



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Prosjektering av autonom USV for 1. Minerydderskvadron

av

Per Rønholt Nilsen

Og Berge Kierulf Prytz

Levert som en del av kravet til graden:

**BACHELOR I MILITÆRE STUDIER – LEDERSKP MED FORDYPNING I ELEKTRO
OG AUTOMASJON**

**BACHELOR I MILITÆRE STUDIER – LEDERSKAP MED FORDYPNING I
MASKINFAG**

Innlevert: Mai 2019

Godkjent for offentlig publisering

I. Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten(ene) 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(ene) har godkjent publisering.

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

Jeg(Vi) 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 type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

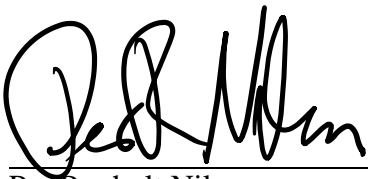
Plagiaterklæring

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

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

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

Dato: 29 – 05- 2019


Per Rønholt Nilsen


Berge Kierulf Prytz

II. Forord

I denne oppgaven har vi utredet viktige forutsetninger for et autonomt fartøy i forbindelse med minemottiltakssegmentet. Arbeidet ble påbegynt i januar 2018 og avsluttet i mai 2019. Autonomi er et fagfelt som stadig blir mer relevant og det er lett å se for seg at det vil få en større betydning innenfor Forsvaret i de kommende årene. Oppgaven har utfordret oss på mange områder både fagspesifikt og innenfor prosjektstyring. Det at vi skriver tverrfaglig mellom elektro og maskin mener vi gjør at oppgaven blir mer helhetlig, og dermed mer relevant. Vi har økt vår kompetanse om skrog, materialer, motorer, generatorer, batterier og prosjektering. Oppgaven er rettet for alle som interesserer seg for autonomi og 1. Mineskvadrons fremtidige kapasiteter. For å sikre tilstrekkelig forståelse anbefaler vi at leserne har en grunnleggende forståelse for elektro og maskin.

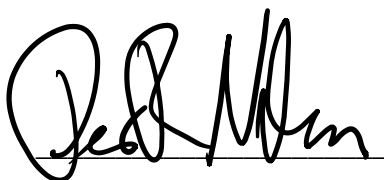
Takk til **Geir Kilhus**, for engasjement og veiledning.

Takk til **Gisle Strand** og **Arild Sæbø**, for faglige avklaringer og støtte.

Takk til FFI ved **Morten Nakjem**, for omvisning og innsikt i FFI sitt arbeid med autonome farkoster.

Takk til **Atlas Electronics**, for teknisk innsikt i egenskapene til ARCIMS.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 29.05.2019



Per Rønholt Nilsen



Berge Kierulf Prytz

III. Oppgaveformulering

Kadettene, i samarbeid med FFI og Sjøforsvaret, etablerer status på delvis eller hel-autonome farkoster som kan tenkes brukt innenfor minemottiltak-segmentet. Basert på dette, samt gitte krav til tekniske ytelser og lignende studier, skal de prosjektere en hensiktsmessig farkost med dertil egnet fremdriftssystem. Resultatet av arbeidet skal være en prosjektering av en modulbasert farkost som skal kunne løse flere oppgaver knyttet til fremtidens konsept for autonome minemottiltak. De viktigste funksjonelle kravene samt relevante kapasiteter for en modulbasert transportenhet skal utredes. Det skal foretas en alternativanalyse som begrunner valget av designløsning.

IV. Sammendrag

Gjennom denne oppgaven har vi prosjektert et autonomt modulbasert fartøy som skal kunne løse flere oppgaver knyttet til fremtidens konsept for minemottiltaks operasjoner. Metoden vi har brukt i denne oppgaven baseres på en forenklet utgave av PRINSIX, som er forswarets prosjektsstyringsmodell. Vi har lagt hovedvekt på Konsept- og Definisjonsfase, basert på en innledende idefase.

Vi har gjennom konseptfasen kartlagt hvilke behov vi har for å sikre oss mot minetrusler og oppsummert hvilke kapabiliteter nestegenerasjons minemottiltaks struktur må kunne håndtere. Basert på dette viser vi hvordan bruken av autonome plattformer vil gi en operativ fordel.

Gjennom definisjonsfasen har vi drøftet hvordan ulike teknologi kommer til anvendelse om bord og hvilke løsninger som vil være best egnet til dette formålet. Resultatet av dette har ført til utarbeidelse av ikke funksjonelle krav som er basert på vår drøfting av anbefalte tekniske løsninger.

Resultatet av oppgaven har vist at dette prosjektet er realiserbart og tilfredsstillende de nødvendige kravene til systemkapabiliteter. Vi tror at utviklingen av et slik konsept innen minemottiltaks segment vil være med på å danne grunnlaget for kompetanse om teknologi som også kan benyttes innen andre formål i Sjøforsvaret på en modifisert måte.



Figur 1: En illustrasjon fra FFI for fremtidens minemottiltak. Her illustreres det hvordan strukturen kan være basert på ustrakt bruk av autonome ubemannede systemer. (Vedlegg 4)

V. Innholdsfortegnelse

I.	Publiseringsavtale	ii
II.	Forord	iii
III.	Oppgaveformulering.....	iv
IV.	Sammendrag.....	v
V.	Innholdsfortegnelse	vi
VI.	Figurer	8
VII.	Tabeller/Diagrammer	10
VIII.	Nomenklatur / Forkortelser / Symboler	11
1	Innledning / Introduksjon	13
1.1	Bakgrunn.....	13
1.2	Mål	14
1.3	Avgrensninger.....	15
1.4	Metode	16
1.5	Struktur	17
2	Besvarelsen	18
2.1	Idefasen	18
2.2	Konseptfasen.....	20
2.2.1	Behovsanalyse.....	20
2.2.2	Kapabiliteter.....	23
2.2.3	Risikoanalyse	25
2.2.4	Presentasjon av mulige løsninger.....	27
2.2.5	Sammenlikning av mulige løsninger	30
2.2.6	Beskrive av valgt konseptuell løsning med anbefaling.....	33

2.2.7	Drøfting av konseptuell løsning med henblikk på skrog og fremdrift.....	33
2.2.7.1	Skrog	33
2.2.7.2	Fremdrift	36
2.3	Definisjonsfase.....	38
2.3.1	Innledende dimensjonerende krav	38
2.3.2	Drøfting av foreløpig løsning.....	42
2.3.3	Valgte hovedparametere	44
2.3.4	Justert designløsning med endrete parametere.....	46
2.3.4.1	Skips konstruksjon	46
2.3.4.2	Fremdrift	49
2.3.4.3	Stabilitet	61
2.3.4.4	Øvrige betraktninger	68
2.3.5	Anbefalt teknisk løsningskonsept	69
2.3.5.1	Risikoanalyse	69
2.3.5.2	Ikke funksjonelle krav.....	70
3	Konklusjon med anbefaling	74
	Bibliografi	75
	Vedlegg	79
	Vedlegg 1 – Hydrostatisk Rapport	79
	Vedlegg 2 – Mail fra Atlas Electronics	80
	Vedlegg 3 – Utregninger stabilitet	82
	Vedlegg 4 – FFI Odin USV, en utviklingsplattform for fremtidig MMCM	83
	Vedlegg 5 – Litium Ion batterier	84
	Vedlegg 7 – Utregninger for lettvekts sveip	93

VI. Figurer

Figur 1: En illustrasjon fra FFI for fremtidens minemottiltak. Her illustreres det hvordan strukturen kan være basert på ustrakt bruk av autonome ubemannede systemer. (Vedlegg 4).....	v
Figur 2: Visuell presentasjon av PRINSIX- modellen (Forsvaret, u.å, prinsix på 1-2-3)16	
Figur 3: Visuell beskrivelse av oppgavens oppbygning.....	17
Figur 4: ("The Maritime Minethreat". Truver, Scott C. (2012) "Taking Mines Seriously: Mine Warfare in China's Near Seas,"Naval War College Review: Vol. 65: No. 2)	22
Figur 5: («Trekantsamarbeidet», (2015-2016), Meld. St. 9).....	26
Figur 6: Tversnitt av dimensjoner på ARCIMS (ARCIMS, (u.å.), ARCIMS Modular USV system).....	44
Figur 7: Hovedparametere for ARCIMS (ARCIMS, (u.å.), ARCIMS Modular USV system).....	45
Figur 8: Slepemotstandskurve (Vedlegg 2).....	45
Figur 9: Grafen viser fartøyets totale KG_{Max} ved ulike deplasement. (Vedlegg 2).....	46
Figur 10: Forslag til design på overbygget på fartøyet	48
Figur 11: (University of South Australia, (u.å.), Propeller efficiency)	50
Figur 12: (Barczak, (2019), Waterjets: When to Use, Pros and Cons)	50
Figur 13: Utsnitt av tversnitt av dimensjoner ARCIMS	50
Figur 14: Konsept for fremtidig lettvektssveip (Vedlegg 4)	53
Figur 15: (MJR. (u.å.). MJR's Marine Energy Storage Solutions.)	55
Figur 17: (Torqeedo, (2019), Torqeedo Catalog).....	56
Figur 16: (Torqeedo, (2019), Torqeedo Catalog).....	56
Figur 18: Tegningen for 100kW versjon var ikke å fine. Dette er tegningen for 50kW versjonen (Torqeedo, (2019), Deep Blue 50i).....	56
Figur 19: (MTU, (u.å.), Diesel Generator Sets)	57
Figur 20: (Bower, George. (2018, 11.Juni). New Tesla Model 3 Battery Details, Images & Video Released)	58

Figur 21: Bower, George. (2018, 11.Juni). New Tesla Model 3 Battery Details, Images & Video Released).....	58
Figur 22: MJR. (u.å.). MJR’s Marine Energy Storage Solutions.)	60
Figur 23: Vår rekonstruksjon av katamaranskrog fra Delftship Pro	61
Figur 24: FFI sitt forslag til autonomt Launch and Recovery (L&R) system om bord på deres ODIN fartøy. (Vedlegg 4).....	62
Figur 25: Forslag til plassering av hovedkomponenter for fremdrift om bord	63
Figur 26: ARCIMS (Naval Technolgy, u.å., ATLAS Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS))	89
Figur 27: SEA-KIT (Kongsberg maritime, (u.å.), Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform).....	90
Figur 28: Echo Voyager (Boeing, (u.å.), Echo Voyager Overview).....	91

VII. Tabeller/Diagrammer

Tabell 1: Oversikt over sensorer som brukes i dag og er forventet implementert	27
Tabell 2: Nødvendige systemkapabiliteter	42
Tabell 3: Vektregnskap Minejaktmodul.....	62
Tabell 4: Totalt vektregnskap for fartøyet.....	64
Tabell 5: Utregning av fartøyets trim, uten operasjonsmodul (vedlegg 3)	66

VIII. Nomenklatur / Forkortelser / Symboler

Forkortelser

AC	Alternating Current
AoA	Angle of attack
AUV	Autonomous Underwater vehicle
DC	Direct current
ESM	Electronic support measures
F.AP	Forenfor Aktre Perpendikulær
FFI	Forsvarets forsknings institutt
FoU	Forskning og utvikling
Harde trusler	Mekanisk ødeleggelse av plattformen gjennom sabotasje eller våpen
HUGIN	Ubemannet undervannsfarkost (AUV) utviklet og produsert av Kongsberg
IED	Improvised explosive device
MOB	Mann over bord
Myke trusler	Påvirkning av software, sensor og styresystemer
NM	Nautisk mil (1852m)
Off The Shelf	Utstyr som ikke er spesialbestilt eller tilpasset, men hentet fra eksisterende lagerbeholdning og produksjon
USV	Unmanned Surface Vessel
UUV	Unmanned undersea vehicle
VHF	Very high frequency, radiofrekvens som brukes til kommunikasjon på havet
XLUUV	Extra-large unmanned undersea vehicle

Symboler

P_E	Slepeeffekt
R_T	Slepemotstand
V_s	Skipets hastighet

η_0	Propellens virkningsgrad (Virkningsgrad vannjet)
η_{motor}	Differanse mellom elektrisk effekt inn og mekanisk effekt ut
η_{drive}	Tap i elektronikk (Drive, transformator)
P_L	Effekt levert fra batteri
P_H	Hotelleffekt
P_S	Elektrisk slepeeffekt
b_e	Drivstofforbruk i liter per kWh elektrisk generert effekt
P	Total elektrisk effekt
E_{kWh}	Total elektrisk energi
T_E	Fartøyets gjennomsnittlige dybde
T_A	Fartøyets dybde akterut
T_F	Fartøyets dybde forut
t	Fartøyets totale trim
t_a	Fartøyets trim akterover
t_f	Fartøyets trim forut
TP_{cm}	Vekten som må til for at skipet skal synke med 1cm
$MT1_{cm}$	Nødvendig moment for å endre trim 1cm
γ	Fartøyets parallelle nedsenking
LCF	Longitudinal center of flotation
KG	Avstand fra kjøll til tyngdepunkt
W	Vekt
Δ	Deplasement
P_2	er merkeeffekt i transformator
P_0	er tomgangstap i transformator
P_b	er belastningstap i transformator

1 Innledning / Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Forsvarsdepartementet skriver i Prop 151S Kampkraft og bærekraft (2015-2016):

Teknologisk utvikling skaper en rekke muligheter og utfordringer for forsvaret. Tilgjengelig teknologi påvirker militær strategi og taktikk, og effektiv ivaretagelse av Forsvarets oppgaver forutsetter løpende aktiv utnyttelse av de teknologiske mulighetene. Den teknologiske utvikling innebærer stigende yteevne og åpner opp for mulige teknologiske fortrinn. Samtidig skaper dette flere sårbarheter, økt avhengighet og kompleksitet i sensor-, kommando- og kontrollsystemer, våpensystemer og plattformer ... Teknologitviklingen kan også skjer i større sprang hvor nye teknologier gir opphav til helt nye løsninger på operative behov. Dette kan få konsekvenser for struktur, konsepter, organisasjon og kompetansebehov. Fremveksten av førerløse og autonome systemer er et av de nyeste eksemplene på dette (s35).

Autonome fartøyer kan brukes til å løse flere av Sjøforsvarets behov i fremtiden. Alt fra overvåking til våpenplattformer er det lett å se for seg at vil være autonomt på sikt. For at en slik løsning skal være effektiv, må den være fleksibel og kostnadseffektiv å produsere og drifte, samtidig som den er kapabel til å løse flere oppgaver.

1.2 Mål

Det er ønskelig å utvikle en modulær USV (Unmanned Surface Vessel) som kan brukes til å løse flere av forsvarets oppgaver i fremtiden. Autonomi er et konsept som ikke er ferdig utviklet, men som i de siste årene har utviklet seg kraftig, både i militær og sivil sektor. Vårt hovedmål med denne oppgaven er å utvikle et teknisk løsningskonsept og komme frem til en anbefaling til anskaffelse av en modulbasert autonom plattform innenfor minemottiltakssegmentet. Med modulbasert mener vi at USVen er bygget med tanke på at den kan bære ulike operasjonsmoduler som kan skiftes ut avhengig av oppdraget fartøyet skal løse. Utviklingen av et autonomt fartøy innen minemottiltakssegmentet vil være med å danne grunnlag for kompetanse om teknologi som også kan benyttes innen andre formål i Sjøforsvaret på en modifisert måte. Vi skal drøfte hvilke utfordringer som må løses, hva slags teknologi som bør anvendes og kartlegge krav som dette fartøyet må tilfredsstillе.

1.3 Avgrensninger

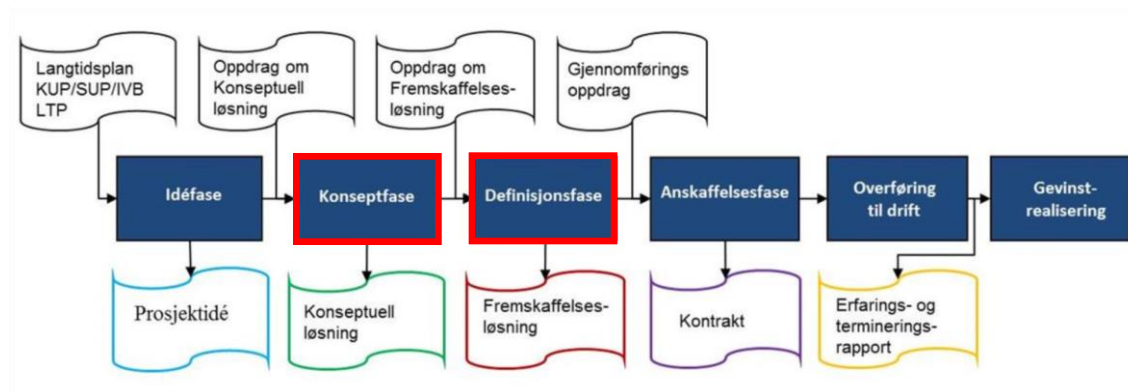
Oppgaven er i tid avgrenset innenfor et tidsrom på fem måneder og har hatt en øvre budsjettgrense på kr 20 000,-. På grunn av oppgavens størrelse og faglige fokus vil hovedtyngden i oppgaven være å drøfte tekniske løsninger basert på utarbeidede systemkapabiliteter. Dette innebærer i hovedsak skipets konstruksjon, fremdriftslinje og evaluering av stabilitet.

For å kunne oppnå målet på en best mulig måte har vi satt noen avgrensninger:

- 1) Oppgaven vil ikke se nærmere på hvordan fartøyet skal styres autonomt. Fartøyet skal legge til rette for å kunne styres helt autonomt, men software, navigasjon- og styrings-system for den autonome driften skal vi ikke se på.
- 2) Oppgaven vil ikke ta for seg spesifikt antall fartøyer eller personellbehov.
- 3) Oppgaven vil ikke ta for seg hvordan plattformen skal bekjempe flytende miner eller andre ukjente minetyper eller trusler.
- 4) Oppgaven vil ikke gi noe dyp økonomisk analyse av valgt løsning. De økonomiske avveiningene som vil bli gjort er kun basert på relative sammenlikninger.
- 5) Oppgaven vil ikke gå i detalj på hvordan nærforsvar av plattformen skal opprettholdes, verken mot harde eller myke trusler.
- 6) Oppgaven vil ikke ta for seg selve sensor-pakken til plattformen, men bygge på at de sensorene som brukes eller er planlagt innført i Sjøforsvaret videreføres på den nye løsningen.
- 7) På grunn av oppgavens omfang, tid til utførelse og innsikt til operativt behov på flere nivåer, vil en operasjonsmodul for minejakt være dimensjonerende for fartøyets lastebehov.
- 8) På grunn av oppgavens omfang, tid til utførelse og innsikt til operativt behov på flere nivåer, vil slepemotstand fra et nestegenerasjons lettvekts sveip være dimensjonerende for fartøyets slepekapasitet.
- 9) Oppgaven vil ikke gå i detalj på hvordan signaturen reduseres, kun tanker om hvordan den kan reduseres.
- 10) Oppgaven vil ikke ta for seg hvordan utstyret om bord skal tilpasses til klimatiske forhold.

1.4 Metode

Løsningen av oppgaven er basert på en forenklet PRINSIX modell, med hovedvekt på Konseptfasen og Definisjonsfasen markert med rødt.



Figur 2: Visuell presentasjon av PRINSIX- modellen (Forsvaret, u.å, prinsix på 1-2-3)

Konseptfase:

Konseptfasen starter med en behovsanalyse, denne gjennomføres for å sikre at de beskrevne behov gjenspeiler samfunnets virkelige behov og at løsninger ikke blir valgt uten en grundig vurdering av alle interessenter/aktører. Deretter beskrives hvilke kapabiliteter som må dekkes, disse skal til sammen definere et bredt mulighetsrom som skal vurderes opp mot det overordnede kravdokumentet. I neste trinn skal alternativanalysen gjennomføres. Alternativanalysen skal definere et nullalternativ og minst to alternative hovedkonsepter. Til slutt skal den valgte Konseptuelle Løsningen presenteres (Forsvaret, u.å, prinsix på 1-2-3). I oppgaven bruker vi denne fasen for å argumentere for 1. Minerydderskvadrons behov for autonome fartøy.

Definisjonsfase:

Definisjonsfasen omfatter utarbeidelse av beslutningsunderlag for å ta avgjørelser om iverksettning av prosjektet. Her skal fartøyets innledende dimensjonerende krav presenteres. Videre skal de tekniske alternativene drøftes. Basert på drøftingen skal det avslutningsvis gis en anbefaling til tekniske løsninger og anskaffelse. Denne vil inneholde viktige designkriterier og dimensjonerende krav (Forsvaret, u.å, prinsix på 1-2-3).

1.5 Struktur

Under følger en oversikt over strukturen i oppgaven.



Figur 3: Visuell beskrivelse av oppgavens oppbygning

2 Besvarelsen

Besvarelsen vil følge strukturen som ble vist i innledningen. Besvarelsen består av de 3 første delene av PRINSIX modellen (Idefasen, Konseptfasen og Definisjonsfasen).

2.1 Idefasen

I forbindelse med prosjektet *P6359, Fremtidig maritim minemottiltakskapabilitet*, ble det utredet potensielle alternativer for Forsvaret for å sikre seg mot minetrusler i fremtiden. Dette skyldes at fartøyene i 1. Minerydderskvadron i dag begynner å nærme seg slutten av sin levetid og at det foreligger et behov for en levetidsoppgradering i nærmeste fremtid, eventuelt at man benytter seg av anledningen til å oppdatere hele operasjonsmønsteret og fartøysstrukturen.

Selv om Alta og Oksøy klassen har vært truet med utfasing i mange år (Forsvarsdepartementet, (2015-2016), St.prp.151 S) kan man som vi viser i behovsanalysen se hvordan sjøminer fortsatt er utbredt trussel og dermed aktuelt også i fremtiden.

1. Minerydderskvadron i dag og i fremtiden

En kort oppsummering av 1. Minerydderskvadrons utvikling er beskrevet i FFI sin rapport *Mulighetsstudie for fremtidige minerydnings kapasiteter i Sjøforsvaret*. Denne er begrenset og er derfor ikke vedlagt i denne oppgaven.

Dagens konseptuelle løsning ble utarbeidet i løpet av 1980 årene, under den kalde krigen og var en del av anti-invasjonsforsvaret. Hovedfokuset var å sikre forsyningslinjene inn til Norge for igjen å sikre forsterkningen fra NATO. Fartøyene var designet for å møte Sovjetunionens minekapasitet og var dermed fordelt mellom minejaktfartøy av Oksøy-klassen og minesveipfartøy av Alta-klassen. Det ble opprinnelig bygget 5 minesveip- og 4 minejaktfartøy, levert på 1990-tallet, i dag er det 3 fartøy av hver klasse i tjeneste. Fartøyene har i de siste årene blitt oppgradert teknologisk og Oksøy klassen har tatt i bruk HUGIN (Forsvaret, 10.Januar 2019, Minefartøy Oksøy- og Altaklassen).

1. Minerydderskvadrons fremtidige konsept kan, som vi kommer nærmere inn på senere, løses på flere måter. Samtidig har autonomi og ubemannede systemer fått en større rolle de siste

årene og det er naturlig å se for seg at dette vil bli mer aktuelt i fremtiden. Som prosjektlederen i Forsvarsmateriell Bård Øina har sagt:

«Vi jobber hele tiden med å fremskaffe relevant materiell til Forsvaret og serieanskaffelsen av Hugin er en viktig del av Sjøforsvarets overgang til mer autonome systemer for minemottiltak, sier prosjektleder Bård Øina i Forsvarsmateriell. Minevåpenet har som hovedoppgave å holde nasjonale og internasjonale farvann frie for miner. Denne jobben innebærer stor risiko, og overgangen til ubemannede systemer er derfor viktig for å ivareta sikkerheten til personellet. Sjøforsvaret bruker Hugin for deteksjon, klassifisering og identifisering av miner.» (Rudi, 2017, Ubemannet fremtid for Sjøforsvaret).

Ideen om et nytt konsept baserer seg på å møte fremtidig behov med ny og eksisterende teknologi på en nyskapende måte. Vi tror en viktig del av dette er autonomi, både fordi det kan øke sikkerheten til personellet i Sjøforsvaret og gi økt effekt.

2.2 Konseptfasen

I denne delen vil vi ta for oss resultatet av konseptfasen. Det starter med en behovsanalyse som kartlegger behovet i fremtiden og hvilke kapabiliteter den endelige konseptuelle løsningen må dekke. Deretter vil vi presentere de forskjellige alternativene løsningene og sammenligne dem, før vi presenterer vår valgte konseptuelle løsning med anbefaling. Med det tekniske fokuset denne oppgaven har vil vi så drøfte den valgte løsningen med henblikk på skrog og fremdriftssystem for å komme med innledende anbefalinger.

2.2.1 Behovsanalyse

Behovsanalysen danner grunnlaget for hvilke kapabiliteter konseptet må inneha. Hensikten med å starte med en behovsanalyse er å sikre at den valgte løsningen dekker et faktisk behov ute i Sjøforsvaret. Den vil ta for seg operasjonsområde, forskjellige typer minetrusler og hvordan møte dem.

Forventet operasjonsområde

Norge har en liten befolkning fordelt ut på relativt store landområder. Topografien er kompleks med en lang og røff kyst, og et kaldt klima store deler av året. Vi har et generelt utfordrende kystfarvann, noe FFI har definert som "the extreme littorals". Sammen med de meget store landområdene har vi enorme tilstøtende havområder, som er strategisk viktige og av økende global økonomisk betydning, spesielt med tanke på nordområdene, Barentshavet og Arktis. Det er allerede flere som har tatt den nordlige ruten fra Europa til Østen, noe som fører trafikken rett igjennom norsk økonomiske sone (Fardal, 2018).

Norsk operasjonsområde har de siste årene spredt seg fra norskekysten til Adenbukten i Det Indiske hav. Samtidig som verdensbildet på mange måter er i ferd med å bli mer komplekst er det derfor ikke umulig at vi må ta for oss hele verden som fremtidig operasjonsområde, hvis vi skal ha et perspektiv på de neste 10-15 årene (Fardal, 2018).

Sjøminers relevans i dag

For å få en bedre forståelse for minetrusselen trenger vi kunnskap om hvilke minetyper som finnes i dag, både nyproduserte og gamle. Minst 36 land produserer i dag miner og 26 av disse eksporterer dem videre. Når det er sagt, vil miner som ble produsert under 2. Verdenskrig fortsatt kunne utgjøre en stor trussel mot våre styrker. De største endringene som er gjort med

tanke på utviklingen er at miner som produseres i dag er vanskeligere å oppdage og desarmere. (Størksen, 2003, Minekrig til sjøs – en norsk nisjekapasitet i NATO)

Vi har indikasjoner på at det jobbes med flere typer miner som kan slipper fra forskjellige plattformer, type Ubåt, fly, etc. Flere land jobber med utviklingen av ulike typer miner og meget moderne utløsningsmekanismer (Rabiroff, 2011, U.S. military enters new generation of sea mine warfare). Dette understreker at selv om mange forbinder minetrusselen med en gammel dags teknologi er dette i aller høyeste grad våpen som vil kunne utgjøre en stor trussel mot den norske marinen.

Den store fordelen med Sjøminer og dens avgjørende betydning i en konflikt er at bare mistanken om at et område kan være minelagt er veldig begrensende for en motstander. Samtidig er de billige å produsere sammenliknet med andre moderne våpen, noe som gjør at det er naturlig å mistenke at terrororganisasjoner og liknende vil kunne lage og utnytte slike IEDer (Improvised Explosive Device).

Bruken av sjøminer er regulert internasjonalt gjennom Haag konvensjonen VIII av 1907. Den tillater bruken av sjøminer med kun to unntak: Det er ikke tillat å bruke drivende miner, med mindre de desarmes etter en gitt tid og forbudt å bruke forankrede miner med mindre de desarmes automatisk etter at de eventuelt har løsnet fra forankringen sin. Med disse to unntakene er allikevel sjøminer å regne som et legitimt krigføringsmiddel som kan brukes både defensivt og offensivt i krise og krig.

Forskjellige minetyper:

Vi deler normalt forskjellige typer miner inn etter hvilke utløsningsmekanismer de bruker og hvor de er plassert. Det finnes en naturlig sammenheng mellom hvor minene legges og i kombinasjon med hvilke utløsningsmekanismer som monteres på.

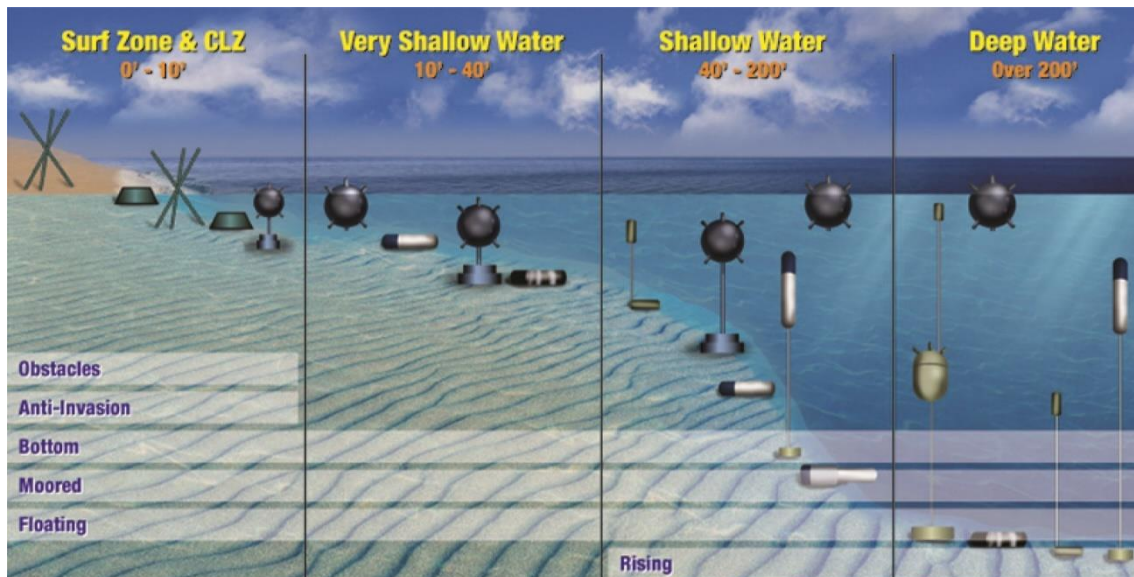
Vi kategoriserer gjerne utløsningsmekanismene på minene i tre kategorier:

- Magnetisk influensminer er programmert til å detonere på den magnetiske signaturen til et fartøy.
- Akustiske influensminer er programmert til å detonere på den akustiske signaturen til et fartøy.
- Kontaktminer går av når de kommer i kontakt med et fartøy.

Samtidig kan noen miner ha kombinasjon av flere utløsningsmekanismer, både i form av at de kan gå av på enten akustisk eller magnetisk signatur, eller at både akustisk og magnetisk signatur må være oppfylt.

Kategoriseres også etter plassering

- Bunnminer plasseres på havbunnen. De er gjerne kamuflert for å gå i et med omgivelsene og kan være utfordrende å oppdage.
- Begravde miner er begravet rett under havbunnen for å gjøre dem vanskelig å oppdage.
- Forankrede miner flyter i havvolumet med en forankring til bunnen.
- Drivende miner flyter i havoverflaten
- Stigeminer ligger på havbunnen og kan være programmert til å stige til overflaten etter en gitt tid eller ved en forhåndsprogrammert signatur.
- Torpedo mine er programmer til å utløses på en gitt signatur og skiller seg fra bunnminer og forankrede miner ved at den vil bevege seg mot trusselen med et fremdriftssystem.



Figur 4: ("The Maritime Minethreat". Truver, Scott C. (2012) "Taking Mines Seriously: Mine Warfare in China's Near Seas," Naval War College Review: Vol. 65: No. 2)

Forsvarets oppgaver

Noen av Forsvarets viktigste oppgaver er å:

- Å hevde norsk suverenitet og suverene rettigheter
- Å ivareta myndighetsutøvelse på avgrensede områder
- Å bidra til kollektivt forsvar av Norge og øvrige deler av NATO mot trusler, anslag og angrep
- Å bidra til ivaretagelse av samfunnsikkerhet og andre sentrale samfunnsoppgaver

(Forsvarsdepartementet, (2007-2008), St.prp.48)

Alle disse oppgavene fordrer at vi har kontroll på havområdene våre. I tillegg er det viktig å ta hensyn til at ved utløsningen av en eventuell artikkel 5, vil det være avgjørende for Norge å ha fri havnetilgang for allierte styrker. Her er evnen til minemottiltak en avgjørende faktor.

Konklusjon

Det er tydelig at miner utgjør en potensiell trussel for det norske samfunnet. I en verden der teknologien og kompleksiteten er med på å drive kostnadene per plattform opp, blir marinen mer og mer sårbar og risikovilligheten blir lavere. Derfor vil også en mistanke om at det kan være miner i et område få større påvirkning på de beslutningene som tas og virke svært begrensede.

Videre ser vi at Forsvaret må være forberedt på å kunne operere i store deler av verden og at samhandling med allierte styrker er et viktig fokusområde.

2.2.2 Kapabiliteter

Basert på behovsanalysen vil vi her presentere de overordnede kapabilitetene det fremtidige minemottiltakskonseptet må ha.

Evne til kartlegging av havbunn og selvstendig detektering av trusler

Det endelige konseptet må bære systemer som skal kunne detektere miner i alle nivåer i havvolumet. Samtidig må systemet kunne kartlegge størst mulig område på en effektiv måte.

Det vil også være en operativ fordel om systemet kan gjennomføre skjult kartlegging av et område.

Evne til uskadeliggjøring av alle minetrusler

Det endelige konseptet må inneha kapasiteter som selvstendig kan uskadeliggjøre forskjellige minnetyper gjennom detonering, eventuelt effektiv kartlegging og varsling av trusselens posisjon. Dette innebærer at man må kunne bære med seg utstyr som kan brukes mot enkeltstående miner.

Det endelige konseptet må også ha evne til å sveipe miner. Dette innebærer da at systemet må kunne etterlikne alle kjente typer fartøyssignaturer, militær- og sivil-trafikk. Det vil også være en mulighet å midlertidig uskadeliggjøre minene ved jamming. Dette gjøres ved å eksponere minene for et influens- og akustiskfelt som støyer over og skjuler den reelle trafikken i området.

Evne til egenbeskyttelse

Det fremtidige minemottiltakskonseptet må være konstruert på en slik måte at det ikke utsetter personell eller materiell for unødvendig risiko. Det innebærer at løsningen enten må være bygget opp på en slik måte at man kan oppholde seg i operasjonsområdet, dette innebærer krav til signatur og sjokk. Eventuelt at konseptet bygges opp på en slik måte at minneoperasjonen kan foregå fra utenfor trussel-området, slik at bare et minimum med materiell blir sendt inn.

Vi legger til grunn at konseptet selvstendig vil ha en lav grad av egenbeskyttelse mot begrensede militære eller asymmetriske styrker. Trusler fra regulære militære kampanheter forutsettes i hovedsak ivaretatt gjennom ekstern styrkebeskyttelse.

Evne til kort reaksjonstid

Det fremtidige minemottiltakskonseptet må kunne nå hele det forventede operasjonsområdet på kort tid. For å senke reaksjonstiden og øke mobiliteten forutsettes det at systemene for deteksjon og uskadelig gjøring av minetrusselen må kunne utplasseres fra både plattformer på land og havet. Samtidig bør det utvikles et konsept som muliggjør transport til operasjonsområder andre steder i verden. Enten over sjøveien eller land.

Evne til å samhandle med eksisterende fartøysstruktur

Det er viktig at det endelige konseptet må passe inn i eksisterende struktur i Forsvaret og kunne etterforsynes av eksisterende logistikk. Det er også viktig at man bygger på den kunnskapen, kompetansen og teknologien som eksisterer i Forsvaret i dag. Det er videre viktig at systemene er tilrettelagt for å understøtte andre felles internasjonale logistikkonsepter spesielt innenfor NATO-styrkene.

2.2.3 Risikoanalyse

Risikoanalysen blir utført for å avdekke risikoen for prosjektet. Hensikten er å danne et bedre beslutningsgrunnlag, og vil påvirke hvilket alternativ vi vil anbefale. Analysen vil ta for seg tre hoveddeler:

- **Ytelse** (Anvendbarhet, teknologisk yteevne)
- **Økonomi** (Byggekostnader, levetidskostnader, vedlikehold)
- **Tid** (Gjennomførbarhet, tidsbruk)

For å innlede analysen vil vi ta for oss det industrielle sivil-militære samarbeidet vi har i Norge. Gjennom oppgaven blir det gjort fortløpende betraktninger knyttet til risiko og følgelig kommer det noen innledende betraktninger.

Sivil-militært samarbeid

Nasjonale sikkerhetsbehov har gjort det nødvendig med utvikling av forsvarsmateriell spesielt egnet for vår topografi, klima og geografiske plassering. Nært samarbeid mellom Forsvaret, FoU-miljøene (FFI) og norsk forsvarsindustri har vært avgjørende i møte med behovene. Dette kaller vi Trekantsamarbeidet, og er illustrert i figur 5.



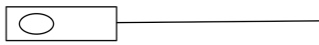
Figur 5: («Trekantsamarbeidet», (2015-2016), Meld. St. 9)

Forsvaret må kunne nyttiggjøre seg ny teknologi for å løse sine oppgaver. Forskning og utvikling på høyt internasjonalt nivå er en nødvendig forutsetning for å opprettholde en fortsatt konkurransedyktig, nyskapende og kosteffektiv norsk forsvarsindustri. FoU-samarbeid og kompetansebygging vil i noen tilfeller være nødvendig ut fra nasjonale sikkerhetshensyn. Trekantsamarbeidet mellom Forsvaret, FFI og forsvarsindustrien er et nasjonalt komparativt fortrinn som vil bli utviklet videre (Forsvarsdepartementet, (2015-2016), Meld. St. 9). Dette samarbeidet vil være risikonedsettende for både ytelse, økonomi og tid. Ny teknologi blir sikret både gjennom forskning fra FFI, samt bruk av ny teknologi fra sivil næring. Industrien i Norge er ledende internasjonalt når det gjelder offshore og marin virksomhet. På grunn av det gode samarbeidet og det teknologiske fortrinnet anbefaler vi at fartøyet blir utviklet og produsert i Norge. Tett tilknytning mellom produsenten og Forsvaret vil redusere risikoen både når det gjelder økonomi og tid. Vi ønsker også å fokusere på å bruke eksisterende teknologi, som minsker behovet for forskning som igjen vil redusere utviklingstiden.

Vi ser også for oss å benytte oss av teknologien som brukes i dag i forbindelse med sensorer og våpen, det vil si HUGIN/MUNIN og minesniper, samt allerede eksisterende sonar og kommunikasjon. Dette er for å redusere risiko angående tid og økonomi ytterligere.

2.2.4 Presentasjon av mulige løsninger

Som innledning til hvordan fremtidens minevåpen skal se ut vil vi først presentere hvilke sensorer vi mener bør være en del av fremtidens minekonsept. Anbefalingen er basert på teknologi som er kjent brukt i Forsvaret i dag og sensorer som vi i samråd med FFI ser at det kan være taktisk å anskaffe i fremtiden.

Sensor		Teknisk data	Kommentar
HUGIN ¹		Lengde: 5,2-6.4m Diameter: 0.75m Vekt: 1000-1500kg	Brukes til overvåking ned til 4500m
MUNIN ²		Lengde: 3-4m Diameter: 0,34m Vekt: <300kg	Brukes til overvåking ned til 1500m
Minesniper ³		Lengde: 1,65m Diameter: 0,511m Vekt: 41,6kg	Brukes til nøytralisering av minetrusler
Influens Sveip ⁴		Magnetisk og akustisk	Lettvekts influens sveip er under utvikling
Mekanisk Sveip ⁵			Lettvekts mekanisk sveip er under utvikling

Tabell 1: Oversikt over sensorer som brukes i dag og er forventet implementert

HUGIN brukes allerede i en utgave i Forsvaret i dag og er velkjent teknologi. MUNIN er en litt mindre utgave undervanns sensor, men som til gjengjeld er vesentlig lettere og mindre.

¹ Kilde: (Kongsberg maritim, u.å, Atonomus Underwater Vehicle, HUGIN)

² Kilde: (Kongsberg maritim, u.å, Atonomus Underwater Vehicle, MUNIN)

³ Kilde: (Kongsberg maritim, u.å, Minesniper MK III veapond)

⁴ Kilde: (Vedlegg 4)

⁵ Kilde: (Vedlegg 4)

Minesniper er en kablet overvåkningsenhet som kan brukes til å filme et objekt. Den har også muligheten til å utløse en mindre ladning ved siden av minen og på den måten destruere trusselen.

FFI i samarbeid med Sjøforsvaret jobber med utviklingen av neste generasjons sveip, som skal implementeres på dagens fartøyer. Dette er for å hente erfaringer og er tenkt implementert i den nye løsningen. De jobber i utgangspunktet med to typer sveip. Det ene er en influens sveip, som kombinerer akustisk og magnetisk signatur. Det andre er en mekanisk sveip som skal mekanisk løsne eller utløse minene (Vedlegg 4).

Disse sensorene er kjent teknologi som enten er eller er på vei til å bli implementert i eksisterende struktur. Den største risikoen her er knyttet til influens og mekanisk sveip. Selv om prinsippene er enkle er det være behov for å oppgradere de gamle systemene vi har i dag slik at de passer inn i den fremtidige fartøysløsningen.

Minedykkerkommandoen har en sentral rolle i arbeidet mot minetrusselen i dag. Minedykkere blir ofte deployert fra dagens minefartøy, men er ikke avhengig av denne plattformen for å kunne operere. Ettersom minedykkerne vil ha et innsatsområde for seg selv og ikke være direkte avhengig av den øvrige minemottiltaks- strukturen vil vi ikke se nærmere på deres rolle videre i denne oppgaven.

Alternativ 0: Videreføring og levetidsforlenging av dagens kapasiteter med Alta- og Oksøy-klassen.

Denne løsningen tar utgangspunkt i å videreføre dagens kapasiteter, og samtidig gjennomføre en levetidsforlengelse. Dagens fartøyer er bygget for å kunne operere inne i de minelagte områdene, katamaranskrogene med løftevifter gjør at båtene har større evne til å motstå sjokk. I tillegg er skrogene bygget i en glassfiber kompositt og sammen med degaussinganlegget (metode for å hindre/ redusere uønsket magnetisk felt fra fartøyet) får de en begrenset magnetisk signatur.

Alternativ 1: Utvikling av nye skrog med liknende kapasiteter som Alta- og Oksøy-klassen.

Denne løsningen bygger på at minemottiltaksoperasjoner skal kunne foregå fra mineryddingsfartøy som selv er konstruert og sikret slik at de kan operere inne i et minefelt. De nye skrogene skal utvikles basert på erfaringene vi har fra Alta- og Oksøy-klassen.

Alternativ 2: Overføring av sensorer og anti mine kapasiteter til modulære løsninger som kan deployeres fra både eksisterende sivil og militær struktur

Denne løsningen tar utgangspunkt i at fremtidig mine mottiltak vil foregå fra eksisterende sivile og militære fartøy. Nødvendige kapasiteter må designes slik at de kan monteres på konteinerbaserte løsninger og deployeres fra forskjellige sjøgående plattformer. Det eksisterer allerede slike enheter for HUGIN i Forsvaret i dag.

Alternativ 3: Utvikling av en autonom plattform som kan helt eller i forskjellige løsninger ta over dagens behov

Denne løsningen tar utgangspunkt i en gradvis utfasing av dagens kapasiteter samtidig med innfasing av de nye. Her bygger løsningen på at sensorene vi i dag bruker for å detektere og uskadeliggjøre miner vil bli overført til autonome USVer som vil fungere som en transportenhet ut til operasjonsområdet. Store deler av operasjonen vil foregå autonomt, men overvåket av personell på land eller om bord på et moderfartøy.

For transport av denne USVen langs Norskekysten og til internasjonale operasjoner bør plattformen konstrueres på en slik måte at den uten store endringer kan fraktes over land. Samtidig bør det sees på muligheten for utvikling av et større moderfartøy som skal kunne bære med seg flere slike USVer med forskjellige modulløsninger.

Alternativ 4: Samhandling mellom bemannede og autonome fartøy

Denne løsningen kan sees på som en mellomløsning mellom Alternativ 0, 2 og 3. Vi beholder fartøyskapasitet slik som den vi har i dag, med både konteiner løsninger og dedikerte mineryddings fartøy. Videre vil også fase inn en autonom USV løsning som kan ta over noen av fartøyenes oppgaver og fristille disse større enhetene fra enklere oppdrag.

2.2.5 Sammenlikning av mulige løsninger

Sammenligningen vil i hovedsak se på de forskjellige løsningenes tekniske fordeler og utfordringer, vedlikeholdsbehov, levetid, risiko og relative kostnadsanslag.

Alternativ 0: Videreføring og levetidsforlenging av dagens kapasiteter med Alta- og Oksøy-klassen.

Disse fartøyene ble bygget i perioden 1990-1997 og har en forespeilet levetid til 2025. Skal disse fartøyene videreføres er man avhengig av en levetidsforlenging.

Fordelen med å gå for en slik løsning er at fartøysklassene i dag bygger på kjent og utprøvd struktur. Sjøforsvaret har opparbeidet seg erfaringer knyttet til bruk og kapasiteter som er velkjente. Klassene er konstruert for å kunne operere inne i minneområdet, med tanke på lav signatur og egen motstandsevne mot sjokk.

Risikoen knyttet til omfanget på nødvendige utskiftningskostnader for levetidsforlengelsen kan bli store. Det er også grunn til å tro at vedlikeholdskostnadene inntil levetidsforlengelsene er gjennomført vil bli kostbart.

Alternativ 1: Utvikling av nye skrog med liknende kapasiteter som Alta- og Oksøy-klassen.

Denne løsningen vil baseres på dagens fartøyer og vi vil da få en forlenging av kapasitetene vi har i dag. Fordelen med dette konseptet er at det gir en mulighet til å hente erfaringer fra Alta- og Oksøy-klassen for å utvikle en ny fartøysklasse. Samtidig kan mye av den kjente teknologien og systemene om bord videreføres. Fartøyene vil kunne konstrueres for å operere inne i operasjonsområdet, med tanke på lav signatur og egen motstandsevne mot sjokk.

Ulempen med denne løsningen er at den er relativt kostbar og tidkrevende og innebærer en større risiko. Denne løsningen vil i hovedsak ha de samme kapabilitetene som dagens fartøyer og fremdeles ha en risiko for personell i operasjonsområdet.

Alternativ 2: Overføring av sensorer og anti mine kapasiteter til modulære løsninger som kan deployeres fra både eksisterende sivil og militær struktur

Denne løsningen fristiller minemottiltakskapasitetene fra spesifikke fartøy og bygger på en ide om at minemottiltaks operasjoner skal kunne foregå fra allerede eksisterende fartøy. Den største forskjellen fra denne løsningen sammenliknet med dagens måte å operere på er at man ikke har egne fartøy dedikert til minemottiltak.

Fordelen med dette er at det er billig å produsere og drifte, samtidig som det er fleksibelt og lett å skalere med tanke på operativt behov. Det er også enkelt å deployere over lengre avstander på kort tid.

Dette alternativet vil innebære lavest risiko knyttet til økonomi, tid til produksjon og implementering. På den andre siden vil det innebære en stor risiko knyttet til tap av ytelse. Utfordringene er at det vil knytte opp ressurser fra andre fartøysklasser som egentlig er tiltenkt andre oppgaver. Eventuelt at man implementerer sivile fartøy inn i den militære strukturen for å løse oppdragene ved behov. Ytelsen vil også svekkes på grunn av tap av sveipe kapasitet.

Alternativ 3: Utvikling av en autonom plattform som kan helt eller i forskjellige løsninger ta over dagens behov

Denne løsningen ser for seg flere autonome fartøyer som kan drive selvstendig søk og destrusering. Fordelen med denne løsningen er at den gir mulighet for å større fleksibilitet. Flere mindre selvstendige enheter kan også gi økt operativitet.

Denne løsningen vil sammenlikning med alternativ 0 og 1 ha et lavere personellbehov. En mindre gruppe operatører, i kombinasjon med autonome systemer, kunne overvåke flere operasjoner over et større område på en gang. Risikoen med en helt ny løsning er mangelen på kompetanse og erfaring. Avhengig av kompleksiteten vil det innebære en risiko knyttet til utviklingen av en slik plattform. Dersom eksisterende struktur blir faset ut før den nye strukturen er operativ vil det føre til lavere operativitet i en periode.

Alternativ 4: Samhandling mellom bemannede og autonome fartøy

Denne løsningen vil gi større handlingsfrihet med forbehold om at man viderefører like mange bemannede fartøy som vi har i dag. Videre vil denne løsningen kunne gi større forutsigbarhet og fungere som en overgangsløsning.

Dersom man velger å videreføre de fartøyene vi har i dag kan de fungere sammen med en autonom løsning, på den måten reduserer man risikoen knyttet til ytelse.

Oppsummering

Alle alternativene vil ha mulighet for søk og destruering av miner. Viktigst av alt vil de ha muligheten til å verifisere om området er minelagt eller ikke. Som vist til i behovsanalysen blir moderne miner smartere og smartere, ofte konstruert for å oppdage om det som passerer faktisk er et fartøy, eller en simulering. Man kan aldri kan være helt sikker på om området er sikkert, men med grundig kontroll av jakt, og eventuelt mekanisk eller influenssveip vil man med større sannsynlighet kunne garantere farvannet som sikkert.

Tiden det vil ta fra en levetidsforlengelse er gjennomført til skipet er fullt operativt er kortere ved Alternativ 0 i forhold til anskaffelsen av en liknende fartøysklasse i alternativ 1. I alternativ 3 er det vanskelig å si noe konkret om tid før full operativitet, men dette alternativet gir størst fleksibilitet i møte med nye trusler.

Det vil likevel være naturlig å videreføre alternativ 2, med konteinerbaserte løsninger, som en overgangsfase uavhengig av hvilken løsning man velger. På den andre siden er alternativ 2 den eneste løsningen som ikke muliggjør sveip.

Konklusjon

Vi ser at det er kun alternativ 0 og 1 som utelukker bruken av autonome fartøyer enten som hovedplattform eller som en støttefunksjon til andre fartøyer. En autonom USV kan også tenkes implementert som et supplement til alternativ 2. Uten å ta stilling til et endelig alternativ og 1. Minerydderskvadronens totale fremtidige sammensetning anbefaler vi utvikling av en autonom plattform til å støtte fremtidige minemottiltaks operasjoner. Autonomi kan også føre til økt operativitet samtidig som det reduserer personellbehovet og kostnadene

Vi legger derfor til grunn at det er et behov for Forsvaret i fremtiden for autonome kapasiteter og velger å gå videre med konstruksjonen av en slik plattform.

2.2.6 Beskrive av valgt konseptuell løsning med anbefaling

Løsningen ser for seg en utvikle en modulær USV som kan dekke mange av Forsvarets operative behov innen minemottakssegmentet i fremtiden. Fartøyet skal ha en størrelse som muliggjør bæringen HUGIN, som er den største sensoren vi har i dag. Samtidig som den må ha tilstrekkelig slepekapasitet til å kunne trekke lettvekts mekanisk- og influenssveip. Fartøyet vil styres autonomt, men overvåkes av operatører. All data som blir samlet inn vil bli videre-sendt til et hovedkvarter eller et moderfartøy. Det skal også legges til rette for fjernstyring og plattformen bør kunne sjøsettes både fra større fartøy samt fra land.

Utviklingen av dette fartøyet vil kunne være med å danne kompetanse og erfaringer innenfor autonome fartøy, som på en modifisert måte kan være med å løse oppgave i hele Forsvaret i fremtiden. Dette understøttes av Forsvarets ønske om større utvikling innen autonomi (Forsvarsdepartementet, (2015-2016), Prop 151S Kampkraft og bærekraft).

2.2.7 Drøfting av konseptuell løsning med henblikk på skrog og fremdrift

Så langt har oppgaven tydelig formulert hvorfor vi mener at Forsvaret bør se videre på konstruksjonen av en autonom USV som tar over for dagens måte å operere de nødvendige sensortypene.

For å vektlegge de faglige aspektene ved oppgaven vil vi avslutningsvis i konseptfasen gjøre noen innledende betraktninger på skrog og fremdriftssystem.

2.2.7.1 Skrog

Ved valg av skrogform og innledende krav til fartøyet er det viktig å se på hva som er blitt gjort tidligere. I denne drøftingen vil vi se på ulike prosjekter som er utarbeidet og videre hvilke muligheter og/ eller begrensinger vi har innenfor valg av skrogform på USVen. Vi har som vist

i vedlegg 6 sett på tre ulike autonome transportplattformer som er utviklet med tanke på utholdenhet og lastekapasitet. De tre plattformene vi har studert skiller seg fra hverandre i hovedsak gjennom skrogform med et katamaranskrog, et deplasementskrog og et undervannsskrog. Disse er med på å danne grunnlag for hva som er realistisk gjennomførbart. Videre vil vi gjøre noen betraktninger rundt hvilke innledende forhold som er best for oss før vi kommer med en overordnet anbefaling.

Innledende drøftinger av skrogdesign

Når vi skal se på innledende utformingene på skroget må vi legge til grunn hva som er mest praktisk mot vårt bruksområde. Det er samtidig viktig å ta med i betraktning hva som er reelt å få til i kombinasjon med usikkerhet og risiko knyttet til utvikling.

Katamaranskrog

Konseptet om et katamaranskrog er velkjent utforming. Det finnes i flere varianter og er langs norskekysten spesielt kjent som hurtigbåter for personelltransport. (King, (2014), s32)

Utformingen på et katamaranskrog gir en naturlig sjokkmotstand gjennom den spredte fordelingen av deplasementet. Fordi skroget er delt i to sammenliknet med et mer tradisjonelt deplasement skrog har de erfaringsmessig også lavere slepemotstand, noe som vil gi større rekkevidde. Det er også lett å se for seg at denne løsningen vil være effektiv med tanke på stabilitet ved ulike laste- og losse-systemer av tunge sensorer og ved ulike lastekondisjoner. Utfordringene som det er viktig å ta høyde for med et katamaranskrog er at det er mer plasskrevende sammenliknet med et deplasement skrog med samme dimensjonene. Videre er et katamaranskrog mer utsatt ved skade i skroget. Dersom en av delskrogene i konstruksjonen får en punktering vil fartøyet lettere få en stor krengevinkel og det vil være mer krevende å redde skipet.

Deplasement skrog

Deplasement skrog er et enkelt og velkjent konsept som finnes i utallige varianter. Det vil gi en stor lastekapasitet som muliggjør transport av tunge sensorer. Det vill imidlertid lettere la seg påvirke av ulike lastekondisjoner med tanke på stabilitet og man har ikke like stor frihet innen laste og losse mulighetene som ved et katamaranskrog.

Deplasementskroget vi vurderer i Vedlegg 6 bygger på et konvensjonelt lite deplasement skrog med åpen akterende som tillater muligheten til å heve en AUV inn på lasteplassen. Fordelen med denne løsningen er at den tillater plasseringen av den tunge AUVen lavt og sentralt i båten slik at det ikke påvirker stabiliteten i stor grad (Kongsberg maritime, (u.å.), Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform).

Undervanns/ interfase skrog

Et undervanns eller interfase skrog vil gi en meget høy lastekapasitet, samtidig som den ikke vil være lite lett påvirkelig av sjøen. Dette er fordi fartøyet ligger helt eller nesten helt nedsenket. Sammenliknet med et deplasement skrog med samme lastekapasitet vil spesielt et undervannsskrog, og til dels et interfase skrog, ha lavere slepemotstand. Når det kommer til valget av en undersjøisk eventuelt interfase plattform er det lett å stille seg skeptisk. Det er imidlertid viktig å understreke den potensielle operative gevinsten en slik enhet vil kunne gi. Det vil gjøre det mulig å gjøre søk i områder uten at en mulig fiende vet at vi har vært der.

Samtidig vil det være utfordrende med tanke på utholdenhet, navigasjon og kommunikasjon med slike plattformer. Selv om det finnes flere produsenter som lager mindre undervannsfarkoster i dag, er det ikke et teknologisk område hvor vi har mye erfaringer. Dette vil innebære større risiko ifm utvikling og testing sammenliknet med å gå for et av de mer tradisjonelle skrogene.

Anbefaling

Vi anbefaler å gå videre med katamaranskrog. Utformingen på katamaranskroget gir en naturlig sjokkmotstand mot eksplosiver gjennom skrogfordelingen i vannet. Samtidig gir den en større stabilitet ved ulike laste og losse operasjoner enn et deplasement skrog. Videre vil det ikke innebærer for mye ny utvikling som vi ville måttet gjøre ved å gå for et undervanns eller interfase skrog. Ved å se nærmere på fremdriftslinjen opp mot våre behov tror vi også man kan optimalisere utholdenheten på plattformen slik at man får lengst mulig selvstendig operasjonsfrihet.

2.2.7.2 Fremdrift

I denne drøftingen vil vi ta for oss hvilke muligheter og/eller hvilke begrensninger forskjellige typer fremdriftsløsninger gir. De forskjellige løsningene vil bli presentert, og vi vil gi en anbefaling til slutt.

Diesel:

Denne løsningen ser for seg at dieselhovedmaskineriet er direkte koblet til fremdriftssystemet til fartøyet. Konvensjonell dieseldrift er en velkjent og robust løsning. Det gir mulighet til stor rekkevidde i transitt, men er samtidig avhengig av at hovedmaskineriet er i gang til enhver tid for at fartøyet skal kunne manøvrere. Dette gjør at fartøyet er mindre effektivt i lavere driftsmodus, som i vårt tilfelle med lasting og lossing av HUGIN eller som rele mellom HUGIN og moderskipet/land når den er neddykket. Samtidig er det også en ulempe med bruk av diesel i dette tilfellet da det vil gi en større akustisk signatur, fordi man er avhengig av at en motor alltid går.

Dieselektrisk:

Det finnes ulike måter å kombinere diesel og elektrisk fremdrift. Vi vil her presentere to forskjellige løsninger.

Første løsning ser for seg at hovedmaskineriet er direkte koblet til fremdriftssystemet, likt som i løsningen over, men har i tillegg en elektromotor som er koblet på samme aksel. Fordelen med denne løsningen er at du får en hybrid mellom regn diesel og elektrisk drift. Dieselen gir god kapasitet i transitt, og elektromotoren gir lavere effektbruk og mer effektiv drift ved lavere hastigheter. Løsningen gir stor fleksibilitet, men krever større vekt og plassbehov da du må både ha dieselhovedmaskineri, samt elektromotor og en annen form for kraftgenerering, lagring og fordeling.

Den andre løsningen ser for seg en elektromotor og kun dette som fremdriftsorgan. Den er plassbesparende, gir stor kraft og er svært energieffektiv. Systemet er avhengig av kraft i form av elektrisk energi utenifra, men fleksibelt i form av at den kan bli generert / lagret på mange forskjellige måter, og plasseres mer fritt i fartøyet. Systemet har også mulighet for å være utslippsfritt og helt stille om energilagring i form av batterier blir benyttet.

Kraftgenerering / Lagring:

Den vanligste måten å generere elektrisk kraft på et fartøy er bruk av dieselgenerator. Med bruk av flere mindre generatorer kan man sørge for at motorene alltid går med optimalt turtall og dermed opererer mest effektivt tilpasset effektbehovet. Flere generatorer vil også gi større redundans. For å optimalisere effektiviteten ytterligere kan det brukes et batteri som tar det varierende behovet fra motorene og hotelldriften og jevner det ut, noe som minsker slitasje og øker effektiviteten. Hotelldriften er en samling av alle små forbrukere av kraft på fartøyet. Med et batteri har man også muligheten til å levere kraft større enn motorene kan levere. Avhengig av størrelsen på batteriene vil driftstiden uten motorene i gang forlenges. Det vil også være mulighet for ladning via land eller andre fartøy som kan forlenge driftstiden. Lenger drift på strøm vil gjøre at fartøyet holder en lavere signatur, samtidig vil det redusere driftskostnadene.

En annen mulighet for kraftgenerering som er blitt mer populært i de senere år er bruk av hydrogen brenselcelle som genererer elektrisk effekt ved hjelp av en kjemisk reaksjon med hydrogen og vann, denne er stille, har lav signatur og ingen utslipp. Ulempen med bruk av hydrogen brenselcelle er at det innfører mer kompleksitet med lagringstanker, styring og overvåking. Sammenlignet med tradisjonell generatordrift er denne teknologien enda relativt ny og kostbar.

Anbefaling:

Etttersom fartøyet vil være mye i lav operasjonsmodus, samt at fokuset i Forsvaret og samfunnet generelt i årene fremover er lavere utslipp og lavere kostnader anbefaler vi å gå for en fremdriftslinje med elektrisk motor og supplerende kraftgenerering og lagring. Dette vil muliggjøres med en batteripakke og en eller flere dieselgeneratorer. Vi anser brenselcelleteknologien som lite hensiktsmessig med tanke på kompleksitet og kostnader. Denne løsningen vil sørge for svært lave driftsutgifter med begrenset vedlikeholdsbehov ettersom dieselgeneratorene alltid kjører på optimalt turtall. Noe som igjen videre fører til lavere levetidskostnader. Avhengig av effektbehovet kan batteripakken og motorene lett skaleres. Større batterier vil gi større rekkevidde uten behov for generator, men også redusere lastekapasitet og øke innkjøpspris.

2.3 Definisjonsfase

Definisjonsfasen omfatter utarbeidelse av beslutningsunderlag for å ta avgjørelser om iverksettning av prosjektet. Her vil vi drøfte alternativer for tekniske løsninger til fartøyet med hovedfokus på konstruksjon og fremdrift. Basert på drøftingen vil vi gi anbefalte tekniske løsninger. Denne vil inneholde viktige designkriterier samt funksjonelle og ikke funksjonelle krav.

Operativt scenario

For å sette rammene for hvordan autonome fartøy kan løse 1. Minerydderskvadrons behov ønsker vi først å presentere en operasjonell beskrivelse av hvordan vi mener disse fartøyene kan operere.

Konseptet bygger på en flåte med mindre autonome fartøy som kan løse oppgaver autonomt basert på ulike oppdrag. De autonome fartøyene opererer selvstendig, sammen med andre like farkoster eller i tilknytning til et moderfartøy. Dette vil avhenge av hvilken struktur man velger for 1. Minerydderskvadron i fremtiden. Operasjonen skal overvåkes fra en styringssentral om bord på et moderskip eller fra land.

Farkosten må være liten og lett nok til at den kan transporteres om bord på et moderfartøy, samtidig som det bør foreligge en mulighet for transport over land. Den bør ha en tilstrekkelig rekkevidde til at den kan operere fremskutt selvstendig, samtidig bør den ha utholdenhet nok til at den kan lade AUVer om bord og kunne sende sensor data videre til en styringssentral.

På denne måten får vi en farkost som kan sendes ut for å møte en innkommende fartøysforsterkning, sveipe ankomstleden og sørge for en trygg passasje inn til norske havner. Ved mistanke om at det er miner i et område kan man sende ut en USV for å undersøke området, ved hjelp av HUGIN. På den måten settes ikke store materielle ressurser eller personell i unødig fare. Fordelen med flere små enheter er også at den muliggjør å operere på flere steder samtidig.

2.3.1 Innledende dimensjonerende krav

Som et resultat av anbefalingen fra konseptfasen om å utvikle en autonom plattform for transport av de nødvendige sensorene ut i operasjonsområde vil vi videre presentere de dimensjonerende kravene for fartøyet. Vi deler kravene inn i 16 systemkapabiliteter.

Krav til systemkapabiliteter

Dette underkapitlet skal beskrive kravene til den funksjonelle delen av systemkapasiteten.

Nr.	EGENBESKYTTELSE
1	<p><u>Fartøyet skal ha evne til å motstå sjokk</u></p> <p>Ettersom USVen planlegges for å operere inne i trussel området bør det være konstruert på en slik måte at det har en egen evne til å motstå sjokk dersom en mine skulle gå av i nærheten av fartøyet.</p> <p>Dette vil verifiseres ved at det skal gjennomføres en sjokktest på skroget, både i modell og fullskala.</p> <p>Referanse: NATO STANAG 4141 (Shock Testing of Equipment for Surface Ships)</p>
2	<p><u>Fartøyet skal ha lav egensignatur</u></p> <p>Ettersom USVen er planlagt for å operere inne i trussel området bør det være konstruert slik at fartøyet har lavest mulig egensignatur for å sikre at fartøyet selv ikke utløser noen av minene.</p> <p>Dette vil verifiseres ved å gjennomføre en magnetisk og akustisk influens måling av fartøyet.</p> <p>Referanse: NATO STANAG 1333 (Protection of vessels from electromagnetic mines - amp-14) NATO STANAG 1418 (Standards for naval mine warfare acoustic measurement - amp-15 edition a)</p>
3	<p><u>Fartøyet skal ha en evne til å motstå harde og myke trusler</u></p> <p>Ettersom man legger opp til at fartøyet skal kunne operere på egenhånd stiler dette krav til at det må ha en evne til å beskytte seg selv mot mindre asymmetriske trusler. Videre er det også avgjørende at kommunikasjonen med operasjonssentralen foregår på et kryptert nettverk slik at ikke fartøyet lar seg overstyres av uønsket personell.</p> <p>Dette vil verifiseres gjennom å teste fartøyets evne til å motstå software angrep og evne til å forsvare seg ved et potensielt angrep.</p>

4	<p><u>Fartøyet skal ha lav radarsignatur</u></p> <p>For å øke operativ evne skal fartøyet ha lav radarsignatur, slik at det ikke er like lett for en ukjent styrke å overvåke våre operasjoner.</p> <p>Dette vil verifiseres ved å gjennomføre en simulering av radarsignatur før fartøyet bygges og en test av radar signatur i fartøyets fulle størrelse.</p>
5	<p><u>Fartøyet skal ha en egen evne til å håndtere interne trusler</u></p> <p>For å sikre materiell og utholdenhet skal fartøyet konstrueres for å selv kunne håndtere interne trusler som brann, motorhavari og systemsvikt.</p> <p>Dette vil verifiseres ved å utarbeide en risiko analyse og sikre at det finnes tilstrekkelig redundans på nødvendige systemer.</p>
	<p>LAST</p>
6	<p><u>Fartøyet skal ha et modulært lastesystem</u></p> <p>For at fartøyene skal kunne løse alle behov til 1. Minerydderskvadron må lastesystemet være modulært slik at man kan bytte ut operasjonsmodul avhengig av oppdraget. Dette verifiseres ved at fartøy og modul skal fungere separat.</p>
7	<p><u>Fartøyet skal dimensjoneres slik at det har tilstrekkelig lastekapasitet til å frakte minst en HUGIN med tilhørende systemer.</u></p> <p>For å sikre at fartøyet har tilstrekkelig lastekapasitet til å kunne bære med seg nødvendig utstyr, må den kunne bære en HUGIN med tilhørende laste og lossesystemer, ettersom HUGIN er den tyngste av sensorene.</p> <p>Dette verifiseres med en stabilitetstest.</p>
8	<p><u>Fartøyet skal kunne laste og losse Sensorer/AUVer uten at det forringer stabiliteten</u></p> <p>For å sikre at fartøyet ikke utsettes for unødvendig risiko under operasjon, skal det konstrueres slik at den kan laste og losse AUV eller andre sensorer inn og ut av vannet uten at fartøyet blir ustabil.</p> <p>Dette verifiseres med en stabilitetstest.</p>
9	<p><u>Fartøyet skal kunne levere tilstrekkelig effekt for å opprettholde funksjonen til operasjonsmodulen.</u></p>

	<p>For å sikre operativiteten, må fartøyet kunne forsyne operasjonsmodulen med den effekten den trenger for å opprettholde driften.</p> <p>Dette verifiseres med en test av kraftforsyningen.</p>
	TRANSITT
10	<p><u>Fartøyet skal kunne transporteres over land på lastebil og om bord i et moderskip</u></p> <p>For å sikre rask reaksjonstid er det nødvendig at plattformen er lett nok til at den kan fraktes på et lasteplan over land og samtidig at det er mulig å bære flere slike fartøy på et moderfartøy.</p> <p>Dette verifiseres ved at fartøyet må konstrueres med slike dimensjoner at det ikke overstiger lastekapasiteten på en semitrailer.</p>
11	<p><u>Fartøyet skal kunne transittere 200NM med 1 tonn last uten etterforsyning.</u></p> <p>For å sikre at fartøyet kan operere selvstendig uten etterforsyninger har vi valgt å stille krav til at fartøyet skal kunne transittere fra Bergen til Molde nordover og til Mandal sørover uten å måtte etter forsynes.</p> <p>For å verifisere at dette blir oppfylt vil det bli gjennomført en slepetest på skroget som fastsetter motstanden ved forskjellige hastigheter. Disse resultatene sammen med drivstoff forbruk ved marsjfart legger grunnlaget for den totale rekkevidden.</p>
12	<p><u>Fartøyet skal kunne gå 20 knop med 1 tonn last i sea state 3.</u></p> <p>For å sikre at de sjøgående egenskapene til fartøyet er tilstrekkelige, mener vi at det bør klare å holde 20 knop ved bølgehøyder på inntil 1.25 m</p> <p>Dette vil verifiseres ved å gjennomføre en sjøgangs test av fartøyet både i modellform og full skala.</p>
13	<p><u>Fartøyet skal manøvreres autonomt, med mulighet for fjernstyring.</u></p> <p>Fartøyet skal kunne gjennomføre søk og deteksjon av trusler selvstendig, samtidig skal det manøvrere trygt til operasjonsområdet. Fartøyet skal også kunne fjernstyres om det er behov for det.</p> <p>Dette skal verifiseres med tester i forskjellige scenarioer.</p>
14	<p><u>Fartøyet skal kunne operere i hele det forventede operasjonsområdet.</u></p>

	<p>Gjennom behovsanalysen ser vi at er det ønskelig at fartøyet skal kunne operere både langs hele den norske kysten så vel som internasjonalt, den må derfor håndtere både arktiske og tropiske forhold.</p> <p>Dette verifiseres ved test under ulike klimatiske forhold.</p>
	<p>Sivile retningslinjer</p>
15	<p><u>Fartøyet bør tilfredsstillе alle kravene DNV-GL har satt som innledende føringer til autonome farkoster.</u></p> <p>Det eksisterer enda ikke et bindende regelverk for fullautonome fartøy, men DNV-GL har laget noen innledende krav som vi anbefaler at det legges til rette for. Dette er for å sikre at fartøyet tilfredsstiller nødvendige krav når det sivile regelverket er på plass.</p> <p>Dette verifiseres gjennom kravsjekk mot regelverket.</p> <p>Referanse: (DNV-GL, 2018, DNVGL-CG-0264, Autonomous and remotely operated ships)</p>
16	<p><u>Fartøyet bør tilfredsstillе krav gitt av Lov om skipssikkerhet</u></p> <p>Selv om Forsvaret ikke er underlagt samme krav som sivile fartøy anbefaler vi at det legges til rette for å tilfredsstillе de sivile kravene for skip.</p> <p>Dette verifiseres gjennom kravsjekk mot regelverket:</p> <p>Referanse: (Nærings og fiskeridepartementet, 2007, Skipssikkerhetsloven)</p>

Tabell 2: Nødvendige systemkapabiliteter

2.3.2 Drøfting av foreløpig løsning

Som vi skriver i den konseptuelle løsningen, anbefaler vi en løsning med et katamaranskrog med diesel elektrisk fremdrift. Videre er det fortsatt en del overordnede faktorer som må vurderes nærmere. Det bør gjøres en vurdering rundt om man skal satse på flest mulig ‘‘Off The Shelf’’ løsninger, eventuelt hvor mye ny utvikling som trengs for å realisere prosjektet.

Fordelen med nyutvikling er at det gjør det lettere å tilpasse akkurat det produktet man vil ha til sitt eget behov. Samtidig innebærer det større risiko med tanke på usikkerhet knyttet til resultat, tid og kostnadsnivå.

Fordelen med ‘‘Off the shelf’’ er at mindre komponenter allerede kan være mer plasseffektive enn dem man klarer å utvikle selv med spesialtilpassede løsninger. Dette blir et avveiiings spørsmål og vil avhenge av det teknologiske nivået på komponentene man skal ta for seg. Komponenter som har eksistert lenge som for eksempel dieselgeneratorer og el-motorer vil det være uhensiktsmessig å starte utvikling på selv, da denne teknologien allerede er kommet så langt at å finne en bedre løsning trolig ikke er realistisk.

Ved å konstruere plattformen med utgangspunkt ‘‘Off the shelf’’ komponenter vil man også danne grunnlag for en teknisk enkel plattform som består av mest mulig kjent teknologi. Dette kan være med på å gjøre vedlikeholdsarbeidet både enklere og billigere.

Det kan også stilles spørsmål rundt om en ny sammensetning av kjente komponenter innebærer utvikling da man ikke kjenner til hvordan komponentene fungerer sammen. Hvor vidt prosjektet blir et utviklingsprosjekt blir derfor en avveiging av hvor mange nye systemer som skal fungere sammen. Utenom utviklingen av et autonomt styringssystem, mener vi dette prosjektet ikke innebærer komplekse nok systemer til at det kan karakteriseres som et nyutviklingsprosjekt, men heller en sammensetning av kjente og eksisterende komponenter til en ny løsning.

Videre bør det også gjøres en vurdering på hvilket relative kostnadsnivå man ønsker å legge prosjektet på. Det er alltid en risiko for at et slikt prosjekt blir dyrere enn først planlagt. I tillegg til dårlig planlegging kan dette skyldes at man i starten av prosjektet har et ufullstendig bilde av hvilke oppgaver fartøyet skal kunne løse. Etterhvert som man konstruerer kan det tilkomme flere småting som man ved hjelp av en liten endring og lite kostnadspåskudd vil kunne oppnå. Det fører til at fartøyet er blitt så dyrt og tungt at man igjen må legge på flere systemer for å sikre verdiene i det etterhvert kostbare prosjektet.

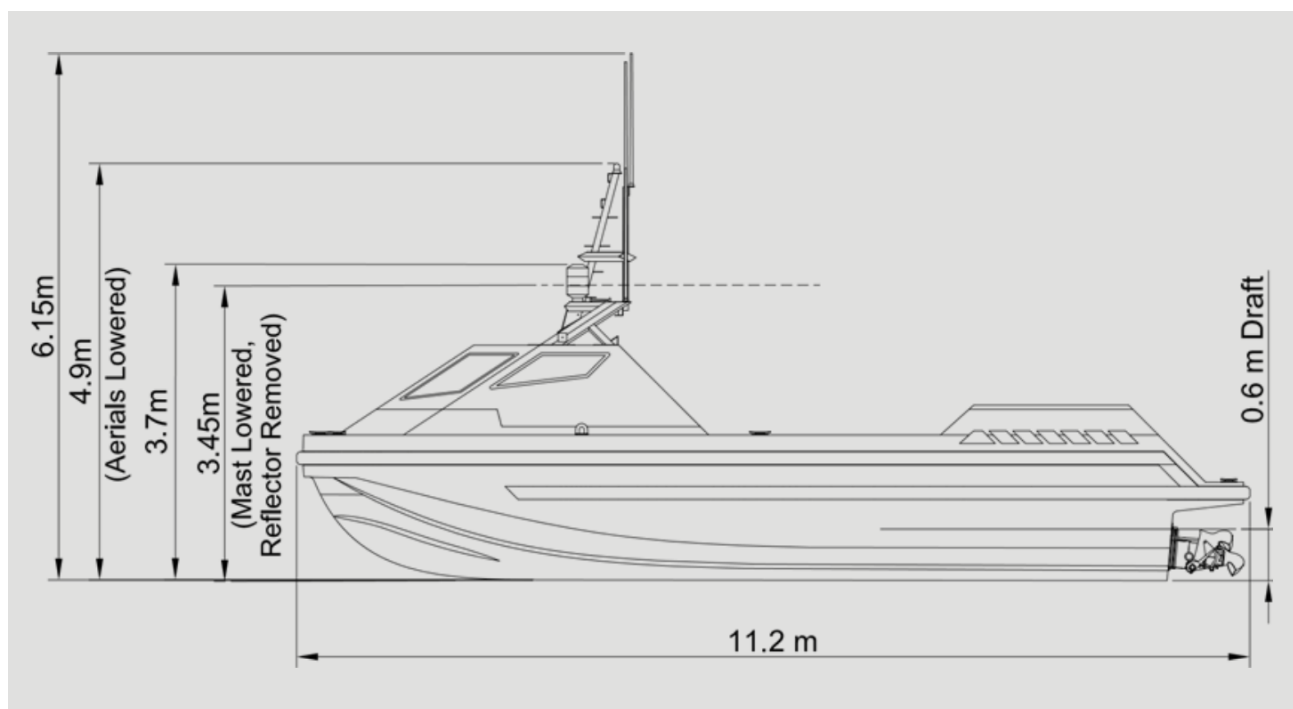
Disse utfordringene knyttet til et realistisk bilde på hvilke oppgaver fartøyet skal løse er med å skape teknisk komplekse plattformer og øker kostnadsnivået vesentlig. Det setter igjen begrensning på hvor mange plattformer man kan kjøpe. På den andre siden er en mulig løsning å bestemme seg fra starten av at man vil holde kostnadsnivået på et minimum. Dette gjør noe med t operasjonsmønsteret til fartøyet, et billigere fartøy vil sette mindre restriksjoner med tanke på risikovillighet. I arbeidet med minemottiltak kan man også argumentere for at lette og teknisk mindre komplekse plattformer vil ha større robusthet dersom det skulle være i nærheten av en detonasjon av en sjømine.

Vi anbefaler at spørsmålene knyttet til behov for utvikling og kostnadsnivå utredes videre opp mot Sjøforsvarets totale behov for en slik plattform. Basert på vår drøfting av det operative

behovet, vil vi videre i denne oppgaven basere oss på en løsning som innebærer flest mulige ‘‘Off the shelf’’- løsninger og lavest mulig kostnadsnivå, dette er for å holde kostnads og utviklingsbehovet lavest mulig.

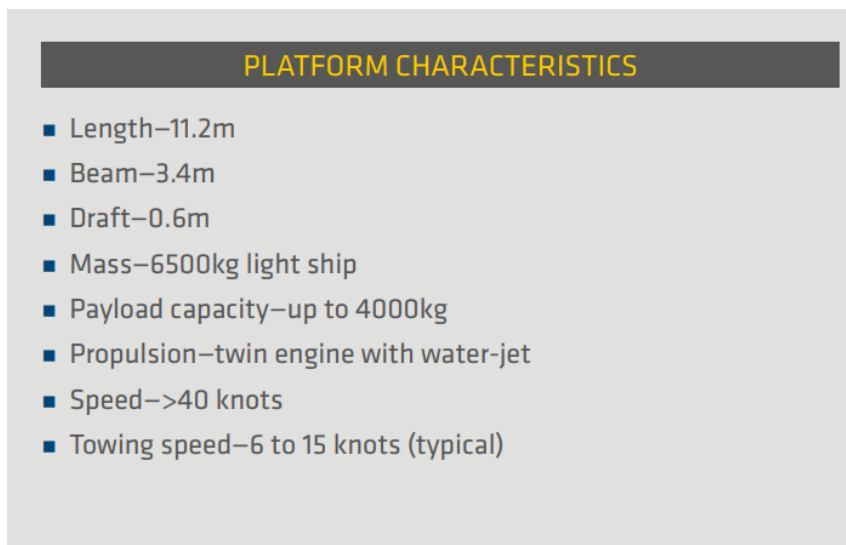
2.3.3 Valgte hovedparametere

På grunn av oppgavens omfang og tid til rådighet har vi valgt å ta utgangspunkt i en eksisterende plattform som et referansekonsept. Dette er for å sikre kvalitet og ett realistisk og håndfast utgangspunkt. Fartøyet vi har valgt heter ARCIMS og er utviklet av Atlas Electronics i Tyskland. Det tilfredsstillende de nødvendige kravene til systemkapabiliteter som vi har satt og vil derfor være med å sette de dimensjonerende kravene for vår videre utvikling. Vi vil kun bruke denne plattformen som referanse i forbindelse med dimensjonering for vårt fartøys størrelse, slepomotstand og stabilitet.



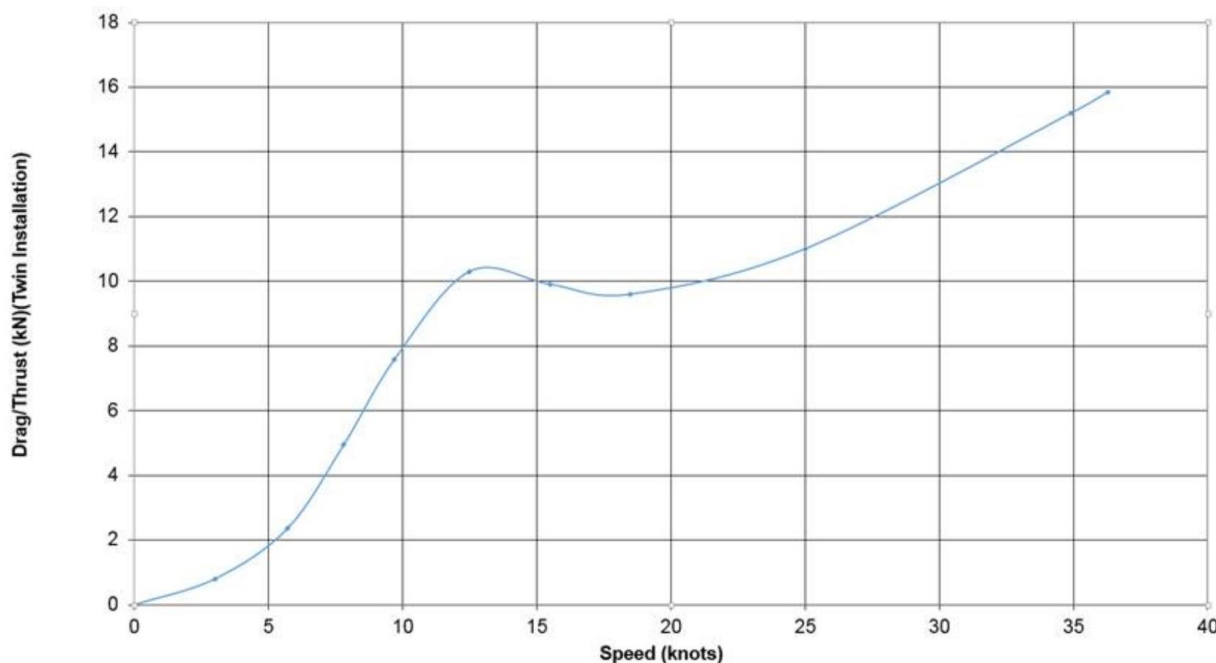
Figur 6: Tversnitt av dimensjoner på ARCIMS (ARCIMS, (u.å.), ARCIMS Modular USV system)

Fartøyet er konstruert etter følgende hovedfaktorer.



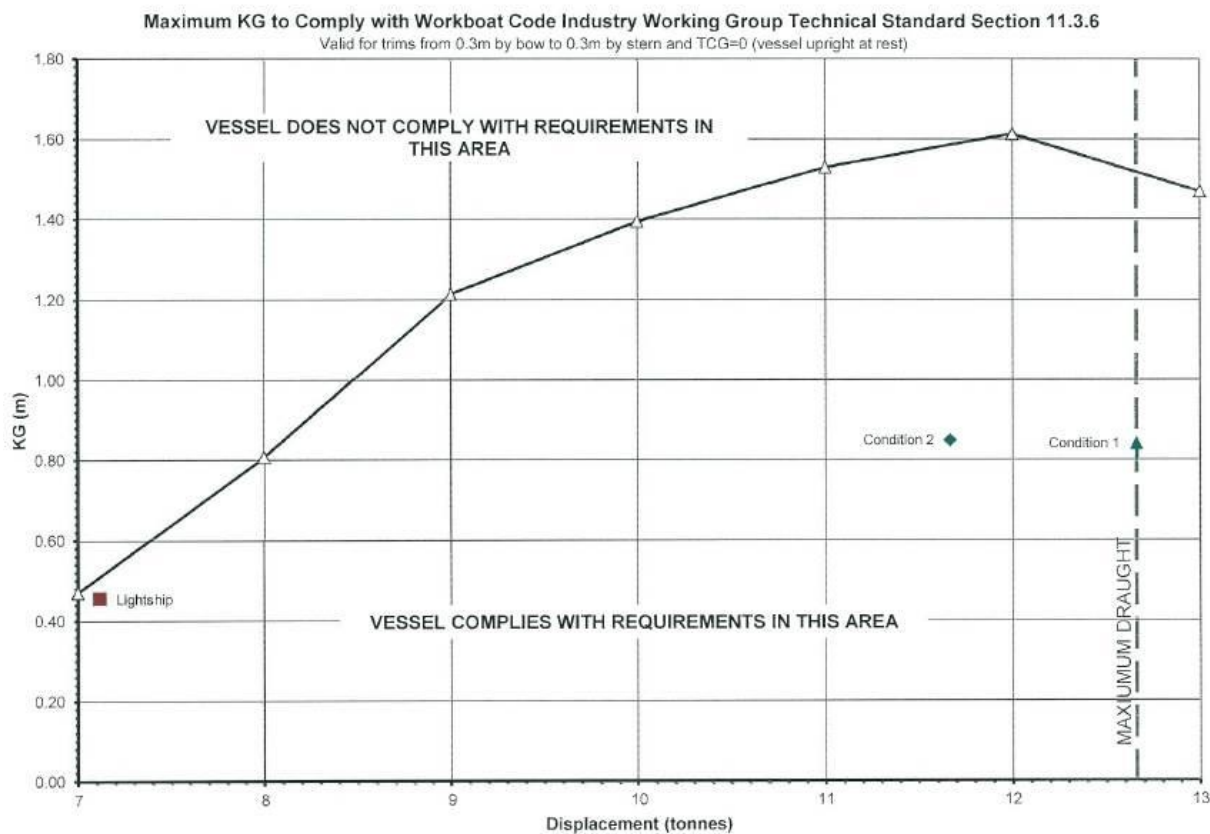
Figur 7: Hovedparametere for ARCIMS (ARCIMS, (u.å.), ARCIMS Modular USV system)

Skroget har en gitt motstandskurve som vi har basert våre utregninger på.



Figur 8: Slepemotstandskurve (Vedlegg 2)

Stabiliteten til fartøyet er vist i figur 9. Grafen viser fartøyets totale KG_{Max} ved ulike deplase- ment. Ved lastekondisjoner som gir KG innenfor grafens område er egenskapene til fartøyet akseptable.



Figur 9: Grafen viser fartøyets totale KG_{Max} ved ulike deplase- ment. (Vedlegg 2)

2.3.4 Justert designløsning med endrete parametere

I dette avsnittet vil vi gjøre noen betraktninger rundt hvordan vi mener fartøyet bør bygges opp. Vi vil drøfte forskjellige løsninger på flere parametere som må tas hensyn til.

2.3.4.1 Skips konstruksjon

Skrog

Som den konseptuelle løsningen anbefalte vil vi velge å gå videre med et katamaranskrog. Basert på de dimensjonerende kravene hentet fra ARCIMS har vi fastslått at et katamaranskrog med dimensjonene; lengde 11.2 m og bredde 3.4m, vil kunne gi oss den tilstrekkelige lastekapasiteten som er nødvendig. Samtidig muliggjør konstruksjonen innenfor disse parameterne transport over land uten politieskorte (ARCIMS, (u.å.), ARCIMS Modular USV system).

Materiale

Det er flere materialer å velge mellom når vi skal bestemme hva denne båten skal bygges av. Fartøy på denne størrelsen er i Forsvaret normalt bygget i glassfiber eller aluminium.

Aluminium er meget slitesterkt, det gir en kraftig struktur som tåler å bli behandlet røft. Dette er blant annet veldig vanlig på Forsvarets MOB- båter om bord på større fartøy. Blant annet er MOB – båtene på Nansen-klassen, Kystvakten og KNM Maud bygget i aluminium. Her skal båtene kunne løftes hurtig på sjøen og om bord igjen uten at det er risiko for at skroget tar skade av behandlingen. Ulempene med aluminium er allikevel at det er tungt sammenliknet med for eksempel glassfiber.

Glassfiber derimot er i dag brukt på flere av Forsvarets fartøy der vekt er en avgjørende faktor. Blant annet er Spesialstyrkenes High Performance Goldfish båter bygget i en glassfiber kompositt. Mindre MOB båter som brukt av Korvett våpenet er også bygget i glassfiber.

Fordelen med å bruke en glassfiber kompositt er at det er lettere enn aluminium i tillegg til at det gir en lavere magnetisk signatur. Dette er også en av grunnene til at både Alta- og Oksøy-klassen er bygget i en glassfiber-kompositt i dag.

Et skrogmateriale som først er kommet på banen de siste årene er karbonfiber. Dette er et materiale som ikke er like utbredt som glassfiber i dag, men som er blitt veldig populært de senere årene. Det er flere verft i Norge som har spesialisert seg på produksjon av båter i dette materialet og er et område hvor Norge har en verdensledende teknologisk utvikling. Blant annet verft som Brødrene AA har bygget flere passasjerferger de siste årene i karbonfiber. (Brødrene AA, (u.å.), Products)

Det svenske LÄSS prosjektet har studert hvordan lettvekts skipsdesign har påvirkningen fartøyet gjennom blant annet produksjonsmateriale i forskjellige kompositter og aluminium. De tokk utgangspunkt i et høyhastighets fartøy på 24m som fullastet har en fart på 28 knop. Her konkluderte de med at til sammenlikning med aluminium vil komposittmaterialene kunne gi en kostnadsreduksjon for produksjonen på 27-36% for skroget og en total levetidskostnads reduksjon på 5-21% avhengig av valgt materiale. De konkluderer også med at karbonfiber var det beste produksjonsmateriale på både for å senke produksjonspris, vekt og livstidskostnadene. (Olofsson, (Januar 2008), High speed craft with composite hull)

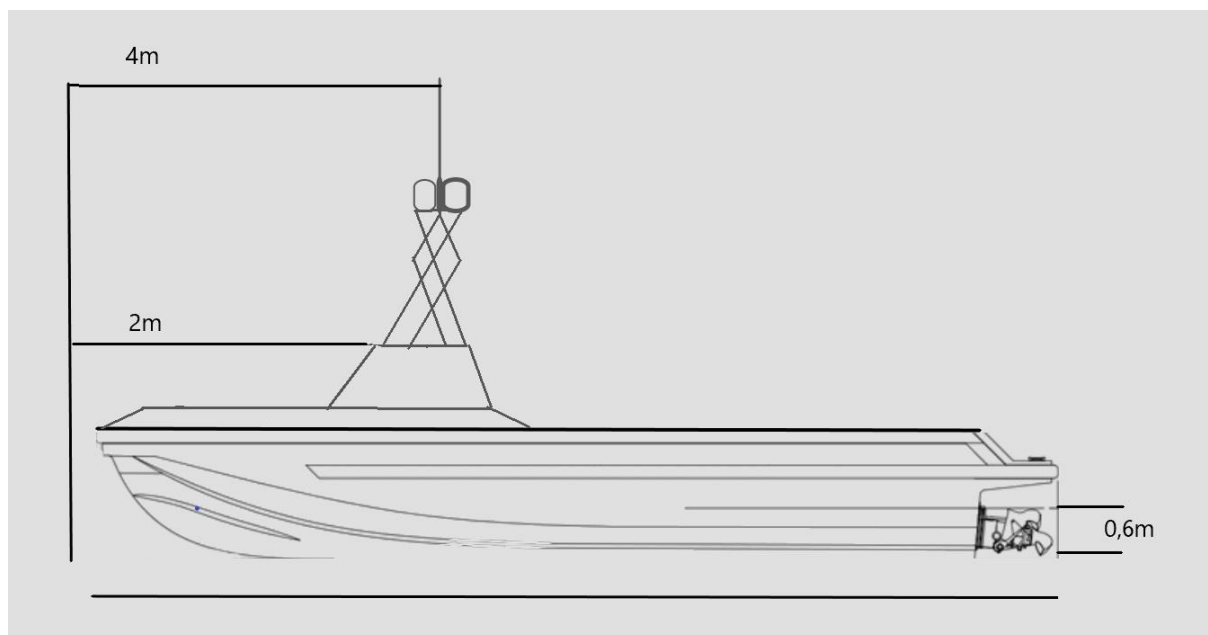
Vi anbefaler derfor at fartøyet bygges i Karbonfiber. Dette gir lavere magnetisk signatur enn Aluminium, samtidig som det er lettere enn glassfiber og vil kunne gi reduserte kostnader både i forbindelse med produksjon og total levetidskostnadd.

Skrogdesign overflate

Mange av de autonome farkostene som eksisterer i dag er konstruert med mulighet for manuell overstyring fra om bord i båten. Fordelen med dette er at det gjør manøvreringen lettere inntil de autonome systemene er gode nok til å manøvrere fullautonomt i indre farvann og havneområder. Det er også viktig å ta i betraktning at autonome fartøy enda ikke er godkjent til å seile uten mulighet for overstyring fra personell om bord i fartøyet.

Selv om det innebærer en risiko mener vi det er best å satse på en plattform uten mulighet for styring om bord. Dette frigir plass, vekt og fjerner kravene til personell komfort ombord. Videre gjør dette mulighetene større for å konstruere fartøyet med lav radarsignatur. Et mindre overbygg, rette vinkler og mindre tverrsnitts areal er med på å senke radarsignaturen.

Vi anbefaler derfor at man satser fullt på at fartøyet skal manøvrere autonomt med mulighet for fjernstyring og ikke legger til rette for styring om bord i båten. På figuren under ligger et forslag til hvordan overbygget kan konstrueres. På dette eksempelet har vi tatt utgangspunkt i katamaranskroget til ARCIMS.



Figur 10: Forslag til design på overbygget på fartøyet

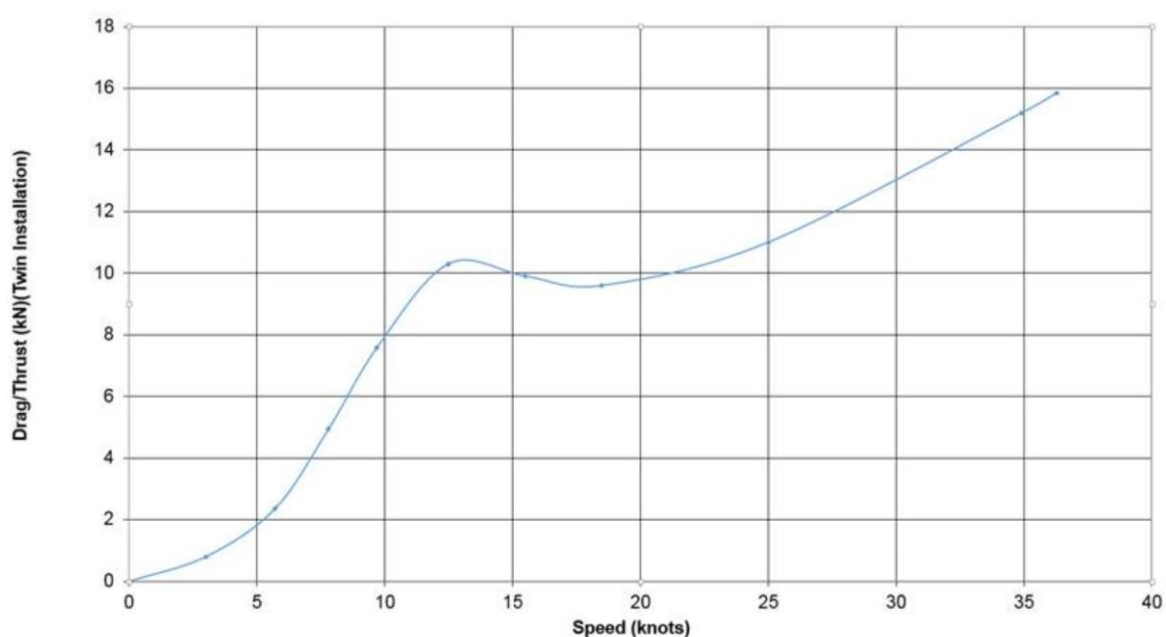
Vi anbefaler at antennemasten om bord vil beholde samme høyde for å sikre nødvendig rekkevidde på radar, kamera og ESM. Ved behov for å styre fartøyet direkte anbefaler vi at man legger opp mulighet for fjernstyring.

2.3.4.2 Fremdrift

Som den konseptuelle løsningen anbefalte velger vi å gå videre med en dieselelektrisk løsning med batterilagring. I dette delkapittelet vil vi presentere og drøfte de forskjellige komponentene i et slikt system og det vil bli gitt noen grove tall på kapasiteten disse komponentene gir oss. Vi vil også anbefale noen konkrete komponenter som danner grunnlag for vekt og dimensjonsbehov om bord.

Energibehov:

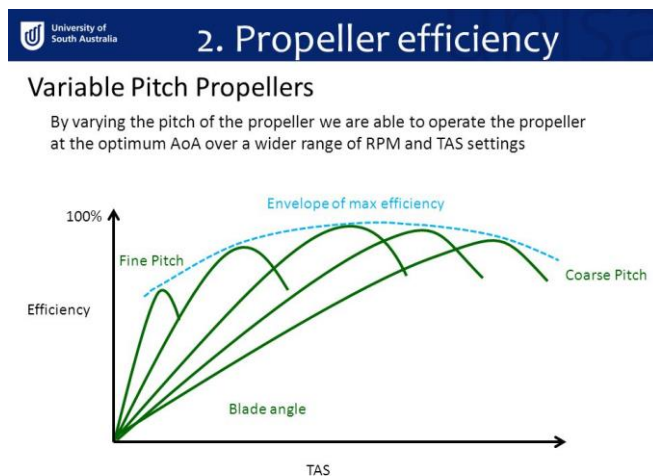
I dette avsnittet vil vi gå over energibehovet som kreves og vil gi en oversikt over de viktigste forbrukerne. Vi vil legge slepemotstandskurven til ARCIMS til grunn for beregningene rundt energibehovet. Motstandskurven tilsvarer et fartøy med totalvekt på 8.5tonn. Som vi viser i vektregnskapet senere tilsvarer dette vårt konstruerte fartøy med fulle drivstofftanker og en operasjonsmodul på 1tonn. Basert på utregningene her vil vi komme nærmere inn på nødvendig dimensjonering av fremdriftsmotor, generator og drivstofforbruk senere i oppgaven.



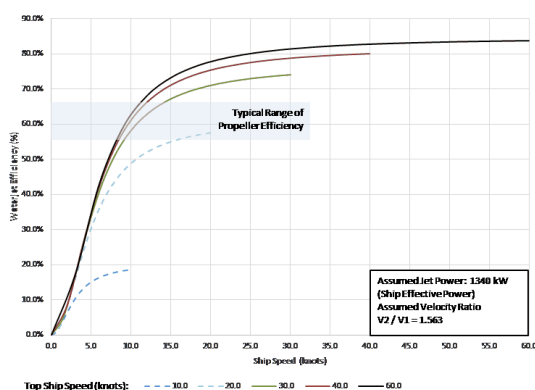
Figur 8: Slepemotstandskurve (Vedlegg 2)

$P_E = R_T \times V_s$ formelen beskriver kraftbehov som et produkt av motstanden i og farten gjennom vannet. Dette er altså effekten propellen må leverer i vannet for å oppnå denne farten. Hva som

må leveres inn på akslingen og eventuelt inn på motoren er avhengig av den mekaniske og elektriske virkningsgraden.



Figur 11: (University of South Australia, (u.å.), Propeller efficiency)



Figur 12: (Barczak, (2019), Waterjets: When to Use, Pros and Cons)

En variabel Pitch propell kan ideelt sett levere opp mot 86% effektivitet, men på et reelt fartøy vil en propell levere 70-75% mye avhengig av fart og størrelse. En vannjet leverer 50-70% i det normale driftsområdet avhengig av hastighet (Barczak, (2019), Waterjets: When to Use, Pros and Cons). Vi vil jobbe videre basert på en antagelse om at vannjeten er designet for vårt hastighetsområde med effektivitet på 60% i transittfart på 20 knop og 50% i lav fart ca 4 knop. Vi ønsker å gå for vannjet på grunn av dens robusthet mot utvendig mekanisk påvirkning og akustiske egenskaper. Vannjet er også svært gunstig når fartøyet skal lagres, fraktes og håndteres fordi den ikke har noen utstikkende deler under skroget. Som vist på figur 13.



Figur 13: Utsnitt av tversnitt av dimensjoner ARCIMS

Tap av effekt levert inn på motoren til effekt levert på aksling er avhengig av elektromotorens effektivitet. Den er ofte fra 95-98%, spesielt ved bruk av permanentmagnetmotor. Det vil også være tap i omformere, transformatorer og frekvensomformere som vanligvis er samlet ca 90% effektive. Nyere SiC MOSFET drives kan ha en mye høyere effektivitet. SiC MOSFET (Silicon Carbide Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor) er en halvleder bryter som kan styres av en lav påtrykt spenning. Bruk av SiC reduserer den interne resistansen i forhold til mer tradisjonelle silisiumbrytere. SiC baserte invertere har vist seg å ha en virkningsgrad opp til 98-99%, og samtidig ha en redusert størrelse og vekt. (Avago Technologies, (2015), SiC MOSFET Gate Drive Optocouplers)

Virkningsgraden for en transformator beregnes slik:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% = \left(\frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_b} \right) 100\%$$

Parameterne P_2 , P_0 og P_b kan finnes på merkeskiltet til og ved tester av den valgte transformatoren. Konstruksjonen og belastningen av transformatoren bestemmer virkningsgraden. Vanligvis 95% (Daware, u.å., Transformer - Losses And Efficiency).

Legger vi sammen effektiviteten til vannjetten (η_0), effektiviteten til motoren (η_{motor}) og effektiviteten til transformatorer og frekvensomformere (η_{drive}) kan vi finne ut av hvor mye effekt vi trenger å levere fra batteriet (P_L) for å oppnå ønsket fart gjennom vannet. Vi vil nå sette opp tre forskjellige scenarioer med forskjellig effektbehov og energibruk. Det er i utregningene tatt utgangspunkt i konservative effektverdier:

1. Transittfart (20knop):

$$P_E = R_T \times V_s = 9.5kN \times 10,288 m/s = 97.7kW \text{ (Effekt som må leveres til vannet)}$$

$$P_L = \frac{P_E}{(\eta_0 \times \eta_{motor} \times \eta_{drive})} = \frac{97.7kW}{(0,6 \times 0,98 \times 0,9)} = 184.7kW \text{ (Effekt som må leveres fra batteriet)}$$

2. Sakte gange i operasjonsområde (ca 4knop):

$$P_E = R_T \times V_s = 1.8kN \times 2,572 m/s = 4.63kW \text{ (Effekt som må leveres til vannet)}$$

$$P_L = \frac{P_E}{(\eta_0 \times \eta_{motor} \times \eta_{drive})} = \frac{4.63kW}{(0,5 \times 0,98 \times 0,9)} = 10.5kW \text{ (Effekt som må leveres fra batteriet)}$$

3. Sveip (7knop) Antar dobbel motstand fra uten sveip i samme hastighet

$$P_E = 2 \times R_T \times V_s = 2 \times 4kN \times 3.6 m/s = 28.8kW \text{ (Effekt som må leveres til vannet)}$$

$$P_L = \frac{P_E}{(\eta_0 \times \eta_{motor} \times \eta_{drive})} = \frac{28.8kW}{(0,5 * 0,98 * 0,9)} = 65.3kW \text{ (Effekt som må leveres fra batteriet)}$$

Fremdriften står for den største delen av energibehovet, men annen elektronikk og styring vil også ha et kraftbehov. Det vil være behov for energi til operasjonsmodulen som fartøyet transporterer. Dette innebærer for eksempel ladning av HUGIN med tilhørende utstyr eller sveip. HUGIN er oppgitt ifølge Kongsberg til å bli ladet på 5-8timer. For å lade batteriet på 24kWh vil dette bety et effektbehov på 4.8kW i 5timer eller 3kW i 8timer. (Kongsberg Maritime. (u.å.). Autonomous Underwater Vehicle, Hugin.)

På grunn av oppgavens detaljnivå vil vi ikke regne på effektforbruk av alle elektroniske komponenter om bord og må dermed gjøre et grovt overslag. Vi antar derfor at hotelldriften er satt til å ha et gjennomsnittlig forbruk på 15kW.

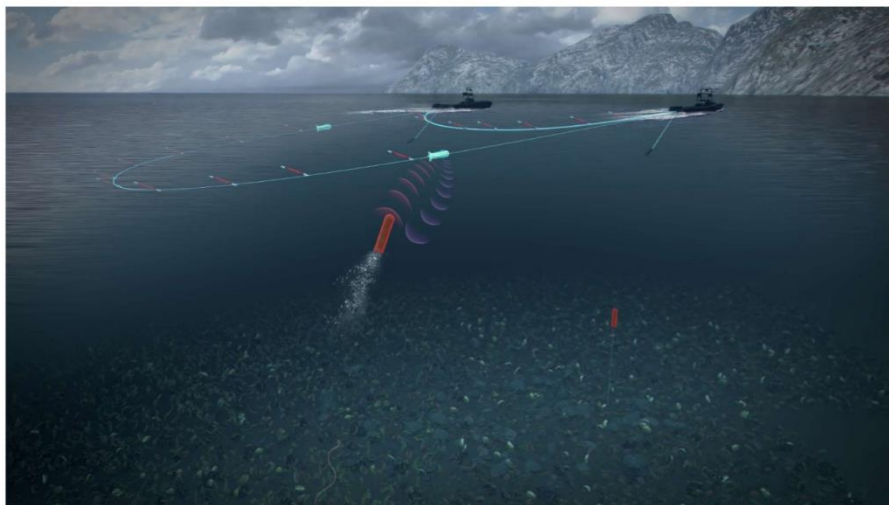
Energibehovet til sveip vil være en av de største forbrukerne om bord sett bort ifra fremdriftssystemet. Sveipet som er tenkt brukt til fartøyet er av en ny type lettvektssveip som fremdeles er under utvikling. Det faktiske energibehovet som dette lettvektssveipet krever er gradert og ettersom oppgaven er ugradert vil vi gå videre med en 250m lang 400mm² kabel.

Utrekningene for det antatte nødvendige energibehovet for dette sveipet er vist i vedlegg 7.

Vi tar utgangspunkt i to moduser for sveip avhengig av minetyper og trussel. Modus 1 vil ta utgangspunkt i en strømstyrke på 750A, med beregnet tap og akustisk støygenerering antas effektbehovet å være 10kW. Modus 2 vil ta utgangspunkt i en strømstyrke på 1000A, og med beregnet tap og akustisk støygenerering antas et effektbehov på 15kW.

Future NOR NMCM concept

- USVs towing lightweight minesweeping equipment



Figur 14: Konsept for fremtidig lettvektssveip (Vedlegg 4)

Utrekningene for drivstofforbruk baserer seg på at generatoren alltid kjører på optimalt turtall og bare må levere en gitt energimengde til batteriene som tilsvarer forbruket av motorene, hotelldrift og eventuelt sveip. Effektbehovet til fremdriftsmotorene blir alltid levert direkte fra batteriet. Når generatoren går på optimalt turtall forbruker den $b_e = 4.34 \text{ l/kWh}$. Utrekningene er vist under avsnittet om Energigenerering.

Basert på de tre forskjellige scenarioer nevnt tidligere vil vi få et totalt effekt- og energibehov:

1. Transitt (20knop)

- Effektbehov fremdrift $P_L = 184.7\text{kW}$
- Hotelldrift $P_H = 15\text{kW}$
- Total: $P = P_L + P_H = 199.7\text{kW}$
- Energibehov 20 nautiske er $E_{kWh} = 199.7\text{kWh} \rightarrow$ Energibehov per nautiske er $\frac{E_{kWh}}{NM} = 9.96 \text{ kWh}/NM$
- Drivstofforbruk med kun dieselgenerator. $\frac{E_{kWh}/NM}{b_e} = \frac{9.96}{4.34} = 2.3 \text{ l}/NM$

2. Sakte gange i operasjonsområdet (4knop)

- Effektbehov fremdrift $P_L = 10.5\text{kW}$
- Hotelldrift $P_H = 15\text{kW}$
- Total: $P = P_L + P_H = 25.5\text{kW}$
- Energibehov 4 nautiske er $E_{kWh} = 25.5\text{kWh} \rightarrow$ Energibehov per nautiske er $E_{kWh}/NM = 6.36\text{kWh}/NM$
- Drivstofforbruk med kun dieselgenerator. $\frac{E_{kWh}/NM}{b_e} = \frac{6.36}{4.34} = 1.47\text{ l}/NM$

3. Sveip (7knop)

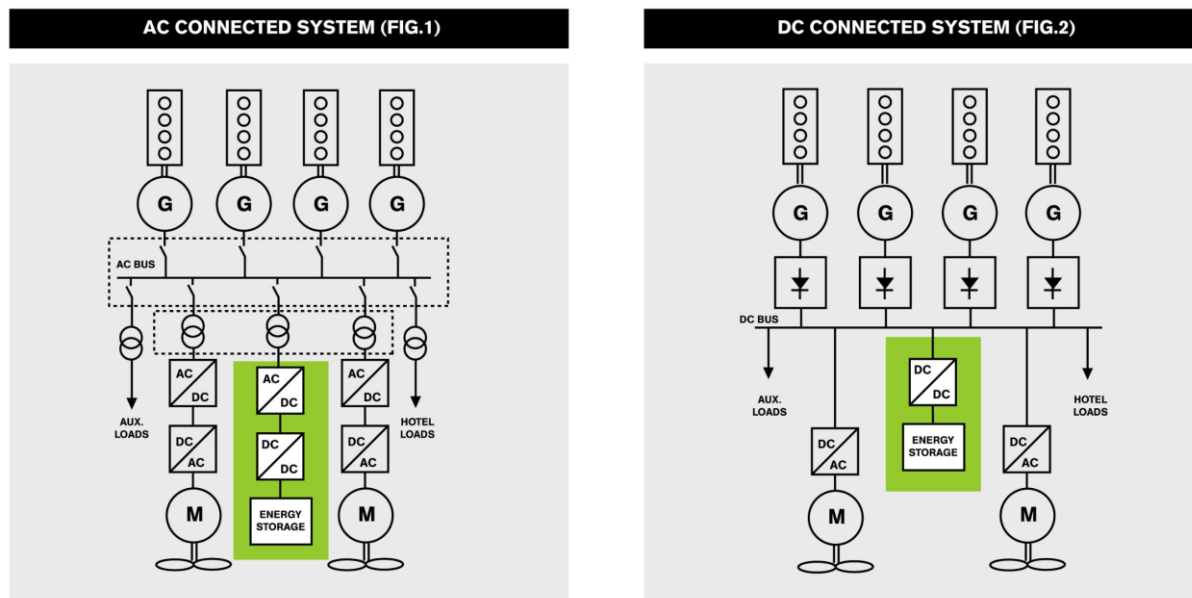
- Effektbehov fremdrift $P_L = 65.3\text{kW}$
- Hotelldrift $P_H = 15\text{kW}$
- Sveip behov $P_S = 10-15\text{kW}$
- Total: $P = P_L + P_H + P_S = 90.3-95.3\text{kW}$
- Energibehov 7 nautiske er $E_{kWh} = 90.3-95.3\text{kWh} \rightarrow$ Energibehov per nautiske er $E_{kWh}/NM = 12.9-13.6\text{kWh}/NM$
- Drivstofforbruk med kun dieselgenerator. $\frac{E_{kWh}/NM}{b_e} = \frac{12.9-13.6}{4.34} = 2.97 - 3.1\text{ l}/NM$

Som utregningene viser har vi et drivstofforbruk med beskrevet generator i transitt på $2.3\text{ l}/NM$.

I marinen opererer man med alltid ha et drivstoffnivå på over 40% for å sikre operativiteten. Dermed må fartøyet kunne transittere satt krav på minimum 200NM med kun 60% av tankkapasiteten. Med en drivstofftank på 1000l gir dette oss en maksimal rekkevidde på $\frac{1000}{2.3} = 434.8\text{NM}$ og en rekkevidde med 600l på $\frac{600}{2.3} = 260.9\text{NM}$. Dette er godt innenfor kravene som er satt, men vi anbefaler likevel å gå videre med 1000l total tankkapasitet for sikre rekkevidden. I utregningene er det da tatt utgangspunkt i slepemotstand for fartøyet med en last på 1tonn, og vi antar forbruket vil være høyere med en større last.

Fordelingssystem:

Fordelingssystemet står for energifordelingen om bord og er vanligvis representert av to forskjellige typer. Enten AC basert eller DC basert som vist på figur 15.



Figur 15: (MJR. (u.å.). MJR's Marine Energy Storage Solutions.)

Med et AC-system vil vanligvis generatorer forsyne en AC-bus som vist på figur 15. Fremdriftsmotorene som brukes i et slikt system er avhengig av en likeretter og vekselretter for å regulere driften. En tilkoblet batteripakke må også ha en vekselretter for å kunne forsyne AC-bussen. Ulempen med dette systemet er at det er et større behov for likerettere og vekselrettere, noe som fører til økt kostnad og større kompleksitet.

Med et DC-system vil spenningen fra generatorene likerettes og deretter forsyne DC-bussen med likespenning. Batteripakken vil i dette systemet være koblet via en DC/DC-konverter til DC-bussen, dette er fordi spenningen på batteriene varierer med ladningsnivået. Et slikt system vil ha en enklere oppbygning og vil dermed føre til mindre kompleksitet og lavere kostnad. Vi anbefaler derfor bruk av DC-bus.

Fremdriftsmotor:

Basert på effektbehovet vi har kommet frem til vil vi anbefale brukt av to fremdriftsmotorer på 100kW, et i hvert skrog. Bruken av to fremdriftsmotorer er den mest praktiske løsningen i et katamaranskrog i tillegg til at det gir større redundans.

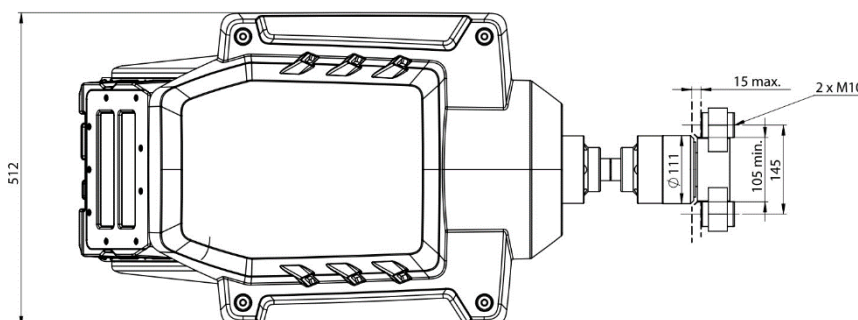


Figur 17: (Torqeedo, (2019), Torqeedo Catalog)

Inboards	Deep Blue 100i 2400
Max. propeller speed	2,400 rpm
Output (peak)	110 kW
Output (continuous)	100 kW
Torque	390 Nm
Weight (incl. electronics)	150 kg

Figur 16: (Torqeedo, (2019), Torqeedo Catalog)

Basert på det ønskede effektbehovet vil Deep Blue 100i 2400 være et tilfredsstillende valg. Denne motoren har også integrert motorkontroller i samme enhet som fører til at effektiviteten blir 98%. Samtidig gjør det enheten mer robust og vanntett. (Torqeedo, (2019), Torqeedo Catalog)



Figur 18: Tegningen for 100kW versjon var ikke å fine. Dette er tegningen for 50kW versjonen (Torqeedo, (2019), Deep Blue 50i)

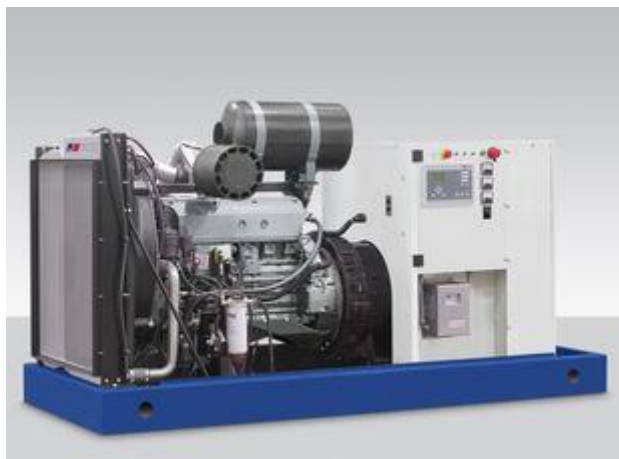
Vi kunne ikke finne dimensjonene til 100kW versjonen og antar at den har samme festeanordning som 50kW versjonen. Det vil si at total bredde blir 512mm, lengde 1000mm og høyde 500mm. (Torqeedo, (2019), Deep Blue 50i)

Dette forslaget er valgt for å få et anslag på vekt, samt som et grunnlag for hva ytelsen må være. Basert på den innledende drøftingen om å holde kostnadsnivået nede vil denne motoren både være kosteffektiv og lett tilgjengelig.

Energigenerering:

Generatorene om bord bør kunne levere tilstrekkelig kraft til å tilfredsstille transittfarten på 20 knop pluss 25%, det vil si 250kW. På grunn av valget om å bygge fartøyet som et katamaranskrog anbefales også å ha to generatorer da dette vil være mer plasseffektivt samtidig som det sikrer større redundans.

Et eksempel på to generatorer som til sammen tilfredsstiller dette effektbehovet er MTU4R0120 DS125, 125 kWe



Figur 19: (MTU, (u.å.), Diesel Generator Sets)

Dimensjon: 2336 x 1121 x 1422 mm

Drivstofforbruket er $28.8 \frac{l}{h}$ ved 100% og $21.6 \frac{l}{h}$ ved 75%.

Dette gir drivstofforbruk i liter per kWh elektrisk generert effekt på $b_e = \frac{kWe}{\frac{l}{h}} = \frac{125}{28.8} =$

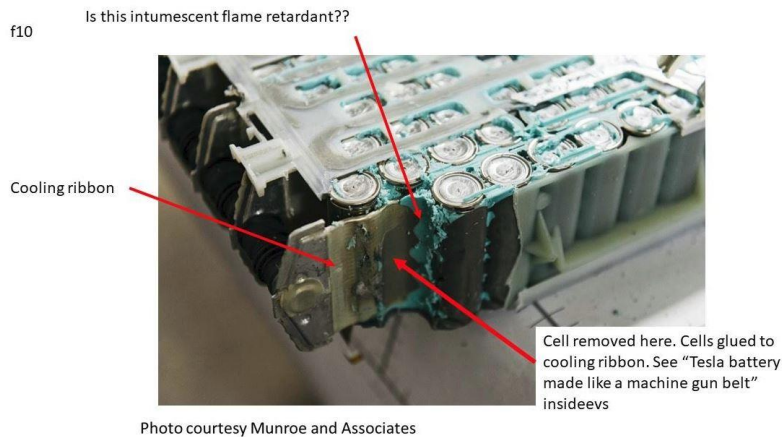
$4.34 \frac{l}{kWh}$ (MTU, (u. å.), Diesel Generator Sets)

Denne generatoren ble valgt som et eksempel for å få et forhold om størrelse, vekt og drivstofforbruk. I sluttproduktet anbefales det å se på generatorer med permanent magnet for å kunne øke effektiviteten ytterligere som samtidig reduserer vekten. På grunn av valg av energilagring vil vi anta at generatoren alltid går med størst mulig effektivitet.

Energilagring:

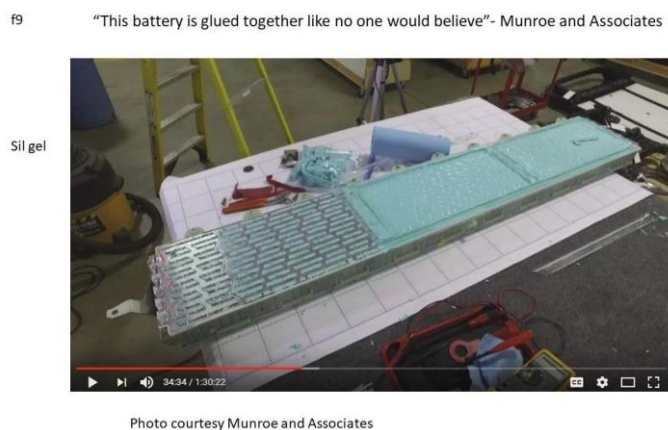
Energilagringen vil bli løst ved hjelp av batterier. Vi har utarbeidet en beskrivelse av batterienes oppbygning samt fordeler ulemper med forskjellige typer, vekt, størrelse og energitetthet er beskrevet i vedlegg 5. Tallene knyttet til energitetthet som blir presentert er basert på teknologi som allerede eksisterer i dag. Batteriteknologi er et område som er i kraftig utvikling og det er

grunn til tro at kapasiteten vil øke og kostnadene synke i løpet av kort tid. Det anbefales dermed at valg av battericeller blir tatt så nærme som mulig produksjonsstart, noe som vil øke ytelsen til plattformen. Det bør også legges til rette for oppgradering av batteripakken underveis i fartøyets levetid.



Figur 20: (Bower, George. (2018, 11.Juni). New Tesla Model 3 Battery Details, Images & Video Released)

Vi vil ta utgangspunkt i nyest mulig teknologi som vi har konkrete verdier på. Et industriområde med stort fokus på batteriutvikling er bilindustrien og et eksempel på en av de ledende aktørene er Tesla. Et eksempel er batterimodulene i Tesla Model 3 som har en energitetthet [Wh/kg] på 222Wh/kg.



Figur 21: Bower, George. (2018, 11.Juni). New Tesla Model 3 Battery Details, Images & Video Released)

Figur 21 viser en hel modul. Den veier 94,4kg og har en kapasitet på 20,96kWh. På grunn av den modulære oppbygningen er det lett å skalere opp antall moduler for å møte ønsket energilagringsbehov.

Størrelsen er 1715 mm lang, 292mm bred og 90mm tykk. (Bower, George. (2018, 11.Juni). New Tesla Model 3 Battery Details, Images & Video Released)

Under følger et grovt anslag om hvor langt vi kommer på kun batteridrift. I utregningen er det ikke tatt hensyn til at 5 moduler vil være lettere enn 10 moduler, bakgrunnen for dette er at vi antar at differansen vil være liten.

5 moduler $E_{kWh} = 104,8$ kWh, vekt 472 Kg

Hvor langt kan vi gå på kun batterier:

$$\text{Transitt (20knop): } E_{kWh}/NM = 9.96 kWh/Nm \rightarrow \frac{E_{kWh}}{E_{kWh}/NM} = \frac{104.8}{9.96} = 10.5NM$$

$$\text{Sakte gange (4knop): } E_{kWh}/NM = 6.36 kWh/Nm \rightarrow \frac{E_{kWh}}{E_{kWh}/NM} = \frac{104.8}{6.36} = 16.5NM$$

$$\text{Sveip (7knop): } E_{kWh}/NM = 12.9-13.6 kWh/Nm \rightarrow \frac{E_{kWh}}{E_{kWh}/NM} = \frac{104.8}{12.9-13.6} = 7.7-8.1NM$$

10 moduler $E_{kWh} = 209,6$ kWh, vekt 944 kg

Hvor langt kan vi gå på kun batterier:

$$\text{Transitt (20knop): } E_{kWh}/NM = 9.96 kWh/Nm \rightarrow \frac{E_{kWh}}{E_{kWh}/NM} = \frac{209.6}{9.96} = 21NM$$

$$\text{Sakte gange (4knop): } E_{kWh}/NM = 6.36 kWh/Nm \rightarrow \frac{E_{kWh}}{E_{kWh}/NM} = \frac{209.6}{6.36} = 33NM$$

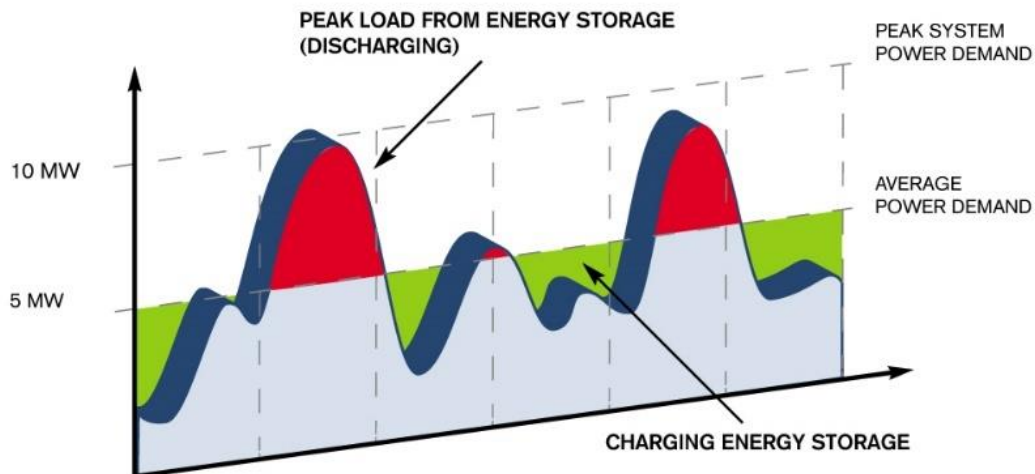
$$\text{Sveip (7knop): } E_{kWh}/NM = 12.9-13.6 kWh/Nm \rightarrow \frac{E_{kWh}}{E_{kWh}/NM} = \frac{209.6}{12.9-13.6} = 15.4-16.2NM$$

Med bakgrunn i resultatene anbefaler vi å bruke 10 moduler. Dette vil sikre større rekkevidde ved helelektrisk drift samt det vil redusere antall sykluser batteriene utsettes for og dermed forlenger levetiden. Samtidig vil dette sikre at høy nok effekt kan leveres kun fra batterier.

Utregningene over viser at helelektrisk drift er mulig i relativt lange perioder, spesielt ved sakte gange.

Generatorene vil etter behov lade opp batteriene og eksempelvis holde ladningsnivået mellom 40-80%. Dette kan justeres avhengig av ønsket driftsmønster. Fulladede batterier vil naturligvis

øke rekkevidden på kun batteridrift, samtidig vil fulladning av batteriene påføre større slitasje. Batteriene vil også fungere som «Peak-Shaver». Dette betyr at generatorene kun må levere det gjennomsnittlige energibehovet, som igjen fører til lavere forbruk, slitasje og støy. Illustrasjonen på figur 22 viser hvordan dette fungerer i praksis.



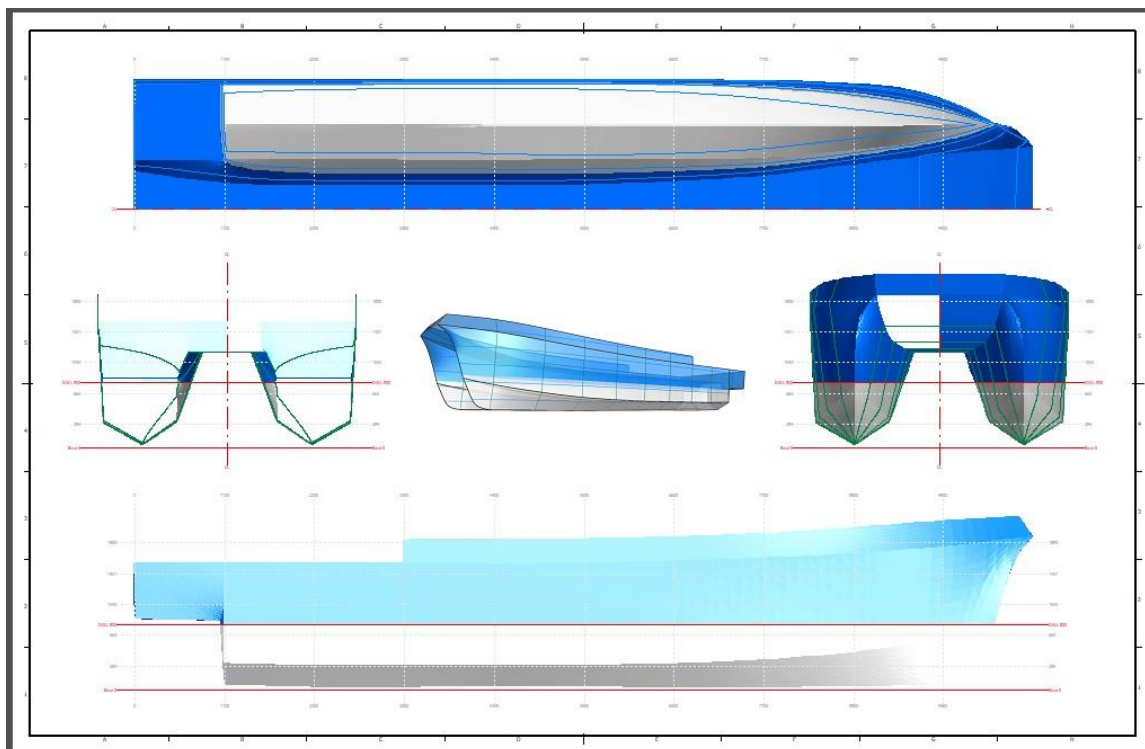
- Average load is supplied by generators with peak load supplied by Energy Storage
- Total load is below generator capacity, spare generation capacity charges Energy Storage.

Figur 22: MJR. (u.å.). MJR's Marine Energy Storage Solutions.)

2.3.4.3 Stabilitet

Vi vil i dette avsnittet evaluere fartøyets stabilitet, presentere et mulig generalarrangement og evaluere fartøyets trim med operasjonsmodul for minejakt.

For å evaluere fartøyets stabilitet har vi måttet gjøre noen antakelser. Disse er i hovedsak hentet fra en rekonstruksjon av et liknende katamaranskrog, med samme hovedparameter som presentert i **2.3.3 Valgte hovedparametre** i Delftship Pro. Rekonstruksjonen er vist i figur 23.



Figur 23: Vår rekonstruksjon av katamaranskrog fra Delftship Pro

Denne rekonstruksjonen har gitt oss en hydrostatisk rapport, som ligger i vedlegg 1.

Vi kommer til å gjøre de følgende utregningene om stabilitet og trim med utgangspunkt i en operasjonsmodul for minejakt. Den består av en HUGIN med laste og lossesystemer. I samme modul er det også to minesnipere, med lossesystemer.

Vi antar at den totale vekten på denne modulen blir 2,5 tonn. Videre vil den ha følgende egenskaper:

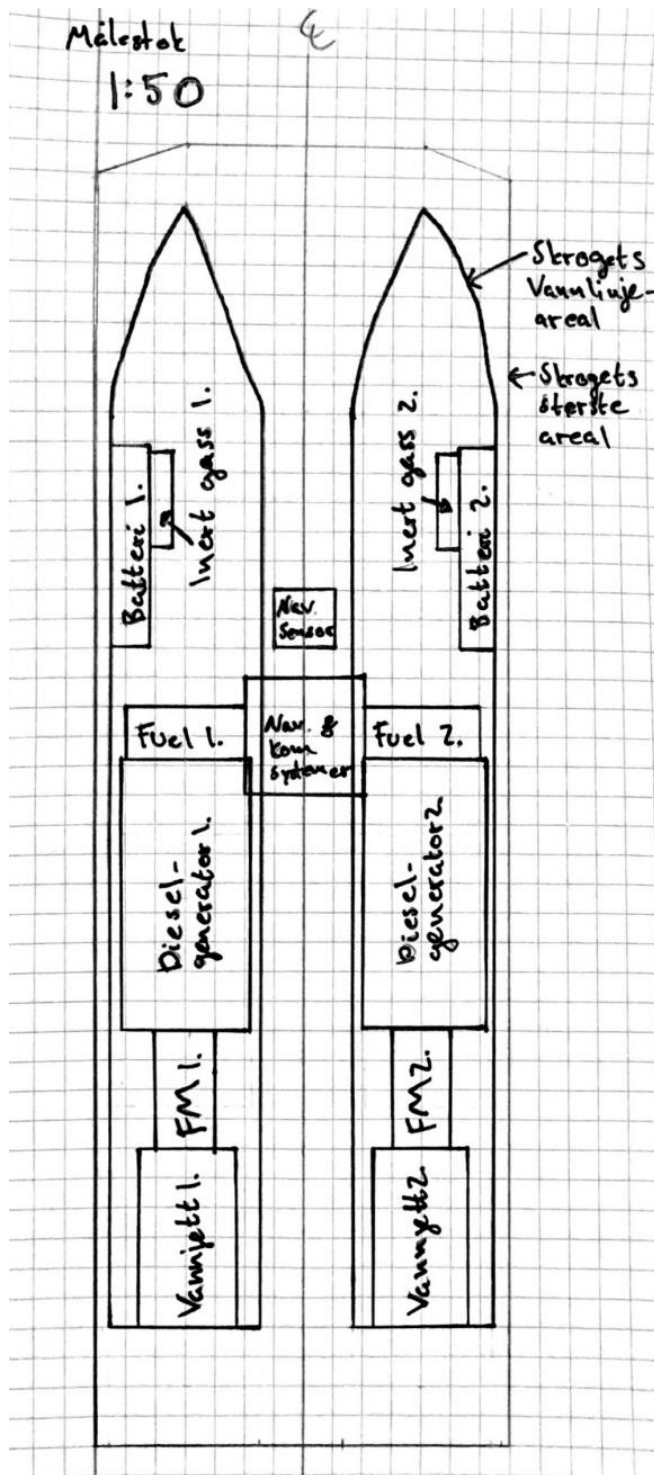
Enhet	Vekt (t)	Dimensjoner (LL:BB:HH, m)	KG, VCG (m)	LCG (m) F.AP	TCG (m)
Modulenhets Minejakt	2,5	06:03:1,5	1,3	3,5	0

Tabell 3: Vektregnskap Minejaktmodul



Figur 24: FFI sitt forslag til autonomt Launch and Recovery (L&R) system om bord på deres ODIN fartøy. (Vedlegg 4)

Forslag til plassering av hovedkomponenter for fremdrift om bord



Figur 25: Forslag til plassering av hovedkomponenter for fremdrift om bord

Tverrskipsstabilitet

Tabell 4 viser vektregnskapet for fartøyet. Vekten og dimensjonene på komponentene er enten basert på de antakelsene vi har gjort tidligere i oppgaven eller på liknende eksempler fra andre fartøy. Plasseringen av utstyret er kun en illustrasjon av hvordan komponentene kan plasseres for å vise at det både er tilstrekkelig plass og lastekapasitet i fartøyet.

Vektregnskap					
Enhet	Vekt (t)	Dimensjoner (LL:BB:HH, m)	KG, VCG (m)	LCG (m) F.AP	TCG (m)
Skrog	2		0,8	5	0
Diesel Generator 1	1,2	2,3:1,1:1,4	0,6	4,65	1
Diesel Generator 2	1,2	2,3:1,1:1,4	0,6	4,65	-1
Drivstoff 1	0,42	0,5:01:01	0,6	6,25	1
Drivstoff 2	0,42	0,5:01:02	0,6	6,25	-1
Framdrifts Motor 1	0,15	1:0,51:0,5	0,35	1	1
Framdrifts Motor 2	0,15	1:0,51:0,5	0,35	1	-1
Batteripakke 1	0,472	1,7:0,3:0,45	0,4	7,6	1,45
Batteripakke 2	0,472	1,7:0,3:0,45	0,4	7,6	-1,45
Navigasjons systemer	0,05	0,5:0,5:0,5	1	6	0
Kommunikasjonssystemer	0,05	0,5:0,5:0,5	1	6	0
Navigasjons sensorer	0,06	0,25:0,25:0,5	3	7	0
Vannjet 1	0,15	1,5:0,8:01	0,4	1,75	1
Vannjet 2	0,15	1,5:0,8:01	0,4	1,75	-1
Inertgass anlegg 1	0,05	0,8:0,4:0,4	0,4	8	1,5
Inertgass anlegg 2	0,05	0,8:0,4:0,4	0,4	8	-1,5
Annet utstyr	0,46	01:01:01	1	5,2	0
Modulenheter Minejakt	2,5	06:03:02	1,3	3	0
SUM	10,004				
SUM Light ship	6,664				

Tabell 4: Totalt vektregnskap for fartøyet

Når vi skal vurdere skipets tverrskips stabilitet, må vi se på avstanden mellom skipets samlede tyngdepunkt (KG) og tverrskips metasenterhøyden (KM_T). Dette er definert som GM. Kort avstand gir dårlig stabilitet på samme måte som stor avstand gir god stabilitet.

Videre vil vi evaluere tverrskipsstabiliteten for et fullastet fartøy med operasjonsmodul for minejakt. Det vil si et totalt deplasement på 10 tonn. Det er ikke tatt høyde for fri veskeoverflate i drivstofftankene da vi regner på dem som fulle.

Avstanden GM er definert som:

$$KM_T - KG \geq 0$$

Fartøyets KG er definert som:

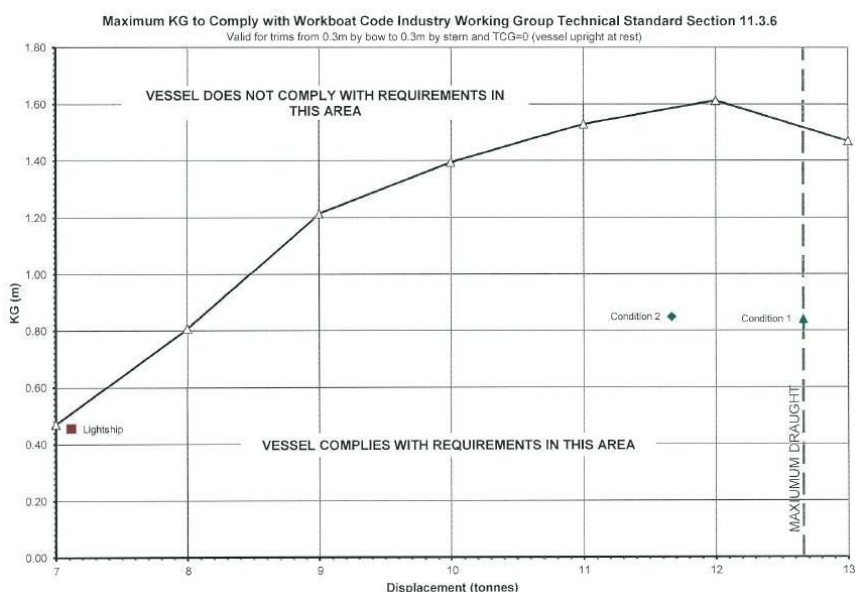
$$KG_{NY} = \frac{\sum(W \times KG)}{\sum W}$$

Som vist i utregningene i vedlegg 3 gir dette oss en $KG_{NY} = \frac{8,1766}{10} = 0,817\text{m}$

Vedlegg 1 viser oss at fartøyet vil ha en tverrskips metasenterhøyde på $KM_T=2,55\text{m}$ for et deplasement på 10 tonn.

Det gis oss en $GM=2,55-0,817=1,733\text{m}$.

Vi vurderer dette resultatet til å være tilstrekkelig. Det understøttes også av figur 9, som presenterer hvordan ARCIMS lastekondisjon påvirkes ved ulike deplasement og høyden på tyngdepunktet (KG). Vi ser at en $KG=0,817$ for et deplasement på 10 tonn er tilstrekkelig.



Figur 9: Grafen viser fartøyets totale KG_{Max} ved ulike deplasement. (Vedlegg 2)

Fartøyets trim generelt

For evalueringen av fartøyets trim er det viktig å se på hvor de ulike komponentene plasseres i forhold til fartøyets rotasjonspunkt (LCF). Vi vil ved hjelp av lasteskipsmetoden vise hvordan plasseringen av hovedkomponentene om bord, slik som på generalarrangementet, ikke påvirker fartøyets trim.

Basert på den hydrostatiske rapporten (vedlegg 1) for $\Delta=7,5$ tonn ser vi at skrogets er $LCF=5,2$ m F.AP. Hvis vi ser på skroget med fulle tanker uten operasjonsmodulen ser vi i utregningene i tabell 5, fra vedlegg 3 at $\sum(W * l) \approx 0$. Dette betyr at generalarrangementet vårt er satt opp på en slik måte at det ikke påvirker fartøyets trim.

Enhet	Avstand fra LCF	Vekt*I
Skrog		
Diesel Generator 1	-0,55	-0,66
Diesel Generator 2	-0,55	-0,66
Drivstoff 1	1,05	0,441
Drivstoff 2	1,05	0,441
Framdrifts Motor 1	-4,2	-0,63
Framdrifts Motor 2	-4,2	-0,63
Batteripakke 1	2,4	1,1328
Batteripakke 2	2,4	1,1328
Navigasjons systemer	0,8	0,04
Kommunikasjonssystemer	0,8	0,04
Navigasjons sensorer	1,8	0,108
Vannjet 1	-3,45	-0,5175
Vannjet 2	-3,45	-0,5175
Inertgass anlegg 1	2,8	0,14
Inertgass anlegg 2	2,8	0,14
Annet utstyr	0	0
Modulenheter Minejakt	-1,7	0
Total trim, $\sum(W*I)$		0,0006

Tabell 5: Utregning av fartøyets trim, uten operasjonsmodul (vedlegg 3)

Totalvekten til fartøyet i denne lastetilstanden er $\Delta=7,5$ tonn og dypgangen i denne kondisjonen blir $T_E=0,68$ m uten trim.

Fartøyets trim med Operasjonsmodul for minejakt

Basert på utregningene ved hjelp av lasteskipsmetoden og med utgangspunkt i operasjonsmodulen for minejakt, se tabell 3, med et $W=2,5$ tonn vil dette skape følgende trim for fartøyet:

Den parallelle nedsenkingen er gitt ved:

$$\gamma = \frac{\sum W}{TPcm, snitt}$$

$$TPcm, snitt = \frac{TPcm, før + TPcm, etter}{2}$$

$$\gamma = \frac{2,5}{\frac{0,185 + 0,173}{2}} = 13,97cm$$

Videre er den totale trimmen til fartøyet definert ved:

$$t = \frac{\sum W * l}{MT1cm}$$

Den hydrostatiske rapporten viser til at den $LCF_{ny}=5,163m$ F. AP og $MT1cm_{NY}=0,106 t*m/cm$ for et fartøy med deplasement på 10 tonn. Dette gir oss en total trim mellom fremre og akter perpendikulær på:

$$t = \frac{2,5 \times (3,5 - 5,163)}{0,106} = -39,2cm$$

Sammenhengen mellom trimmen foran og akter er gitt ved:

$$\frac{t}{L} = \frac{t_a}{LCF} = \frac{t_f}{L - LCF}$$

Dette gir oss en trim akter og forover:

$$t_a = -7,59cm$$

$$t_f = 6,49cm$$

Dette gir følgende dypganger med fulle drivstoff tanker og en operasjonsmodul til minejakt:

$$T_A = t_a + \gamma + T_E = 0,68 + 0,1397 + 0,0759 = 0,896\text{m}$$

$$T_F = t_f + \gamma + T_E = 0,68 + 0,1397 - 0,0649 = 0,755\text{m}$$

Resultatene viser at dette fartøyet med en operasjonsmodul for minejakt vil tåle en lastekondisjon på $W=2,5$ tonn og $LCG= 3,5\text{m}$ F. AP. Dette gir en dypgang på 0,896m akterut og 0,755m forut. Vi vurderer dette til å være innenfor akseptable verdier.

2.3.4.4 Øvrige betraktninger

Brannsikkerhet

Det å ha personell om bord gjør på den ene siden at man kan hurtig reagere på oppdukkende farer, samtidig setter det større krav til personellsikkerhet. Med et helt ubemannet fartøy kan man redusere faren for og konsekvensen av brann ved å fylle hele maskinrommet/skroget med en inert gass. Dette vil fortrenge oksygen og redusere sannsynligheten for at en brann kan oppstå. Tilfelle lekkasjer bør det være et system som overvåker atmosfæren inni skroget. Om oksygeninnholdet blir for høyt vil det etterfylles med mer gass fra en beholder med kapasitet til å erstatte hele volumet i skroget en gang. I forbindelse med vedlikehold på fartøyet er det viktig at hele fartøyet blir luftet godt før det igangsettes noe arbeid. Det bør også merkes med inngangene i skroget at atmosfæren har lavt oksygenivå. Den mest vanlige gassen som brukes er nitrogen, grunnen til dette er dens allerede høye nivå i atmosfæren samt dens lave produksjonskostnad.

Egensikring

I lys av anbefalingen om å holde kostnadsnivået på et lavt nivå, vil vi ikke anbefale å installere et degaussing anlegg om bord. Vi mener at kravene til egensignatur er ivaretatt gjennom størrelsen på båten, konstruksjonen av katamaran skroget i karbonfiber og bruken av vannjet som fremdriftsorgan. I tillegg har fartøyet mulighet til å gå på helelektrisk drift. Dette gir en mulighet til å kunne bevege seg med meget lav akustisk signatur og et begrenset magnetisk felt. Under slep av sveip, vil båtene ha en rekkevidde på 15.4-16.2NM i 7 knop på kun batteridrift.

2.3.5 Anbefalt teknisk løsningskonsept

Innledningsvis i definisjonsfasen drøftet vi behovet for nyutvikling og hvilket relative kostnadsnivå man ønsker å legge prosjektet på. Vi anbefaler at det utredes videre hvilket nivå man ønsker å legge seg på. Basert på vår drøfting av det operative behovet, mener vi det er best å gå for en løsning som innebærer flest mulige ‘Off the shelf’- løsninger, dette er for å holde kostnads- og utviklingsbehovet lavest mulig.

2.3.5.1 Risikoanalyse

For å oppsummere drøftingen i oppgaven vil vi trekke frem de hovedpunktene vi mener påvirker risikoen for gjennomføringen av prosjektet i størst grad. Vi vil trekke fram hovedelementene innen Ytelse, Økonomi og Tid.

- **Ytelse** (Anvendbarhet, teknologisk yteevne)

Gjennom konseptfasen og valg av konseptuell løsning har vi vist at bruken av autonome plattformer vil gi en operativ fordel til 1. Minerydderskvadron. Bruken av autonome fartøy vil gi redusert personellbehov og fjerne kravene til personellkomfort om bord som igjen gir større lastekapasitet og fleksibilitet på plasseringen av komponentene. Ved å ha fokus på å holde kostnadsnivået nede vil man både kunne anskaffe flere plattformer samtidig som det operative risikovilligheten for bruken av plattformen blir større.

Et dieselelektrisk anlegg med batterilagring vil være med å senke risikoen ettersom dieselgeneratorene kan gå på optimalt turtall til enhver tid samtidig som komponentene i et elektrisk anlegg har lavere vedlikeholdsbehov. Videre vil også konstruksjonen av teknisk enkle plattformer også kunne være med på å senke vedlikeholdsbehovet ytterligere. Senket vedlikeholdsbehov er igjen med på å øke den operative evnen gjennom redusert nedetid. Muligheten for full elektrisk drift fra batteriene vil også gi en økt operativ evne gjennom redusert akustisk signatur.

- **Økonomi** (Byggekostnader, levetidskostnader, vedlikehold)

Ved å innledningsvis beslutte at kostnadsnivået skal være lavest mulig og danne et komplett grunnlag for hvilke kapasiteter man ønsker at plattformen skal kunne ha senker man risikoen for at det til stadighet vil tilkomme nye og større utgifter.

Videre kan beslutningen om å gå for flest mulig «off the shelf» løsninger både senke de totale kostnadene, samtidig som de enkelte komponentene kan gi en større ytelse. Dette vil både være med på å senke risiko i forbindelse med kostnader til utvikling av nye komponenter samtidig som du sikrer tilstrekkelig ytelse.

- **Tid** (Gjennomførbarhet, tidsbruk)

Bruken av «off the shelf» komponenter reduserer behovet for nyutvikling og dermed reduserer risikoen i forbindelse med tiden som er nødvendig for å realisere plattformen.

Videre er det viktig at den fremtidige løsningen bygger på eksisterende kompetanse i Sjøforsvaret i dag. Slik at nødvendig tid til implementering blir lavest mulig.

Slik vi ser det er den største risikoen knyttet til dette prosjektet den nødvendige tiden for utviklingen av den autonome styringen. Likevel er dette et teknologisk område der det er stor utvikling i dag og vi tror at en slik løsning vil være på plass innen dette prosjektet er realisert.

2.3.5.2 Ikke funksjonelle krav

Som et resultat av drøftingen i **2.3.4 Justert designløsning med endrete parametere** vil vi utrede en rekke ikke funksjonelle krav som legger grunnlag for den anbefalte tekniske løsningen. Komponentene bør fortrinnsvis leveres av kjente leverandører og ha et fokus på høy driftssikkerhet og lavt kostnadsnivå. Kravene kommer som en konsekvens av systemkapabilitetene, hvert krav er linket til minst en kapabilitet og tallet i venstre marg beskriver denne referansen.

1.1	<u>Fartøyet skal konstrueres som et katamaranskrog i karbonfiber.</u>
8.1	Katamaranskrog skaper større fordeling av deplasementet i vannet og oppnår derfor en større evne til å motstå sjokk. Katamaranskrog gir også større fordeling i vannet som videre gir større stabilitet. Karbonfiber er også med på å sikre tilstrekkelig skrogstyrke, senke totalvekten og dermed sikre at fartøyet har tilstrekkelig evne til å motstå sjokk.
1.2	<u>Vitale komponenter om bord skal monteres på støtdempere.</u>

	For å sikre tilstrekkelig robusthet dersom fartøyet blir utsatt for sjokk skal alle komponenter som lett blir påvirket monteres på støtdempere.
2.1	<u>Fartøyet skal ha vannjet</u>
10.1	For å sikre at fartøyet har lavest mulig akustisk signatur, skal det konstrueres med vannjet. Videre gir bruken av vannjet også et robust system, hvor ingen vitale deler stikker ned under kjølen.
2.2	<u>Fartøyet skal konstrueres med diesel elektrisk anlegg og energilagring</u> Dette er for å muliggjøre helelektrisk drift. Det vil sørge for at fartøyet har en meget begrenset signatur. Det vil også redusere forbruk og senke vedlikeholdskostnadene.
3	På grunn av oppgavens begrensning i tid og tekniske fokus har vi avgrenset besvarelsen fra videre vurderinger rundt dette punktet.
4.1	<u>Overbygget og skroget skal konstrueres med lav radarsignatur.</u> For å senke muligheten til å overvåke fartøyets bevegelser anbefaler vi at overbygget konstrueres med lavt tverrsnitt og rette vinkler.
5.1	<u>Fartøyet skal ha en adskilt indre atmosfære og systemer for etterfylling av inertgass</u> For å opprettholde brannsikkerheten skal skroget konstrueres slik at det indre volumet skal fylles med nitrogen.
5.2	<u>Fartøyer skal konstrueres med tilstrekkelig redundans</u> For å sikre operativiteten skal fartøyet konstrueres med dobbelt opp av nødvendige systemer. Dette fører til at fartøyet kan navigere også i tilfelle feil på enkelte vitale komponenter.
6.1	<u>Fartøyet skal konstrueres med et modulært lastesystem</u> For å sikre at fartøyet kan løse flere typer oppgaver, skal det konstrueres med et lastesystem som kan byttet ut operasjonsmodul avhengig av oppdraget.
7.1	<u>Fartøyet må ha en lastekapasitet på minst 2,5 tonn</u> For å sikre tilstrekkelig lastekapasitet til forskjellige systemer må fartøyet kunne bære med seg den tyngste operasjonsmodulen.

7.2	<p><u>Fartøyet skal ha en lasteplattform på 7x3m</u></p> <p>For å sikre tilstrekkelig plass om bord til ulike operasjonsmoduler må lasteplassen være 7x3m.</p>
8.2	<p><u>Fartøyet skal uavhengig av lastekondisjon ikke overstige en KG>1,2m</u></p> <p>For å sikre at fartøyet har tilstrekkelig stabilitet under lasting og lossing av ulike sensorer skal det ikke konstrueres med en KG>1,2m.</p>
9.1 12.1	<p><u>Fartøyet skal ha en kraftgenerering på 250kW</u></p> <p>For å sikre at fartøyet kan produsere tilstrekkelige kraft til fremdrift, sveip, ladning av operasjonsmodul og hoteldrift må det ha en kraftgenerering på 250kW.</p>
10.2	<p><u>Fartøyet skal konstrueres med en LOA <11,2m og Beam<3,4m</u></p> <p>Dette muliggjør transport over land, uten politieskorte.</p>
11.1	<p><u>Fartøyet skal ha en drivstoffkapasitet på 1000l.</u></p> <p>Dette gir en rekkevidde i 20knop på over 200NM med en operasjonsmodul på 1 tonn, uten at nivået går under 40%.</p>
12.2	<p><u>Fartøyet må ha en installert effekt på minimum 200kW</u></p> <p>Etter gitt design og skrog må det installeres 2 fremdriftsmotorer. Disse må kunne levere en minimums effekt på 100kW hver i kontinuerlig drift.</p>
12.3	<p><u>Fartøyet skal ha en installert energilagring på minimum 200kWh.</u></p> <p>For å sikre ønsket helelektrisk drift anbefales det en batteripakke med minimum 200kWh kapasitet. Dette er også for å sikre at høy nok effekt kan leveres kun fra batterier. For å holde vekten nede må batteriene ha en energitetthet på minimum 200Wh/kg, høyere tetthet er ønskelig om mulig.</p>
12.4	<p><u>Batteriene om bord bør ha mulighet til å kunne lades fra en ekstern kilde.</u></p> <p>Muligheten til å lade vil gi en større helelektrisk rekkevidde, samtidig som det senker slitasje på generatorene når fartøyet ligger til kai.</p>
12.5	<p><u>Fordelingssystemet bør konstrueres ved bruk av DC-bus.</u></p> <p>Dette fører til et kompakt og effektivt system som favoriserer batteribruk.</p>

13	På grunn av oppgavens begrensning i tid og tekniske fokus har vi avgrenset besvarelsen fra videre vurderinger rundt dette punktet.
14	På grunn av oppgavens begrensning i tid og tekniske fokus har vi avgrenset besvarelsen fra videre vurderinger rundt dette punktet.
15	På grunn av oppgavens begrensning i tid og tekniske fokus har vi avgrenset besvarelsen fra videre vurderinger rundt dette punktet.
16	På grunn av oppgavens begrensning i tid og tekniske fokus har vi avgrenset besvarelsen fra videre vurderinger rundt dette punktet.

På grunn av oppgavens omfang og tid til rådighet har vi måttet avgrense oss bort fra noen områder. Med unntak av den autonome styringen er disse avgrensningene basert på fagområder hvor det finnes mye kompetanse og hvor man ikke vil være avhengig av nyutvikling for å realisere prosjektet. Autonomi er et område som er i rask utvikling og vi antar at det med stor sannsynlighet at det vil bli en realitet. Derfor mener vi at å starte en anskaffelse av autonome fartøyer til minemottiltaksoperasjoner har en relativt lav risiko. For å redusere risikoen ytterligere vil vi anbefale å bygge på den kompetansen vi har nasjonalt og utnytte Trekantsamarbeidet mellom Forsvaret, forskningen og industrien.

3 Konklusjon med anbefaling

Gjennom denne oppgaven har vi prosjektert en autonom modulbasert farkost som skal kunne løse flere oppgaver knyttet til fremtidens konsept for minemottiltaks operasjoner. Vi har gjennom konseptfasen kartlagt hvilke minetrusler Sjøforsvaret må kunne håndtere og oppsummert hvilke kapabiliteter nestegenerasjons struktur må kunne håndtere. Basert på dette har vi drøftet hvordan bruken av autonome plattformer vil gi en operativ fordel.

Vi anbefaler at det nye konseptet bygger på samme type sensorer som er kjent i Forsvaret i dag, slik at man reduserer risikoen for tap av kompetanse og unngår unødvendig opphold i operativ evne.

Vi har vist at dette løsningskonseptet er realiserbart og tilfredsstillende de nødvendige kravene til systemkapabiliteter. Vi tror at utviklingen av et slik konsept innen minemottiltaks segmentet vil være med på å danne grunnlaget for kompetanse om teknologi som også kan benyttes innen andre formål i Sjøforsvaret på en modifisert måte. På grunn av oppgavens omfang og tid til rådighet har vi måttet avgrense oss bort fra noen områder. Med unntak av den autonome styringen er disse avgrensingene basert på fagområder hvor det finnes mye kompetanse og hvor man ikke vil være avhengig av nyutvikling for å realisere prosjektet.

Vi har i definisjonsfasen drøftet hvordan ulike teknologi som kommer til anvendelse om bord og hvilke løsninger som vil være best egnet til dette formålet. Resultatet av dette har ført til utarbeidelse av ikke funksjonelle krav som er basert på vår drøftning av anbefalte tekniske løsninger. Med utgangspunkt i det operative behovet, mener vi det er best å gå for en løsning som innebærer flest mulige "Off the shelf"-løsninger, dette er for å holde kostnads- og utviklingsbehovet lavest mulig.

Løsningen vil i hovedsak bestå av kjent teknologi, dette reduserer risikoen og stiller ikke unødig krav til nyutvikling. Det største utviklingsområdet som gjenstår er i forbindelse med realiseringen av prosjektet er den autonome driften av fartøyet. På grunn av oppgavens omfang har vi valgt å avgrense oss vekk fra detaljene i forbindelse med den autonome styringen. Dette er et område som er i rask utvikling og vi antar at det med stor sannsynlighet at det vil bli en realitet. Derfor mener vi at å starte en anskaffelse av autonome fartøyer til minemottiltaksoperasjoner har en relativt lav risiko. For å redusere risikoen ytterligere vil vi anbefale å bygge på den kompetansen vi har nasjonalt og utnytte Trekantsamarbeidet mellom Forsvaret, forskningen og industrien. Vi anbefaler derfor å gå rett til en anskaffelsesfase som må inneholde en prototyping for å sikre at kravene møter virkeligheten på en god måte.

Bibliografi

Prof. A.H. Techet.

(2005). 2.016 Hydrodynamics.

The Kongelige Forsvarsdepartement.

(2015-2016). Prop. 151S Kampkraft og bærekraft

The Kongelige Forsvarsdepartement.

(2007-2008). St.prp. nr. 48 Et forsvar til vern om Norges sikkerhet, interesser og verdier

The Kongelige Forsvarsdepartement.

(2015-2016). Meld. St. 9 Nasjonal forsvarsindustriell strategi

Forsvaret.

(u.å.). Prinsix hentet fra <https://forsvaret.no/prinsix/>

Forsvaret.

(10. januar 2019). Minefartøy Oksøy- og Altaklassen. Hentet fra <https://forsvaret.no/fakta/utstyr/Sjoe/Minefartoeey-Oksoey--og-Alta-klassen>

Rudi, Simen.

(2017, 28.mars). Ubemannet fremtid for Sjøforsvaret. Hentet fra <https://forsvaret.no/forsvars-materiell/ubemannet-fremtid-for-sjoforsvaret>

Størkesen, Nils

(2003, 10.mars). Foredrag: Minekrig til sjøs – en norsk nisjekapasitet i NATO?. Hentet fra <https://www.oslomilsamfund.no/foredrag-minekrig-til-sjos-en-norsk-nisjekapasitet-i-nato/>

Naval Technology.

(u.å.). ATLAS Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS). Hentet fra <https://www.naval-technology.com/projects/atlas-remote-combined-influence-minesweeping-system-arcims/>

Kongsberg Maritime.

(u.å.). Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform. Hentet fra <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/All-Web/05C7E2D7058C6214C125816800302937?OpenDocument>

Kongsberg Maritime.

(u.å.). Autonomous Underwater Vehicle, Hugin. Hentet fra <https://www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-hugin/?OpenDocument#downloads>

Kongsberg Maritime.

(u.å.). Autonomous Underwater Vehicle, Hugin. Hentet fra <https://www.kongsberg.com/maritime/products/marine-robotics/autonomous-underwater-vehicles/AUV-munin/>

Kongsberg Maritime.

(u.å.). Minesniper Mk III Weapon. Hentet fra <https://www.kongsberg.com/kda/what-we-do/naval-systems/mine-warfare-systems/3minesniper-mk-iii-weapon/>

Boing.

(u.å.). Echo Voyager Overview. Hentet fra <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/echo-voyager/index.page>

King, Tobias. Lundby, Leif. Æsøy, Vilmar.

(2014). Kapittel 9. *Havromsteknologi*. Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS

Truver. Scott C.

(2012). *Taking Mines Seriously: Mine Warfare in China's Near Seas*, "Naval War College Review: Vol. 65 : No. 2

Brødrene AA.

(u.å.). Products. Hentet fra <https://www.braa.no/>

University of South Australia.

(u.å.). Propeller efficiency. hentet fra <https://slideplayer.com/slide/4216595/>

Barczak, Nicholas.

(2019, 25.Februar). Waterjets: When to Use, Pros and Cons. Hentet fra <https://dmsonline.us/waterjets-when-to-use-pros-and-cons/>

Lapp Norway.

(2019, 8.April). ROFLEX Datablad. Hentet fra https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Mil-tronic_Norway/Dokumenter/datablad/2019/ROFLEX-datablad-LAPPNorway-norsk-0904-2019.pdf

Avago Technologies.

(2015, 6.Mars). SiC MOSFET Gate Drive Optocouplers. Hentet fra <https://www.eeweb.com/profile/avago-technologies/articles/sic-mosfet-gate-drive-optocouplers>

Torqueedo.

(2019). Torqueedo Catalog. Hentet fra <https://media.torqueedo.com/catalogs/torqueedo-catalog-2019-en.pdf>

Torqueedo.

(2019). Deep Blue 50i 1800. Hentet fra <https://www.torqueedo.com/en/products/inboards/deep-blue-25-50i-1800/M-3301-00.html>

MTU.

(u.å.). Diesel Generator Sets. Hentet fra <https://www.mtuonsiteenergy.com/products/diesel-generator-sets/mtu-0080-0096-0113-0120-0150-0225-ds/mtu-4r0120-ds125-60hz/>

MJR.

(u.å.). MJR's Marine Energy Storage Solutions. Hentet fra <https://www.mjrcontrols.com/2018/04/marine-energy-storage/>

Bower, George.

(2018, 11.Juni). New Tesla Model 3 Battery Details, Images & Video Released. Hentet fra: <https://insideevs.com/new-tesla-model-3-battery-details-images-released/>

NEK 410.

2018. Elektriske installasjoner om bord i skip og fartøyer. Lysaker: Norsk elektroteknisk komite

Nærings- og fiskeridepartementet

2007. Lov om skipssikkerhet (skipssikkerhetsloven)

DNV-GL

2018. DNVGL-CG-0264 Autonomous and remotely operated ships. Hentet fra http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CG/2018-09/DNVGL-CG-0264.pdf?fbclid=IwAR2xNBr1H1jDDY-BeFj8ClaR4rRKywFE08vzsgLXKHA9udIpqn_Ufj99Te8E

ARCIMS

(u.å.) ARCIMS Modular USV system. Hentet fra https://www.atlas-ems.de/fileadmin/user_upload/documents/products/Mine_Warfare_Systems/ARCIMS_ModularUSV_System_online.pdf

Olofsson, Kurt. Arnestad, Geir. Lönnö, Anders

(Januar 2008). High speed craft with composite hull. Hentet fra :https://www.researchgate.net/publication/237475492_A_HIGH-SPEED_CRAFT_WITH_COMPOSITE_HULL)

Fardal, Rune. Skøelv, Åge

(13.Februar 2018). Forsvarsindustriell analyse P6359. Paper presentert på et Industridag FSi i Oslo.

Rabiroff, Jon

(9. Mai 2011). U.S. military enters new generation of sea mine warfare. Hentet fra <https://www.stripes.com/news/u-s-military-enters-new-generation-of-sea-mine-warfare-1.143170>

Daware, Kiran

(u.å.). Transformer - Losses And Efficiency. Hentet fra <https://www.electricaleasy.com/2014/04/transformer-losses-and-efficiency.html>

Rawson, K J & Tupper, E C

2001. *Basic Ship theory (1 & 2)*. Oxford: Butterworth-Heinemann

Vedlegg

Vedlegg 1 – Hydrostatisk Rapport

Hydrostatics report



Hydrostatics

Relative water density : 1,0250

Trim: 0,000 (m)

Draft (m)	Volume (m ³)	Displ FW (tonnes)	Displ. (tonnes)	LCB (m)	VCB (m)	TCB (m)	Aw (m ²)	LCF (m)	KMt (m)	KMI (m)	MCT (t*m/cm)	TpCm (t/cm)
0,100	0,082	0,082	0,084	5,226	0,080	0,000	2,827	5,083	37,404	171,50	0,013	0,029
0,200	0,606	0,606	0,621	5,034	0,147	0,000	7,729	4,998	14,555	66,33	0,037	0,079
0,300	1,616	1,616	1,656	4,993	0,214	0,000	12,579	4,972	9,490	41,06	0,061	0,129
0,400	2,999	2,999	3,074	5,006	0,277	0,000	14,644	5,096	5,993	27,39	0,076	0,150
0,500	4,507	4,507	4,620	5,051	0,335	0,000	15,529	5,171	4,307	20,22	0,083	0,159
0,600	6,099	6,099	6,251	5,087	0,391	0,000	16,301	5,200	3,420	16,08	0,089	0,167
0,700	7,765	7,765	7,959	5,114	0,447	0,000	17,042	5,218	2,893	13,50	0,094	0,175
0,800	9,506	9,506	9,743	5,134	0,503	0,000	17,784	5,226	2,552	11,74	0,100	0,182
0,900	11,394	11,394	11,679	5,120	0,560	0,000	20,527	4,780	2,514	13,91	0,142	0,210
1,000	13,493	13,493	13,830	5,066	0,621	0,000	21,474	4,764	2,313	12,59	0,151	0,220
1,100	15,685	15,685	16,077	5,023	0,681	0,000	22,417	4,758	2,171	11,58	0,159	0,230
1,200	18,093	18,093	18,546	4,978	0,744	0,000	28,028	4,569	2,073	12,26	0,194	0,287
1,300	20,982	20,982	21,507	4,935	0,813	0,000	29,623	4,754	1,985	11,74	0,214	0,304
1,400	24,002	24,002	24,602	4,922	0,881	0,000	30,712	4,893	1,927	11,26	0,232	0,315
1,500	27,115	27,115	27,793	4,924	0,946	0,000	31,518	4,996	1,891	10,76	0,248	0,323
1,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000

NOTE 1: Draft (and all other vertical heights) is measured from base Z=0,000

NOTE 2: All calculated coefficients based on actual dimensions of submerged body.

Nomenclature

Draft	<i>Moulded draft, measured from baseline</i>
Volume	<i>Total displaced volume</i>
Displ FW	<i>Displacement fresh water</i>
Displ.	<i>Displacement</i>
LCB	<i>Longitudinal center of buoyancy, measured from the aft perpendicular at X=0.0</i>
VCB	<i>Vertical center of buoyancy</i>
TCB	<i>Transverse center of buoyancy</i>
Aw	<i>Waterplane area</i>
LCF	<i>Waterplane center of floatation, measured from the aft perpendicular at X=0.0</i>
KMt	<i>Transverse metacentric height</i>
KMI	<i>Longitudinal metacentric height</i>
MCT	<i>Moment to change trim one unit</i>
TpCm	<i>Weight to change the immersion with one unit</i>

Vedlegg 2 – Mail fra Atlas Electronics

24.5.2019

E-post – permilsen@fhs.mil.no

RE: Norwegian Naval Academy - Bachelor Theisi- ARCIMS

Symes Graeme <graeme.symes@uk.atlas-elektronik.com>

ma 29.04.2019 17:30

Til: Prytz, Berge Kierulf <bprytz@fhs.mil.no>;

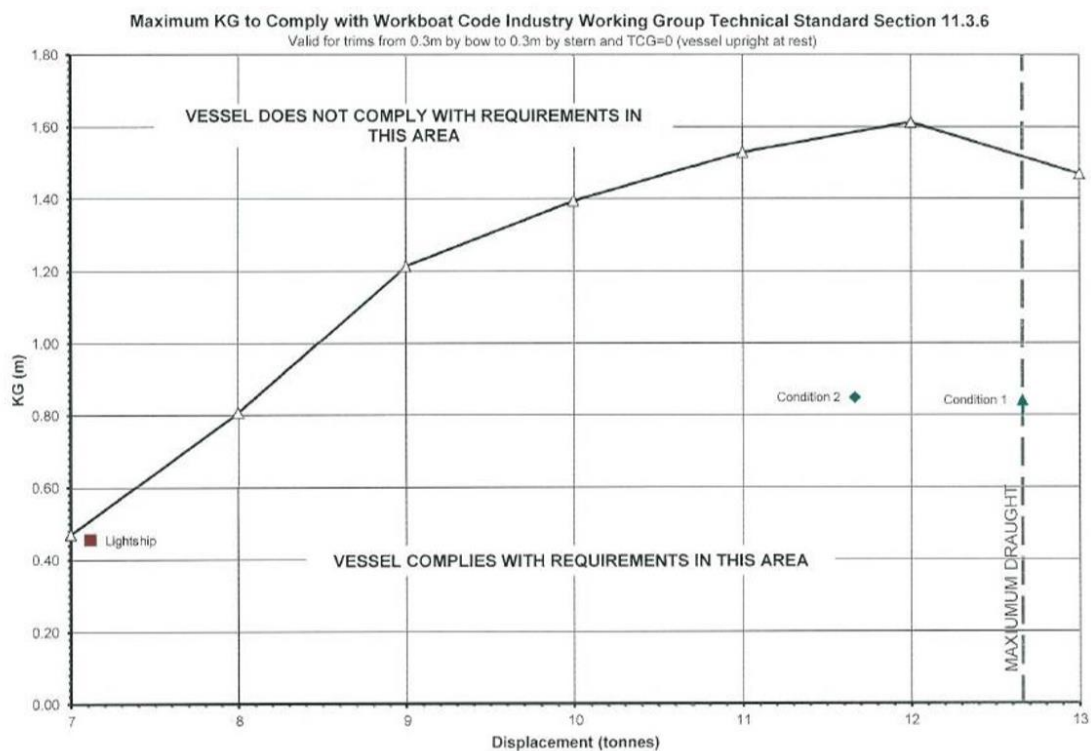
Kopi: Nilsen, Per Rønholt <pernilsen@fhs.mil.no>; Stone, Carl <carl.stone@uk.atlas-elektronik.com>; Webster Barry <Barry.Webster@uk.atlas-elektronik.com>; Easton Darren <Darren.Easton@uk.atlas-elektronik.com>;

Berge

Please find attached some information on our ARCIMS craft for your thesis work.

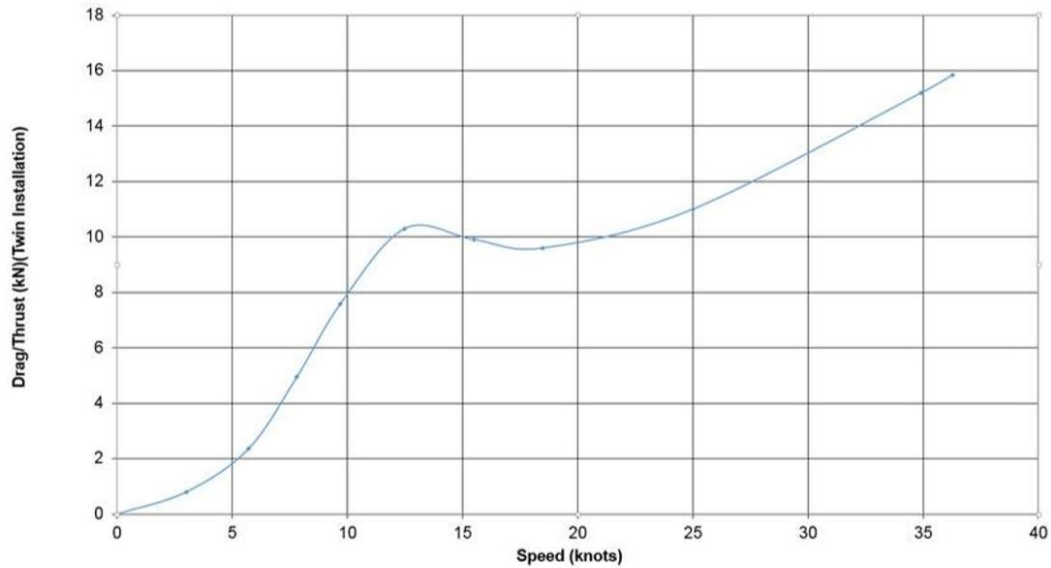
The first graph is the Limiting KG curve based on a specific lightship configuration. ARCIMS is used in various roles with various equipment embarked but this is the best baseline data for your purposes.

The second graph is the drag curve for ARCIMS at 8.5 tonnes (approx.).



24.5.2019

E-post – pernilsen@fhs.mil.no



I hope this will support your thesis.

Kind regards

Graeme

Graeme Symes
Head of System Design
Surface Ships Systems Division

Atlas Elektronik UK Ltd

[Room 180, Building A22](#)

[Dorset Innovation Park](#)

[Winfrith Newburgh](#)

Dorchester

Dorset

DT2 8ZB

Tel +44 (0)1305 212274

Mob: +44 (0)7500 323537

graeme.symes@uk.atlas-elektronik.com



Vedlegg 3 – Utrekninger stabilitet

C28											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1											
2											
3	Vektregnskap										
4	Enhet	Vekt (t)	Dimensjoner (L:BB:HH, m)	KG, VCG (m)	LCG (m) F.AP	TCG (m)			Enhet	Avstand fra LCF	Vekt*I
5	Skrog	2		0,8	5	0			Skrog		
6	Disel Generator 1	1,2	2,3:1,1:1,4	0,6	4,65	1			Disel Generator 1	-0,55	-0,66
7	Disel Generator 2	1,2	2,3:1,1:1,4	0,6	4,65	-1			Disel Generator 2	-0,55	-0,66
8	Drivstoff 1	0,42	0,5:01:01	0,6	6,25	1			Drivstoff 1	1,05	0,441
9	Drivstoff 2	0,42	0,5:01:02	0,6	6,25	-1			Drivstoff 2	1,05	0,441
10	Framdrifts Motor 1	0,15	1:0,51:0,5	0,35	1	1			Framdrifts Motor 1	-4,2	-0,63
11	Framdrifts Motor 2	0,15	1:0,51:0,5	0,35	1	-1			Framdrifts Motor 2	-4,2	-0,63
12	Batteripakke 1	0,472	1,7:0,3:0,45	0,4	7,6	1,45			Batteripakke 1	2,4	1,1328
13	Batteripakke 2	0,472	1,7:0,3:0,45	0,4	7,6	-1,45			Batteripakke 2	2,4	1,1328
14	Navigasjons systemer	0,05	0,5:0,5:0,5	1	6	0			Navigasjons systemer	0,8	0,04
15	Kommunikasjonssystemer	0,05	0,5:0,5:0,5	1	6	0			Kommunikasjonssystemer	0,8	0,04
16	Navigasjons sensorer	0,06	0,25:0,25:0,5	3	7	0			Navigasjons sensorer	1,8	0,108
17	Vannjet 1	0,15	1,5:0,8:01	0,4	1,75	1			Vannjet 1	-3,45	-0,5175
18	Vannjet 2	0,15	1,5:0,8:01	0,4	1,75	-1			Vannjet 2	-3,45	-0,5175
19	Inertgass anlegg 1	0,05	0,8:0,4:0,4	0,4	8	1,5			Inertgass anlegg 1	2,8	0,14
20	Inertgass anlegg 2	0,05	0,8:0,4:0,4	0,4	8	-1,5			Inertgass anlegg 2	2,8	0,14
21	Anet utstyr	0,46	01:01:01	1	5,2	0			Anet utstyr	0	0
22	Modulenhhet Minejakt	2,5	06:03:1,5	1,3	3,5	0			Modulenhhet Minejakt	-1,7	0
23											
24	SUM	10,004							Total trim, $\sum(W*I)$		0,0006
25	SUM Light ship	6,664									
26			$\sum(W*KG)$	8,1766							
27			KG	0,81733307							
28											
29											

Vedlegg 4 – FFI Odin USV, en utviklingsplattform for fremtidig MMCM

Lagt ved separat.

Vedlegg 5 – Litium Ion batterier

Terminologi

Celle – En elektrokjemisk enhet bygget opp av elektroder, separator og elektrolytt

Separator – Isolerende materiale mellom anode og katode

Elektrolytt – inneholder frie ioner og er et elektrisk ledende materiale

Anode – den negative terminalen av batteriet under utlading, positiv under lading

Katode – den positive terminalen av batteriet under utlading, negativ under lading

Historie

Pioneerarbeidet med Litiumbatteriet begynte i 1912 under G.N. Lewis, men det var ikke før tidlig på 1970-tallet da det første ikke-oppladbare litium batteriet ble kommersielt tilgjengelig. Litium er det letteste av alle metaller, har størst elektrokjemisk potensial og derfor gir den største energitettheten (Battery University, u.å., Is lithium-ion the ideal battery?).

Forsøk på å utvikle oppladbare litium batterier mislyktes på grunn av sikkerhetsmessige problemer. Dette var på grunn av den iboende ustabiliteten i litium metallet, spesielt under lading. Forskningen fokuserte heller på et ikke-metallisk litium batteri ved hjelp av litium ioner. Selv om det gir noe lavere energitetthet enn litium metall er litium-ion trygt, forutsatt at visse forholdsregler er oppfylt under lading og utlading. I 1991 kommersialiserte Sony Corporation det første oppladbare litium-ion-batteriet. En av de største påvirkerne for dagens litium-ion batterier er John Goodenough, ofte kalt lithium-ion batteriets far, han var dypt involvert under utviklingen på 70 og 80tallet (Battery University, u.å., Is lithium-ion the ideal battery?).

Virkemåte

De elektrokjemiske reaksjonene i et litium-ion-batteri skjer mellom de negative og positive elektrodene, og elektrolytten som gir et ledende medium for litium ioner til å flytte seg mellom. Elektrisk energi flyter ut fra eller inn til batteriet når elektroner strømmer gjennom en ekstern krets under utlading eller lading («Lithium-ion battery»,u.å.).

Begge elektrodene tillater lithium ioner å bevege seg inn og ut av sine strukturer med en prosess som kalles innsetting (intercalation) og ekstraksjon (deintercalation). Under utlading, vil positive lithium ioner flytte seg fra den negative elektroden (anode) til den positive

elektroden (katode). Samtidig som lithium ioner flyttes gjennom elektrolytten flytter elektroner seg gjennom den eksterne kretsen i samme retning. Når cellen lades, skjer det omvendte. Litium ioner og elektroner flyttes tilbake til den negative elektroden («Lithium-ion battery»,u.å.).

Konstruksjon og materialer

De tre viktigste funksjonelle komponentene i et litium-ion-batteri er de positive og negative elektrodene og elektrolytten. Vanligvis er den negative elektroden i en konvensjonell litium-ion celle laget av karbon. Den positive elektroden er et metall oksid, og elektrolytten er et litium salt i et organisk løsemiddel. Den elektrokjemiske rollen til elektrodene reverseres mellom anoden og katoden, avhengig av retningen på strømmen gjennom cellen («Lithium-ion battery»,u.å.).

De fleste kommersielle batterier har en negative elektrode laget av grafitt. Den positive elektroden er generelt en av tre materialer: en lagdelt oksid (for eksempel litium kobolt oksid), en polyanion (for eksempel litium jern fosfat) eller en spinell (for eksempel litium mangan oksid). Nylig har grafen baserte elektroder (basert på 2D-og 3D-strukturer av grafen) også blitt brukt som elektroder for litium-batterier («Anode»,u.å.).

Elektrolytten er vanligvis en blanding av organiske karbonater som *ethylene carbonate* eller *diethyl carbonate*. Disse ikke-vandige elektrolyttene bruker vanligvis anion salter som litium hexafluorophosphate (LiPF_6), litium hexafluoroarsenate monohydrat (LiAsF_6), Lithium perchlorate (LiClO_4), litium tetrafluoroborate (LiBF_4) eller litium triflate ($\text{LiCF}_3\text{S}\ddot{\text{a}}_3$) («Lithium-ion battery»,u.å.).

Lithium-ion-celler (i motsetning til hele batterier) er tilgjengelig i ulike former, som generelt kan deles inn i fire grupper:

- Liten sylindrisk beholder (heldekkende beholder uten terminaler, slik som de som brukes i eldre laptop-batterier)
- Stor sylindrisk beholder (solid beholder med store gjengede terminaler)
- Pouch celler (myk, flat pose/holder, slik som de som brukes i mobiltelefoner og nyere bærbare datamaskiner, ofte kalt Li-ion polymer eller litium polymer batterier)
- Rigid plast beholder med store gjengede terminaler.

Celler med en sylindrisk form er laget på en karakteristisk "Swiss roll", noe som betyr at det er en enkel lang sandwich av den positive elektroden, den negative elektroden og separatoren rullet inn i en enkelt spole. Den største ulempen ved denne metoden er at cellen vil ha en høyere serie induktans («Lithium-ion battery»,u.å.).

Ser man bort ifra av behovet for en beholder gir pouch celler den høyeste energi tettheten; Imidlertid, for mange praktisk formål må de fremdeles ha en ekstern beholder for å forhindre ekspansjon når batteriet nærmer seg fulladet, og for generell strukturell stabilitet i batteripakken. Begge typene av rigid plastikk- og pouch-celler er ofte omtalt som prismatiske celler på grunn av deres rektangulære form.

Oversikt over de mest vanlige materialene for den positive elektroden («Lithium-ion battery»,u.å.):

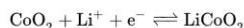
Technology	Company	Target application	Date	Benefit
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide ("NMC", $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$)	Imara Corporation, Nissan Motor, ^{[124][125]} Microvast Inc., LG Chem ^[126]	Electric vehicles, power tools, grid energy storage	2008	good specific energy and specific power density
Lithium Manganese Oxide ("LMO", LiMn_2O_4)	LG Chem, ^[127] NEC, Samsung, ^[49] Hitachi, ^[128] Nissan/AESC, ^[129] EnerDel ^[130]	Hybrid electric vehicle, cell phone, laptop	1996	
Lithium Iron Phosphate ("LFP", LiFePO_4)	University of Texas/Hydro-Québec, ^[131] Phostech Lithium Inc., Valence Technology, A123Systems/MIT ^{[132][133]}	Segway Personal Transporter, power tools, aviation products, automotive hybrid systems, PHEV conversions	1996	moderate density (2 A·h outputs 70 amperes) High safety compared to Cobalt / Manganese systems. Operating temperature >60 °C (140 °F)
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO_2)	Sony first commercial production ^{[59][93]}	broad use	1991	High specific energy
Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide ("NCA", LiNiCoAlO_2)	Panasonic, ^[126] Saft Groupe S.A. ^[134]	Electric vehicles	1999	High specific energy, good life span

Oversikt over de mest vanlige materialene for den negative elektroden («Lithium-ion battery»,u.å.):

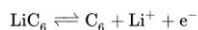
Technology	Density	Durability	Company	Target application	Date	Comments
Graphite			Targray	The dominant negative electrode material used in lithium ion batteries.	1991	Low cost and good energy density. Graphite anodes can accommodate one lithium atom for every six carbon atoms. Charging rate is governed by the shape of the long, thin graphene sheets. While charging, the lithium ions must travel to the outer edges of the graphene sheet before coming to rest (intercalating) between the sheets. The circuitous route takes so long that they encounter congestion around those edges. ^[137]
Lithium Titanate ("LTO", $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)			Toshiba, Altairmano	automotive (Phoenix Motorcars), electrical grid (PJM Interconnection Regional Transmission Organization control area, ^[138] United States Department of Defense ^[139]), bus (Proterra)	2008	output, charging time, durability (safety, operating temperature -50 -70 °C (-58-158 °F)) ^[140]
Hard Carbon			Energ2 ^[141]	Home electronics	2013	greater storage capacity
Tin/Cobalt Alloy			Sony	Consumer electronics (Sony Nexelion battery)	2005	Larger capacity than a cell with graphite (3.5Ah 18650-type battery)
Silicon/Carbon	Volumetric: 580 W·h/l		Ampricus ^[142]	Smartphones, providing 5000 mA·h capacity	2013	Uses < 10wt% Silicon nanowires combined with graphite and binders. Energy density: ~74 mAh/g. Another approach used carbon-coated 15 nm thick crystal silicon flakes. The tested half-cell achieved 1.2 Ah/g over 800 cycles. ^[143]

Elektrokjemi (eksempel)

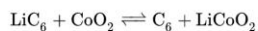
The positive electrode (cathode) half-reaction in the lithium-doped cobalt oxide substrate is:^{[89][90]}



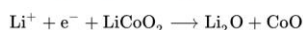
The negative electrode (anode) half-reaction for the graphite is:



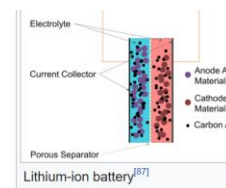
The full reaction (left to right: discharging, right to left: charging) being:



The overall reaction has its limits. Overdischarging supersaturates lithium cobalt oxide, leading to the production of lithium oxide,^[91] possibly by the following irreversible reaction:



Overcharging up to 5.2 volts leads to the synthesis of cobalt(IV) oxide, as evidenced by x-ray diffraction:^[92]



Levetid

Oppladbare batteriers levetid er vanligvis definert som antall fulle utladingssykluser før et betydelig kapasitetstap.

Produsenten angir vanligvis levetid i form av antall sykluser (f. eks kapasiteten synker lineært til 80% over 500 sykluser). I gjennomsnitt er levetiden til et lithium-ion batteri 1000 sykluser, selv om batteriets ytelse sjelden er angitt til mer enn 500 sykluser. Dette betyr at batterier i mobiltelefoner, eller andre håndholdte enheter i daglig bruk, ikke forventes å vare lenger enn tre år. Noen batterier basert på karbon anoder kan ha en levetid på mer enn 10 000 Sykluser. Når batteriet utlades, avtar spenning gradvis. Når det har nådd et gitt spenningsnivå vil beskyttelseskretsen (2,4 til 2,9 V/celle, avhengig av kjemi) koble ut og stoppe utladingen. Under utlading, kan metallisk celleinnhold bygge seg opp på uønskede områder inne i cellen, og kan skape uønskede utladninger inne i cellen som fører til redusert kapasitet («Lithium-ion battery»,u.å.).

Degradering

I løpet av batterienes levetid vil kapasiteten gradvis bli redusert. Kapasitetstap uttrykkes vanligvis som en prosentandel av opprinnelig kapasitet etter en rekke av sykluser (for eksempel 30% tap etter 1 000 sykluser). Degradering er sterkt avhengig av temperaturen, med en minimal nedbrytning med temperaturer rundt 25 ° c. Er temperaturen over eller under 25° c vil det degraderes raskere. Høye ladestrømmer og høye temperaturer (enten fra lading eller omgivelsene) vil fremskynde degradingen. Batteriet generer varme når det lades og utlades

pga dens interne resistans. Ekstern oppvarming og nedkjøling er nødvendig for å åpna best mulig levetid («Lithium-ion battery»,u.å.).

Dette er de fem mest vanlige eksoterme reaksjonene som kan forekomme:

- Kjemisk reduksjon av elektrolytten av anoden.
- Termisk dekomponering av elektrolytten.
- Kjemisk oksidasjon av elektrolytten av katoden.
- Termisk nedbryting av katoden og anoden.
- Intern kortslutning ved lading.

Kilder:

Battery University

(u.å.). Is Lithium-ion the Ideal Battery?. Hentet fra

https://batteryuniversity.com/Learn/Archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery

(Battery University, u.å., Is lithium-ion the ideal battery?)

Lithium-ion battery.

(u.å.). I Wikipedia. Hentet 27. mai 2019 fra https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

(«Lithium-ion battery»,u.å.)

Anode.

(u.å.). I Wikipedia. Hentet 27. mai 2019 <https://en.wikipedia.org/wiki/Anode>

(«Anode»,u.å.)

Vedlegg 6 – Presentasjon av tre eksisterende autonome transportfartøy

Atlas Electronics ARCIMS

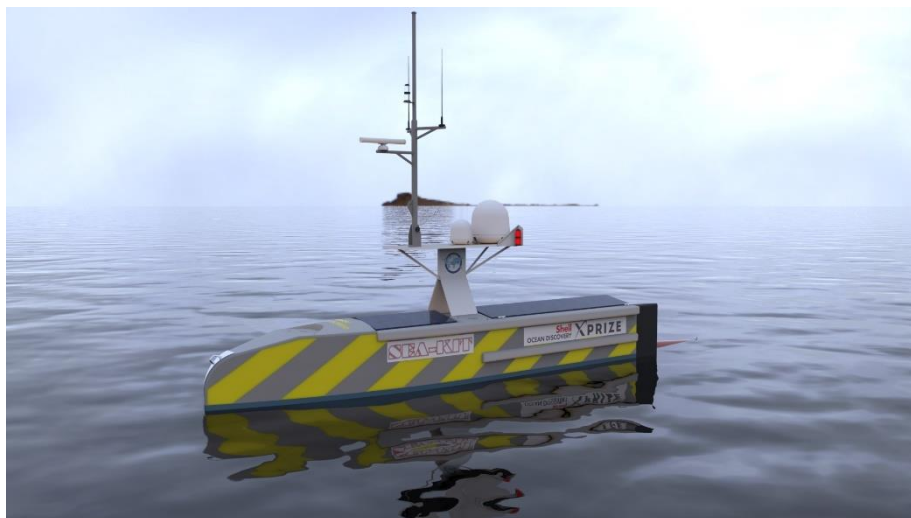


Figur 26: ARCIMS (Naval Technolgy, u.å., ATLAS Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS))

ARCIMS er en modulbasert plattform, bygget på et glassfiberforsterket katamaranskrog av ICE Marine. Skroget er bygget for å kunne transporteres over land, vann og gjennom luften for å hurtig kunne svare på asymmetriske trusler. Det er en sjokkresistent plattform med høy manøvreringsevne og tauekapasitet (Naval Technolgy, u.å., ATLAS Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS)).

ARCIMS plattformen kan enkelt utstyres med forskjellige minemottiltaks moduler og kommunikasjon og kontroll system som kan opereres fra sjø og land. Bruken av en eller flere slike plattformer øker kapasiteten til å drive minemottiltaks operasjoner. Den er også godkjent for operasjoner med mennesker ombord (Naval Technolgy, u.å., ATLAS Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS)).

Kongsberg SEA-KIT



Figur 27: SEA-KIT (Kongsberg maritime, (u.å.), Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform)

SEA-KIT er en USV som kan bære og deployere en last på opptil 2.5 tonn. Den er basert på et AUV-USV, konsept som kan føre til en mer effektiv, tryggere og mer kosteffektiv havbunnskartleggings operasjoner. I tillegg er den konstruert for å være en plattform som kan bidra innenfor flere aspekter i den maritime sektoren (Kongsberg maritime, (u.å.), Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform).

SEA-KIT fartøyet er en neste generasjons, langt-rekkende og utholdende havgående kapasitet som enda ikke eksisterer i dag. Den har mulighet for å operere uten assistanse i flere måneder av gangen (Kongsberg maritime, (u.å.), Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform).

Boeing: ECHO VOYAGER



Figur 28: Echo Voyager (Boeing, (u.å.), Echo Voyager Overview)

Echo Voyager er et fullautonomt ekstra stort ubemannet undersjøisk fartøy, XLUUV, en klasse UUV som kan brukes til flere typer oppdrag som tidligere ikke har vært mulig på grunn av tradisjonelle UUV begrensninger. Echo Voyager er komplett med en stor intern og ekstern lastekapasitet og flere variasjoner innen fremdriftssystemer. Dette er med på å utvide mulighetene sammenliknet med liknende systemer som finnes i dag. Fartøyets avanserte autonome system, tillater det å være på sjøen for flere måneder av gangen. Dette er med på å skape en mer økonomisk, oppdragsbasert løsning enn andre systemer (Boeing, (u.å.), Echo Voyager Overview).

Kilder:

Naval Technology.

(u.å). ATLAS Remote Combined Influence Minesweeping System (ARCIMS). Hentet fra <https://www.naval-technology.com/projects/atlas-remote-combined-influence-minesweeping-system-arcims/>

Kongsberg Maritime.

(u.å.). Kongsberg K-Mate Autonomy Controller For New Usv-Auv Platform. Hentet fra <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/All-Web/05C7E2D7058C6214C125816800302937?OpenDocument>

Boing.

(u.å.). Echo Voyager Overview. Hentet fra <https://www.boeing.com/defense/autonomous-systems/echo-voyager/index.page>

Vedlegg 7 – Utregninger for lettvekts sveip

Utregningene under vil gi et grunnlag for effektbehov med sveip. Etter gitte forutsetninger velger vi en kabel som må tåle en strømstyrke på 750A og 1000A. En kobberkabel har en spesifikk motstand på $0.0175 [\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}]$. Ved å ta utgangspunkt i en kabel med tverrsnitt på 400 mm^2 vil denne har en strømføringssevne på 836A ifølge formelen $I = \alpha \times A^{0,625} \times \beta$. α (strømføringskoeffisient) er hentet ut fra NEK400 og har en verdi på 18. (Norsk elektroteknisk komite, 2018, s 61)

$$I = 18 \times 400^{0,625} \times 1,1 = 836\text{A}$$

Beregningen er basert på en omgivelsestemperatur på 35 grader fordi NEK400 ikke beskriver en strømføringssevne under denne temperaturen. Reell strømføringssevne for en kabel som slepes i vann og blir konstant nedkjølt er i praksis større, antar derfor at å kjøre 1000A i kortere perioder går fint.

Denne utregningen viser at vi kan ta en 250m lang kabel med et tverrsnitt 400mm^2 for å fastsette et reelt energibehov for sveip. Denne kabelen har en motstand på $0.0175[\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}]/400[\text{mm}^2] * 250[\text{m}] = 0.010938\Omega$. Vi beregner så et effektbehov med en strømstyrke på 1000A og 750A. Disse parameterne vil føre til et effektbehov på:

$$P = R \times I^2 = 0,010938 \times 1000^2 = 10938\text{W} \approx 11\text{kW}$$

$$P = R \times I^2 = 0,010938 \times 750^2 = 6152\text{W} \approx 6,2\text{kW}$$

Kabelen er beregnet for havbruksindustri, den er svært robust og tåler å ligge konstant i vann. Kabelen har en vekt på $4120\text{kg}/\text{km}$. Så i vårt tilfelle veier kabelen 1030kg . Vekt på tilhørende utstyr settes til 100kg , dette gir en totalvekt på systemet på 1130kg . (Lapp Norway, (2019), ROFLEX datablad)

Vi tar utgangspunkt i to moduser for sveip avhengig av minetyper og trussel. Modus 1 vil ta utgangspunkt i en strømstyrke på 750A, med beregnet tap og akustisk støygenerering antas effektbehovet å være 10kW . Modus 2 vil ta utgangspunkt i en strømstyrke på 1000A, og antas et effektbehov på 15kW .

Kilder:

Lapp Norway.

(2019, 8.April). ROFLEX Datablad. Hentet fra https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Mil-tronic_Norway/Dokumenter/datablad/2019/ROFLEX-datablad-LAPPNorway-norsk-0904-2019.pdf