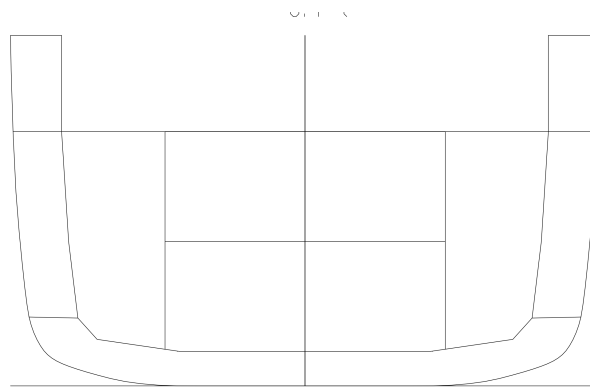


Figure 57: Kritisk snitt på spant 45, nærheten av 0.4L

11.1.3 Snittet i Nauticus hull

I Nauticus har en også mulighet til å definere de ulike panelene slik at programmet vet område som dimensjonerest. Dette varierer i fra fartøy til fartøy, i dette tilfelle vil styrkedeckket være hoveddekket/lastedekket. Strykedeckket er det øverste gjennomgåande dekket. Figur 58 viser hvordan panelene deles inn i de forskjellige snittene.

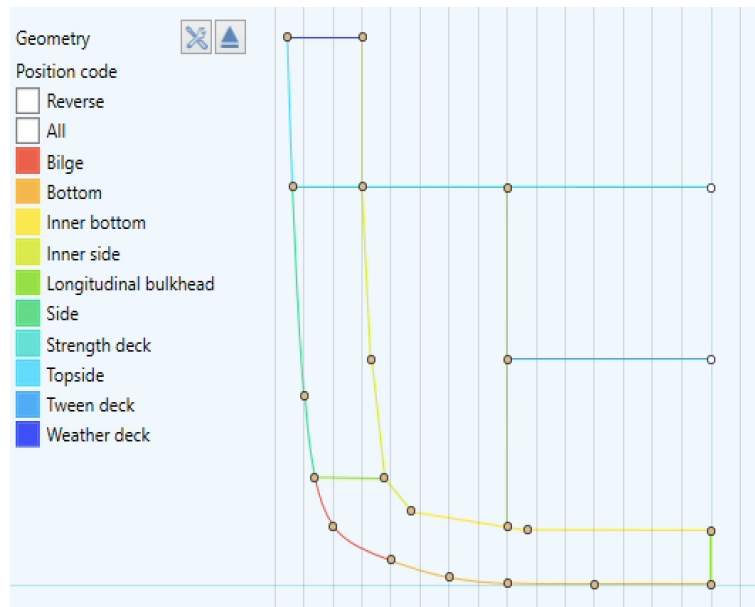


Figure 58: Inndeling av de ulike panelene i snitt 0.4 L

Tankene som er definert inn kan en også legge til på snittet. For snittet presentert her vil det gjelde bunntanker, vingtanker og MDO tank. Dette gjør at Nauticus tar hensyn til tanktrykk etter type tank og tetthet som er definert inn. I figur 59 kan en se noen av tankene definert inn. Her vises dog ikke alle tanker grunnet problemer med grafikken.

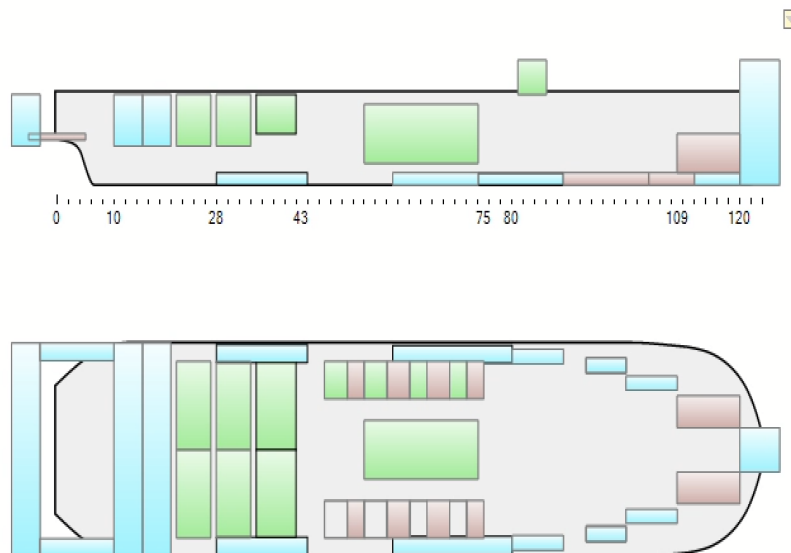


Figure 59: Definisjon av tanker

For dimensjonering av platetykkelse og stivere ble det forsøk å holde like størrelser for enkelhetsskyld videre i prosessen. Grunnen for dette er å gjøres er for de som skal produsere skroget. Platetykkelse brukt var 7mm, 10mm, 12mm og 14mm. Største

Skanseledningene skal være et åpent område som skal være mulig å bevege seg i. Dette fører til at en kan ha en kombinasjon av tverrskips og langskips-stivere. Langskips-stivere er det som er presentert i figur 61, så må en finne løsninger på hvordan disse åpningene skal være. Skanseledningene er tilnærmet ytterste fiber. Dette vil si at det ikke er et kritisk område sammenlignet med resten skroget og samme dimensjonerende last vil ikke være like markant her. Dette kan en se ved at det ble anbefalt små minimums størrelser på både plater og stivere på figur 61 og 60.

Samme prosess ble utført for de kritiske snittene 0.3L og 0.7L. Der 0.3L ble forholdsvis lik 0.4L, men med en metanol-tank som utgjør hele tweendekket. På 0.7L ble det endret litt siden dekket består mer av accommodation. Størrelsene på platene og stiveren ble stortsett likt for de ulike snittene. Figur 62 viser snittene 0.3L og 0.7L.

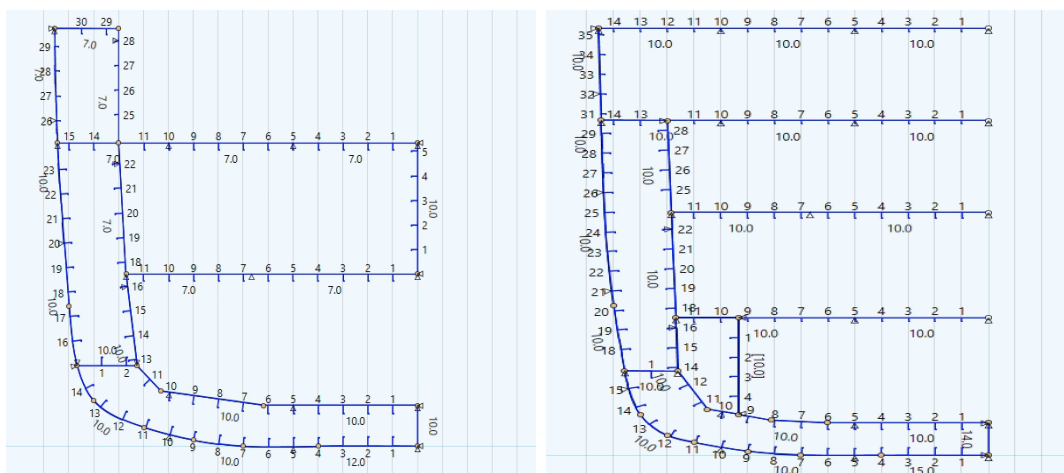


Figure 62: Tverrsnittene 0.3L og 0.7L

Det er flere interessante snitt en kan se på, som foreksempel spant 63. Her finner en senteret av LNG tanken samt brannmuren som sikrer tanken. I sidene vil en ha mud/brine tank og ytterst har vi vingtankene. Dette snittet er interessant å se på grunnet vekt. Tettheten på mud&brine er markant på $2.6 t/m^3$, noe som gir en markant last på platene. Så har en LNG tanken som i seg selv har en stor masse og det vil kreve et fundament for å sikre den. Figur 63 viser dette snittet med LNG tank i senter.

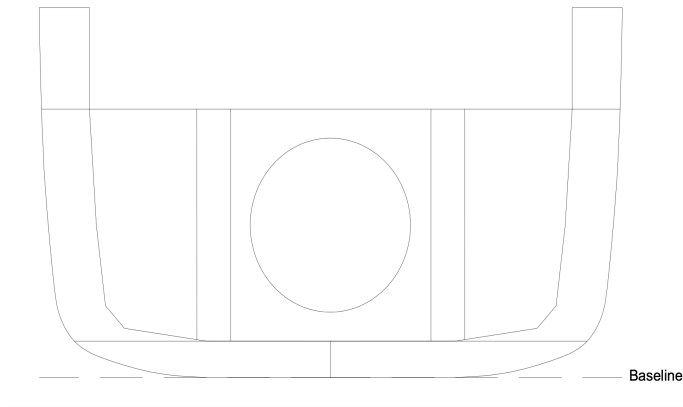


Figure 63: Snitt spant 63

På grunn av Mud/brine og LNG tankene var det nødvendig å øke platetykkelsene og stiverstørrelsene i området rundt tankene. Dette er ikke noe overraskende med tanke på at dette snittet har mye mer last enn 0.4L, 0.3L og 0.7L. Figur 64 viser plater og stivere dimensjonert for snitt i spant 63.

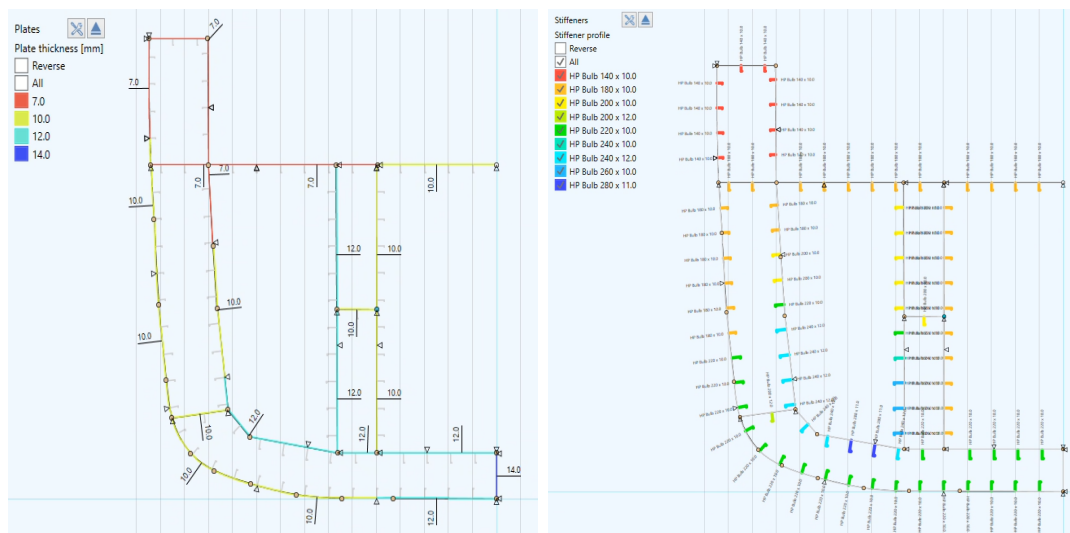


Figure 64: Tverrsnittene i senter av LNG tanken

11.2 Lokal styrke

Nauticus hull ser bare langskipsstrukturen og tar dermed ikke for seg bærersystem som er det som skal ta imot lasten fra platene og stiverene som nevnt i kraftgangen. Dette kan en enkelt ta for seg i 3D beam med å lage et tverrsnitt av en bærerramme.

Det en gjør er å modellere inn bærerprofil med steg og flens på begge sider. Flensen sin tykkelse skal være lik platetykkelsen for gjeldene snitt, mens bredden på flensen

vil være 2400mm for å oppnå bærere hver 5 spant. Steget sin høyde vil i bunn og på sidene tilsvare dobbelbunn eller vingtank. Her er det viktig å bestemme tykkelsen på steget som gir god nok styrke. Grensebetingelser er også definert for hvert punkt, slik at den er fast innspent og rotasjonsfri der det trengs.

Det er også viktig å legge inn lastene som i denne oppgaven vil være det største sjøtrykket som er oppgitt i Nauticus hull som er et resultat av statisk og dynamisk last. Det blir også lagt til last på hoveddekket som tilsvare $1.5t/m^2$ for hele dekket. I Nauticus ble det brukt en designlast på tweendekket på $2.5kN/m^2$ som ble brukt videre i 3D beam. Sjøtrykket er ikke likt fordelt over side platene, og vil gradis avta opp til vannlinja. For å sikre at det blir dimensjonert riktig, ble det fordelt helt opp til toppen av skanseledning. Dette er illustrert i figur 65.

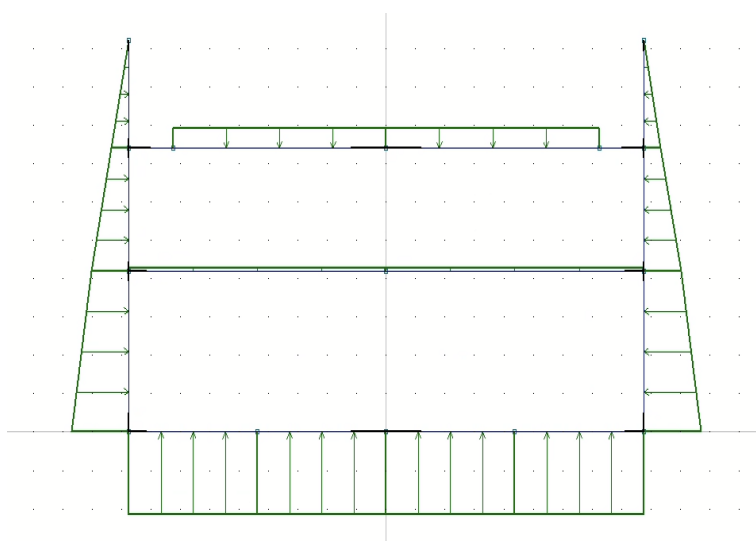


Figure 65: Ramme med dimensjonerende laster

Siden lengden av bærere i hoveddekket og dobbelbunnen blir av en vesentlig lengde og skal motta store laster, ble det valgt å ha en langsgående bærer for å støtte opp. Denne er av same profil og dimensjon som de tversgående. Skanseledningen ble satt til å bestå av en bjelke inntil videre, selv om den blir overdimensjonert for lastbildet. Det en er mest interessert i å se er hovedstrukturen under hoveddekket.

Figur 66 viser rammen i 3D-beam. Løsningen viste lovende resultater i analysen for knekk og buling, men ytterligere tester er planlagt for å verifisere den endelige løsningen. Strykesjekken viser at hver bjelke er under flytgrensen og resultater for dette er vedlagt 82. Selv om denne rammen ikke representerer hele skrogets struktur, da den varierer langs fartøyet, gir dette en pålitelig representasjon av hvordan en tverrskipsramme kan se ut. Det kreves dermed ytterligere undersøkelser for å verifisere skipets strukturelle egenskaper.

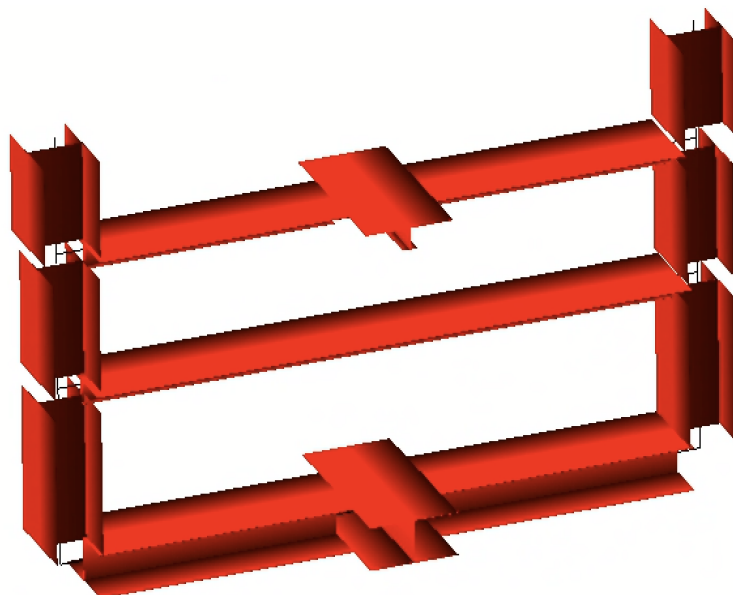


Figure 66: 3D illustrasjon av ramme

11.3 Buling

Det er et stort trykk i både bunnplate og hoveddekk grunnet store laster som sjøtrykk og dekkslast. Dermed er det viktig å utføre en bulekontroll for å sjekke om dimensjonene har stor nok kapasitet mot buling. Ved tynne skallkonstruksjoner blir buling ofte dimensjonerende. Ved eventuell buling er det ulike tiltak en kan gjennomføre som å øke platetykkelse, minke stiveravstanden eller innføre ekstra bulestivere. For å utføre denne testen ble det brukt et program innebygd i Nauticus hull navngitt ”buckling of stiffned plates”.

En trenger tre spenningsverdier for å utføre testen. σ_{beam} i x og y retning og $\sigma_{hull-girder}$. σ_{x-beam} og σ_{y-beam} får en ikke bare ved å se på en enkelt ramme, men en må sette sammen langskips-struktur, men gjerne for et lasterom eller åpent område i skroget. Dermed ble det konstruert et bærersystemet på tanktopp mellom spant 28 og 43 med dimensjonerende sjølast som vist i figur 67. $\sigma_{hull-girder}$ henter en ut fra Nauticus Hull. For alle spenningene ble det valgt de største verdiene for å sikre tilstrekkelig bulekapasitet.

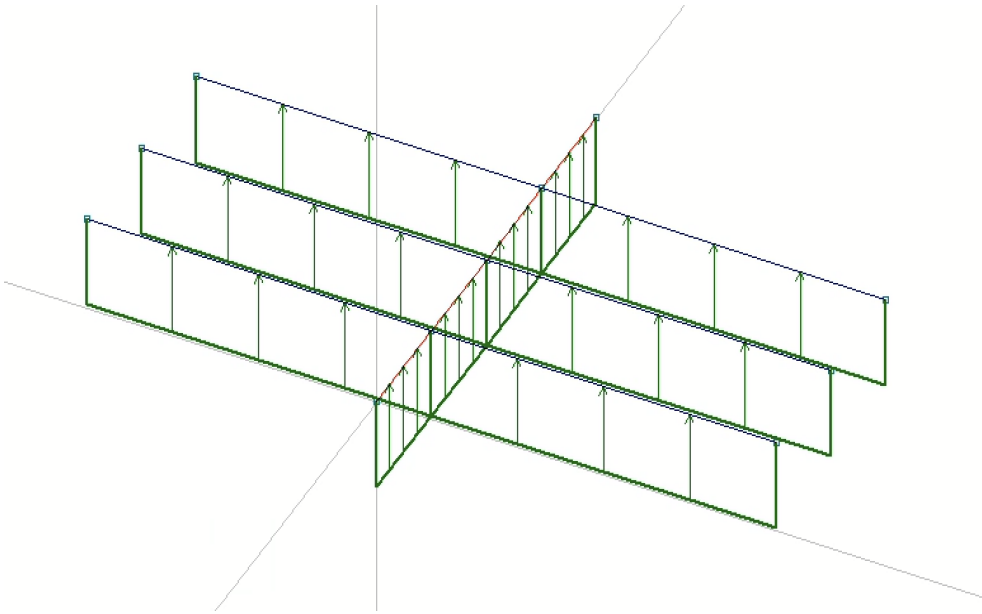


Figure 67: Modellert tanktop dekk

Platenes dimensjon er 2400x600mm og valgt platetykkelse for bunn er 12mm. σ_{x-beam} og σ_{y-beam} var henholdsvis på 125 og 42 MPa, mens $\sigma_{hull-girder}$ var på 125 MPa. Testen, som vises på figur 68, viser at det er nødvendig å gjøre tiltak for bunnplaten. Dette vil vi gjøre ved å øke platetykkelsen til 16mm for å sikre tilstrekkelig bulekapasitet i bunn. Dette var litt som forventet da minimumsverdiene i Nauticus hull var noe lave og dermed må flere seksjoner sjekkes.

Description: Panel Name: Load case name: Load type: Other Rule version: DNV rules, July 2021

Stiffener Types: Stiffener 1: No stiffener Stiffener 2: Equal to off Stiff. type 0

Plate Data: Pl. length: 2400 mm Plate width: 600 mm Plate thickness: 12 mm Safety fact. pl.: 1,00 Safety fact. st.: 1,00

Hole length: 0 mm Hole width: 0 mm PSM opt.: Other, not F

Material Data: Yield stress: 355,0 MPa Poisson ratio: 0,30 E-Module: 206000,0 MPa

Stress Data: σ_{xBeam} 125 MPa $\sigma_{xHullGirder}$ 125 MPa σ_{yBeam} 42 MPa $\sigma_{yHullGirder}$ 0 MPa Hull Girder stress is to be σ_x σ_y Note: Poisson corrected 288,6 MPa 128,6 MPa compression stress is positive...

Allowable UF: 1,00 surface pressure: 0 kPa [kN/m²] (pos. pressure on plate side, neg. on stiffener side)

Stress from: Beam Grillage calculation Special cases: General. Assessm. met.: Method A. No. of tripping brackets: No Brackets

Subtract corr. add. from profile Plate corr.: 0 mm Stiff.1 Corr.: 0 mm Stiff.2 corr.: 0 mm

Add angle of plate and profile Stiff. angle: 0 W.to Fl. ang.: 0 Stiff.2 angle: 0 W.to Fl. ang.2: 0

Check curved plate buckling R long edge: 0 mm R short edge: 0 mm Use radius R = 0 for flat or non-curved edge: Bilge plate

(Default units above are [mm] or [MPa] if no other units are given)

Plate Results: Usage factor: Req. pl. thickn.: (Estimated required plate thickness shown here is estimated net value and only considering plate buckling)

Least square: 1,20 14,3 mm

Slenderness: Outer shell, strength deck except in superstr. Vessel length L >= 90 tp >= - OK

(Please Note: After changing to estimated values or after iteration on scantlings based on local considerations, it is necessary to re-check the whole Cross Section.)

Figure 68: Bulingtest

12 Overordnet plan av LNG og trygg lagring

Karbonfangst om bord på skip er en løsning som i senere tid har blitt mer aktuell for å kunne redusere klimagassutslippene. Karbonfangst har utviklet seg på landsbasis, men siden det er relativt nytt om bord på skip så har ikke klasseselskap som DNV fastsatte regelverk for dette. DNV har derimot opparbeidet anbefalinger basert på IMO, IGC - koden og IGF - Koden. IGC-koden (The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) [15] regulerer skip som frakter flytende gasser som har et fordampningstrykk over 2.8 bara ved en temperatur på 37.8 °C. IGF - Koden (The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels) [17] regulerer skip som bruker drivstoff som LNG, men som også setter standarder for tanker, rør og annet utstyr som skal tåle lave temperaturer og høye trykk. Fra disse regelverkene kan en bygge opp en plan for hvordan best mulig løse utfordringene knyttet til karbonfangst om bord på skip.

12.1 Håndtering om bord på fartøyet

Som nevnt i 7.1 er det krav om at karbontanken skal være av Type C. Dette gjør at det ikke kreves en sekundær barriere. Stål anbefales for rør og ventiler, men alle materialer som benyttes skal tåle lavest oppnåelig temperatur. Temperaturen for flytende CO_2 er -56.5 °C og krever dermed en materialtype 2.25 % nikkel stål. Eksosen som skal renses må overholde gjeldende krav om utslipp. Motorene som er satt inn møter kravene om IMO tier 3 og rensingen gjennom scrubberen bør også møte disse kravene. Utstyret for rensing og absorbering kan være plassert i maskinrom eller i nærheten av casing. Det har som nevnt blitt valgt plasseringen i nærheten av casingen for å isolere dette og for å holde det i eksosflyten. Rom for håndtering av CO_2 skal være omsluttet av skott og gasstette dører. Her anbefales det å unngå kabel og rør gjennomganger for å minske risikoen for lekkasjer. Rommene skal være utstyrt med eksosvifter for lufting ved en eventuell lekkasje. Det stilles også strenge krav til overvåkning og alarmering. Det skal for eksempel være alarm ved PPM konsentrasjon over 1500.

Som en generell retningslinje krever SOLAS at rom i nærheten av maskin/tekniske rom skal være skilt med et skott som har brannklasse A-60. Dette betyr at det skal kunne beskytte mot brann i 60 minutter. Figur 69 viser hvordan det tenkes at karbon-fangstsystemet kan utføres med gjeldende krav. Figuren er et utklipp av hoveddekket med muligheter for lossing av karbon i samme område som LNG bunkring. Systemet som vist i figur 6 er her plassert på en hensiktsmessig måte.

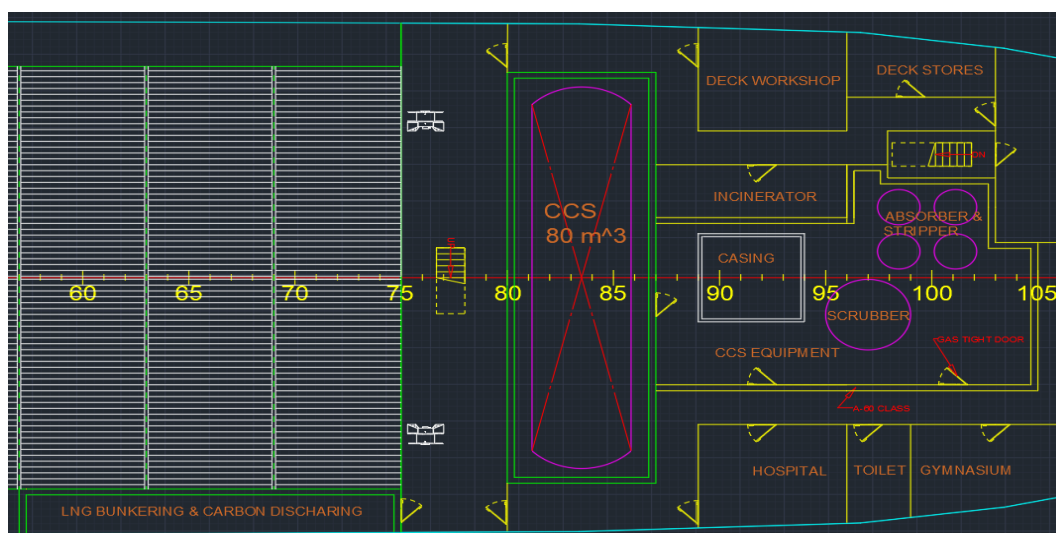


Figure 69: Illustrasjon av karbonfangstsystemet

12.2 Håndtering på land

Som nevnt i avsnitt 3.2 er det flere prosjekter som er planlagt å gjennomføres for håndtering av karbon på land. Om skip skal benytte karbonfangst er det essensielt at det er muligheter for å losse flytende karbon ved større terminaler som Dusavik. Terminaler som allerede leverer LNG vil kunne være aktuelle for slike operasjoner. Dette er fordi det allerede er strenge sikkerhetsrutiner knyttet til LNG. Flytende karbon er ofte lagret under høyt trykk og ved svært lave temperaturer. Enhver håndtering av det må være strengt regulert og utført av opplært personell for å unngå fare for lekkasjer, kuldeskader eller andre sikkerhetsrisikoer.

Enhver operasjon som involverer håndtering av flytende karbon innebærer risiko. Det er viktig å ha omfattende risiko-håndteringsplaner på plass for å identifisere potensielle farer og implementere tiltak for å minimere risikoen for ulykker eller skader på mennesker, miljø og eiendom. Utslipp av flytende karbon kan ha alvorlige konsekvenser for miljøet, inkludert forurensning av vann eller luft. Derfor er det avgjørende å ha strenge miljøbeskyttelsesprosedyrer på plass for å minimere risikoen for utilsiktet utslipp under losseprosessen. Enhver operasjon som involverer håndtering av flytende karbon innebærer risiko.

Karbonfangst og -lagring er et felt som er underlagt strenge reguleringsstandarder og samsvarsprosedyrer. Enhver operasjon relatert til losseprosessen må være i samsvar med gjeldende lover og forskrifter, noe som kan legge til ytterligere administrative byrder. Implementeringen av CCS-teknologi og losseprosessen for flytende karbon kan være kostbart. Her vil stat og andre aktører i samråd med skipseiere kunne utarbeide løsninger som kan iverksette slike tiltak.

13 Resultat

13.1 Endelig konsept

Det endelige konseptet er sammensatt av løsningen for hoveddimensjoner, planløsning og maskineriløsning. Skipet vil være et tilskudd til det grønne skiftet med LNG som drivstoff og karbonfangst for rensing og lagring av eksos. Figur 70 viser endelig konsept med tilhørende detaljer i tabell 13. Skipet er utformet med et voluminøst skrog for å sikre en god lastekapasitet, hydrodynamisk effektivitet og stabilitet.

LOA	83.4 m
LPP	73.8 m
B	17.5
T	6.2 m
D	7.4 m
DWT	4550 t
LWT	2770 t
C_b	0.722
Cruising speed	10 knots
Transit range on LNG	720 nm
Operational hours on LNG	340 hours

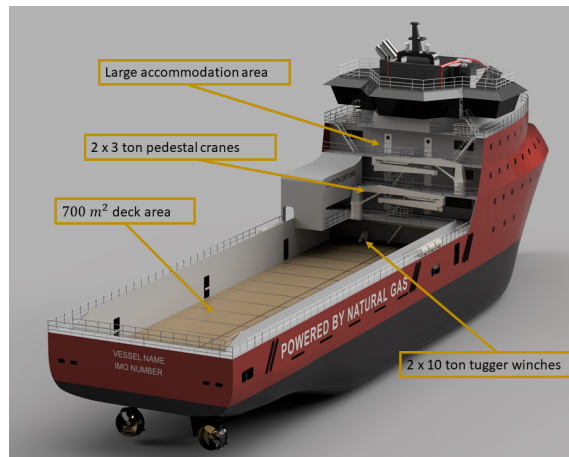
Table 13: Main particulars



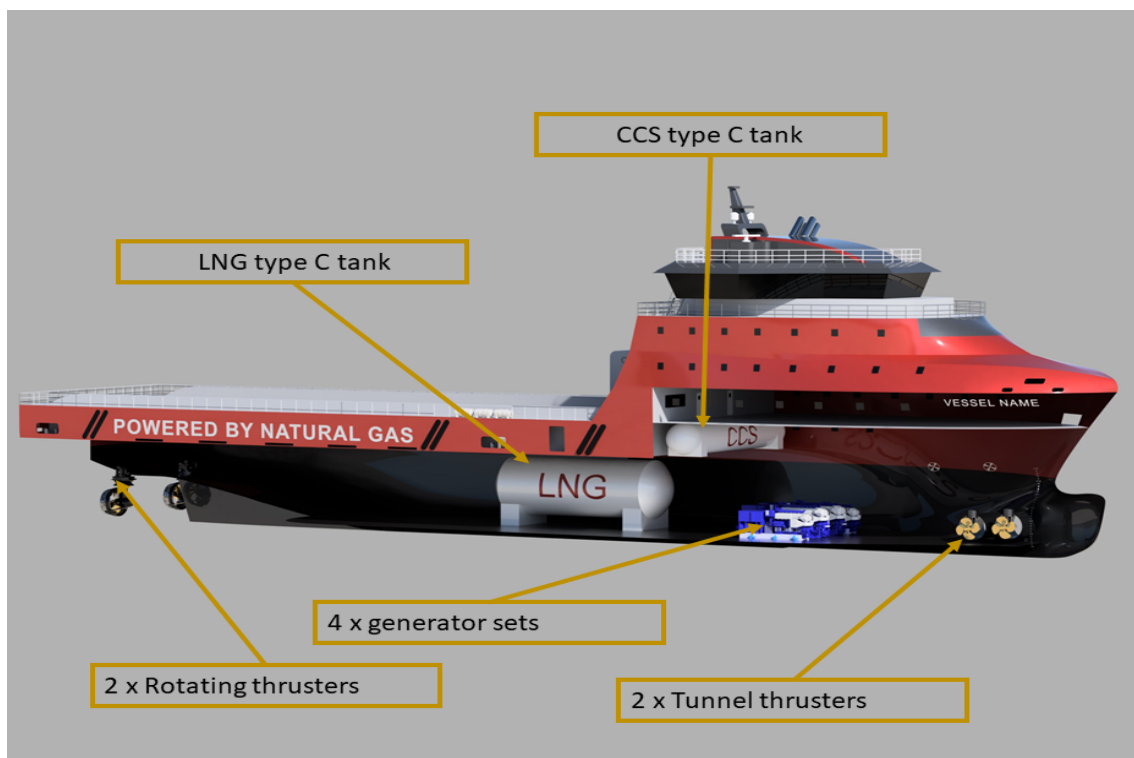
Figure 70: Endelig konsept



Skipet har en lastedekks størrelse på 700 m^2 med en lastekapasitet på 1050 tonn. For lastehåndtering er skipet utstyrt med to lastehåndteringskraner med en kapasitet på 3 tonn og en rekkevidde på 10 meter. Dette gir mobilitet og effektivitet under lastehåndtering. Skipet har romslige lugarer for 23 mannskap med 15 enkle og 4 doble lugarer.



Maskineriløsningen er bestående av fire generatorsett for dual fuel drift med LNG og MDO. Dette gir reduksjon i utslipp og en økt driftssikkerhet. Med to roterende thrustere for fremdrift og to tunnelthrustere er skipet kapabel for DP2 operasjoner. Skipet er utstyrt med muligheten for rensing og fangst av CO_2 under transit. Med muligheten for 70 % fangst av CO_2 vil skipet være fremtidsrettet og et tilskudd for fremtidens flåte. Her er det muligheter for implementering av batteripakker for å kunne utføre karbonfangst under flere operasjoner.



Designets utforming gir en fleksibel lastekapasitet, med store muligheter for endringer for å møte et hvert behov. Med et fokus på sikkerhet vil designet kunne yte nødvendig for å støtte ulike offshoreinstallasjoner. Designets fokus er i ”less is more”, hvor det er ønskelig å frakte nødvendig mengde last og maksimere utnyttelsen av lastevolumet. På denne måten kan skipseier øke skipets operasjonstid og utnytte lastekapasiteten optimalt. Vedlagt i N finner en bildeserie av designet.

Tank capacities			Machinery & propulsion	
MDO	abt.	360 m^3	Generator sets	9L20DF 2 x 1755 kW
Drillwater/ballast	abt.	1580 m^3		6L20DF 2 x 1160 kW
Potent water	abt.	530 m^3	Stern thrusters	2 x 1500 kW
Mud/brine	abt.	400 m^3	Fwd Tunnelthrusters	2 x 1200 kW
LNG	abt.	230 m^3		
LFL	abt.	350 m^3		
Methanol	abt.	150 m^3		
Liquid carbon	abt.	80 m^3		



14 Diskusjon

PSV flåten består i dag av noe gammel tonnasje. Disse er oftest dieseldrevet og vil kreve utskifting av enten hele skipet eller retrofit for å møte utslippskravene. For å kunne gjøre gode avgjørelser er en nødt til å prøve å forespeile hvordan markedet vil utvikle seg over tid. Oljenæringen står sterkt som en næring, men med utslippskravene som kommer kan en tenke seg til at det går mot færre og mer effektive plattformer. Med utgangspunkt i dette vil det være mindre krav til stor tonnasje i PSV flåten og en må heller se til mer effektive og flerbruks skip. Dette er også mulig med tanke på offshore vind. Om en kan kombinere forsyningsfartøy med servicefartøy for offshore vind, kan en redusere nødvendig antall skip og øke effektiviteten og nede-tiden for skipene. Det er også viktig å nevne at skip blir mer og mer autonome og vil dermed i fremtiden kanskje kreve mindre personell. Mindre personell og en høyere flerbruk av fartøy vil føre til en mer kompleks design, men vil være med å senke utslippene.

Skipets lave dekkareal på 700 m^2 var satt for å kunne kompensere for karbonfangstsystemet. Dagens tonnasje, som nevnt over, er store skip med dekkareal opp mot 1000 m^2 . Skipseiere må vurdere hvor mye dekkareal som faktisk er nødvendig. Om en kan redusere dekkarealet for bedre arealutnyttelse, er dette noe som vil senke operasjonskostnadene på sikt. Å transportere uutnyttet dekkareal vil bare øke operasjonskostnadene. Her vil det være opp til skipsdesignere i samråd skipseiere å vurdere designet opp mot dagens og fremtidige krav. En illustrasjon på dette vises i figur 71. Denne illustrasjonen viser hvordan en ønsker å spisse skipets potensiale for å oppnå høyest ROI (Return of investment) for skipseieren.

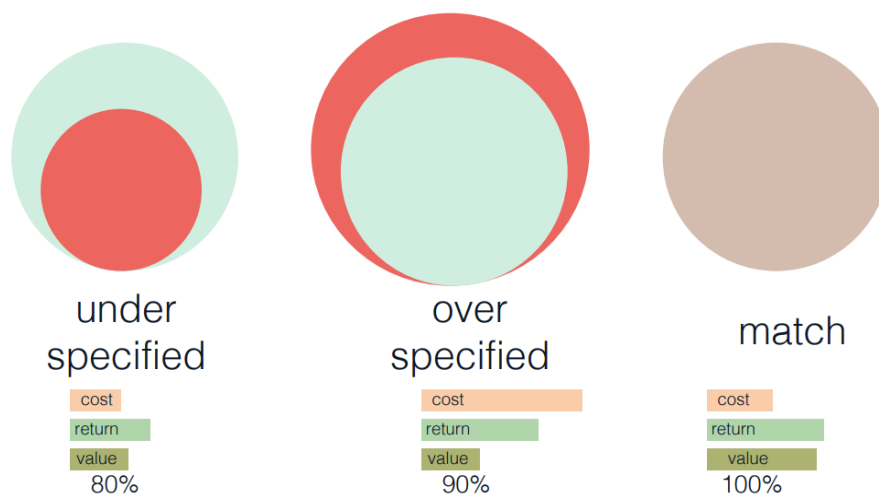


Figure 71: Over/under spesifisert fartøy (Skipsdesign 3 pensum)

Fremtidens drivstoffløsninger er mange og svært varierte. LNG er et av alternativene, men vil ikke være aktuelt for alle. Hvilken drivstofftype som er aktuelt for det gitte skipet vil avhenge av mange faktorer. Hovedfaktorene vil dog være tilgjengeligheten. LNG er svært utbredt og vil være en løsning på veien mot nullutslipp. LNG er et renere drivstoff enn MDO og HFO, men krever et stort volum for å oppnå samme mengde energi. LNG er et fossilt drivstoff, som ikke hverken vil være karbonnøytral eller nullutslipp. Men en kombinasjon av LNG og karbonfangst kan være en løsning på veien til nullutslipp. Det er knyttet stor usikkerhet til de ulike drivstofftypene som ammoniak og hydrogen, så et rensesystem av drivstofftyper som allerede benyttes er et bra alternativ.

En hver skipseier vil alltid vurdere kostnadene for de ulike løsningene. Med en nesten halvert pris for LNG kontra MDO vil operasjonskostnadene senkes. Den ekstra belastningen på 10-13 % vil være en faktor som må optimaliseres etter. Motorkapasiteten må rettes etter en økt belastning og driftskondisjoner må optimaliseres. Dette gjelder generelt for skip også med tanke på ruteoptimalisering og lastkondisjoner. Driftskondisjonen antatt i denne oppgaven representerer ikke det fulle bildet av hvordan et skip opererer. Usikkerhetene knyttet til de ulike kondisjonene "Stand-By" og "Work" vil kunne bedres ved bruk av batteripakkene. Batteri vil fungere som en peakshaver og en oppnår dermed en mer stabil motorbelastning. Størrelsen av batteripakken som er vurdert er passende, men kan økes og vil kunne assistere driften. Et nylig prosjekt [26] ser på muligheten for å lade til sjøs. Dette vil kunne være aktuelt siden offshore vind ofte er lokalisert i nærheten av oljeplattformene i Nordsjøen. Her vil det da være muligheter for lading av større batteripakker før eller etter operasjoner.

Prisen for karbonfangstsystemet er ukjent og vil påvirke skipseiernes investering og operasjonelle kostnader. Det vil derimot gevinster å hente inn i et slikt system på sikt. Norge har per dags dato implementert EUs klimakvotesystem (ETS) og er f.o.m 1 Januar gjeldende for alle skip over 5000 GT. Disse skipene står for over 90 % av all utslipp fra skipsfart og ville måtte betale kvoter for 100 % av utslippene innad i EØS og for 50 % for reiser til og fra EØS. Supplyskip er sjeldent over 5000 GT og vil dermed ikke direkte påvirkes av dette. Offshoreskip mellom 400 og 4999 GT vil derimot være pålagt å følge MRV-forordningen fra 1 Januar 2025. Dette betyr at alle utslipp må logges og rapporteres. Basert på disse rapportene vil skipene som faller inn under denne størrelsen vurderes om det skal undergå samme kvotesystemet ved utgangen av 2026. Dette kommer frem i faktanotatene fra regjeringen [24] og [25]. Dette vil være en del av EUs klimapakke "Fit for 55", som skal senke utslippene med 55 % fra 1990 til 2030.

Prisene på disse klimakvotene vil variere, men fra Kystverkets årlige rapport [20] ble det presentert at kvoteprisen i 2023 var 100 euro per tonn CO_2 . Med utgangspunkt i en fastsatt driftsprofil vil det være en besparelse i operasjonkostnader ved bruk av LNG som vist i tabell 12. Det gir derimot begrensninger mtp. fleksibilitet i operasjonsprofilen grunnet mengde drivstoff. CO_2 utslippet vil også være redusert med opp til 20 % med LNG. Om en tar utgangspunkt i CO_2 kvotene og at de kan bli aktuelle vil en fangst av CO_2 i henhold til tabell 10 på 70 tonn tilsvare en besparelse på rundt 1.8 millioner kroner i året. Om en kan utføre fangst av CO_2 i henhold til tabell 11, 170 tonn CO_2 , vil det tilsvare en besparelse på rundt 3.8 millioner kroner i året. Avhengig av prisen for karbonfangst anlegget og kosten av driften kan det være mulig å gjøre besparelser ved implementering av et slikt anlegg over livstiden til skipet.

Det skal også nevnes at det skal innføres kontroll for andre gasser enn bare CO_2 . Det vil her være aktuelt å se på utslipp av metan fra LNG driften. Dette vil være den metangassen som ikke blir forbrent i motoren og går ut gjennom eksosen.

14.1 Feilkilder og videre arbeid

Å designe et skip er en iterativ prosess som krever flere gjennomganger av designsyklusen for å oppnå et godt resultat. Denne oppgaven er ikke et unntak og resultatene fra denne prosessen trengs å gjennomgås ytterligere. Nedbrytningen av prosessen som vist i figur 10 var en effektiv måte å forstå arbeidsprosessen og utarbeide arbeidsrutiner. Oppgaven krever på generell basis flere gjennomganger av denne prosessen for å oppnå best mulig resultat. Dette gjelder både gjennomgang og forbedring av de ulike valgte metodene, men også utforskning av andre metoder som kan gi bedre resultater.

Generelt sett så vil det videre arbeide være å utføre flere gjennomganger av designprosessen og derav spisse designet til et mer fullverdig design. Dødvekten tar ikke hensyn til dekkslasten og det ville her vært aktuelt å foretatt flere møter med oppdragsgiver for å korrigert dette tidligere i prosessen. På grunn mangel på tid, ble ikke dette oppdaget før arbeidet var en del nede i prosessen. Detaljnivået på tegninger og beregninger ville i en ny runde av designprosessen blitt økt. Her med stor fokus på generalarrangement for å gitt en mer helhetlig tilnærming. Det var også ønskelig å lage separate system tegninger for karbonfangstanlegget, men på grunn av mangel på tid og informasjon ble ikke dette gjort. Det er også svært lite litteratur på emnet som ikke gir det fulle bildet av hva som faktisk er mulig med karbonfangst. Litteraturen er i stor grad rettet mot landbaserte anlegg.

14.1.1 Driftsprofil og maskineri

Antagelsene for driftsprofilen er et gjennomsnitt for flere skip, men viser ikke det fulle bilde av belastningen. Antagelsene om en fastsatt belastning for de ulike kondisjonene kunne vært mer detaljert og her ville det vært aktuelt å kontakte rederiene for et mer detaljert innblikk i belastningen ved de ulike kondisjonene. Antagelsene for utslippsfaktorene skulle vært mer detaljerte og et grundigere forarbeid skulle vært gjort for kunne utført mer nøyaktige beregninger. Det er heller ikke tatt hensyn til metanutslippet fra uforbrent metangass og hvilke påvirkninger dette fører med seg. Motor og utstyr som ble valgt ut skulle også vært kontrollert opp mot leverandør og her ville innspill fra leverandør og operatører vært til hjelp for kunne gjøre passende valg. Thrustere for fremdrift og tunnelthrustere er noe underdimensjoner for det som er normen for skip av lignende størrelser. Her ville det vært aktuelt å forespurt en ”utstyrspakke” fra leverandør. LNG og CCS systemene mangler store deler av detaljberegninger. Om en kan faktisk kan benytte seg av LNG sin lave temperatur for karbonfangst og hvordan det komplette systemet ville sett ut, skulle vært fokusert mer på. Siden dette er en relativt ny teknologi er tilgangen på informasjon og tegninger vanskelig å finne.

14.1.2 Skrog

Skroget ble de første gjennomgangen utformet litt vilkårlig. Det ble mer detaljert etter hver runde, men det viste hvor viktig grunnarbeidet med utforming og statistikk er. Videre arbeid ville vært å satt opp med faste dimensjoner for de ulike snittene av skipet og jobbet med å optimaliserte disse. Neste runde ville også inkludert en endring av spanteavstand fra 600 mm til 700 mm mellom kollisjonsskott og vanntett skott i akterskipet. Dette var anbefalt avstand av DNV og normen i eksisterende skip. Bulben ble ikke optimalisert for korrekt dypgang eller hastighet, og det ville vært et videre arbeid å forsøkt å justert denne for funksjon. Her ville det også vært interessant å utforske ulike baugtyper for å sammenligne resultater for motstand og bølgemønster. Det var også ønskelig å utføre modellforsøk, men på grunn av mangel på tid ble ikke dette utført. Dette var også ønskelig for flere baugtyper, samt å ha et større fokus på skrogdesign og undersøke de ulike hydrodynamiske effektene. Skroget ble formet i Maxsurf Modeller, men overgangen til Maxsurf Resistance førte til flere feil med definering av overflater. Dette førte til mange kontrollrunder for å konkretisere skrogmotstanden. Her ville et videre arbeid vært å gjort grundigere forarbeid i modelleringen for å luket ut problemer tidligere i prosessen.

14.1.3 Lettskip

Tradisjonelt sett er estimering av lettskipsvekt svært avhengig av erfaring. Ofte har designkontorer tilgang til skip eller fartøyer som ligner på det aktuelle prosjektet, noe som forenkler prosessen. Flere metoder for lettskipsberegning skulle vært benyttet for å gjøre en sammenligning av de forskjellige metodene med tanke på nøyaktighet. Det utvikles stadig nye metoder som forbedrer denne prosessen. Siden dette er en studentoppgave og vi ikke har tilgang til eller ressurser for å bruke mer avanserte metoder for beregning av lettskipsvekt, ble det benyttet en metode presentert for oss her på NTNU. Denne metoden er enkel, men noe tidkrevende. Den er basert på en rekke strukturfaktorer som er basert på erfaring, og disse er brukt ukritisk, noe som kan føre til feil i estimatet. I tillegg har vi ikke tatt hensyn til mange komplekse systemer som skal om bord i et skip. Uansett, for formålet med denne oppgaven tror vi det er et godt estimat. Siden oppgaven omhandler utslipp ville det vært interessant å gjort en vurdering på feilmarginene i stålproduksjon og gjort en analyse av hvor mye kost og utslipp som er et resultat av disse feilmarginene.

14.1.4 Struktur

I neste runde av designprosessen må det utføres en struktur analyse på nytt. Strukturanalysen presentert ovenfor er et resultat av at den kun ble utført i 4 runde av designprosessen. For neste runde trenger en flere snitt da tank-arrangementet er kompleks og ikke gjentankende langs skroget. Snittene brukt for Nauticus hull er feil med tanke på overgangen frå dobbelbunn til vingtank. Dette er grunnet at dobbelbunnen ble nokså lav i overgangen til vingtankene. Hvordan skanseledningene skal utformes må studeres ved å se på eksisterende løsninger. På eksisterende løsninger kan en få svar på hvordan åpningene skal være, men også om det er langskips eller tverrskipsavstivet. Platene i kjølen og på lastedekket ble nokså små iforhold til forventningene på forhånd. Her må det være noen laster som ikke er dimensjonert riktig eller laster en har oversett. Bulingtest ga noen svar på platetykkelsene i bunn og må derfor utføres for flere seksjoner av fartøyet, så buling blir nok dimensjonerende for fartøyet flere plasser. Som nevnt ovenfor må prosessen gjøres på nytt i neste runde. Det var også ønskelig å lage detaljerte tegninger for LNG og karbonfangstsystemene. Det ville her vært interessant å utført FEA (finite element analyser) av fundament med de lastene presentert i oppgaven. Dette ville dermed inkludert fundamentberegninger og overgangen av spenninger fra skrog til fundament. Et videre arbeid ville også vært å laget klassetegninger for skipet.

15 Konklusjon

Karbonfangstanlegg vil være et godt alternativ for å redusere klimagassutslippet. Med fremtidens utfordringer om utslippsregulering og klimakvoter vil det være høyaktuelt å se til løsninger som karbonfangst. Om den reelle fangstraten er på 60 - 70 % vil dette kunne være et godt alternativ både for nybygg og for retrofit. Her vil det avgjørende faktumet være karbonfangstanleggets pris, størrelse og kraftbehov. Sammen med LNG som drivstoff, som allerede tar karbonutslippet ned 20 %, kan karbonfangst spille en rolle i skipsfartens vei mot nullutslipp. Om karbonfangsten kan utføres under flere operasjoner enn transit kan det være muligheter å fange opp til 60 % mer CO_2 under hele skipets operasjonssyklus. Om dette kan løses ved å benytte batterier for å oppnå en mer stabil motorbelastning så vil det totale utslippet kunne reduseres betraktelig. Dette vil dermed være en avgjørelse som tas i samråd med designere, utstysleverandører og skipseiere. Vurderingen vil være om det er en økonomisk og bærekraftig fordel med systemet. Komplikasjonene med å implementere et slikt system må også vurderes.

Skipsdesign-prosessen er en kompleks operasjon hvor alle valg har konsekvenser. Hvert valg fra skrogutforming til plassering av tanker vil påvirke hverandre. Valget om å plassere karbonfangstanlegget over hoveddekket frigjorde mange utfordringer lavere i skipet. Dette ga plass for LNG tank, men krevde en økning i hoveddimensjonene. Dette igjen påvirker skrogmotstanden som da vil føre til en ytterligere runde i prosessen. Valgene tatt i denne oppgaven var til en viss grad konservative for å opprettholde skipets primære funksjon. Alle valg har en gjennomgående faktor, vekt og vekt plassering. Dette har en innvirkning for alle skipets funksjoner og viser dermed viktigheten av et grundig forarbeid. Her vil fokus på regelverk og sikkerhet være en rød tråd gjennom hele prosessen.

Det videre arbeidet fra dette vil være optimalisering av hver enkelt del av skipet. Dette vil kreve et større fokus på detaljer og regelverk for å kunne oppnå best mulig resultat. Nedbrytningen av arbeidsprosessen fra figur 10 var en effektiv fremgangsmåte og som var et bra utgangspunkt for videre arbeid. Designprosessen ga innblikk i viktighetene av hvert ledd i en ellers komplisert prosess. Den viser viktigheten av tverrfaglig samarbeid og god teknisk innsikt. Det resulterte i en effektiv og logisk arbeidsflyt. Oppgaven ba på mange utfordringer, spesielt med tanke på karbonfangst. Dette var en nytt konsept med lite litteratur, så en del antagelser var nødvendige. Dette prosjektet har vist at suksess oppnås gjennom grundig samarbeid og livlige diskusjoner, hvor hver utfordring blir til en mulighet og hver ide et skritt nærmere en bærekraftig fremtid.

Litteraturliste

- [1] ABS. 'Sustainability whitepaper: LNG as marine fuel'. In: (). URL: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/sustainability-whitepaper-lng-as-marine-fuel.pdf> (visited on 7th Feb. 2024).
- [2] Andreas Osnes. 'SOLAS-konvensjonen'. In: (). URL: <https://snl.no/SOLAS-konvensjonen> (visited on 25th Mar. 2024).
- [3] Arne Jan Sollied. 'Structural design of ships'. In: (). URL: [Kompendium % 20NTNU](#) (visited on 3rd Jan. 2020).
- [4] Corvus. 'Corvus Orca ESS'. In: (). URL: <https://corvusenergy.com/products/energy-storage-solutions/corvus-orca-energy/>.
- [5] Daniel P. Vieira, Rodrigo M. Amarante, Kam Y. Kang, Lariuss Zago, Raul Dotta, Rodrigo S. Lavieri, Claudio M. Sampaio, and Kazuo Nishimoto. 'FLNG Parametric Design: A Synthesis Modeling Approach'. In: (2022).
- [6] DNV. 'Alternative fuels insight'. In: (2024).
- [7] DNV. 'LNG as marine fuel'. In: (). URL: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/environmental-performance.html> (visited on 17th Apr. 2023).
- [8] DNV. 'Rules and standards explorer'. In: (2024).
- [9] Fearnly offshore supply. 'North sea spot'. In: (). URL: <https://foslive.com>.
- [10] FORUS. 'Lokal transport og mellomlagring'. In: (). URL: <https://rust-harpsichord-bge3.squarespace.com/lokal-transport-og-utnyttelse-av-co2> (visited on 19th Mar. 2024).
- [11] FORUS. 'Vi skal fange og lagre CO2 fra avfallsforbrenningsanleggene på Forus'. In: (). URL: <https://rust-harpsichord-bge3.squarespace.com> (visited on 19th Mar. 2024).
- [12] Glenn Stangeland. 'Neptune og Horisont utvikler nytt CCS-prosjekt i Norge'. In: (). URL: <https://energi24.no/nyheter/neptune-og-horisont-utvikler-nytt-ccs-prosjekt-i-norge>.
- [13] Haakon Elizabeth Lindstad, Gunnar S. Eskeland, Agathe Rialland. 'Batteries in offshore support vessels – Pollution, climate impact and economics'. In: (). URL: https://www.researchgate.net/publication/311529872_Batteries_in_offshore_support_vessels_-_Pollution_climate_impact_and_economics (visited on 28th Mar. 2024).

-
- [14] Havindustritilsynet. *§ 90 Posisjonering*. <https://www.havtil.no/regelverk/alle-forskrifter/aktivitetsforskriften/XVI/90/> [Besøkt: (31/01/2024)]. 2018.
- [15] IMO. ‘2014 IGC Code - International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk’. In: (). URL: <https://imorules.com/IGC.html>.
- [16] IMO. *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ship*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx> [Besøkt: (26/01/2024)]. 2023.
- [17] IMO. ‘IGF Code - International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels’. In: (). URL: <https://www.imorules.com/IGFCODE.html>.
- [18] J.A. Ros, J.G.M-S. Monteiro, E.L.V. Goetheer. ‘HIGH LEVEL ANALYSIS OF CO₂ CAPTURE ON LNG FUELLED SHIPS’. In: (2021). <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2787319>.
- [19] Stein Ove Erikstad Kai Levander. ‘SYSTEM BASED DESIGN OF OFFSHORE SUPPORT VESSELS’. In: (2012).
- [20] kystverket. ‘Kystverket status 2023’. In: (). URL: https://www.kystverket.no/contentassets/462867abcea54bff9b0ef7fd33c2a497/kystverket_status_2023_endelig_versjon.pdf.
- [21] Max Buirma, Jaap Vleugel, Jeroen Pruyn, Vincent Doedée, Dingena Schott. ‘Ship-Based Carbon Capture and Storage: A Supply Chain Feasibility Study’. In: (2022). <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/813>.
- [22] Neptune Energy. ‘Project Errai: terminal for intermediate storage of CO₂ selected’. In: (). URL: <https://www.neptuneenergy.com/media/press-releases/year/2023/project-errai-terminal-intermediate-storage-co2-selected>.
- [23] Northern Lights. ‘Accelerating decarbonisation’. In: (). URL: <https://norlights.com> (visited on 19th Mar. 2024).
- [24] Regjeringen. ‘Endringer av MRV-forordningen’. In: (). URL: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2023/nov/endringer-av-mrv-forordningen/id3012507/>.
- [25] Regjeringen. ‘Forsterket kvotesystem 2021-2030’. In: (). URL: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/aug/forsterket-kvotesystem-2021-2030/id2878386/>.
- [26] Skipsrevyen. ‘Ocean Charger er klar for markedet’. In: (). URL: <https://www.skipsrevyen.no/ocean-charger-rem-power-ward/ocean-charger-er-klar-for-markedet/1755105>.
-

-
- [27] SNL. *Parisavtalen*. <https://snl.no/Parisavtalen> [Besøkt: (26/01/2024)]. 2024.
- [28] Wärtsilä. 'LNG as a marine fuel boosts profitability while ensuring compliance'. In: (). URL: https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/services-documents/white-papers/wartsila---bwp-lng-as-a-marine-fuel-boosts-profitability-while-ensuring-compliance.pdf?sfvrsn=26f78b45_10 (visited on 2nd Feb. 2024).

Vedlegg

A Lettskipsberegninger

Steel hull	Quantity	Unit weight [t]	Total weight [t]	LCG [m]	Aft limit [m]	Fwd limit [m]	VCG [m]	LMOM [tm]	VMOM [tm]	Comment
Double bottom incl. tank top	1	188,2	188,2	46,0	8,7	81,4	0,5	8657,7	94,1	784m ² , 12mm, faktor 2,5
Shell plating from tank top to tween deck	1	60,0	60,0	47,2	2,6	82,6	2,7	2831,6	160,9	223m ² , 12mm, faktor 1,4
Shell plating from tween deck to main deck	1	68,7	68,7	40,2	0,0	82,6	5,8	2761,7	398,1	257m ² , 12mm, 1,4
Shell plating from main deck to a deck	1	60,6	60,6	40,3	0,0	81,4	8,8	2441,9	533,5	225m ² , 12mm, 1,4
Shell plating from a deck to b deck	1	13,8	13,8	67,8	53,2	83,4	12,0	932,8	165,3	82m ² , 7mm, 1,5
Shell plating from b deck to c deck	1	13,2	13,2	67,3	53,1	83,4	14,7	890,9	195,2	79m ² , 7mm, 1,5
Shell plating from c deck to d deck	1	10,2	10,2	64,0	53,1	77,1	17,5	650,5	178,3	61m ² , 7mm, 1,5
Shell plating from d deck to bridge deck	1	3,1	3,1	62,3	53,1	72,4	19,5	192,1	60,1	18m ² , 7mm, 1,5
Shell plating bridge	1	8,5	8,5	60,6	50,7	70,5	21,4	518,0	183,1	51m ² , 7mm, 1,5
tank top	1	88,6	88,6	38,2	2,5	82,6	2,6	3386,4	230,5	1131m ² , 7mm, 1,5
tween deck	1	105,4	105,4	36,7	0,0	79,6	5,8	3868,6	611,4	1255m ² , 7mm, 1,5
main deck	1	219,6	219,6	37,8	0,0	81,4	9,0	8300,1	1976,2	1307m ² , 14mm, 1,5
A deck	1	40,3	40,3	64,4	50,2	83,4	12,0	2597,0	483,9	480m ² , 7mm, 1,5
B deck	1	40,4	40,3	64,5	50,2	83,4	14,8	2601,0	596,8	481m ² , 7mm, 1,5
C deck	1	28,1	28,1	62,5	51,3	77,2	17,6	1758,8	495,3	335m ² , 7mm, 1,5
D deck and bridge deck	1	19,1	19,1	62,1	51,9	72,3	20,9	1184,1	398,5	227m ² , 7mm, 1,5
Hekk	1	9,5	9,5	0,0	0,0	0,0	9,2	0,0	87,5	113m ² , 73,4 antatt, 7mm, 1,5
Overbygg bak	1	17,9	17,9	51,6	50,1	53,1	15,8	925,4	283,4	214m ² , 7mm, 1,5
Additional 25 % structure	1	248,8	248,8	41,7	0,0	83,4	6,2	10375,0	1542,6	
Sum			1244,0		0,0	83,4		54873,5	0,0	
Propulsion- and maneuvering system	Quantity	Unit weight [t]	Total weight [t]	LCG [m]	Aft limit [m]	Fwd limit [m]	VCG [m]	LMOM [tm]	VMOM [tm]	Comment
Main engine	2	23,9	47,8	60,8	57,4	64,1	2,8	2903,9	133,8	9L20DF WARTSILA
Small main engine	2	16,9	33,8	60,3	57,4	63,2	2,0	2038,1	68,4	6L20DF WARTSILA
Bow tunnel thruster incl. Motor	2	5,8	11,5	74,2	72,3	76,6	3,6	853,3	41,4	WTT-11-CP-1750 WARTSILA
Main Thruster	2	10,9	21,8	4,8	3,4	6,3	2,9	104,6	63,2	WST-14-FP-1800 WARTSILA
Misc. Equipment in engine room	1	30,0	30,0	61,8	53,1	70,5	2,6	1855,4	78,0	
Sum			144,9					7755,3	0,0	
Other main equipment	Quantity	Unit weight [t]	Total weight [t]	LCG [m]	Aft limit [m]	Fwd limit [m]	VCG [m]	LMOM [tm]	VMOM [tm]	Comment
Winch front	2	14,0	28,0	81,7	81,0	82,4	10,6	2287,6	296,8	
Winch back	2	14,0	28,0	1,5	1,0	2,0	10,6	42,0	296,8	
Windlass	2	8,0	16,0	78,6	77,4	81,2	10,6	1257,6	169,6	
Anchors	2	3,3	6,6	80,5	80,0	81,0	10,6	531,3	70,0	EN (1060-1139) DNV
Anchor chain	2	22,8	45,5	77,5	75,0	80,0	10,6	3529,4	482,7	NVK3 46mm
Crane 1	1	9,0	9,0	51,0	50,0	52,0	16,5	459,0	148,5	MMCC40-P-E-EH-2T-R16M
Crane 2	1	9,0	9,0	51,0	50,0	52,0	16,5	459,0	148,5	MMCC40-P-E-EH-2T-R16M
Tuggerwinches	2	0,5	1,0	50,8	50,3	51,3	7,9	50,8	7,9	
Fleet PS davit	1	7,9	7,9	53,5	50,9	57,7	11,0	422,7	86,9	
Life boat, fleet SB incl. davit	1	8,9	8,9	53,5	50,9	57,7	11,0	476,2	97,9	Life boat
Sum			159,9					9515,5	0,0	
Systems	Quantity	Unit weight [t]	Total weight [t]	LCG [m]	Aft limit [m]	Fwd limit [m]	VCG [m]	LMOM [tm]	VMOM [tm]	Comment
Fuel oil system	3	15,0	45,0	61,8	53,1	70,5	2,6	2783,1	117,0	15 t per 1000 GT
Ballast system	3	8,0	24,0	51,7	10,0	83,4	1,0	1240,8	24,0	8 t per 1000 GT
Sanitary system (black and grey water)	3	3,0	9,0	41,7	0,0	83,4	6,0	375,3	54,0	3 t per 1000 GT
Fresh water system	3	3,0	9,0	41,7	0,0	83,4	6,0	375,3	54,0	3 t per 1000 GT
Ventilation ducts	3	3,0	9,0	41,7	0,0	83,4	6,0	375,3	54,0	3 t per 1000 GT
Switchboards and converters	1	10,0	10,0	41,7	0,0	83,4	6,0	417,0	60,0	
Electric cables	3	11,0	33,0	41,7	0,0	83,4	6,0	1376,1	198,0	Typically 10-12 tonn pr 1000 GT
Rørssystem	3	30,0	90,0	41,7	0,0	83,4	6,0	3753,0	540,0	30 t per 1000 GT
CCS	1	43,0	43,0	55,6	53,1	58,1	8,2	2390,8	352,6	80m ³ tank
CCS system	1	5,0	5,0	55,6	53,1	58,1	5,3	278,0	26,5	
LNG	1	65,0	65,0	42,6	35,7	49,5	5,3	2769,0	344,5	230m ³ tank, antar 65
LNG system	1	5,0	5,0	42,6	35,7	49,5	5,3	213,0	26,5	
Mud and brine								0,0	0,0	100m ³ tank
Cargo handling system in holds	20	0,3	6,0	41,8	0,0	83,5	6,0	250,5	36,0	
Sum			353,0					16597,2	0,0	
Accommodation	Quantity	Unit weight [t]	Total weight [t]	LCG [m]	Aft limit [m]	Fwd limit [m]	VCG [m]	LMOM [tm]	VMOM [tm]	Comment
A deck [m2]	480,1	0,2	72,0	64,4	50,2	83,4	12,0	4637,4	864,1	Assume 150 kg/m2
B deck [m2]	480,6	0,2	72,1	64,5	50,2	83,4	14,8	4650,1	1067,0	Assume 150 kg/m2
C deck [m2]	335,0	0,2	50,3	62,5	51,3	77,2	17,6	3140,6	884,4	Assume 150 kg/m2
D deck [m2]	0,0	0,2	0,0	62,1	51,9	72,3	19,1	0,0	0,0	Assume 150 kg/m2
Bridge	227,0	0,2	34,1	62,1	51,9	72,3	21,0	2114,5	715,1	Assume 150 kg/m2
Sum			228,4					14542,7	0,0	
Construction margin (5 %)	1,0	106,5	106,5	41,7	0,0	83,4	6,2	4441,6	660,4	
Design margin (15 %)	1,0	319,5	319,5	41,7	0,0	83,4	6,2	13324,7	1981,1	
Future growth margin (10%)	1,0	213,0	213,0	41,7	0,0	83,4	6,2	8883,2	1320,8	
LOGG	Vekt	Kommentar								
15.02.2024	3032,0	Veldig tidelig estimering								
01.03.2024	3040	Lagt inn riktig vekt på kran ***								
03.04.2024	2769,3	83,4m								

Figure 72: Lettskipsberegninger

B Ballast, 100 % fuel and stores

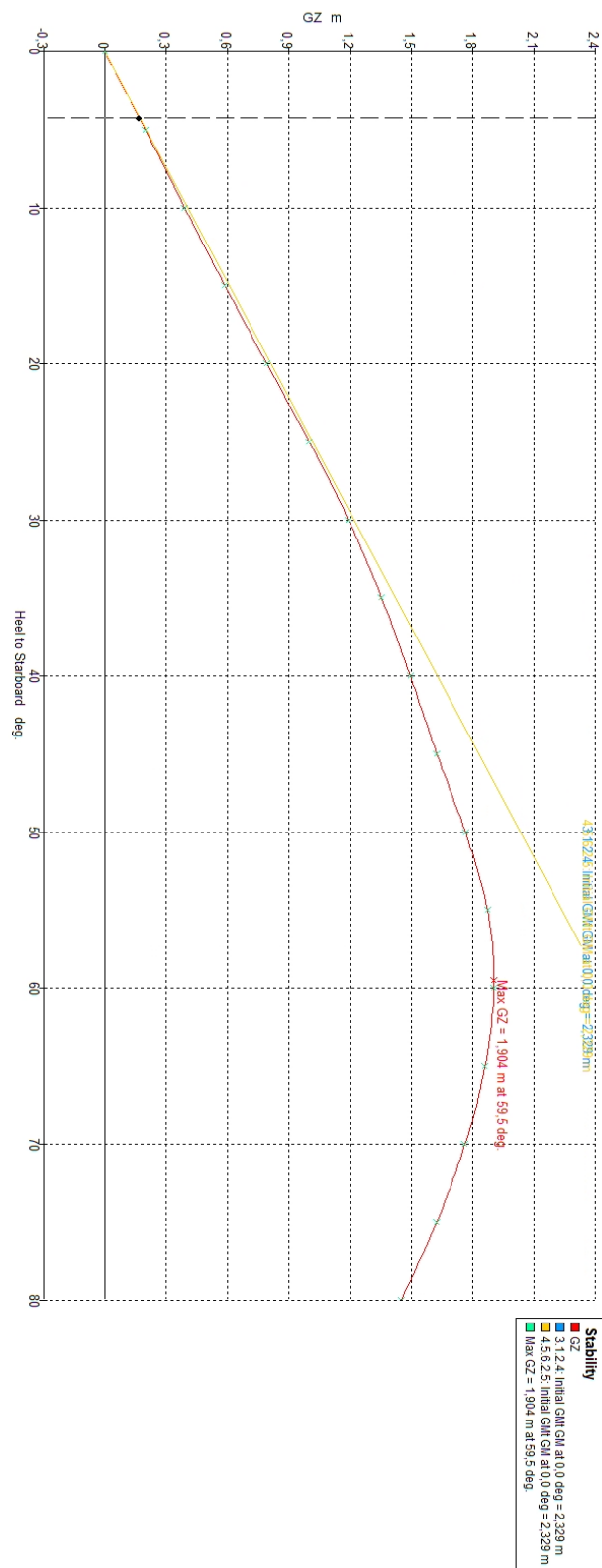


Figure 73: Ballast, 100 % fuel and stores

C Ballast, 10 % fuel and stores

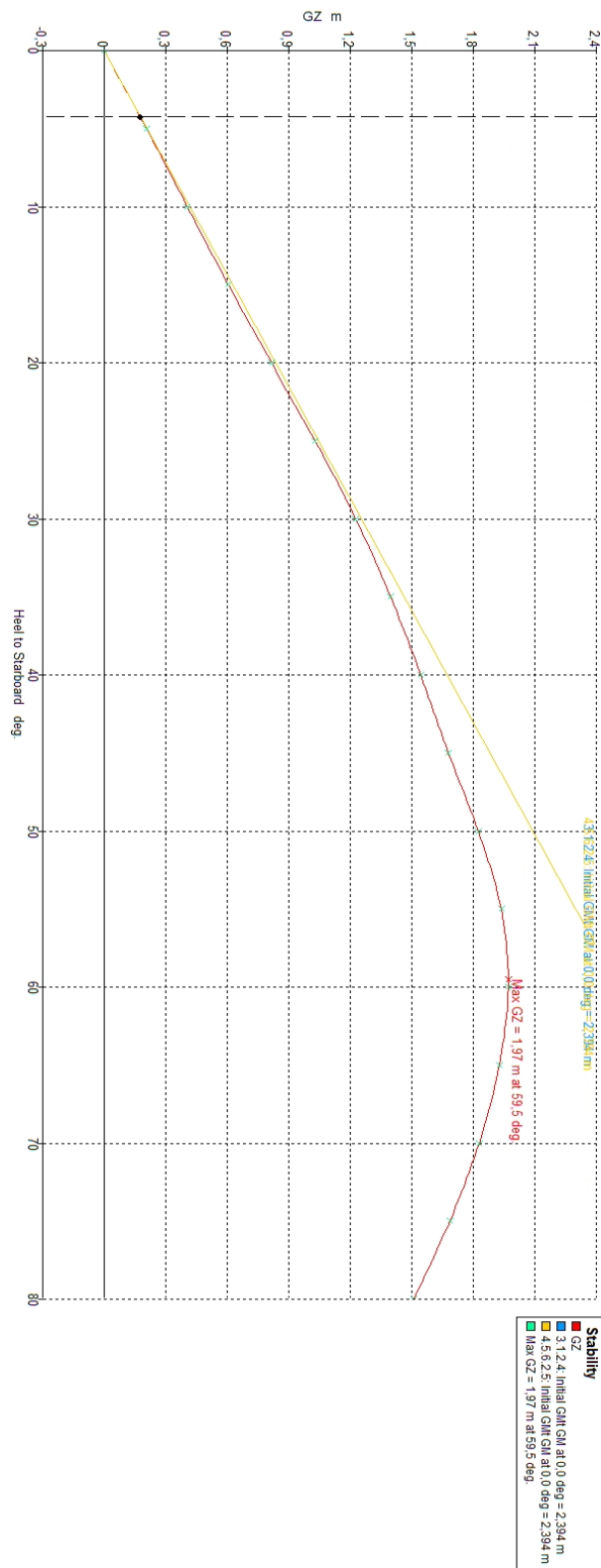


Figure 74: Ballast, 10 % fuel and stores

D Fully loaded, 10 % fuel and stores

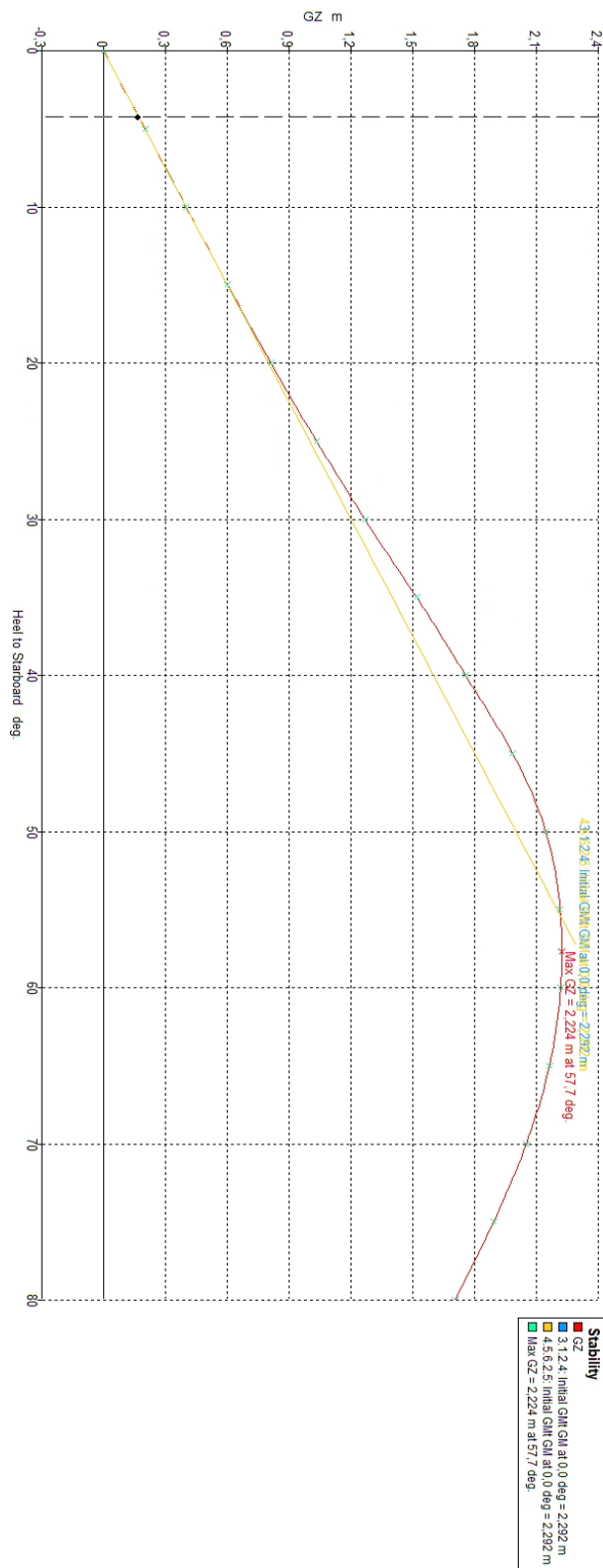


Figure 75: Fully loaded, 10 % fuel and stores

E Fully loaded, 100 % fuel and stores

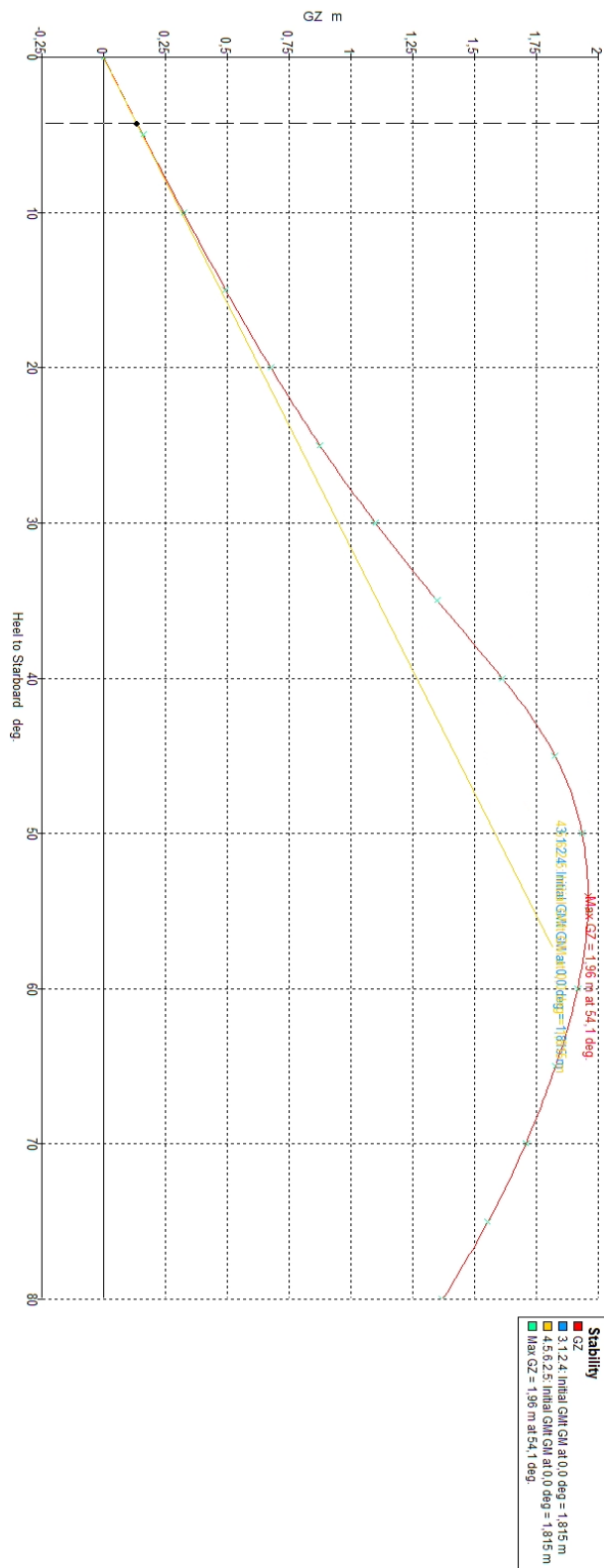


Figure 76: Fully loaded, 100 % fuel and stores

F Worst case, 50% cargo, 10% fuel and stores

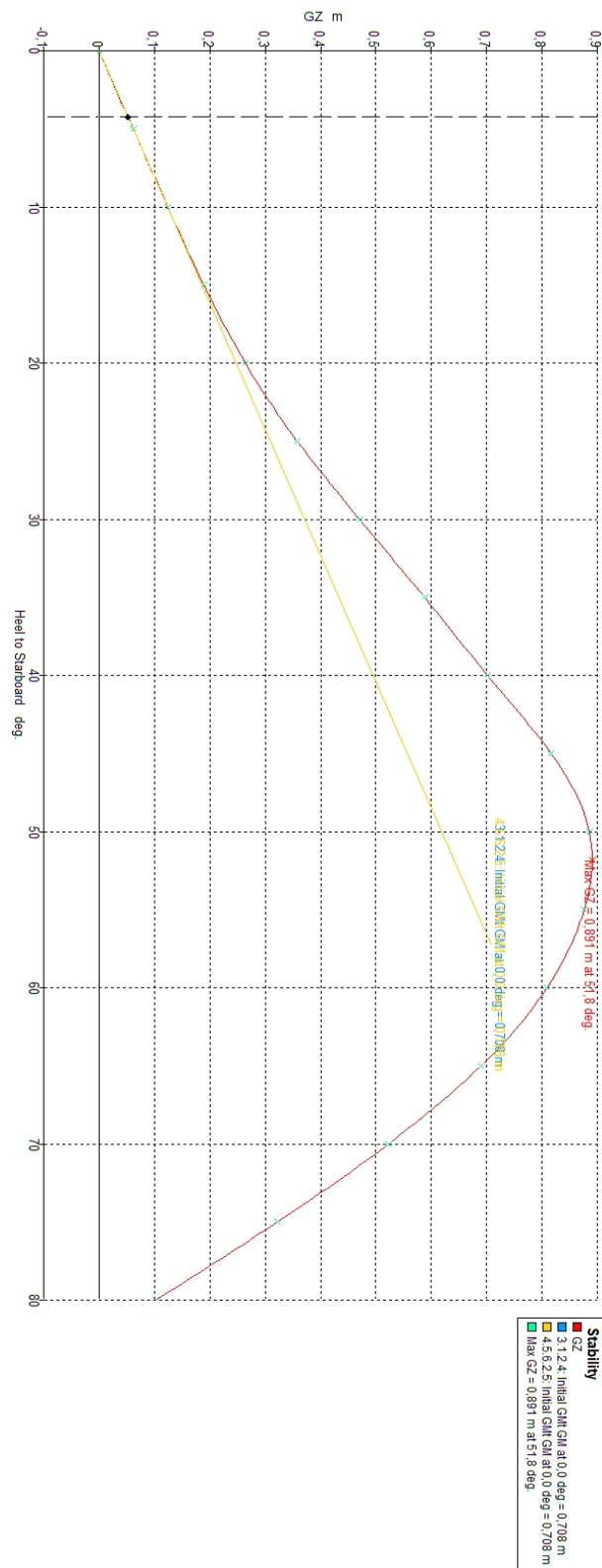


Figure 77: Worst case, 50% cargo, 10% fuel and stores

G Holtorp motstand ved dypgang 6.2 m

Table 14: Resultater fra Holtorps metode

Speed (kts)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtorp Resist. (kN)	Holtorp Power (kW)
8	0.148	0.308	75.3	309.726
8.1	0.15	0.312	77	320.963
8.2	0.152	0.316	78.8	332.478
8.3	0.153	0.319	80.6	344.279
8.4	0.155	0.323	82.5	356.371
8.5	0.157	0.327	84.3	368.762
8.6	0.159	0.331	86.2	381.46
8.7	0.161	0.335	88.1	394.472
8.8	0.163	0.339	90.1	407.806
8.9	0.164	0.343	92.1	421.472
9	0.166	0.346	94.1	435.478
9.1	0.168	0.35	96.1	449.835
9.2	0.17	0.354	98.2	464.552
9.3	0.172	0.358	100.3	479.641
9.4	0.174	0.362	102.4	495.113
9.5	0.176	0.366	104.6	510.98
9.6	0.177	0.369	106.8	527.255
9.7	0.179	0.373	109	543.952
9.8	0.181	0.377	111.3	561.083
9.9	0.183	0.381	113.6	578.665
10	0.185	0.385	116	596.712
10.1	0.187	0.389	118.4	615.241
10.2	0.189	0.393	120.9	634.266
10.3	0.19	0.396	123.4	653.805
10.4	0.192	0.4	126	673.876
10.5	0.194	0.404	128.6	694.497
10.6	0.196	0.408	131.2	715.689
10.7	0.198	0.412	134	737.477
10.8	0.2	0.416	136.8	759.883
10.9	0.201	0.419	139.6	782.936
11	0.203	0.423	142.5	806.66
11.1	0.205	0.427	145.5	831.083
11.2	0.207	0.431	148.6	856.227
11.3	0.209	0.435	151.7	882.112
11.4	0.211	0.439	155	908.754
11.5	0.213	0.443	158.2	936.166
11.6	0.214	0.446	161.6	964.361
11.7	0.216	0.45	165	993.352
11.8	0.218	0.454	168.5	1,023.156
11.9	0.22	0.458	172.1	1,053.799
12	0.222	0.462	175.8	1,085.319

H Linjetegning

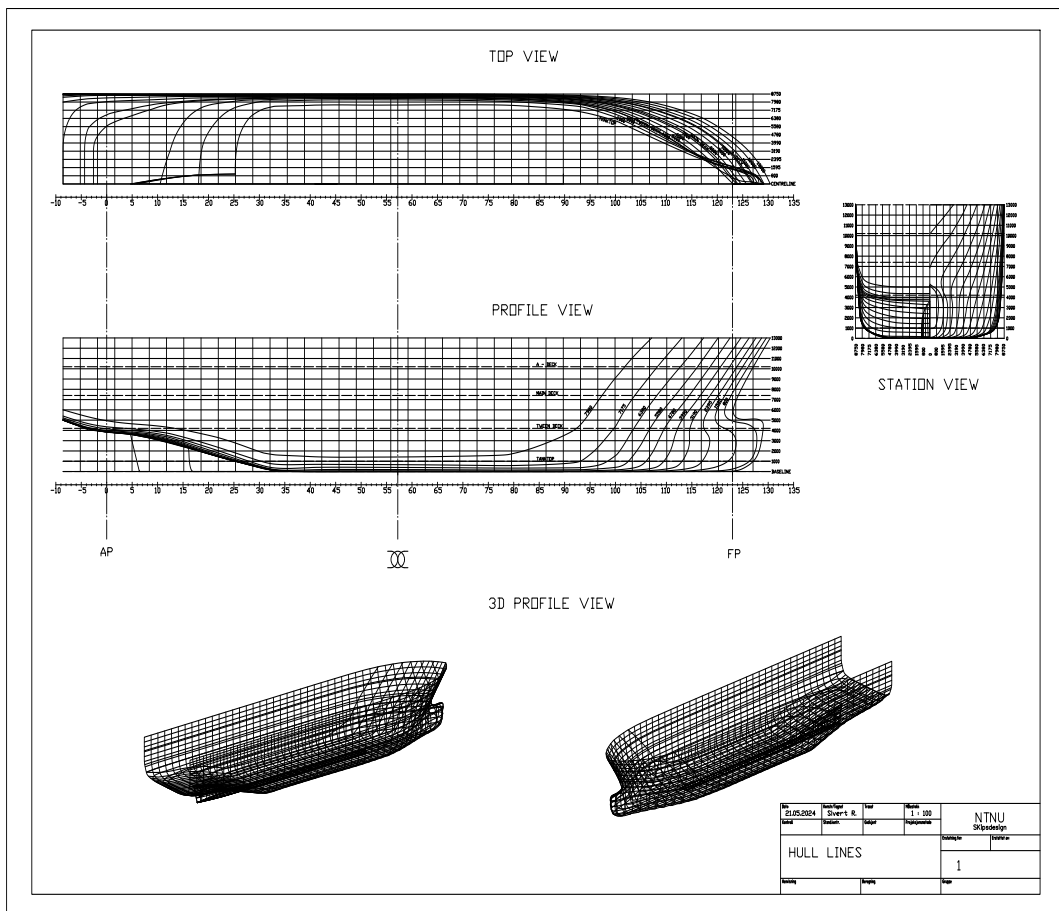


Figure 78: Linjetegning

I General arrangement

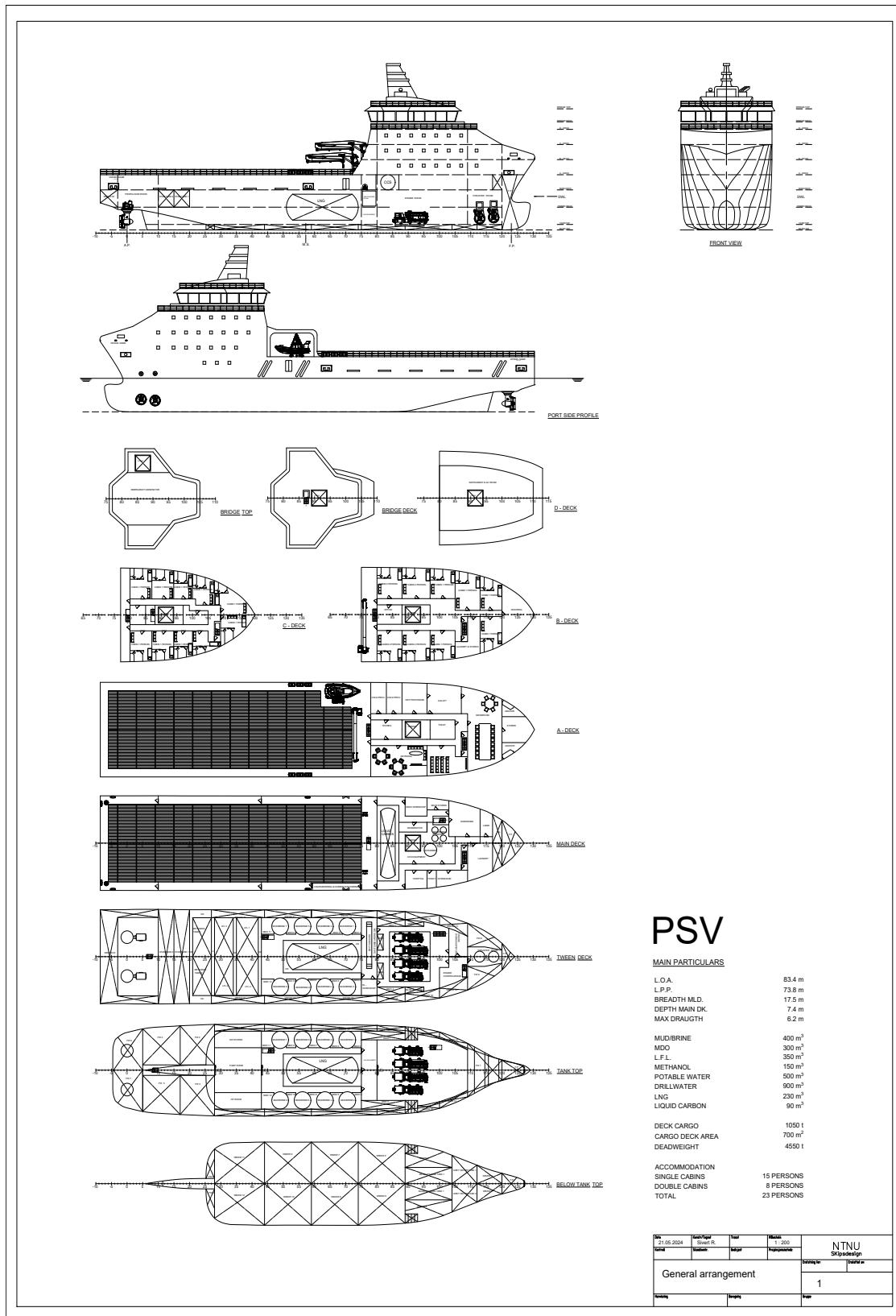


Figure 79: General arrangement

K Tanktabell

Tank number	Tank	Contents	Volume	LFL	MDO	DW/BW	FRESH WATER	MUD/BRINE	METHANOL	LNG	LIQUID CARBON	LUBE OIL	BILGE	GREY WATER & SEWAGE	VOID/CD
1	FP	BW/DW	102.1			102.1									
2	WB/DW 1	BW/DW	10.3			10.3									
3	WB/DW 2	BW/DW	10.3			10.3									
4	WB/DW 3	BW/DW	25.1			25.1									
5	WB/DW 4	BW/DW	25.1			25.1									
6	WB/DW 5	BW/DW	58.4			58.4									
7	WB/DW 6	BW/DW	58.4			58.4									
8	WB/DW 7	BW/DW	57.9			57.9									
9	WB/DW 8	BW/DW	57.9			57.9									
10	WB/DW 9	BW/DW	57.7			57.7									
11	WB/DW 10	BW/DW	57.7			57.7									
12	WB/DW 11	BW/DW	55.9			55.9									
13	WB/DW 12	BW/DW	55.9			55.9									
14	WB/DW 23	BW/DW	77.2			77.2									
15	WB/DW 24	BW/DW	77.2			77.2									
16	WB/DW 21	BW/DW	68.2			68.2									
17	WB/DW 22	BW/DW	68.2			68.2									
18	WB/DW 19	BW/DW	90.3			90.3									
19	WB/DW 20	BW/DW	90.3			90.3									
20	WB/DW 25	BW/DW	209.1			209.1									
21	WB/DW 17	BW/DW	38.2			38.2									
22	WB/DW 18	BW/DW	38.2			38.2									
23	WB/DW 15	BW/DW	51.4			51.4									
24	WB/DW 16	BW/DW	51.4			51.4									
25	WB/DW 13	BW/DW	41.7			41.7									
26	WB/DW 14	BW/DW	41.7			41.7									
27	BILGE HOLDING 1	BILGE	27.0										27.0		
28	BILGE HOLDING 2	BILGE	27.0										27.0		
29	BILGE SETTLING	BILGE	12.2										12.2		
30	METHANOL 1	METHANOL	75.5						75.5						
31	METHANOL 2	METHANOL	75.5						75.5						
32	GREYWATER 1	GREYWATER	18.0											18.0	
33	GREYWATER 2	GREYWATER	18.0											18.0	
34	SEWAGE	SEWAGE	12.2											12.2	
35	LNG	LNG	230.1							230.1					
36	CCS	LIQUID CARBON	81.5								81.5				
37	MDO 11	MDO	37.6		37.6										
38	MDO 12	MDO	37.6		37.6										
39	MDO 9	MDO	20.2		20.2										
40	MDO 10	MDO	20.2		20.2										
41	MDO 7	MDO	20.2		20.2										
42	MDO 8	MDO	20.2		20.2										
43	MDO 5	MDO	20.2		20.2										
44	MDO 6	MDO	20.2		20.2										
45	MDO 3	MDO	20.6		20.6										
46	MDO 4	MDO	20.6		20.6										
47	MDO 2	MDO	64.3		64.3										
48	MDO 1	MDO	63.0		63.0										
49	LFL 3	BASE OIL/LFL	81.3	81.3											
50	LFL 4	BASE OIL/LFL	81.3	81.3											
51	LFL 1	BASE OIL/LFL	94.8	94.8											
52	LFL 2	BASE OIL/LFL	94.8	94.8											
53	CD	VOIDSPACE	33.0												33.0
54	CD	VOIDSPACE	16.4												16.4
55	CD	VOIDSPACE	16.4												16.4
56	CD	VOIDSPACE	27.6												27.6
57	CD	VOIDSPACE	27.6												27.6
58	CD	VOIDSPACE	27.6												27.6
59	MUD/BRINE 1	Tank	50.5						50.5						
60	MUD/BRINE 2	Tank	50.5						50.5						
61	MUD/BRINE 3	Tank	50.5						50.5						
62	MUD/BRINE 4	Tank	50.5						50.5						
63	MUD/BRINE 5	Tank	50.5						50.5						
64	MUD/BRINE 6	Tank	50.5						50.5						
65	MUD/BRINE 7	Tank	50.5						50.5						
66	MUD/BRINE 8	Tank	50.5						50.5						
67	FW 6	Tank	12.2				12.2								
68	FW 7	Tank	12.2				12.2								
69	FW 4	Tank	45.3				45.3								
70	FW 5	Tank	45.3				45.3								
71	FW 2	Tank	115.3				115.3								
72	FW 3	Tank	115.3				115.3								
73	FW 9	Tank	45.2				45.2								
74	FW 8	Tank	45.2				45.2								
75	FW 1	Tank	96.7				96.7								
76	MISC 1	LUBE OIL	16.6									16.6			
77	MISC 2	LUBE OIL	16.6									16.6			
		Total volume (m ³)	3,988.6	352.2	364.7	1,575.9	532.8	404.0	151.0	230.1	81.5	33.2	66.1	48.2	148.8

Figure 81: Tanktabell

L Resultater 3D Beam

Beam	Name	SigmaH(N/mm2)	Sig-My(N/mm2)	Allowed(N/mm2)	Tau-Qz(N/mm2)	Allowed(N/mm2)	Usage, Normalized	Ok/Not ok
2		0	8	302	-11	174	0,07	Ok
3		0	1	302	0	174	0	Ok
4		0	9	302	7	174	0,04	Ok
5		0	8	302	-11	174	0,07	Ok
6		0	9	302	7	174	0,04	Ok
7		0	-1	302	2	174	0,01	Ok
8		0	1	302	-2	174	0,01	Ok
9		0	-43	302	14	174	0,14	Ok
13		0	1	302	0	174	0	Ok
14		0	0	302	0	174	0	Ok
15		0	-43	302	-14	174	0,14	Ok
16		0	0	302	0	174	0	Ok

Beam	Name	Usage, Axial only	Usage, Combined	Usage, Allowed	Usage, Normalized	x-Pos(mm)	SigCr, Axial N/mm2 % of (N/mm2)	SigCr, Bend N/mm2 % of (N/mm2)	Sig-Nx (N/mm2)	Sig-My (N/mm2)	Sig-Mz (N/mm2)	Curve	Curve	Ok/Not ok
1		0	0,01	0,75	0,01	2500	355	355	0	-3	0	curve a	curve b	Ok
2		0,01	0,01	0,75	0,02	2800	355	355	-2	-2	0	curve a	curve b	Ok
3		0,12	0,12	0,75	0,16	7385,8	40	301	-5	0	0	curve a	curve b	Ok
4		0,01	0,02	0,75	0,03	2500	355	355	-2	-5	0	curve a	curve b	Ok
5		0,01	0,01	0,75	0,02	3125	355	355	-2	-3	0	curve a	curve b	Ok
6		0,01	0,02	0,75	0,02	1150	355	355	-2	-4	0	curve a	curve b	Ok
7		0	0	0,75	0	2166,7	355	355	0	-1	0	curve a	curve b	Ok
8		0	0	0,75	0	2166,7	355	355	0	-1	0	curve a	curve b	Ok
9		0,11	0,14	0,75	0,18	6416,7	52	333	-6	-8	0	curve a	curve b	Ok
10		0	0	0,75	0	2400	355	355	0	0	0	curve a	curve b	Ok
11		0	0	0,75	0,01	3845,8	355	355	0	-2	0	curve a	curve b	Ok
12		0	0	0,75	0	2000	355	355	0	0	0	curve a	curve b	Ok
13		0,12	0,12	0,75	0,16	6770,8	40	301	-5	0	0	curve a	curve b	Ok
14		0	0	0,75	0	2400	219	355	0	0	0	curve a	curve b	Ok
15		0,11	0,13	0,75	0,17	4600	52	333	-6	-7	0	curve a	curve b	Ok
16		0	0	0,75	0	2000	219	355	0	0	0	curve a	curve b	Ok
17		0	0,01	0,75	0,01	1875	355	355	0	-3	0	curve a	curve b	Ok
18		0	0	0,75	0,01	1587,5	355	355	0	-2	0	curve a	curve b	Ok

Figure 82: 3D Beam resultater av Stress check og Pillar buckling

M LNG forbruk og CO2 fangst

ANTATT NØDVENDIG EFFEKT PROP OG AUX						
	Transit	Work	Alongside in port/At anchor	Waiting at location/St.by	Sum	Note
Propulsion (kw)	1413,0	983,0		921,5		
Aux (kw)	887,0	617,0	225,0	578,5		
SUM (kw)	2300,0	1600,0	225,0	1500,0		
LNG-beregninger med CCS system kun på TRANSIT						
	Transit	Work	Alongside in port/At anchor	Waiting at location/St.by	Sum	Note
Propulsion (kw)	1413,0	983,0	0,0	921,5		
Aux (kw)	887,0	617,0	225,0	578,5		
CCS system (kw)	299,0					13 %
LNG system (kw)	161,0	112,0	0,0	105,0		7 %
SUM (kw)	2760,0	1712,0	225,0	1605,0		
Forbruk (kwh)	198720,0	75524,1	28608,7	153240,1	456092,9	
total forbruk	458095,5					
ENGINE-LOAD	85% - 9L20DF	85% - 6L20DF		85% - 6L20DF		
LNG (kj)	1624536000,0	609177258,3		1252737463,3		
m_LNG (ton)	36,1	13,5	0,0	27,8	77,5	
Volum LNG (m ³)	84,7	31,8	0,0	65,3	181,9	
m_MDO (ton)	1,2	0,4		0,9	2,5	
Volum MDO	1,3	0,5	0,0	1,0	2,8	
m_CO2 LNG (ton)	69,5	26,1	0,0	53,6	149,1	0,7 fangstrate
m_CO2 MDO (ton)	2,6	1,0	0,0	2,0	5,6	0,7 fangstrate
Volum CO2 LNG (m ³)	63,1	23,7	0,0	48,7	135,5	
Volum CO2 MDO (m ³)	2,3	0,9	0,0	1,8	5,1	
SUM VOLUM LNG (m ³)	209,2					
SUM VOLUM MDO (m ³)	3,2					
SUM VOLUM CO2 (m ³)	140,5					
TRANSIT VOLUM CO2 (m ³)	65,5					
MDO-beregninger med CCS system kun på TRANSIT						
	Transit	Work	Alongside in port/At anchor	Waiting at location/St.by	Sum	Note
Propulsion (kw)	1413,0	983,0	0,0	921,5		
Aux (kw)	887,0	617,0	225,0	578,5		
CCS system (kw)	299,0					0,13
SUM (kw)	2599,0	1600,0	225,0	1500,0		
Forbruk (kwh)	187128,0	70583,3	28608,7	143215,0	429535,0	
ENGINE-LOAD	85% - 9L20DF	85% - 6L20DF		85% - 6L20DF		
m_MDO (ton)	36,2	13,6		27,6	77,5	
Volum MDO	40,2	15,1	0,0	30,7	86,1	
m_CO2 MDO (ton)	81,2	30,6	0,0	62,0	173,8	0,7 fangstrate
Volum CO2 MDO (m ³)	73,8	27,8	0,0	56,3	157,9	
SUM VOLUM MDO (m ³)	99,0					
SUM VOLUM CO2 (m ³)	157,9					
TRANSIT VOLUM CO2 (m ³)	73,8					
LNG	8326					
MDO	4,7					
Drivstoff	Brennverdi MJ/kg	Tetthet kg/m ³				
LNG	45	426				
HFO	40,9	1010				
MGO	42,7	860				
MDO		900				
Eksos						
Tot	1,6	kg/s				
CO2	553	g/kwh				
EFacLNG	2,75	CO2ton/LNGton				
EFacMDO	3,206	CO2ton/MDOton				
CCS	Tetthet gas kg/m ³	tetthet væske kg/m ³				
CO2	1,98	1101				

Figure 83: LNG forbruk og mulig CO₂ fangst

N 3D konsept



