



# Sjøkrigsskolen

## Bacheloroppgave

### Moderfartøy i minevåpenet

En studie av hva dette konseptet vil bety for prosjekteringen av et fartøy.

av

Thomas Apalnes

Lvert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I MASKINFAG

Innlevert: Mai 2019

**Godkjent for offentlig publisering**

---

## Publiseringsavtale

### En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadetten har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Jeg gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

## Plagiaterklæring

Jeg erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Jeg har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Jeg er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

**Dato: 28 – 05- 2019**

Thomas Haavard Apalnes  
Kadett navn

\_\_\_\_\_  
Kadett, signatur

---

## Forord

Jeg har, etter tre og et halvt år på Sjøkrigsskolen, gleden av å presentere denne bacheloroppgaven. Denne oppgaven er skrevet våren 2019, og er et resultat av mange timer med varierte arbeidsmetoder. Jeg har gjennom mitt arbeid lært svært mye om hvordan Forsvaret jobber med anskaffelse av nytt materiell, i tillegg til at jeg har fått et innblikk i designprosessen av et fartøy. Jeg har også fått muligheten til å være kreativ under utformingen av en løsning til hvordan jeg tror neste generasjons minefartøy vil se ut. Designforslaget mitt skal representere et grundig arbeid som er gjort med de forutsetningene jeg stiller med.

Jeg vil takke OK Sindre Lid som har vært svært behjelpelig med informasjon, og som gjennom sin veiledning har hjulpet meg til en bredere forståelse for hvordan et minefartøy fungerer. Jeg vil også takke overingeniør Stig Brendehaug ved FMA for imøtekommelse, og for muligheten til å diskutere hvilke muligheter fremtiden kan bringe for minevåpenet. De har med dette hjulpet meg til å forstå minevåpenet bedre, slik at jeg kan gjøre relevante antakelser i oppgaven. Faglærer Gisle Strand skal ha takk for å ha vært tilgjengelig for hjelp gjennom hele semesteret. Strand har gitt meg mange faglige innspill, og han har hjulpet meg ut av flere kniper. Jeg vil også takke veileder Geir Kilhus som har vært svært imøtekommende, genuint interessert i å hjelpe meg på rett vei, samt til å lære meg nye ting. Det å skrive en bacheloroppgave blir mye triveligere med en interessert veileder, noe som gjør det enklere og motivere seg selv. Til slutt vil jeg takke min samboer Ida Sande som har støttet meg på hjemmebane ved enhver anledning.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 28-05-2019

---

---

## Oppgaveformulering

### **Problemstilling:**

*Autonome fartøyer og farkoster er et område som kan medføre nye løsninger på støttefartøyer enn dagens. Innen område minekrigføring er det aktuelt å se på ett helhetlig konsept og studere nærmere hva det vil bety for prosjektering av et moderfartøy for et gitt antall autonome farkoster.*

---

## Sammendrag og konklusjon

I denne oppgaven har jeg sett nærmere på hva prosjekteringen av en ny klasse minefartøy innebærer. Jeg har valgt å bruke PRINSIX modellen i den metodiske gjennomføringen. Ved å gjøre dette har jeg fått en realistisk tilnærming til prosjekteringsarbeidet. Jeg har gjennomført en konseptfase der jeg har klarlagt krav til kapasitet og funksjonalitet, i tillegg til å ha sett på hvordan nyttelasten, også kalt payload, til dette fartøyet vil kunne se ut i fremtiden. Med den konseptuelle løsningen som grunnlag startet jeg designarbeidet i definisjonsfasen. Her har jeg brukt en programvare som lar meg designe et fartøy, i tillegg til å hente ut de relevante dataene jeg trenger for å gjøre mine beregninger. Ved å bruke designspiralen har jeg hatt en metodisk tilnærming på designarbeidet, slik at jeg har vært i stand til å evaluere arbeidet mitt underveis, og dermed komme opp med konvergerende løsninger. Da dette er et svært omfattende arbeid, så vil mitt endelige designforslag ikke være fullstendig konvergerende, men heller et grunnlag for fremtidig arbeid.

Siden problemstillingen spør om hva prosjekteringen av et slikt fartøy vil bety, er det naturlig at min konklusjon består av den lærdommen jeg har tilegnet meg i oppgaven:

Et fartøy basert på moderskip-konseptet vil kreve en volumbasert prosjektering av fartøyet. Fartøyet må designes rundt payloaden, da hensikten med moderfartøyet er å fasilitere for at dette skal operere effektivt. Et slikt fartøy vil være betraktelig større enn dagens minefartøy. Innovative løsninger for deployering av payload, i tillegg til å beskytte dette for omgivelsene, vil være nødvendig for at dette skal være et levedyktig konsept. For å beskytte enheten må det vurderes om fartøyet skal ha tyngre våpen for selvforsvar, eller et designet operasjonsmønster med en eskorteenheter. Konseptuelt vil fartøyet ha en svært god kapasitet til minekrigføring, og prosjekteringen vil måtte se på antall enheter som skal brukes.

---

# Innholdsfortegnelse

Innholdsfortegnelse .....	5
Nomenklatur / Forkortelser / Symboler .....	7
Figurer .....	9
Litt om illustrasjoner av KNM Odin .....	10
1. Innledning .....	11
Metoder og hjelpemidler .....	14
PRINSIX .....	14
Designspiralen .....	15
Programvare .....	15
Antakelser og feilkilder .....	16
2. Konseptfasen .....	17
2.1 Behov og mål .....	17
2.2 Kapabiliteter og funksjoner .....	18
2.3 Operasjonsscenario .....	19
2.4 Fremtidens payload .....	19
2.5 Andre betraktninger .....	23
2.6 Muligheter og alternativer .....	24
2.7 Konseptuell løsning .....	25
2.8 Dimensjonerende krav .....	25
Antakelser, forutsetninger og avgrensinger for definisjonsfasen .....	26
3. Definisjonsfasen .....	27
3.1 Hva betyr funksjons- og kapabilitetskravene for prosjekteringen av skipet? .....	27
3.2 Krav for operasjonsscenario .....	29
3.3 Inventar og øvrig innhold .....	30
4. Første runde av designspiralen .....	31
4.1 Bestemme størrelse på fartøyet .....	31
4.2 Statiske vektorer .....	37
4.3 Deplasement, dimensjoner og skrogform .....	38
4.4 Fremdrift .....	41

---

4.5 Besetning og underbringelse .....	43
4.6 Sammendrag av første runde i designspiralen.....	45
4.7 Illustrasjoner av fartøy etter første runde .....	48
5. Parameterstudie av første runde .....	49
5.1 Endring av generalarrangement .....	49
5.2 Valg av hovedparametere.....	50
5.3 Fremdrift .....	52
5.4 Avslutning av parameterstudie.....	53
5.5 Illustrasjoner av fartøy etter parameterstudie.....	54
6. Andre runde i designspiralen .....	55
6.1 Struktur og styrke.....	55
6.2 Dimensjonering av propell.....	58
6.3 Illustrasjoner av designløsning.....	62
7. Avslutning av designarbeidet.....	63
7.1 Gjenstående arbeid .....	63
7.2 Veien videre .....	64
8. Systembeskrivelse av «KNM Odin» .....	66
9. Konklusjon med anbefaling .....	67
10. Sluttnoter .....	68
11. Kilder.....	69
Vedlegg .....	72

---

## Nomenklatur / Forkortelser / Symboler

$A_E$  – Ekspandert areal for propell

$A_o$  – Propellareal til storsirkel

Arbeidsdekk – Det dekket som payloaden vil være plassert på.

AUV – Autonomous underwater vehicle

AUV1 – Navnet på det konkrete eksempelet for AUV i denne oppgaven.

B.A.R – Bladarealsforhold

D – Diameter

Fr – Froudetall

g – Tyngdeakselerasjon

GA – Generalarrangement

HUGIN – AUV produsert av Kongsberg

IMO – International Maritime Organisation

IMR – Inspection, Maintenance and Repair

J – Fremdriftstall

K2 – Kommando og Kontroll

KL – Konseptuell løsning

KNM – Kongelig Norsk Marine

KNM Odin – Moderfartøyet i oppgaven

KVL – Konstruksjonsvannlinje

$L_{wl}$  – Lengde i vannlinjen

MCM – Mine Countermeasures (mine-mottiltak)

n – Turtall

OPS-rom – Operasjonsrom

P.C – Propulsjonskoeffisienten



---

Payload – Fartøyets operative kapasiteter

$P_B$  – Installert effekt

$P_E$  – Slepeeffekten

$R$  – Slepemotstand

SKSK – Sjøkrigsskolen

SNMCMG1 – Standing NATO Mine Countermeasures Group One

$T$  – Skyvekraft (thrust)

$t$  – Thrustreduksjonsfaktor

USV – Unmanned Surface Vehicle (ubemannet overflate fartøy)

$V_A$  – Propellens hastighet i forhold til det vann den arbeider i

$V_S$  – Skipets hastighet

$w$  – Medstrømsfaktor

---

## Figurer

Figur 1 – PRINSIX Prosjektmodell

Figur 2 – Designspiralen

Figur 3 – Første skisse av GA

Figur 4 – Skisse av GA sett fra siden

Figur 5 – GA av arbeidsdekket

Figur 6 – Volumfordeling

Figur 7 – Vekt og kostnadsfordeling

Figur 8 – Snitt av KNM Odin fra siden etter første runde av designspiralen

Figur 9 – Snitt av KNM Odin fra babord låring etter første runde av designspiralen

Figur 10 – KNM Odin i profil etter første runde av designspiralen

Figur 11 – Snitt av KNM Odin fra siden etter parameterstudie

Figur 12 – Snitt av KNM Odin fra babord låring etter parameterstudie

Figur 13 – KNM Odin i profil etter parameterstudie

Figur 14 – Friprøvediagram

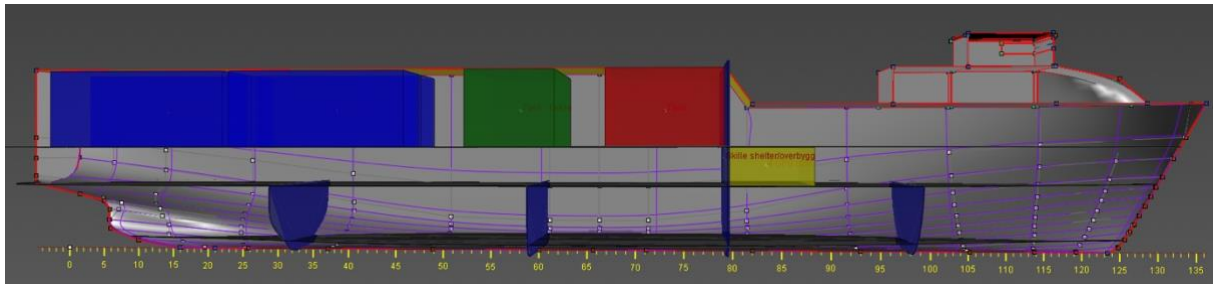
Figur 15 – Snitt av KNM Odin fra siden som designløsning

Figur 16 – Snitt av KNM Odin fra styrbord låring som designløsning.

---

## Litt om illustrasjoner av KNM Odin

Etter hver fase som innebærer endring av designløsningen, vil det være vedlagt illustrasjoner av KNM Odin. Illustrasjonene er et skjermbilde fra konstruksjonsprogrammet DELFTship. Dette er et eksempel på en slik illustrasjon:



Når leseren skal tolke illustrasjonene er det viktig å være bevisst på følgende:

### Farger

- Blå: USV
- Grønn: Dykkerbåt
- Rød: AUV
- Gul: OPS-rom
- Svart: Dekksflater
- Mørk blå: Skott

### Overbygg

På illustrasjonene av KNM Odin kan man se et overbygg. Dette er kun kosmetisk for å gi fartøyet karakter. Utformingen av dette har ikke blitt designet på noe tidspunkt i oppgaven.

---

# 1. Innledning

Vi lever i en tidsalder der teknologisk utvikling i stadig større grad påvirker hvordan vi lever livene våre. En av de områdene med størst vekst de siste årene er autonomi og kunstig intelligens. Dette er teknologi som gjør at maskiner kan operere helt på egen hånd, og ta egne valg for å jobbe mot en forhåndsprogrammert intensjon. Dette er også en teknologi som kan brukes i militær sammenheng, blant annet for å øke personellsikkerhet.

Det utvikles også stadig nye og mer moderne og kompliserte våpen. Dette er våpen som er laget for å lure systemer, og som kan være vanskelig å oppdage. Et eksempel på et slikt våpen er dypvannsminer som ligger på flere tusen meters dyp, og som har egen fremdrift slik at den kan avfyres som en torpedo mot et intetanende mål. Dette er en trussel som må effektivt bekjempes for å utføre oppdrag.

Minevåpenet må utvikle seg i takt med teknologien, og det er flere måter dette kan gjøres på. Det er derfor interessant å se på en mulig løsning, og hva denne løsningen vil bety for en prosjektering. Jeg har valgt et konsept som går ut på å konstruere et moderfartøy, som skal fungere som en plattform for autonome og bemannede systemer ombord.

## 1.1 Bakgrunn

Jeg har valgt å fokusere på et fartøy for minekrigføring i denne oppgaven. Dette er fordi jeg ønsker å lære mer om hvordan minekrigføring fungerer i dag, i tillegg til å få et innblikk i hva fremtiden kan bringe. Jeg skal selv jobbe som maskinoffiser på et minefartøy, og ønsket derfor med denne oppgaven å komme litt under huden på organisasjonen, samt få ta del i arbeidet mot fremtiden. All informasjonen jeg samler inn ønsker jeg at skulle kulminere i det som er min visjon for et fremtidig fartøy, basert på dette konseptet.

Jeg valgte konseptet «moderfartøy» da dette virket spennende fordi et slikt fartøy vil kunne ha et bredt operasjonsmønster, det vil bære med seg nye og innovative enheter i tillegg til at det vil være et fartøy svært ulikt noe av det vi har i dag. Min antakelse er at dette moderfartøyet ikke vil bli en nevneverdig komplisert konstruksjon, da det er payloaden ombord som vil være det komplekse. Dette ønsker jeg å finne ut av med oppgaven.

---

## 1.2 Mål

Hovedmålet med denne oppgaven vil være å lære hva konseptet «moderfartøy» betyr, og hva dette konseptet vil bety for prosjekteringen av et fartøy. Jeg ønsker også med denne oppgaven å komme frem til et forslag til et fartøy som har vært minst en runde gjennom designspiralen.

## 1.3 Begrensinger

En oppgave som tar for seg konstruksjon av et fartøy er veldig omfattende. Derfor har jeg gjennom hele mitt arbeid blitt nødt til å ta vurderinger på hvilke begrensinger jeg må sette. Med prosjektering av et slikt fartøy kan jeg fort grave meg for dypt ned i et tema, og på denne måten glemme helheten.

Det er svært lite som eksisterer den dag i dag som kan sammenlignes med det konseptet jeg er ute etter i min oppgave. Det finnes ingen militære fartøy som gjør nøyaktig det samme som jeg tar for meg i denne oppgaven, og jeg har derfor vært nødt til å se utover til andre markeder.

## 1.4 Metode

Jeg har i denne oppgaven brukt enkelte punkter av Forsvarets PRINSIX modell. Dette er en omfattende modell som brukes i for eksempel anskaffelsen av nye fartøy den dag i dag. Av hensyn til kompleksiteten til oppgaven har jeg vært nødt til å begrense modellen, og bruke en forenklet versjon av de punktene jeg har anvendt.

Jeg har også brukt designspiralen som en metode for å prosjektere fartøyet i definisjonsfasen, i tillegg til å ha brukt et digitalt konstruksjonsprogram. Dette programmet heter DELFTship. En nærmere utredning av PRINSIX, designspiralen og DELFTship vil stå på side 14.

## 1.5 Struktur

Oppgaven er skrevet som en forenklet gjennomgang av to faser fra PRINSIX modellen. I delen for besvarelse handler første del om konseptfasen, og det arbeidet som er gjort for å komme frem til et utgangspunkt for utregningene. Den andre delen inneholder definisjonsfasen, og det tekniske arbeidet som gjøres for å finne en designløsning. Her går jeg også gjennom designspiralen og mine beregninger.

---

Jeg har valgt å navngi dette moderfartøyet. Dette har jeg gjort for å gi fartøyet identitet, i tillegg til at det skal være lettere for leseren å forstå når jeg referer til mitt konseptfartøy. I Forsvaret finnes det mange referanser til norrøn mytologi, blant annet her på Sjøkrigsskolen. Eksempler på dette er «Valkyrien», «Valhall» og «Blotet». Fartøyet jeg har prosjektert skal være svært kompetent i minekrigføring, og ulikt noe som har vært i marinen før. Jeg har derfor valgt å kalle fartøyet for «KNM Odin» og vil bruke denne referansen gjennom hele oppgaven.

---

## Metoder og hjelpemidler

### PRINSIX

PRINSIX modellen er det overordnede rammeverket som standardiserer hvordan materiellinvesteringer skal planlegges og gjennomføres i forsvarssektoren. (Forsvaret 2019 PRINSIX) Dette er verktøyet Forsvaret bruker til anskaffelse av materiell, som for eksempel: Nye jagerfly, nye våpensystemer, og en gang i fremtiden: nye minefartøy.

Modellen gir en god metodisk tilnærming til en konkretisering av hva det er behov for, en analyse av mulige løsninger, og hvordan produktet skal utformes. PRINSIX er et veldig omfattende verktøy, og i denne oppgaven vil de som kjenner til verktøyet se at det har blitt gjort forenklinger.

Det har kun vært relevant for meg å se på konseptfasen og definisjonsfasen (se figur 1). Jeg har ikke brukt idéfasen i denne besvarelsen da den ikke oppleves som relevant, da idéen bak konseptet kommer fra meg, og de inntrykkene jeg har gjort meg bak diskusjonene om fremtidens minefartøy.



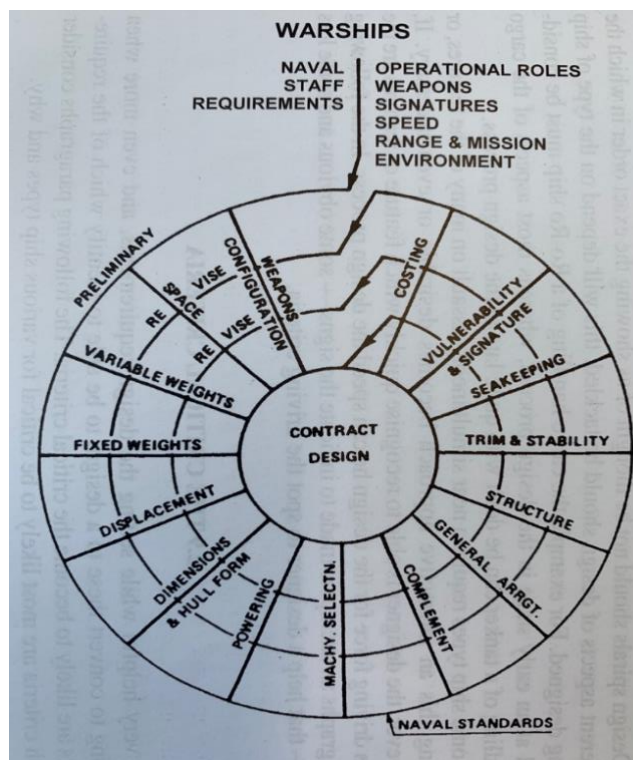
**Figur 1**

Overordnet skisse av PRINSIX modellen. Her er alle fasene representert på nedre halvdel av illustrasjonen. (Forsvaret – PRINSIX, 2016)

## Designspiralen

Jeg skal i denne oppgaven bruke designspiralen (se figur 2). Dette er et verktøy som illustrerer designprosessen av et fartøy. Det er ingen fasit på hvordan designspiralen kan se ut, men det vil være forskjeller mellom et militært fartøy, og et sivilt handelsfartøy. Hovedforskjellen her er at ved konstruksjonen av et handelsfartøy, er man først og fremst interessert i hvordan dette fartøyet håndterer sin last. På et militært fartøy er det viktigste hva fartøyet faktisk skal gjøre, og et fartøy som kan støtte den payloaden det skal ha med (WATSON 1998, 48).

Designspiralen skal ikke nødvendigvis følges kronologisk, da rekkefølgen kan variere ut ifra det type fartøyet som skal jobbes med (Watson 1998, 49).



Figur 2

Illustrasjon av designspiralen (Watson 1998, 49)

## Programvare

Til utformingen av fartøyet har jeg brukt programmet DELFTship. I dette programmet kan jeg blant annet konstruere en skrogform, legge til tanker og vekter, gjennomføre slepeforsøk og hente ut tilhørende hydrostatikk. Programmet er godkjent av faglærer på Sjøkrigsskolen, og vil gi resultater av tilstrekkelig kvalitet. DELFTship er et omfattende program med mange



---

muligheter. Det er derfor identifisert at en mulig feilkilde i oppgaven vil være at jeg ikke har brukt programmet korrekt, og dermed fått feil resultater.

## **Antakelser og feilkilder**

### **Hvilke kilder ligger bak mine antakelser?**

For å komme med et forslag til hvordan et slikt fartøy kan se ut, kreves det at jeg gjør noen antakelser før prosjekteringsarbeidet kan begynne. I denne oppgaven har jeg vært nødt til å bruke «sannsynlige» verdier for å lage mitt designforslag. Det betyr at jeg ikke har forsket meg frem til korrekte og reelle verdier for ting som for eksempel operasjonsscenarioet. Få dimensjonerende krav til fartøyet har gjort det nødvendig å foreta antakelser.

For å skape meg et inntrykk av karakteristikken til et moderfartøy for autonome enheter, har jeg valgt å se på et fartøy med lignende egenskaper. Dette fartøyet heter «Seabed Constructor». Måten dette fartøyet opererer på er svært likt det som dette fartøyet er tiltenkt å gjøre, da det opererer blant annet HUGIN AUV'er. Jeg har derfor brukt databladet fra dette fartøyet for å gi meg informasjon om tekniske data, og hva slags systemer som er ombord. Databladet til dette fartøyet ligger på hjemmesiden til rederiet «Swire Seabed» og blir brukt som en åpen kilde. (Swire Seabed 2019)

### **Feilkilder**

I denne oppgaven vil det ikke alltid være at alle tall og vurderinger harmoniserer med hverandre. Det å gjennomføre en konseptfase og en definisjonsfase tar som regel mye mer tid enn det tar å skrive en bacheloroppgave, i tillegg til at kompetansenivået i en virkelig gjennomføring er høyere enn det jeg har på dette tidspunktet. Denne oppgaven handler om å få et innblikk i hva en prosjektering betyr for det konseptet jeg har valgt meg, ikke å finne frem til konkrete løsninger som kan settes ut i live.

---

## 2. Konseptfasen

Hensikten med konseptfasen er å skape en dokumentert og sporbar sammenheng fra et identifisert behov til valg av et konsept som basert på en helhetsvurdering er den løsningen som best ivaretar behovet, gitt rammer og føringer fra FD. <sup>1</sup>

Konseptfasen inneholder alt av informasjon som behøves før et forslag til designløsning kan lages. Den består av følgende ledd:

- Behovsanalyse
- Mål- og strategidokument
- Overordnet kravdokument
- Mulighetsstudie
- Alternativanalyse
- Konseptuell løsning

Det er et svært omfattende arbeid å gå i dybden på alle punktene, og kan ta dedikerte team flere år før de kommer frem til en konseptuell løsning de ønsker å gå for. Jeg har derfor vært nødt til å gjøre kraftige forenklinger i min oppgave for å kunne best mulig svare på problemstillingen.

### 2.1 Behov og mål

Behovsanalysen som er det første steget i konseptfasen er en undersøkelse av de faktiske behov. Dette er viktig å gjøre slik at alle de konkrete behov som finnes identifiseres, for at designløsningen skal innfri de krav som er satt. Det er også kostnadsbesparende da man unngår å bruke ressurser på å designe unødvendige kapasiteter.

I denne oppgaven har jeg ikke valgt en nøyaktig gjennomgang av disse fasene, da behovet er identifisert i konseptet som skal utredes.

---

<sup>1</sup> <https://forsvaret.no/prinsix/Prosjektfaser/Konseptfase>

---

## 2.2 Kapabiliteter og funksjoner

På dette stadiet i PRINSIX skal det konkretiseres en liste med krav til funksjoner og kapabiliteter. Dette er ikke målbare dimensjonerende krav.

Ut i fra erfaring, innsamlet informasjon og nødvendige antakelser jeg har tatt, har jeg kommet frem til en liste med funksjoner og kapabiliteter som fartøyet må ha. Listen er basert på mine tolkninger av innsamlet informasjon. Denne metoden er brukt for å lage listen som et grunnlag for resten av besvarelsen.

1. Fartøyet skal gjennomføre flere MCM operasjoner samtidige.
2. Sentral ledelse av fartøyet skal fungere på samme måte som i dag.
3. Fartøyet skal kunne detektere, identifisere og klassifisere alle relevante minetyper og trusler.
4. Fartøyet skal gjennomføre sine operasjoner uten at mannskapet ombord settes i fare.
5. Fartøyet skal huse fremtidens AUV'er, USV'er, og dykkerfartøy.
6. Fartøyet bør ha begrenset evne til å bevege seg i minefarlig område.
7. Fartøyet bør ha enkelte selvforsvarskapabiliteter.

Dette er de overordnede funksjons- og kapabilitetskravene som jeg skal prosjektere moderfartøyet, KNM Odin, ut i fra. Alle vurderinger jeg gjør må gjøres for å oppnå disse kravene.

Ut i fra disse kravene kommer det også såkalte «interfasekrav» som vil ha innvirkning på prosjekteringen. Hvis det er et krav om at et fartøy skal ha AUV kapasitet, vil dimensjonene, kraftbehovet og personellbehovet for denne enheten være et interfasekrav. I virkeligheten ville det bli iverksatt enda en anskaffelsesprosess for AUV'ene, og man ville ha kommet frem til et ønsket produkt. I denne oppgaven har jeg ikke gjennomført dette og valgt en type drone jeg kaller AUV1. Interfasekravene til denne enheten vil være dimensjonerende krav for prosjekteringen av fartøyet.

Etter å ha lagd et kravdokument, vil eventuelle muligheter og alternativer studeres. Man vil kunne diskutere flere ulike konseptuelle løsninger som skal løse oppgaven og de kravene som

---

har blitt satt. Dette tas ikke med i denne oppgaven da jeg har valgt konkret å se på konseptet «moderfartøy».

## 2.3 Operasjonsscenario

I denne oppgaven har jeg valgt å forholde meg til kun et operasjonsscenario for å ikke gjøre oppgaven for omfattende. I et reelt prosjekteringsarbeid for et fartøy, finnes det mange forskjellige operasjonsscenarioer.

- Sea State 4 <sup>2</sup>
- 30 knop i sidevind – Stiv Kuling <sup>3</sup>
- Fartøyet skal kunne operere i åpent hav og innaskjærs
- Rekkevidde på minst 9000nm ved hastighet 17 knop
- I transit skal det kunne opereres med opptil 17 knop

Utvelgelsen av dette operasjonsscenarioet er gjort på bakgrunn av antakelser og empiri. Dette er fordi en nærmere analyse av et fullstendig scenario ikke blir gjennomgått i denne oppgaven. Scenarioet som er beskrevet ovenfor er et rimelig scenario som de fleste som har jobbet på sjøen har opplevd. Bakgrunnen for utvelgelsen av rekkevidde og fart er basert på en tanke at dette skipet skal kunne ha muligheten til å gjennomføre effektiv forflytning, og samtidig ha en viss stridsutholdenhet. Operasjonsscenarioet er et dimensjonerende krav, og vil være veiledende for prosjekteringen av fartøyet.

## 2.4 Fremtidens payload

For å prosjektere et moderfartøy, må jeg vite hva slags kapasiteter som skal være om bord. Jeg har tatt antakelser om fremtidens teknologi, samt arbeidet med forskjellige mennesker for å få et innblikk i hva som kan være sannsynlig og forvente av anti-minevåpen i fremtiden. Gjennom uformell samtale med en overingeniør i FMA som jobber med anti-minevåpen, har jeg fått et godt innblikk i hvordan en mulig fremtid kan se ut for minevåpenet. Det har gjort at jeg har blitt i bedre stand til å ta gode vurderinger for å lage et mest mulig realistisk forslag.

---

<sup>2</sup> Douglas Sea State scale

<sup>3</sup> Beufort vindskala

---

Payloaden består altså av fiktive enheter, som jeg mener kan være realistiske. Jeg har kommet frem til at fartøyet må ha følgende payload ombord:

- 6 stk AUV'er med tilhørende støttesystemer
- 4 stk USV'er med tilhørende støttesystemer
  - Minesniper
  - Elektronisk sveip
  - ROV
- 1 stk minedykkefartøy
- Underbringelse for embarkert personell

Det blir en forenkling å kun se på det overnevnte som payloaden til fartøyet. Dette utgreies på et senere punkt i besvarelsen. Jeg har valgt å fokusere på de dimensjonerende egenskapene til payloaden, og dermed lagt mindre vekt på tekniske kapabiliteter.

#### 2.4.1 AUV

Gjennom samtale med fagpersonell har jeg gjort følgende antakelse: «*Fremtidens AUV'er vil være på størrelse med dagens MUNIN, levert av Kongsberg Industries, og vil inneha minimum de samme kapabilitetene som dagens HUGIN*».

Dimensjonene til MUNIN, og de tekniske dataene til HUGIN har blitt hentet fra Kongsberg sine hjemmesider:

Lengde: 400 cm

Ytre diameter: 36 cm

Vekt: 350 kg

Operasjonsdybde: 6000 m (maks)

Utholdenhet: 70 timer ved 5 knop.

(Kongsberg 2019)

---

Da dette er en fiktiv drone, blir den navngitt med navnet AUV1 i denne besvarelsen. Med 6 AUV'er kan et stort operasjonsområde dekket på kort tid.

#### **2.4.2 USV**

Da bruken av USV'er er nytt i marinen, vil det i denne oppgaven bli gjort en del antakelser på hvordan fremtidens USV'er vil se ut og hvordan disse vil operere.

For å kunne gjennomføre Closed loop sveip, ROV-operasjon og minesniping samtidig, krever det at fartøyet har 4 USV fartøyer ombord. Jeg har valgt å bruke en USV fra selskapet Atlas Elektronik som heter ARCIMS. Dette er et USV system som antas å være realistisk for bruk i fremtiden.

Dette systemet har følgende dimensjoner:

Lengde: 11,2 m

Største bredde: 3,4 m

Høyde med nedsenket mast: 3,7 m

Dypgang: 0,6 m

Vekt: 6500 kg (lett skip)

Payload kapasitet: 4000 kg

Toppfart 45 kn

Hastighet ved slep: 6-15 kn

(ATLAS ARCIMS 2019, 24)

ARCIMS er konstruert for å kunne benytte seg av alle de relevante modulene som ønskes i forbindelse med anti-minekrigføring. I denne oppgaven anser jeg vekten til ROV, closed loop sveip og minesniper som totalt 3000 kg pr enhet ombord på USV'ene. Dette inkluderer alle nødvendige systemer.

---

### 2.4.3 Dykkerbåt

Som en del av «MCM verktøykassen», vil det alltid være minedykkerkapasitet ombord. I den forbindelse er det også behov for å ha en dykkerbåt slik at dykkerne kan jobbe uavhengig av moderfartøyet. Jeg vil bruke båttypen «Kulkuri 34» som modell for dykkerbåten (Kulkuri 34, 2019). Den har følgende dimensjoner:

Lengde: 10,35 m

Bredde: 3,4 m

Høyde (uten mast): 3,6 m

Dypgang: 0,9 m

Maksfart: 30 kn

Passasjerer: 8 maks

Egenvekt: 4000 kg

Tillatt payload: 4000 kg

### 2.4.4 Underbringelse av embarkert personell

For å kunne drifte og vedlikeholde payloaden, kreves det personell som er dedikert til dette. Dette personellet vil gå inn som en del av selve payloaden og kalles for «embarkert personell». Det betyr at payloaden inkluderer det volumet som kreves for å underbringe dette personellet.

Det kreves en nærmere analyse av hvert enkelt element i payloaden, for å vite hvor mye personell som trengs for å drifte og vedlikeholde dette. I prosjekteringsarbeidet som blir gjort i denne oppgaven, velger jeg å ikke ta med underbringelse i beregningene, da jeg ikke har gjennomført en analyse av dette. Det gjennomføres derimot en nærmere betraktning av dette i definisjonsfasen.

---

## 2.5 Andre betraktninger

### 2.5.1 Egensikring

Min vurdering tilsier at moderfartøyet må ha en viss evne til egenforsvar. En plattform med så mange kapasiteter som dette fartøyet vil ha, vil være et attraktivt mål for en fiendtlig aktør. For å begrense kostnader å holde dimensjonene nede, vurderer jeg det slik at dette fartøyet ikke skal ha tyngre våpen ombord. På KNM Odin vil det derfor være montert våpen som for eksempel «Sea Protector» systemer, systemer for lysraketter og optisk kamuflering. Av hensyn til omfanget til denne oppgaven vil de dimensjonerende egenskapene til alle disse systemene gå inn under inventaret sin felles vekt og plassering av tyngdepunkt.

Når det gjelder radarsystemer, kommunikasjonssystemer og andre elektroniske kapasiteter, vil de dimensjonerende egenskapene gå inn under inventarets felles vekt og tyngdepunkt. Dette er fordi jeg ikke anser det som relevant for oppgaven sin del å regne noe mer på disse systemene, utover å betrakte de som en del av fartøyet.

### 2.5.2 Signatur

Et fartøy har flere typer signaturer, for eksempel: visuell, akustisk og magnetisk. Dagens minebåter er bygd for å ha lav signatur, med blant annet et ikke-magnetisk skrog. Dersom det ikke vurderes at KNM Odin skal bygges av et slikt materiale, vurderer jeg at det er hensiktsmessig og ha et avmagnetiseringsanlegg ombord.

Jeg ser det ikke som hensiktsmessig i denne oppgaven å vurdere andre tiltak for å redusere signaturen. Det vil være svært kostnadskrevende å bygge dette fartøyet ut av ikke-magnetiske materialer, og jeg mener ikke at bruken av dette kan forsvares for KNM Odin.

De dimensjonerende egenskapene til avmagnetiseringsanlegget, vil inngå som del av skipets inventar.



---

### 2.5.3 Dynamisk posisjonering

Da dette er et fartøy som skal utføre komplekse oppgaver, gjerne flere på samme tid, kreves det at det kan navigere presist slik at det ikke er til hinder for utførelsen av oppgavene. Det tas dermed med i vurderingen at dette fartøyet skal ha et dynamisk posisjoneringssystem.

## 2.6 Muligheter og alternativer

I en reell anskaffelsesprosess ville man etter å ha identifisert funksjons- og kapabilitetskrav, undersøke hva slags løsninger og muligheter som finnes. Mulighetsstudien gjennomføres på bakgrunn av de kravene som finnes (Forsvaret - Utarbeide Mulighetsrom 2016). Hensikten med denne undersøkelsen er å finne alle mulige, relevante konsept for løsningen. Dette vil ikke være aktuelt å gjøre nå, da jeg i min problemstilling erklærer at jeg vil fokusere på «moderfartøy» konseptet og dermed vil arbeide med dette i fokus.

Alternativanalysen skal utrede de konseptene som har kommet frem i mulighetsanalysen, med fokus på kostnad, gjennomførbarhet og relevans. Dette er mer en samfunnsmessig analyse av de ulike konseptene, og vil være med på å avgjøre hvilket konsept som blir anbefalt til slutt.

Når konseptet for «moderfartøy» er valgt, vil man se på hva slags muligheter og alternativer dette konseptet vil gi. Et moderfartøy kan for eksempel ha et katamaranskrog, eller så kan det være en flyvemaskin som kan sette ut og hente inn enheter. Hva som blir det anbefalte konseptet vil være et resultat av studier som prioriterer ting som kostnad, tid det tar å gjennomføre og ytelse i forhold til kravene.

Mitt anbefalte konsept som jeg skal ta videre til definisjonsfasen, er et konvensjonelt skrog av stål. Dette har jeg valgt fordi det er billig å konstruere, og fordi det vil kunne oppfylle kravene til funksjon og kapabilitet. Da det ikke er et krav om at skipet *må* kunne bevege seg i et minefelt, og at det planlegges med et installert avmagnetiseringsanlegg, er det tilstrekkelig å bygge skroget av stål.

---

## 2.7 Konseptuell løsning

Arbeidet med analysen av muligheter og alternativer skal kulminere i en «konseptuell løsning». Dette er det anbefalte konseptet som føres videre til definisjonsfasen. Den konseptuelle løsningen er et dokument som inneholder den viktigste informasjonen fra konseptfasen, og legger det frem på en konkret måte. Den konseptuelle løsningen kan leses i vedlegg A.

## 2.8 Dimensjonerende krav

Før definisjonsfasen igangsettes vil det utformes et kravdokument som inneholder de dimensjonerende kravene som gjelder for prosjekteringen av fartøyet. Dette vil være konkrete, målbare krav.

De dimensjonerende kravene jeg vil ha med meg til definisjonsfasen, er dimensjonene til payloaden, samt kriteriene som operasjonsscenarioet gir meg. Det vil si at jeg har få dimensjonerende krav å starte arbeidet ut i fra, og dette resulterer i at jeg må gjennomføre flere antakelser i definisjonsfasen. Dette kommer tydelig frem når jeg begynner på den første runden i designspiralen. Dette fordi jeg da er nødt til å anta hovedparametere basert på skjønn. I virkeligheten ville jeg hatt en rekke dimensjonerende krav som ville begrenset mulighetsrommet mitt i begynnelsen av designspiralen.

---

## **Antakelser, forutsetninger og avgrensinger for definisjonsfasen.**

### **Antakelser:**

- Fartøyet antas å være fullt bunkret til enhver tid, og at fartøyet vil ha et deplasement som tilsvarer valgt konstruksjonsvannlinje.
- Det antas at fartøyet har null-trim. Det betyr at vektfordelingen til fartøyet vil gi at fartøyet flyter med lik dypgang, forut og akter, på KVL, og at vektfordelingen, når ferdig konstruert, er slik at fartøyet er stabilt.
- Løsningen for inn- og uthenting av payload er funksjonell.
- Volum og vekt for payload antas korrekt.
- Propulsjonskoeffisient (P.C.) antas å være 0,6.
- Besetningen på fartøyet er 60 personer.

### **Forutsetninger:**

- Payloaden som fartøyet skal prosjekteres rundt er det samme som kommer frem i konseptfasen.
- Programvaren DELFTship leverer data med høy nok grad av kvalitet.
- Ingen radikal forandring av konseptløsning under arbeidet med definisjonsfasen.

### **Avgrensinger:**

- Tid og arbeidsmengde. Å gå flere runder i designspiralen ved prosjekteringen av et fartøy er svært krevende, og vil ha et stort omfang. Jeg har kun hatt muligheten til å se på de enkelte temaene overordnet, og har ikke gått i dybden.
- Egen kompetanse. Prosjektering av et fartøy dekker mange fagområder, og med mitt utgangspunkt har jeg vært nødt til å sette meg inn i nye elementer av faget.
- Programvaren DELFTship gir meg muligheter, men også begrensinger i den form av at det er programvaren som vil diktere hva slags data jeg kan hente ut.

---

### 3. Definisjonsfasen

I definisjonsfasen starter arbeidet med produktet fra konseptfasen. Jobbes det med et reelt prosjekt, vil Forsvarsdepartementet sende ut et oppdrag om utarbeidelse av en fremskaffelsesløsning. Denne vil gå til en styrkeprodusent, som får ansvaret. FLO og andre enheter vil dermed få i oppdrag å støtte den ansvarlige styrkeprodusenten (Forsvaret – Definisjonsfasen 2016). I denne oppgaven er det ikke relevant og se på det byråkratiske arbeidet som ligger i definisjonsfasen, men heller fokusere på de tekniske resultatene som kreves av konseptfasen. Jeg kommer til å bruke designspiralen i prosjekteringsarbeidet.

I en designprosess vil det alltid være et sett med lover, forskrifter og annet for å veilede arbeidet. Eksempler på føringer er de konvensjoner som er gitt av IMO og klasseregler gitt av, for eksempel, DNVGL. For at skipet skal klassifiseres, må det derfor følge de føringer som ligger i disse konvensjonene. Det er ikke alltid slik at de samme reglene gjelder for marinefartøy som det gjør for sivile fartøy, men det er ikke uvanlig å benytte seg av tilsvarende regelverk med prosjektering av et marinefartøy (Watson 1998, 48). I denne oppgaven vil jeg kun se på en overordnet designløsning som ikke nødvendigvis blir påvirket av slike regelverk. Hvordan slike regelverk påvirker designløsningen betraktes i runde to av designspiralen.

#### 3.1 Hva betyr funksjons- og kapabilitetskravene for prosjekteringen av skipet?

I vedlegg A finnes det en oversikt over funksjons- og kapabilitetskravene til fartøyet. Interfasekravene for payloaden er nevnt tidligere i besvarelsen. For å kunne prosjektere et fartøy som oppfyller disse kravene, må jeg først få klarhet i hva disse kravene betyr for meg.

##### 1. Fartøyet skal gjennomføre flere samtidige MCM operasjoner.

Dette betyr at fartøyet skal ha evne til å sette ut/ta inn de ulike kapasitetene samtidig. Det skal også være plass for mannskapet ombord til å operere kapasitetene samtidig. Det vil si at det

---

ikke er gunstig å planlegge med kun et inn- og utlastingssystem for alle kapasitetene, men heller se på muligheten til å lage uavhengige systemer. Det kan være hensiktsmessig at USV'ene og dykkerbåten deler lastesystem da størrelsen på disse er sammenlignbare, og at det vil begrense kostnader.

## **2. Sentral ledelse av fartøyet skal fungere på samme måte som i dag.**

Dette kravet vil ikke være et dimensjonerende kriterium for fartøyet, men det er en viktig presisering. Det vil ha betydning for kommandostrukturen på fartøyet, og kan strekke seg til å ha innvirkning på hvor mye personell som skal ombord.

## **3. Fartøyet skal kunne detektere, identifisere og klassifisere alle relevante minetyper og trusler.**

Dette kravet er blitt tatt hensyn til i utvelgelsen av payload. Dette kravet kan virke overflødig med tanke på krav nr. 2, men det supplerer med å konkretisere de egenskapene fartøyet skal ha ombord. Det vil ikke ha noe innvirkning på designet i denne oppgaven.

## **4. Fartøyet skal gjennomføre sine operasjoner uten at mannskapet ombord skal settes i fare.**

Fartøyet skal ha evne til å ligge utenfor et minefelt, og operere de autonome kapasitetene fra en slik posisjon. Det reduserer risikoen sterkt, og den største risikoen bæres da av de ubemannede fartøyene. Det vil være et «degaussing» anlegg ombord for å senke den magnetiske signaturen, men dette fartøyet vil fortsatt ha en mye sterkere signatur enn dagens fartøy. Fartøyet sin evne til egenforsvar vil hovedsakelig være mindre våpen til bruk mot asymmetrisk krigføring, som små raske fartøy med håndvåpen. For å sikre fartøyet mot større trusler fra luft eller under vann, kreves det støtte fra for eksempel en fregatt.

## **5. Fartøyet skal huse fremtidens AUV'er, USV'er, minedykkere og K2 systemer.**

Dette er tatt høyde til i utvelgelsen av payloaden med tilhørende interfasekrav. Når det gjelder valg av K2 systemer, tas det høyde for at det designes et operasjonsrom med tilhørende systemer. Dette er noe som vil regnes med blant inventaret i fartøyet.

---

## **6. Fartøyet bør ha begrenset evne til å bevege seg i minefarlig område.**

Det tas høyde for ved å installere et avmagnetiseringsanlegg. Det vil i denne oppgaven ikke diskuteres hvorvidt signaturdempende materiale vil bli brukt. Båten vil i tillegg til hovedfremdrift kunne bruke motorer fra det dynamiske posisjoneringssystemet til begrenset fremdrift.

## **7. Fartøyet bør ha enkelte selvforsvarskapabiliteter**

Dette punktet har blitt drøftet tidligere, og inngår som en del av inventaret til fartøyet.

### **3.2 Krav for operasjonsscenario**

For å kunne operere i nevnte operasjonsscenario, kreves det at båten har enkelte egenskaper. Fartøyet må være stabilt, slik at det klarer å operere i sjøgang og med vind. Det må ha god evne til å manøvrere siden det skal operere i et trangt farvann. Fartøyet skal ha en rekkevidde på minst 9000 nautiske mil ved hastighet 17 knop.

Rekkevidde og marsjfarten setter krav til maskineriet og bunkringskapasiteten ombord. Hva som kreves for å oppfylle disse kravene, er vil jeg finne ut av etter å ha beregnet hydrostatikk og sett på slepomotstanden. Nødvendig bunkringskapasitet avhenger av forbruket til det installerte maskineriet.

Når det gjelder krav til manøvrering, vil tas dette hensyn til ved at fartøyet benytter seg av et dynamisk posisjoneringssystem. Dette vil gjøre at fartøyet uproblematisk kan operere innaskjærs.

### **Sea State 4 og Sidevind**

I operasjonsscenarioet står det at fartøyet skal kunne takle sea state 4. Dette er et dimensjonerende kriterium da det vil gi krav til fartøyets stabilitet, bevegelser og posisjoneringsevne. Hvis fartøyet skal kunne operere i denne sjøgangen stilles det også krav til hvordan payloaden opereres.

---

Fartøyet skal takle 30 knop sidevind. For å kontrollere dette må det gjennomføres sidevindsberegninger og se hva dette gjør med stabiliteten til fartøyet. Resultatet må være konvergerende med designløsningen.

### **3.3 Inventar og øvrig innhold**

I denne oppgaven antas det at fartøyet alltid er fullt bunkret, og har et deplasement som tilsvarer fartøyets dypgang. Deplasementet tilsvarer en gitt masse. For at designløsningen skal konvergere antas det at all vekt som ikke er spesifisert andre steder i besvarelsen, inngår som en del av inventaret. Med inventar mener jeg her alt av gjenstander som ikke inngår som en del av skipet, som for eksempel:

- Kontrollsystemer (maskinkontroll, OPS-rom og bro)
- Rør og elektriske ledninger
- Bysse
- Forlegninger
- Våpensystemer

Alt som ikke vanligvis inngår som en del av inventar, som for eksempel vekt av fuel, ferskvann og maskineri, regnes som en del av dette i denne besvarelsen. Kort sagt vil alt som ikke er eksplisitt nevnt i denne oppgaven være en del av inventaret og det øvrige materiellet. Denne antakelsen er jeg nødt til å gjøre for å forhindre at oppgaven blir alt for kompleks.

---

## 4. Første runde av designspiralen

Det er nå klart for å begynne på første runde av designspiralen. Til å begynne med vil jeg kun fokusere på statiske størrelser. Etter å ha gått første runde i designspiralen, vil jeg måtte gjennomføre en parameteranalyse for å lage et designforslag med hensiktsmessige parametere.

Denne prosessen er en såkalt «bottom up» prosess. Dette betyr at jeg eksempelvis vil velge ut noen dimensjoner for fartøyet, for deretter å kontrollere at dette vil oppfylle de kravene jeg har satt. Jeg begynner på et detaljnivå, og jobber meg oppover mot de overordnede kravene til fartøyet.

### 4.1 Bestemme størrelse på fartøyet

Første del av designspiralen for krigsskip er «weapons configuration». Dette er altså payloaden til fartøyet. Da jeg allerede har bestemt dette, kan jeg begynne på neste steg som er å bestemme størrelse på fartøyet.

For å komme med et anslag på hvor stort dette skipet vil bli, må jeg se på hvilke dimensjonerende krav jeg har. Som tidligere nevnt, har jeg få dimensjonerende krav til fartøyet. Dette betyr at så lenge jeg sørger for at disse kravene blir oppfylt, vil jeg måtte gjennomføre en del antakelser når hovedparametere skal settes. Fartøyet må være stort nok til å romme hele payloaden i tillegg til at det skal være plass til vedlikehold og personellet om bord.

Jeg vil forenkle hvert element i payloaden om til blokker. Det betyr at jeg vil ta dimensjonene til et element, sette blokkoeffisient  $C_b$  for den lik 1, som igjen medfører et antatt tyngdepunkt i senter av blokken.

#### 4.1.1 Analyse av størrelse til payload

Den kapasiteten som krever størst volum er de 4 USV'ene. Hver USV er 11,2 m lang, 3,4 m bred, og 3,7m høy og veier 6500kg uten last. For å ta hensyn til arbeidsplass rundt fartøyene justerer jeg opp størrelsene slik at dimensjonene tar høyde for dette. Jeg justerer verdiene etter skjønn. Den totale plassen som hver enkelt USV krever er da:

$$l = 14\text{m}, b = 5,5\text{m}, h = 5,9\text{m}$$



---

Totalt volum pr USV =  $454,3\text{m}^3$

Disse målene gir meg allerede noen indikasjoner på hvordan disse kan plasseres ombord på fartøyet. Dersom alle USV'ene skal plasseres ved siden av hverandre, blir det en bredde på minimum 21,6 m. Dette er et eksempel på de hensyn jeg må ta når den totale størrelsen på skroget skal vurderes.

Hver av disse USV'ene skal kunne bære en ROV, en minesniper, samt operere et closed loop sveip. Hvert av disse systemene vil ha tilhørende støttesystemer ombord på hver USV, for eksempel generator ombord på fartøyene som har closed loop sveip. I dette konseptet hvor det designes for 4 USV'er, er en løsning at hver USV har sin faste egenskap. Det medfører en mer effektiv deployering av USV, og mindre behov for lagring av utstyr. Ulempen med dette er at det ikke vil være mulig for en fleksibel disponering av kapasitetene. Det betyr at hvis en USV ikke er operativ, så mister fartøyet denne kapasiteten. Det antas at disse systemene vil veie 3000kg på hver USV. For å forenkle beregningen i denne oppgaven, plasseres et system på hver USV slik at den totale vekten pr USV blir 9500kg.

AUV1 er 4m lang, 0,36m bred og veier 350 kg pr enhet. Jeg har fra konseptfasen at det er hensiktsmessig å ha 6 AUV'er ombord, og vil dimensjonere etter dette. Volumet som kreves for å operere disse enhetene avhenger av blant annet mekanismen til utsettelse og innhenting av dronen, samt areal til vedlikehold. For AUV1 velger jeg et rom med følgende dimensjoner.

$l = 8\text{m}$ ,  $b = 10\text{m}$ ,  $h = 5,9\text{m}$

Totalt volum:  $472\text{m}^3$

Det brukes samme høyde som USV'ene for å forenkle konstruksjonen i denne oppgaven. Denne høyden vil gi plass til vedlikehold og lastemekanismer. Det kan også være aktuelt å la hele rommet gå over fartøyets bredde, for å ha mulighet til å laste alle AUV'ene ut fra samme side. Det antas at vekten på utstyret i dette rommet, inkludert 6 AUV1 vil være 6000kg. Volumet for AUV1 kan enten være i et lukket rom, eller være plassert på samme dekk som USV'ene.

Dykkerbåten er 10,35m lang, 3,4m bred og 3,6m høy. For å tilrettelegge for arbeidsplass rundt dette fartøyet, antas det følgende minimumsdimensjoner for dykkerbåten:

---

$l = 14\text{m}, b = 7\text{m}, h = 6\text{m}$

Totalt volum =  $588\text{m}^3$

Denne båten har en lettskipsvekt på 4000kg. For å tilpasse denne båten som dykkerbåt, antas det en vektøkning på 1500kg. Dykkerbåten får dermed en totalvekt på 5500kg. Den bør plasseres slik at den kan opereres uavhengig av USV'ene. Grunnen til at jeg ikke tar hensyn til vekten av dykkerne og deres utstyr er at dette ikke vil være en del av dykkerbåten sin vekt når den står på KNM Odin.

Hver av disse kapasitetene må også ha operasjonssentraler. Størrelsen til disse operasjonsrommene er basert på standard størrelse for container på 20 fot (ISO668 2013) som har følgende dimensjoner:

$l = 6,058\text{m}, b = 2,438\text{m}, h = 2,591\text{m}$

Det antas at hver kapasitet vil ha en operasjonssentral med en størrelse som tilsvarer 2 slike containere ved siden av hverandre, slik at total bredde blir 4,876m.

Totalt minimumsvolum =  $76,54\text{m}^3$

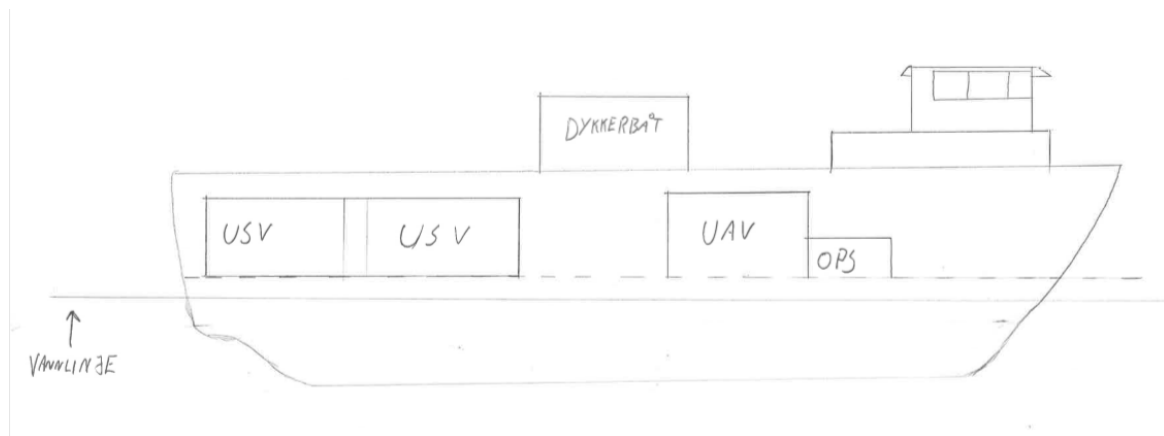
Det antas at operasjonsrommet til moderfartøyet er tilsvarende. Høyden på operasjonsrommene vil antakeligvis bli hevet senere, slik at volumet vil endre seg.

Vekten til disse rommene er vanskelig å anslå, og blir derfor en feilkilde som må tas hensyn til. Tillatt maksimal vekt for last i en slik container er ifølge ISO 668: 30480kg (ISO668 2013). For 2 containere blir det altså 60960kg maksimal tillatt lastevekt. Da disse volumene er tenkt å være operasjonsrom med plass til mennesker og teknisk utstyr, antas det at vekten pr operasjonsrom blir 10% av maksimal tillatt lastevekt. Vekt per operasjonsrom blir dermed 6096 kg.

Alt av støttesystemer for hver kapasitet, i tillegg til det embarkerte personellet, vil inngå som en del av volumet til payloaden. Da jeg ikke vil gjennomføre en grundig analyse av dette i oppgaven, vil jeg kun fokusere på de overnevnte størrelsene. Det vil være hensiktsmessig og prosjektere et fartøy med en størrelse som tillater at dette legges til senere, uten å måtte radikalt endre fartøysparametere.

### 4.1.2 Generalarrangement

Før det er hensiktsmessig å vurdere størrelsen på fartøyet, må jeg ta en vurdering på hvordan jeg ønsker at payloaden skal være plassert ombord, og hvordan jeg har tenkt at den generelle utformingen skal se ut. Generalarrangementet vil være utformet av de dimensjonerende kravene. Et eksempel på dette er at man gjennom arbeidet med anskaffelse av USV, oppdager at hver enhet trenger et kran-system som krever en høyde på minst 9 meter. Dette vil være et dimensjonerende krav, og noe som må tas hensyn til når generalarrangementet skal utformes. Da jeg har svært få begrensede dimensjonerende krav i denne oppgaven, betyr det at jeg har mange muligheter til hvordan jeg ønsker å utforme generalarrangementet. Jeg tegner først en skisse for hånd, som jeg deretter overfører til dataprogrammet.



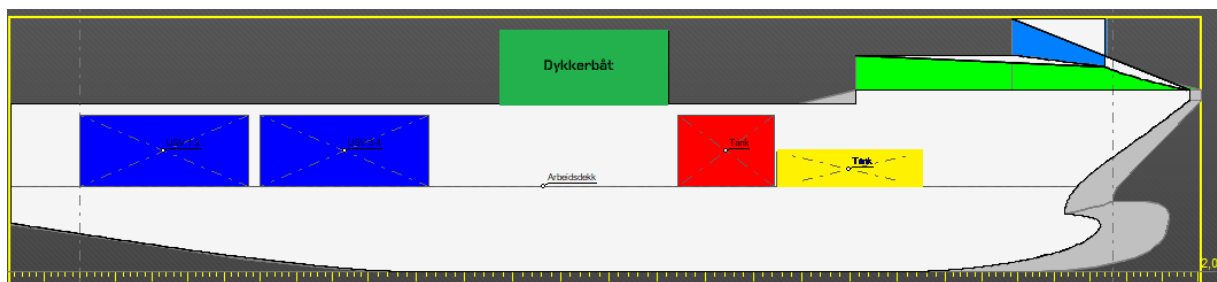
**Figur 3 - Første skisse av generalarrangement**

Dette er den første skissen av hvordan jeg har tenkt at generalarrangementet skal se ut. Det er en simpel tegning som ikke er skalert. Dette er kun for å konkretisere min idé, og en mer nøyaktig fremstilling av generalarrangementet får jeg ut i fra dataprogrammet.

Jeg ønsker å plassere alle USV'ene på samme dekk, dette velger jeg å kalle for «arbeidsdekket». Dette er et dekk som skal være lagringsplass, samt vedlikeholdsplass for enhetene ombord, og må derfor ligge over vannlinjen for å sørge for effektiv inn- og utlasting av enhetene, samt at dekket skal kunne drenere bort vann. Tanken er at arbeidsdekket skal være lukket, slik at det er skjermet for vær og vind. Det skal være luker på hver side av fartøyet som kan åpnes for ut- og innsetting av payloaden. Dykkerbåten kan plasseres på dekket over arbeidsdekket, sammen med en MOB-båt. På denne måten frigis det mye areal på arbeidsdekket som kan brukes til blant annet vedlikehold. Dette er utgangspunktet for hvordan

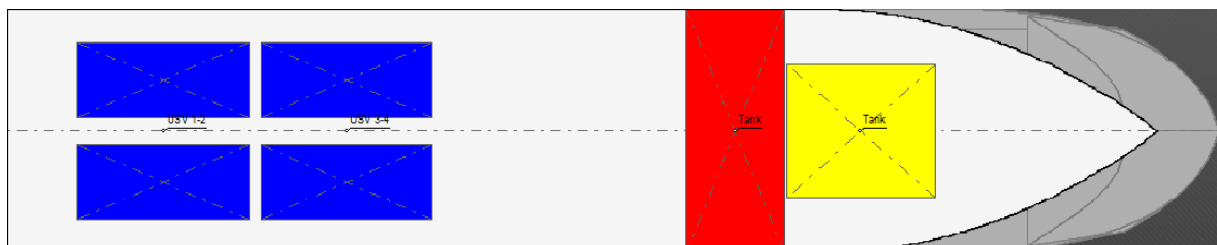
jeg vil prosjektere fartøyet, og det kan hende at GA-tegningen må endres etter hvert som jeg jobber med designspiralen.

For å få til en mer nøyaktig skisse bruker jeg DELFTship. Jeg setter inn de nøyaktige målene for payloaden, og velger noen vilkårlige hovedparametere for skroget. På denne måten vil jeg få en mer nøyaktig skisse med skalerte verdier.



**Figur 4 - Skisse av generalarrangement sett fra siden**

Her er skissen av generalarrangementet raffinert og skalert gjennom DELFTship.



**Figur 5 - Generalarrangement av arbeidsdekket**

### 4.1.3 Størrelsesbetraktning

Med utgangspunkt i GA skissen får jeg et inntrykk av hva slags hovedparametere som vil være fornuftig å sette. Ved å plassere to USV'er direkte ved siden av hverandre får jeg en bredde på 11 m. Dette betyr at minimum 11 meter i bredde vil være et dimensjonerende krav for prosjekteringen av KNM Odin. En annen vurdering jeg gjør er at det bør legges til god plass mellom enhetene i midten, samt plass mellom USV og ytterkanten på fartøyet. Ved å ta hensyn til de betraktninger som har blitt gjort setter jeg en bredde for fartøyet på 18 meter. Dette gir god plass til å arbeide og bevege seg rundt payloaden. Denne størrelsen er ikke et dimensjonerende krav, og vil være noe som kan endres på senere.

---

Når jeg skal vurdere lengden, vil jeg bruke en referanse for å bestemme et preliminært lengde/bredde forhold. «Seabed Constructor» har en lengde mellom perpendikulærene på 108,25m, og er på sitt bredeste 22m (Swire Seabed 2019). Forholdet mellom lengde og bredde  $\frac{l}{b}$  blir da 4,92. Da jeg ønsker å konstruere et fartøy som ligner på dette, ønsker jeg å bruke et lignende forholdstall. Den maksimale hastigheten til dette fartøyet er 16,1 knop (Swire Seabed 2019). Jeg ønsker derfor å ikke ha et lavere forhåndstall, da det er et krav om å oppnå 17 knop i transithastighet på dette fartøyet.

En kort lengde og dermed et høyt Froudetall for et gitt deplasement gjør at fartøyet må ha en viss bredde. Det betyr at i en gitt hastighet, vil et kort og bredt skip kreve mye mer energi enn et langt skip (Watson 1998, 66).

*Formel 1, Froudetall Fr*

$$\text{Froudetallet: } Fr = \frac{V_s}{\sqrt{gL_{wl}}}$$

Dette gjelder da for skroget ved den konstruerte vannlinjen. Ved å sette et  $\frac{l}{b}$  forhold for skrogets maksimale lengde og bredde, betyr ikke dette at det samme forholdstallet gjelder for fartøyet i vannlinjen. I programvaren jeg bruker må jeg starte mitt arbeid med å velge hovedparametere for de maksimale dimensjonene på fartøyet. For skipets maksimale lengde og bredde, valgte jeg et forhåndstall på 5,5. Med en total bredde på 18m og et  $\frac{l}{b}$  forhold på 5,5, blir da den totale lengden på fartøyet 99m. Hva det korrekte forhåndstallet er for vannlinjen står lenger nede.

Når det gjelder konstruert dypgang, vil jeg benytte samme dypgang som Seabed Constructor, skalert ned i forhold til KNM Odin sine hovedparametere. Jeg bruker fartøyet maksimale dypgang som konstruksjonsvannlinje.

Det vil si at jeg finner først skaleringsfaktoren for lengden til fartøyene:  $\frac{99m}{115,4m} = 0,858$  og ganger denne med den maksimale dypgangen til Seabed Constructor:

$$7,12m * 0,858 = 6,1m$$

---

Fartøyet vil da ha følgende hovedparametere:

Total lengde = 99m

Lengde i vannlinjen: 91,6m

Bredde = 18m

Maksimal dypgang = 6,1m

Det betyr at det reelle  $\frac{l}{b}$  forholdet er 5,09, som jeg bruker i den første runden av designspiralen.

I programvaren jeg har tatt i bruk i oppgaven, er dette de verdiene jeg trenger å plote inn for å lage et skrog. Jeg velger et skrog som er tilsvarende det som blir brukt på supply-skip, og bearbeider det etter de stilte forutsetninger. Fra programmet får jeg en oversikt over skrogdata i vedlegg B og de hydrostatiske egenskapene til skroget, som kan leses i vedlegg C.

## 4.2 Statiske vekter

Under dette punktet vil jeg plassere vektene i forhold til GA skissen jeg har tegnet. Dette gjør jeg i konstruksjonsprogrammet, for deretter å lage et vektregnskap. Det som vil være interessant først er å se om fartøyet kan romme volumet som kreves av payloaden.

Vektregnskapet som nå gjøres for den initiale plasseringen av payloaden kan ses i Tabell 1.

Hva	Vekt [tonn]	LCG [m]	VCG [m]	TCG [m]
Skrogplater	908,48	40,423	5,758	0
USV 1-2	19	7	10,06	0
USV 3-4	19	22	10,06	0
AUV	6	53,7	10,06	0
Dykkerbåt	5,5	42	17	0
Arbeidsdekk	104,59	35,569	7,105	0
Dekk over arbeidsdekk	135,67	41,806	14,277	0
OPS rom	24,38	63,958	8,51	0

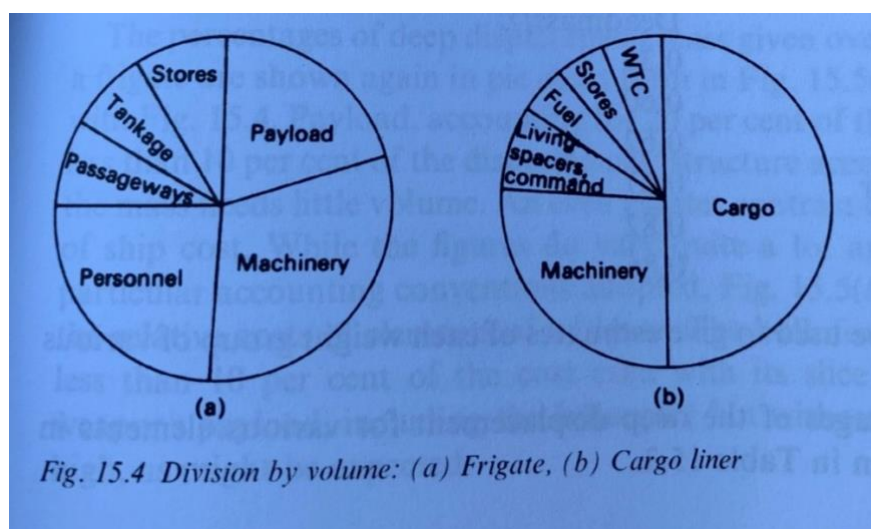
**Tabell 1 – Vektregnskap fra første runde i designspiralen**

Ser jeg på konstruksjonsvannlinjen på 6,1m ser jeg at dette fartøyet har et deplasement på 7278,57 tonn. Det betyr at all annen vekt på fartøyet som ikke er eksplisitt nevnt i vektregnskapet har en samlet vekt på 6055,95 tonn. Dette for at fartøyet skal gå med den konstruerte vannlinjen.

### 4.3 Deplasement, dimensjoner og skrogform

På dette punktet i designspiralen skal jeg drøfte hvorvidt skrogdesignet med tilhørende parametere konvergerer med resten av designkonseptet.

For å gjøre dette har jeg tatt utgangspunkt i figuren under, som kommer fra læreboken:



**Figur 6**

Volumfordelingen til ulike elementer i en fregatt (til venstre) og et lasteskip (til høyre) (Rawson 2001, 645).

Disse kakediagrammene er en tilnærmet oversikt over volumfordelingen på to forskjellige skipstyper. Til venstre er fordelingen for en fregatt, og til høyre er fordelingen for et lasteskip. En fregatt avgir ca. 20% av volumet sitt til payloaden, mens et tankskip avgir ca. 50%.

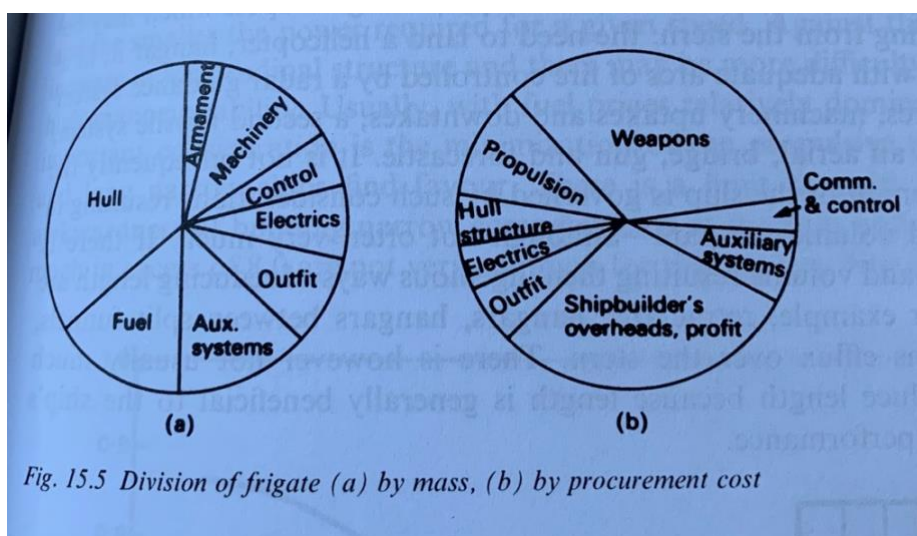
Med dette i bakhodet gjør jeg en betraktning av volumet til payloaden ombord på KNM Odin.

Som man kan se i vektregnskapet har jeg kommet frem til at det totale volumet til payloaden er på 2129,7m<sup>3</sup>.

Grunnen til at volumet avviker for AUV og OPS-rom i forhold til minimumsdimensjonene som er nevnt tidligere, er at jeg har brukt hele fartøyets bredde for AUV rommet, og hevet takhøyden på OPS-rommene. Dette ses på figur 4 og figur 5.

Jeg leser i vedlegg B at det totale formede volumet for skroget er 7229,3m<sup>3</sup>. Dette betyr at payloaden benytter seg av 29,5% av det totale volumet til fartøyet. Det er innenfor betimelighetens grenser med tanke på at dette er et militært fartøy, og ikke skal trenge å ha med seg mye annen last. Dette kan på en annen side være en for liten andel, da dette fartøyets hovedoppgave er å transportere, drifte og vedlikeholde andre enheter, og ikke å være en dedikert krigføringsplattform.

For å betrakte vektfordelingen om bord vil jeg ta utgangspunkt i kakediagrammet til venstre på figuren under.



Figur 7

Vekt (til venstre) og kostnadsfordelingen (til høyre) for ulike elementer i en fregatt (Rawson 2001, 647).



---

Diagrammet til venstre beskriver en gjennomsnittlig vektfordeling på en fregatt. Ca 35% av den totale vekten til en fregatt er skrogvekten. Dette inkluderer alt av stål til dekk, skott, struktur med mer. Vekten av fuel ved full tank er ca 15%. Den resterende massen består av alt som trengs for å drifte fartøyet, inkludert payloaden.

På KNM Odin er vekten på selve skroget 908,48 tonn. Arbeidsdekket veier 104,59 tonn, og toppdekket veier 135,67 tonn. Dette leses av tabell 1.

Skrogtykkelsen er satt til 28 mm. I programvaren er det kun hudplatingen som medregnes som en del av skroget. For å kompensere for dette har jeg skrevet at tykkelsen, «mean shell thickness», er 28 millimeter for å skape en realistisk stålvekt. Jeg ønsker derfor å presisere at det ikke dimensjoneres med at tykkelsen på hudplatene er 28 mm.

Arbeidsdekket og toppdekket har begge en tykkelse på 10 mm. Dette er et konservativt anslag, men det er altså ikke antatt at dette vil være den faktiske tykkelsen til hudplatingen. For å få et mye riktigere anslag ville jeg blant annet gjennomført en langskips styrkeberegning.

Dette vil si at skroget sin stålvekt med de tilhørende dekkene er på 1148,74 tonn.

Ved den konstruerte dypgangen vil deplasementet til fartøyet være 7278,57 tonn.

Dette betyr at nåværende stålvekt vil tilsvare 15,78% av skrogets totale vekt. Dette er ganske lavt i forhold til hva vi kan se i figur 7. Det må nevnes at skrogvekten vil være betraktelig høyere da jeg kun har medregnet det som er nevnt over.

Payloaden veier kun 73,88 tonn, og utgjør bare 1,02% av den totale vekten. Det er i utgangspunktet en svært dårlig utnyttelse av deplasementet til dette fartøyet.

Denne vektanalysen er foreløpig overflødig da det er flere elementer som foreløpig ikke er medregnet. Overbygg, inndelinger, skott og dekk er ikke lagt inn i vektregnskapet på fartøyet enda, og vil selvfølgelig øke den totale stålvekten. Det som derimot er tydelig, er at payloaden krever et stort volum, men veier lite i forhold til resten av fartøyet. Det sier meg dette fartøyet må prosjekteres basert på volum, og utnyttelse av dette.

---

Basert på volumanalysen vurderer jeg at skroget har en tilfredsstillende størrelse, og at det er relevant å jobbe videre med. Etter hvert som prosjektet jobbes med, vil analysene av volum og vekt bli mer nøyaktige, og det vil fremkomme mer informasjon det kan vurderes ut i fra.

#### 4.4 Fremdrift

Dette fartøyet skal operere opp til en hastighet på 17 knop. Det er derfor hensiktsmessig å velge ut et maskineri som kan operere ved denne hastigheten over lenger tid. Jeg ønsker derfor å velge ut et maskineri som skal yte 85% av maks kapasitet ved 17 knop.

For å vurdere hvor mye effekt som kreves, simulerer jeg et slepeforsøk i DELFTship programmet. DELFTship bruker «Holtrop & Mennen» sin metode for å beregne slepeeffekten. Dette er en metode som ikke er uvanlig å bruke til slike beregninger. Slepeforsøket gjøres med den konstruerte dypgangen på 6,1 meter. Resultatet av dette slepeforsøket kan ses i vedlegg D. For å finne hva den installerte effekten bruker vi denne formelen:

*Formel 2, Propulsjonskoeffisient P.C*

$$P.C = \frac{P_E}{P_B}$$

For å finne den nødvendige installerte effekten må jeg finne ut hva propulsjonskoeffisienten er. Denne finnes med følgende formel:

*Formel 3, Propulsjonskoeffisient P.C*

$$P.C = \eta_0 \cdot \eta_R \cdot \eta_H \cdot \eta_M$$

Der:

$\eta_0 =$  Propellvirkningsgraden

$\eta_R =$  Relativ rotasjonsvirkningsgrad

$\eta_H =$  Skrogvirkningsgraden

$\eta_M =$  Mekanisk virkningsgrad

---

Som en ser, kreves det bestemte data for å nøyaktig kunne bestemme propulsjonskoeffisienten. Propellvirkningsgraden vil avhenge av hva slags propell som benyttes, og den mekaniske virkningsgraden vil være avhengig av maskineriet. I denne første runden av designspiralen vil jeg derfor velge en sannsynlig propulsjonskoeffisient. På denne måten vil jeg kunne legge grunnlaget for mer nøyaktige beregninger.

Som propulsjonskoeffisient setter jeg  $P.C = 0,6$ .

Jeg bruker slepeeffekten,  $P_E$  ved 17 knop fra vedlegg D, og beregner nødvendig installert effekt:

$$P_B = \frac{P_E}{P.C} = \frac{5310 \text{ kW}}{0,6} = 8850 \text{ kW}$$

Det vil si at nødvendig installert effekt for dette fartøyet ved 17 knop, er 8850 MW. Da motoren skal yte 85% av makskapasitet ved 17 knop, betyr det at total installert effekt må være:

$$\frac{10485,5 \text{ kW}}{85} \cdot 100 = 10411,8 \text{ kW}$$

Nødvendig installert effekt til fremdrift for å operere i henhold til de kravene som er satt er 10411,8 kW.

#### **4.4.1 Valg av maskineri**

I dette fartøyet mener jeg det er hensiktsmessig å vurdere diesel-elektrisk fremdrift. Da dette er et fartøy som har et variert operasjonsmønster, er det hensiktsmessig å velge dette fordi det gir stor fleksibilitet. Et tradisjonelt system der en eller flere dieselmotorer driver fartøyet, er hensiktsmessig for fartøy som skal gå lengre distanse på konstante turtall. Å bruke dette systemet på KNM Odin vil utsette dieselmotoren for hyppige turtallsforandringer, samt øke behovet for vedlikehold på motoren. Ved å benytte seg av et diesel-elektrisk fremdriftssystem kan dieselmotorene ombord jobbe med jamt turtall over lenger tid for å levere kraft til el-motoren.

---

For å drive KNM Odin kan det være hensiktsmessig og bruke et såkalt «azipod» system. Dette systemet vil levere den effekten jeg har behov for. Dette systemet gjør også at det ikke vil være behov for å installere et ror på dette fartøyet. Det er også fordelaktig å bruke dette systemet i sammenheng med et dynamisk posisjoneringssystem. Ulempen med å bruke et slikt system er at selve «poddene» som huser elmotorene kan være mer utsatt for skader ved undervannseksplosjoner enn et tradisjonelt fremdriftssystem. Dette er noe som må studeres nærmere før man eventuelt går for en slik løsning. Av hensyn til omfanget i denne oppgaven, antas det at det monteres to stykk azipod på fartøyet. Hver av disse leverer 5,2 MW hver, slik at total installert effekt for fremdriftssystemet blir 10,5 MW. Da vil fartøyet klare de kravene som er satt.

## **4.5 Besetning og underbringelse**

### **4.5.1 Antall personer ombord**

Størrelsen på mannskapet kan være et dimensjonerende kriterium for utformingen av dette fartøyet. Det antas at det trengs 30 mennesker for å drifte og vedlikeholde payloaden. Denne antakelsen gjøres basert på skjønn, og fordi det er nødvendig for å gjennomføre denne betraktningen. Lugarene til den embarkerte styrken vil gå inn som del av volumet til payloaden, men er fortsatt en del av fartøyets totale besetning.

Som en kan se på figur 6, viser empiriske data at volumet til personell opptar ca. 23% av en fregatt. Men på et lasteskip opptar volumet for akkommodering til personell mellom 8% og 10%. Da KNM Odin vil ha svært mange likhetstrekk med et supply-skip, men fortsatt være et militært fartøy, antar jeg at volumandelen for personell vil ligge mellom disse verdiene.

På «Seabed Constructor» er det akkommodering til totalt 102 personer ombord på fartøyet. (Swire Seabed 2019). Dette fartøyet kan brukes til IMR-operasjoner, kartlegging av havbunnen og bred støtte for arbeid under vann (Swire Seabed 2019). KNM Odin vil ikke ha så varierte kapasiteter, og det vil ikke være behov for så mye personell som skal kunne utøve et bredt utvalg av oppgaver. Jeg ønsker derfor å ikke ha en såpass stor besetning på KNM Odin. Da det er vurdert at det kreves 30 personer for å drifte og vedlikeholde payloaden, vil jeg anta at det også kreves 30 stykker for å drifte KNM Odin som et militært fartøy.

---

Sammenlignet med KNM Maud som har en besetning mellom 40 og 50 personer, og KNM Valkyrien som har et mannskap på 20 personer, så er det ikke urimelig å anta dette for KNM Odin. Den totale besetningen blir da på 60 personer.

#### **4.5.2 Embarkert personell og skipets personell**

På et militært fartøy vil en del av besetningen ha som oppgave å drive fartøyet, og en del av besetningen vil drifte payload samt de operative systemene. Den delen av personellet ombord som opererer og drifter de operative egenskapene, vil være en del av payloaden, og kalles for embarkert personell. Volumet som kreves for å underbringe den embarkerte styrken vil inngå som en del av volumet til payloaden. Det vil være et dimensjonerende kriterium i begynnelsen av prosjekteringen for et slikt fartøy. Volumandelen for besetningen som skal drifte fartøyet, vil være avhengig av egenarten til fartøyet som skal prosjekteres.

For å anslå hvor mye plass personellet vil kreve ombord, kan en enkel analyse av lugarbehovet foretas ut ifra den kommandostrukturen som finnes ombord. En sannsynlig antakelse for kommandostruktur og lugarbehov på KNM Odin vil se slik ut:

1 Sjef – Én lugar

6 Offiserer – 3 Dobbeltlugarer

8 Spesialister – 4 Dobbeltlugarer

15 Menige – 5 stykk (4) firemannslugarer (inkludert sengeplass for opplæringsvakter).

En slik analyse vil også gjøres for den embarkerte styrken. Når denne er gjennomført finner man totalt behov for lugarer om bord. Plasseringen av lugarene må også vurderes, da det kan være hensiktsmessig å skille lugarene for den embarkerte styrken i fra personellet som tar seg av fartøyets daglige drift. I vurderingen må også fritidsmesser, spisemesser, terningsrom, lagerplasser, bysse, toaletter etc. tas med. I dimensjoneringen av lugarene må det tas hensyn til de standarder Sjøforsvaret har for lugarer og oppholdsrom.

Å analysere og bestemme antall personer ombord, samt volum for underbringelse er et område som krever en kompetanse jeg ikke har. Det er derimot hensiktsmessig å ta denne

---

betraktingen med i denne delen av besvarelsen, da dette vil være et dimensjonerende kriterium for prosjekteringen av KNM Odin.

## **4.6 Sammendrag av første runde i designspiralen**

Det er flere steg i designspiralen som ikke er gjennomgått nå. Dette er fordi jeg ikke anser disse stegene som nødvendig for å ta en foreløpig vurdering. Da det er tidlig i designprosessen, er jeg mest interessert i de dataene som vil være dimensjonerende for hovedparametere og utformingen av skroget. For å kunne ta en avgjørelse på dette må jeg bruke lærdommen fra første runde, og gjøre eventuelle justeringer etter dette. Nedenfor er et sammendrag av de viktigste punktene jeg har fra den første runden i designspiralen.

### **4.6.1 Innsamlet data**

- Skrogdata: Vedlegg B.
- Hydrostatiske verdier: Vedlegg C.
- Data fra simulert slepeforsøk: Vedlegg D.
- Volumprosent for payload: 29,5%
- Vektprosent til payload: 1,02%
- Nødvendig installert effekt: 10,5 MW.
- Personell ombord: 60 stk.

### **4.6.2 Analyse av kravoppnåelse**

Før jeg ønsker å drøfte hvorvidt dette er en konvergerende designløsning, er det viktig å se om dette fartøyet innfrir kravene, og om det vil kunne klare og operere i forhold til operasjonsscenarioet.

I forhold til kravdokumentet vil KNM Odin være kapabel til å innfri alle kravene. Dette er fordi jeg, i definisjonsfasen, har gjort en «bottom-up» prosess, hvor jeg har startet med de tekniske forutsetningene for å kunne innfri de kravene jeg har satt.

---

Sjødyktighet vil i mange tilfeller være et dimensjonerende kriterium. Evnen til å kunne operere i gitte omgivelser vil kunne avgjøre hvordan et fartøy skal designes. Når det gjelder å operere i Sea State 4, vil ikke dette være problematisk for KNM Odin, da et fartøy på denne størrelsen fint kan operere i dette miljøet. Når det gjelder å operere under de gitte vindforholdene samt innaskjærs, vil et dynamisk posisjoneringssystem, og azipod fremdriftssystem gjøre at dette vil være uproblematisk. Ved å legge fartøyet opp mot vinden, vil det være mulig å operere payloaden da både USV og AUV skal kunne settes ut fra begge sider av fartøyet.

En transithastighet på 17 knop vil være mulig med en installert effekt til fremdriftssystemet på 10,5 MW. For å kunne oppnå en rekkevidde på 9000 nm, vil det være nødvendig å bestemme forbruket til maskineriet ved denne hastigheten, for deretter å finne nødvendig bunkringskapasitet. Det må deretter studeres om dette volumet konvergerer med resten av konstruksjonen.

Det er ingen klare indikasjoner på at dette er et fartøy som ikke vil innfri de kravene som har blitt sagt. Men for at dette skal være mulig, finnes det en del forbehold. Blant annet at fartøyet må kunne gå med den konstruerte dypgangen.

#### **4.6.3 Vurdering av designforslaget**

Det siste punktet i designspiralen er kostnad. Dette er et element jeg ikke har noe kompetanse om, annet enn faglige diskusjoner og egne erfaringer. Jeg mener at å bygge et fartøy som ser akkurat slikt ut som dette, etter første runde av designspiralen, ville vært uforholdsmessig dyrt. Payloaden, som hele fartøyet skal være designet rundt, veier bare 1,02% av deplasementet til fartøyet. Volumprosenten til payloaden på 29,5% er ikke veldig dårlig, men på et slikt fartøy som dette kan det være hensiktsmessig og øke denne andelen. Det kreves også et stort maskineri for å levere 10,4 MW til fremdriften. Det elektriske kraftbehovet til fartøyet kommer i tillegg til den nødvendig installerte effekten, noe som betyr at fartøyet må utstyres med kraftige og dyre maskiner.

Det er derfor nødvendig å gjennomføre en endring av parametere, slik at jeg vil kunne oppnå en bedre designløsning.

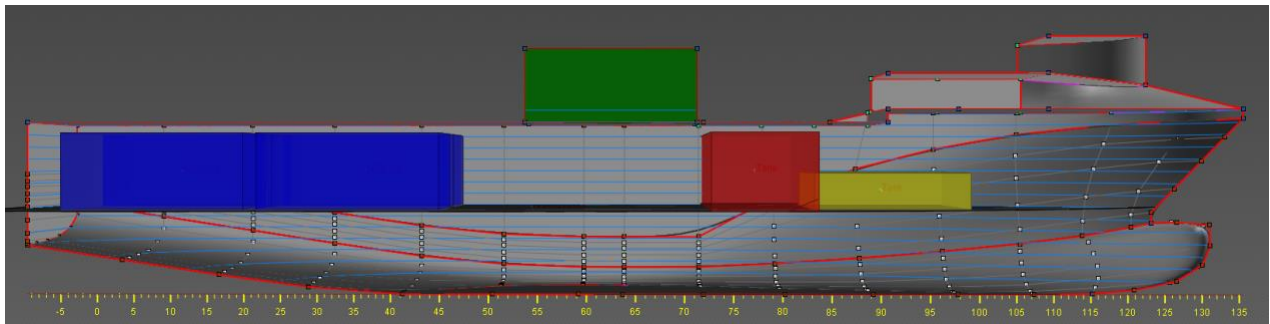
---

#### **4.6.4 Videre arbeid**

For å skape et konvergerende designkonsept, vil jeg ta for meg en parameterstudie med utgangspunkt i de resultatene jeg har. Det er ønskelig å øke volumandelen til payloaden, senke nødvendig installert effekt, samt senke deplasementet til fartøyet. Gjennomføringen av dette arbeidet vil bestå av en itereringsprosess som gjennomføres på konstruksjonsprogramvaren jeg benytter meg av. Det er nødvendig og prøve seg frem til jeg får et skrog jeg ser konvergerer bedre.

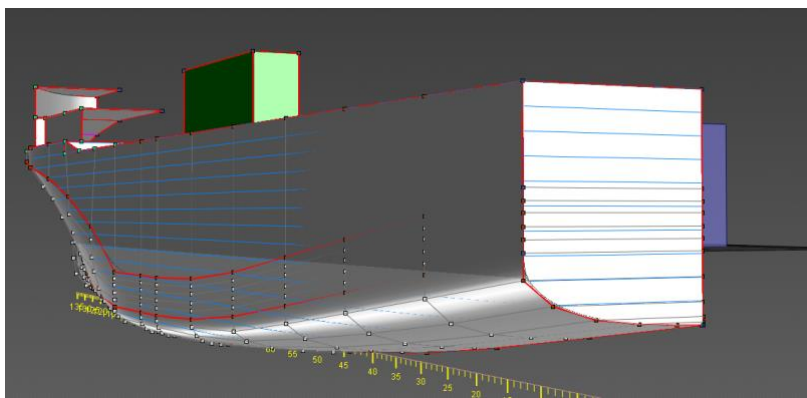


## 4.7 Illustrasjoner av fartøy etter første runde



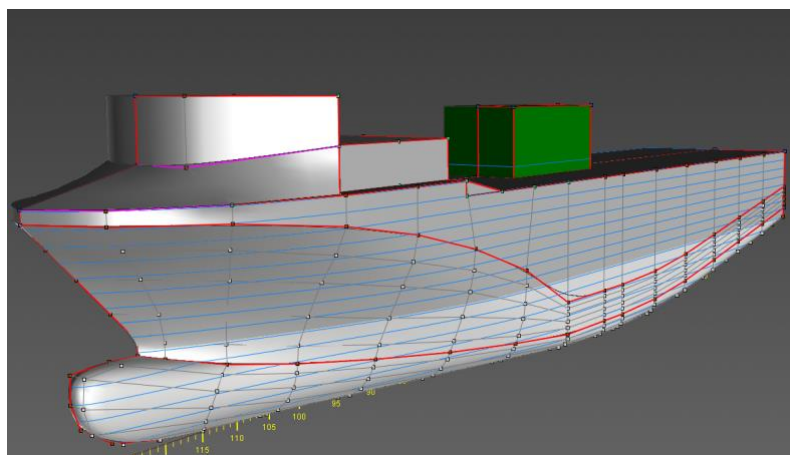
**Figur 8**

Utsnitt av KNM Odin sett fra siden (etter første runde).



**Figur 9**

Utsnitt av KNM Odin sett fra babord låring (etter første runde)



**Figur 10**

KNM Odin i profil (etter første runde)

---

## 5. Parameterstudie av første runde

Med endring av hovedparametere og skrogform, har jeg også nye hydrostatiske data å forholde meg til. I tillegg har jeg foretatt en endring av generalarrangementet. I denne parameterstudien vil jeg bruke samme fremgangsmetode som er brukt i første runde av designspiralen.

Hensikten med å gjøre dette er å fastsette nye hovedparametere for å kunne oppnå et konvergerende designforslag.

Etter å ha gjennomført første runde av designspiralen, har det kommet frem at fartøyet KNM Odin må være prosjektert rundt volumbehovet til payloaden for å lage et relevant designforslag.

For endringen av hovedparametere og skrogfasong, har jeg derfor ført opp følgende forutsetninger:

- Arbeidsdekket må ligge over vannlinjen.
- Arbeidsdekket skal være skjermet for vær og vind.
- Rommet som skal huse AUV1 skal strekke seg på tvers av fartøyets bredde. Også dette over vannlinjen.
- Et deplasement på maks 5200 tonn.
- Installert effekt under 9 MW

### 5.1 Endring av generalarrangement

Jeg har valgt å plassere dykkerbåten på samme dekk som USV og AUV. På denne måten vil jeg kunne beskytte enheten for vær og vind, i tillegg til at det vil være enklere å gjennomføre vedlikehold på enheten. Det er dimensjonert med tilstrekkelig plass rundt enhetene for å drive vedlikehold. Da dykkerbåten ligger på tvers av KNM Odin, kreves det en innovativ løsning for deployering av enheten, dersom dette skal skje på begge sider av fartøyet.

## 5.2 Valg av hovedparametere

Som tidligere nevnt har jeg arbeidet med programvaren og prøvd flere forskjellige løsninger, før jeg har kommet frem til et godt forslag. Volumet til payloaden er konstant, da dette ikke har endret seg fra første runde. I en virkelig prosess tas det vurderinger på dette kontinuerlig, men av hensyn til omfanget til denne oppgaven, antas det at volumbehovet er konstant.

Med et nytt skrog, samt endring i generalarrangementet, har jeg laget et nytt enkelt vektregnskap som kan leses av i tabell 2:

Hva	Vekt [tonn]	LCG [m]	VCG [m]	TCG [m]	Volum [m <sup>3</sup> ]
<b>Vektarrangement</b>					
Payload er merket i svart					
Skrogplater	742,87	42,251	4,717	0	
USV 1-2	19	8,5	8,505	0	908,6
USV 3-4	19	23	8,505	0	908,6
AUV	6	50,5	8,506	0	170
Dykkerbåt	5,5	38,5	8,51	0	76,54
Arbeidsdekk	98,908	40,083	5,505	0	
Maskindekk	64,432	45,592	0,995	0	
OPS rom	24,38	58,75	7,01	0	66,167

**Tabell 2**

Endringen av generalarrangementet viser at jeg har valgt å plassere dykkerbåten på innsiden av skroget. På denne måten kan jeg utnytte mer av plassen innvendig, samtidig som at dykkerbåten blir skjermet for omgivelsene. Ut over dette er det ingen endringer fra første runde. Resultatet kan ses i figur 11.

Dette har ført til at jeg ikke ønsker å gjøre store endringer på lengden til skipet, men heller utarbeide et skrog med en lavere blokkoeffisient og et høyere  $\frac{l}{b}$  forholdstall. Som tidligere nevnt, har jeg få dimensjonerende krav jeg må forholde meg til når jeg skal bestemme hovedparametere. Det er foreløpig kun minimumsbredden på 11 meter jeg må forholde meg til, i tillegg til de kravene jeg hadde ved begynnelsen av runde én. Jeg står derfor fritt til å endre på bredden for å oppnå ønsket resultat.

Etter en periode med testing av forskjellige type skrog, kom jeg frem til et skrog med tilhørende data og hydrostatiske egenskaper som kan leses i henholdsvis vedlegg E og F. De

---

viktigste hovedparameterne er:

Total lengde = 96,753m

Lengde i vannlinjen: 90,942m

Bredde i vannlinjen = 16,2m

Maksimal dypgang = 5m

Dette gir meg et  $\frac{l}{b}$  forhold på 5,62. Skroget har en blokkoeffisient,  $C_b$  på 0,7044.

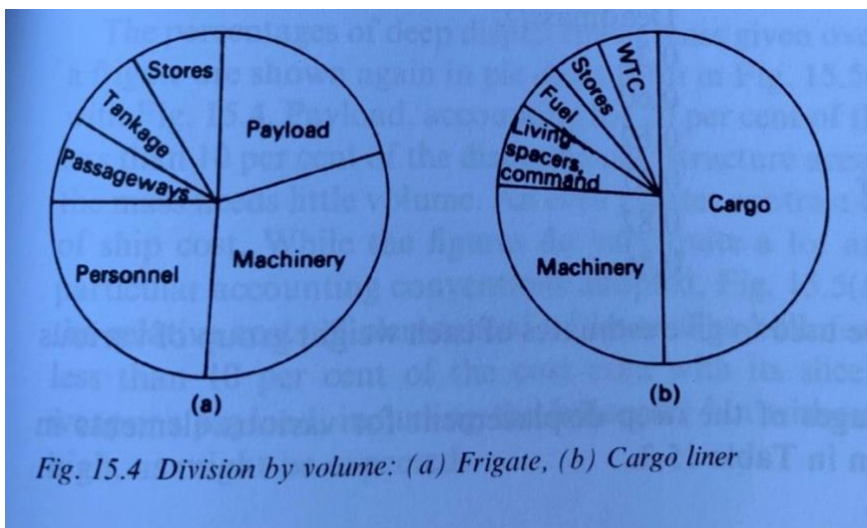
### 5.2.1 Analyse av dimensjoner

Jeg gjør en ny analyse av volumet til payloaden i forhold til skrogets totale volum. Fra vektregnskapet for runde to i tabell 2, har ikke volumet til payloaden endret seg, og har dermed fortsatt en verdi på 2129,91 m<sup>3</sup>.

Oppgitt i vedlegg E, er det totale volumet til dette skroget 5026,16 m<sup>3</sup>. Merk at dette kun gjelder for volumet til skroget, og er ikke inkludert overbygg. Jeg finner volumprosenten til payloaden:

$$\frac{2129,91}{5026,16} \cdot 100 = 43,38\%$$

Jeg sammenligner dette med figur 6.



---

Som vi kan se, nærmer fordelingen av volumet seg et lasteskip, hvis vi anser payloaden som «last». Da hensikten med moderfartøyet er å transportere å støtte payloaden, anser jeg ikke dette som en ufornuftig fordeling. Volumet til det embarkerte personellet samt støttesystemer er ikke inkludert i denne beregningen, noe som betyr at prosentandelen til payloaden vil bli større. Dette vil reguleres når overbygget designes, da dette gir fartøyet et større volum som kan utnyttes.

I dette skroget er volumet forut for operasjonsrommet tiltenkt forlegning. Det er hensiktsmessig å bruke dette volumet til personell, da det ligger over vannlinjen. KNM Odin vil også ha behov for et maskineri som kan levere elektrisk kraft til en rekke forskjellige forbrukere.

Fra forrige runde i designspiralen lærte jeg at massen til payloaden vil være svært liten i forhold til resten av fartøyet. Det samme gjelder her hvor payloaden sin vekt er 73,88 tonn, og deplasementet til fartøyet ved konstruksjonsvannlinjen er 5077,75 tonn. Dette er ikke inkludert systemer som kraner, kraftsystemer, datasystemer samt andre støtteelementer. En lav vektprosent er en bekreftelse på at dette skroget må designes etter et volumbehov.

### 5.3 Fremdrift

For å finne ut hva den nødvendige installerte effekten må være, bruker jeg samme fremgangsmåte som i første runde av designspiralen. Fartøyet skal operere ved 85% av maks kapasitet ved 17 knop.

Ved den konstruerte dypgangen, kan jeg lese fra vedlegg G at slepemotstanden er 3645,3 kW ved 17 knop. Jeg bruker den samme propulsjonskoeffisienten som jeg brukte i første runde, slik at  $P.C = 0,6$ .

Jeg finner installert effekt med maks hastighet 17 knop:

$$P_B = \frac{P_E}{P.C} = \frac{3645,3 \text{ kW}}{0,6} = 6075,3 \text{ kW}$$

Jeg finner deretter hvor mye total installert effekt må være:

$$\frac{6075,3 \text{ kW}}{85} \cdot 100 = 7147,5 \text{ kW}$$

---

Dette skroget må ha en installert effekt på 7147,5 kW for å kunne oppnå de kravene som har blitt satt.

### **5.3.1 Valg av maskineri og propulsor**

Jeg viser til argumentene fra første runde om valg av et dieselelektrisk maskineri. Det har ikke dukket opp noe informasjon hittil som antyder at dette bør endres. Det er fortsatt behov for nærmere forskning og studering av hva som vil være den beste løsningen, men i denne oppgaven velger jeg en azipod-løsning, da dette er en løsning som konvergerer med kravene.

### **5.3.2 Posisjoneringsystem**

Fartøyet skal ha et dynamisk posisjoneringsystem installert. Dette systemet regnes ikke nærmere på i denne oppgaven, men det skal nevnes at dette systemet har sine forutsetninger. Dette er et system som vil ta plass i skroget, og det vil ha et gitt kraftbehov. Dette vil kunne være dimensjonerende for utformingen av fartøyet, og er noe som må studeres nærmere. Valget av azipod som fremdriftssystem vil harmonisere med bruken av et dynamisk posisjoneringsystem, og fartøyet vil oppnå en svært god evne til å manøvrere.

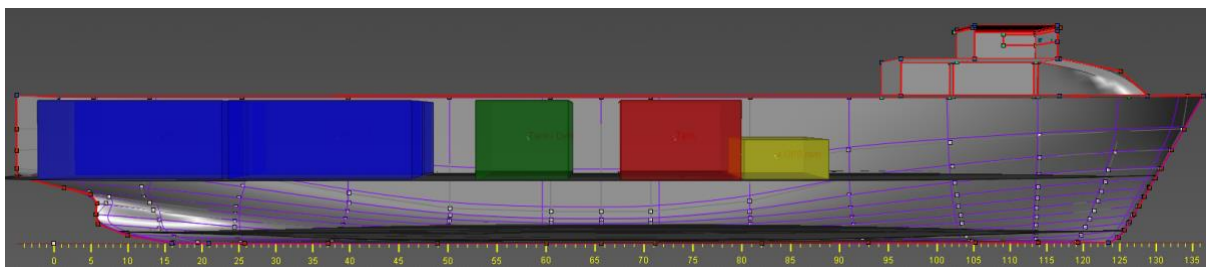
### **5.3.3 Kraftbehov**

Dette fartøyet har en payload som består av flere ulike og kompliserte elementer. Kraftbehovet for å operere disse elementene vil være dimensjonerende for designet av maskineriet ombord. I tillegg til payload og fremdrift, vil det være et kraftbehov til alle systemer ombord på fartøyet. Det å beregne kraftbehovet ombord er komplisert og tidkrevende. I denne oppgaven velger jeg ikke å gå nærmere inn på temaet, men ønsker herved å presisere at dette er et viktig dimensjonerende punkt.

## **5.4 Avslutning av parameterstudie.**

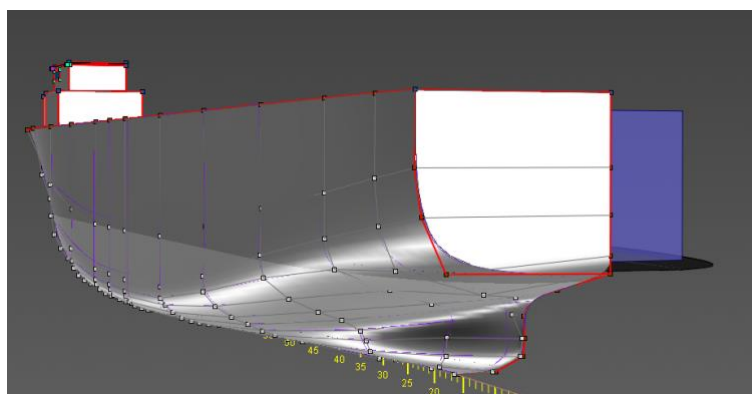
Gjennom arbeidet med parameterstudien har jeg kommet frem til et skrog som konvergerer bedre enn resultatet fra første runde i designspiralen. Jeg har fått et skrog med mindre deplasement, mindre kraftbehov til fremdrift og der payloaden tar en større del av volumet. Jeg velger å beholde hovedparameterne for dette skroget, og jeg er klar til å begynne på neste runde i designspiralen.

## 5.5 Illustrasjoner av fartøy etter parameterstudie



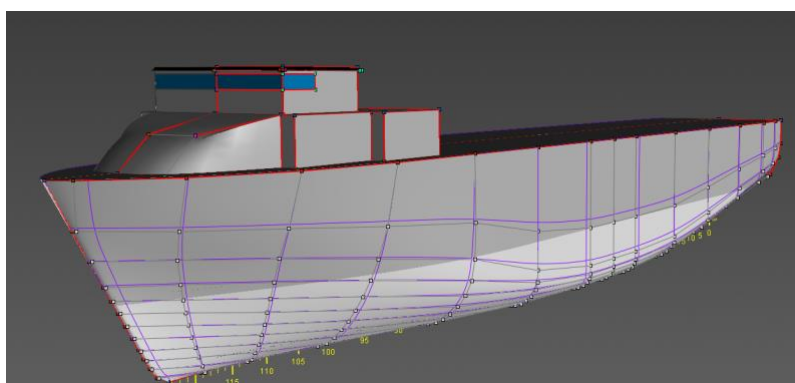
**Illustrasjon 11**

Utsnitt av KNM Odin sett fra siden (etter parameterstudien)



**Illustrasjon 12**

Utsnitt av KNM Odin sett fra babord låring



**Illustrasjon 13**

KNM Odin sett i profil forfra

---

## 6. Andre runde i designspiralen

Denne runden av designspiralen vil ta utgangspunkt i det justerte designforslaget jeg har fått etter parameterstudien. På dette stadiet skal alle dimensjonerende kriterier ha bli tatt hensyn til, slik at det ikke skal dukke opp noen endringer som går ut over hovedparameterne. Det er utgangspunktet for å kunne starte arbeidet med neste runde av designspiralen. Det gjennomføres parameterstudier for å endre designløsningen etter dimensjonerende krav.

Den andre runden i designspiralen går mer i dybden på hvert enkelt punkt. Å fullføre hele andre runden i designspiralen blir for omfattende for denne oppgaven, jeg vil derfor gjennomføre noen betraktninger angående struktur og styrke, og propelldimensjonering. Ved å gjøre dette vil jeg få en mer konvergerende designløsning.

### 6.1 Struktur og styrke

Et fartøy blir utsatt for store og varierende krefter gjennom sin levetid. Det krever at fartøyet blir dimensjonert for å takle de belastninger det blir utsatt for. Et fartøy med dårlig struktur og dårlig integritet kan bli deformert, og i verste fall få slitasjebrydd i bærende konstruksjoner. Hvis integriteten til skroget svekkes betyr det at fartøyet må kondemneres, og et nytt skrog må lages.

Da det blir for komplisert å gjennomføre styrkeberegninger for KNM Odin i denne oppgaven, vil jeg ikke gjennomføre dette. Jeg kommer til å se på hva som er viktige momenter opp mot skipets struktur, og hvordan jeg må ta hensyn til dette i prosjekteringen av fartøyet.

I dag er det ønskelig at et skip konstrueres etter noen lokale eller nasjonale regelverk. På denne måten kan fartøyet bli sertifisert etter en global standard. Et eksempel på dette er regelverket til DNVGL. Dette er et regelverk som vil veilede konstruksjonen til et skip, i dette tilfellet for beregninger av strukturen til fartøyet.

I regel 2.10.3 står det at et «styrkedekk» er det dekket, eller deler av et dekk som danner den øvre delen av rammen til en effektiv langskips struktur (DNVGL Naval Vessels Part 3



---

Chapter 6 2015, 17). På KNM Odin vil dette være det gjennomgående dekket som vil danne den øvre delen av skrogrammen.

Slik som KNM Odin er konstruert nå, ser vi i figur 11 at det øverste gjennomgående dekket er det som kalles for arbeidsdekket. Dette dekket befinner seg en halv meter over vannlinjen. Det betyr at styrkedekket vil være svært nært det som er rotasjonspunktet til fartøyet. Styrkedekket vil da ta opp den største delen av bøyespenningene, og det vil bli en dårlig fordeling av kreftene tverrskips. For å motvirke dette vil det være aktuelt å heve styrkedekket. Da dette dekket ligger såpass lavt over vannlinjen, betyr det at det også er havaridekket på fartøyet.

Havaridekket, også kalt «damage control deck» er det dekket hvor alt av fartøyets havariutstyr er plassert. Dette dekket skal være vanntett (RAR1 1975, 4-5). Under dette dekket, vil det være vanntette, vertikale inndelinger. Det er inndelinger det kun er mulig å bevege seg vertikalt i. Alt av gjennomføringer for rør, ledninger etc. skal være vanntette. Dette dekket kalles også «bulkhead deck» (RAR1 1975, 4). Da havaridekket skal være vanntett, betyr det at dette dekket må være plassert over vannlinjen. Dette står også skrevet i nyere regelverk som for eksempel DNVGL (DNVGL Naval Vessels Part 3 Chapter 6 2015, 390).

Arbeidsdekket (som er det samme som styrkedekket og havaridekket) på KNM Odin, er plassert kun 0.5 meter over vannlinjen. Det har også åpninger på hver side til payloaden ombord. Antatt at fribordet til fartøyet er 1 meter med åpne luker, gis det et begrenset operasjonsrom med tanke på krenkning og sjøgang, før vannet vil slå inn på dekket. Hvis ikke lukene er vanntette, kan det bli vanninntrenging selv om lukene er lukket. Arbeidsdekket dekker et stort areal, og hvis fri-væske overflate på dette arealet dannes på grunn av stor vanninntrenging, kan det få katastrofale følger. Denne lærdommen styrker avgjørelsen om at det vil være hensiktsmessig å heve arbeidsdekket.

### **6.1.1 Endring av designløsningen**

Med lærdommen fra forrige avsnitt som grunnlag, har jeg foretatt følgende endringer og vurderinger i designløsningen.

- 
- Hevet styrkedekket, og plassert dette rett over OPS-rommene.
  - Payloaden er plassert på det nye styrkedekket.
  - Over det nye arbeidsdekket er det overbygg.
  - Havaridekket er på samme nivå som før.
  - Jeg har laget en vertikal inndeling tverrskips mellom AUV'rommet og OPS-rommene.
  - OPS-rommene er plassert mellom styrkedekk og havaridekk. Mellom disse dekkene vil det være plass til lugarer, fritidsområder, etc.
  - Under havaridekket er det plassert vanntette skott.

### **6.1.2 Hva vil disse endringene bety for fartøyet?**

Hevingen av styrkedekket betyr at det vil ta mer av belastningene det er ment å gjøre. Dekket befinner seg nå 3,5m over vannlinjen. Dette nye dekket må være vanntett, og må være drenert, da dette vil være utsatt for vær og vind. Da styrkedekket skal være et gjennomgående dekk langs fartøyet, betyr det at det er nødvendig å flytte payloaden opp på dette dekket. Det å flytte payloaden høyere vil påvirke tyngdepunktet til skipet, men det vurderes at det vil være uproblematisk da vekten til payloaden er såpass liten i forhold til resten av fartøyet. Payloaden må nå senkes og heves fra det nye fribordet på 3,5 m. Hvordan dette vil påvirke designet vil være noe som må studeres nærmere. Det område der payloaden er plassert kalles fortsatt for arbeidsdekket.

Jeg har valgt å legge inn en vertikal inndeling mellom AUV rommet og OPS-rommene. Ved å gjøre dette lager jeg et skille mellom det som er det nye arbeidsdekket og det som vil være overbygget i fartøyet. Dette kan sammenlignes med et supply-skip der akterdekket er åpent, og overbygget til fartøyet er forut på skipet. Forskjellen på et supply-skip og KNM Odin er at arbeidsdekket er skjermet for vær og vind, for å skåne payloaden. Det er altså nødvendig og ha et overbygg som kan sørge for dette. Det er også viktig at dette overbygget tillater inn- og utlasting fra siden, ved å ha luker som kan trekkes for. En løsning på dette problemet er at overbygget lages av et lett materiale, for eksempel en type canvas-duk. Dette overbygget skal ikke bære noen last utover sin egen konstruksjon, og det må være designet slik at det kan stå imot sterk vind. Ulempen med å designe overbygget av et skjørt materiale er hvordan det vil reagere når kraftig sjø slår inn fra siden. Dette er noe som må studeres nærmere.

---

Havaridekket vil være det gjennomgående dekket som arbeidsdekket var før endringen. Da det nå har blitt konstruert et styrkedekk 3 meter over, vil det ikke være en risiko for oversvømmelse på havaridekket, ved vanlig sjøgang. Havaridekket ligger over vannlinjen, og under dette dekket har det blitt konstruert vanntette vertikale inndelinger.

Flyttingen av dekket har frigitt mye volum mellom havaridekk og styrkedekk. Om dette volumet er nødvendig, og hva det eventuelt kan brukes til må studeres nærmere ved et annet punkt i designspiralen. Resultatet av endringene ses i figur 14 og 15.

## 6.2 Dimensjonering av propell

Propellens størrelse er et dimensjonerende krav, den vil ha innvirkning på skrogets utforming og total dyptgående. Det må være plass til at propellen kan gå rundt uten risiko for å komme i kontakt med skroget. Azipod-systemet som er valgt på KNM Odin forutser at det må være plass til at propellen kan rotere 360 grader. Nedenfor er noen dimensjonerende forhold for en propell:

- Design hastigheten på skipet,  $V_s$
- Slepeeffekten,  $P_E$
- Type, og antall propeller
- Medstrømsforhold ( $w$ ) og thrust-reduksjon ( $t$ )

Jeg ønsker å gjennomføre en enkel tilnærming for å finne nødvendig propelldiameter.

*Formel 4 Slepeeffekt,  $P_E$*

$$R \cdot V_s = P_E$$

$V_s$  er oppgitt til 17 knop, og for  $P_E$  henter jeg fra vedlegg G som er 3645,2 kW. Dette er effekten som trengs for å slepe fartøyet i 17 knop. For å finne  $R$  gjør jeg om  $V_s$  til meter per sekund.  $V_s = 17 \text{ knop} = 8,75 \text{ m/s}$

Det gir følgende slepemotstand:

$$R = 47,66 \text{ kN}$$

---

Grunnen til at skyvekraften (thrust) må være større enn motstand for å bevege seg med konstant hastighet, er fordi det skapes et undertrykksfelt i forkant av propellen som vil virke med et sug på skroget. Denne forskjellen mellom R og T angis med thrustreduksjonsfaktoren «t» med følgende formel:

*Formel 5, Thrustreduksjonsfaktor t*

$$R = (1 - t)T$$

Da KNM Odin bruker et azipod-system, betyr dette at thrustkoeffisienten ikke vil være spesielt høy. Dette er fordi undertrykksfeltet i forkant av propellen dannes i en avstand som ikke vil påvirke undervannsskroget i noen særlig grad. For KNM Odin settes derfor  $t = 0.05$ . Vi kan da finne nødvendig skyvekraft levert av propellen:

$$T = 50,17 \text{ kN}$$

Skrogvirkningsgraden  $\eta_H$  beskriver forholdet mellom arbeidet som må til for å slepe fartøyet, og det arbeidet propellen utfører når den leverer et skyv ved hastighet  $V_A$ . For de aller fleste skip vil denne være rundt 1. Den er gitt slik:

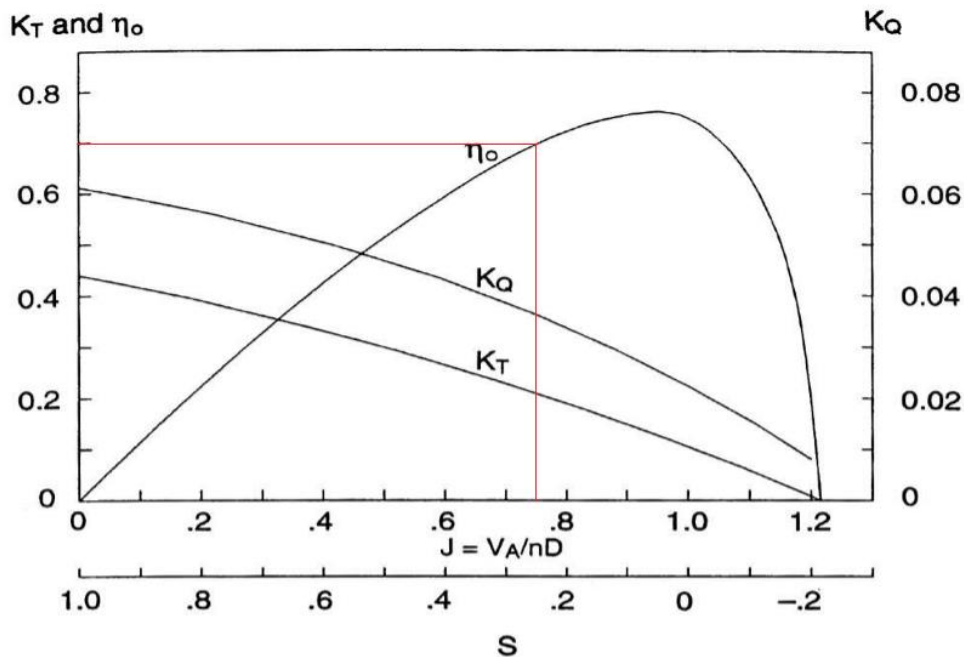
*Formel 6, Skrogvirkningsgraden  $\eta_H$*

$$\eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{(1 - t)}{(1 - w)} = \frac{RV_S}{TV_A}$$

Hastigheten til vannet ved propellen vil avhenge av friksjonen, formen til skroget og selve propellen. Hastigheten til vannet ved propellen vil derfor være annerledes enn hastigheten som fartøyet beveger seg i vannet med. Denne forskjellen kommer til uttrykk i w. Med azipod-løsningen, der propellen står fritt i vannet og ikke vil være nevneverdig forstyrret av de overnevnte grunnene, vil w være liten. Medstrømsfaktoren settes derfor til 0,01 her.

Med denne løsningen får vi at  $\eta_H = 0,96$ . Ut i fra denne formelen finner jeg  $V_A = 7,97 \text{ m/s}$ .

Når man ser på aktuelle propeller for fartøyet, vil hver propell ha sitt tilhørende friprøvediagram. For KNM Odin antar jeg at diagrammet nedenfor er gjeldende:



**Figur 14**

Friprøvediagram av en propell

Ut i fra friprøvediagrammet til denne propellen ser vi at propellvirkningsgraden,  $\eta_0$ , er god når fremgangstallet  $J$  er mellom 0,8 og 1,0. Velger  $\eta_0 = 0,7$  slik at  $J = 0,75$ . Med den  $V_s$  som jeg regner med i dette eksempelet, er det dimensjonert med at fartøyet bruker 85% av maks tilgjengelig kraft for fremdrift. Det er derfor ikke hensiktsmessig å bruke den optimale virkningsgraden fordi propellen da ville ha gitt svært dårlig utnyttelse ved maksimalt pådrag. For å finne diameter for propellen bruker vi følgende formel:

*Formel 7, Fremgangstallet  $J$*

$$J = \frac{V_A}{nD}$$

Nødvendig installert effekt på KNM Odin er på litt under 7,2 MW. Det betyr at ved bruk av to azipod'er må hver enhet levere 3,6 MW. ABB sitt azipod-system, CO1400, leverer denne

---

effekten på et turtall mellom 180 rpm og 250 rpm (ABB 2010). Jeg velger et turtall på 210 rpm, som betyr at nødvendig diameter på propellen er 3,04 m.

For å finne ut om dette er et fornuftig anslag, vil jeg se på belastningen på propellen. Med to azipoder installert vil skyvekraften per propell være:  $\frac{50,17 \text{ kN}}{2} = 25,09 \text{ kN}$ .

For å finne belastningen på propellen, må trenges man  $A_E$ . Dette finnes ved å se på bladarealsforholdet, B.A.R. som vil være oppgitt fra produsenten. For den valgte propellen antar jeg at B.A.R = 0,7. Jeg finner  $A_E$ :

*Formel 8, Bladarealsforhold B.A.R*

$$B. A. R. = \frac{A_E}{A_O}$$

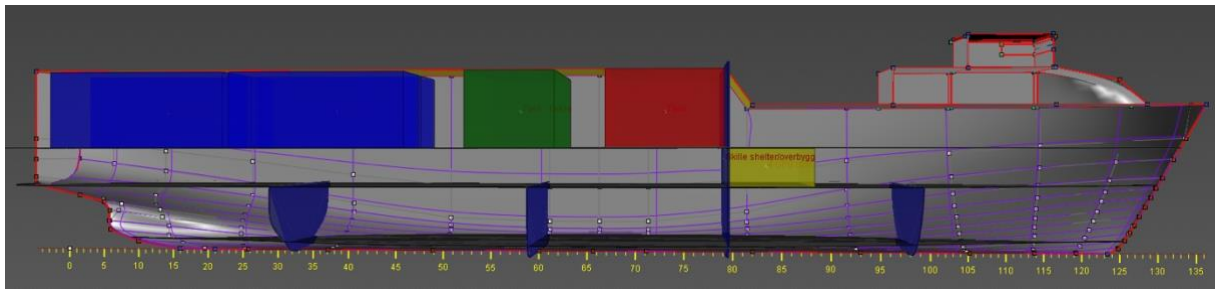
Der  $A_O$  er arealet til storsirkelen av propellen.  $A_O = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$ . Ved å sette inn verdier for B.A.R og  $A_O$  får jeg at  $A_E = 5,08 \text{ m}^2$ .

Belastningen per propell vil da være  $\frac{\text{Skyvekraft}}{\text{Ekspandert areal}} = \frac{25,09 \text{ kN}}{5,08 \text{ m}^2} = 4,94 \text{ kN/m}^2$

En propelldiameter på 3,04 m er dimensjonerende for utformingen av skroget, og plasseringen av azipoden. En belastning på 4,94 kN/m<sup>2</sup> betyr at denne propellen ikke vil ha noe problem med å takle belastningen. Det må vurderes om denne propellen er egnet, om dimensjonene til propellen konvergerer med skroget og om det er mulig å velge et mer kostnadsbesparende alternativ. En slik betraktning vil derfor være viktig å gjennomføre før en ny parameterstudie.

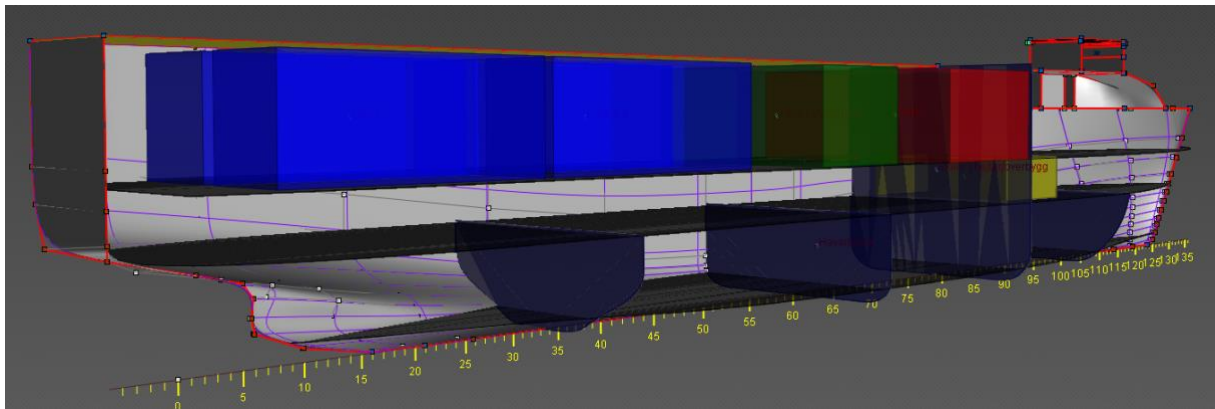
Jeg velger å ikke ta dette med i systembeskrivelsen, da dette kun er en enkel beregning med utgangspunkt i et vilkårlig friprøvediagram.

## 6.3 Illustrasjoner av designløsning



**Figur 15**

Utsnitt av KNM Odin sett fra siden.



**Figur 16**

Utsnitt av KNM Odin i profil fra styrbord låring

---

## 7. Avslutning av designarbeidet

### 7.1 Gjenstående arbeid

Etter å ha gjennomført den første runden av designspiralen, en parameterstudie og to punkt i andre runde av designspiralen, vil jeg nå ferdigstille produktet for oppgaven. Den andre runden av designspiralen vil gå mye dypere inn i hvert enkelt punkt enn det jeg har kapasitet til i denne oppgaven. For å komme frem til en optimalisert designløsning, vil det være nødvendig å gå minst tre runder i designspiralen. Ting som må jobbes med for å oppnå dette er eksempelvis:

- Beregning av elektrisk kraftbehov.
- Dimensjonering av propelldimensjoner
- Dynamiske stabilitetsberegninger.
- Strukturberegninger.
- Konkretisering av GA.

Etter at andre runde i designspiralen er gjennomført, vil det gjennomføres enda en parameterstudie. På denne måten vil det oppnås en enda mer konvergerende designløsning. På det stadiet jeg har kommet til, vil ikke dette designforslaget være optimalisert. Det er derimot et mer konvergerende designforslag i forhold til resultatet etter første runde.

#### 7.1.2 Stabilitetsberegninger

Operasjonsscenarioet i denne oppgaven erklærte at fartøyet må kunne operere i SS4 og med en sidevind på 30 knop. Om hvorvidt KNM Odin er i stand til dette kan jeg ikke si sikkert på dette tidspunktet da det ikke har blitt gjennomført noen grundige stabilitetsberegninger. KNM Odin er relativt stor med en total lengde på 96,75 m. Med et harmonisert designforslag, vil jeg anta at fartøyet vil kunne gå i denne sjøgangen, rett og slett basert på hvor stort det er.

Beregning av sidevind, og hvordan dette påvirker fartøyet må bli gjort underveis, og kontrollert ettersom konturen av fartøyet forandrer seg. Hvordan fartøyet oppfører seg i disse omgivelsene vil være dimensjonerende kriterier som må beregnes på.



---

## 7.2 Veien videre

Kostnadsspørsmålet vil være avgjørende for hva som er hensiktsmessig å investere i. I denne oppgaven har jeg i all hovedsak konsentrert meg om å lage et designforslag som vil kunne oppfylle de kravene som har blitt satt i konseptfasen. Da jeg har valgt «moderfartøy» som konseptuell løsning, har jeg også låst meg til den kostnaden som valget av denne løsningen vil innebære. Kostnad vil være et dimensjonerende kriterium ved en reell anskaffelse, noe leseren må være bevisst på.

Etter en fullstendig gjennomføring av designspiralen, vil man gjøre seg ferdig med definisjonsfasen. I denne oppgaven tilsvaret det at den siste versjonen av KNM Odin vil være den anbefalte løsningen. I PRINSIX modellen har jeg kommet til punktet «Systembeskrivelse». Denne systembeskrivelsen skal ifølge Forsvaret inneholde:

- Systembeskrivelse av den anbefalte systemløsningen
- Systemløsning og grensesnitt til andre systemer
- Antall og fordeling
- Integrert logistikkstøtte
- Disponering av eksisterende materiale (arv)

(Forsvaret – Definisjonsfasen 2016)

I denne oppgaven vil jeg kun levere en systembeskrivelse av KNM Odin basert på de dataene jeg har samlet inn. Systembeskrivelsen skal være kortfattet, men skal inneholde en tilstrekkelig detaljert beskrivelse av designløsningen (Forsvaret – Systembeskrivelse 2016). Jeg legger frem KNM Odin slik det ser ut nå, med et selvfølgelig forbehold om at designarbeidet ikke er ferdigstilt i forhold til et reelt designforslag.

Produktet som jeg presenterer i systembeskrivelsen vil ikke være en optimalisert designløsning. Det vil kreve minst tre runder i designspiralen for å få en slik løsning. Etter andre runde i designspiralen er det ønskelig å ha kommet frem til en konvergerende designløsning. Det betyr at designløsningen består av parametere som konvergerer sammen uten konflikt, samtidig som kravene fortsatt er oppfylt.

Da jeg har hatt få dimensjonerende krav i begynnelsen av designarbeidet, vil det være mulig at første runde i designspiralen har blitt gjort med et galt utgangspunkt. Om utgangspunktet

---

antas riktig, har designarbeidet gjennom de ulike fasene gått mot en konvergerende designløsning. Da jeg ikke har gjennomført en fullstendig andre-runde av designspiralen, har jeg heller ikke kommet til en fullstendig konvergerende designløsning.

---

## 8. Systembeskrivelse av «KNM Odin»

- Fysiske data for skrog: Se vedlegg E.
- Hydrostatiske data: Se vedlegg F.
- Generalarrangement: Se vedlegg G.
- Har følgende PAYLOAD:
  - 4 USV
  - 6 AUV1
  - 1 Dykkerbåt
  - Tilhørende OPS-rom og støttesystemer
  - Underbringelse av embarkert personell
- Til fremdrift er nødvendig minimum installert effekt ( $P_E$ ) på 7147,5 kW.
- Azipod fremdriftssystem
- Fartøyet skal være utstyrt med et dynamisk posisjoneringssystem.

---

## 9. Konklusjon med anbefaling

I denne besvarelsen kommer jeg frem til et designforslag for neste generasjons minefartøy basert på «moderskip» konseptet. Det er ikke et optimalisert designforslag, da dette krever at jeg går flere runder i designspiralen. I denne oppgaven har jeg begynt arbeidet med definisjonsfasen med få dimensjonerende krav. Dette er en svakhet som kommer blant annet av denne oppgaven sin begrensede natur i forhold til å prosjektere et fartøy.

Da problemstillingen spør om hva prosjekteringen av et slikt fartøy vil bety, er det naturlig at min konklusjon består av den lærdommen jeg har tilegnet meg i oppgaven:

Et fartøy basert på «moderskip» konseptet vil kreve en volumbasert prosjektering av fartøyet. Fartøyet må designes rundt payloaden, da hensikten med moderfartøyet er å fasilitere for at dette skal operere effektivt. Et slikt fartøy vil være betraktelig større enn dagens minefartøy. Innovative løsninger for deployering av payload, i tillegg til å beskytte dette for omgivelsene, vil være nødvendig for at dette skal være et levedyktig konsept. For å beskytte enheten må det vurderes om fartøyet skal ha tyngre våpen for selvforsvar, eller et designet operasjonsmønster med en eskorteenheter. Konseptuelt vil fartøyet ha en svært god kapasitet til minekrigføring, og prosjekteringen vil måtte se på antall enheter som skal brukes.

Min anbefaling er at ved et fremtidig prosjekteringsarbeid for denne type fartøy, så er det viktig at det foreligger flere konkrete dimensjonerende krav i definisjonsfasen. Det vil kreve nærmere studier av akkurat hva slags payload som skal embarkeres, og hvordan denne skal underbringes. Dette gjør at arbeidet i designspiralen vil gi mer konvergerende resultater. Hvis dette er et konsept Forsvaret velger å prosjektere i fremtiden, er min anbefaling at det ikke prosjekteres med å bestille for få antall enheter. Dette er fordi at selv om dette moderskipet vil være svært allsidig, samt ha en stor operasjonsradius, vil det fortsatt kun være *et* fartøy som ikke kan dekke hele Norges langstrakte kyst helt alene.

---

## 10. Sluttnoter

Det å arbeide med PRINSIX modellen, DELFTship og prosjektering av et fartøy har vært svært lærerikt. Hvordan Forsvaret jobber når det skal anskaffe en ny enhet har vært svært interessant å få et innblikk i, og jeg har fått en bedre forståelse av hvordan avgjørelser blir tatt. Når det gjelder «moderfartøy» konseptet, er mitt inntrykk at dette vil være en enhet som vil kunne ha et stort operasjonsområde, i tillegg til å være i stand til å jobbe på dypt vann og i skjærgården. Moderfartøyet skal i dette tilfellet ikke bare operere avanserte enheter som undervannsdroner og USV'er, men det skal også være et fartøy som produserer kraft til driften av dette.

Ved å slå ut et moderfartøy, vil alle kapabilitetene bli tapt. Det er ikke usannsynlig at KNM Odin vil være et attraktivt mål for en fiende, enten ved form av direkte krigshandlinger eller sabotasje. Det er min mening at et fartøy med denne kapasiteten representerer en investering som krever god beskyttelse. Da enten av for eksempel en fregatt som kan eskortere, eller egne systemer for selvforsvar. Det er også kritisk at det ikke bestilles kun eksempelvis to enheter, i tillegg til at nåværende minebåter fases ut. Et resultat av dette vil være at Norge ender opp med kun to fartøy som har ansvaret for minekrigføring langs hele den norske kysten, i tillegg til å være gripbar for SNMCMG1. En løsning ville vært å videreføre noen av dagens minefartøy sammen med et fartøy som KNM Odin.

Jeg sitter igjen med mye lærdom fra gjennomføringen av denne oppgaven, og ser frem til hva fremtiden bringer i Minevåpenet.

---

## **11. Kilder**

### **11.1 Bibliografi**

#### **ABB**

2010. *Azipod Product Platform Selection Guide*. Helsinki

#### **Rawson, K.J., E.C. Tupper**

2001. *Basic Ship Theory Volume 1 & 2*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

#### **Watson D.G.M.**

1998. *Practical Ship Design*. Oxford: Elsevier Science Ltd.

#### **RAR 1**

1975. *Rules and regulation for surface vessels of the Royal Norwegian Navy*.

### **11.2 Kilder fra internett**

#### **Atlas Elektronik UK**

2019. ARCIMS modular USV system

[https://www.atlas-ems.de/fileadmin/user\\_upload/documents/products/Mine Warfare Systems/ARCIMS ModularUSV System online.pdf](https://www.atlas-ems.de/fileadmin/user_upload/documents/products/Mine_Warfare_Systems/ARCIMS_ModularUSV_System_online.pdf)

---

## **DNVGL**

2015. Rules for classification. Naval Vessels.

<http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-NAVAL/2015-12/DNVGL-RU-NAVAL-Pt3Ch1.pdf>

## **Forsvaret – Alternativanalyse**

2016. Alternativanalyse

<https://forsvaret.no/prinsix/Prosjektfaser/Konseptfase/Alternativanalyse>

## **Forsvaret – Definisjonsfase**

2016. Definisjonsfase

<https://forsvaret.no/prinsix/Prosjektfaser/Definisjonsfase>

## **Forsvaret - Konseptfase**

2018. Konseptfase

<https://forsvaret.no/prinsix/Prosjektfaser/Konseptfase>

## **Forsvaret – Mulighetsstudie**

2016. Utarbeide mulighetsrom

<https://forsvaret.no/prinsix/Prosjektfaser/Konseptfase/Utarbeide-mulighetsrom>

## **Forsvaret – Systembeskrivelse**

2016. Systembeskrivelse

<https://forsvaret.no/prinsix/Prosjektfaser/Definisjonsfase/Systembeskrivelse>

---

## **IMO (International Maritime Organisation)**

2000. Resolution MSC.99(73)

[http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Documents/MSC.99\(73\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Documents/MSC.99(73).pdf)

## **Kongsberg MUNIN**

2019. Autonomous Underwater Vehicle, MUNIN

<https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/48D837005CB784DFC1257C970041051F?OpenDocument>

## **Kongsberg HUGIN**

2019. Autonomous Underwater Vehicle, HUGIN

<https://www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-hugin/>

## **Kulkuri**

2019. Kulkuri 34

<http://www.kulkuri-veneet.fi/en/34.html>

## **Swire Seabed**

2019. Seabed Constructor Multi-Purpose Offshore Construction Vessel

[https://d248jyfk4ouvx.cloudfront.net/documents/Assets/Vessels/Brochure\\_Seabed-Constructor-200519.pdf](https://d248jyfk4ouvx.cloudfront.net/documents/Assets/Vessels/Brochure_Seabed-Constructor-200519.pdf)



---

## Vedlegg

- Vedlegg A: Forenklet konseptuell løsning.
- Vedlegg B: Skrogdata fra første runde av designspiralen.
- Vedlegg C: Hydrostatiske data fra første runde av designspiralen.
- Vedlegg D: Simulert slepeforsøk fra første runde av designspiralen.
- Vedlegg E: Skrogdata fra parameterstudien.
- Vedlegg F: Hydrostatiske data fra parameterstudien.
- Vedlegg G: Simulert slepeforsøk fra parameterstudien.