

Bærekraftige løsninger for Forsvarets fartøyer



Denne rapporten har blitt utarbeidet gjennom samarbeidet i Grønt Skipsfartsprogram GSP-piloten «Bærekraftige Løsninger for Forsvarets fartøyer» under ledelse av piloteier Forsvarsmateriell. En stor takk til alle partnerne som har bidratt til rapporten, og en spesiell takk til de som har ledet arbeidsgruppene.



Kontakt:

Robin Tomren, Piloteier Forsvarsmateriell rtomren@mil.no

Forord

Arbeidet med Grønt Skipsfartsprogram (GSP) pilot «Bærekraftige løsninger for Forsvarets fartøyer» ble startet senhøsten 2024. GSP er et DNV-administrert partnerskapsprogram mellom private og offentlige aktører med en visjon om at Norge skal etablere verdens mest effektive og miljøvennlige skipsfart. Programmet skal også være et effektivt virkemiddel for å iverksette regjeringens og Stortingets strategier og planer.

- Pilotstudien «Bærekraftige løsninger for Forsvarets fartøyer» har blitt gjennomført av Forsvarsmateriell med støtte fra andre etater og 22 andre pilotpartnere. Målsetningen med pilotstudien var å etablere mulighetsrommet for bærekraftige løsninger for de standardiserte fartøyene, gjennom å
 - utforske alternative drivstoff og ny teknologi
 - øke energieffektiviteten og optimalisere operasjonsmønstre
 - gjennomføre tekniske og økonomiske vurderinger av teknisk/økonomisk gjennomførbarhet og risikovurderinger for ulike løsninger
 - vurdere scope 3-utslipp (indirekte utslipp) fra bygging av skipene

Det endelige målet for piloten var dette:

- Bruke resultatene fra pilotstudien til støtte i utforming av krav til anskaffelse av standardiserte fartøy.

Med bærekraftige løsninger har fokuset i pilotstudien vært på løsninger som bidrar til å redusere klimagassutslipp. Arbeidet i piloten er derfor ansett som et viktig bidrag for å belyse relevante problemstillinger og muligheter for anvendelser av bærekraftige løsninger for standardiserte fartøyer. Langtidsplanen og de politiske føringene skaper sterke incentiver til bærekraft og utslipp i forbindelse med anskaffelsen av fremtidens forsvarsfartøyer.

Piloten kunne ikke vært gjennomført uten viktige bidrag fra alle partnere. Den har gitt økt innsikt og kompetanse i tillegg til viktig nettverksbygging.



Gro Jære, Direktør, Forsvarsmateriell: *«Klimaendringene har påvirkning på blant annet Forsvarets forsyningskjeder, materiell, og øving- og treningsområder. I tillegg har klimaendringenes påvirkning på samfunnet og samfunnets infrastruktur også konsekvenser for Forsvaret. En forsvarssektor som bidrar til å redusere utslipp og som tilpasser seg en verden i rask endring, er derfor avgjørende for vår sikkerhet.»*

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	6
2	Introduksjon	9
2.1	Forutsetninger	9
2.2	Oppsett	10
3	Omverdensanalyse	11
3.1	Samspill mellom sivile og militære løsninger.....	12
3.2	Tilgang til ulike energikilder/infrastruktur	12
3.3	Hvordan klima- og miljøhensyn påvirker Forsvaret, og omvendt	13
3.4	Globale og nasjonale mål for utslippskutt	14
3.5	Bærekraftskrav i offentlige innkjøp	15
4	Overordnet risikovurdering av ulike energibærere.....	17
4.1	Risikovurdering	17
4.2	Diskusjon – Praktisk tilnærming til risikoreduksjon	20
4.3	Konklusjon.....	20
5	Gjennomførbarhet av mulige løsninger for reduksjon av direkte klimagassutslipp	22
5.1	Forutsetninger og avgrensninger.....	23
5.2	Vurdering av tekniske og operative tiltak for redusert energibruk	28
5.3	Vurdering av skipstekniske konsekvenser av alternative drivstoff.....	33
5.4	Vurdering av drivstoff logistikk og energi-tilgang	47
5.5	Økonomiske vurderinger	54
5.6	Konklusjon.....	62
6	Bruk av droner for redusert energibruk	64
6.1	Bruk av droner i operasjon.....	64
6.2	Krav til skipets operasjon og design ved bruk av droner	66
6.3	Mulige CO ₂ utslippsbesparelser ved bruk av droner	66
6.4	Andre tiltak	67
6.5	Konklusjon.....	69
7	Verdikjedeanalyse og Scope 3 utslipp	70
7.1	Avgrensninger	71
7.2	Hovedfunn	73
7.3	Konklusjon.....	75
8	Definisjoner og forkortelser	76



Grønt Skipsfartsprogram

8.1	Definisjoner	76
8.2	Forkortelser	76
9	Referanser	78
Vedlegg 1 Overordnet risikovurdering av energibærere		81
Vedlegg 2 Gjennomførbarhet av mulige løsninger for reduksjon av direkte klimagassutslipp		82
Vedlegg 3 Livsløpsvurdering av CO2-utslipp fra et militært skip		99

1 Sammendrag

Ifølge langtidsplanen fra 2024 skal nesten hele overflatestrukturen til Sjøforsvaret fornyes i løpet av en relativt kort periode. Langtidsplanen legger også føringer for at fartøyene i tillegg til å hevde landets suverenitet skal bidra til å oppfylle sektorens bærekraftsmål. Fartøyene skal designes for 30 års levetid, og byggingen antas å ta ca. 10 år til siste fartøy er levert. Fartøyene vil derfor være i drift til ca. 2070, og det må forventes vesentlige endringer innenfor teknologi, tilgang til energi/drivstoff og finansielle perspektiver som kostnader for utslipp i denne tidsfasen.

Forsvarsmateriell erfarer at norsk sivil maritim næring er verdensledende innen forberedelser av overgangen til netto nullutslipp fra skipsfarten. Det betyr at et samarbeid med næringen kan gi et stort kunnskapsløft til forsvarssektoren. GSP-piloten «Bærekraftige løsninger for Forsvarets fartøyer» ble satt i gang med dette som formål. Resultatene fra piloten er derfor ment å være et bidrag til dette kunnskapsløftet.

Hovedfokuset i rapporten har vært på bærekraftige løsninger som reduserer klimagassutslipp under bygging og drift av fartøyene. Arbeidsomfanget i piloten har derfor inkludert kunnskapsinnhenting om klimagassutslipp knyttet til byggefasen («cradle-to-gate») samt teknologiske løsninger for å redusere klimagassutslippene i driftsfasen knyttet til følgende:

- **Alternative drivstoff:** Alternative drivstoff og energibærere som er inkludert i arbeidet, er metan (flytende – LNG og biogass), metanol, ammoniakk, hydrogen (gass, flytende, Liquid organic hydrogen carrier (LOHC)) og biodrivstoff, i tillegg til kjernekraft.
- **Energieffektiv fremdrift:** Tekniske tiltak som er studert, omfatter skrogform, fremdrifts-løsninger og dimensjonering av generatorer og systemkonfigurasjon for generatorer, batterisystemer og energisparingstiltak. Operasjonelle tiltak omfatter riktig bruk av utstyr og opplæring av mannskap.
- **Redusert seilingsdistanse:** Omfanget inkluderer i hovedsak bruk av droner både i luft, på overflaten og under vann, og andre tiltak som ruteplanlegging.

Hoveddelen av arbeidet har vært knyttet til vurderinger av tekniske og økonomiske aspekter ved bruk av alternative drivstoff og tiltak for energieffektiv fremdrift. I tillegg gjennomførte vi en overordnet risikovurdering av de ulike alternative drivstoffene med tanke på militærspesifikk risiko (kollisjon og grunnstøting, sårbarhet for installasjoner over le og i skuteside, våpenvirkning fra små- og storkalibret prosjektil, undervannsekspløsjoner og missiltreff og effekt av droner i alle tre domener).

Når det gjelder bruk av alternative drivstoff, er det er svært mange variabler som vil påvirke konklusjonene, for eksempel prisutviklingen på CO₂-utslipp, teknologiutvikling, tilgang til energibærere og hvilke ytelseskrav som vil bli stilt til fartøyene. Det er derfor utfordrende å komme med konkrete vurderinger av operativt smarte, tekniske gode samt klimavennlige og økonomiske fordelaktige løsninger for prosjektet.

Det er mange teknologiske løsninger for bruk av alternative drivstoff og energieffektiv fremdrift som er relevante for å redusere klimagassutslipp under operasjon av fartøyene. Vurderingen av gjennomførbarhet og risiko peker på følgende muligheter og utfordringer:

- Veldefinerte og robuste elektro- og fremdriftsløsninger, uttestet innen kommersiell skipsfart, vil kunne medføre utslippsreduksjoner opp til 20–25 %.
- På grunn av store usikkerheter virker det fornuftig at de største fartøyene forberedes med fleksibilitet for flere energiløsninger med dual-fuel-motorer og en batteripakke.
- Maks hastighet for de mindre fartøyene er en vesentlig faktor som påvirker hvilket mulighetsrom som finnes for alternative drivstoff utover biodrivstoff (Hydrogenert Vegetabilsk Olje (HVO)/ Fettsyre metyl ester (FAME))
- Med en forlenging av fartøyene for å få plass til større eller flere drivstofftanker vil flere av de alternative drivstoffene kunne dekke store deler av energibehovet for rekkevidde og utholdenhet.
- Det er begrenset tilgang til flere av de aktuelle alternative drivstoffene i operasjonsområdet (Norge, Nordsjøen og Norskehavet) i dag. Sjøforsvaret bør vurdere partnerskap for å etablere produksjon- og lagringskapasitet i samarbeid med andre aktører (både offentlige og private). I tillegg bør Sjøforsvaret følge med på utfallet av pågående og kommende European Defence Fund-prosjekter.
- Akkumulerte livsløpskostnader avhenger sterkt av fremtidige priser på CO₂-utslipp. Analysene basert på tre forskjellige prisprognoser. Disse indikerer at Sjøforsvaret kan spare betydelige summer ved å introdusere alternative drivstoff som supplement til (eller erstatning av) Marin gassolje (MGO).
- Kjernekraft vil kunne være aktuelt som energikilde om bord på Forsvarets fartøy, men vil ikke være teknologisk tilgjengelig i Standardiserte fartøy-prosjektet. Avhengig av teknologisk og kommersiell utvikling og modning vil kjernekraft kunne vurderes ved eventuelle oppgraderinger av fremdriftsløsningene.

Basert på tiden og informasjonen som har vært tilgjengelig, er en forlenging av de havgående fartøyene og installasjon av dual-fuel-anlegg sammen med en batteripakke en mulig løsning for å ivareta operasjonskravene og redusere klimagassutslipp.

Den overordnede risikovurderingen fremhever at for flere av energibærerne vil implementeringen av tilstrekkelige sikkerhetsbarrierer være sterkt dimensjonerende for plattformen. For noen av energibærerne vil det faktisk kunne legge så sterke føringer på fartøysdesign at disse ikke lar seg kombinere med andre forventede krav. Dette er spesielt knyttet til alternative drivstoff i gassform som LNG, hydrogen og ammoniakk. I fravær av spesifisert bruksprofil og anvendt teknologisk løsning, er det vanskelig å fastsette sannsynlighet eller frekvens samt konsekvens av en hendelse. Risikovurderingen er derfor basert på antagelser om verstefallsscenarioer – noe som er konservativt.

En måte å få ned drivstofforbruket på fartøyene på er å redusere behovet for å seile. Å bruke droner i alle domener (i luft, på overflaten og under vann) og moderne teknologi for å dele situasjonsbilder, med overordnet og eventuelt sideordnede aktører i tilnærmet sanntid, vil bidra til at operasjoner blir mer effektive. Mye av teknologien finnes allerede i dag og kan implementeres gitt operasjonenes behov, at man finner riktig teknologi, og at denne integreres om bord på fartøyene. Det er også viktig

å sørge for at mannskapene ombord har den rette kunnskapen til å utnytte teknologien på en best mulig måte.

Anskaffelse av fartøyer innebærer også indirekte utslipp av klimagasser gjennom utslipp knyttet til produksjon av materialet som benyttes, og utslipp fra selve byggingen. «Cradle-to-gate»-analysen gjennomført i piloten peker på stålproduksjon, kobberproduksjon og produksjonen av rustfritt stål som de tre største enkeltkildene til klimagassutslipp i nybyggingsprosessen. Dette innebærer at betydelige reduksjoner i totale klimagassutslipp kan oppnås gjennom nøye valg av leverandører og lokasjoner for innkjøp av materialer, inkludert grønt stål og resirkulert stål og kobber. Imidlertid kan tilgangen på grønt stål være begrenset, og det kan være utfordrende å finne leverandører som både oppfyller tekniske krav og har kapasitet til å levere i ønsket skala og til en pris som er innenfor de økonomiske rammene. I tillegg vil leverandørens geografiske lokasjon kunne påvirke utslippene ytterligere, ettersom transporten av stålet til verftet også bidrar til de totale utslippene. Økt andel lokale leverandører bidrar til å redusere utslippene knyttet til transport av materialer fra leverandører til verftene. Effekten av økt bruk av lokale leverandører må likevel vurderes helhetlig for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i klimagassutslipp.

Vi anbefaler at forsvarssektoren, etter å ha kommet videre med utforming av kravene for de forskjellige variantene av fartøyene, jobber videre med teknologiske løsninger knyttet til alternative drivstoff, energieffektiv fremdrift og redusert seilingsdistanse, med mål om å redusere klimagassutslippene i driftsfasen. Kunnskapsinnhenting har belyst mange muligheter for hvordan Forsvaret kan opprettholde sine operative krav, samtidig som klimagassutslippene reduseres. Disse bør tas med videre i arbeidet med Standardiserte fartøy. De operative fordelene og ulempene bør vurderes nøyer sammen med eventuelt kompenserende tiltak for å ta ned risiko.

2 Introduksjon

Ifølge langtidsplanen av 2024 skal nesten hele overflatestrukturen til Sjøforsvaret fornyes i løpet av en begrenset periode, og dette er motivasjonen for å gjennomføre denne piloten. Langtidsplanen legger også føringer for at fartøyene i tillegg til å hevde landets suverenitet skal bidra til å oppfylle sektorens bærekraftsmål. Forsvarsmateriell erfarer at norsk sivil maritim næring er verdensledende innen forberedelser av overgangen til netto nullutslipp fra skipsfarten. Det betyr at et samarbeid med næringen kan gi et stort kunnskapsløft til forsvarssektoren. Denne rapporten er derfor ment å være et bidrag til dette kunnskapsløftet.

Hovedfokus i rapporten har vært på bærekraftige løsninger som reduserer klimagassutslipp under bygging og operasjon av fartøyene. Rapporten består i stor grad av allment tilgjengelig informasjon og presenterer en sammenstilling av dette.

Tidslinjen for anskaffelsen av inntil 28 standardiserte fartøyer til Sjøforsvaret er kort. Gjennomføringen av denne piloten er derfor sett på som en god måte for raskt å få gode innspill til bærekraftige og fremtidsrettede løsninger for standardiserte fartøy. Piloten har blitt gjennomført i en periode hvor detaljert informasjon om fartøyene som skal anskaffes, ikke har vært tilgjengelig. I tillegg har det vært et ønske å gjennomføre piloten innenfor et relativt kort tidsvindu for å kunne benytte seg av innsamlet informasjon i selve anskaffelsesprosjektet. Den korte gjennomføringstiden og manglende detaljbeskrivelse av fartøyene har som konsekvens at både datagrunnlaget og muligheten for pilotdeltagerne til å gå ned i dybden i piloten har vært begrenset. Det er mange aspekter som kunne vært bedre utredet, og mange aspekter som måtte settes helt til side for å holde tidsplanen.

Pilotstudien er gjennomført som en helt åpen pilot der alle som har ønsket det, har hatt mulighet til å delta. Det vil si at Forsvarsmateriell bare har delt ugradert informasjon med pilotdeltagerne. En konsekvens av dette er at resultatene fra pilotstudien blir åpne og dermed allment tilgjengelige gjennom Grønt Skipsfartsprogram.

Det har også vært et viktig poeng at all informasjon som er gitt til deltagerne i piloten, ikke er av en slik karakter at det blir gitt en konkurransefordel til deltagerne. Dette er i henhold til regelverk for offentlige anskaffelser. Deltagerne vil derfor ikke være ekskludert for senere deltakelse i arbeid med Standardiserte fartøy.

2.1 Forutsetninger

I langtidsplan for forsvarssektoren [1] står det følgende om standardiserte fartøy, oppgaver og tiltenkt bruk (side 70):

Standardisert fartøysklasse skal bestå av to størrelser – en stor, havgående utgave og en mindre, kystnær utgave, og tilpasses til å løse bredden av Kystvaktens og Marinens oppgaver. Standardfartøyene skal designes for å kunne holde følge med den teknologiske utviklingen og gi mulighet for rask utnyttelse av nye teknologiske løsninger som blir tilgjengelig i fartøyenes levetid, herunder å være tilrettelagt for utfasing av fossilt drivstoff i fartøyenes levetid.

Videre beskriver langtidsplanen (samme side):

Standardfartøyene til Marinen skal kunne benyttes som plattform for situasjonsforståelse, minelegging, minerydding, maritim styrkebeskyttelse og en viss evne til antiubåtkrigføring med integrerte og modulære systemer.

Kystvaktens standardiserte fartøyer skal særlig tilpasses Kystvaktens oppdrag. Kystvakten ivaretar myndighetsutøvelse på avgrensede områder. De skal også kunne ta om bord enkelte av Marinens modulære systemer ved behov.

I fravær av kravdokument med spesifiserte krav til ytelser for de standardiserte fartøyene tar vi derfor utgangspunkt i disse beskrivelsene som grunnlag for denne rapporten.

Med bakgrunn i teksten ovenfor forventer vi at fartøyene blant annet skal utføre oppdrag som sleping, assistanse til havarister, fiskerioppsyn, maritime sikkerhetsoppdrag, suverenitetshevdelse og sjønekt. I tillegg er det nærliggende å forvente at enkelte av fartøyskonfigurasjonene vil være aktuelle for skarpe militære operasjoner.

2.2 Oppsett

Rapporten er delt i følgende kapitler:

3. Omverdensanalyse som ser på hvordan klima og økonomiske faktorer i omverdenen påvirker Forsvaret
4. Overordnet risikoanalyse av forskjellige energibærere om bord på skip, inkludert militærspesifikke risikoer
5. Gjennomførbarhet av mulige løsninger for å redusere direkte klimagassutslipp som omhandler tekniske og økonomiske vurderinger
6. Tekniske muligheter for å redusere seilingsdistanse med spesielt vekt på bruk av droner
7. «Cradle-to-gate»-analyse av byggingen av fartøyene

3 Omverdensanalyse

Med et dystert sikkerhetspolitisk bakteppe og en verden i stadig endring har Stortinget vedtatt en langtidsplan for forsvarssektoren med en intensjon om en betydelig styrking av forsvarsevnen. Russland har demonstrert vilje til brutal adferd over lang tid og har startet å nedprioritere andre samfunnsoppgaver for å kunne fortsette krigføringen i Ukraina. Kina blir en stadig tydeligere utfordrer, og Vestens motstandere finner sammen. Konfliktene i Midtøsten fører til økt terrortrussel for Norge og våre allierte. Den politiske utviklingen i USA skaper større uforutsigbarhet om amerikansk støtte og tilstedeværelse i Europa [2].

Samtidig med satsningen på Forsvaret er regjeringen tydelig på klimaendringenes betydning. Utenriksminister Espen Barth Eide sa 29. januar 2025 til NRK: «Det eneste som kan ødelegge like mye som klimakrisen er en fullskala atomkrig» [3]. Klimaendringene er i seg selv en sikkerhetsutfordring som påvirker Norge, Norges befolkning og Forsvaret. Klimaendringene har påvirkning på blant annet på Forsvarets forsyningskjeder, materiell, og øving- og treningsområder. I tillegg har klimaendringenes påvirkning på samfunnet og samfunnets infrastruktur også konsekvenser for Forsvaret. Klimaendringer og beredskap henger derfor nært sammen. Dette stadfester også regjeringen i Klimamelding 2035 [4], med oppdaterte klimamål for Norge hvor det understrekes at klimapolitikken fremover må ta hensyn til sikkerhet og beredskap. Klimaendringer, teknologisk utvikling og et mer sammensatt trusselbilde endrer hva som skal til for å forsvare Norge. En forsvarssektor som kan tilpasse seg en verden i rask endring, er derfor avgjørende for vår sikkerhet.

Den store utfordringen blir derfor å øke samfunnets totale beredskap og Forsvarets evne til å håndtere en militær situasjon, samtidig som bærekraft skal gjennomsyre investeringene våre. Bærekraftshensyn i forsvarssektorens investeringer innebærer følgende:

- **Klima og miljø:** sikre minst mulig negativ klima- og miljøpåvirkning gjennom hele levetiden til vårt materiell. Det vil si fra utvinning av råvarer, til produksjon, ved drift, vedlikehold og bruk av materialet, og ved avhending. I tillegg må vi sikre at ytelseskrav også ivaretas under endrede klimatiske forhold (klimatilpasning).
- **Sosiale forhold:** sikre at materialet er trygt å bruke (safety) og tilpasset brukerens behov (human factors), samt å ivareta menneske- og arbeidstakerrettigheter i leverandørkjeden.
- **Økonomi:** Som landets største offentlige innkjøper følger både stor innkjøpsmakt og stort ansvar. Forvaltningen av felleskapets ressurser innebærer å gå foran og sikre et mer bærekraftig forbruk og stille høye krav til etiske standarder i verdikjeden og i egen virksomhet.

Denne studien avgrenses til klima og miljø. Det økte søkelyset på bærekraft medfører at midlene som brukes på forsvarssektoren, også må bidra til grønn omstilling av norsk og europeisk industri. Kravstilling i samarbeid med industrien som setter tøffe, men realistiske krav er viktig. Uten nødvendig omstilling kan norsk industri få utfordringer med å selge moderne og effektivt utstyr og systemer til internasjonal, kommersiell skipsfart og andre lands forsvar. Hvis Norge sitter igjen som eneste bruker, vil det hverken gagne industrien, Forsvaret eller beredskapen vår. Økt bruk av standardisering og færre særnorske krav er derfor en forutsetning for å lykkes med dette. Norge har hatt stor suksess med å gå foran og vise vei teknologisk innen den sivile skipsfarten.

Å gjennomføre den vedtatte langtidsplanen og samtidig ta bærekraftige valg krever økt satsning på forskning og utvikling. Det å ha forskningsbasert kunnskap om hvilke klimatiltak og endringer i Forsvarets innretning som kreves for å redusere klimagassutslippene og samtidig begrense negative konsekvenser for operativt evne, er en forutsetning for gode beslutninger.

Av de direkte klimagassutslippene er det klimagassutslipp fra luftfartøy som øker mest de neste årene fordi kampfly, maritime patruljefly og nye helikoptre fases inn og aktiviteten økes. Klimagassutslippene fra fartøy øker i takt med utvidelsen av den maritime strukturen og utgjør en vesentlig del av sektorens utslipp. Det er derfor helt nødvendig at det finnes gode planer og løsninger for å redusere utslipp fra nye standardiserte fartøy.

Det er også verdt å merke seg at en ny studie fra FFI finner at forsvarssektoren legger liten vekt på klima og miljø ved investeringsbeslutninger. Det er bekymringsfullt siden dagens investeringer har stor påvirkning på sektorens evne til å møte fremtidens klima- og miljøkrav [2].

Erfaringene fra pandemien og krigen i Ukraina har vist oss tydelig hvilke sårbarheter som er knyttet til lange, uoversiktlige forsyningslinjer, og hvilken betydning det har for vår beredskap. Totalforsvaret har fått fornyet fokus og betydningen av nærhet til forsvarsindustrien har økt. Industriens og forsvarssektorens evne til å omstille virksomheten og øke produksjonen er vesentlig for å håndtere en sikkerhetspolitisk krise eller krig.

3.1 Samspill mellom sivile og militære løsninger

Det er regjeringens ambisjon at nye fartøy til Sjøforsvaret skal bidra til å redusere utslipp av klimagasser sammenlignet med innfasingen av tilsvarende fartøy uten bruk av klimavennlige løsninger og teknologi. Reduksjon av klimagassutslipp fra marine fartøy krever teknologiske løsninger som benyttes av flere aktører innen skipsfart. Det er da nødvendig å ta frem løsninger som deles med den sivile flåten, og som kan understøttes av den maritime næringen. Dette omfatter valg av energibærere, infrastruktur og utstyrsleverandører og gjøres best i en nasjonal kontekst som bygger videre på etablert politikk for grønn skipsfart [1].

Styrken i den nasjonale maritime klyngen er tett samarbeid mellom aktørene, hvilket bidrar til innovasjon. Eksempler på dette er Grønt Skipsfartsprogram og Maritime Clean Tech, som mener at det er realistisk at fremtidens fartøy vil være hybridfartøy med både forbrenningsmotorer, brenselceller og batteri. Avhengig av oppdragets art og varighet kan da den beste kombinasjonen av kraft og energikilde velges.

I «Samarbeid for sikkerhet» [5] ble det pekt på at systemintegrasjon og levetidsstøtte for militære systemer vil være to av totalt åtte teknologiske kompetanseområder for samarbeid mellom forsvarssektoren og industrien. For å bygge beredskap og forsyningssikkerhet for Sjøforsvarets fartøy må disse to kompetanseområdene kombineres. Økt nasjonal kompetanse innen militær skipsbygging vil gi styrket beredskap, forsyningssikkerhet og en konkurransedyktig forsvarsindustri.

3.2 Tilgang til ulike energikilder/infrastruktur

Regjeringen lanserte tilbake i 2019 en handlingsplan for grønn skipsfart, og Regjeringen har også varslet at det kommer en for fornybare drivstoff til skipsfarten. Fra 2024 ble norsk skipsfart innfaset i EUs kvotesystem (ETS) og må betale en forventet gjennomsnittlig kvotepris på 1500 kr/tonn i 2030. Regjeringens plan er at den samlede karbonprisen (avgift + kvote) blir 2400 kr/tonn i 2030. CO₂-prising er også diskutert i kapittel 5.

Fra 2025 blir også EUs nye direktiv for grønne drivstoff gjennomført i Norge (FuelEU Maritime). Direktivet stiller krav om gradvis redusert karbonintensitet som isolert sett kan medføre ekstra 1000 kr/tonn fra 2030. Samlet sett kan kostnadene ved CO₂-utslipp øke til over 3400 kr/tonn i 2030. Det vil bety at kostnadene for fossilt drivstoff blir mangedoblet på få år. Utover 2030-tallet vil kostnadene fortsette å øke når kvotene blir faset ut og det vil ikke være flere kvoter igjen i 2039 [6].

Den internasjonale maritime organisasjonen IMO har etablert et juridisk rammeverk for å redusere utslipp av klimagasser fra skip globalt. Rammeverket sikter på netto-nullutslipp i 2050. Rammeverket kalles IMO Net-zero Framework, NZF. Dette er det første i sitt slag hvor en hel industrisektor står samlet bak et rammeverk som kombinerer obligatoriske utslippsgrenser og GHG-priser. Tiltakene i rammeverket skal formelt vedtas senere i 2025 og vil tas inn i MARPOL vedlegg VI. Endringene vil tre i kraft fra 2027.

Når sivil maritim næring etter hvert omstiller til klimavennlig drivstoff i den maritime næringen, vil dette åpenbart få konsekvenser for forsyningssikkerhet, infrastruktur og kostnader for militær virksomhet.

Det er også grunn til å anta at de tekniske løsningene Forsvaret velger for sine standardfartøy vil påvirke sivile valg av fremtidige nullutslippsløsninger. I tidligfase er prisen både på utstyrssiden og på drivstoffsidens relativt høy. Det er betydelige stordriftsfordeler på både utstyrssiden og på drivstoffsidens. Hvis samtlige standardfartøyer ender opp med å være klargjort for alternative drivstoff, for eksempel metanol eller ammoniakk, så vil dette være et signal til sivile redere om at det vil bli tilgjengelig store mengder av dette drivstoffet langs kysten, og at det er dette drivstoffet som først vi falle i pris på grunn av stordriftsfordelene ved produksjon. Hvis en oppnår denne effekten, vil det føre til at sivil infrastruktur for denne drivstofftypen vil harmonere godt med militære behov.

I tillegg; ved å være relativt tydelig på valg av å ha fartøy klargjort for en eller flere drivstofftyper eller energikilder, vil en gi norsk maritim næring et relativt stort tidlig hjemmemarked for en slik løsning. Dette vil være viktig for grønn verdiskapning, arbeidsplasser og eksport fra leverandører av teknologier, utstyr og tjenester. Disse aspektene er diskutert i mer detalj i kapittel 5.

3.3 Hvordan klima- og miljøhensyn påvirker Forsvaret, og omvendt

Klimaendringene vil fremover påvirke Forsvaret gjennom politiske prioriteringer, strengere krav til klimanøytralitet, økte avgifter, mer ekstremvær og endringer i operasjonsmiljøet [2].

Forsvaret gjennomførte i 2024 en dobbel vesentlighetsanalyse på bærekraft [7]. I analysen er klimaendringer identifisert som en vesentlig risiko for Forsvaret samt tilhørende politiske, regulatoriske og teknologiske endringer i en overgangsfase. Rapporten påpeker manglende scenarioanalyser knyttet til fysiske klimaendringer og konsekvenser for Forsvaret samt for kritisk materiell i Forsvarets globale leverandørkjede.

For Forsvarets interessenter er det identifisert en rekke vesentlige negative og positive påvirkninger som Forsvaret påfører omverden. Her er store klimautslipp særlig knyttet til bruk av drivstoff i luft- og sjøfartøy samt i de varer og tjenester som anskaffes både løpende og som investeringer, de mest vesentlige.

En anbefaling som ble gitt som en del av den doble vesentlighetsanalysen, var blant annet å gjennomføre en analyse for klimarisiko. Klimarisiko handler om hvordan de fysiske konsekvensene av

klimaendringer vil påvirke natur og samfunn, og hva overgangen til et lavutslippssamfunn vil innebære [8]. Man snakker da om fysisk risiko, overgangsrisiko og ansvarsrisiko.

Fysisk risiko er særdeles relevant for Forsvaret, og denne risikoen deles inn i to: akutt og kronisk fysisk risiko. Akutt er gjerne ekstremværepisoder som flom, ras og styrtregn. For Forsvaret kan dette eksempelvis påvirke våre forsyninger som følge av ødelagt infrastruktur. Kronisk fysisk risiko vil innebære at øvingsområder ikke lenger er tilgjengelige på grunn av endrede klimatiske forhold, eller varige temperaturendringer som krever annet type materiell og utstyr.

Overgangsrisiko handler om politikk, reguleringer, teknologi, og marked samt omdømme. Dette er endringer som knyttes til overgangen mot lavutslippssamfunnet. For politikk og reguleringer kan dette være på både lokalt og globalt nivå. Parisavtalen er et slikt eksempel, og det samme gjelder økt CO₂-avgift. Summen av politikk og reguleringer sammen med teknologiutvikling endrer markedsforholdene. Da skapes større etterspørsel etter lavutslippsteknologier som gjør at marked for gamle produkter reduseres og følgelig blir dyrere. Det er derfor svært viktig at klimarisiko inkluderes og blir en del av den ordinære risikoanalysen knyttet til anskaffelse av Forsvarets materiell, i dette tilfellet standardfartøy. Omdømmet må også vurderes i en klimarisikoanalyse. Tillitt er Forsvarets viktigste valuta. Det å tiltrekke seg arbeidskraft og være en omstillingsdyktig virksomhet er helt essensielt når man skal konkurrere om arbeidstakere.

Ansvarsrisiko er også en mulig trussel og bør tas med som en del av den klimarisikovurderingen. Ansvarsrisiko handler om klimasøksmål til land eller virksomheter som har tilbakeholdt informasjon, ikke har tatt hensyn til klimaendringer i virksomheten. Et eksempel i forsvarssammenheng er et svensk vannverk som i 2023 saksøkte det svenske Forsvaret på grunn av per- og poly-fluor-alkyl stoffer (PFAS)-forurensning som ble oppdaget i drikkevann i 2012, og som fortsatt i 2023 lakk fra Forsvarets eiendom.

3.4 Globale og nasjonale mål for utslippskutt

Norge har forpliktet seg til Parisavtalen og EUs klimamål med 55 % utslippsreduksjon innen 2030, netto null innen 2050. Hva gjør så NATO for å bremse utslippene? Nato-toppmøtet i 2021 vedtok en handlingsplan om klima og sikkerhet [9]. Alliansen har som mål å redusere utslippene fra forsvarssektoren i medlemslandene med 45 prosent innen 2030 og tar sikte på klimanøytralitet innen 2050. I 2024 kom NATO med en oppdatert «Climate Change and Security Impact Assessment Report» [10]. Den stadfester at akselererende klimaendringer har en stor innvirkning på alliert sikkerhet, og understreker behovet for at NATO må tilpasse seg endredningene i et raskt skiftende miljø. NATO jobber også med en energiomstillingsplan hvor drivstoff er en del av planen. Denne energiomstillingsplanen er ennå ikke publisert.

EUs Green Shipping har et uttalt mål for skipsfart hvor den skal ha nullutslipp, nullforurensning og null ulykker. Europeiske havner skal tilstrebe seg 90 % utslippsreduksjon innen 2050. Dette støttes av Grønt Industriløft 2.0 [11]. Norge skal forbli en maritim stormakt og vise vei i det grønne skiftet gjennom nullutslippsløsninger og autonome løsninger.

International Marine Organization (IMO – FNs sjøfartsorganisasjon)

IMO har innført EEXI-indeks for alle skip (Energy Efficiency Existing Ships Index). Dette er en videreutvikling av EEDI (Energy Efficiency Design Index), altså designkravene som ble innført til nye

skip fra 2013. EEXI definerer skipets energieffektivitet og hvor mye energi et skip skal bruke på å frakte en vare over en gitt avstand. Den gjelder alle skip, uansett alder.

CII (Carbon Intensity Indicators) er et mål for hvor mye det enkelte skip slipper ut av CO₂ målt på en skala fra A til E, hvor E er det dårligste. Skip som får graden E eller tre år på rad får D, må legge frem en plan for hvordan de skal redusere utslippene.

I tillegg har IMO blant annet strenge krav til SO_x-utslipp samt reguleringer for NO_x.

Forsvarssektoren er unntatt kravene fra IMO, men kravene som stilles i sivil maritim sektor knyttet til grønn omstilling, vil ha betydning for Forsvarets forsyning- og beredskapsevne.

Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)

AFIR er EUs forordning fra 2024 om utbygging av infrastruktur for alternativt drivstoff. Dette er en del av «Fit for 55». Forordningen omfatter ulike typer alternative drivstoff for ulike kjøretøy og fartøy. AFIR setter krav til utvikling av infrastruktur for fossilfritt drivstoff og gjelder også for havner med krav til landstrøm og tilgang til bunkring av alternative drivstoffkilder.

3.5 Bærekraftskrav i offentlige innkjøp

Offentlige anskaffelser er ansett som et viktig virkemiddel for å starte omstillingen til lavutslippssamfunnet. Klima- og miljøutfordringene har derfor vært et viktig satsingsområde i regelverket, jf. blant annet anskaffelsesloven § 5. I en forlengelse av denne bestemmelsen trådte skjerpede krav for å vektlegge klima- og miljøhensyn i offentlige anskaffelser i kraft 1. januar 2024.

Formålet med endringen av forskrift for offentlige anskaffelser (FOA) er at forskriften skal være et nyttig virkemiddel i arbeidet med å redusere klima- og miljøutslippene. FOA § 7-9 fastsetter en rettslig forpliktelse til å hensynta miljøbelastningen i den konkrete anskaffelsen der det er relevant. Å stille slike krav i den enkelte anskaffelse vil være en større bidragsyter til klima og miljø enn anskaffelsesloven [§ 5](#), som pålegger oppdragsgiver å innrette sin *anskaffelsespraksis* slik at den bidrar til å redusere skadelig miljøpåvirkning og fremme klimavennlige løsninger der det er relevant.

Det følger av § 7-9 sett i sammenheng med anskaffelsesloven § 5 at en oppdragsgiver må gjennomgå sin anskaffelsespraksis og få en oversikt over hvor de største miljøbelastningene er, og hvordan de mest hensiktsmessig kan reduseres. En kartlegging av anskaffelsen klimaavtrykk og miljøbelastning gir svært nyttig informasjon om hvordan vi kan tilrettelegge anskaffelsene for å bidra til mindre utslipp. Miljøkrav kan stilles både som kvalifikasjonskrav, krav til ytelsen i kravspesifikasjonen, tildelingskriterier eller kontraktsvilkår. Hvordan kravene skal stilles, vil blant annet avhenge av hvilket behov som skal dekkes, hva som utgjør miljøbelastningen, modenhet i markedet, konkurransesituasjonen og om det er mulig for leverandørene å dokumentere miljøbelastningen.

Imidlertid finnes det ikke en tilsvarende bestemmelse i forskrift om forsvars- og sikkerhetsanskaffelser (FOSA), som mange av Forsvarets anskaffelser gjennomføres i henhold til. Forsvarssektoren har også sitt eget anskaffelsesregelverk (ARF) som er en intern instruks som supplerer lovverket, men som heller ikke inneholder strengere reguleringer om hvordan klima og miljø skal hensyntas i anskaffelsene.

Selv om Forsvarsmateriell ikke er pålagt i samsvar med lov å gjøre dette på anskaffelser som faller inn under FOSA, er det gode grunner for at vi likevel skal gjennomføre kartlegging av klimaavtrykk og

miljøbelastning og tilstrebe å strekke oss langt i å stille miljøkrav som både kvalifikasjonskrav, krav til ytelsen i kravspesifikasjonen, tildelingskriterier eller kontraktsvilkår der dette er mulig.

3.5.1 Bærekraftskrav i anskaffelser – til inspirasjon

En rekke offentlige institusjoner og offentlige selskaper som Statens vegvesen, fylkeskommunene, Samferdselsdepartementet, Sykehusinnkjøp, Kystverket og Equinor (privat) har stilt krav og brukt tildelingskriterier i både maritime tjenesteanskaffelser og anskaffelser av fartøy for å oppnå bærekraftsambisjonene til de respektive organisasjonene.

Ved å bruke minimumskrav har organisasjonene sikret seg at det oppnås minimum så store utslippsreduksjoner som kravet fører til, samtidig som en har relativt god kostnadskontroll. Dette er gjort ved blant annet følgende:

- 80 % av energiforbruket på hovedfartøyene i Vestfjordanbudet skal være fra hydrogen
- Innfri Tier III på både eksisterende og nytt materiell
- Krav til LNG eller til tilsvarende utslippsreduksjoner som overgang til LNG medfører
- Benytte landstrøm der det er tilgjengelig
- Krav til maksimale metanutslipp fra gassmotorer
- Fartøy drevet på LNG

Ved å benytte tildelingskriterier utfordrer man kreativiteten til skipsdesigner, utstysleverandører, verft og rederier, for å få ned utslipp, få ned energiforbruk, optimere logistikken eller ta i bruk innovative bærekraftige løsninger. Her har man noe dårligere kontroll på kostnader og på miljøoppnåelse enn ved å bruke krav, men man øker sannsynligheten for at de lavthengende fruktene tas med. Ved bruk av forhandlinger, gode tildelingskriteriene som tydelig skiller de ulike tilbyderne, og maksimal tilleggskostnad på tildelingskriteriene, kan en få godt grep om usikkerhetene. Eksempler på tildelingskriterier har vært:

- Energiforbruk ved en gitt operasjon
- Utslipp ved en gitt belastningskurve (for eksempel den som ligger til grunn for Tier-kravene)
- Relevante vesentlige teknologier i kommersielt marked
- Andel nullutslippsdrivstoff
- Vekt og volum per kW på hydrogensystemer

4 Overordnet risikovurdering av ulike energibærere

I pilotprosjektet har det blitt besluttet at risikovurdering opp mot et militært risikobilde i hovedsak skal begrenses til kun å omfatte energibærere. Bakgrunnen for dette er både å begrense arbeidet med vurderingsomfang, men også at industrien skal få spillerom til å vise hva som er mulig innenfor ulike teknologier. I det følgende vil det presenteres en oppsummering av arbeidet som har blitt gjort med overordnet risikovurdering av alternative energibærere. Se Vedlegg 1 for den fullstendige rapporten.

Prosjekt for standardiserte fartøy er i en tidlig fase hvor det arbeides med å produsere grunnlagsdokumentasjon for videre arbeid. En del av dette er utarbeidelse av kravdokumentasjon som skal beskrive hvilke kapasiteter fartøyene skal ha, hvilke funksjoner de er tiltenkt å fylle, og hvilket designregelverk som skal legges til grunn. Fordi tiltenkt bruksområde for fartøyene er essensielt i vurdering av risiko, vil det være nødvendig å gjøre noen antakelser om hva som blir aktuell bruk.

I fravær av kravdokument med spesifiserte krav til ytelser for de standardiserte fartøyene tas beskrivelsene gitt i langtidsplanen for forsvarssektoren [12] som grunnlag for risikovurderingen. Som tillegg til nevnte vil bruksområde for fartøyene som skal erstattes av de standardiserte fartøyene, også benyttes som grunnlag for vurdering av risikobilde. Med bakgrunn i dette antas det at de ulike fartøyskonseptene som inngår i standardiserte fartøy, vil ha en økt risiko sammenlignet med sivile fartøy knyttet til:

- kollisjon og grunnstøting
- sårbarhet for installasjoner over le og i skuteside
- våpenvirkning fra små- og storkalibret prosjektil
- undervannseksplisjon og missiltreff
- effekt av drone i alle tre domener (i luft, på overflaten og under vann)

I videre arbeid med risikovurdering av energibærere forutsettes det at sikkerhetsmessige krav i forhold til «float and move» vil være tilfredsstillende. Dette forventes dekket av sivile regelverkskrav og antas å være en forutsetning for at energibærere, med tilhørende teknologi, på en sikker måte skal kunne implementeres på fartøy i fredstidsoperasjoner. Den utførte risikovurderingen vil følgelig kun vurdere risiko opp mot militærspesifikk risiko.

Fravær av spesifisert bruksprofil og anvendt teknologisk løsning gjør det vanskelig å fastsette sannsynlighet eller frekvens for ulike hendelser. Av samme grunn er det også utfordrende å definere konsekvenser av hendelsene. På bakgrunn av det nevnte vil det i det videre vurderes «worst case» hendelser. Dette virker som en rimelig tilnærming med tanke på at hensikten med denne risikoanalysen er å vurdere anvendbarhet opp mot militærspesifikk risiko.

4.1 Risikovurdering

Den overordnede risikovurderingen er gjennomført innenfor rammene beskrevet i Prosedyre for risikovurdering i Sjøforsvaret [13]. Risiko forbundet med energibærere er tett knyttet til lagringsform for energibærere, hvilken teknologi som er anvendt til energikilde og designet av fremdriftssystem. Det er følgelig ikke mulig å vurdere risiko fullt ut når det er mulighet for ulike tekniske løsninger for lagring og anvendelse av de ulike energibærerne. Hensikten med gjennomføring av denne

risikovurderingen er ikke å foreta en fullstendig risikovurdering av aktuelle energibærere, men på et tidlig tidspunkt å identifisere kandidater som anses å innebære høy risiko.

I risikovurderingen ble det totalt evaluert 13 energibærere med 21 varianter som følge av vurdert tilstand/lagringsform/teknologi. Dette har resultert i en vurdering av totalt 21 dimensjonerende hendelser, med tilhørende scenarioer innenfor «brann», «eksplosjon», «giftighet» og «kjernefysisk hendelse». Alle de dimensjonerende hendelsene ble evaluert basert på risikomatriksen som definert i henhold til Prosedyre for risikovurdering i Sjøforsvaret [13], se Figur 4-1. For komplett oversikt over vurderte energibærere og dimensjonerende hendelser vises det til Vedlegg 1.

SANNSYNLIGHET	Svært stor	5	10	15	20	25
	Stor	4	8	12	16	20
	Moderat	3	6	9	12	15
	Liten	2	4	6	8	10
	Meget liten	1	2	3	4	5
		Ubetydelig	Lav/Mindre	Moderat	Alvorlig	Svært alvorlig
		KONSEKVENNS				
OK	1-5: Akseptabel risiko					
Tenk	6-15: Kan være akseptabelt. Vurder om risikoen kan reduseres ytterligere.					
Stopp	15-25: Oppgave/aktivitet må ikke fortsette. Aktiviteten må revurderes og ytterligere risikoreduerende tiltak må settes inn					

Figur 4-1: Risikomatrikse

Vi vurderte at 7 av de dimensjonerende hendelsene resulterer i scenarioer som vurderes til å representere kritisk risiko for noen energibærere i definerte tilstander. Seks av disse scenarioene er utslipp av lettantennelige og reaktive gasser med påfølgende antennelse og eksplosjon. Det siste scenarioet er utslipp av giftig væske som fordamper til gass. Fellesnevneren for de 7 scenarioene er ukontrollerte utslipp av gasser i lukket rom, men med ulike konsekvenser. Spesifikt er det scenarioer gitt i Tabell 4-1 som ender opp med å vurderes som kritiske. Scenarioet som omfatter termisk rusning (*thermal runaway*) er også tatt med i tabellen. Bakgrunnen for dette er at risiko representert ved et slikt scenario var spesielt vanskelig å analysere uten å ta hensyn til tekniske løsninger. Det vurderes til å være mulig å implementere gode sikkerhetsbarrierer for å redusere sannsynlighet og konsekvens, men gitt det store potensiale for eskalering dersom propagering skulle inntreffe, er denne løftet som kritisk for å understreke viktigheten av korrekte barrierer.

Tabell 4-1: Kritiske scenarioer

Energibærer	Tilstand /lagringsform /teknologi	Dimensjonerende hendelse	Brann		Eksplosjon		Giftighet	
			Sanns.	Kons.	Sanns.	Kons.	Sanns.	Kons.
Fossil LNG/LPG	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	4	3	5	3	2
Fossil hydrogen	Gass	Lekkasje av større mengder	3	3-4	4	5	3	2
	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	3-4	4	5	3	2
BLG/biogass	Flytende/ Gass	Lekkasje av større mengder	3	4	3	5	3	2
Grønn hydrogen	Gass	Lekkasje av større mengder	3	3-4	4	5	3	2
	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	3-4	4	5	3	2
Ammoniakk	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	2	4	2	4	4	5
Batterier	Litium-ion	Termisk rusning med propagering	3-4	4-5	2	5	3	3

For de øvrige 13 dimensjonerende hendelsene og scenarioene analysert vurderes det til at risikoen representert er på et slikt nivå slik at bruk av disse kan være forenelig med bruk på fartøy som har en operasjon som inkluderer militærspesifikke risikoer. Forutsetning for dette er selvsagt implementering av nødvendige risikoreduserende tiltak og sikkerhetsbarrierer. Det synes imidlertid viktig å påpeke at for flere av energibærerne vil implementering av tilstrekkelige sikkerhetsbarrierer være sterkt dimensjonerende for plattformen. Det er derfor forventet at noen av energibærerne vil kunne være uaktuelle, ikke direkte på grunn av sikkerhetsrisiko, men som følge at implementering av nødvendige sikkerhetsbarrierer vil legge så sterke føringer på fartøysdesign at disse ikke lar seg kombinere med øvrige forventede krav til plattformene.

4.1.1 Risiko og teknologi

For de ulike energibærerne omhandlet i denne risikovurderingen vil det i varierende grad være anvendelse av ny teknologi med varierende grad av driftserfaring. I de fleste tilfeller hvor man tar i bruk ny teknologi vil det være knyttet en større usikkerhet knyttet til denne, og i en del tilfeller vil denne usikkerheten også kunne medføre økt sikkerhetsrisiko. Denne risikoen kan for eksempel være et resultat av manglende driftserfaring, umoden design eller manglende kunnskap hos operatør eller bruker. Til tross for at teknologisk modenhet og mangel på kunnskap unektelig representerer en sikkerhetsrisiko, har dette ikke blitt tatt inn i risikovurderingen. Bakgrunnen for dette er flerdelt, men hovedsakelig fordi dybdeforståelsen nødvendig for å kunne vurdere dette ikke er forenelig med tidslinjen lagt for piloten. Dette er imidlertid noe som i aller høyeste grad må vurderes når helhetlig risikovurdering for endelig fartøyskonsept skal gjennomføres.

4.2 Diskusjon – Praktisk tilnærming til risikoreduksjon

Avhengig av aktuell energibærer er det ulike risikoaspekter ved de forskjellige energibærerne som utgjør dimensjonerende scenarioer. Risikoene vil typisk være knyttet til brennbarhet, eksplosjonsfare, giftighet og radioaktivitet. Det sier seg selv at det derfor vil være nødvendig å anvende ulike teknologier og implementere ulike sikkerhetsbarrierer avhengig av aktuell energibærer. For mange av de alternative energibærerne er driftshistorikk tynn og erfaring knyttet til håndtering av risiko ved bruk på skip vesentlig lavere enn hva som er tilfelle for referansedrivstoff som diesel. Om man i tillegg forsøker å fremskaffe slikt for anvendelse på militære fartøy, synes erfaringsgrunnlaget å være bortimot fraværende. Med bakgrunn i dette kan det virke utfordrende å legge til rette for sikker bruk av nye energibærere på militære fartøy. En tilnærming til problemstillingen kan imidlertid være å anvende en fleksibel fremdriftsløsning hvor man velger energibærer tilpasset risiko forbundet med den aktuelle operasjonen. Fleksibilitet i konfigurasjon av fremdriftslinje vurderes også å kunne være fordelaktig for å ta høyde for usikkerhet knyttet til forsyningssikkerhet, tilgjengelighet på energibærer og usikkerhet knyttet til teknologisk modenhet.

Et alternativ kan være en fremdriftslinje basert på kraftproduksjon (dieselgenerator, brenselcelle, batteri eller lignende) med energioverføring til elektromotor som står for fremdrift ved for eksempel propeller og/eller thrustere. Ved å ta utgangspunkt i kraftproduksjon ved bruk av dual-fuel-forbrenningsmotor med for eksempel diesel eller metanol vil det allerede i dette være åpnet for noe fleksibilitet av valg av energibærer. Forslag om valg av diesel eller metanol som drivstoff er gjort med bakgrunn i muligheten for drop-in-varianter av drivstoffene. På denne måten kan man etter hvert som tilgangen på alternative drivstoff øker, øke graden av disse for å redusere klimagassutslippene.

Sikkerhetsmessig vil valg av oppsett med dual-fuel-motor fra start kunne være fordelaktig fordi det i fartøysdesignet vil kunne være planlagt med skrogintegreerte tanker for de ulike drivstoffene. Dette er hensiktsmessig fordi man ved tidlig planlegging har bedre forutsetninger for å ivareta sikkerhetskrav knyttet til risikomomentene drivstoffene representert enn hva man vil ha ved en ombygging i levetiden, eventuelt ved integrasjon av tankløsning på dekk ved et senere tidspunkt.

4.3 Konklusjon

Med bakgrunn i gjennomført overordnet risikoanalyse for identifiserte energibærere har det blitt identifisert 7 kritiske scenarioer for en del av de identifiserte energibærerne – i noen tilstander eller lagringsformer. Den overordnede risikovurderingen fremhever at for flere av energibærerne vil implementering av tilstrekkelige sikkerhetsbarrierer være sterkt dimensjonerende for plattformen. For noen av energibærerne vil implementering av nødvendige sikkerhetsbarrierer kunne legge så sterke føringer på fartøysdesign at disse ikke lar seg kombinere med øvrige forventede krav. Dette er spesielt knyttet til alternative drivstoff i gassform som LNG, hydrogen og ammoniakk. I fravær av spesifisert bruksprofil og anvendt teknologisk løsning er det vanskelig å fastsette sannsynlighet og frekvens samt definere konsekvens av en hendelse. Risikovurderingen er derfor basert på antagelse om «worst-case» scenarioer – noe som er konservativt.

Følgelig forventes det at konsepter som baserer seg på disse energibærerne vil være vanskelige forenelig med militærspesifikk risiko selv om man inkluderer betydelige risikoreduserende tiltak i fartøyene.

For de øvrige energibærerne vurdert har arbeid med analysen avdekket at risikoene disse representerer kan være håndterbare også for fartøyskonsepter som må dimensjoneres for



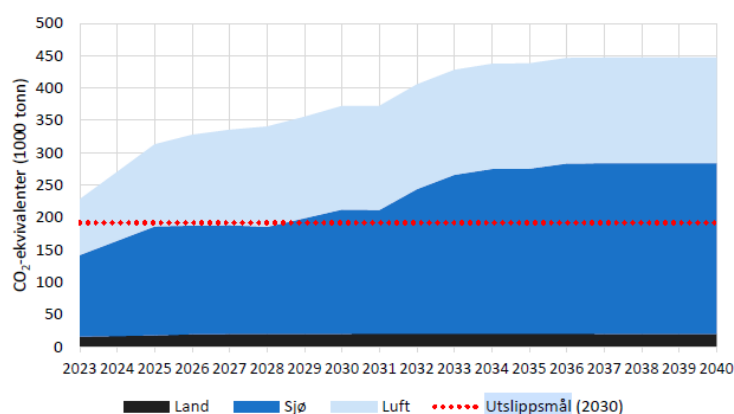
Grønt Skipsfartsprogram

militærspesifikk risiko. Det påpekes imidlertid at dette forutsetter et gjennomgående fokus på sikkerhet i fartøysdesignet og implementering av riktige sikkerhetsbarrierer.

Ut over energibærerne knyttet til de 7 kritiske scenarioene forventes det også at noen av de øvrige energibærerne vil bli utelukket, ikke direkte som følge av sikkerhetsrisiko, men som en konsekvens av at nødvendige sikkerhetsbarrierer ikke er forenelige med øvrige forventede krav til fartøyene.

5 Gjennomførbarhet av mulige løsninger for reduksjon av direkte klimagassutslipp

Utslippene fra Sjøforsvaret vil øke vesentlig med utvidelsen av den maritime strukturen dersom det ikke gjøres nye tiltak, ref. [2]. Løsninger for å redusere direkte utslipp av Sjøforsvarets fremtidige fartøy anskaffet gjennom Standardiserte fartøysprogram til Sjøforsvaret (P1118) er vurdert i dette kapittelet.



Figur 5-1: Beregning av direkte utslipp (scope 1) med langtidsplanens struktur og operative ambisjon. For 2023 viser figuren faktiske utslipp, [2]

Arbeidet presentert i denne rapporten skal ta for seg tiltak knyttet til å

- 1) redusere energibruken i forhold til løsninger som brukes på eksisterende fartøy i Sjøforsvaret
- 2) bruke alternative drivstoff

Tiltakene kan enten innføres ved design eller bygging, eller man skal kunne konvertere systemer og innføre tiltak senere i livsløpet. Ved eventuell konvertering eller introduksjon senere i livsløpet vil det sannsynligvis være formålstjenlig å vurdere å tilrettelegge for dette i design- og byggefasen.

Både tekniske og økonomiske perspektiver av foreslåtte løsninger skal vurderes, og forutsetninger skal dokumenteres. De tekniske vurderingene ser på faktorer som teknologimodenhet, plass/vekt, sikkerhet, regelverk, reduksjon i klimaavtrykk sammenlignet med marin gassolje (MGO) og krav til forsyningssystemer. Økonomiske vurderinger inkluderer delta-kost på investering og operasjon.

Arbeidet har også overordnet vurdert logistikken rundt de alternative drivstoffene og lading av batterisystem med landstrøm. Det er også vurdert å bruke landstrøm til å produsere alternative drivstoff.

Viktige input til arbeidet har kommet fra

- risikovurderinger (se kapittel 4)
- fartøysinformasjon og driftsprofiler fra Forsvarsmateriell (FMA)

Selv om risikovurderingene peker på høy risiko for enkelte drivstoff gitt militær anvendelse, så er arbeidet ikke avgrenset til hvilke alternative drivstoff som ble vurdert i forbindelse med tekniske og økonomiske konsekvenser.

5.1 Forutsetninger og avgrensninger

Piloten hadde som ambisjon at man skulle definere 4 fartøyskategorier som skulle være representative for Marinens og Kystvaktens behov innen de to kategoriene Medium-Kystnært og Stort-Havgående, illustrert i Figur 5-2. Hver av de 4 fartøyskategoriene skulle ha sin definerte driftsprofil. Dette skulle sammen med tilstrekkelige detaljer på referansefartøy muliggjøre sammenligninger av skip med foreslåtte energibesparingstiltak og alternative drivstoffsformer med konvensjonelle skip.

Prosjektet har ikke vært modent nok til å definere så detaljert informasjon som tiltenkt ved oppstart av piloten, så ambisjonsnivået har blitt reduserte til tre generiske driftsprofiler. Disse driftsprofilene er inkludert i kapittel 5.2.1.

FMA har også skaffet til veie forbruksinformasjon fra ett referansefartøy (KV Harstad) som er representativt for de store havgående fartøyene. KV Harstad benytter MGO, og forbruksinformasjon er gitt i kapittel 5.2.2. Informasjonen fra KV Harstad er brukt i etterfølgende arbeid inklusiv i vurderingen av besparelser ved tiltakene som er foreslått.

For de andre fartøysklassene vurderes det at skipstypene som operer i dag, ikke er representative for fartøyene som skal anskaffes i standardiserte fartøy.

Forsvaret har ytret ønske om standardisering av de alternative drivstoffene for alle kategoriene i standardisert fartøysklasse.



Figur 5-2: Utdrag av flåteplan av 2024 ([12])

Arbeidet dokumentert i kapittel 4 var en viktig premissgiver for arbeidet beskrevet her, og omfanget av den oppgaven var større enn man kanskje så for seg, og tok lengre tid å ferdigstille. Det ble derfor besluttet at arbeidet ikke skulle avgrense hvilke drivstoffsformer man skulle se på. Vi valgte å prioritere å se på tiltak for redusert energibruk (kapittel 5.2), skipstekniske konsekvenser av en del drivstoff (kapittel 5.3) og vurderinger av drivstoffslogistikk og energitilgang (kapittel 5.4). Det er gjort noen økonomiske vurderinger i kapittel 5.5.

Det er indikert at fartøyene skal designes for 30 års levetid, og byggingen antas å ta ca. 10 år til siste fartøy er levert. Fartøyene vil derfor være i drift i perioden fra ca. 2029 til 2069, og det må forventes vesentlige endringer innenfor teknologi, tilgang til energi/drivstoff og finansielle perspektiver som kostnader for utslipp i denne tidsfasen.

5.1.1 Driftsprofiler og noen overordnede krav

Driftsprofilene i dette kapitlet – se Tabell 5-1, Tabell 5-2 og Figur 5-3 ([14]) – er generiske profiler som skal bidra til å skape forståelse for muligheter, handlingsrom og konsekvenser for mulige energibesparende løsninger og bruk av alternative drivstoff i GSP-piloten. FMA har understreket at de ikke representer endelig kravformuleringer for P1118.

Noen generelle krav stilt fra FMA:

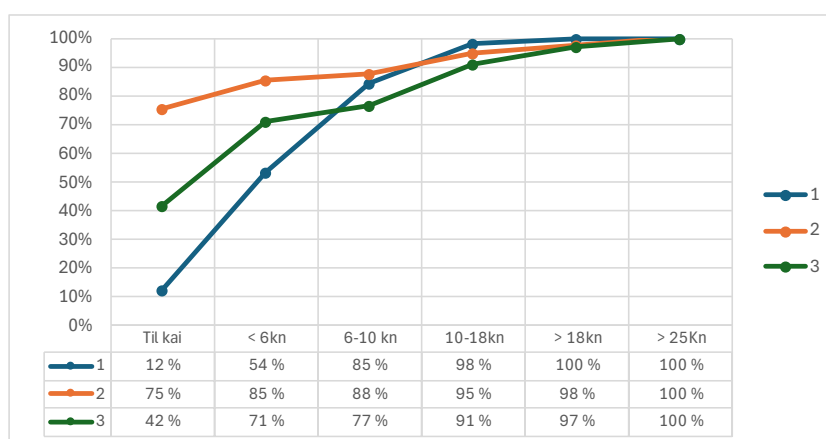
- Maksimal tid for bunkring: 8 timer fra 0 til 100 % fyllingsgrad
- Seilingstid uten bunkring: Det er ønskelig at driftsprofil 1 kan seile 8 uker med en gjennomsnittlig operasjonsprofil

Tabell 5-1 Overordnet informasjon om driftsprofilene

	Driftsprofil 1	Driftsprofil 2	Driftsprofil 3
Seilasdøgn/år	320	120	320
Utholdenhet	6 uker	3 uker	1 uke
Rekkevidde	6 000 nm	>1 000 nm	500 nm
Stille ligge (av seilasdøgnene)	0	24 timer i løpet av et 96 timers oppdrag	8 timer per døgn

Tabell 5-2 Hastighetsprofil for driftsprofilene

Driftsprofil	1	2	3	1	2	3
	Timer/år			Prosentfordeling		
Til kai	1 080	6 600	3 640	12,3 %	75,3 %	41,6 %
< 6 kn	3 614	864	2 560	41,3 %	9,9 %	29,2 %
6–10 kn	2 711	216	512	30,9 %	2,5 %	5,8 %
10–18 kn	1 175	648	1 280	13,4 %	7,4 %	14,6 %
18-25 kn	181	216	512	2,1 %	2,5 %	5,8 %
> 25 kn	-	216	256	0,0 %	2,5 %	2,9 %



Figur 5-3: Akkumulert prosentfordeling av driftsprofilene

5.1.2 Forbruk i forhold til driftsprofil fra et representativt fartøy

Sjøforsvaret har tilgjengeliggjort informasjon fra et representativt fartøy (KV Harstad) som er benyttet i arbeidet [15]. Dette vises i Tabell 5-3 og Tabell 5-4 nedenfor.

Tabell 5-3 Fartøysinformasjon og forbruk

Fartøys-relatert informasjon	
Lengde [m]	83,0
Bredde [m]	15,5
Dypgang [m]	6,0
Deplasement – TS Tonnasje [tonn]	4 407
Deplasement – BT Bruttotonn [tonn]	3 132
Forbruksrelatert informasjon	
Forbruk per år [liter]	2 191 000
Utseilt distanse [nm]	29 916
Seilingstimer	5 745
Snittforbruk per døgn [liter/døgn]	7 600
Forbruk på kjel for oppvarming (vinterstid) [liter/døgn] 1	150–200

Tabell 5-4 Forbruksprofil for fartøy definert i Tabell 5-3

Forbruksprofil	Fordeling [%]	Effektforbruk		Forbruk [liter/nm]
		Propulsjon [kW] diesel elektrisk	Hotel [kW]	
Til kai	14	N/A	220–320	N/A
under 6 knop	40	200–460	234	30
6–10 knop	31	460–1 460	234	40
10–14 knop	10	1 460–2 500	234	60
over 14 knop	4	Kun diesel mekanisk	234	80
Maks fart	1	2 500	234	93

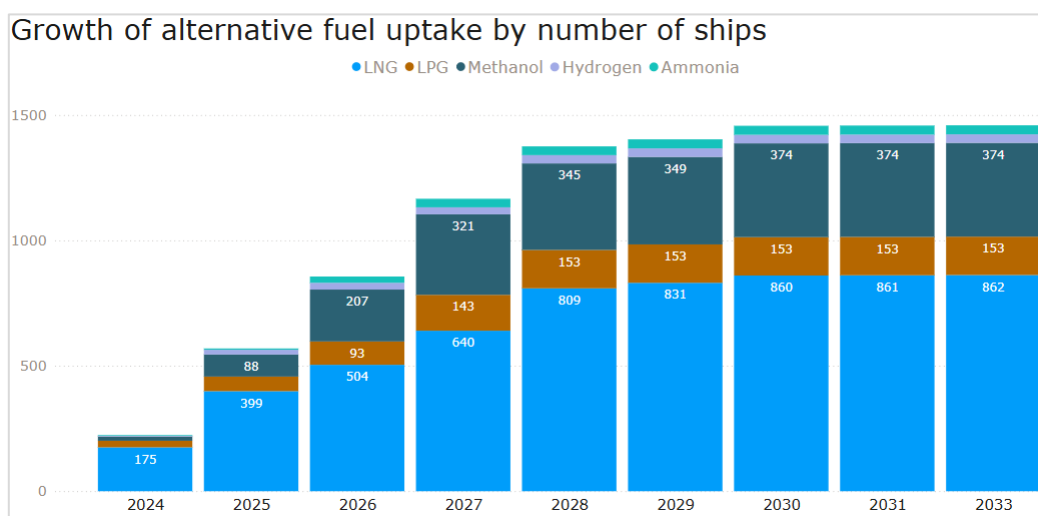
¹ Varierende i forhold til årstid

5.1.3 Avgrensninger – drivstoffsløsninger

I risikokapittelet er det vurdert 21 forskjellige kombinasjoner av energibærere, tilstander, lagringsformer og teknologi. En rekke av løsningene er umodne per 2025, og det er uklart hvilke av løsningene som vil være relevante, hvilke som introduseres eller fases ut, og hvilke som er tilgjengelige i hele driftsperioden til de standardiserte fartøyene. DNVs Alternative Fules Insight-tjeneste (afi.dnv.com) inkluderer en del informasjon om tilgang til forskjellige drivstoff og statistikk. Figur 5-4 viser for eksempel at LNG, LPG og metanol vil være de signifikant viktigste i perioden fram til 2033.

European Defence Funds 2025 har utlysning for et «Naval Hybride Propulsion and Power System» (EDF-2025-LS-RA-SI-ENERENV-NH2PS-STEP). Dette arbeidet vil sannsynligvis tydeliggjøre hvilke alternative drivstoff som vil være mest aktuelle for forsvarsfartøy. Det pågår også andre prosjekter som CALIPSO (EDF-2023) hvor en del norske aktører (IFE, FFI, Kongsberg Maritime, Norwegian Hydrogen og Sintef) er partnere. Det anbefales at Forsvarssektoren følger opp slike prosjekter for å skaffe gode innspill til aktuelle (og mindre aktuelle) drivstoffløsninger.

Arbeidet har uavhengig av vurdert risiko forsøkt å ta for seg en rekke av de alternative drivstoffene. Dette inngår i kapitlene nedenfor.

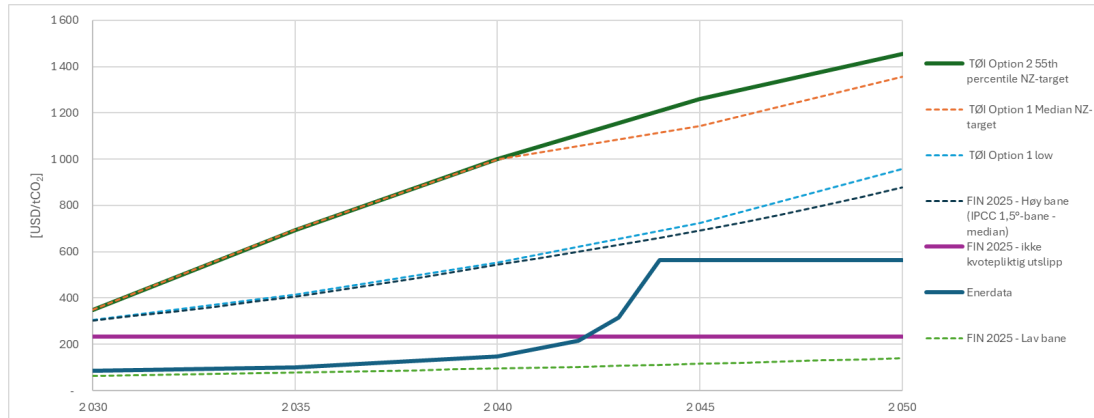


Figur 5-4: Antall skip med alternative drivstoff – status per 2024 og prognoser (ref. afi.dnv.com/statistics)

5.1.4 Økonomiske forutsetninger

Å forutse prisutviklingen på drivstoff, utslipp og strøm samt produksjonspriser på alternative energikilder er svært utfordrende om i det hele tatt mulig. Det er også svært vanskelig å predikere fremtidig CAPEX med alternative drivstoff. For å få tydeliggjort hvordan en utvikling *kan* se ut, har arbeidsgruppen derfor benyttet Total Cost of Ownership modellen til Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping ([16]). Versjon 1.5 av TCO-modellen (et Excel-basert verktøy) er benyttet i vurderingene i kapittel 5.5, og resultatene er sammenstilt og normalisert i et separat regneark. Modellen beskriver fartøy som er svært langt unna fartøyene som Sjøforsvaret planlegger, men TCO-modellen kan gi noen hint om økonomisk utvikling frem til 2050.

En viktig faktor som må legges inn i modellen, er prising av CO₂-kostnader. Det er ikke gjort et omfattende litteratursøk etter prognoser på prising av CO₂ frem til 2050. Tre forskjellige kilder med forskjellige prognoser frem til 2050 er visualisert i Figur 5-5 (Finansdepartementet ([17]), Transportøkonomisk institutt ([18]) og Enerdata ([19])). For å visualisere utfallsrommet er det valgt ut tre datasett (heltrukne linjer fra figuren). Data fra disse er benyttet i vurderingene i kapittel 5.5.1 som tre separate scenarioer. Data som er benyttet for utslipp-kostnadene (USD/tCO₂) er vist i Tabell 5-5. CO₂-prising har en vesentlig innflytelse på de økonomiske vurderingene. En annen kjent usikkerhet med TCO-modellen er at den ikke har MGO som mulig drivstoff. LSFO er benyttet fordi LSFO antas å ha tilsvarende CO₂-utslipp som MGO. Noen betraktninger om resultatene med tanke på LSFO og biodiesel er inkludert i oppsummeringen.



Figur 5-5: Prognoser av karbonprisbaner

Tabell 5-5 Tall benyttet i Total Cost of Ownership under økonomiske vurderinger (USD/tCO₂)

	Enerdata (ref [19])	FIN 2025 – ikke kvotepliktig utslipp (ref [17])	TØI Option 2 55th percentile NZ- target (ref [18])
2030	85	232	348
2035	101	232	695
2040	147	232	1 000
2045	564 ²	232	1 261
2050	564	232	1 456

² Enerdata rapport sier «exceeds 500€/tCO₂ in 2044». Det er brukt 500€/tCO₂ fra og med 2044 for Enerdata

5.2 Vurdering av tekniske og operative tiltak for redusert energibruk

Energioptimalisering og -tiltak for redusert energibruk er lavthengende frukt i skipsdesign, og mange av disse er innført i sivil skipsfart, og de har høy TRL. Flere perspektiver på tvers av mange fagfelt må tas hensyn til i design- og byggefasen med innspill fra driftsorganisasjon og mannskap. Utstyret må også benyttes som tiltenkt. Listene nedenfor illustrer noen tekniske og operasjonelle tiltak:

a) Tekniske tiltak:

- God designet skrogform (for eksempel viser en studie på et fregattkonsept en reduksjon i motstand på 22 % i snitt over et stort fartsområde i forhold til et baseline-design ved bruk av forskjellige teknikker i designfasen ([20])).
- Riktig dimensjonering av generatorer i forhold til operasjonsprofil og tilpasninger i løpet av levetiden dersom operasjonsprofilene endres.
- Godt oppsett av antall generatorer, batterisystemer og energisparingstiltak

b) Operasjonelle tiltak:

- Riktig bruk av utstyret med tanke på valgt dimensjonering – det er mange eksempler på at bruken av fartøyet endres over tid, hvilket kan gi ugunstig last på dieselmotorer. Dette kan medføre unødvendig høyt forbruk og gi lav temperatur på eksos, som kan resultere i at katalysatorer ikke fungerer osv.
- Opplæring av mannskap for å kunne bruke systemene energieffektivt.

Kapittel 5.2.1 inkluderer detaljer om de ulike propulsjonsalternativene. En detaljert liste over mulige tiltak for redusert energiforbruk finnes i Vedlegg 2 – «Alternative oppsett av elektro og propulsjon samt tiltak for å redusere energibruk».

Kapittel 5.2.2 inkluderer simulering av noen kombinasjoner av elektro- og propulsjonsløsning og sammenligner disse med tilgjengeliggjorte data fra KV Harstad.

5.2.1 Alternative oppsett av elektro og propulsjon samt mulige tiltak for redusert energiforbruk

Arbeidet har behandlet ulike hovedalternativer for oppsett av elektro og propulsjon. Disse alternativene dekker utvikling fra ca. år 2000 (standard mekanisk) og videre til de mest moderne som diesel-elektriske og hybridfartøy med likestrøm (DC). Alternativer som er beskrevet, er:

- standard mekanisk oppsett
- elektrisk fremdrift med hovedthrustere
- rette aksellinjer med elektrisk drift
- rette aksellinjer med hybrid drift, mekanisk med elektrisk PTO/PTI
- elektrisk propulsjon, likestrømsystem

Mer detaljer og beskrivelse av de ulike systemene finnes i Vedlegg 2 - «Alternative oppsett av elektro og propulsjon samt tiltak for å redusere energibruk».

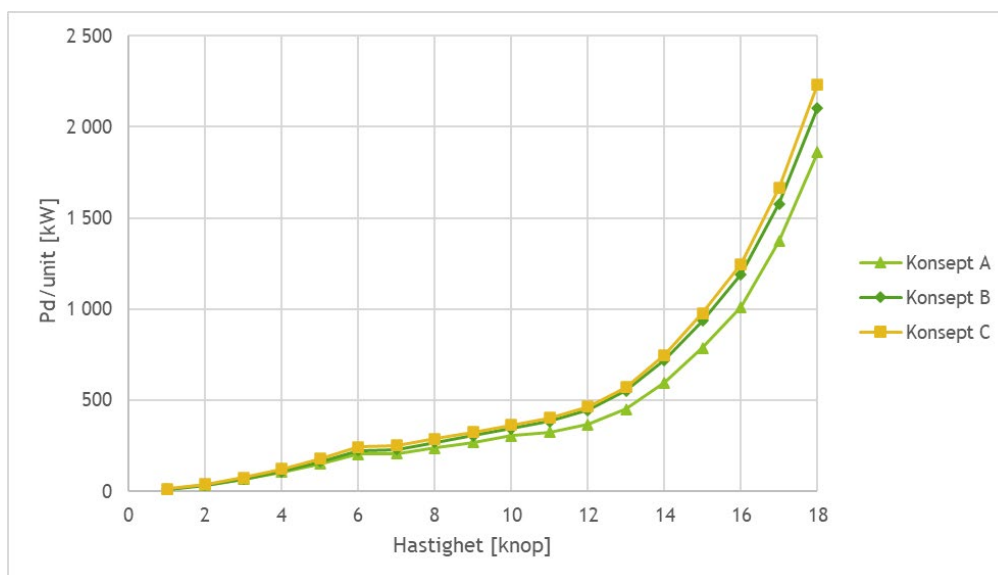
I tillegg inkluderer vedlegget en rekke ulike tiltak for å optimalisere energiforbruket ombord på skipene. Det anbefales at disse evalueres i det videre arbeidet når det finnes mer designinformasjon. Noen av tiltakene som beskrives, er:

- landstrøm
- hybridløsninger for elektro og propulsjon samt batterisystemer
- energi- og varmegjenvinning
- valg av teknologi på elektriske motorer
- valg av løsninger for propeller og thrustere

Per i dag er det for lite informasjon tilgjengelig, og det er for mange variabler til at man kan få gjennomført relevante analyser eller simuleringer som inkluderer disse alternativene.

5.2.2 Simulering av Kraft og Propulsjon

Dette kapitlet behandler simuleringer av Power og Propulsjon med en gitt motstandskurve lignende KV Harstad. Basert på tilgjengelig informasjon er det estimert en motstandskurve, og deretter har dette blitt omsatt til propulsjonskraft for tre ulike konsept, se Figur 5-6. Disse tre konseptene illustrerer et spenn i drivstofforbruk som forskjellige elektro- og propulsjonsløsningen *kan* resultere i. Konseptene representerer ikke optimaliserte løsninger, men de er strukturert forskjellig og resultatene kan *ikke* sammenlignes direkte. De er ikke ment for å kunne sammenligne forskjellige propulsjonsløsninger eller elektro-løsninger, men for å illustrere mulighetsrom.



Figur 5-6: Powerkurver for tre ulike propulsjonsarrangement (tilleggsdata i vedlegg)

Konsept A:
LVDC
Foilwheel

Konsept B:
LVDC Electrical
Podded
propulsjon

Konsept C: CPP
shaftline med
separat AC
powerplant for
hotellast (eksl
PTO)

Driftsprofil som vist i Figur 5-7 er brukt i simuleringene. Dette er samme profil som beskrevet ovenfor, bare splittet per knop.



Figur 5-7: Årlig driftsprofil brukt i analyser

Det er benyttet et proprietært Kraft & Propulsjon -simuleringsverktøy fra ABB som bruker virkningsgrader for utstyr og gir Key Performance Indicators (KPI'er-) med Power and Energy Management System (PEMS)-settings. Skjermdump av verktøyet vises i Vedlegg 2 – «Simuleringer av Kraft og propulsjon».

Fokus her er drivstofforbruk på årlig driftssyklus og driftstimer på generatorer og hovedmaskiner. Total driftstid er 7500 timer årlig med 1080 timer ved kai.

Simuleringen bruker NATO F76 militær diesel med 11,9 kWh per kg drivstoff som energi inn. Deretter er det lagt inn virkningsgrader fra dieselmotorer, elektrisk utstyr og elektrisk hotellast. Dette angir mekanisk akseleffekt for propulsjon ut og refereres til som total virkningsgrad.

Dieselmaskiner brukt i simulering er generelle, og forbruk er hentet fra FuelMap fra leverandørene av dieselgenerator. Normalt bruker leverandørene de beste resultater for forbruk i sine FuelMaps, derfor må omtrent 2,5 % erfaringsmessig påregnes i tillegg.

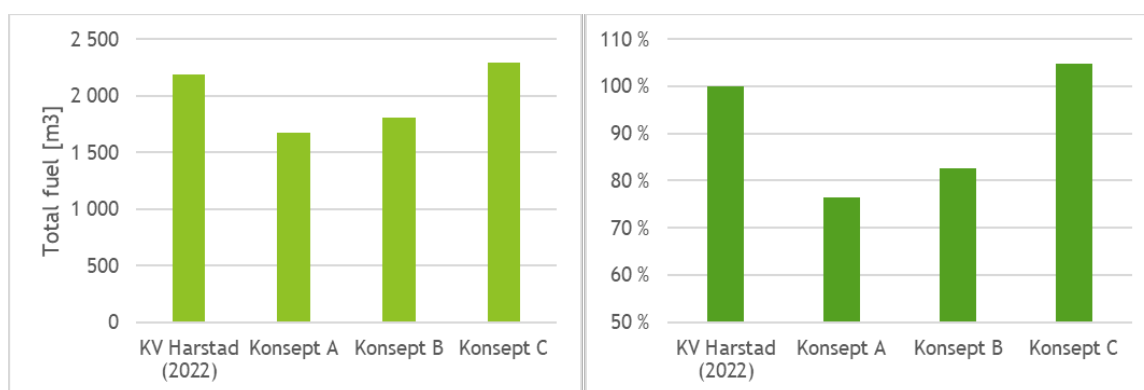
I simuleringen er det estimert en tetthet på 0,87 kg/liter for drivstoff.

Kommentar til simuleringene

Tabell 5-6 og Figur 5-8 inneholder oppsummering av en del nøkkelinformasjon fra simuleringene inkl. sammenligning med data fra KV Harstad.

Tabell 5-6 Oversikt simuleringer

Konsept	Konfigurasjon powerplant	Total virkningsgrad [%]	PEMS Settings	Årlig drivstoff forbruk total [m ³] inkludert est 55 m ³ til oljekjele	Running hours diesels [h]
A LVDC Foilwheel	-IFEP 3* 12 cyl HS variable speed - Batteri som Spinning reserve	38,3%	Batteri som Spinning reserve,. Min. one genset running. 93% Load dep start	1675	9423
B LVDC Electrical Podded propulsjon	-IFEP 3* 12 cyl HS variable speed Batteri som Spinning reserve	38,6%	Batteri som Spinning reserve,. Min one genset running. 93% Load dep start	1811	9582
C CPP shaftline med separat AC powerplant for hotellast (eksl PTO)	2* 4 MW Mediumspeed shaftline 2* 750 KW Highspeed genset	36,7% 23,3%	Min two running for shaft Min two running for hotel, 80 % load dep start stop	1402 839 Totalt 2296 m ³	17160 17160



Figur 5-8: Resultat simulering av drivstofforbruk

5.2.3 Diskusjon

Likestrøms anlegg (DC grid) gir mulighet for variable hastighet-generatorsett, hvilket gir stor besparing i forhold til om High Speed generatorsett hadde blitt anvendt. I tillegg er denne løsningen den enkleste muligheten for å kunne designe inn ett batterisystem som spinning reserve, hvilket gir mulighet for å kjøre kun én dieselmotor og samtidig ha samme sikkerhet som med to generatorsett.

Forskjellige propulsjonssystemer er inkludert i simuleringen, noen modne og mye brukte løsninger på slike fartøy som Controllable Pitch Propeller (CPP) og Podded propulsjon samt en nyere propulsjonsløsning med lavere Technology Readiness Level (TRL)-nivå.

Basert på data og utførte simuleringer ser man at KV Harstad, med en på den tiden moderne kraftstasjon, fortsatt er rimelig effektiv kontra en ikke-hybrid løsning, altså en løsning med separate hovedmaskiner og separat kraftstasjon.

Basert på simuleringen kan vi estimere et potensial for omtrent 18 % årlige drivstoffbesparelser. Dette får vi ved å sammenligne simulert forbruk på konsept A kontra forbruk på KV Harstad. Det viktige her er å ikke bare se på den enkelte virkningsgrad, men også operasjonsprofilen til båten. Totale besparelser som må vektes med tanke på CAPEX og OPEX, blir påvirket av

- 1) introduksjon av et moderne og robust elektro- og propulsjonskonsept
- 2) en god sammensetning av øvrige energireduserende tiltak
- 3) effektiv operasjon utført av et godt trent mannskap støttet av gode systemer

Med en DC-løsning og batteri kan en for eksempel kjøre færre dieselmotorer samtidig og redusere driftstimer betydelig. Med eco-kjøring av dieselmotorer har vi sett eksempel på at en kan doble timer mellom hver service.

Om vi omsetter simuleringens reduserte drivstofforbruk og økte service intervall om til OPEX, basert på drivstoff kostnad på 7 NOK per liter og redusert vedlikeholdskostnad på 200 NOK per time for service blir det seende slik ut:

Redusert drivstoffkostnad:	$7 \text{ NOK/liter} \times 380 \text{ m}^3 \text{ per år spart} = 27 \text{ MNOK/år}$
Redusert servicekostnad:	$200 \text{ NOK/time} \times 7 \text{ 578 timer spart} = 1,5 \text{ MNOK/år}$

Simuleringene illustrerer at det er mulighetsrom for å få ned driftskostnader ved å gjøre riktige designvalg. OPEX bør også vektlegges i anskaffelsesfasen.

Ellers er der mange andre faktorer som det må tas hensyn til og vurderes i det videre arbeidet. Disse er nærmere beskrevet i Vedlegg 2.

5.3 Vurdering av skipstekniske konsekvenser av alternative drivstoff

Forutsetninger som er definert for å vurdere skipstekniske konsekvenser:

- Opprettholdelse av ytelse
- Minimere, men ikke nødvendigvis erstatte, bruk av diesel
- Drivstoff med høy eksplosjonsfare fjernes fra fartøyet før det går inn i en 'skarp' situasjon
- Fokus på de 'store' standardiserte fartøyene, typisk ytre kystvakt eksempelvis KV Harstad
- Forholder oss til DNV sitt RU-NAV regelverk

Konsekvensene av å implementere alternative drivstoff på de 'kystnære' standardiserte fartøyene er i stor grad avhengig av ytelseskravene og størrelsen på disse fartøyene. Dersom for eksempel fartskravet er høyt relativt til fartøyets lengde kan det bli svært kostnadskrevenende å implementere alternative drivstoff på kystnære standardiserte fartøyene.

Vurderingene inkluderer følgende drivstoff-alternativer:

- Metan (flytende) (LNG og BioGass)
- Metanol
- Ammoniakk
- Hydrogen
 - o Gass
 - o Flytende
 - o LOHC
- Kjernekraft

Det er antatt at man må forlenge fartøyene for å få plass til en gitt mengde av drivstoffene ovenfor. Sammenligning av 'faktisk' energitetthet er basert på ett tilgjengelig skrogvolum på $\sim 1\,300\text{m}^3$, som tilsvarer ca. 10m forlenging av det store standardiserte fartøyet.

Undertema:

- Vedlikehold
- Sikkerhet, som definert av flaggstat og klasseselskap
- Installert effekt (type kraftgenerator)
- Vekt
- Energilagring (type tank system)
- Energimengde
- Antall dager uten utslipp

Per nå har man ikke sett på om løsningene evt vil tilfredsstille spesifikke militære krav (som sjokk og vibrasjoner) da disse kravene ikke er definert.

Man har ikke sett på tiltak for å implementere batterisystemer og evt tilleggstrisiki disse har for militære fartøy (ref. vurderinger i kapittel 4). Det anbefales at prosjektet vurderer nærmere tiltak for å håndtere risikoen for den batteriteknologien som man ønsker å anvende om bord da forskjellige tekniske løsninger har forskjellig risiko. Litium-Ion batteri systemer de som per 2025 gir den beste kombinasjonen av høy energitetthet og lang levetid, men den har også en risiko for en selvforsterkende varmeutviklende reaksjon (kalt thermal runaway/termisk rusning).

5.3.1 Tekniske vurderinger

5.3.1.1 Metan (flytende) (LNG/BioGass)

Lovgivningen om utslipp fra sjøtransport strammes inn kontinuerlig, og behovet for å redusere nitrogenoksid (NO_x), svoveloksid (SO_x) og partikkelutslipp (PM) var noen av grunnene til at man begynte å bruke LNG som marint drivstoff. I dag er det mye brukt, som beskrevet i GSP Rapport for Grønt skipsfartsprogram's biogass-pilot, [21], og dets posisjon som det mest brukte alternative drivstoffet i global skipsbygging er ubestridt, og er over 40% av den globale nybyggingsbruttotonnasjen i 2024.

LNG-lagring ombord er i dag godt utviklet, og det finnes flere lagringsteknologier tilgjengelig. Disse lagringsteknologiene er godt etablert innen forskjellige skipsapplikasjoner. Det benyttes enten en høy grad av isolasjon og trykkakkumulering (som er typisk for mindre lagringstankinstallasjoner) eller større skrogintegreerte tankinstallasjoner med lavere designtrykk (som i stedet krever andre midler for å håndtere Boil-off-gass gjennom enten prosessering eller forbruk). Materialene til lagringssystemet må velges med tanke på de lave lagringstemperaturene, og dette har typisk også tatt hensyn til lagringstankens bunkrings- og fyller-system. Andre konsekvenser for skipsystemene er ventilasjons- og ventilasjonsarrangementene som krever ventilmaster og dedikerte kanaler for drivstoffprosesseringsrom.

Mens den tekniske reguleringen for bruk av LNG som drivstoff er godt etablert gjennom IMO IGF- og IGC-kodene og alle store klassifiseringsselskapene, har reduksjonen av klimagassutslipp fra sjøtransport de siste årene vekket økende interesse. I tillegg til CO_2 , er utslipp av metan (CH_4) og lystgass (N_2O) i dag inkludert i utslippslovgivningen som FuelEU Maritime og EU ETS. Ifølge den siste IPCC (AR6) rapporten er metan omtrent 30 ganger sterkere klimagass sammenlignet med CO_2 i et 100-års perspektiv (IPCC sjette vurderingsrapport se [22]). IMO har utviklet retningslinjer for livssyklusanalyse som tar hensyn til utslipp fra well-to-wake og klimagasseffekten av CH_4 og N_2O ved bruk av GWP100-faktoren.

I 2023 var den vanligste motortypen for LNG-fartøy lavtrykks dual-fuel (LPDF) motor. Av de 614 fartøyene med identifisert LNG-motor, hadde 350 en LPDF firetaktsmotor, 157 hadde en LPDF totaktsmotor og 96 hadde en høytrykks dual-fuel (HPDF) motor [23]. En forskjell mellom disse motortypene er hvordan LNG tilføres motorens sylindere, hvor HPDF injiserer den flytende gassen inn i sylindrene ved bruk av høytrykk injeksjon i en diesel-forbrenningsprosess med kompresjonstenning ved bruk av pilotdrivstoff. LPDF totakts- og firetaktsmotorer benytter LNG som gassformig drivstoff injisert i sylindren som arbeider i henhold til Otto prosessen, og benytter kompresjonstenning for å antenne luft-drivstoff og diesel pilotblanding. Disse motortypene har forskjellige utslippsprofiler, og HPDF anses å ha den laveste mulige metanslippen og dermed de laveste klimagassutslippene. Utvikling av neste generasjons LPDF-konsepter er i gang, og reduserer forskjellen i klimagassutslipp mellom disse motortypene, samtidig som NO_x -utslippene reduseres ytterligere. Selv om disse motortypene vanligvis ikke krever selektiv katalytisk reduksjon (SCR) for at utslippene skal nå IMO Tier 3 NO_x -reguleringsgrenser, krever de, som dual-fuel motorer, SCR for å nå Tier 3 når de kjører på diesel. Derfor er SCR normalt installert sammen med motoren.

Metan kan også brukes i Solide Oxide Fuel Cell (SOFC) (det er dette drivstoffet utviklingen har kommet lengst på) og virkningsgraden er på over 60%. Det er noen utfordringer med SOFC og det er at den krever en forholdsvis treg ramping og aller helst en konstant bruk. SOFC operer typisk ved 800

til 1000°C og det tar lang tid å kjøre den opp og kjøle den ned. Dette impliserer at batterier blir en nødvendighet hvis SOFC skal brukes som hovedkilde til strøm. Alternativt kan SOFC bli brukt i kombinasjon med generatorer hvor de blir brukt til å ta det konstante forbruket.

5.3.1.2 Metanol

Metanol (metylalkohol) er en biologisk nedbrytbar alkohol som brukes til å lage alt fra plast til maling og legemidler. Det er giftig og svært brannfarlig, men løses det opp i vann og brytes raskt ned. Siden det først ble brukt som marint drivstoff på et skip i 2015, har det blitt et av de mest implementerte alternative drivstoffene etter LNG. Metanol er et velkjent drivstoff for forbrenningsmotorer og har flere fordeler i marine applikasjoner når det gjelder lagring, håndtering, forbrenning og utslipp. Egenskapene til metanol muliggjør alle kjente typer forbrenningskonsepter i en forbrenningsmotor, fra Port Fuel Injected (PFI) Otto-syklus, via Direct Injected (DI) Diesel-syklus, til også nyere forbrenningskonsepter. PFI Otto-syklus metanolmotorer bruker vanligvis et lavtrykks drivstoffsystem, mens DI krever et høytrykks drivstoffsystem. Mens systemkompleksiteten øker med høyere forsyningstrykk, må kompleksiteten sammenlignes med ytelsen og utslippene ved høyere eller lavere forsyningstrykk. Ulike injeksjonsteknologier både på DI og PFI har betydelig innvirkning på ytelse og utslipp som også må vurderes.

Selv om metanol har en lavere adiabatisk flammetemperatur enn drivstoffoljer og destillater, noe som betyr at motorens sylindere kan operere ved lavere topptemperaturer og begrense dannelsen av NO_x-utslipp, krever metanolmotorer fortsatt en SCR for NO_x-utslipp for å nå IMO Tier 3-grenser. Direkte reduksjon av CO₂-utslipp er oppnåelig ved bruk av metanol, og ytterligere reduksjon kan oppnås ved bruk av e-metanol eller bio-metanol. Svoveloksid (SO_x) og partikkelutslipp (PM) reduseres betydelig til samme nivåer som for LNG. Utslippsreduksjonene sammenlignet med drivstoffoljer og destillater er avhengig av hvilken motorteknologi som er brukt da disse bruker pilotdrivstoff (som MGO) for å antenne drivstoffet.

De tekniske forskriftene for metanol er godt etablerte, og det finnes regler og forskrifter som regulerer bruken av metanol som marint drivstoff i dag. Disse er IMOs [Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels \(IGF Code\)](#), vedtatt i november 2020. [ISO 6583:2024](#) Metanol som drivstoff for marine applikasjoner – Generelle krav og spesifikasjoner, ble også publisert sent i fjor. Alle store klassifikasjonsselskaper har laget regler for metanol som drivstoff for marine applikasjoner.

Tanksystemer for metanol-lagring ombord på skip kan betraktes som mer konvensjonelle sammenlignet med andre alternative drivstoffer. Siden metanol kan lagres som en væske ved omgivelsestemperatur, kan man bruke konvensjonelle drivstofftanker når tankoverflatebelegg egnet for metanolbruk påføres. Dette er nødvendig på grunn av metanols korrosive egenskaper. For å håndtere drivstoffets korrosivitet er rustfritt stål det foretrukne materialet for hovedkomponentene i drivstoffsystemet. Det kan være mulig å forberede metanol lagringstanker også for bruk av drivstoffoljedestillater når det er valgt et tankoverflatebelegg for både destillatdrivstoffolje og metanol.

Metanols brennbarhetsområde er noe større enn drivstoffoljer og destillater, og dets flammepunkt er relativt lavt noe som har konsekvenser for sikkerhetsarrangementene. Metanoldamp har en tendens til å være tyngre enn luft og det kan lett fylle et lukket rom og skape både en antennelig damp-luftblanding og giftig atmosfære. Fra et helseperspektiv er metanol noe giftig. Hud- og spesielt

øyekontakt skal unngås, og det må ikke inntas. Til tross for sin toksisitet, kommer den største trusselen fra brennbarheten. Metanolfammer er usynlige i dagslys, og dets brede brennbarhetsområde og lave flammepunkttemperaturer gjør dampene lette å antenne. Beskyttelsesklær og utstyr er nødvendig når man arbeider i kontakt med metanolutstyr.

Etanol (etylalkohol) dukker også opp som et alternativt drivstoff for marine applikasjoner, og det har lignende egenskaper som metanol, noe som kan gjøre det egnet som en erstatning for metanol i applikasjoner der enten kan være mer fordelaktig. I prinsippet, når lagrings- og drivstofforsyningssystemet er bygget for metanol, kan det også brukes for etanol. På den tekniske reguleringsiden for eksempel, pågår arbeidet i ISO Alternative Fuels arbeidsgrupper for å lage en etanol marine standard.

5.3.1.3 Ammoniakk

Ammoniakk fremstår som et lovende alternativ ettersom skipsfartsindustrien også ser etter nullkarbon drivstoffalternativer. Ved forbrenning slipper det ikke ut CO₂, svovel eller partikler. Hovedbekymringen for utslipp har i utgangspunktet vært at forbrenning av ammoniakk kan skape N₂O, som har en enda høyere globalt oppvarmingspotensial (GWP) enn metan. NO_x-utslipp kan også være forskjellige sammenlignet med andre alternative drivstoffer, da ammoniakkforbrenningstemperaturer kan variere. Ammoniakk-utslipp av uforbrent drivstoff fra forbrenningen må behandles for at disse utslippene ikke skal overstige eksisterende og nye reguleringer. Når man bruker ammoniakk som drivstoff, er en av hovedbekymringene sikkerhet, som er en av de viktigste tekniske forskjellene mellom ammoniakk og LNG.

Selv om ammoniakk anses som treg å antenne og brenne, brukes det i dag som drivstoff levert ved lavt trykk i Otto-prosess gassmotorer i gassform og med høytrykk og flytende form i diesel-prosess forbrenninger. Ammoniakk krever et pilotdrivstoff for å antenne, og denne pilotdrivstoffantennelsen brukes i både gassdrevne og væskeinnsprøytningssystemer. For begge motorteknologier, samt typiske 2-takts og 4-takts motorer, viser testresultater at ammoniakk kan brukes som drivstoff med stabil motorforbrenning og de har stort CO₂-reduksjonspotensial. Ved ammoniakkslip fra motoren kan det brukes som et reagens i SCR-katalysatorer. En viss balanse mellom NO_x og mulig ammoniakkslip er nødvendig slik at motor- og SCR-systemet er innenfor utslippsgrensene samtidig som man opprettholder høy total motoreffektivitet. Valg av injeksjonsteknologi har også konsekvenser for drivstofforsyningssystemet ombord. Siden ammoniakk vanligvis lagres med en viss volumetrisk prosentandel vann, brukes denne lille prosentandelen vann i ammoniakken som en inhibitor for å forhindre spenningskorrosjons i høyfast stål som vanligvis brukes til å produsere ammoniakklagringstanker. Typisk krever et flytende ammoniakksystem høyt trykk, og gassformig ammoniakksystem opereres under høytemperatur. Ammoniakk, spesielt i nærvær av fuktighet, reagerer med og korroderer kobber, sink og deres legeringer. Imidlertid er jern, stål, aluminium, visse gummier og plast, og spesifikke ikke-jernholdige legeringer motstandsdyktige mot ammoniakk, så riktig valg av materialer og pakningsmaterialer er nødvendig i rør og prosessutstyr.

Lovgivning for bruk av ammoniakk og bunkring er under arbeid, selv om mye allerede er tilgjengelig. For øyeblikket gjelder IMO's risikobaserte godkjenningssystem inntil nye obligatoriske reguleringer inkluderes i IGF-koden. I mellomtiden er IMO-retningslinjene for ammoniakkdirivstoff tilgjengelige, og klassifiseringsselskaper er godt forberedt på å veilede prosjektutviklere og utstyrprodusenter

gjennom den alternative designmetoden som trengs før implementering av slike obligatoriske reguleringer.

Hovedforskjellen mellom ammoniakk og LNG er relatert til ammoniakks toksisitet. Det er derfor viktig i design av ammoniakksystemer å forstå egenskapene til ammoniakk. Forskjellen ligger også i bruk av personlig verneutstyr (PPE), hvor mannskapet vil være pålagt å ha tilgjengelig og opplæring i bruk av mer omfattende PPE. Som for LNG krever det at systemene er designet slik at det er doble barrierer for å beskytte mannskapet og personell mot eksponering på grunn av enkeltsvikt lekkasjer. Det kreves at det er ventilasjon av disse doble barrierene og gassdeteksjon i tilfelle lekkasjer i dem. I motsetning til LNG hvor det trygt kan slippes ut i atmosfæren fra skipsrør og tanklagringssystemer, kan dette ikke gjøres med ammoniakk på grunn av toksisiteten. Det kreves i stedet et avbøtende system for å minimere utslipp av ammoniakk til åpen luft. Ammoniakkdrivstofflagring ombord må også oppfylle kravene til ubegrenset lagringstid, som kan håndteres ved enten tanktrykkakkumulering, ved nedkjøling ved enten underkjøling eller flytende prosesser eller på annen sikker måte håndtere gassen.

5.3.1.4 Hydrogen

Et midlertidig regelverk for bruk av Hydrogen som drivstoff i skip er under utarbeidelse av IMO, og Sjøfartsdirektoratet har pågående samlet innspill til regelverk. Maritime installasjoner med hydrogen som drivstoff er nå generelt under Alternativ Design Prosess.

Hydrogen som drivstoff kan brukes i:

- Hydrogen gassmotorer
- Hydrogen Dual Fuel motorer H_2 + LNG
- Hydrogen Dual Fuel motorer H_2 + Diesel
- Proton-exchange membrane fuel cell (PEMFC)
- Solid oxide fuel cell (SOFC) (når teknologi eventuelt blir tilgjengelig, og tas ikke med videre i vurdering nå)

Ved å bruke hydrogen i en forbrenningsmotor er det få krav til hydrogenkvalitet, i motsetning til PEMFC som normalt krever hydrogen etter minimum ISO14687 grade D standard. En PEMFC vil generelt levere DC-spenning og egne seg for integrering mot batterisystemer og DC baserte systemer.

En forbrenningsmotor med hydrogen som drivstoff kan brukes til både fremdrift og generatorsett. Tradisjonelle AC-systemer kan da fortsatt brukes, inkludert akselgeneratorer. Det kan også være mulig med variabelspeed systemer, for drivstoffbesparelser og DC systemer med batteri via AC/DC omformer.

Med Dual Fuel (DF) Diesel- og hydrogenmotor kan tradisjonelt drivstoff benyttes uavhengig av tilgjengelighet for hydrogen, og hydrogen kan brukes opp til ønsket eller tilgjengelig CO_2 reduksjon.

Virkningsgrad for konvertering fra Hydrogen til DC strøm er høyere for en PEMFC sammenlignet med en forbrenningsmotor som bruker hydrogen som drivstoff og produserer AC strøm i en generator. For en fullverdig vurdering av totalvirkningsgrad PEMFC mot forbrenningsmotor bør en systemvirkningsgrad gjennomføres som inkluderer elementer som:

- Konvertertapp DC/DC

- Energitap Batteri lading / utlading
- Konvertertap DC/AC og AC/DC
- Virkningsgrad generator
- Energitap Girboks
- Propellvirkningsgrad med både Pitch og turtall for optimal drift over ulike fartøyhastigheter

Totalvirkningsgraden vil direkte påvirke behov for lagring av alternativt drivstoff om bord for en gitt rekkevidde

CH₂ – Komprimert hydrogen

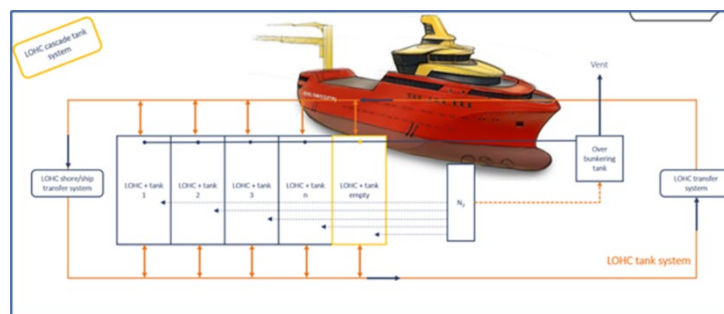
For lagring av trykksatt hydrogen brukes 350 bar trykk som utgangspunkt. For mer informasjon kan det hentes inn informasjon fra nye Torghatten ferger som skal bruke komprimert hydrogen.

LH₂ – Flytende hydrogen

MF «Hydra» har demonstrert LH₂ i bruk, og kan benyttes som kilde dersom LH₂ blir aktuelt som drivstoff for prosjektet.

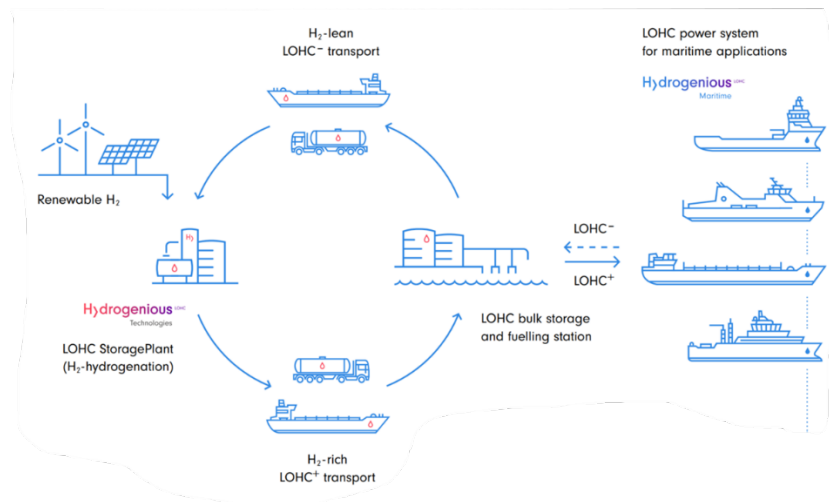
LOHC

LOHC er hydrogenert Benzyl Toluen. Benzyl Toluen er en kommersiell Termalolje som kan lagres på ståltanker under atmosfærisk trykk. Flammepunktet til LOHC er i alle tilfeller høyere enn Diesel, og er en kjemisk stabil væske under lagring. Hydrogen frigjøres kun til bruk, og lagres ikke i fri form om bord. Brukt LOHC uten hydrogen må lagres om bord for senere gjenbruk. Tank systemet vil da bestå av flere like store tanker, hvor en må starte tom etter bunkring for å lagre brukt LOHC. Tankene må være lik størrelse for å kunne utnytte tankkapasiteten i sekvens. For å minimere oksidering av LOHC må tankene inertes.



Figur 5-9: Sekvensielt tanksystem for LOHC

Ett tonn LOHC kan binde 62 kg Hydrogen, og gjennom prosessen kan ca. 80 % av dette frigjøres som drivstoff. Brukt LOHC må pumpes til land fra skipet etter bruk. Videre må LOHC fraktes til et hydrogeneringsanlegg som binder nytt hydrogen i Benzyl Toluen. Slike anlegg planlegges til strategiske lokasjoner, og en fartøygruppe anskaffe et eget Hydrogeneringsanlegg for å nyttiggjøre Grønn Hydrogen direkte til LOHC.



Figur 5-10: LOHC sirkulær bruk for å frakte og lagre Hydrogen

Drivstofftanker til LOHC kan også brukes til MGO og man kan således bytte mellom LOHC og MGO tilpasset risiko forbundet med aktuell operasjon som diskutert i kapittel 4.2. Energimessig kan vi foreløpig anslå at ved LOHC kreves det 6 ganger større volum av LOHC enn diesel for lagring av samme energimengde om bord. Et tankarrangement med Diesel og LOHC i kombinasjon er mulig. Pilotprosjekt og videre skalering vil gi mer underlag for oppdatering av forbrukstall med hydrogenert LOHC som drivstoff.

Til å frigjøre Hydrogen fra LOHC må det installeres et LOHC prosessanlegg, som varmer opp LOHC i en katalysator for å frigjøre hydrogenet. Etter frigjøring ved ca. 300°C må hydrogenet kjøles ned og prosesseres før bruk

En sammenligning av alternativer for LOHC er vist i Tabell 5-7.

Tabell 5-7 Alternativer for bruk av Hydrogen fra LOHC

Omformer	Virkningsgrad (antagelser)	Varmegjenvinning eksos	Konsekvenser
Hydrogen gassmotor	48%	Lite	Hydrogen buffertank
Hydrogen – Diesel Dual Fuel motorer	45%	Ja	Diesel tank, som i et vanlig fartøy
Hydrogen – LNG Dual fuel motorer	46%	Ja	LNG Tank i tillegg
PEMFC	54%	Nei	DC System, Batteri, rensing hydrogen

5.3.1.5 Kjernekraft

Basert på reaktorutvelgingen fra NuProShip i prosjektet [24], vil en liten helium gasskjølt reaktor være det riktige valget for Norge på grå skip, se Figur 5-11. Den har en termisk effekt på 12 Megawatt (MWth) som med en superkritisk CO₂ turbin gir minst 5 Megawatt elektrisk (MWe) effekt. Ved 100% last har den en levetid på brenselet på 5 år mens ved lavere laster kan den holde seg gående i inntil 15 år. Man kan velge å anrike brenselet med høyere grad enn vanlig i sivile sammenhenger hvilket vil kunne forlenge levetiden på brenselet.

Den som er vist i Figur 5-11 er en videreutvikling av den som ble identifisert i NuProShip I prosjektet. Dette skyldes at den var altfor stor (15 MWe) og hadde noen design detaljer som var mindre ønskelige for skip.



Figur 5-11: Emerald Gem, 5 MWe helium gasskjølt reaktor

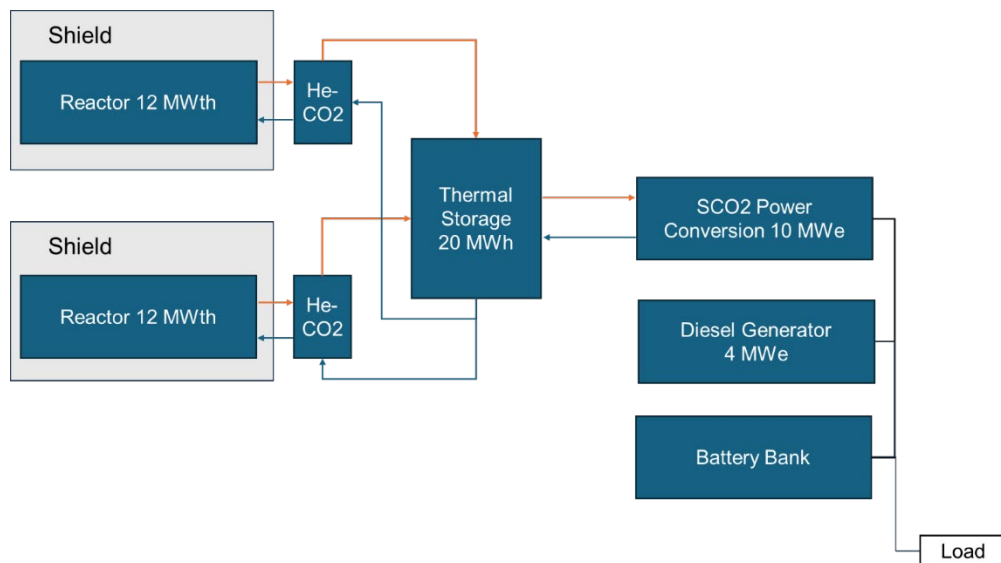
Systemkonfigureringen har mange muligheter, men vi foreslår den som er vist i Figur 5-12 **Error! Reference source not found.** Det termiske batteriet er delvis en sikkerhetsbarriere for reaktoren (vann ingress fra en dampsløyfe kan gi utfordringer for gasskjølte reaktorer og det er nå eliminert), men det muliggjør også å frikoble driften av reaktorene fra turbinen.

Systemet vil kunne erstatte store deler av et ordinært fremdriftssystem, men det er ikke lagd et komplett maritimt skipsdesign med en slik reaktor som kraftstasjon.

Reaktorene kan gå fra fullstendig blackstart, holdes avslått i årevis og ramper med 5% per minutt. Den trives selvsagt best ved å få gå jevnt for å redusere de termiske spenningene og således er omvendt landstrøm (lever strøm til land) ideelt. Det kan være aktuelt i beredskapssituasjoner, men også gi kraft til spesielle kraftkrevende enheter på land som skipet trenger selv (i stedet for å hente kraft fra nettet).

Det termiske batteriet vil sikre hurtigere ramping – turbinen klarer ca. 0 – 80% på noe over 10 sekunder³. Det forventes at hele systemet vil være ferdigutviklet og delvis kommersielt innen 2030, dog er det fremdeles stor usikkerhet angående tidspunkt for når løsningene er kommersielt tilgjengelige.

³ Muntlig kommunikasjon mellom Prof. Emblemsvåg og turbinleverandøren Peregrine Turbine Technologies 2025-04-02



Figur 5-12: Systemkonfigurering for et 10 MWe anlegg

Vektene og dimensjonene for systemet er vist i Figur 5-13 for både 1 og 2 reaktor konfigurasjon, der 2 reaktorkonfigurasjonen er vist i Figur 5-12. Størrelsen på saltsmeltebatteriet er selvsagt noe som kan justeres i moduler på 2,8 MWh th (litt over 1 MWe). Dimensjonering av det termiske batteriet er her satt ut i fra 1 time drift på 100% last uten bruk av reaktor.

1 Reactor system unit					2 Reactor system units				
Containment structure	334	tonnes	33,4 %		Containment structure	668	tonnes	46,9 %	
Reactor vessel	30	tonnes	3,0 %		Reactor vessel	60	tonnes	4,2 %	
Thermal battery (22.4 MWh, th)	350	tonnes	35,0 %		Thermal battery (22.4 MWh, th)	350	tonnes	24,6 %	
Turbine (5-10 MWe)	35	tonnes	3,5 %		Turbine (5-10 MWe)	70	tonnes	4,9 %	
Electrical battery (1.5 MWh, el)	25	tonnes	2,5 %		Electrical battery (1.5 MWh, el)	50	tonnes	3,5 %	
Diesel Gen Set (4.3 MWe)	76	tonnes	7,6 %		Diesel Gen Set (4.3 MWe)	76	tonnes	5,3 %	
Diesel	150	tonnes	15,0 %		Diesel	150	tonnes	10,5 %	
TOTAL incl. containment structure	1000	tonnes			TOTAL incl. containment structure	1424	tonnes		
Dimensions per system unit [m]									
	Length	Width	Height	Volume		Length	Width	Height	
Containment structure	8,10	4,44	4,59	165,07		16,20	8,88	9,18	
Diesel Gen Set (4.3 MWe)	10,41	2,69	3,98	111,45		10,41	2,69	3,98	
Turbine (5-10 MWe)	4,55	4,95	1,98	44,634		4,55	4,95	1,98	
Thermal battery (22.4 MWh, th)				324,72	8 modules				
Thermal battery module (2,8 MWh, th)	6,40	2,34	2,71	40,59					

Figur 5-13: Masseberegninger for systemet. Dimensjonene er indikative.

Kostnadene ved systemet er det enda ikke mulig å anslå sikkert, men en første analyse [25] tyder på at løsningen er konkurransedyktig gjennom levetiden. De første anleggene blir selvsagt dyrere da det er en del oppstartskostnader som leverandørene må ta høyde for. Kostnadsprofilen blir også noe annerledes enn ved andre drivstoff da brenselet for en flerårig driftsperiode må anskaffes tidlig (referer kommentar tidligere i dette kapitlet).

5.3.2 Volumsammenligning

Skrogvolum nødvendig for drivstofflagring er i hovedsak avhengig av mengde energi som skal lagres, energitetthet i drivstoffet, og drivstofftankenes fyllingsgrad og geometri. I tillegg kommer hjelpesystemer som, for eksempel, pumper, filtre og varmevekslere. Dette utstyret tas ikke med i denne sammenligningen. Følgende drivstoff og lagringsmetoder vurderes:

1. Diesel
2. Metanol
3. Liquid organic hydrogen carrier (LOHC): benzyltoluen (BT)
4. Flytende ammoniakk, nedkjølt («fully refrigerated», NH_3 FR)
5. Flytende hydrogen, nedkjølt og trykksatt (LH_2)
6. Flytende metan, nedkjølt og trykksatt
7. Ammoniakk i gassform, trykksatt («fully pressurised», NH_3 FP)
8. Hydrogen i gassform, trykksatt (CH_2)

Lagringsforhold vises i Tabell 5-8. Diesel, metanol og benzyltoluen kan lagres under atmosfæriske forhold. Dette tillater lagring i tanker som er integrert i skipsstrukturen. Slike tanker kan effektivt passes inn i skroget med minimale volumtap.

Nedkjølt ammoniakk lagres i selvstendige, isolerte tanker (“independent self supporting tanks, full secondary barrier”, IMO type A). Slike tanker har mindre fleksibilitet enn integrerte tanker når det gjelder utforming og plassering i skroget.

For de gjenværende drivstoffene må det regnes med økt trykk. For flytende hydrogen og metan kommer lave temperaturer i tillegg. Dette betyr at det kun kan brukes selvstendige høytrykktanker (“independent self supporting tanks, no secondary barrier”, IMO type C). Slike tanker er rundet og tar mye volum i skroget. Dette gjelder særlig kryogene tanker som også er isolert.

I praksis kan ikke hele det interne tankvolumet utnyttes. Ekspansjon og bevegelser i drivstoffet under reisen setter en øvre grense på fyllingsgrad. Samtidig er det vanskelig å oppnå fullstendig tømning. For diesel og LOHC regnes det for eksempel med en utnyttelsesgrad på 97%. I nedkjølte tanker må det i tillegg alltid være igjen en viss mengde med drivstoff for å holde temperaturen nede. Dette viser seg i langt lavere utnyttelsesgrader særlig for flytende naturgass og hydrogen.

Tabell 5-8 Egenskaper under lagring om bord for drivstoff og tanker.

Drivstoff	LHV [MJ/kg]	ρ [kg/m ³]	T [°C]	p design [bar]	Utnyttelsesgrad	Tanktype
Diesel	42,7	846	15	1	0,97	Integrert
Metanol	19,9	787	15	1	0,97	Integrert
LOHC: BT	6,45	996	15	1	0,97	Integrert
NH ₃ FR	18,6	682	-33,5	1	0,95	IMO type A
NH ₃ FP	18,6	571	15	18 ^(a)	0,95	IMO type C
Metan	48,0	455	-162	9 ^(b)	0,85	IMO type C
LH ₂	120,0	70	-252,9	10 ^(c)	0,78	IMO type C
CH ₂	120,0	24	15	350	0,93	IMO type C

(a) Damptrykk på ammoniakk ved 45°C

(b) Maksimal designtrykk for lagringstanker, Wärtsilä LNGPac

(c) Vanlig maksimaltrykk for lagring av flytende hydrogen

I kapittel 5.3.2.1 sammenlignes drivstoffene på basis av energitetthet. Kapittel 5.3.2.2 inneholder estimater av drivstofforbruk og nødvendig skrogvolum på referanseskipet KV Harstad og en modifikasjon av KV Harstad med ekstra seksjon på 10 m lengde. Denne ekstra seksjonen har 1 300 m³ internt volum for tanker med alternativt drivstoff. Hovedspørsmålet i volumsammenligningen er om tankene for de ulike drivstoffene passer i de 1 300 m³ med ekstra skrogvolum.

5.3.2.1 Volum per energienhet

Tabell 5-9 gir volumer per energienhet for de ulike drivstoffene og nødvendig volum for plassering av tanker i skroget, tatt i betraktning tankstruktur, isolasjon og geometriske tap. Det viser seg at tilleggsvolumet for lagringstanker er minst for de drivstoffene som lagres ved (nær) atmosfæriske forhold: metanol, benzyltoluen og nedkjølt ammoniakk. Benzyltoluen har imidlertid lavere energitetthet enn de andre alternativene. I alt kommer metanol og nedkjølt ammoniakk best ut av sammenligningen på energibasis (m³/GJ).

Tabell 5-9 Volumer for de ulike drivstoffene og tankene. Skrogvolum inkluderer drivstoff og tankstruktur med isolasjon og geometriske volumtap. Hjelpesystemer som pumper og annet utstyr er ikke tatt med.

Drivstoff	Drivstoffvolum [m ³ /GJ]	Utnyttelsesgrad	Tankvolumfaktor ^(a)	Skrogvolum [m ³ /GJ]
Diesel	0,0277	0,97	1,05	0,03
Metanol	0,0639	0,97	1,1	0,0724
LOHC: BT	0,1557	0,97	1,05	0,1685
NH ₃ FR	0,0788	0,95	1,3	0,1081
NH ₃ FP	0,0941	0,95	2,6	0,2575
Metan	0,0458	0,85	3	0,1617
LH ₂	0,119	0,78	3,5	0,4579
CH ₂	0,3465	0,93	3	1,3092

(a) Faktor fra internt tankvolum til skrogvolum (tankstruktur, isolasjon, geometriske tap)

5.3.2.2 Volumsammenligning på basis av estimert drivstofforbruk

Drivstofforbruk er estimert for KV Harstad og en modifikasjon av KV Harstad med en ekstra seksjon på 10 m, som gir et ekstra volum på 1 300 m³ for tanker med alternativt drivstoff. Estimatenes er inklusivt fremdrift og hotelforbruk og eksklusivt kjeleforbruk. Estimatenes går ut fra driftsprofil 1 spesifisert i paragraf 5.1.1.

Estimert motoreffekt og forbruk med 10 m forlengelse er lavere enn for det opprinnelige skipet: det lengre skroget gir lavere Froudes tall og gunstigere bølgemønstre, noe som medfører flatere utvikling i bølgeskapende motstand med økende fart. Estimert drivstofforbruk for KV Harstad +10 m er omtrent 5% lavere enn for KV Harstad – se Tabell 5-10. Videre sammenligninger tar utgangspunkt i KV Harstad +10 m.

Tabell 5-10 Dieselforbruk og skrogvolum for tanker, KV Harstad og KV Harstad +10 m, driftsprofil 1.

Skip	Forbruk [t]	Forbruk [m ³]	Skrogvolum [m ³]
KV Harstad	328	388	420
KV Harstad +10 m	312	369	400

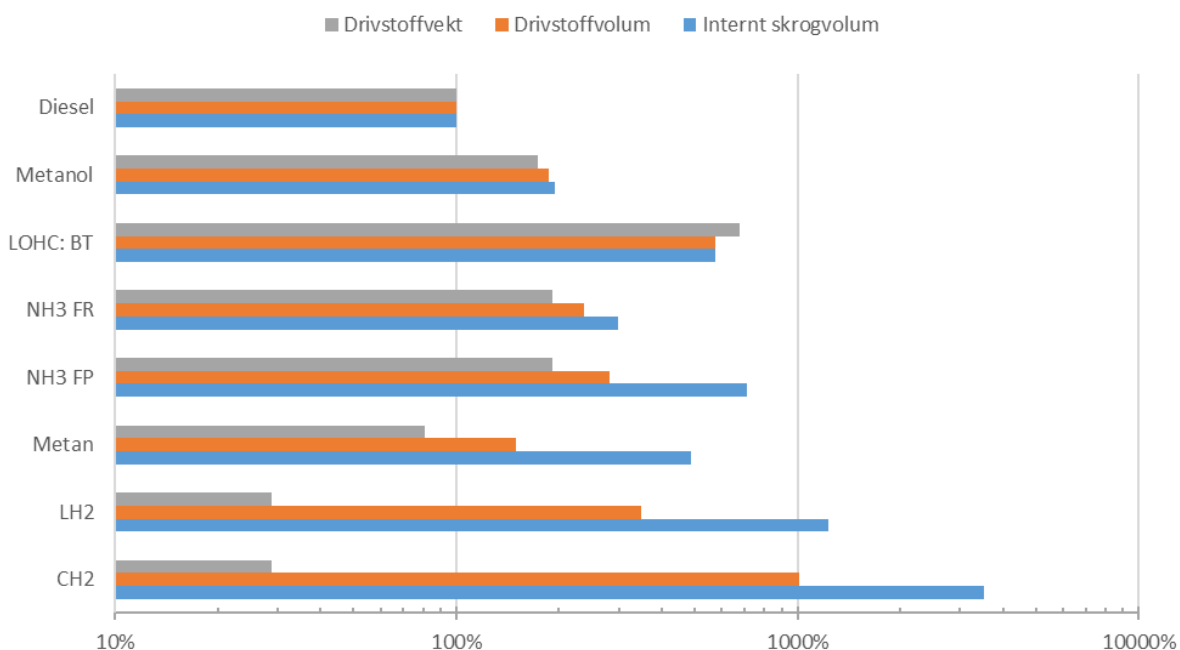
Regnstykket går ut fra dual fuel motorer (DF) både for fremdrift og generatordrift. I DF motorer antennes hoveddrivstoffet med en mindre mengde pilotdrivstoff. Pilotdrivstoffet er diesel som lagres i eksisterende dieseloljetanker. De ulike typer hoveddrivstoff krever ulike mengder med pilotdrivstoff. Forholdet mellom hoved- og pilotdrivstoff for metanol, ammoniakk og metan er basert på data fra motorleverandører. For hydrogen antas det at pilotforholdet og virkningsgrader er de samme som for metanol.

Hydrogen som er lagret i benzytoluen må frigjøres før det kan brukes. Såkalt dehydrogenering er en endoterm reaksjon som foregår ved 300°C og krever 12 kWh varme per kg hydrogen. Dette tilsvarer omtrent 36% av brennverdien i hydrogen. Det anslås at opptil en tredjedel av denne energien, 4.23 kWh per kg hydrogen, kan hentes fra motoreksosvarmen. Resten av varmen genereres gjennom forbrenning av hydrogen. Dette innebærer et merforbruk på omtrent 26%.

Tabell 5-11 inneholder estimert forbruk av ulike hoveddrivstoff og pilotdiesel for KV Harstad +10 m i driftsprofil 1, samt skrogvolumer for tanker. Tallene er visualisert i Figur 5-14.

Tabell 5-11 Drivstofforbruk og skrogvolum for tanker, KV Harstad +10 m, driftsprofil 1.

	Hoveddrivstoff			Pilotdrivstoff (diesel)		
	Forbruk [t]	Forbruk [m ³]	Skrogvol. [m ³]	Forbruk [t]	Forbruk [m ³]	Skrogvol. [m ³]
Diesel	312	369	400			
Metanol	542	689	781	36	43	47
LOHC: BT	2115	2124	2299	36	43	47
NH ₃ FR	595	872	1196	45	53	57
NH ₃ FP	595	1041	2849	45	53	57
Metan	252	554	1956	10	12	13
LH ₂	90	1284	4941	36	43	47
CH ₂	90	3737	14120	36	43	47



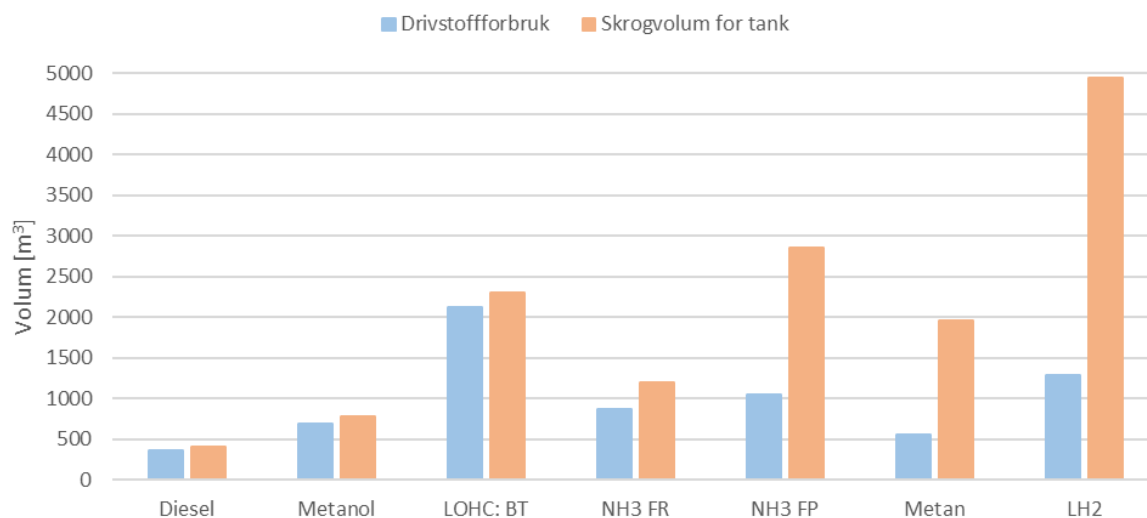
Figur 5-14: Normaliserte forbruks- og skrogvolumstall per hoveddrivstoff (diesel = 100%), logaritmisk x-akse. Forbrukstall for driftsprofil 1, eksklusivt pilotdrivstoff.

Av de vurderte alternativene er det metanol og nedkjølt ammoniakk som passer i de forutsatte 1 300 m³, med henholdsvis omtrent 40% og 8% margin.

Tankene for LOHC tar omtrent 177% av volumet i den ekstra seksjonen. Hvis 450 m³ av benzytoluenet lagres i eksisterende dieseltanker er det fortsatt behov for omtrent 550 m³ ekstra skrogvolum, tilsvarende 24% av estimert skrogvolum for lagring av LOHC.

IMO sine retningslinjer for ammoniakk i IGF-koden omtaler bare nedkjølt ammoniakk lagret ved lav trykk. Dette er hovedsakelig grunnet sikkerhet i tilfellet lekkasjer. Standardløsningen for ammoniakklagring blir sannsynligvis type A tanker (NH₃ FR) heller enn type C trykktanker (NH₃ FP).

Interessant nok gir forlengelsen et lavere forbruksestimat. Modifikasjoner på designet har altså ikke nødvendigvis en negativ påvirkning på utholdenhet og rekkevidde. Det er likevel viktig å merke at det er et komplekst forhold mellom skrogform, driftsprofil og forbruk: effekten på forbruk kan slå annerledes ut hvis skrogform eller driftsprofil endres. I tillegg kan forlengelsen påvirke andre viktige egenskaper som stabilitet, manøvrerbarhet og DP kapabiliteter.



Figur 5-15: Drivstoffforbruk og skrogvolumer for drivstofftanker, KV Harstad +10 m, driftsprofil 1. Den ekstra seksjonen tiltenkt lagring av alternativt drivstoff har et volum på 1 300 m³

5.3.3 Oppsummering

Kapittel 5.3.2.2 konkluderte med at det er kun metanol og nedkjølt ammoniakk (NH₃ FR) som møter energibehovet som følger fra driftsprofil 1. Samtidig forutsetter volumsammenligningen at skipet forlenges med en 10 meters seksjon for lagring av det alternative drivstoffet. Dette innebærer at de opprinnelige dieseltankene kan beholdes, og at det alternative drivstoffet gir en økt operasjonell utholdenhet og rekkevidde med lav utslipp i tillegg til opprinnelig dieselkapasitet – bortsett fra noe forbruk som pilotdiesel. Tabell 5-12 gir et anslag på mulig økning i rekkevidde og utholdenhet for hver av de alternative drivstoffene. Disse rekkeviddene og utholdenhetene er ekstrapolert fra henholdsvis 6 000 nm og 42 døgn forutsatt i driftsprofil 1, med utgangspunkt i skrogvolumer fra Tabell 5-11 og under antagelse av full utnyttelse av de 1 300 m³ i den ekstra seksjonen.

Tabell 5-12 Rekkevidde og utholdenhet med lav utslipp for ulike alternative drivstoff ved full utnyttelse av forlengelsen. Dette kommer i tillegg til rekkevidden og utholdenhet på diesel på henholdsvis 6 000 nm og 42 døgn.

Hoveddrivstoff	Rekkevidde [nm]	Utholdenhet [døgn]	Andel av 6-ukers utholdenhet ⁴
Metanol	9987	70	167 %
LOHC: BT	3393	24	57 %
NH ₃ FR	6522	46	110 %
NH ₃ FP	2738	19	45 %
Metan	3988	28	67 %
LH ₂	1579	11	26 %
CH ₂	552	4	10 %

⁴ Her sammenlignes utholdenhet i døgn mot en (som spesifisert i kapittel 5.1) utholdenhet på 6 uker for driftsprofil 1. (Dette kapitlet nevner også at det ønskelig med 8-ukers seilingstid uten bunkring)

For å få en mer nøyaktig beregning av totalsystemet for de ulike energibærerne må hver systemkonfigurasjon vurderes separat før de kan sammenlignes. Dvs. hver energibærer må vurderes sammen med det konverteringsystemet og konfigurasjonen det skal brukes inn i.

5.4 Vurdering av drivstoff logistikk og energi-tilgang

Marin Gas Oil (MGO) er tilgjengelig langs hele norske kysten. Drivstoffene og energibærerne beskrevet under tas med i vurderingene i dette kapitlet. Det er viktig å se på tilgjengelighet i Norge og Vest – Europa og hvilke tiltak som kan gjennomføres for å bedre tilgangen. Mer detaljer rundt tilgjengelighet til alternative drivstoff finnes på afi.dnv.com og lavutslipp.kystverket.no.

I Norge er det per i dag generelt lite utbygd infrastruktur for bunkring av alternative drivstoff. Norske myndigheter har gjennom ulike støtte programmer og offentlig anskaffelser gjort at det finnes noe mer infrastruktur i enkelte regioner. Herunder er det da i all hovedsak bio-drivstoff, landstrøms /ladeanlegg samt noe LNG-bunkring. Noen av de alternative drivstoffene er kommentert i kapitler nedenfor.

Uansett valg av drivstoff vil landstrøm ved kai ligge være svært aktuelt å benytte både for hotell-last og annet utstyr om bord.

5.4.1 Alternative drivstoff og energitilgang

5.4.1.1 Bio- drivstoff, her definert som FAME og HVO for innblanding og/eller erstatning av MGO.

En klar fordel med bio-drivstoff vil være at man kan nytte eksisterende infrastruktur og bunkringsmåte som for MGO. Bunkring og håndtering på land og om bord vil være 1 til 1 med dagens metode. Det produseres per i dag ca. 111mt og 41mt av henholdsvis FAME og HVO [26].

HVO vil kunne erstatte fossilt MGO helt opp til 100% uten kjente utfordringer hverken relatert til drift av forbrenningsmotorer eller lagring på land eller ombord i skipet [27].

FAME, har egenskaper som kan gi driftsutforinger dersom andel innblanding i MGO blir for høy. Mange av de kjente marine forbrenningsmotorer klarer i dag 20-30% innblanding av FAME. I tillegg har FAME egenskaper som påvirker muligheten til å lagre det over lengre tid enn 6mnd [27].

Tilgjengelighet i større volum er i dag begrenset, da det er få kommersielle anlegg for produksjon av denne type bio-drivstoff i Norge per i dag. Det er flere prosjekter på gang, men få som har tatt en finansiell avgjørelse om kommersiell drift i større skala [28].

Når det gjelder tilgjengelighet vil dette også kunne påvirkes av valg til andre aktører og konsumenter (land, luft og sjø). Per i dag er det veitrafikk som benytter mest biodrivstoff i Norge [29]. På sikt vil dette kunne endre seg, og da spesielt for flyindustrien, hvor bio-drivstoff på sikt kan bli et hovedalternativ for å dekarbonisere sine utslipp [30].

Bunkringstid vil være tilsvarende som i dag om man gjenbraker eksisterende infrastruktur.

5.4.1.2 LOHC - Her definert ved PerhydroBenzylToluene (BT-H) og MetylCycloHexane (MCH)

Vi har her gjengitt tekniske data for de forskjellige LOHC alternativene benzytoluen og toluen angitt ved det respektive materialet lastet med hydrogen.

LOHC alternativene BT-H og MCH har også den klare fordel at det kan gjenbrake eksisterende infrastruktur for MGO og Heavy fuel med kun mindre endringer på dagens installasjoner.

For BT-H her et flammepunkt på 113° C og viskositet tilnærmet likt vann. BT-H er flytende ned til -30° C. Det vil kun kreves inerting med nitrogen av tanker for å hindre oksidering ellers vil det kunne lagres på land og om bord i tanker tilsvarende de som i dag brukes for MGO og HFO [30].

Selv om man kan gjenbruke infrastruktur så er det ikke tilgjengelighet i volum for BT-H til bruk om bord i skip. Benzyltoluen er et kommersielt tilgjengelig produkt, men omsettes kun i mindre volum. Det må bygges egne anlegg for å hydrogenering, og da vil tilgangen på grønt hydrogen i større volum være en avgjørende faktor.

For MCH vil det også være mulig å gjenbruke eksisterende infrastruktur for MGO, men det vil kreve ekstra tiltak for å sikre at det holdes under trykk da det har et flammepunkt på -4° C [30]. Toluen er et kommersielt produkt og omsettes i dag i noe volum mellom land, men har tilsvarende utfordring som for BT-H at det vil være behov for å større mengder grønt hydrogen for å bygge et tilstrekkelig volum av MCH for å kunne være et alternativt drivstoff for bruk i skip. Selv om eksisterende bunkringsanlegg kan gjenbrukes, vil det kreve flere tankanlegg for å holde samme mengde energi som for MGO.

Om man skal erstatte MGO 100% med LOHC, så vil bunkring av LOHC alternativene ta lengre tid da det volummessig vil være behov for ca. 6 ganger volum for å hente ut samme mengde energi som i MGO, ref. Tabell 5-11.

5.4.1.3 Metanol

Metanol er korrosivt materiale, og er definert som et “low flash point” fuel (IGF Code) med flammepunkt på ca 12° C og en viskositet høyere enn vann, hvilket gir egne utfordring og krav i forhold til håndtering av MGO, men enklere enn LNG. Methanol kan allikevel lagres i eksisterende infrastruktur på land om man gjør mindre tekniske modifikasjoner på anlegg som i dag brukes til MGO/HFO, ref [31]. Metanolanlegg finnes i mange norske havner, men det er uklart om dette kan enkelt konverteres til å brukes som drivstoffbunkring for skip. Ser man på volumet så vil det kreve større oppgradering av eksisterende anlegg.

Per i dag produseres 70-80% av all grå metanol i Kina og Midtøsten, ref [32]. Mengden metanol som totalt produseres i verden er anslagsvis 110millioner tonn (2023). Kina forbruker ca 80% av dette.

Grønn Metanol eller e-metanol basert på grønt hydrogen vil møte samme utfordring som LOHC at man vil trenge store volum av grønt hydrogen, og tilgang og pris på hydrogen vil i årene frem til 2030 gjøre prisen høyere enn klimakvoteavgiften (EU ETS avgiften), ref [33].

Forventet største produsenten av bio-metanol er Kina, som planlegger å bruke rester/avfall fra jordbruk til å produsere det, ref [33]. Per i dag er det tilgang til bio-metanol fra Tjelbergodden, men ingen tilgang på grønn metanol i Norge. Eneste kjente produksjonskilden i Norge av metanol er Equinor sitt anlegg på Tjeldbergodden, og der produseres det kun grå metanol fra naturgass. Equinor tilbyr biometanol basert på massebalansering av biometan sertifisert i henhold til EU's rammeverk fra Tjelbergodden. I Europa er det Rotterdam som dominerer som havn for bunkring av bio-metanol, og der ble det i 2024 bunkret 4000t som maritimt drivstoff, ref [34].

Glocal Green er norsk selskap som jobber med å sette opp anlegg for produksjon av bio-metanol i Innlandet fylke med en mulig maks kapasitet på 150 000 tonn i året, ref [35]. I tillegg ser Equinor på

mulighet for å etablere et bio-metanolanlegg på Åmli, men ingen investeringsbeslutning er tatt, ref [36].

Volummessig trenger man å frakte ca 2 ganger så mye metanol kontra MGO/HFO for å nytte samme mengde energi til skipet, ref. [32].

5.4.1.4 Batteri

I Norge er det gjennom flere Enova programmer lenge vært fokus på elektrifisering av ferger og mindre skip langs hele kysten. Det finnes derfor havner med god tilgang på lading til skip, det er i all hovedsak rettet mot ferge- og cruiseterminaler. Dersom dette kan nyttes av Sjøforsvarets skip vil dette kunne gi tilgang på eksisterende infrastruktur. Videre er det flere aktører som jobber med å utvikle offshore ladebøyer, og som en del av dette ser man også på standardisering av ladekontakter for skip.

Det er vanskelig å se at batteri skal kunne nyttes til full operasjonell drift over tid, men det vil kunne være et godt supplement for peak shaving, hotell-last i havn og lavlast operasjoner hvor man ønsker å minimere støy. Kommersielle aktører har tatt i bruk batteri bytte (swapping), og det er også skip som har battericontainere montert på dekk som kan skaleses etter behov. Fordelen er at man kan ha batteri stående på land og lade over tid med den tilgjengelige nettkapasiteten, som så raskt kan byttes med tomme batterier når man kommer til kai. Om dette er designmessig gjennomførbart på Sjøforsvarets fartøy er ikke sjekket ut videre.

Om offshore ladebøyer som er knyttet til oljeplattform og vindparker kan brukes av Sjøforsvaret så vil potensielt noen av oppdrag kunne bli støttet ved lading på disse bøyene. Ladebøyer har kapasitet opp til 6-7MW lading (som f.eks. Vard/Seaonics).

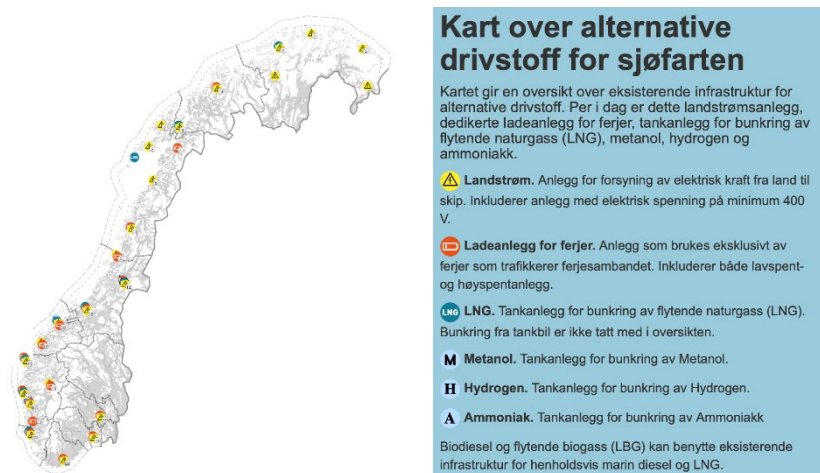
Dersom man designer skipene med mulighet for å lade batteriene ved bruk av motor, så vil en løsning med 100% HVO og lading av batteri gi et energimessig tap, men CO₂ utslippene vil allikevel kunne holdes lave kontra skip driftet med MGO/HFO.

5.4.1.5 Tilgang til strøm for lading og andre formål

Landstrøm til skip kommer til å følge norsk standard som spesifisert i NEK80005. Lav-spenning (400V, 440V og 690V AC) styres iht NEK80005-3. Høy-spenning (1 000V til 15 000V AC) styres iht NEK80005-1. Det jobbes med å etablere standarder også for DC. Det finnes en del varianter av tilkoblingsplugger.

Kapasiteten i nettet nærmer seg i dag et kritisk punkt, så det vil ikke komme stor økning i landstrømskapasitet på de neste par årene. Derimot vil den grønne omstillingen antagelig gi en betydelig økning på 10-15 års perspektiv.

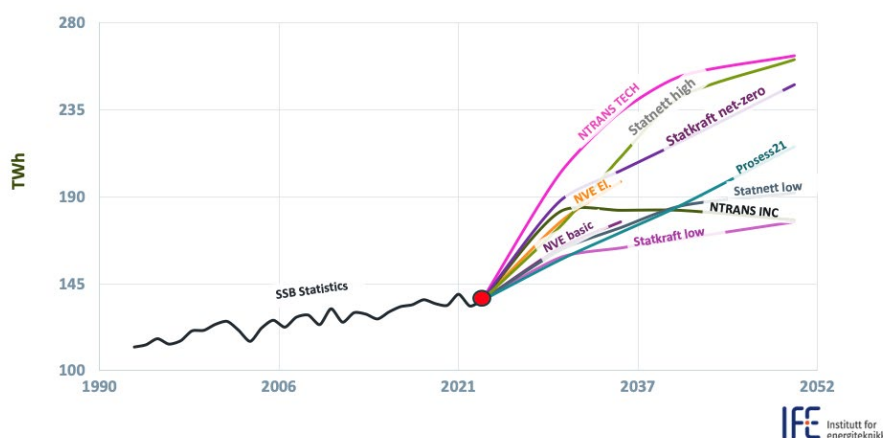
Oversikt over landstrøm per i dag vises i Figur 5-16, kartet viser bare de større anleggene:



Figur 5-16: Oversikt over landstrømsanlegg per 2025 (<https://lavutslipp.kystverket.no/>)

Mange scenarioer inn mot 2050

Ulike aktører i energimarkedet opererer med ulike forventninger om hvordan energi forbruk og produksjon vil utvikle seg frem mot 2050. Figur 5-17 **Error! Reference source not found.** viser en sammenstilling av endringen i etterspørsel av elektrisk energi basert på ulike projeksjoner. Felles for alle er at de forventer en økning i etterspørsel etter elektrisk energi for å møte den grønne omstillingen av samfunnet inn mot nullutslipp. For Norge sin del er det totalt ca. 100 TWh med fossile energibærere som skal gjøres utslippsfri. Delvis gjennom energieffektivisering og delvis gjennom bruk av utslippsfrie energibærere. Sammen med noe teknologisk vekst utgjør økningen i elektrisk energibruk et sted mellom 130 TWh og 40TWh, som gir en økning på henholdsvis 100% og 30% sammenlignet med dagens nivå.



Figur 5-17: Forskjellige prognoser for fremtidig energibehov (fra IFE)

5.4.1.6 Refueling av kjernekraft og bruk av kjernekraft som energikilde

Kapittel 5.3.1.5 inkluderer detaljer om en mulig skipsinstallasjon av kjernekraft. Landbasert kjernekraftverk kan være et viktig supplement for å øke tilgang til energi (ref foregående kapittel) og

har gode egenskaper for å kunne produsere alternative drivstoff. Det går ikke videre inn på det i denne rapporten.

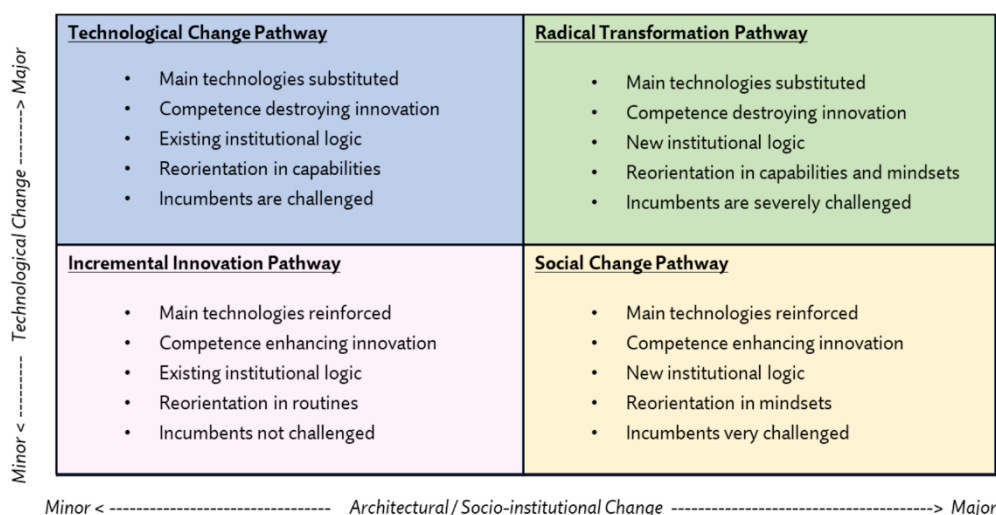
Refueling.

Foreslått anlegg har ved 100% last en levetid på brenselet på 5 år mens ved lavere laster kan den holde seg gående i inntil 15 år. «Bunkring» (eller Refueling) av et kjernekraft-anlegg om bord på skip vil således være ganske annerledes enn ved annen bunkring .

5.4.1.7 Tilgjengelighet av forskjellige drivstoff

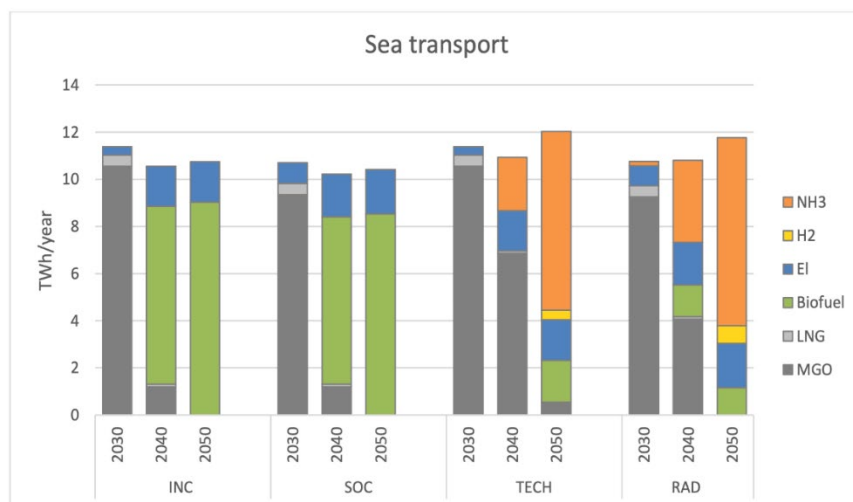
Forskningsenter for miljøvennlig energi (FME) ved NTNU - NTRANS har satt opp noen scenarier for å vise den mulige samfunnsomstillingen frem mot 2050, avhengig av politisk styring (se ref [37]).

En oppsummering av de 4 scenarioene er presentert i under. Disse blir også brukt i Stortingets Klimamelding 2035 (Storingsmelding 25 2024-2025)



Figur 5-18: «Types of change at the system level and associated challenge to incumbents»

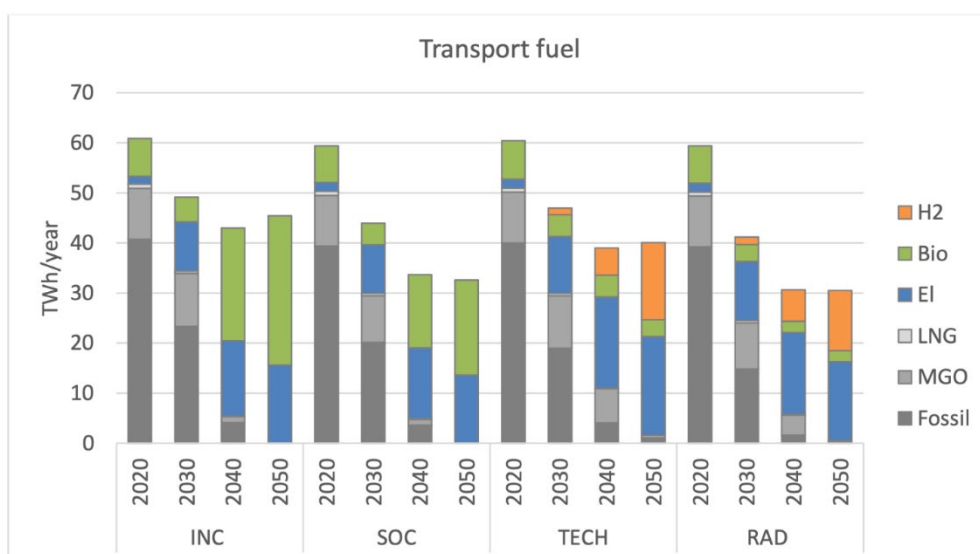
Sammenstillingen i Figur 5-19 fra NTRANS rapporten beskriver det forventede utfallsrommet av den forventede energibruken i den norske skipsfarten i 2030, 2040 og 2050 for de 4 scenarioene beskrevet over. Felles for alle er at 2030 vil være dominert av MGO, mens allerede i 2040 kan det komme store endringer. Dersom retningen går mot Incremental (INC) eller Social Change (SOC) vil biodrivstoff dominere skipsfarten, med noe batterielektrisk på kortere strekninger og faste ruter (ferger etc.). Men dersom man går mot en mer teknologisk utvikling som Technological Change (TECH) og Radical Transformation (RAD), så vil biodrivstoff bli fortrent til fordel for ammoniakk, samtidig vil omstillingen ta lenger tid, og det vil være en dominerende andel av MGO til etter 2040.



Figur 5-19: «Energy use in sea transport (TWh/year)»

Denne illustrasjonen viser noe av kjernen i utfordringen, der avhengig av omstillingsbane kan enten ammoniakk bli dominerende inn mot 2050, eller nærmest ikke-eksisterende. Det er også sannsynlig at det som er dominerende nå og i 2030, MGO, vil forsvinne fra det norske markedet i 2050. Det virker derimot som om biodrivstoff vil utgjøre en liten andel i 2050 i alle tilfeller. Dersom man ønsker å benytte det som til enhver tid er det mest tilgjengelige drivstoffet, vil det være nødvendig å gjøre minimum én tilpasning i perioden fra 2030 til 2050.

For transportsektoren sett under ett, vil det ta noe lenger tid og fase ut fossile drivstoff, og elektrisitet vil få en betydelig andel i 2050 for alle scenarioer, men det samme skille mellom lav (INC og SOC) eller stor teknologisk utvikling (TECH og RAD) er synlig, der respektivt biodrivstoff eller hydrogen vil bli viktig inn mot 2050. Her ligger det også et veiskille der det er plass til biodrivstoff eller hydrogen i energisystemet, men de vil fortrenge hverandre. Syntetiske drivstoff synes å være for dyrt til å bli en del av energisystemet i Norge frem mot 2050 i denne analysen.



Figur 5-20: «Energy use in the transport sector (TWh/year)»

5.4.2 Oppsummering

Kapasiteten i kraftnettet er begrenset, og Statnett har publisert oversikt over kapasitetskøen i det norske kraftnettet per i dag. Det vil gjøre at det ikke vil komme betydelige økninger i ladekapasitet i nærmeste fremtid (2-5 år). Samtidig vil den grønne omstillingen økte etterspørselen etter elektrisk energi og andre utslippsfrie energibærere. NTRANS scenarioene viser ulike omstillingsbaner for disse, og usikkerheten i hvordan dette kommer til å lande. I en slik situasjon vil kjernekraft kunne være en svært aktuell kilde (både land-basert og skipsbasert) for å levere energi til skip samt behov på land (som produksjon av alternative drivstoff).

Ved å se på omstillingen frem mot 2050 viser de fleste scenarioer at fossile drivstoff vil fases mer eller mindre ut, og det kan være at et sted etter 2040 vil elektrisk energi og fossilfrie drivstoff være mer tilgjengelig enn dagens fossile drivstoff.

Derimot er det stor uklarhet om det er batteri, e-fuel, ammoniakk eller hydrogen som vil være fremtidens energibærer for skipsfart. Siden alle disse har sine styrker og svakheter, vil antagelig fremtiden inneholde en kombinasjon av alle, og det er ikke enkelt å si hvilken av disse som vil være mest tilgjengelig i 2050.

Derfor er det å basere seg på en fleksibel plattform, som kan tilpasse energibærere gjennom levetiden, helt nødvendig i dag. Siden energitilgangen i 2050 antagelig også vil være en miks, vil det å kunne basere seg på flere energibærere bare bli en større og større operativ fordel.

Samtidig vil elektrisk energi og batteridrift representere den billigste fremdriftsteknologien, og alternative drivstoff vil kun benyttes kommersielt der batteridrift er tekno-økonomisk ulønnsomt. En batterielektrisk drivlinje vil kunne la fartøylene benytte elektrisk ladeinfrastruktur i størst mulig grad, som gir reduserte kostnader i fredstid og gir anledning til å spare på drivstoff i krig og krise til de situasjonene der den er eneste løsning.

5.5 Økonomiske vurderinger

Forenklete økonomiske vurderinger er basert på Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping's modell for Total Cost of Ownership (TCO) (ref [16]). Modellen er benyttet for å vurdere utviklingen av kostnadene på fartøy frem til 2050 (som kun er et stykke inn i levetiden til fartøyene).

I kapittel 5.2 argumenteres det for at man kan spare størrelsesorden 20%+ av drivstofforbruket ved å investere i operasjonsoptimal elektro og propulsjonsinstallasjon, energireduserende tiltak og sikre effektiv operasjon. Dette vil utover å redusere de direkte drivstoffkostnadene også redusere i redusert service-behov på en del utstyr om bord (som motorer) og reduserte utslippskostnader.

I kapittel 4 diskuteres det at både tilgjengelighet av drivstoff og også hvilket risikonivå Sjøforsvaret må tilpasse seg må vurderes (se kapittel 4.2). Fremdriftslinjen må være tilpasset risikoen og man må også eventuelt redusere risiko for skipet dersom det er benyttet alternative drivstoff med økt risiko i forhold til MGO. For å kunne tilrettelegge for fleksibilitet ved å kunne ha 3 energikilder; MGO, batteri og et alternativ drivstoff - så vil skipet for de vurderte drivstoffene måtte forlenges. Dette er beskrevet mer utførlig i kapittel 5.3.2.2. I kapittel 5.3.3 er omtrentlige kostnader for slik forlengning indikert. Bruk av biodrivstoff som HVO og FAME kan innføres uten forlengning og ha positive effekter på utslippskostnader, men negative kostnader for de direktekostnadene. HVO og FAME er ikke inkludert i betraktningene i dette kapitlet basert på nevnte TCO modell.

Kjernekraft kan også være en aktuell energikilde for skip for driftsprofil 1, men økonomiske vurderinger er ikke inkludert utover noen kommentarer i 5.3.1.5.

5.5.1 Vurderinger av Total Cost of Ownership

TCO-modellen er benyttet med prising av CO₂-utslipp som vist i de tre scenarioene i Tabell 5-5 (kapittel 5.1.4). Øvrige variable som er benyttet i TCO-modellen er angitt i Vedlegg 2 - «Input benyttet i Total Cost of Ownership modellen».

Vurderingene er gjort med følgende 6 drivstoff:

1. LSFO (som er det drivstoffet som antas å være mest lik på MGO ift CO₂ utslippskostnadene av drivstoffene i modellen)
2. LNG
3. e-Methanol (PS)
4. e-Methane (PS)
5. Biomethanol
6. e-Ammonia

TCO per år er brutt ned i hovedkategoriene CAPEX/Finans, OPEX (eksl drivstoff) og drivstoff. Disse kategoriene har undergrupper som vist i Tabell 5-13. For ytterligere informasjon om modellen henvises det til ref. [16].

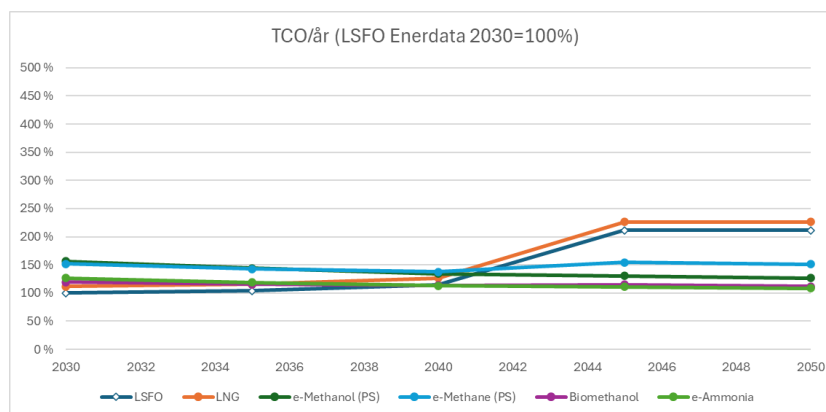
Tabell 5-13 Total Cost of Ownership – hovedfaktorer med undergrupper

CAPEX and Finance	OPEX excl. fuel	Total fuel
Finance: Annual cost of capital CAPEX: Base Engines Fuel cell Tank & fuel system EE levers Yard install.	Port & Canal fees Other OPEX (incl. maintenance) CO ₂ emission cost (WTW) Cargo capacity loss Energy efficiency related	Fuel

Gitt at modellen ikke har fartøy som er representativt for driftsprofilene som er oppgitt fra Sjøforsvaret så ble det gjort et valg av fartøys-konfigurasjon og alternative drivstoff. For at resultatene potensielt skal gi bedre mening så er det valgt å normalisere resultatene. LSFO (som antas å være mest likt MGO) har faktor 1 (100%) og så er kostnadene for skip med andre drivstoff veid opp mot LSFO. Første år i beregningene er satt til 2030 som er omtrent når de første fartøyene i Prosjektet skal fases inn. I etterfølgende kapitler er det lagt inn resultater fra hvert av de tre prisscenarioene.

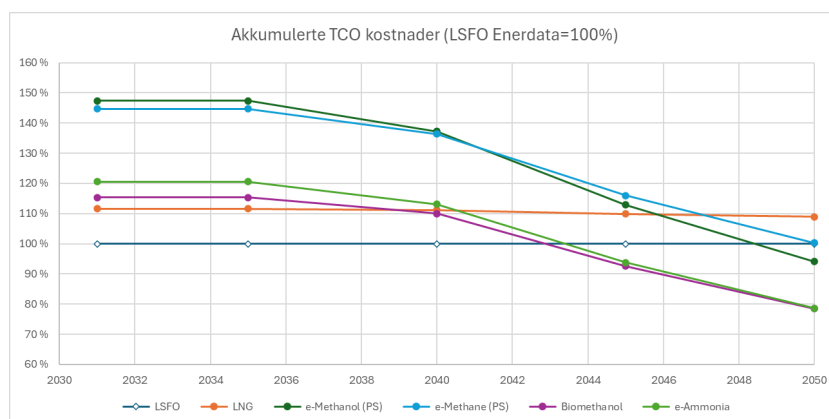
5.5.1.1 Scenario 1 – Prisprognose fra Enerdata

I Figur 5-21 vises de årlige TCO kostnadene. CO₂-prisingen er en sterkt medvirkende faktor til at TCO for LSFO går kraftig opp fra 2042. Dersom CO₂-prisingen vil øke ytterligere fra 2044 så vil TCO for LSFO samt LNG bli betydelige ift f.eks. Biometanol og e-metanol.



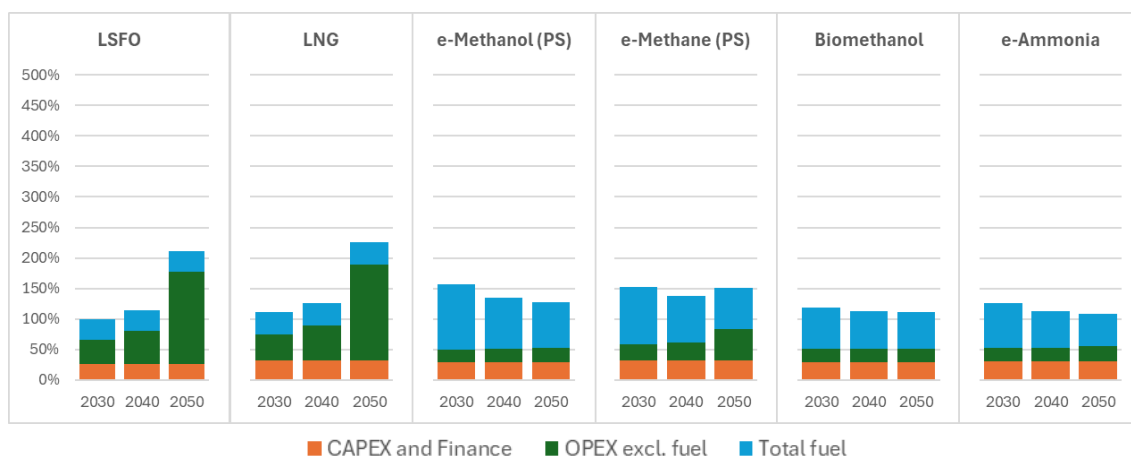
Figur 5-21: Scenario 1 - Normalisert årlige TCO (LSFO Enerdata 2030=100%)

Akkumulerte TCO for skip med de 6 drivstoffene er vist i Figur 5-22. Skip med LSFO er satt til 100%. Figuren illustrerer at de akkumulerte kostnadene for skip med Biometanol og e-ammonia blir lavere enn for LSFO fra ca 2043 og vil være vesentlig lavere i 2050. Figur 5-23 viser fordelingen av hovedfaktorene i TCO på tre utvalgte år. I forutsetningene er CO₂-prisingen satt stabilt fra 2044. En ytterligere økt prising av CO₂ etter 2044 vil medføre en vesentlig bedring av de relative kostnadene for skip med av biometanol og e-metanol.



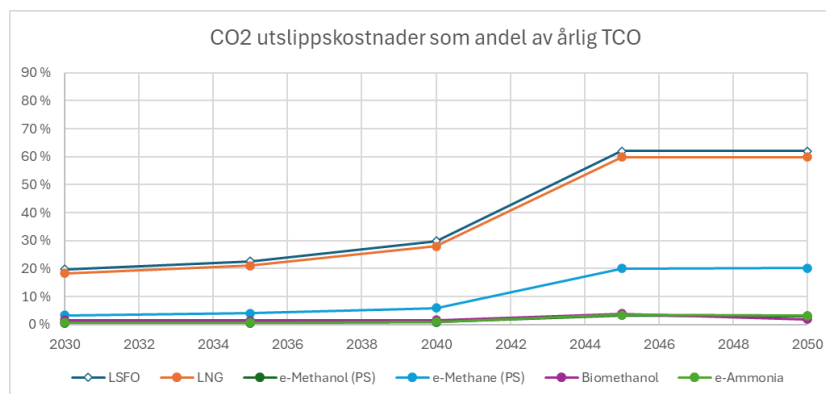
Figur 5-22: Scenario 1 - Akkumulerte TCO kostnader

Figur 5-23 visualiserer endringene av årlige TCO for tre utvalgte år i perioden 2030-2050. Figuren illustrerer forskjellene mellom hovedfaktorene Capex/finans, OPEX eksl. fuel og Total fuel (ref Tabell 5-13). TCO for år 2030 for LSFO fra Scenari 1 er brukt som basis for normalisering.



Figur 5-23: Scenario 1 - Utvikling av årlig TCO (normalisert, TCO for LSFO Enerdata i 2030=100%)

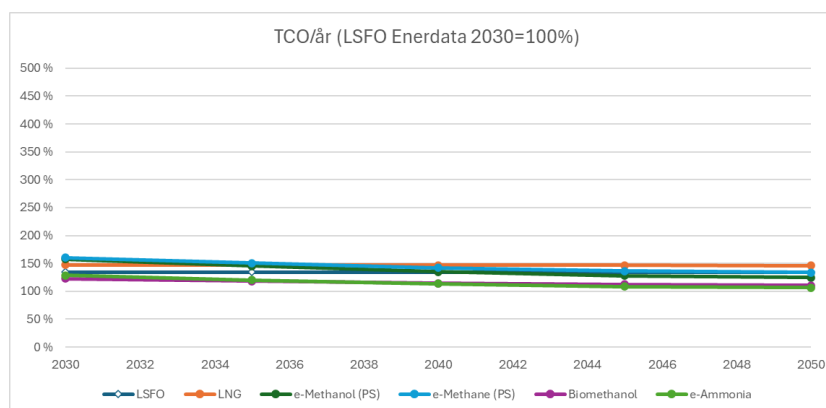
Kostnadene for CO₂-utslippene inngår i kategorien «OPEX excl. Fuel». Figur 5-24 illustrerer at CO₂-utslippskostnadene utgjør over 60% av de årlige TCO for skip med LSFO og LNG etter 2045.



Figur 5-24: Scenario 1 - Andel som CO₂-utslippskostnader utgjør av de årlige TCO

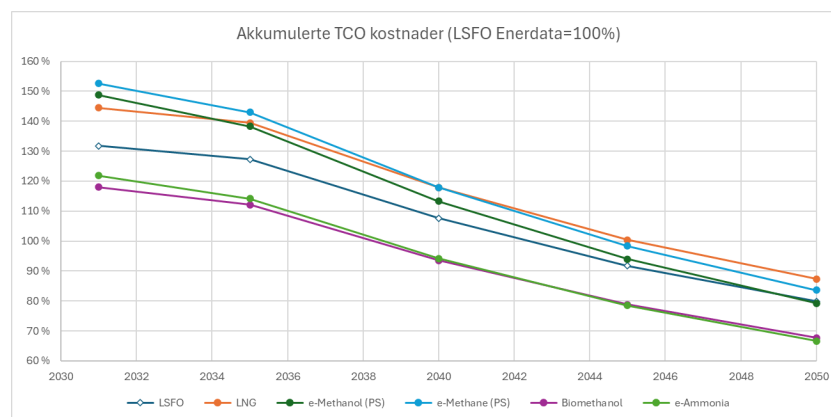
5.5.1.2 Scenario 2 – Prisprognose fra Finansdepartementet

I Figur 5-25 vises de årlige TCO kostnadene. Finansdepartementet har et flatt nivå fra 2030 til 2050. Utslagene i årlige TCO mellom de forskjellige drivstoffene er betydelig lavere enn for Scenario 1 og 3.



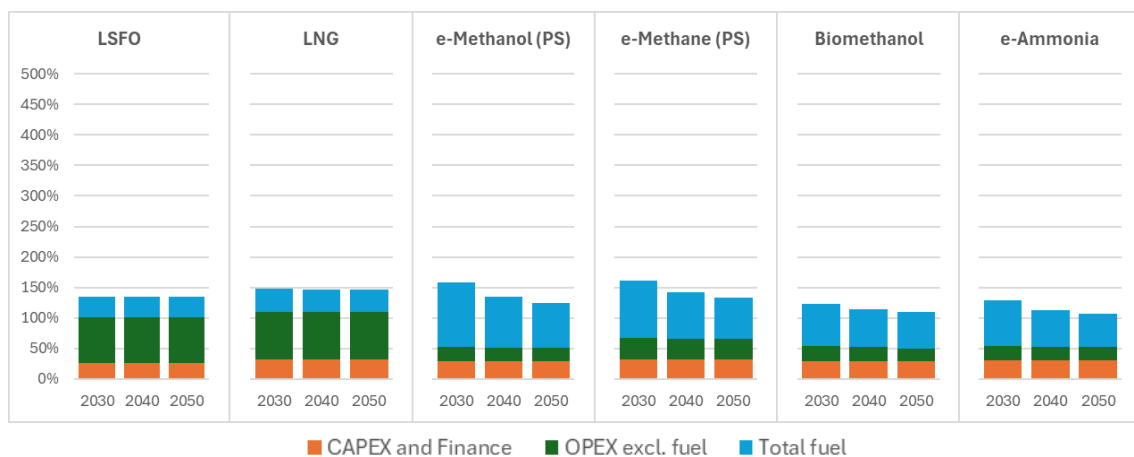
Figur 5-25: Scenario 2 - Normalisert årlige TCO (LSFO Enerdata 2030=100%)

Akkumulerte TCO for skip med de 6 drivstoffene er vist i Figur 5-26. Tallene er normalisert mot LSFO i Scenario 1. Figuren illustrerer at de akkumulerte kostnadene for skip med Biometanol og e-ammonia er lavere enn for LSFO i hele tidsperioden. Figur 5-27 viser fordelingen av hovedfaktorene i TCO på tre utvalgte år.



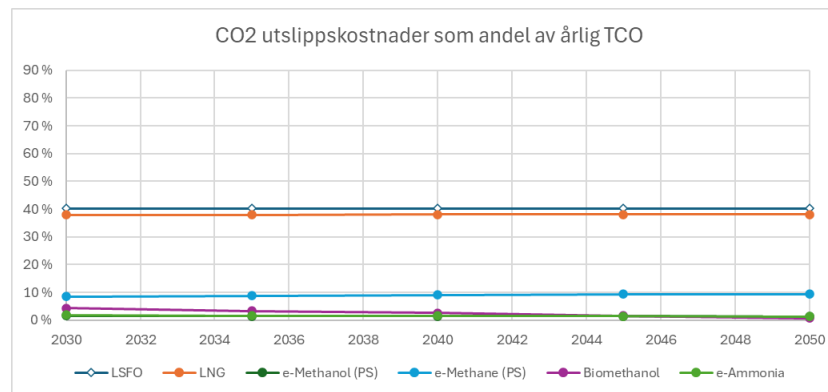
Figur 5-26: Scenario 2 - Akkumulerte TCO kostnader

Figur 5-27 visualiserer de 10-årslige TCO for Scenario 2. TCO for år 2030 for LSFO fra Scenario 1 er brukt som basis for normalisering.



Figur 5-27: Scenario 2 - Utvikling av årlig TCO (normalisert, TCO for LSFO Enerdata i 2030=100%)

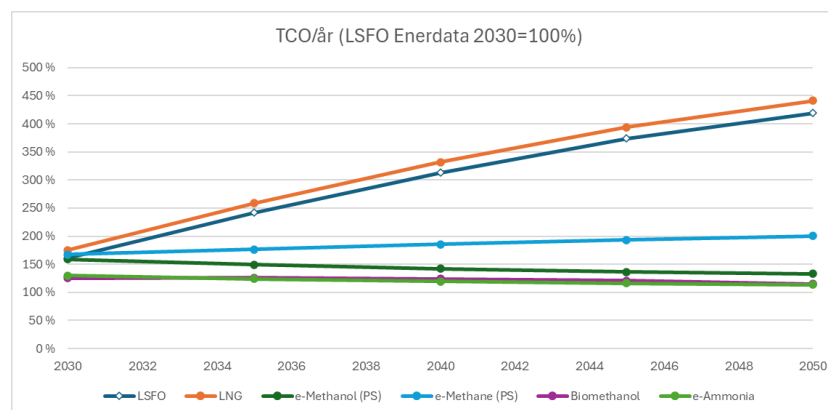
Kostnadene for CO₂-utslippene inngår i kategorien «OPEX excl. Fuel». Figur 5-28 illustrerer at CO₂-utslippskostnadene utgjør rundt 40% av de årlige TCO for skip med LSFO og LNG i hele tidsperioden.



Figur 5-28: Scenario 2 - Andel som CO₂-utslippskostnader utgjør av de årlige TCO

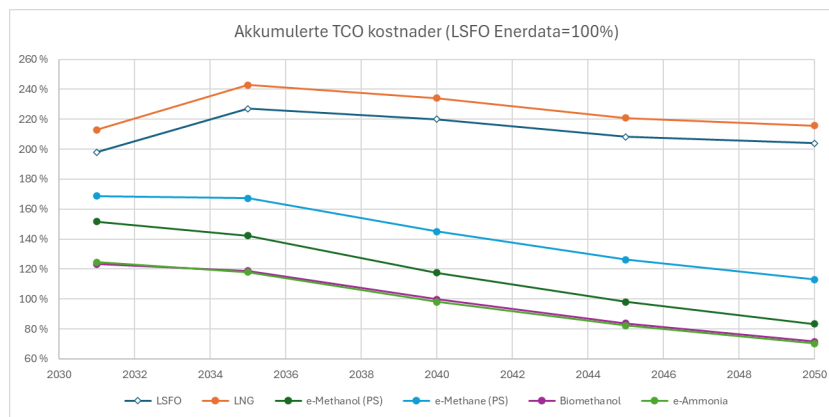
5.5.1.3 Scenario 3 – Prisprognose fra TØI

I Figur 5-29 vises de årlige TCO kostnadene med prising av CO₂ fra TØI-rapporten. TCO går kraftig opp for LSFO og LNG sammenlignet med Scenario 1 og 2. TCO med Biomethanol, e-ammonia og e-metanol holder seg relativt stabile i hele perioden.



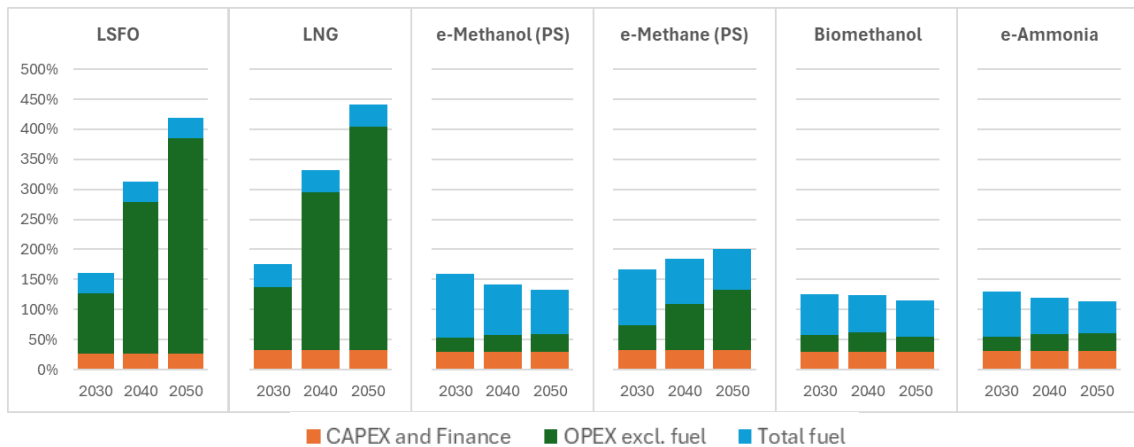
Figur 5-29: Scenario 3 - Normalisert årlige TCO (LSFO Enerdata 2030=100%)

Akkumulerte TCO for skip med de 6 drivstoffene er vist i. Tallene er normalisert mot LSFO i Scenario 1. Figuren illustrerer at de akkumulerte kostnadene for skip med blir vesentlig lavere for e-metanol, e-metan, Biometanol og e-ammoniakk enn for LSFO og LNG. Figur 5-31 viser fordelingen av hovedfaktorene i TCO på tre utvalgte år.



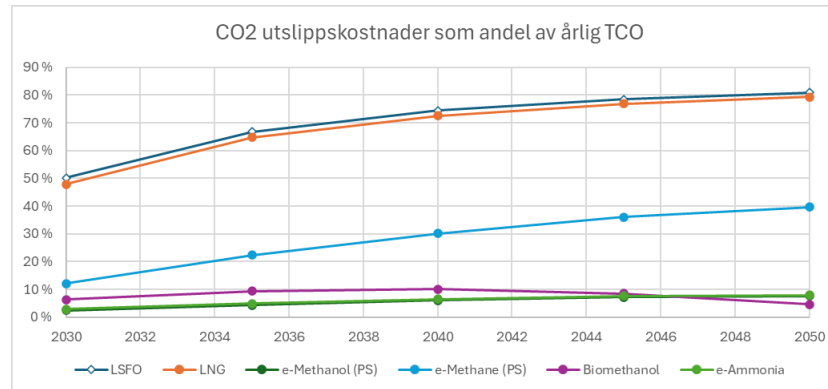
Figur 5-30: Scenario 3 - Akkumulerte TCO kostnader

Figur 5-31 visualiserer de 10-årslige TCO for Scenario 3. TCO for år 2030 for LSFO fra Scenario 1 er brukt som basis for normalisering.



Figur 5-31: Scenario 3 - Utvikling av årlig TCO (normalisert, TCO for LSFO Enerdata i 2030=100%)

Kostnadene for CO₂-utslippene inngår i kategorien «OPEX excl. Fuel». Figur 5-32 illustrerer at CO₂-utslippskostnadene utgjør rundt 80% av de årlige TCO for skip med LSFO og LNG etter 2045.



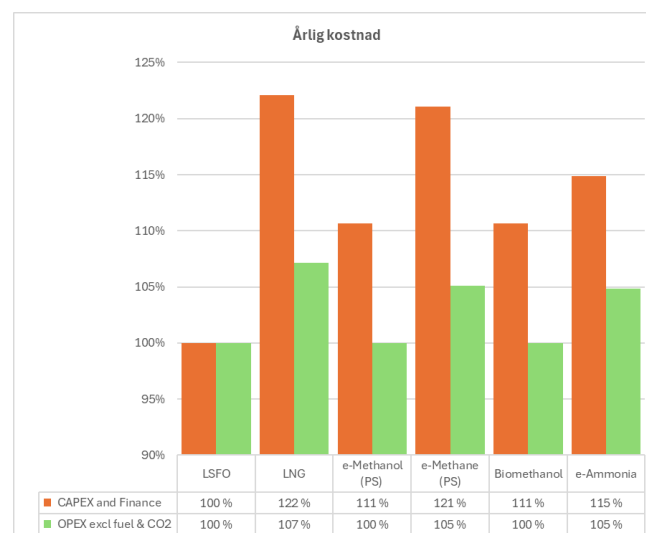
Figur 5-32: Scenario 3 - Andel som CO₂-utslippskostnader utgjør av de årlige TCO

5.5.1.4 CAPEX og Finans samt OPEX (excl Fuel og CO₂)

Figur 5-33 sammenligner kategorien «CAPEX/finans»- og «OPEX excl. Fuel» fratrasket CO₂-utslippskostnadene for skip med de 6 drivstoffformene.

TCO-modellen har like kostnader for OPEX (eksl fuel og CO₂) for e-metanol og biometanol, mens LNG, e-methan og e-ammonia er noe høyere.

CAPEX/Finans for LNG og e-metan er ca 22% over LSFO mens e-metanol og biometanol ligger 11% over LSFO mens e-ammonia ligger 15% over LSFO. Modellen har lik CAPEX for Biodiesel som for LSFO. OPEX (eksl fuel og CO₂) er også lik mellom LSFO og Biodiesel. Med andre ord, LSFO dataene for disse hovedfaktorene bør være representative for MGO.



Figur 5-33: Andel som CO₂-utslippskostnader utgjør av de årlige TCO

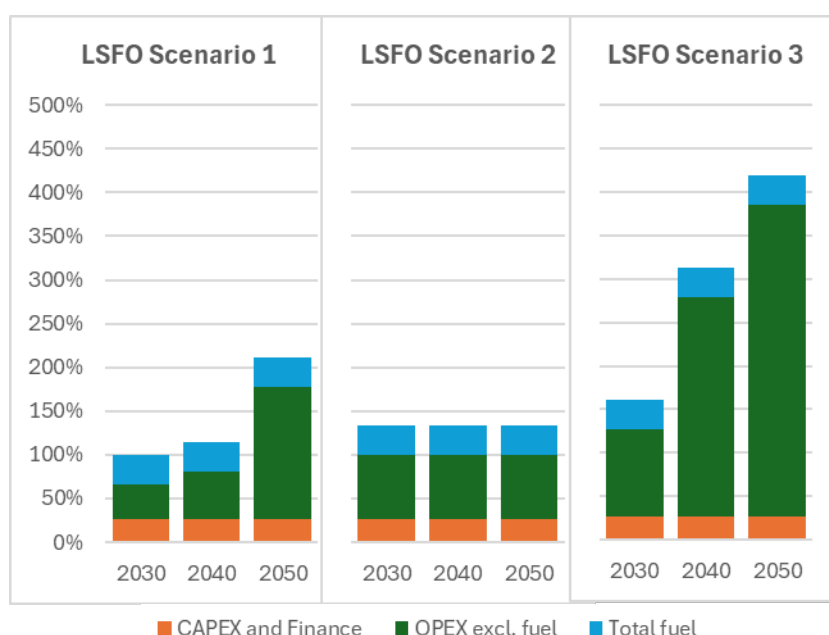
5.5.2 Oppsummering

Arbeidet beskrevet i andre delkapitler ovenfor indikerer noen mulige beløp for besparelser og investeringer. Dette kapitlet har basert på TCO-modellen som er anvendt, forsøkt å illustrere drifts og investeringskostnader frem til 2050 for forskjellige drivstoff. Selv om modellen ikke inkluderer MGO så tyder resultatene på at LSFO har like finans og driftskostnader (eksl fuel og CO₂-kostnader). Basert på de tre scenarioene som er benyttet viser analysene at Sjøforsvaret kan få svært betydelige tilleggskostnader ved bruk av MGO dersom f.eks. TØI's scenario slår til for prisutvikling på CO₂-kostnader. Kostnadene er også betydelige for de to andre scenarioene.

Forhåpentligvis gir disse opplysningene noen indikasjoner som kan være nyttige å få sammenstilt selv om de opprinnelige spørsmålene ikke besvares direkte. Modenheten i prosjektet har gjort det vanskelig å gi konkrete oppsummeringer.

Konsekvensene ved valg av drivstoff er operasjonelt og finansielt vesentlige. Fremtidig pris på CO₂-utslipp og pris på drivstoff og energi er faktorer som vurderingene peker på kan bidra til vesentlige kostnader og også tilhørende besparelser sett i lys av et 30-årig driftsperspektiv av hvert fartøy.

Figur 5-34 illustrerer for LSFO hvordan TCO kan bli ved de tre scenarioene for CO₂-prising.



Figur 5-34: Scenario 1, 2 og 3 - Utvikling av årlig TCO for LSFO (normalisert, TCO for LSFO Enerdata i 2030=100%)

5.6 Konklusjon

Arbeidet har vurdert tekniske og økonomiske forhold for å redusere energibruken, vurdert bruk av alternative drivstoff for å få ned utslipp samt gjort noen betraktninger rundt tilgang til alternative drivstoff/energi. Grunnet noe lav modenhet på prosjektet (P1118) så har gruppen ikke kunnet komme med detaljerte svar på alle spørsmålene som man initielt så for seg. Mengden av energibærere kombinert med mulige tilstander og lagringsformer er svært betydelig (21 stk identifisert fra risikovurderingen). Gruppen har jobbet med en god del av disse og vurdert skipstekniske konsekvenser, modenhet og delvis livsløpskostnadsanalyser. Man har også vurdert

mulige varianter at de skipstekniske installasjoner for å få ned energibruk og gjort simuleringer for å indikere mulig drivstoffbesparelser. Noen hovedfunn som gruppen trekker frem (på tross av høy usikkerhet i en del av underliggende tallgrunnlaget som f.eks. prising av CO₂-utslipp):

- 1) Vel definerte og robuste elektro og propulsjonsløsninger vil kunne medføre utslippsreduksjoner på driftsprofil 1 i størrelsesorden 20-25%.
- 2) Noen av de vurderte drivstoffene vil, med en forlenging av skip for driftsprofil 1, kunne dekke store deler av energibehov for rekkevidde og utholdenhet uten å benytte annet drivstoff.
- 3) Et skip med 3 energibærere (MGO, batteri og metanol) og med en 10 meters forlengelse vil kunne bidra til utholdenhet ved bruk av metanol langt utover indikert rekkevidde og utholdenhet kun ved bruk av alternative drivstoff ihht oppgitt rekkevidde og man kan benytte MGO kapasitet i tillegg.
- 4) For driftsprofil 2 og 3 så er det svært usikkert hvilket mulighetsrom som finnes for alternative drivstoff utover HVO/FAME. Maks hastighet er vesentlig faktor for å vurdere løsninger for disse skipene.
- 5) Det er begrenset tilgang til flere av de aktuelle alternative energibærerne i operasjonsområdet (Norge, Nordsjøen og Norskehavet). Prognosene tilsier også en vesentlig økning av behov for energi i Norge. Sjøforsvaret bør vurdere bygging av kapasitet i samarbeid med andre aktører og også monitorere utfallet av pågående og kommende EDF-prosjekter.
- 6) Akkumulerte livsløpskostnader (TCO) avhenger sterkt av fremtidige priser på CO₂-utslipp. Analysene basert på tre forskjellige prognoser indikerer at Sjøforsvaret kan spare betydelige summer ved å introdusere alternative drivstoff som supplement til (eller erstatning av) MGO.
- 7) Kjernekraft vil kunne være aktuelt både som energikilde om bord og på land for å bidra til å produsere alternative drivstoff for skipene.

6 Bruk av droner for redusert energibruk

Forsvarets formål setter begrensninger for den mer tradisjonelle tilnærming til arbeidet med å redusere CO₂ utslipp. Det må derfor jobbes på flere fronter. Bærekraft handler blant annet om en kritisk og kunnskapsbasert tilnærming til hvilke ressurser vi bruker, hvorfor vi bruker de og om det er mulig å redusere forbruket gjennom endrede operasjonsmønstre. Det vil være nødvendig å løse oppdrag smartere gjennom bruk av ny teknologi og digital samhandling samt gjennom bruk av riktig fartøystype og andre ressurser tilpasset det aktuelle oppdraget. I tillegg kan det etter at oppdraget er utført, være hensiktsmessig å analysere hvordan oppdraget ble løst. Dette for i neste omgang kunne gjennomføre et tilsvarende oppdrag mer effektivt.

Arbeidet med bærekraft må imidlertid aldri gå på bekostning av å beskytte og redde liv samt berge verdier, men samfunnsoppdraget kan heller ikke bli en hvilepute for ikke å bli mer bærekraftig.

6.1 Bruk av droner i operasjon

Det å etablere en rask og presis situasjonsforståelse er viktig. Dette kan gjøres ved å bruke droner i alle tre domene (luft, på havoverflaten og under havoverfalten). Ut fra innhentet informasjon fra dronene kan man være i stand til å avgjøre om det er nødvendig og intervenere eller ikke. Dersom avgjørelsen er å ikke intervenere så har man spart drivstoff og redusert CO₂ utslipp fra operasjonen. Droner kan brukes som en erstatning for å seile skipet i flere typer maritime operasjoner, spesielt der effektivitet, sikkerhet og drivstoffbesparelser er viktige. Her er noen eksempler:

- Inspeksjon og overvåking
Droner kan inspisere skip, havner og offshore-anlegg som forberedelse og klarering av området. Dette vil også kunne redusere behovet for manuelle inspeksjoner
- Miljøovervåking
Droner kan samle sanntidsdata om utslipp og vannkvalitet, noe som hjelper med å overholde miljøreguleringer og beskytte økosystemer.
- Søk- og redningsoperasjoner
Droner kan bidra til å raskt lokalisere savnede personer og levere forsyninger i nødsituasjoner, noe som forbedrer responsen og reduserer risikoen for redningsmannskap.
- Logistikk
Droner kan bringe forsyninger og reservedeler frem til operasjonsområdet. Dette vil sikre høyere opptid og bedre utnyttelse av militære enheter. Droner kan støtte detaljerte inspeksjoner for vedlikeholdsplanlegging, noe som forbedrer sikkerheten og effektiviteten i reparasjonsarbeidet
- Navigasjonsassistanse
Droner kan gi situasjonsforståelse og hjelpe med navigasjon, spesielt i trange farvann eller under vanskelige forhold
- Overvåkning og beskyttelse av sårbare enheter
De kan overvåke og avskrekke trusler, noe som gir økt sikkerhet for skip og mannskap.

6.1.1 Luftbårne droner

Det finnes forskjellige størrelser luftbårne droner. Nyttelast og utholdenhet varierer med hva slags type drone det er og hvilken rolle(r) dronen skal ha. Droner kan generelt opptre enkeltvis eller i en selvkonfigurerende sverm og dronene i svermen kan ha ulike roller. Luftbårne droner styres fra en



Grønt Skipsfartsprogram

basestasjon og kan utrustes med diverse type sensorteknologi avhengig av hva slags informasjon man ønsker å innhente. Eksempler på type informasjon som kan hentes inn ved bruken av luftbårne droner kan for eksempel brukes til isnavigasjon, for å validere påstander om miljøkriminalitet eller havsnød. Når det gjelder isnavigasjon vil det være bærekraftig å velge den ruten gjennom isen som krever minst energi og dermed CO₂ utslipp. Det vil også være bærekraftig å redusere utseilt distanse med maks fart, eksempelvis dersom man ved hjelp av droner kan avkrefte påstander om miljøkriminalitet. Da kan man gå med “normal fart” eller kansellere oppdraget.

6.1.2 Ubemannede fjernstyrte overflatefartøy USV

En fjernstyrt USV (Ubemannet Overflatefartøy) er en type fartøy som blir operert uten mannskap om bord. Disse fartøyene kontrolleres fra et kontrollrom på land eller på et fartøy, og kan ha varierende grad av autonomi. USV-er brukes i ulike applikasjoner slik som miljøovervåking, innsamling av oseanografiske og atmosfæriske data. I en militær sammenheng kan USV-er brukes til overvåking, rekognosering og minebekjempelse og for kommersiell skipsfart til kartlegging av havbunnen, overvåking av havområde og subsea konstruksjonsarbeid.

USV-er finnes i forskjellige størrelser, fra lette små 1-2 m lange farkoster opp til 24 m lengde og 500 bruttotonn. De større farkostene kan ha fjernstyrte undervannsfarkoster (ROV) integrert om bord. Disse kan utføre samme type arbeid som en ordinær arbeidsROV som man finner om bord på konvensjonelle subsea fartøy. USV kan også være moderfartøy for Autonome undervannsfarkost (UUV), ha tauet utstyr og kan i tillegg ha skrogmontert instrumentering for kartlegging av havbunn.

De største USVene har hybrid(batteri) diesel-elektrisk fremdrift og kan være ute til havs i 30 dager før de må inn til havn for bunkring og vedlikehold. Operasjonsgrense for ROV-er opp mot 3,5 m signifikant bølgehøyde og for selve USV fartøy opp mot 5 m signifikant bølgehøyde for disse. Målt opp mot konvensjonelt kartleggingsfartøy med ROV (typisk 80 m, 6000 bruttotonn med 50 personer om bord) antas det en reduksjon av klimagassutslipp i størrelsesorden 90 %.

Kjente leverandører av USV fartøy er blant annet: Fugro (Nederland), Reach Remote (Norge), DeepOcean (Norge), Maritime Robotics (Norge), Exail (Frankrike) og Xocan (Irland).

6.1.3 Autonome overflatefartøy (ASV)

En ASV er et ubemannet overflatefartøy som er i stand til å skape sin egen situasjonsforståelse for å kunne operere i et komplekst og uforutsigbart miljø. Et slikt verktøy er under utvikling ved FFI og basert på informasjon hentet fra fartøyets egen radar og lidar, kan fartøyet automatisk lage hindringskart. Farkosten kan da følge interessante objekter og gjøre geografisk selvlokalisering i områder uten mulighet for satellittnavigasjon. Resultatet er et situasjonsbilde som brukes til automatisk kollisjonsunngåelse, til manøvrering i tett formasjon og til generell operasjonsstøtte. Verktøyet kan for eksempel monteres på en fremtidig autonom mobiliseringsbåt som kan settes ut og tas opp med dagens kran.

6.1.4 Autonome undervannsfarkost (UUV)

Mange maritime aktører har behov for informasjon om forhold under havflaten eller på havbunnen – enten det er dyp kartlegging for offshore-anvendelser, marin forskning, søk etter vrak og dumpet avfall, rørinspeksjon eller militære anvendelser som søk etter sjøminer.

For disse formålene har FFI og Kongsberg Discovery utviklet Hugin – en autonom undervannsfarkost (UUV) som selv kan tilpasse operasjonsmønsteret sitt for å oppfylle oppdragenes målsetninger best

mulig. Dette gjør den ved å tolke data fra ulike sensorer og bruke denne kunnskapen til å analysere situasjonen rundt, planlegge og utføre handlinger.

En UUV må kunne levere gode, troverdige data til brukerne, og nyeste generasjon Hugin UUV bruker blant annet sofistikert posisjoneringsteknologi for å øke datakvaliteten. Kamera er en viktig sensor for UUV på tross av at optisk avbildning har kort rekkevidde under vann. FFI har sammen med Norsk Elektro-Optikk og Kongsberg Discovery utviklet egne undervannskameraløsninger. Likedan har FFI og Kongsberg Discovery samarbeidet om Syntetisk apertur-sonar (SAS) – en teknologi for avbildning av havbunnen i høy oppløsning. Ved å bruke en UUV kan eksempelvis et søk etter for eksempel vrak og dumpet avfall effektiviseres, og i det ligger det et potensiale for sparing av drivstoff.

6.2 Krav til skipets operasjon og design ved bruk av droner

Utviklingen av nye droner skjer i et høyt tempo. Det vil være ulike typer droner som benyttes til ulike type operasjoner, både for å understøtte kystvakt- og marineoperasjoner. Når det gjelder dronetypene som bruker Li-ion batteri, må lading og lagring være i henhold til Sjøforsvarets regelverk. Når det gjelder plass så må det tas hensyn til oppbevaring, og inn- og utsettelse eller landingsområde.

Dagens løsning for UUVen HUGIN er at den lades og oppbevares i en separat konteiner som står på akterdekket til det fartøyet som den opererer ut fra. Konteineren må koples til fartøyet vannforsyning for å gi vann til overrislingsanlegget i konteineren i tilfelle batteriet til HUGIN begynner å brenne når det lades. Konteineren må også ha tilgang på strøm. For å sette ut og ta inn HUGIN må det monteres en type sklie på akterenden.

Overflatedroner vil sannsynligvis bli større i størrelse grunnet operasjoner i tøffere værforhold. Det betyr at lengden på dronen vil øke fra dagens 5-11 meter til 15-24 meter i fremtiden. Dette vil gjøre at plassbehovet ombord muligens også vil øke. Dette er ikke nødvendigvis relatert til frakt av dronen, men behovet for å gjennomføre nødvendig vedlikehold av dronen ombord i moderfartøyet samt plass for etterfylling av nødvendig drivstoff.

Dersom USVen også skal bruke Li-ion batteri til nyttelast og fremdrift, kan det være hensiktsmessig at en tilsvarende løsning som anvendes for oppbevaring og ladning av HUGIN, benyttes.

Ved utforming og dimensjonering av skipets kraftforsyning må det tas hensyn til at dronene skal kunne lades og om de skal kunne lades samtidig. Om det er nødvendig at dronene skal kunne lades samtidig vil avhenge av hvilken type oppdrag som fartøyet skal kunne løse.

6.3 Mulige CO₂ utslippsbesparelser ved bruk av droner

Ved bruk av luftbårne droner fremfor å seile for å etablere situasjonsoversikt, vil moderfartøyet være i standby modus og bruker dermed kun energi til hotell-last og for å opprettholde egenposisjon. Fartøylene som er brukt som referanse i denne studien bruker i snitt 7- 6 m³ drivstoff pr døgn.

Overflatedroner er mindre enn moderfartøyer. Mindre fartøyer bruker i de fleste situasjoner mindre drivstoff enn større fartøyer. Det er ikke funnet en eksakt størrelse på hvor mye en sparer med å ta i bruk droner istedenfor andre fartøyer, men det vil være betydelig mindre CO₂ utslipp. Droner vil også kunne benytte andre typer, mer miljøvennlig teknologiløsninger enn større fartøyer. Batteri kan være et eksempel.

6.4 Andre tiltak

6.4.1 Samhandling med droner, bemannede fartøy og bruken av kunstig intelligens

Alle Search and Rescue (SAR)-hendelser til sjøs håndteres ved å følge IAMSAR-manualen (International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual). Norge er forpliktet til å følge denne håndboken gjennom den internasjonale SAR-konvensjonen. All håndtering følger de samme fasene; Umiddelbar handling, planlegging, drift og avslutning. Hver av fasene inneholder bidrag fra ulike aktører og etablering av felles situasjonsforståelse er viktig for koordinering av bidragene.

Digital samhandling mellom over- og underordnede samt sideordnende aktører vil muliggjøre mer effektive og integrerte operasjoner. Dette betyr at innsatsen kan løses bedre og raskere.

Informasjon som danner grunnlag for etablering av felles situasjonsforståelse og digitalsamhandling, vil bestå av informasjon fra ulike typer sensorer. Dette kan for eksempel være radar og lidar. Alternativt, og i tillegg, vil det også være nyttig å bruke termiske og/ eller lysoptiske kameraer. Hvilke type sensorer som egner seg for informasjonsinnhenting vil variere og avhenger blant annet av lys og værforhold. Syntesen av informasjonen fra ulike sensorer vil kunne gi en god situasjonsforståelse med 360-graders dekning rundt båten. Informasjon fra sensorene kan deretter analyseres for eksempel ved hjelp av maskinsyn og objekt-deteksjons-algoritmer. Objektene blir så kategorisert og prioritert basert på mulig risiko og viktighet.

Digital samhandling mellom over- og underordnede aktører samt sideordnende forutsetter at de ulike aktørene er koplet til en felles skybasert server. En server vil kunne skape en bro over kløften ved å gi mulighet for å flytte informasjon fra skyen og ut til fartøyene. Edge-serveren er i stand til å overføre oppdragsposisjon fra skyen til kartmaskinen automatisk. Den kan hente ruteinformasjon for å estimere når fartøy kan være tilbake i beredskap. Og den kan bruke kursoren i kartmaskinen som input til oppdragsrapportering direkte. Dette er arbeid som må gjøres i samarbeid med ECDIS leverandøren og på deres anbefaling for å sikre samsvar.

Edge serveren gjør det mulig å få hjelp av AI-modeller til å utføre monotone og gjentakende oppgaver ombord. Man kan sette den til å overvåke og tolke kameraene i et søk og til å vurder alternative ruter i tid, distanse og dieselforbruk mot hverandre. Man kan også bruke den til å transkribere kommunikasjon. Dette frigjør mannskapet til å bruke tid på det som er viktig og det reduserer terskelen for å finne gode alternativer.

Ved at fartøyene blir smarte og tilkoblede vil vi kunne koble på landorganisasjonen. Når det er mulig å skaffe seg et likt situasjonsbilde fra land, vil hjelpen bli vesentlig bedre. Den landbaserte organisasjonen kan med dette følge fartøyet ved behov, loggføre og drive administrativ hjelp. Den kan videre bidra med beslutningsstøtte uten behov for lange oppdateringer over radio/telefon. I tillegg kan den videreformidle video- og sensorinformasjon til resten av redningstjenesten. Med en operatør på land, med god situasjonsforståelse fra fartøy i operasjon vil det være lettere for mannskapet å fokusere på sikker navigasjon og håndtering av havaristen.

Digital samhandling mellom over- og underordnede aktører vil muliggjøre mer effektive og integrerte operasjoner. Dette betyr at innsatsen kan løses bedre og raskere. Ved å gjøre fartøyene mer tilkoblede og smarte vil en kunne redde flere liv, berge flere verdier på en trygg, bærekraftig og kostnadseffektive måte. Problemstillinger knyttet til sikkerhet må imidlertid løses før digital samhandling kan benyttes av militære fartøy.

6.4.2 Samhandling med undervanns droner for overvåking av undervanns struktur

En Unmanned Underwater Vehicle (UUV) gir kapasiteter i tråd med viktige prinsipper for militære marineoperasjoner som mobilitet, distribuert beslutningstaking gjennom avansert autonomi, økonomibesparelse gjennom operasjoner over tid i et område uten fartøyer og mulighet til skjulte operasjoner. Bruk av UUV i kombinasjon med andre ubemannede systemer gjøre det mulig for et moderfartøy å skape stand-off for bemannede enheter, sikre en bredere styrkedisponering og øke operasjonsområdet. Dette vil også føre til betydelig redusert utslipp.

HUGIN er et eksempel på UUV som er hentet frem i trekantsamarbeidet mellom Forsvaret, forskning (FFI) og industri (KONGSBERG). UUV-er er bygget over samme programvareramme og vil ha omtrent samme funksjonalitet, men med varianter og ulik egnethet for ulike oppdrag. Hovedforskjellene er evnen til å betjene et slept passivt array, mulighet for å gjøre dybdevurdering samt utholdenhet. De større UUV-ene kan også støtte en nyttelast som kan distribueres fra UUV-lasterommet, om nødvendig. En UUV vil bidra til å oppdage objekter i vannvolumet eller ved å kartlegge havbunnen for statiske eller dynamiske anomalier ved hjelp av høyoppløselige sidescan sonarer.

UUV kan prosessere underveis i oppdrag eller i etterkant. Hvis det gjøres underveis kan UUV oppdage, spore og rapportere kontakter med en forhåndsdefinert karakteristikk. Når og hvordan man skal rapportere og kommunisere, kan forhånds defineres under planlegging av oppdraget. Kommunikasjon kan være enten ved frigjøring av kommunikasjonsflytere (enveiskommunikasjon) når UUV er nedsenket, eller ved å gå til overflaten og kommunisere gjennom ulike kommunikasjonsmuligheter.

UUV-ene vil få sine oppdrag planlagt og utført av et Vehicle Control System (VCS), på land eller ombord. Når den er utplassert, vil UUV utføre oppdraget sitt semi-autonomt eller helt autonomt i påvente av den operasjonelle konteksten, med mulighet for avansert prosessering i oppdraget. Dette betyr at UUV kan justere og endre sitt eget oppdrag basert på faktorer som ekkolodds ytelse og navigasjon, for best mulig oppdragsoppgjør. Dette kan bli en avgjørende faktor når du opererer skjult i et GPS-nektet område.

Den operative tilgjengeligheten til UUV vil avhenge av faktorer som utholdenhet, støtte i området samt graden av nødvendighet for skjulte operasjoner. Driftstid vil være begrenset til batteriholdbarhet og nyttelastkonfigurasjon. Hvis støttefartøy med UUV-launch and recovery er tilgjengelig, kan bytte av batterier i drift redusere nedetiden betydelig. For mellomstore UUV-er vil innsetting ved bruk av USV i operasjonsområdet spare UUV-transport, og dermed sikre høyere utholdenhet. UUV-en kan sendes i transportcontainer (20, 30 eller 40 fot).

6.4.3 Ruteplanlegger

En ruteplanlegger kan være et hjelpemiddel for å velge den gunstigste rute for det gjeldende oppdraget som for eksempel kan være søk og redning eller inspeksjon av fiskefartøy.

Ruteplanleggeren vil ta hensyn til flere faktorer. Faktorene kan vektes og ute vektingen kan velge den gunstigste ruten. Blant disse er:

- Egen posisjon
- Geografiske forhold
- Destinasjonspunkt
- Tidsbegrensning

- Strøm - og vinddata
- Energibeholdning

Energibeholdningen setter ytre grenser for langt fartøyet kan seile under de gitte forhold og angis av mengde drivstoff og eventuelt ladegrad på batteriet dersom fartøyet har en hybrid fremdriftslinje. Dersom det ikke er kritisk å nå destinasjonspunktet innen en viss tid kan en ruteplanlegger beregne ruten som vil kreve minst energi å seile. Utfordringen knyttet til sikkerhet må imidlertid løses da det ikke er akseptabelt at fartøyets posisjon kan bli kjent for utenforstående ved bruk av ruteplanleggeren.

6.5 Konklusjon

Bruk av droner i alle domener samt moderne teknologi for deling av situasjonsbilder med overordnet og eventuelt sideordnede aktører tilnærmet sanntid, vil bidra til at operasjonen blir mer effektive. I tillegg kan man ved bruk av en ruteplanlegger velge ruten frem til operasjonsområdet som medfører minst forbruk av drivstoff for det eller de aktuelle fartøy dersom det er forsvarlig. Det meste av teknologien som er beskrevet i denne rapporten finnes i dag. Videre arbeid vil være å vurdere nærmere behov, finne riktig teknologi, vurdere om og hvordan denne kan integreres om bord på fartøyene. Sist, men ikke minst er det viktig å sørge for at mannskapene ombord har det rette kunnskapen til å bruke teknologien på en best mulig måte.

7 Verdikjedeanalyse og Scope 3 utslipp

Med økende fokus på bærekraft i den maritime industrien, blir det stadig viktigere å forstå og kvantifisere klimagassutslipp i skipsbygging. Byggingen av skip innebærer energikrevende prosesser, fra utvinning av råmaterialer til konstruksjon og endelig montering. Etter hvert som regulatoriske rammeverk og markedsforventninger utvikler seg, legger interessenter – inkludert rederier, investorer og beslutningstakere – større vekt på å vurdere og håndtere karbonavtrykket til nybygde fartøy.

Forsvarsmateriell har gjennomført en «Cradle-to-Gate» karbonavtryksanalyse av et nybygd militært skip. Studien evaluerer klimagassutslipp som genereres fra produksjon av materialer, komponentproduksjon og skipsbygging, samt transporten av materialer til verftet. Nedenfor er utvalgte deler av rapporten og full rapport er i Vedlegg 3.

Vurderingen vil gjøre det mulig for Forsvarsmateriell å:

- Kvantifisere karbonavtrykket til det grunnleggende skipsdesignet,
- Identifisere muligheter for reduksjon av klimagassutslipp i skipsbyggingsprosessen,
- Vurdere påvirkningen av materialvalg og produksjonsprosesser,
- Peke ut hovedbidragsyterne til skipets totale karbonavtrykk frem til levering.

Studien følger prinsippene i ISO 14040, 14044 og 14067, og presenterer en overordnet vurdering av klimagassutslipp, med fokus på hovedbidragsytere og scenarioanalyser fremfor en detaljert utslippsinventering⁵ og konsekvensanalyse (LCIA).

Denne tilnærmingen gir praktisk og beslutningsorientert innsikt samtidig som den opprettholder samsvar med ISO-standardene og vektlegger:

- En overordnet kvantifisering av klimagassutslipp gjennom byggingen av skipet, med fokus på materialer, energibruk og transport.
- Scenarioanalyser for å vurdere virkningen av variasjoner i materialeanskaffelse, energiforbruk og andre sentrale faktorer.
- Forenklede antagelser der detaljert livssyklusanalyse (LCA) og konsekvensvurderingen (LCIA) ikke er nødvendige for studiens formål.

De viktigste målene med vurderingen er:

- etablere et referanse-karbonavtrykk for det militære skipet.
- gi innsikt i klimaeffekten av design- og produksjonsprosessene.
- identifisere primære utslippskilder innen materialeanskaffelse, fabrikasjon og montering for å støtte målrettede tiltak for utslippsreduksjon.
- analysere følsomheten i nybyggutslippene for variasjoner i materialvalg, produksjonsprosesser og faktorer i verdikjeden.

⁵ Inventering er en observasjonsundersøkelse der data og informasjon samles inn for å gi en oversikt av situasjonen

- støtte Forsvarsmateriells bærekraftsinitiativer ved å integrere utslippshensyn i skipsdesign, innkjøp og produksjonsplanlegging.

Studien skal i tillegg gi transparente miljøinnsikter for intern beslutningstaking og ekstern dialog med interessenter, inkludert regulatoriske krav.

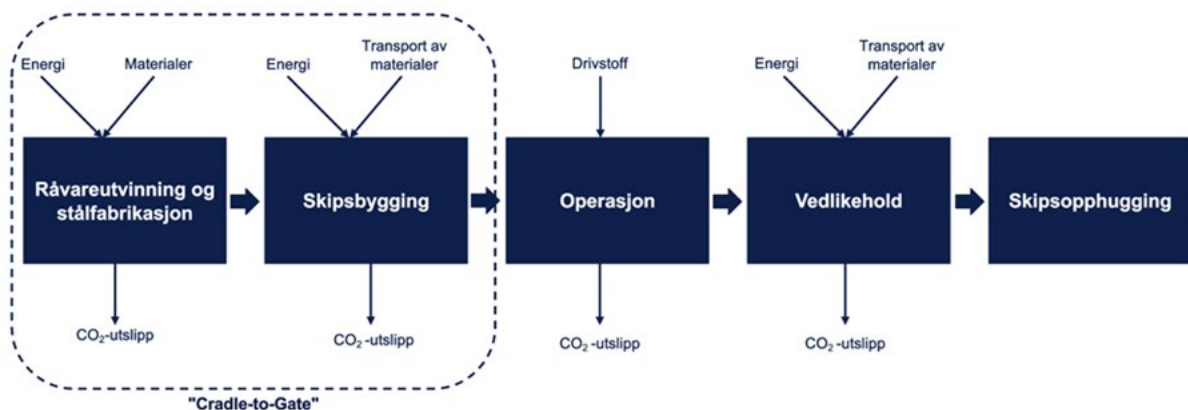
Grunnscenarioet er en tilpasset versjon av Jan Mayen-klassens kystvaktskip. Scenarioet er justert for å bedre reflektere de faktiske forholdene til standardiserte fartøy. Grunnscenarioet følger byggeprosessen til Jan Mayen-fartøyene, som skjedde i tre trinn:

- Skroget bygges ved et verft i det sørøstlige Mellom-Europa
- Skroget slepes fra verftet i det sørøstlige Mellom-Europa til verft i Midt-Norge
- Skroget ferdigstilles og utrustes ved verft i Midt-Norge

7.1 Avgrensninger

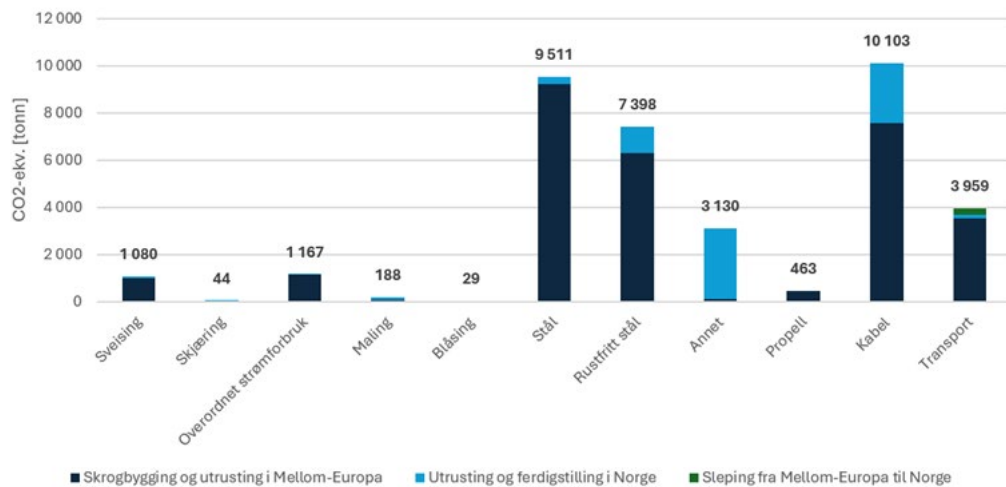
Karbonavtrykksvurderingen fokuserer på byggingen av et militært skip. Vurderingen dekker alle utslipp knyttet til utvinning av råmaterialer, produksjon, transport og skipsbygging frem til fartøyets ferdigstillelse.

Driftsfasen, vedlikehold og opphugging av skipet omfattes ikke av studien (figur 7-1), ettersom fokuset er på utslipp fra produksjonsprosessen.

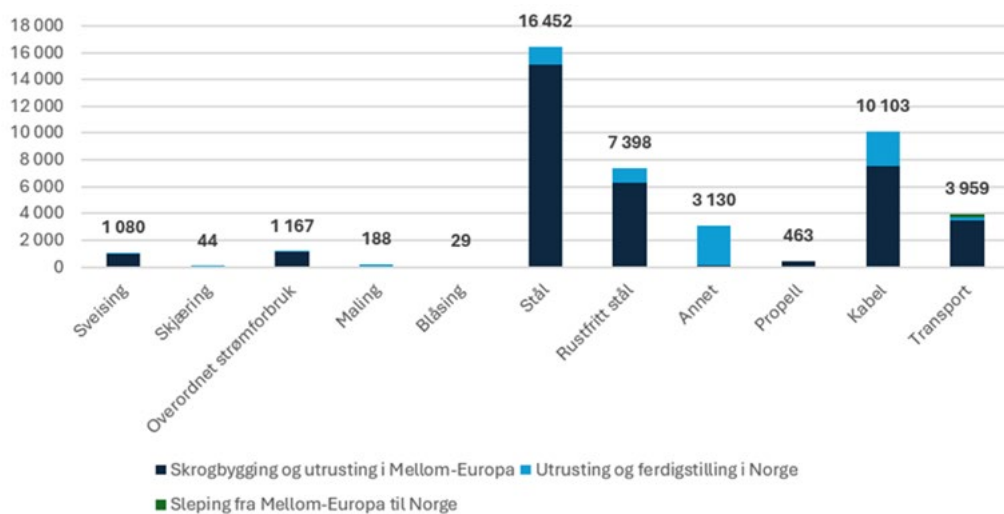


Figur 7-1 Systemgrenser for studien

Figur 7-2 og Figur 7-3 viser fordelingen av utslipp per bidrag og per trinn i byggeprosessen. Figur 7-2 viser fordelingen ved bruk av landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål, mens Figur 7-3 viser fordelingen for et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål.



Figur 7-2 Fordeling av utslipp per bidrag for basescenarioet med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål



Figur 7-3 Fordeling av utslipp per bidrag for basescenarioet med et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål

Utslippsfordelingen etter livssyklusfaser er vist i Figur 7-4. I begge sektordiagrammene er materialer og produksjon den største utslippskilden. Dette skyldes hovedsakelig utslippene knyttet til produksjonen av kobbertråd, stål og rustfritt stål. Utslippsfaktoren for kobbertråd er høyere enn for kobberør og kobberplater fordi produksjonsprosessen for kobbertråd krever flere energikrevende trinn. Etter at kobberet er utvunnet og raffinert, smeltes og vales det til tynne tråder i en prosess som krever elektrisk energi og maskinell bearbeiding.

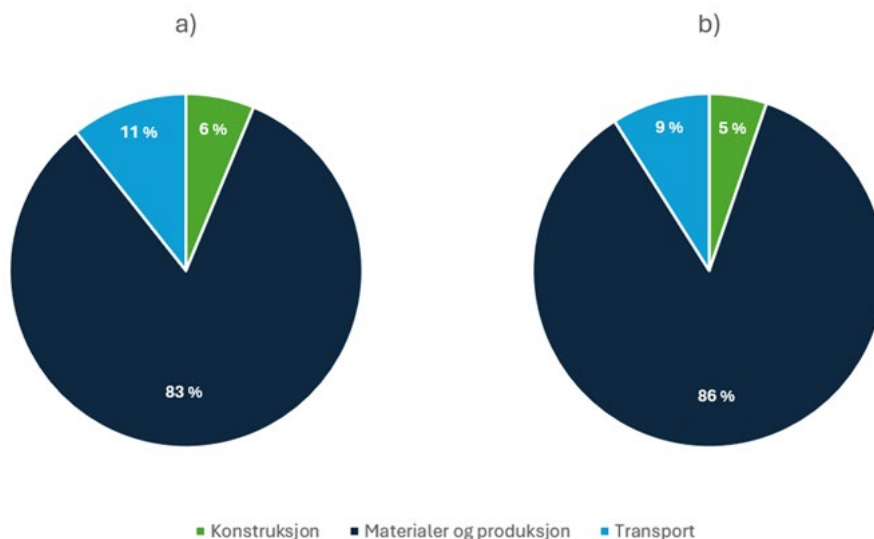
Utslippene fra produksjonen av stål og rustfritt stål kommer av den høyt energiforbruk i produksjonsprosessen. I Figur 7-4 b) er dette energiforbruket høyere enn for Figur 7-4 a) på grunn av

bruken av det globale gjennomsnittet for utslippsfaktoren for varmevalset stål, som er høyere enn de lands-spesifikke utslippsfaktorene for råstålproduksjon.

Andre betydelige bidragsytere inkluderer transport av materialer og utstyr, hvor slepingen av skipet fra Mellom-Europa til Norge er inkludert, og utslipp knyttet til betong, rigid isolasjon og møbler i innredningen, som utgjør kategorien «Annet».

Utslipp fra maling og konstruksjonsarbeid på verftene er relativt små, men bidrar likevel til det totale karbonavtrykket.

De høyeste utslippene fra konstruksjonsfasen kommer fra overordnet strømforbruk – som representerer indirekte energiforbruk fra støtteoperasjoner på verftene.



Figur 7-4 Utslippsfordelingen etter livssyklusfaser for basescenarioet med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål (a) og med et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål (b)

7.2 Hovedfunn

Funn fra basescenarioet:

- Mengden utslipp fra stålproduksjon er avhengig av hvilken utslippsfaktor som benyttes: et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål reflekterer bearbeidingen av råstål og resulterer i et høyere utslipp, men tar ikke hensyn til forskjeller i de regionale produksjonsforholdene.
- De største enkeltutslippsgruppene er produksjonen av kobbertråd og stål, etterfulgt av rustfritt stål.
- Materialer og produksjon bidrar med omtrent 85% av de totale utslippene.
- Utslippene knyttet til transport, inkludert sleping av skroget, utgjør omtrent 10% av de totale utslippene.

Grønt stål

- En lavere utslippsintensitet bidrar til lavere utslipp fra stålproduksjonen, ettersom hoveddelen av leverandørlandene i dag har en utslippsintensitet som er høyere enn de eksisterende kravene for grønt stål.
- En utslippsfaktor på 0,3 tonn CO₂-ekvivalent per tonn stål produsert gir en utslippsreduksjon på 82% dersom alt stål produsert er grønt stål og 56% dersom kun skroget består av grønt stål.
- En utslippsfaktor på 1,0 tonn CO₂-ekvivalent per tonn stål produsert gir en utslippsreduksjon på 40% dersom alt stål produsert er grønt stål og 31% dersom kun skroget består av grønt stål.

Lokale leverandører

- Bruken av lokale (nasjonale eller nærliggende) leverandører gir en reduksjon i utslippene knyttet til transport.
- Flyttingen av stålproduksjon til land med høyere utslippsintensitet gir en økning i utslippene knyttet til stålproduksjon. Denne økningen vil være avhengig av den relative forskjellen i utslippsintensitet mellom leverandør-landene.
- Effekten av økt bruk av lokale leverandører må vurderes helhetlig for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i klimagassutslipp

Energi

Å benytte fornybar energi i konstruksjonsfasen reduserer utslippene knyttet til sveising, skjæring og overordnet strømforbruk. Hvor stor reduksjonen er avhenger av hvilken fornybar energikilde som brukes.

- Aktivitetene ved verftene utgjør en relativt liten andel av de totale utslippene fra nybyggingsprosessen. Selv om bruken av fornybar energi kan redusere utslipp knyttet til skjæring, sveising og overordnet energiforbruk, vil den samlede effekten på de totale klimagassutslippene derfor bli begrenset.
- For utslippsintensitetene for de fornybare energikildene er medianverdier benyttet, og det bør merkes at det derfor er en usikkerhet knyttet til resultatene. Utslippetsanalysen gir likevel et bilde av hvor mye utslipp som potensielt kan reduseres ved overgang til ulike typer fornybar energi.

Batteribasert fremdrift

Analysen gir innsikt i de initiale klimakostnadene ved å velge batteribasert fremdrift.

- Produksjonen og transporten av en 1 MWh litium-ion batteripakke fører til en økning i utslipp fra «Annet»- kategorien på 3% for en 6 tonn batteripakke og 5% for en 10 tonn batteripakke.

- Frakten av batteripakken til verftet fører til en økning i transportutslippene på 0.2% for en 6 tonn batteripakke og 0.3% for en 10 tonn batteripakke.

Resirkulerte materialer

Bruken av resirkulerte materialer reduserer utslippene knyttet til produksjonen av råstål og råkobber, mens utslippsintensiteten for videre bearbeiding av materialene antas å forbli uendret.

- Bruken av resirkulert stål reduserer stålrelaterte utslipp med 10% når 50% av alt stål unntatt skroget er resirkulert.
- Bruken av resirkulert kobber i elektriske kabler resulterer i en 4% reduksjon i utslippene knyttet til kobberproduksjon når 50% av kobberet er resirkulert.

7.3 Konklusjon

Selv om utslippene fra stålproduksjonen varierer basert på hvilken utslippsintensitet som benyttes, forblir stålproduksjon, kobberproduksjon og produksjonen av rustfritt stål de tre største enkeltkildene til utslipp i nybyggingsprosessen.

Dette innebærer at betydelige reduksjoner i totale klimagassutslipp kan oppnås gjennom nøye valg av leverandører og lokasjoner for innkjøp av materialer, inkludert grønt stål og resirkulert stål og kobber.

Den største reduksjonen i utslipp knyttet til stålproduksjon oppnås ved bruk av grønt stål med en utslippsfaktor på 0,3 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn stål i nybyggprosessen. Imidlertid kan tilgangen på grønt stål være begrenset, og det kan være utfordrende å finne leverandører som både oppfyller tekniske krav og har kapasitet til å levere i ønsket skala.

I tillegg vil leverandørens geografiske lokasjon kunne påvirke utslippene ytterligere, ettersom transporten av stålet til verftet også bidrar til de totale utslippene.

Bruken av resirkulert stål og kobber kan redusere utslippene med rundt 4% for kobberproduksjon og 10% for stålproduksjon.

Å øke andelen lokale leverandører bidrar til å redusere utslippene knyttet til transport av materialer fra leverandører til verftene. Effekten av økt bruk av lokale leverandører må likevel vurderes helhetlig for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i klimagassutslipp.

Strøm fra fornybare energikilder kan benyttes for å redusere utslipp fra verftene og verftsaktiviteter. Da estimatet for strømforbruk til støttefunksjoner er basert på en grov tilnærming, bør mulige utslippsreduksjoner betraktes som veiledende og vil kreve mer presise data for ytterligere vurdering.

8 Definisjoner og forkortelser

8.1 Definisjoner

Drop-in fuel	Erstatning for fossilt fremstilt drivstoff - enten som erstatning én til én, eller som prosentvis tilsetning i fossilt drivstoff
Dual-fuel motor	En motor som ved oppstart benytter diesel (pilot-fuel) og deretter benytter annen energibærer (økes gradvis opp til ca 95%)
Energibærer	Energibærer er noe som kan lagre energi slik at den kan brukes senere eller på et annet sted. F.eks. batteri, dieselolje, brensel-staver til kjernereaktor
Energikilde	En energikilde er vanligvis den delen i et lukket system som frembringer energi ved overgang fra en energiform til en annen. F.eks. motor, brenselcelle, kjernereaktor
Flammepunkt	Den laveste temperatur hvor en væske avgir gass/damp i en slik konsentrasjon at den kan tennes med åpen flamme
Kritisk risiko	Risikovurdering større enn eller lik 16
Lagringsform	Hvordan energien i en energibærer lagres (forskjellig for forskjellige energibærere)
Over le	Over dekk. Område helt eller delvis eksponert for vær, sjø, miljø, omgivelser, osv.
P1118	Prosjekt 1118 Standardiserte fartøy til Sjøforsvaret
Prosjektet	Standardiserte fartøy til Sjøforsvaret (P1118)
Well-to-wake	Utslipp gjennom hele livsløpet (fra brønn til bølge)

8.2 Forkortelser

BT	Benzyltoluen
CAPEX	Capital Expenditures
CH ₂	Komprimert hydrogen
CO ₂	Karbondioksid
CP	Controllable pitch
DF	Dual fuel
DP	Dynamic positioning
FAME	Fettsyre metyl ester (Fatty Acid Metyl Ester)
FMA	Forsvarsmateriell
FP	Fixed pitch
GSP	Grønt Skipsfartsprogram
HEFA	Hydrobehandlede estere og fettsyrer (Hydrotreated Esters and Fatty Acids)
HVO	Hydrogenert Vegetabilsk Olje (Hydrotreated Vegetable Oil)
IMO	International maritime organisation
LH ₂	Flytende hydrogen
LNG	Flytende naturgass (Liquefied Natural Gas)
LOHC BT	Liquid organic hydrogen carrier Benzyl Toluene
LSFO	lavsvovel oljer (low sulfur fuel oils)
MGO	Marin gassolje – primær-drivstoff for Marinen og Kystvakten (Distillate Heavy Fuel)
MWe	Megawatt electric
MWth	Megawatt thermal

NH ₃ FR	Ammoniakk – fully refrigerated
NH ₃ FP	Ammoniakk – fully pressurised
NO _x	Nitrogenoksider
NSC	Naval Ship Code.
OPEX	Operating expenses
PEMFC	Proton-exchange membrane fuel cell
PS	Power-to-Syngas
PTI	Power intake
PTO	Power outtake
RUNA	Rules for Ships in the Norwegian Navy
SOFC	Solid oxide fuel cell
SCR	Selective Catalytic Reduction

9 Referanser

- [1] *Langtidsplan for forsvarssektoren*, Forsvarsdepartement, 2024.
- [2] FFI, «Forsvarsanalysen,» 2025. [Internett]. Available: <https://www.ffi.no/filer/25-006%20Forsvarsanalysen%202025.pdf>.
- [3] NRK, «Frykter klimakrisen havner i skyggen av sikkerhetspolitikk,» [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/frykter-klimakrisen-havner-i-skyggen-av-sikkerhetspolitikk-1.17226688>.
- [4] Klima og Miljødepartementet, «Klimamelding 2035 – på vei mot lavutslippssamfunnet,» 2025.
- [5] Forsvarsdepartementet, «Samarbeid for sikkerhet - Meld. St. 17,» 2021.
- [6] Energi og Klima, «Ny løysing for grønn skipsfart,» [Internett]. Available: <https://www.energiogklima.no/meninger-og-analyse/debatt/ny-loysing-for-gron-skipsfart>.
- [7] Forsvaret, «Ny analyse styrker bærekraftsarbeidet i forsvarssektoren,» [Internett]. Available: <https://www.forsvaret.no/aktuelt-og-presse/aktuelt/dobbelt-vesentlighet>.
- [8] Miljødirektoratet, «Klimarisiko for samfunnet vårt,» [Internett]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimarisiko/>.
- [9] NATO, «NATO Climate Change and Security Action Plan,» [Internett]. Available: https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_185174.htm.
- [10] NATO, «NATO releases 2024 Climate Change and Security Impact Assessment Report,» [Internett]. Available: https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_227571.htm.
- [11] «Veikart 2.0 Grønt Industriløft,» [Internett]. Available: https://www.regjeringen.no/contentassets/b5a51f3220474b3197ea21feb260f5b3/no/pdfs/veikart-2_0-gront-industriloft.pdf.
- [12] Regjeringen, «Langtidsplan for forsvarssektoren,» 2024. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-87-s-20232024/id3032217/>.
- [13] SST / Avdeling for sikkerhet og kvalitet, *Prosedyre for risikovurdering i Sjøforsvaret*, Sikkerhetsinspektøren i Sjøforsvaret, 2023.
- [14] «Generiske driftsprofiler,» FMA (e-post 2025-02-20).
]
- [15] «Data fra representativt fartøy,» FMA (e-post 2025-01-15).
]

- [16] Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping, «Total Cost of Ownership (TCO) for decarbonization of vessels,» 2024. [Internett]. Available: <https://www.zerocarbonshipping.com/publications/calculate-total-cost-of-ownership-tco-for-decarbonization-of-vessels/>.
- [17] Finansdepartementet, «Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser i 2025,» 2025. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser-i-2025/id3080821/>.
- [18] P. B. W. Knut Einar Rosendahl, «Review of the Shadow Price of Carbon in the EU,» Transportøkonomisk institutt (rapport 2037), 2024.
- [19] Enerdata, «Carbon price forecast under the EU ETS,» 2023. [Internett]. Available: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/carbon-price-projections-eu-ets.html>. [Funnet 16 04 2025].
- [20] B. S. Fernando Gamboa & Nicola Paterson, «Comparative Analysis of AI-Based Optimisation Techniques for a Conceptual Frigate,» [Internett]. Available: https://library.imarest.org/record/11204/files/INEC_2024_paper_66.pdf. [Funnet 23 04 2025].
- [21] Grønt skipsfartsprogram, «GSP Rapport for biogas-pilot,» [Internett]. Available: <https://greenshippingprogramme.com/wp-content/uploads/2022/06/Rapport-fra-Biogass-piloten.pdf>.
- [22] IPCC, «Climate Change 2021: The Physical Science Basis,» [Internett]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- [23] GREEN RAY project, «Review of Methane Slip from LNG Engines,» [Internett]. Available: https://greenray-project.eu/wp-content/uploads/2023/04/D1.1_Review_of_methane_slip_from_LNG_engines.pdf.
- [24] Emblemsvåg, J., C.H. Ordoñez, C.G. Tamm, T. Strand, H. Thoresen, et al., «Criteria for Selecting Nuclear Reactors for Merchant Shipping,» i *31st International Conference on Nuclear Engineering (ICONE31), American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, 2024.
- [25] J. Emblemsvåg, «“How Thorium-based Molten Salt Reactors can provide clean, safe and cost-effective technology for deep-sea shipping”,» *Marine Technology Society Journal*. Vol. 55 No. 1, pp. 56-7, 2021).
- [26] DNV, «Maximizing the potential of biofuels in shipping,» 2025.
- [27] Sjøfartsdirektoratet, «Sikkerhetsmelding 05/2023 - Potensielle sikkerhetsutfordringer ved bruk av drivstoff innblandet FAME,» 2023.

- [28 Statkraft, «Silva Green Fuel,» [Internett]. Available: <https://www.statkraft.com/about-statkraft/where-we-operate/norway/silva-green-fuel/>. [Funnet 18 05 2025].
- [29 Miljødirektoratet, «Biodrivstoff i Norge,» [Internett]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/transport/biodrivstoff/>. [Funnet 18 05 2025].
- [30 World Bioenergy Association, «Global Bioenergy Statistics Report 2024 (Short version),» 2024.
- [31 UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, «Bulk Scale Storage and Transportation of Hydrogen using LOHC - Phase 1 Feasibility Report,» 2022.
- [32 Methanol Institute, «MARINE METHANOL - Future-Proof Shipping Fuel,» 2023.
- [33 Bloomberg NEF, «Scaling Up Hydrogen: The Case for Low- Carbon Methanol,» 2024.
- [34 Port of Rotterdam, «Maritime shipping bunkered slightly less fuel in Rotterdam in 2024, but demand for LNG rose by 52 percent,» 30 01 2025. [Internett]. Available: <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/maritime-shipping-bunkered-slightly-less-fuel-rotterdam-2024-demand-lng>.
- [35 Global Green, «Global green - Divisions,» [Internett]. Available: <https://glocalgreen.com/en/divisions/>.
- [36 P. A. Kyrkjeeide, «Fedrelandsvennen Debattinnlegg - Et nytt luftslopp i Åmli? (Equinor biometanol anlegg i Åmli),» 05 03 2025. [Internett]. Available: <https://www.fvn.no/mening/debattinnlegg/i/Jb2yPm/et-nytt-luftslopp-i-aamli>.
- [37 K. H. ,. E. R. ,. S. D. ,. T. M. ,. A. D. A. ,. T. M. S. a. P. P. Kari Aamodt Espegren, «Socio-technical pathways and scenario analysis,» NTRANS, 2023.
- [38 ABB Motion Services, «Energy Savings Calculator,» [Internett]. Available: <https://new.abb.com/service/service/motion/energy-efficiency-and-circularity/energy-savings-calculator>.
- [39 G. Skipsfartsprogram, «Overordnet risikovurdering av energibærere,» Grønt Skipsfartsprogram, 2025.
- [40 IMO, «International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code),» [Internett]. Available: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGF-Code.aspx>.
- [41 ISO, «Methanol as a fuel for marine applications — General requirements and specifications ISO 6583:2024,» [Internett]. Available: <https://www.iso.org/standard/82340.html>.



Grønt Skipsfartsprogram

Vedlegg 1 Overordnet risikovurdering av energibærere

Overordnet risikovurdering av energibærere

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	3
2	Definisjoner og forkortelser	4
2.1	Definisjoner	4
2.2	Forkortelser	4
3	Introduksjon	5
4	Avgrensninger og forutsetninger	6
4.1	Kun energibærer	6
4.2	Bruk og operasjonsmønster	6
5	Metode	8
5.1	Kategorisering av sannsynlighet og konsekvens	8
5.2	Vurdering av risiko	9
6	Energibærere	10
6.1	Referansedrivstoff	12
6.1.1	Fossil Diesel	12
6.1.2	Fossil LNG	12
6.1.3	Fossil Metanol	13
6.1.4	Fossilt hydrogen	13
6.2	«Drop-in» drivstoff	14
6.2.1	E-fuel	14
6.2.2	Bio-diesel - (HVO/HEFA)	14
6.2.3	BLG/biogass	15
6.2.4	Bio-metanol	15
6.2.5	Grønn hydrogen	15
6.3	Karbonbaserte ikke «drop-in» drivstoff	16
6.3.1	Alkoholer	16
6.4	Ikke karbonbaserte drivstoff	16
6.4.1	Ammoniakk	16
6.4.2	Batterier	17
6.4.3	Kjernekraft	18
7	Risikovurdering	20
7.1	Risiko og teknologi	22
8	Tilgjengelighet	23
8.1	Modenhet	23

8.2	Logistikk	25
8.2.1	Referansedrivstoff	25
8.2.2	«Drop-in» drivstoff	26
8.2.3	Karbonbaserte ikke «drop-in» drivstoff	28
8.2.4	Ikke karbonbaserte drivstoff	28
9	Diskusjon	29
9.1	Fleksibilitet i fremdriftslinje – eksempelscenario	30
10	Anbefalinger og videre arbeider.....	32
11	Konklusjon	33
12	Annex: Risikovurdering.....	34
13	Referanser	37

1 Sammendrag

I forbindelse med planlagt anskaffelse av standardiserte fartøy til Sjøforsvaret har FMA MARKAP initiert en pilotstudie gjennom Grønt skipsfartsprogram for å få innspill til vurdering av mulighetsrom for bærekraftige løsninger for fartøyene. Arbeidet deles inn i arbeidspakker med ulike fokusområde, hvor Arbeidspakke 2 består av utarbeidelse av en overordnet risikovurdering av energibærere.

I fravær av definert operasjonsmønster og trusselbilde har det blitt tatt utgangspunkt i tilgjengelig ugradert informasjon for å definere avgrensninger og forutsetninger som har blitt satt for å anta et forventet risikobilde knyttet til fartøyene.

Videre har det blitt gjennomført en kartlegging av ulike energibærere som kan være aktuelle for anvendelse om bord standardiserte fartøy. Det er totalt evaluert 13 energibærere med 21 varianter som følge av vurdert tilstand/lagringsform/teknologi. Dette har resultert i en vurdering av totalt 21 dimensjonerende hendelser. Med utgangspunkt i avgrensninger og forutsetninger beskrevet har disse hendelsene har igjen blitt vurdert opp mot et antatt militærspesifikt risikobilde. Det har med bakgrunn i dette blitt identifisert 7-syv kritiske scenarier for en del av de identifiserte energibærerne - i noen tilstander/lagringsformer. Seks av disse scenariene er utslipp av lettantennelige og reaktive gasser med påfølgende antennelse og eksplosjon. Det siste scenariet er utslipp av giftig væske som fordamper til gass. Fellesnevneren for de 7 scenariene er ukontrollerte utslipp av gasser i lukket rom, men med ulike konsekvenser. Scenariene knyttet til disse energibærerne vurderes til å ha så høyt potensiale for alvorlig hendelse at det forventes at disse ikke er forenelig med de uforutsigbarheter som er knyttet til det risikobildet Sjøforsvarets fartøy opererer i. Følgelig forventes det at konsepter som baserer seg på disse energibærerne ikke vil være forenelig med militærspesifikk risiko.

For de øvrige energibærerne vurdert har arbeid med analysen avdekket at risikoene disse representerer kan være håndterbare også for fartøyskonsepter som må dimensjoneres for militærspesifikk risiko. Det påpekes imidlertid at dette forutsetter et gjennomgående fokus på sikkerhet i fartøysdesignet og implementering av riktige sikkerhetsbarrierer. For flere av energibærerne er det imidlertid forventet at nødvendige sikkerhetsbarrierer vil være så omfattende at disse vil legge store føringer for fartøysdesign og gå på bekostning av andre ytelser. For å på en sikker måte kunne ta i bruk nye energibærere på Sjøforsvarets fartøy synes det hensiktsmessig å basere seg på en fleksibel fremdriftslinje med mulighet for anvendelse av ulike typer energibærere. På denne måten kan valg av energibærer med tilhørende risiko sees i sammenheng med oppdrag og tilhørende risikobilde.

2 Definisjoner og forkortelser

2.1 Definisjoner

Drop-in fuel	Erstatning for fossilt fremstilt drivstoff - enten som erstatning én til én, eller som prosentvis tilsetning i fossilt drivstoff
Dual-fuel motor	En motor som ved oppstart benytter diesel (pilot-fuel) og deretter benytter annen energibærer (økes gradvis opp til ca. 95%)
Energibærer	Energibærer er noe som kan lagre energi slik at den kan brukes senere eller på et annet sted. F.eks. batteri, dieselolje, brensel-staver til kjernereaktor
Energikilde	En energikilde er vanligvis den delen i et lukket system som frembringer energi ved overgang fra en energiform til en annen. F.eks. motor, brenselcelle, kjernereaktor
Flammepunkt	Den laveste temperatur hvor en væske avgir gass/damp i en slik konsentrasjon at den kan tennes med åpen flamme
Kritisk risiko	Risikovurdering større enn eller lik 16
Lagringsform	Hvordan energien i en energibærer lagres (forskjellig for forskjellige energibærere)
Over le	Over dekk. Område helt eller delvis eksponert for vær, sjø, miljø, omgivelser, osv.
TRISO-partikkel	TRISO står for TRi-strukturelt ISOtropisk partikkeldrivstoff. Hver TRISO-partikkel består av en kjerne av uran, karbon og oksygen. Kjernen er innkapslet av tre lag med karbon- og keramikkbaserte materialer som hindrer frigjøring av radioaktive fissionsprodukter. [1]
Well-to-wake	Utslipp gjennom hele livsløpet (fra brønn til bølge)

2.2 Forkortelser

BLG	Flytende Biogass
CO ₂	Karbondioksid
FAME	Fettsyre metyl ester (Fatty Acid Metyl Ester)
FMA	Forsvarsmateriell
GSP	Grønt Skipsfartsprogram
HEFA	Hydrobehandlede estere og fettsyrer (Hydrotreated Esters and Fatty Acids)
HVO	Hydrogenert Vegetabilsk Olje (Hydrotreated Vegetable Oil)
LNG	Flytende naturgass (Liquefied Natural Gas)
NO _x	Nitrogenoksider
NSC	Naval Ship Code.
PTI	Power intake
PTO	Power outtake
RUNA	Rules for Ships in the Norwegian Navy
SOLAS	Internasjonal konvensjon om sikkerhet for menneskeliv til sjøs (Safety of Life at Sea)
SO _x	Svoveloksider

3 Introduksjon

I forbindelse med opprustning av forsvarssektoren og vedtatt Langtidsplan [1] skal det anskaffes inntil ti havgående og inntil atten kystnære standardiserte fartøy. Fartøyene skal designes og utrustes for å «løse bredden av Kystvaktens og Marinens oppgaver». Spesifisert i langtidsplan er blant annet at de nye standardiserte fartøyene skal designes med hensyn til teknologisk utvikling, samt være tilrettelagt for utfasing av fossilt drivstoff i levetiden.

Som et ledd i dette er det igangsatt en Pilot i Grønn Skipsfarts Program (GSP), med hensikt å undersøke mulighetsrommene som ligger for å designe og tilrettelegge for bærekraftige løsninger på de standardiserte fartøyene.

Del av dette arbeidet vil være å vurdere risiko knyttet til alternative energibærere og å vurdere om dette er forenelig med risiko knyttet til Kystvaktens og Marinens operasjoner og oppgaver. I det følgende søkes gjennomført en overordnet risikovurdering og vurdering av identifiserte alternative energibærere.

I tillegg til nevnte vil rapporten presentere en kort sammenstilling av tilgjengelig informasjon og betraktninger knyttet til teknologisk modenhet og logistikk for de ulike alternative drivstoffene. Dette fordi disse faktorene også påvirker risiko ved de alternative energibærerne – dog primært knyttet til forsyningssikkerhet.

4 Avgrensninger og forutsetninger

4.1 Kun energibærere

I oppstartsmøte for pilotstudien blir Arbeidspakke 2 beskrevet til å skulle omfatte en «overordnet risikovurdering av løsninger for å redusere direkte utslipp». Beskrivelsen åpner for en omfattende tolking med analyse av en rekke tiltak og teknologier. Da resultater fra Arbeidspakke 2 er ment som grunnlag for arbeid i videre arbeidspakker er har det blitt sett behov for å spisse problemstillingen ytterligere. I overenstemmelse med piloteier har det blitt besluttet at risikovurdering opp mot et militært risikobilde i hovedsak skal begrenses til å omfatte kun energibærere. Bakgrunnen for dette er både å begrense arbeidet med vurderingsomfang, men også at Industrien skal få spillerom til å vise hva som er mulig innenfor ulike teknologier. I tillegg forventes det at industrien sitter med en oppdatert spisskompetanse innen sine spesialområder, noe som kan gi dybdeforståelsen nødvendig for å vurdere mulighetsrommet som ligger innenfor de ulike teknologien.

Mtp utslipp er kun reduksjon av direkte utslipp av klimagasser fra operasjon av skipene vurdert [2].

4.2 Bruk og operasjonsmønster

I 2023 publiserte Forsvarsmateriell (FMA) en ny bestemmelse for design og sertifisering av skip over 24 meter for bruk i forsvarssektoren. Denne bestemmelsen legger opp til bruk av Naval Ship Code (Pt. 1) og RUNA – Rules for Ships in the Norwegian Navy som føringer for design og sertifisering av skip over 24 meter. Naval Ship Code (NSC) er å regne som en SOLAS-ekvivalenter utarbeidet for å gi militære fartøy handlingsrom til å utarbeide design som representerer tilsvarende sikkerhetsnivå som det gitt i SOLAS uten at sistnevnte må følges slavisk. RUNA er FMAs supplement til NSC og kan i denne sammenheng regnes som spesifisering av løsninger.

Prosjekt for standardiserte fartøy er i en tidlig fase hvor det arbeides med å produsere grunnlagsdokumentasjon for videre arbeider. En del av dette er utarbeidelse av kravdokumentasjon som skal beskrive hvilke kapasiteter som fartøyene skal ha, hvilke funksjoner de er tiltenkt å fylle og hvilket designregelverk som skal legges til grunn. Da tiltenkt bruksområde for fartøyene er essensielt i vurdering av risiko vil det være nødvendig å gjøre noen antakelser om hva som blir aktuell bruk. I Langtidsplan for forsvarsektoren [1] kan man lese følgende om standardiserte fartøy, oppgaver og tiltenkt bruk:

«Standardisert fartøysklasse skal bestå av to størrelser – en stor, havgående utgave og en mindre, kystnær utgave, og tilpasses til å løse bredden av Kystvaktens og Marinens oppgaver. Standardfartøyene skal designes for å kunne holde følge med den teknologiske utviklingen og gi mulighet for rask utnyttelse av nye teknologiske løsninger som blir tilgjengelig i fartøyenes levetid, herunder å være tilrettelagt for utfasing av fossilt drivstoff i fartøyenes levetid.»

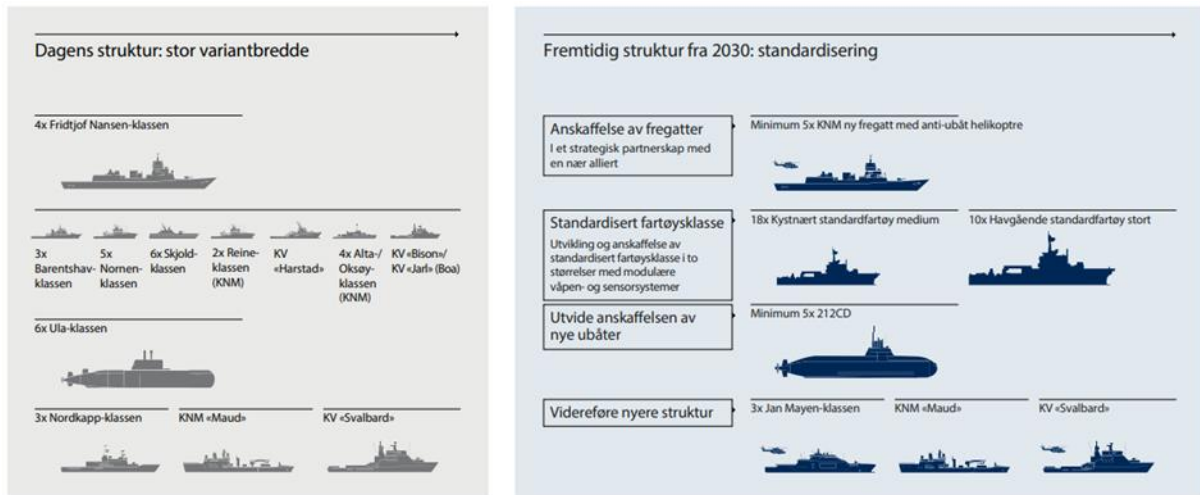
Videre beskriver langtidsplanen:

«Standardfartøyene til Marinen skal kunne benyttes som plattform for situasjonsforståelse, minelegging, minerydding, maritim styrkebeskyttelse og en viss evne til antiubåtkrigføring med integrerte og modulære systemer»

«Kystvaktens standardiserte fartøyer skal særlig tilpasses Kystvaktens oppdrag. Kystvakten ivaretar myndighetsutøvelse på avgrensede områder. De skal også kunne ta om bord enkelte av Marinens modulære systemer ved behov.»

I fravær av kravdokument med spesifiserte krav til ytelser for de standardiserte fartøyene tas det derfor utgangspunkt i disse beskrivelsene som grunnlag for risikovurderingen som skal gjennomføres.

Som tillegg til nevnte vil fartøyene som skal erstattes av de standardiserte fartøyene også tas med grunnlag for vurdering av risikobilde. Illustrert i Figur 1 vises fartøyene tenkt erstattet.



Figur 1: Flåteplan av 2024 [1]

Til tross for at standardiserte fartøy ikke er forventet å inneha identiske ytelser regnes dette likevel som relevant da en rekke av oppgavene som utføres av disse er ventet å tillegges også de nye standardiserte fartøyene.

Med bakgrunn i det ovenfor nevnte forventes det at fartøyene blant annet skal utføre oppdrag som sleping, assistanse til havarist, fiskerioppsyn, maritime sikkerhetsoppdrag, suverenitetshevdelse og utføre sjønekt. I tillegg er det nærliggende å forvente at enkelte av fartøyskonfigurasjonene vil være aktuelle for skarpe militære operasjoner. Som følgende av dette vil man kunne påregne at fartøyene har en økt risiko for:

- kollisjon og grunnstøting
- økt sårbarhet for installasjoner over le og i skuteside
- våpenvirkning fra små- og storkalibret prosjektil
- undervannseksplisjon og misiltreff
- effekt av drone i alle tre domener (luft, overflate og under vann)

Hvor vidt fartøyene skal designes og dimensjoneres for å kunne motstå effektene representert av disse risikoene er ikke definert. Det vurderes imidlertid til å være relevant å evaluere opp mot disse gitt tilstedeværelse av risiko.

I videre arbeid med risikovurdering av energibærere forutsettes det at sikkerhetsmessige krav i forhold til «float, og move» vil være tilfredsstillt. Dette forventes dekket av sivile regelverkskrav og antas å være en forutsetning for at energibærere, med tilhørende teknologi, på en trygg måte skal kunne implementeres på fartøy. Denne risikovurderingen vil følgelig kun vurdere risiko opp mot militærspesifikk risiko.

5 Metode

Risikovurdering vil i hovedsak basere seg på identifisering av aktuelle energibærere og en vurdering av risiko assosiert med bruk av disse. Karakteristikk for de ulike energibærerne vil hentes fra tilgjengelig informasjon. Dette vil igjen bli vurdert opp mot risikobildet beskrevet under 4.2 Bruk og operasjonsmønstre.

Usikkerhet knyttet til fartøyenes bruksområde i kombinasjon med begrensning i at analysen kun omfatter energibærer gjør at det vurderes som hensiktsmessig at risikoanalysen gjennomføres som en kvalitativ analyse.

5.1 Kategorisering av sannsynlighet og konsekvens

Anvendt sannsynlighets- og konsekvenskategorisering er hentet fra Prosedyre for risikovurdering i Sjøforsvaret [3] og angis nedenfor.

Fravær av spesifisert bruksprofil og anvendt teknologisk løsning gjør det vanskelig å fastsette sannsynlighet/frekvens for ulike hendelser. Av samme grunn er det også utfordrende å definere konsekvens av hendelse. På bakgrunn av nevnte vil det i det videre vurderes «worst case» hendelser. Dette virker som en rimelig tilnærming da hensikten med denne risikoanalysen er å vurdere anvendbarhet opp mot militærspesifikk risiko, samt at økt risiko beskrevet i 4.2 er antatt å representere høyere sannsynlighet for mer omfattende konsekvenser enn det aktuelt for sivile fartøy og operasjonsmønstre.

SANNSYNLIGHET		
Betegnelse		Forklaring
1	Meget liten	Ikke sannsynlig da det ikke er kunnskap i gruppen om hendelsen i miljøet.
2	Liten	Tenkelig, men vil kreve en kjede av system og kontrollfeil.
3	Moderat	Mindre enn gjennomsnitt med tanke på å forutse en ulykke, men sannsynlig.
4	Stor	Mer enn gjennomsnitt med tanke på å forutse en ulykke - et scenario er sannsynlig.
5	Svært stor	Vil sannsynligvis inntreffe basert på erfaring fra tidligere hendelser.

Figur 2: Sannsynlighetsdefinisjoner

KONSEKVENNS		
Betegnelse		Forklaring
1	Ubetydelig	Ubetydelig tap av funksjon/produksjon og heller ingen skade på utstyr eller omgivelser. Ubetydelig skade eller helsekomplikasjon, ikke fravær fra jobben.
2	Lav/Mindre	Skade på utstyr som krever større reparasjoner, betydelig tap av operasjons eller inngrep på omgivelsene. Mindre skade som behøver førstehjelpsbehandling eller medfører hodepine, svimmelhet, uklarhet etc.
3	Moderat	Lokalisert skade på utstyr som krever større reparasjoner, betydelig tap av operasjons eller moderat forurensning av miljøet. Hendelse som fører til fravær/sykemelding.
4	Alvorlig	Skade på materiell resulterer i full stans av operasjon. Høy risiko for alvorlig skade på personell og materiell.
5	Kritisk/ Svært alvorlig	Fare for dødsfall, tap av fly/fartøy eller stans av kritiske operasjoner. Betydelig forurensning med langsiktige og vedvarende implikasjoner med svært store opprenskningskostnader.

Figur 3: Konsekvensdefinisjoner

5.2 Vurdering av risiko

Risikomatrise i henhold til Prosedyre for risikovurdering i Sjøforsvaret [3].

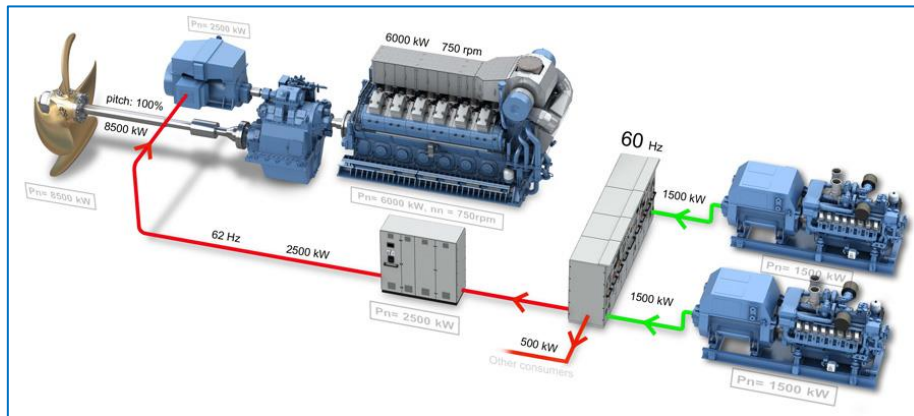
SANNSYNLIGHET	Svært stor	5	10	15	20	25
	Stor	4	8	12	16	20
	Moderat	3	6	9	12	15
	Liten	2	4	6	8	10
	Meget liten	1	2	3	4	5
		Ubetydelig	Lav/Mindre	Moderat	Alvorlig	Svært alvorlig
		KONSEKVENNS				
OK	1-5: Akseptabel risiko					
Tenk	6-15: Kan være akseptabelt. Vurder om risikoen kan reduseres ytterligere.					
Stopp	15-25: Oppgave/aktivitet må ikke fortsette. Aktiviteten må revurderes og ytterligere risikoreducerende tiltak må settes inn					

Figur 4: Risikomatrise

6 Energibærere

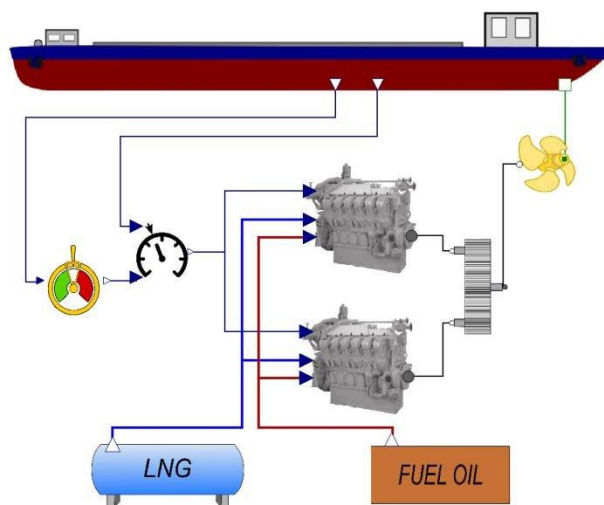
I senere tid har energibærere og propulsjonsanlegg for fartøyer hatt en rivende utvikling. Fra direktekoblede dieselmotorer med separate dieselgeneratorer for kraftproduksjon, til bruk av alternative energibærere og flere samtidige energikilder for fremdrift.

Gevinsten er forbedret redundans og redusert konsekvens ved å anvende minste en eller flere energikilder. Illustrasjonen nedenfor viser et PTI/PTO oppsett hvor deler av fremdriftsenergien hentes fra el-generatorene. Ved stopp av hovedmaskin er fartøyet fortsatt sikret fremdrift – “take me home”



Figur 5: PTI/PTO oppsett hvor deler av fremdriftsenergien hentes fra el-generatorene (<https://www.marfaq.no/f05/3-akselinstallasjoner>)

For å øke valgmulighetene tilbyr de fleste skipsmotorleverandørene dual-fuel motorer. Dette er forbrenningsmotorer hvor mesteparten av energien kan hentes fra andre energibærere enn diesel (LNG, LPG, metanol, ammoniakk), men alltid med noe diesel, minimum ca 5% diesel som pilot fuel. "Dual-fuel" gir stor fleksibilitet, da motorene er ordinære dieselmotorer ved bruk av 100% diesel. De fleste skip som bygges i dag har valgt dual-fuel løsninger, eller er forberedt for senere ombygging til dual-fuel. Illustrasjon nedenfor med diesel og LNG drivstoff.

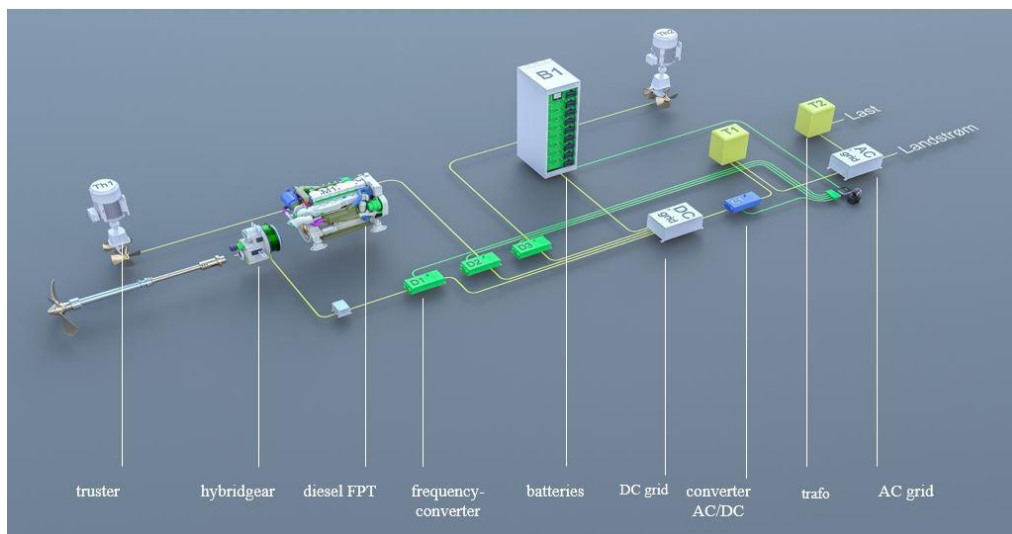


Figur 6: Dual-fuel illustrasjon (https://www.researchgate.net/figure/Model-of-a-dual-fuel-LNG-Diesel-DP-Diesel-Propeller-DLP-Diesel-LNG-Propeller_fig3_326693328)

Dual-fuel motorer gir god fleksibilitet da energi mixen kan situasjonstilpasses til kun bruk av diesel på f.eks. utenlandsoppdrag eller i krisetid, mens alternativt mer klimavennlig drivstoff kan benyttes når

tilgjengelig og/eller i fremtid. Dual-fuel krever separate drivstofftanker tilpasset de ulike energibærerne.

Stadig flere fartøyer bygges i dag med elektrisk propulsjonssystem, noe som gir stor fleksibilitet i valg av energibærere. Eksempelvis siste generasjon kystvaktfartøyer. Elektrisk kraft til fremdrift kan produseres av konvensjonelle generatorer drevet av forbrenningsmotorer som igjen kan være dual-fuel med flere energibærere, gjerne i kombinasjon med batteri for utjevning av effekt. Batteriene kan også brukes ved kai for å starte systemer som trenger energi uten at hovedmotorer må startes. Batteriene ombord kan lades med landstrøm ved kai for å redusere utslipp, selv om energimengden er begrenset. Batteriene kan lades under seilas når det er tilgjengelig energi fra kraftkilder.



Figur 7: Illustrasjon av hybrid propulsjonssystem (<https://shop.frydenbo-industri.no/eng/news-and-media/hybrid-fremdrift-innovativt,-miljoevennlig-og-oekonomisk>)

Brenselceller til kraftproduksjon, er et alternativ til forbrenningsmotorer. Mest kjent brukt med hydrogen som energibærer, men brenselceller kan benytte ulike energibærere. Kjernekraft er en annen energibærer som kan brukes til kraftproduksjon.

Elektrisk propulsjonsanlegg gir interessante muligheter i fartøysdesignet med mindre, men flere komponenter og større fleksibilitet for ombordplassering. Sist, men ikke minst reduserer det ombyggingsbehov ved eventuelt fremtidig bytte av energibærer - "future proof"

Eksempelvis ble passasjerbåtene mellom Nesodden og Akerbrygge bygget med LNG gaselektrisk propulsjon, men er senere ombygget til batterielektrisk. Som vi ser på illustrasjonen ovenfor vil bytte av energibærere medføre at en eller flere komponenter byttes ut, mens elektroinstallasjonen fra hovedtavle frem til propell er uendret.

Den siste kategorien energibærere er "drop-in fuel", som i realiteten er samme energibærer, men produsert med annen produksjonsmetode/råstoff for å danne samme molekyl. Eksempelvis diesel som utover konvensjonelt raffinert fra fossil mineralolje kan fremstilles biogent til bio-diesel fra bio-ressurser eller syntetisk til e-diesel via hydrogen fra elektrisk spaltet vann. Forutsatt at molekylene er identiske uavhengig av fremstilling kan de fritt blandes og brukes uten operasjonelle konsekvenser, men med ulik klimagassdefinisjon. Det er alternative produksjonsmetoder for de fleste energibærere som LNG, ammoniakk metanol, som beskrives mer detaljer i fortsettelsen.

Alternativer som beskrevet ovenfor gir et stort antall kombinasjonsmuligheter til å møte bestillingen i langtidsplanen for nye standardiserte fartøylene med design som hensyntar teknologisk utvikling, samt er tilrettelagt for utfasing av fossilt drivstoff i levetiden.

Valgmulighetene kan oppsummeres til:

- Direktekoblet eller elektrisk propulsjon
- En eller flere energikilder
- En eller flere energibærere

Drop-in fuel kan benyttes uavhengig av valgene ovenfor i mange av løsningene.

I det følgende vil ulike energibærere gjennomgå med fokus på risiko, men også vurdering rundt teknologisk modenhet/utbredelse og logistikk.

6.1 Referansedrivstoff

6.1.1 Fossil Diesel

Fossil diesel har vært den dominerende energibæreren i skipsfarten i flere tiår. Den er kjent for sin høye energitetthet, pålitelighet og velutviklede forsyningskjede. Diesel fremstilles hovedsakelig fra råolje gjennom en raffineringsprosess og brukes i forbrenningsmotorer for å generere fremdrift i skip.

En av de viktigste fordelene med fossil diesel er dens teknologiske modenhet og tilgjengelighet (dog kan tilgjengelighet i fremtiden påvirkes av overgang til andre energibærere i sivil skipsfart). Motorer som benytter diesel er godt utviklet, og det pågår kontinuerlig forskning for å forbedre energieffektiviteten og redusere eksosutslippene. Moderne dieselmotorer er optimalisert for å redusere utslipp av svoveloksider (SO_x), nitrogenoksider (NO_x) og partikler ved hjelp av rensesystemer som eksosgassrensing og scrubbere.

Diesel kan lagres uten spesielle krav til trykk eller temperatur, men bunkerstanker må ha en dobbel barriere mot sjø for å unngå lekkasjer. Sikkerhetsmessig innebærer diesel en viss brann- og eksplosjonsfare, men den er verken en giftig gass eller etsende. Utslipp av diesel i sjø kan likevel ha alvorlige miljøkonsekvenser, da det kan forurense økosystemer og skade marint liv.

Til tross for sine fordeler står fossil diesel overfor betydelige utfordringer knyttet til klimautslipp og strengere miljøkrav. Dette har ført til en økt interesse for alternative energibærere i skipsfarten, som potensielt kan redusere avhengigheten av fossile drivstoff og minske sektorens økologiske fotavtrykk.

6.1.2 Fossil LNG

Fossil LNG (Flytende naturgass) har de siste årene blitt et populært alternativ til tradisjonell fossil diesel i skipsfarten, hovedsakelig på grunn av lavere utslipp av skadelige stoffer og forbedret energieffektivitet. LNG består hovedsakelig av metan og utvinnes fra naturgassfelter eller som et biprodukt fra oljeproduksjon. Etter utvinning blir gassen nedkjølt til -162 °C, hvor den går over til flytende form, noe som reduserer volumet betydelig og gjør transport og lagring enklere.

En av de store fordelene med fossil LNG er dens reduserte utslipp av svoveloksider (SO_x), nitrogenoksider (NO_x) og partikler sammenlignet med diesel. Dette gjør den til et mer miljøvennlig alternativ innenfor dagens reguleringer. LNG-motorer har også en høy virkningsgrad og kan brukes i dual-fuel motorer, som gir fleksibilitet ved overgang til andre drivstoff i fremtiden.

Likevel har fossil LNG utfordringer, spesielt knyttet til metanutslipp. Metan er en kraftig klimagass, og lekkasjer under produksjon, transport og forbrenning kan redusere de klimamessige fordelene ved LNG. I tillegg krever LNG spesielle lagringsforhold, inkludert isolerte tanker og nedkjølingssystemer for å opprettholde den flytende tilstanden. Dette medfører ekstra kostnader og kompleksitet i både infrastruktur og drift.

Sikkerhetsmessig innebærer LNG en brann- og eksplosjonsfare, spesielt i tilfelle lekkasjer hvor gassen kan danne eksplosive blandinger i luft. LNG er imidlertid ikke giftig og fordamper raskt ved et eventuelt utslipp, noe som minimerer direkte miljøskader sammenlignet med oljeutslipp ([4]).

Fossil LNG representerer en overgangsteknologi i skipsfarten. Selv om den gir reduserte utslipp sammenlignet med diesel, er den fortsatt en fossilt basert energibærer med begrenset langsiktig bærekraft. Derfor vurderes alternative, fornybare varianter av LNG, som biogass og syntetisk metan, som mulige løsninger for en mer bærekraftig maritim sektor ([5]).

6.1.3 Fossil Metanol

Metanol er en flytende alkohol som kan brukes som drivstoff i skipsfarten. Den har lavere energitetthet enn diesel, men kan likevel benyttes i konvensjonelle forbrenningsmotorer med visse tilpasninger. Fossil metanol fremstilles hovedsakelig fra naturgass eller kull, og har vært anvendt i industrien i flere tiår. Fordelene med metanol inkluderer enkel lagring ved omgivelsestemperatur og trykk, samt muligheten for reduserte utslipp sammenlignet med tradisjonelle fossile drivstoff.

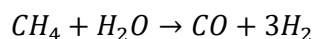
I skipsfarten brukes metanol ofte i dual-fuel motorer, der den kombineres med diesel for å opprettholde effektiv forbrenning og sikre optimal drift. Dual-fuel-teknologien gjør det mulig å utnytte eksisterende motorer med mindre modifikasjoner, noe som reduserer behovet for omfattende investeringer i ny teknologi. Samtidig utvikles dedikerte metanolmotorer, som på sikt kan gi enda bedre ytelse og lavere utslipp.

Sikkerhetsmessig har metanol et lavt flammepunkt, noe som innebærer økt risiko for brann og eksplosjoner. Bunkerstanker må derfor konstrueres med særlige sikkerhetstiltak. Miljømessig gir metanol et lavere utslippsnivå enn diesel, og ved eventuelle utslipp i sjø blandes metanol raskt ut i vann og brytes ned naturlig. Transport og distribusjon av metanol skjer hovedsakelig via tankskip og rørledninger, og flere havner har allerede infrastruktur for håndtering av metanol.

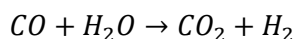
6.1.4 Fossilt hydrogen

Hydrogen kan fremstilles på flere måter hvor dampreformering av naturgass og ved elektrolyse er de vanligste metodene. Sistnevnte blir beskrevet i avsnittet Grønn hydrogen.

I Europa er fremstilling av hydrogen pr. dags dato dominert av dampreformering av naturgass. Forenklet er dette en prosess hvor et hydrokarbon (f.eks. metan) og vann utsettes for en katalysator, høy temperatur og et bestemt trykk slik at disse reagerer og deler seg til karbonmonoksid og vann.



Proessen bli ytterligere effektivisert ved at produkter fra første kjemiske reaksjon blir prosessert videre ved til å tilføre høyere temperatur og bestemt trykk slik at karbonmonoksid og vann reagerer til karbondioksid og vann.



Hydrogen fremstilt på denne metoden ved bruk av et fossilt hydrokarbon blir ofte omtalt som fossilt hydrogen. Uavhengig av fremstillingsmetode er hydrogen et meget reaktivt og flyktig stoff. Dette

medfører at det har lav antennesesenergi, stort spenn i eksplosiv konsentrasjon og detonerer lettere enn andre kjente stoffer.

Hydrogen lagres oftest i komprimert form under trykk fra 350-700 bar, men også i væskeform. Omdanning og lagring i væskeform er energikrevende med behov for kryogeniske temperaturer ned mot -260°C. I tillegg til nevnte lagringsformer kan også hydrogen lagres ved kjemisk binding i metalhydrid eller hydrogenbærere/-derivater som f.eks. Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC), ammoniakk eller E-fuels. Flere av hydrogenbærerne/-derivatene skiller seg kun ved å være en syntetisk fremstilling av fossile drivstoff. Disse vil bli beskrevet seinere i dokumentet. For metalhydrid og LOHC velger vi i denne rapporten å se på disse som lagringsformer av hydrogen. De ulike lagringsformene representerer alle ulike risikomoment om må behandles individuelt i en risikovurdering. Avgjørende betydning i denne sammenheng vil være hvor mye hydrogen som er fritt tilgjengelig for å reagere ved utilsiktet utslipp.

6.2 «Drop-in» drivstoff

I denne rapporten vurderer vi kun drop-in drivstoff som har tilstrekkelig høy kvalitet og tilstrekkelig kjemisk likhet med fossilt drivstoff slik at det kan brukes som drop-in drivstoff i dagens motorer^[1] og infrastruktur. Lagringsegenskaper og risikoprofil er derfor likt med fossilt drivstoff.

6.2.1 E-fuel

E-drivstoff (også kalt syntetisk drivstoff, electrofuels eller e-fuel) er drivstoff framstilt fra hydrogen som er laget ved å spalte vann med elektrolyse såkalt grønn hydrogen. Hydrogen er videre prosessert til ulike derivater ved å tilsette CO₂. CO₂-gassen kan være enten fanget fra luften eller oppsamlede punktutslipp, for eksempel fra industrien. Eksempel på derivater som fremstilles er e-diesel, e-LNG og e-metanol.

E-drivstoff er svært energikrevende å fremstille. For at e-drivstoff skal regnes som lav-/nullutslipp må det produseres med ikke-fossil energi, og CO₂-gassen må være fanget fra atmosfæren eller oppsamlede biologiske industriutslipp (for eksempel fra avfallsanlegg).

E-drivstoff kan produseres gjennom flere ulike prosesser, men Fischer-Tropsch-prosessen er den mest modne prosessen. Kvaliteten blir høy og sammensetningen av hydrokarbonkjeder kan tilpasses ulike formål, slik at drivstoffet kan brukes som drop-in i dagens motorer¹ og infrastruktur. Lagringsegenskaper og risikoprofil er derfor likt med fossilt drivstoff.

6.2.2 Bio-diesel - (HVO/HEFA)

Biobaserte hydrokarboner er drivstoff fremstilt fra biologiske råvarer som planter, dyrefett eller organisk avfall. De er kjemiske forbindelser som inneholder bare karbon og hydrogen, akkurat som fossilbaserte hydrokarboner, men de produseres fra fornybare ressurser.

¹ I følge drivstoffstandarden MIL-DTL-16884P DETAIL SPECIFICATION - FUEL, NAVAL DISTILLATE tillates det per i dag kun innblanding opp til 50 %, men teknisk sett kan dagens fartøy gå på 100 % bio-/e-drivstoff av typene diskutert her. Det er forventet at anbefaling til innblandingsgrad vil øke i takt med teknologisk utvikling og etter hvert som driftserfaring med høyere innblandingsgrader øker. Et unntak er flydrivstoff, som er avhengig av en gruppe kjemiske forbindelser som kalles aromater. Disse finnes i fossilt drivstoff, men ikke i bio-/e-drivstoff. Derfor tillates kun innblanding opp til 50 % bio-/e-drivstoff i flydrivstoff i dag. Aromatene kan tilsettes, slik at det i prinsippet kan fungere med 100 % innblanding.

Disse drivstoffene kan redusere utslipp av CO₂, da karbonet de inneholder opprinnelig stammer fra CO₂ tatt opp av planter i fotosyntesen. Dette gjør dem mer bærekraftige enn fossile drivstoff.

De vanligste produktene på dagens marked kalles HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) og HEFA (Hydrotreated Esters and Fatty Acids). De er prosessert med hydrogen slik at de blir omgjort fra (umettede) oljer, fettsyrer og estere til rene hydrokarboner (karbonkjeder mettet med hydrogen). Også Fischer-Tropsch-prosessen kan brukes til å omdanne organisk materiale til hydrokarboner som er kjemisk tilnærmet likt fossilt drivstoff.

6.2.3 BLG/biogass

Flytende Biogass (BLG) og biogass er fornybare drivstoff produsert gjennom anaerob nedbrytning av biologiske råvarer. Produksjonen har fleksibilitet mht innsatsfaktorene da biogass kan fremstilles fra et bredt spekter av vegetabilsk og animalske ressurser som f.eks. bio-diesel, organisk avfall, m.fl.

Den kan benyttes i eksisterende LNG-motorer og bruker samme infrastruktur som fossil LNG, noe som gjør overgangen relativt enkel. Energieffektiviteten til biogass er sammenlignbar med LNG, men netto CO₂-utslippene er lavere fordi biogass stammer fra biologiske kilder. Lagring av biogass krever nedkjøling til -162°C for å holdes i flytende form, men den kan også komprimeres og lagres under trykk i gassform.

Sikkerhetsutfordringene er tilsvarende LNG, ettersom lekkasjer kan skape eksplosive gassblandinger. Biogass gir betydelige klimafordeler, spesielt dersom den produseres fra avfall, da dette reduserer metanutslipp fra biologiske prosesser. Transport og distribusjon skjer gjennom nedkjølte tankskip eller rørledninger, og krever en robust infrastruktur for flytende naturgass.

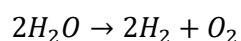
6.2.4 Bio-metanol

Bio-metanol er en fornybar variant av metanol som produseres fra biomasse eller avfallsgasser. Den kan brukes som en direkte erstatning for fossil metanol i eksisterende motorer, noe som gjør den til en attraktiv løsning for skipsfarten. Sammenlignet med fossil metanol har bio-metanol lavere klimagassutslipp, men energitettheten er fortsatt lavere enn for diesel. Bio-metanol er flytende ved omgivelsestemperatur, noe som eliminerer behovet for spesiallagring under trykk.

Sikkerhetsmessig har bio-metanol et lavt flammepunkt, noe som øker risikoen for brann og eksplosjon, men som også gjør den lettere å håndtere enn enkelte andre drivstoff. Ved utslipp i sjø løses bio-metanol raskt opp i vann og brytes ned, noe som minimerer miljøskaden. Transport og distribusjon av bio-metanol skjer på samme måte som fossil metanol, via tankskip og dedikerte lagringsanlegg i havner.

6.2.5 Grønn hydrogen

For hydrogen vil det være fremstillingsmetode som avgjør om drivstoffet er produsert fra karbonbasert kilde, eller om dette er fremstilt karbonnøytralt. I sistnevnte tilfelle skjer fremstilling ved elektrolyse som er en spalting av vann til hydrogen og oksygen eventuelt fra karbonbasert kilde, men hvor karbonet fanges og lagres gjennom CCS. (blått hydrogen).



Når hydrogenets karbonavtrykk er det ikke utelukkende produksjonsmetode som bør vurderes. I et «well to wake»-perspektiv er også opphavet av energien benyttet i elektrolyseprosessen av relevans. Dette har imidlertid ikke innvirkning på en sikkerhetsmessig risikovurdering av hydrogenet. I oppdragsbeskrivelse for GSP-piloten er det også beskrevet at vurdering av utslippsgrad skal begrenses til fartøyet som system [2].

Karakteristikker og fysiske egenskaper vil være som for hydrogen generelt. Det samme gjelder lagringsform og tilhørende risikobilde.

6.3 Karbonbaserte ikke «drop-in» drivstoff

6.3.1 Alkoholer

Alkoholer har blitt stadig mer aktuelle som alternative drivstoff i maritim sektor. Metanol, som anses som den mest aktuelle av alkoholene, er omtalt tidligere i dokumentet under avsnittene Fossil Metanol og Bio-metanol. Drivstoffgruppen alkoholer inneholder også en rekke andre varianter med ulike kjemisk sammensetninger. Av disse antas etanol og butanol å kanskje være de mest sannsynlige alternativene og har potensial til å bli viktige energibærere i skipsfarten. Etanol produseres hovedsakelig fra sukker- eller stivelsesholdige planter gjennom fermentering, mens butanol oftest fremstilles av biomasse eller fossilt brensel. Alkoholer kan imidlertid produseres både fra fossile kilder, som naturgass, og fornybare kilder, som biomasse eller elektrolysederivater. Bruken av alkoholer i skipsfarten gir muligheter for reduserte klimagassutslipp, særlig dersom de er produsert fra bærekraftige kilder.

Transport og lagring av alkoholer er relativt enkelt sammenlignet med gassformige drivstoff, ettersom de kan håndteres i flytende form ved omgivelsestemperatur. Likevel stilles det strenge krav til sikkerhet, ettersom metanol og etanol er svært brennbare og har lave flammepunkter. Alkoholer mer lettantennelige enn tradisjonelle fossile drivstoff. Metanol brenner med en nesten usynlig flamme, noe som gjør det utfordrende å oppdage branner. Dette krever spesialtilpassede slukkesystemer om bord på skip. I tillegg er metanol giftig ved inntak og innånding, noe som gjør at det må håndteres med forsiktighet for å beskytte personell. For å redusere risikoen benyttes spesialtilpassede bunkersystemer, og det kreves omfattende sikkerhetsprosedyrer under lasting, lagring og bunkring.

Miljømessig anses alkoholbaserte drivstoff som relativt trygge ved utslipp i sjø. De løses raskt opp i vann og brytes ned naturlig, noe som reduserer den langsiktige påvirkningen på marine økosystemer. Likevel kan høye konsentrasjoner være skadelige for akvatiske organismer.

Alkoholer har potensial til å bli en viktig del av skipsfartens energimiks i fremtiden, spesielt ettersom teknologien for produksjon av bio-metanol og e-metanol utvikles videre. Med riktig infrastruktur og sikkerhetstiltak kan disse drivstoffene bidra til å redusere skipsfartens avhengighet av fossile brensl og forbedre sektorenes miljøprofil.

6.4 Ikke karbonbaserte drivstoff

6.4.1 Ammoniakk

Ammoniakk kan produseres gjennom ulike metoder, hvorav den mest utbredte er Haber-Bosch-prosessen, som kombinerer hydrogen og nitrogen under høyt trykk og temperatur. Tradisjonelt fremstilles hydrogen fra naturgass, noe som gjør at denne prosessen fortsatt medfører klimagassutslipp. Imidlertid er det økende interesse for grønn ammoniakk, produsert ved elektrolyse av vann drevet av fornybar energi.

Flere motorprodusenter utvikler dual-fuel ammoniakkmotorer, og Wärtsilä har allerede en kommersielt tilgjengelig 4-takts motor. MAN og WinGD har også utviklet tilsvarende motorer for 2-

takts skipsmotorer. Selv om teknologien er i en tidlig utviklingsfase, forventes det forbedret ytelse og flere kommersielle alternativer i fremtiden.

Energieffektiviteten til ammoniakk er lavere enn for fossil diesel og LNG, men den kan bidra til reduserte klimagassutslipp dersom den produseres fra fornybare kilder. For lagring kreves enten nedkjøling til -33 °C eller lagring under trykk på ca 8-10 bar. Eksisterende LNG-infrastruktur kan tilpasses for dette formålet. Transport og distribusjon av ammoniakk krever spesialiserte tankskip og infrastruktur for sikker lagring og håndtering.

Brann- og eksplosjonssikkerheten til ammoniakk er relativt høy, da den er mindre brannfarlig enn hydrokarbonbaserte drivstoff. Imidlertid er ammoniakk giftig for mennesker og marint liv, og utslipp kan forårsake alvorlig miljøskade og død. Lekkasjehåndtering og sikkerhetstiltak er derfor kritiske ved bruk av ammoniakk i skipsfarten.

6.4.2 Batterier

6.4.2.1 Litiumionbatterier

Litiumionbatterier har blitt en stadig mer populær energibærer i skipsfarten, spesielt for hybride og hel-elektriske fartøyer. Teknologien baserer seg på elektrolytiske celler der litiumioner beveger seg mellom anoden og katoden under lading og utlading. Litiumionbatterier har høy energitetthet, lang levetid og god ladesykluskapasitet sammenlignet med andre modne batteriteknologier. Dette gjør dem attraktive for maritim bruk.

Litiumionbatterier kan i noe grad betegnes som en «sekkepost» da det finnes ulike typer batterikjemier i bruk. Mellom de ulike batterikjemiene vil det være forskjeller mellom egenskaper som for eksempel energitetthet, stabilitet og teknisk sikkerhetsnivå. Ved anvendelse må man finne den varianten som best passer det lastmønster søm følger med den operasjonelle profilen til fartøyet det skal anvendes på.

Produksjonen av litiumionbatterier krever utvinning av sjeldne metaller som litium, kobolt og nikkel, som ofte er forbundet med miljømessige og etiske utfordringer. Utvinningen av disse materialene har en høy miljøkostnad i form av vannforbruk, energibruk og potensielle forurensninger.

Bruken av litiumionbatterier i skipsfarten innebærer noen sikkerhetsutfordringer. Overoppheting eller fysisk skade på battericellene kan føre til «thermal runaway», som kan resultere i utslipp av giftige og brennbare gasser(gassing) som igjen kan føre til brann eller eksplosjon. Batterienes kjemiske sammensetning gjør at det ved gassing og thermal runaway kan frigjøres oksygen. Dette medfører at en brann kan vedlikeholde seg selv uten ekstern oksygentilførsel, og dermed være umulig å slukke med konvensjonelle metoder. Dette utgjør en stor utfordring for brannsikkerheten om bord i skip. Det er derfor nødvendig med helhetlig utarbeidet battery management system (BMS) for å ivareta batteristyring og -helse, samt gjennomtenkt brannsikkerhetskonsept og -slukking.

Miljømessig representerer litiumionbatterier en mer bærekraftig energiløsning under bruk, men resirkulering og sluttbehandling av brukte batterier utgjør en utfordring. Det er behov for utvikling av mer effektive resirkuleringsmetoder for å redusere ressursforbruket og minimere avfallshåndteringsproblemer i fremtiden.

6.4.2.2 Blysyre- og blygelbatterier

Blysyrebatterier er en av de eldste og mest utbredte batteriteknologiene i maritim sektor. De benyttes primært for startstrøm til motorer, nødstrømforsyning og mindre elektriske systemer om

bord. Teknologien baserer seg på blyelektroder og svovelsyre som elektrolytt, og har vært brukt i mer enn 150 år.

Produksjonen av blysyrebatterier innebærer utvinning og raffinering av bly, samt produksjon av syrebaserte elektrolytter. Bruken av disse batteriene er utbredt på grunn av deres lave kostnad, pålitelighet og evne til å levere høy strømstyrke. Imidlertid har blysyrebatterier relativt lav energitetthet sammenlignet med nyere batteriteknologier som litiumionbatterier.

Når det gjelder sikkerhetsrisikoer, kan lekkasje av svovelsyre føre til korrosjonsskader og helsefarer for personell. Ved overlading eller kortslutning kan det dannes hydrogengass, som er eksplosiv i visse konsentrasjoner. Derfor kreves god ventilasjon ved lagring og lading av blysyrebatterier.

Miljøpåvirkningen fra blysyrebatterier er betydelig, særlig i produksjonsfasen og ved deponering. Bly er et tungmetall som kan forårsake alvorlige miljø- og helseproblemer ved feilaktig håndtering. Likevel er resirkuleringsgraden høy, og de fleste blysyrebatterier resirkuleres for å minimere miljøbelastningen. Bærekraften til blysyrebatterier avhenger derfor av effektive resirkuleringssystemer og ansvarlig avfallshåndtering.

En variant av blysyrebatterier er blygelbatterier, der elektrolytten er bundet i en geléaktig substans. Dette reduserer risikoen for lekkasjer og gir bedre motstand mot vibrasjoner og mekaniske påkjenninger, noe som er fordelaktig i maritim bruk. Blygelbatterier har også lengre levetid og tåler dypere utladning enn tradisjonelle blysyrebatterier, men er dyrere i innkjøp

6.4.3 Kjernekraft

Kjernekraft har i maritim sammenheng vært benyttet i flere tiår allerede. Bruken har imidlertid vært begrenset til å i all hovedsak omfatte store fartøy med høye energibehov og krav til lang autonom operasjon uten mulighet for bunkring. Reaktortypen anvendt i disse tilfellene er lettvekts vannkjølte reaktorer, men dimensjonene er likevel av en slik størrelse at dette kun har vært aktuelt for fartøy som hangarskip, ubåter og isbrytere. Det grønne skifte og søken etter nullutslippsløsning for skip har gjort at forskningsmiljø og maritim industri har sett mer på ulike reaktortyper og i hvilken grad disse vil kunne la seg implementere ombord kommersielle fartøy med mindre dimensjoner. NuProShp-prosjektene til Jan Emblemsvåg m.fl. [6] har gjennomført en systematisk gjennomgang og vurdering av ulike reaktortyper/-teknologier og evaluert disse opp mot definerte kriterier for egnethet på skip. Dette arbeidet har resultert i identifisering av tre ulike reaktortyper som egnet for fartøy i ulike kategorier. Da kunnskapen om kjernekraft er noe begrenset i arbeidsgruppen har vi valgt å benytte kvalifiseringsarbeidet gjennomført av Emblemsvåg m.fl. [6]. Med bakgrunn i funn fra dette arbeidet i kombinasjon med beskrivelser av egenskaper og kapasiteter i Langtidsplan for forsvarsektoren [1] konkluderes det med at det kun vil være en høytemperatur gasskjølt reaktor som mulig vil kunne være aktuell gitt plassbehov og forventet fartøystørrelse.

6.4.3.1 Høytemperatur gasskjølt reaktor

I nevnte arbeider av Emblemsvåg blir en konkret høytemperatur gasskjølt reaktor rangert til å være den reaktortypen som scorer høyest i deres evaluering. Dette er også den reaktoren som har minst størrelse. Med en effekt på 5 til 15 MW anses det som at størrelse til effekt vil mulig kunne være aktuell for de større standardiserte fartøyene.

Reaktoren benytter en keramisk kapslet pellet som igjen består av TRISO-partikler² innebygget i silisiumkarbid. TRISO-partikler har en rekke attraktive egenskaper, blant annet veldig lav stråling og at det er meget krevende å «utvinne» uranet til andre formål enn som drivstoff. Reaktoren er avkjølt av trykk satt helium som går i kjølelooper uten direkte kontakt med brenselet. Dette er fordelaktig da det medfører at kjølemediet ikke blir radioaktivt.

Den termiske energien utviklet i fisjonsreaksjonen i reaktoren blir overført via en rekke kjølesløyfer, -medier og varmevekslere for så å bli omgjort til anvendbar energi en turbin. Faktisk konfigurasjon avhenger av teknisk løsning benyttet.

² TRISO står for Tri-structural ISotropic particle fuel. Hver TRISO-partikkel består av en uran, karbon og oksygen kjerne. Kjernen er omsluttet av tre lag med et karbon-keramisk material som forhindrer utslipp av radioaktive fisjonsprodukter [1]

7 Risikovurdering

I det følgende vil det bli presentert en overordnet kvalitativ risikovurdering av energibærerne presentert i foregående kapittel. Analysen er gjennomført innenfor rammene beskrevet i kapitlene Avgrensninger og forutsetninger og Metode. Risiko forbundet med energibærer er tett knyttet til lagringsform for energibærer, hvilken teknologi som er anvendt til energikilde og designet av fremdriftssystem. Det er følgelig ikke mulig å vurdere risiko fullt ut når det er mulighet for ulike tekniske løsninger for lagring og anvendelse av de ulike energibærerne. Risikovurdering blir derfor i hovedsak en vurdering av generell risiko før implementering av «tilpassede» sikkerhetsbarrierer for den faktiske plattformen systemene skal installeres på. I risikovurderingen er det imidlertid forsøkt tydeliggjort når lagringsform har en markant innvirkning på risikobilde knyttet til energibærer. Ved oppstart av arbeidet ble det definert at hensikten med gjennomføring av denne risikovurdering ikke er å foreta en fullstendig risikovurdering av aktuelle energibærer, men på et tidlig tidspunkt å identifisere kandidater som kunne anses som uaktuelle. Underveis i arbeidet ble det imidlertid fra piloteier justert til at risikovurderingen ikke skal «ekskudere» noen energibærer, men at funn skal inngå som vurderingsfaktor i en helhetsvurdering av egnethet. Nevnt helhetlig vurdering gjennomføres av Arbeidsgruppe 3 i denne GSP Piloten.

Verste risiko forbundet med de fleste av energibærerne er knyttet til ukontrollert utslipp av betydelige mengder brennbar fluid enten i væske- eller gassform. For samtlige av energibærerne vil det eksistere teknologi og designprinsipper som kan tas i bruk som sikkerhetsbarrierer for å mitigere denne risiko. Uforutsigbarheten i de militærspesifikke risikoene som antas relevant for de standardiserte fartøyene gjør det imidlertid «umulig» å eliminere sannsynligheten for en slik lekkasje. Det vil i denne vurderingen derfor tillegges en del mer vekt på om konsekvens av slike hendelser kan være håndterbar, enn hva som kan være vanlig i sivil sammenheng.

For de fleste risikoene vurdert i analysen vil det eksistere både lavere og høyere frekvens- og konsekvensvarianter. Nevnte uforutsigbarhet knyttet til risikobildet gjør at man også i disse tilfellene har valgt å fokusere på de frekvens/konsekvensvariantene som gir høyest total score – altså et fokus på «worst case» scenarier.

Med bakgrunn i nevnte har det blitt vurdert til at en forenkling av risikovurderingen til å kun omfatte «worst case» scenarier for de ulike energibærerne vil være tilstrekkelig til å kunne vurdere egnethet for anvendelse opp mot et militærspesifikt risikobilde. I det videre vil «worst case» scenarier bli omtalt som dimensjonerende hendelse. I Annex: Risikovurdering listes de ulike energibærerne med tilhørende identifisert dimensjonerende hendelse. Det presenteres fastsatt sannsynlighet og konsekvens innenfor scenarier knyttet til «brann», «eksplosjon», «giftighet» og «kjernefysisk hendelse», samt en vurdering innenfor områder vurdert som relevant både med tanke på sikkerhetsrisiko, men også i miløssammenheng. Forklaring av felter i Tabell 1

Tabell 1: Kolonneforklaring risikomatrise

Energibærer	Aktuell energibærer for vurdering
Tilstand/lagringsform/teknologi	Lagringsform/tilstand dersom stor innvirkning på hvordan risikobilde må vurderes
Dimensjonerende hendelse	Identifisert hendelse med potensiale for mest alvorlig konsekvens
Brann	Brann som følge av dimensjonerende hendelse
Eksplisjon	Eksplisjon som følge av dimensjonerende hendelse
Giftighet	Giftighet som følge av dimensjonerende hendelse
Kjernefysisk hendelse	Kjernefysisk hendelse som følge av dimensjonerende hendelse
Konsekvens ved intern lekkasje	Mulige konsekvenser ved en lekkasje av energibærer internt i fartøy
Gjenvinne kontaminert område	Kvalitativ vurdering av nødvendig innsats for å sannere kontaminert område internt i fartøyet
Konsekvens ved utslipp, ytre miljø	Mulige konsekvenser ved en lekkasje av energibærer til omgivelsene utenfor fartøy
Utslipp under bruk	Identifiserte
Andre aspekter	Andre momenter, egenskaper, hensyn som kan være aktuelt for vurdering av risiko og implementering på fartøy

Risikovurdering presentert i Annex: Risikovurdering viser at det totalt er evaluert 13 energibærere med 21 varianter som følge av vurdert tilstand/lagringsform/teknologi. Dette har resultert i en vurdering av totalt 21 dimensjonerende hendelser, med tilhørende scenarier innenfor «brann», «eksplisjon», «giftighet» og «kjernefysisk hendelse». Som Annex: Risikovurdering viser er det 7 av de vurderte dimensjonerende hendelsene som resulterer i scenarier som vurderes til å representere kritisk risiko for noen energibærere i definerte tilstander. Dette er scenarier hvor kombinasjon av frekvens og konsekvens gjør at i risiko havner i rød del av risikomatrise presentert i 5.2. Seks av disse scenariene er utslipp av lettantennelige og reaktive gasser med påfølgende antennelse og eksplosjon. Det siste scenariet er utslipp av giftig væske som fordamper til gass. Fellesnevneren for de 7 scenariene er ukontrollerte utslipp av gasser i lukket rom, men med ulike konsekvenser. Spesifikt er det scenarier gitt i Tabell 1 som ender opp med å vurderes som kritiske. Scenariet som omfatter thermal runway i litium-ion er også valgt inkludert i Tabell 1. Bakgrunnen for dette er at risiko representert ved et slikt scenarier var spesielt vanskelig å analysere uten å ta hensyn til teknologi. Det vurderes til å være mulig å implementere gode sikkerhetsbarrierer for å redusere sannsynlighet og konsekvens, men gitt det stort potensiale for eskalering dersom propagering skulle inntreffe er denne løftet som kritisk for å understreke viktigheten av korrekte barrierer.

Tabell 1: Kritiske scenarier

Energibærer	Tilstand /lagringsform /teknologi	Dimensjonerende hendelse	Brann		Eksplosjon		Giftighet	
			Sanns.	Kons.	Sanns.	Kons.	Sanns.	Kons.
Fossil LNG/LPG	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	4	3	5	3	2
Fossil Hydrogen	Gass	Lekkasje av større mengder	3	3-4	4	5	3	2
	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	3-4	4	5	3	2
BLG/Biogass	Flytende/ Gass	Lekkasje av større mengder	3	4	3	5	3	2
Grønn Hydrogen	Gass	Lekkasje av større mengder	3	3-4	4	5	3	2
	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	3-4	4	5	3	2
Ammoniakk	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	2	4	2	4	4	5
Batterier	Litium-ion	Thermal runaway med propagering	3-4	4-5	2	5	3	3

For de øvrige energibærerne, dimensjonerende hendelsene og scenariene analysert vurderes det til at risikoen representert er på et slikt nivå at det kan la seg gjøre å implementere risikoreduserende tiltak og sikkerhetsbarrierer slik at bruk av disse kan være forenelig med bruk på fartøy som har en operasjon som inkluderer militærspesifikke risikoer. Det synes imidlertid viktig å påpeke at for flere av energibærerne vil implementering av tilstrekkelige sikkerhetsbarrierer være sterkt dimensjonerende for plattformen. Det er derfor forventet at noen av energibærerne vil kunne være uaktuelle, ikke direkte på grunn av sikkerhetsrisiko, men som følge at implementering av nødvendige sikkerhetsbarrierer vil legge så sterke føringer på fartøysdesign at disse ikke lar seg kombinere med forventede øvrige krav til plattformene.

7.1 Risiko og teknologi

For de ulike energibærerne omhandlet i denne risikovurderingen vil det i varierende grad være anvendelse av ny teknologi med varierende grad av driftserfaring. I de fleste tilfeller hvor man tar i bruk ny teknologi vil det være knyttet en større usikkerhet knyttet til denne, og i en del tilfeller vil denne usikkerheten også kunne medføre økt sikkerhetsrisiko. Denne risikoen kan for eksempel være et resultat av manglende driftserfaring, umoden design eller manglende kunnskap hos operatør/bruker. Til tross for at teknologisk modenhet og mangel på kunnskap unektelig representerer en sikkerhetsrisiko har dette ikke blitt tatt inn i risikovurderingen. Bakgrunnen for dette er flerdelt, men hovedsakelig fordi dybdeforståelsen nødvendig for å kunne vurdere dette ikke er forenelig med tidslinjen lagt for Piloten. Dette er imidlertid noe som i aller høyeste grad må vurderes når helhetlig risikovurdering for endelig fartøyskonsept skal gjennomføres.

8 Tilgjengelighet

Så langt i rapporten er det redegjort for vurdering av sikkerhetsrisiko assosiert med ulike energibærere, sett i lys av et militærspesifikt risikobilde. Ser man ut over sikkerhetsrisiko vil dette det også være knyttet andre typer usikkerhet til ulike alternative energibærere. I forsvarssammenheng er særlig risiko knyttet til forsyningssikkerhet av stor betydning. For ny teknologi og alternative energibærere vurderes det til at risiko knyttet til tilgjengelighet utgjør en betydelig del vurderingsgrunnlaget i vurdering av forsyningssikkerhet. I det videre forsøkes det oppsummert og vurdert teknologisk modenhet og logistikk for de ulike teknologiene og energibærerne.

8.1 Modenhet

Matrisen presentert i Figur 8 nedenfor gir en indikasjon på dagens status for ulike drivstoff, energikilder og teknologialternativer med hensyn til teknologisk modenhet, sikkerhetsforskrifter, økonomiske parametere, tilgjengelighet og GHG-reduksjon. Den forenklete vurderingen er basert på relevant litteratur, databaser og DNV-erfaring.

		Technology and safety			Economic		Availability		GHG
Energy source/fuel substance		Volumetric energy density	Maturity onboard technology	Safety regulations (IMO)	Onboard CAPEX	Fuel cost	Fuel production and supply	Port infrastructure	Total WWF GHG reduction potential
Fossil fuels	MGO (reference)								
	LNG								
Electricity from shore	Shore power								
	Battery electricity (plug-in hybrid)								
Low GHG fuels	Biodiesel (FAME/HVO) / e-diesel								
	Bio-LNG / e-LNG								
	Bio-methanol / E-methanol								
	Blue ammonia / green ammonia								
	Blue LH2 / e-LH2								
OCCS	-								

OCCS: Onboard carbon capture and storage

High score Medium score Low score Very low score

Figur 8: DNVs illustrasjon av modenhet for ulike drivstoff, energikilder og teknologialternativer

	Energy source / fuel substance	Volumetric energy density	Maturity onboard technology	Safety regulations (IMO)
Fossil fuels	MGO (reference)	~36 GJ/m ³	Mature	Mature
	LNG	~21 GJ/m ³	Mature	Mature
Electricity from shore	Shore power	-	Mature	Mature
	Battery electricity (plug-in hybrid)	~0.8 GJ/m ³ *	Many systems already in operation	Mature
Low GHG fuels	Biodiesel (FAME / HVO) / e-diesel	~36 GJ/m ³	Mature	Mature
	Bio-LNG / e-LNG	~21 GJ/m ³	Mature	Mature
	Bio-methanol / E-methanol	~16 GJ/m ³	Limited engine models available, boilers under development	Interim IMO guidelines in place
	Blue ammonia / green ammonia	~12 GJ/m ³	Engines and boilers under development	Interim IMO guidelines in place
	Blue LH2 / e-LH2	~9 GJ/m ³	Engines under development	Alternative design approval process required
OCCS	-	CO ₂ storage tank needed	Under development	Mature

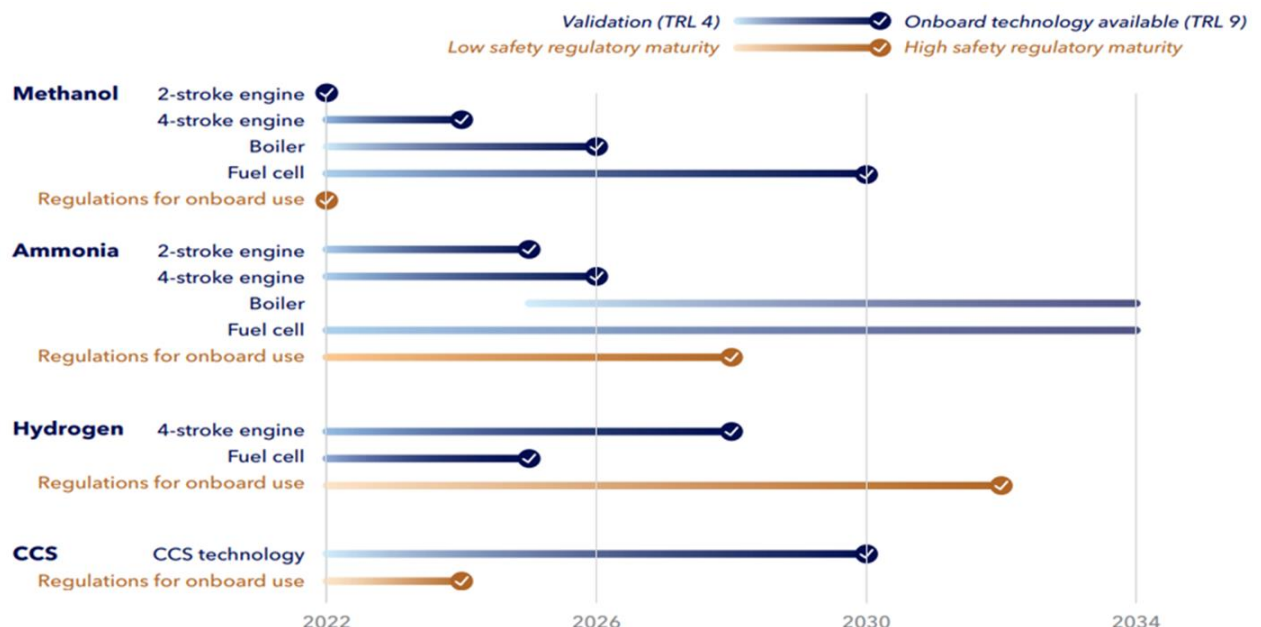
*see e.g., <https://corvusenergy.com/products/energy-storage-solutions/corvus-dolphin-nxtgen-energy/#>

OCCS: Onboard carbon capture and storage

High score Medium score Low score Very low score

Figur 9: Nedbrytning av «technology and safety» fra Figur 8

Som man ser av Figur 9 er modenhet på ombordteknologien lav eller det er begrenset tilgjengelighet på motorer eller alternativ teknologi for å omsette og utnytte energien i lavutslippsdrivstoffene metanol, ammoniakk og hydrogen. Figuren nedenfor gir et bilde av status på alternativ motorteknologi. Motorer for bruk av metanol er allerede tilgjengelig, men i et begrenset omfang. I den sammenheng viktig å være oppmerksom på at det derfor er begrenset med erfaringsdata tilgjengelig selv om utstyret og teknologien vurderes som kvalifisert i henhold til TRL 9. Det er relativt få brukere med erfaring over en relativt kort tidsperiode.



Figur 10: teknologimodenhet og regulatorisk modenhet for en del energibærere og energikilder

Bio-drivstoff indikeres som moden teknologi i Figur 9. En viktig grunn til at bio-drivstoff anses som et attraktivt alternativ for dekarbonisering i skipsfarten, er egenskaper som muliggjør bruk av eksisterende fartøy og ombordsystemer uten modifikasjoner (dvs. drop-in mulighet med

eksisterende konvensjonell motor- og drivstoffteknologi). Dette gjelder for eksempel bio-LNG, siden det praktisk talt har identiske egenskaper som fossil LNG. For bio-diesel og bio-væsker som er ment å erstatte destillater og fyringsoljer, kan drop-in muligheten variere betydelig og avhenger av faktorer som råstoffet som brukes til å produsere bio-drivstoffet, produksjonsprosessen og nivået av raffinering og oppgradering. Hver type bio-drivstoff må derfor evalueres individuelt for å sikre at drivstoffspesifikasjonen og kvaliteten er kompatibel med de tiltenkte bruksområdene. Ellers kan det få alvorlige konsekvenser som følge av risiko for skade på utstyr og havarier.

Andelen skip som anvender bio-drivstoff er fortsatt veldig lavt, men voksende og bio-drivstoff salg i Singapore og Rotterdam er mer enn firedoblet siden 2021. Tilbakemeldinger fra bransjen indikerer at bruk av Fettsyre metyl ester (FAME) og HVO generelt foregår uten vesentlige problemer (blandinger og rene produkter), forutsatt at passende forberedelser og tiltak iverksettes.

8.2 Logistikk

Tilgang, bunkringsløsning og krav til lagring og transport varierer mellom ulike energibærere. Tilgjengelighet og operasjonell kompleksitet for alternative energibærere vil endres over tid med økt utbredelse. I dag er det knyttet stor usikkerhet til hvilke alternative drivstoff markedet vil velge. Vår opplevelse er at det ikke forventes en løsning vil møte alle behov, konsensus synes å være at klimamålet krever at de fleste energibærere og løsninger tas i bruk, utfra de ulike brukeres behov og kapasiteter.

I Norge har myndighetene brukt offentlig anskaffelse av maritime tjenester til å utvikle, teste og dokumentere alternative klimavennlige teknologi og logistikk. Ferjesamband er velegnet med kort seilas, fast seilingsmønster og strenge sikkerhetskrav med passasjer - er det sikkert nok for bilferjer er det trygt nok i andre segmenter. Denne politikken har bidratt til at det skapes marked, teknologi og logistikkløsninger for alternative energibærere langs kysten. Pr i dag gjelder dette LNG, landstrøm/ladeanlegg, hydrogen og bio-drivstoff.

Krav til og bruk av alternativ energibærere i petromaritimt bransje bidrar tilsvarende til at forsyningsbasene langs kysten bygger opp nye logistikk løsninger. Pr i dag gjelder dette LNG, landstrøm/ladeanlegg, ammoniakk og bio-drivstoff.

Alle norske havneselskap forsøker å orientere seg i den maritime energiomstillingen i egen regi og gjennom interesseorganisasjonen Norske Havner. Videre jobber Enova aktivt med støtteprogrammer som tilrettelegger for alternative energi, hittil primært for landstrøm/ladeanlegg, men er p.t. ut med programmer for å støtte maritime knutepunkt for hydrogen og ammoniakk.

Sannsynligvis vil derfor tilgjengelighet og infrastruktur blir utviklet langs hele kysten for de energibærere som det sivile samfunnet etterspør. Supplerende etterspørsel fra Forsvaret kan sette fart i utrulling av alternative drivstoff og bidra til gjensidig klimamåloppnåelse og økt tilgjengelighet.

8.2.1 Referansedrivstoff

8.2.1.1 Fossil Diesel

Diesel er den mest utbredte energibæreren og tilgjengelig i de fleste havner. Lagring, bunkring og produksjon er veletablert.

Ambisjonen om klimanøytralitet innen 2050 vil over tid gi lavere etterspørsel og derigjennom færre lokasjoner for bunkring.

8.2.1.2 Fossil LNG

Naturgass er flytende (LNG) ved minus 162 grader, noe som krever kryogenisk transport, lagring og bunkring. LNG er relativt sett den mest utbredte alternative energibæreren spesielt innenfor petromartimt, ferjer og på nyere fartøyer i oppdrettsindustrien. I de fleste tilfeller som dual-fuel installasjon sammen med diesel.

Det er begrenset med faste LNG bunkringsterminaler, men med bunkring fra tankbil eller bunkringsfartøy er LNG tilgjengelig i de fleste havner.

Fremtidig tilgang er som for fossil diesel.

8.2.1.3 Fossil Metanol

Metanol som drivstoff er ikke utbredt i dag, men er omfattende brukt i petroleumsvirksomhet. Ergo har alle forsyningsbasene langs kysten metanoltanker og bunkringslinjer og de fleste forsyningskipene har transporttanker for metanol.

Metanol har lavt flammepunkt som dimensjonerer krav til logistikk og lagerløsning. Metanol produseres av Equinor på Tjeldbergodden.

8.2.1.4 Fossil Hydrogen

Som nevnt i avsnitt 6.1.4 er dampreforming dominerende fremstillingsmetode i Europa i dag. Det medfører at det er fossilt hydrogen som er lettest tilgjengelig i dag, om ikke den eneste hydrogenformen som er tilgjengelig for salg i nevneverdig volum. Fokus på lavutslipp og nullutslipp energibærere medfører at det er igangsatt en rekke prosjekter for å etablere fasiliteter for hydrogenproduksjon i EU. Dette er imidlertid i hovedsak anlegg for produksjon av hydrogen ved elektrolyse. Det er følgelig å forvente at fossilt hydrogen vil være tilgjengelig, men at grønn hydrogen vil være prioritert for kommende prosjekter.

Pr. dag dato er fossil hydrogen tilgjengelig i markedet, men tilgangen er relativt lav og på nåværende tidspunkt ikke dimensjonert for dekke en opptrapping av etterspørsel.

8.2.2 «Drop-in» drivstoff

8.2.2.1 E-fuel

E-fuels som e-diesel, e-LNG og e-metanol har samme lagring og distribusjon som sine fossile tvillinger.

E-fuels har en viktig rolle i ReFuelEU-mandater, noe som sannsynligvis gir økt tilgjengelighet etter hvert som energiomstillingen skyter fart. Politiske reguleringene er dimensjonerende, da produksjonskostnadene er vesentlig høyere enn fossile tvillinger.

E-metanol synes å være først ute og det pågår flere utviklingsprosjekter i Norge, aktiviteten er enda større i våre naboland. Danmark har det største operative anlegget, mens utbyggingsplanene synes å være størst i Sverige og Finland.

Metanol er det mest utbredte alternative drivstoffet, når LNG holdes utenfor. Mærsk og de fleste større globale containerrederiene har større serier med metanol Dual-fuel skip under bygging. I Norge får North Sea Container Line to metanol dual-fuel container skip som settes inn på linjen Rotterdam - Tromsø med mellomsteder i 2025.

Det er grunn til å forvente økt tilgjengelighet med flåtevekst av metanol dual-fuel skip.

8.2.2.2 Bio-diesel - (HVO/HEFA)

For bio-diesel vil teknologi og prinsipper anvendt for lagring og distribusjon være tilsvarende som diesel.

Det er krav til innblanding av bio-drivstoff i tradisjonelle energibærere, mest innen landtransport. Det er annonsert gradvis økende krav til innblanding maritimt- og flydrivstoff. Bio-drivstoffet er primært importert, da de er begrensede biologiske ressurser til produksjon av flytende bio-drivstoff i Norge.

Samlet klima- og naturkonsekvens av importert bio-drivstoff er omdiskutert. Importkravet er bio-drivstoff som ikke fortrenger matproduksjon eller gir ødelegger natur, men det er rest spørsmål knyttet til kontroll om disse kravene overholdes. Videre kan Norges import av de høyverdige produktene tvinge mindre kjøpesterke brukere over til bio-drivstoff som gir negative effekter.

8.2.2.3 BLG/biogass

For BLG/biogass vil teknologi og prinsipper anvendt for lagring og distribusjon være tilsvarende som Fossil LNG. Det som imidlertid skiller BLG/biogass i logistisk sammenheng er et begrenset antall produksjonsfasiliteter med dertil begrenset produksjonskapasitet. Dagens kapasitet ved disse anleggene er anslått til å være 0,7 TWh pr år [4], noe som tilsvarer omtrent 58100 tonn MGO. Konsekvensen av dette er lengre ledetid og mindre tilgjengelighet enn for det fossile referansedrivstoffet.

Det forventes økt produksjon frem i tid, da kravet til de biologiske ressurser for å lage biogass er mindre krevende enn for bio-diesel. Det er utviklingsprosjekter for å utnytte ulike restfraksjoner som husdyr gjødsel, kloakk, skogsavfall mm.

8.2.2.4 Bio-metanol

Produksjon og tilgjengelighet av bio-metanol må sees i sammenheng med e-metanol.

Bio-/e-metanol som kombinerer disse to produksjonsmåtene gjennomgår rask teknologiutvikling og synes å være den mest energieffektive og miljøvennlige produksjonsmåten.

Fremtidig tilgjengelighet er som for e-metanol.

8.2.2.5 Grønn Hydrogen

Som beskrevet i 6.2.5 Grønn hydrogen blir grønn hydrogen produsert ved elektrolyse.

Elektrolyseprosessen baserer seg på bruk av elektrisk energi og produksjonsfasilitetene for grønn hydrogen vil naturlig legges til deler av landet hvor mulighet for produksjon av fornybar energi er god. Det finnes i dag ingen storskala produksjonsanlegg for grønn hydrogen i Norge, men det er etablert en rekke mindre pilotprosjekter rundt om i landet for å bygge erfaring.

Flere anlegg for produksjon av hydrogen som drivstoff til maritim sektor er imidlertid under planlegging og Enova tildelte i 2024 støtte til fem prosjekter spredt på ulike lokasjoner langs hele kysten av Norge [5]. Disse er antatt å til sammen ville stå for en produksjon på 30-40 tonn pr dag. Det planlegges med at flere av disse prosjektene skal være skalerbare med tanke på å øke produksjonskapasitet. For enkelte av prosjektene beskrives det en planlagt videreutvikling av anleggene opp mot ulike derivater og flytendegjøringsanlegg.

Selv om gjennomføring og etablering av disse prosjektene vil representere en kraftig økning i tilgang i forhold til dagens situasjon, er det forventet at det vil være behov for en ytterligere utbygging og oppskalering dersom en betydelig del av den maritime flåte skulle gå over på hydrogen som drivstoff.

8.2.3 Karbonbaserte ikke «drop-in» drivstoff

8.2.3.1 *Alkoholer*

Alkoholer som metanol, etanol og butanol vurderes som mulige alternative drivstoff for å redusere klimagassutslipp i den norske maritime sektoren. Metanol regnes som den mest aktuelle av alkoholene og er situasjon rundt drivstofflogistikk er beskrevet i henholdsvis 8.2.1.3 Fossil Metanol og 8.2.2.4 Bio-metanol.

For etanol og butanol kjenner gruppen ikke til initiativer for etablering av produksjonsanlegg i Norge hvor fokus er som drivstoff for maritim sektor.

8.2.4 Ikke karbonbaserte drivstoff

8.2.4.1 *Ammoniakk*

Ammoniakk er en lovende energibærer for utslippsreduksjon i norsk skipsfart. Tilgangen på ammoniakk i Norge kommer både fra eksisterende anlegg basert på naturgass og nye prosjekter for grønn ammoniakk.

Dagens produksjon er i hovedsak basert på Yaras anlegg i Porsgrunn som er Norges største ammoniakkprodusent, basert på naturgass. Dette har en årlig kapasitet: ca. 500 000 tonn.

For fremtiden er det nærliggende å forvente at ammoniakkproduksjonen i større og større grad vil bli basert på anvendelse av fornybare energi og/eller lavutslipps kilder. Ifølge Ocean Hyway Cluster er 16 ammoniakkprosjekter planlagt i Norge – hvor typisk produksjonsvolum vil være 100000 – 200000 tonn pr år pr prosjekt [6]. Dette vil kunne gi en samlet kapasitet på flere millioner tonn årlig, og gi gode utsikter for stabil tilgang for maritim sektor.

9 Diskusjon

En helhetlig risikovurdering av introduksjon av ny(-e) energibærere på fartøysplattformer er en kompleks vurdering. Det er stort sprik i teknologi, egenskaper og prinsipper som anvendes for anvendelse av nye energibærere. De alternative energibærerne synes alle å bringe med seg ulike positive og mindre ettertraktede egenskaper. Følgelig er det også veldig ulike risikoaspekter knyttet til de forskjellige. Det synes å etablere seg en omforent oppfatning i maritimsektor at det ikke vil være kun én energibærer som vil være fremtidens drivstoff. Med andre ord – ulike fartøyskonsepter vil kreve ulike energibærere og konfigurasjoner av fremdriftslinje. Operasjonsprofil med tilhørende sikkerhetsrisiko (safety) for et fartøyskonsept vil være en viktig faktor i vurdering en energibærers egnethet, men også faktorer som energitetthet, teknologisk modenhet og logistikk kjede vil være av avgjørende betydning for å kunne treffe en beslutning om hva som er riktig energibærer for et fartøy. Til tross for at denne overordnede risikovurderingen er begrenset til å skulle dekke en vurdering av sikkerhetsrisiko (safety) for mulige energibærere er det i de foregående kapitlene også tatt med noen betraktninger om teknologi, modenhet og logistikk. Bakgrunnen for dette er å forsøke å belyse at valg av energibærer er sammensatt av en rekke faktorer og at det også er risiko knyttet til disse. Design og planlegging av nye standardiserte fartøy for Sjøforsvaret må ta høyde for alle disse og vurdere dem opp mot det/de endelige operasjonskonseptene for fartøyene.

I kapittel 6 beskrives det i korthet grunnleggende karakteristikker for energibærerne. Dette for å etablere en overordnet forståelse av til dels svært ulike egenskaper og risikoaspekter knyttet til de forskjellige. Gitt de ulike karakteristikken må man basere seg på en stor variasjon av teknologier for lagring og for å omsette energi til fremdriftskraft. Mulighet for ombyttbarhet, eventuelt også ved ombygging, er ingen selvfølge, men en mulighet for noen av energibærerne. Planlegging for dette allerede i designfase ansees imidlertid som avgjørende for at dette skal være hensiktsmessig. En fleksibilitet i energibærer vurderes også å være hensiktsmessig gitt den varierende modenheten på teknologier (kapittel 8) assosiert med de ulike energibærerne og tilhørende usikkerhet knyttet til tilgjengelighet (kapittel 8.2), både for egnet teknologi og for forsyningskjede for energibæreren.

Til tross for at tidlig planlegging kan muliggjøre anvendelse av ulike energibærere i fartøyet levetid vil ikke dette nødvendigvis være en løsning som i seg selv tar høyde for sikkerhetsrisiko assosiert med anvendte energibærere. Kapittel 7 omhandler vurderinger som er gjort i arbeid med Annex: Risikovurdering av de ulike energibærerne. Avhengig av aktuell energibærer er det ulike risikoaspekter ved de forskjellige energibærerne som utgjør dimensjonerende scenarier. Risikoene vil typisk være knyttet til brennbarhet, eksplosjonsfare, giftighet og radioaktivitet. Det sier seg selv at det også her vil være nødvending med anvendelse av ulike teknologi og implementering av ulike sikkerhetsbarrierer avhengig av aktuell energibærer. For de fleste alternative energibærerne er driftshistorikk tynn og erfaring knyttet til håndtering av risiko ved bruk på skip vesentlig lavere enn hva som er tilfelle for referansedrivstoff som diesel. Om man i tillegg forsøker å fremskaffe slikt for anvendelse på militære fartøy synes erfaringsgrunnlaget å være bort imot fraværende. Med bakgrunn i dette kan det virke utfordrende å legge til rette for sikker bruk av nye energibærere på militære fartøy. Vider kan det tilsynelatende virke direkte vanskelig å tilrettelegge for en fremdriftsløsning som baserer seg på bruk av flere energibærere og som samtidig tilfredsstillt krav knyttet til sikkerhet, samt dekker de funksjonelle krav som forventes stilt til fartøyene. En tilnærming til problemstillingen kan imidlertid være anvendelse av fleksibel fremdriftsløsning hvor man velger energibærer tilpasset risiko forbundet med aktuell operasjon. Fleksibilitet i konfigurasjon av fremdriftslinje vurderes også å kunne være fordelaktig for å ta høyde for usikkerhet knyttet til forsyningssikkerhet, tilgjengelighet på energibærere, usikkerhet knyttet til teknologisk modenhet.

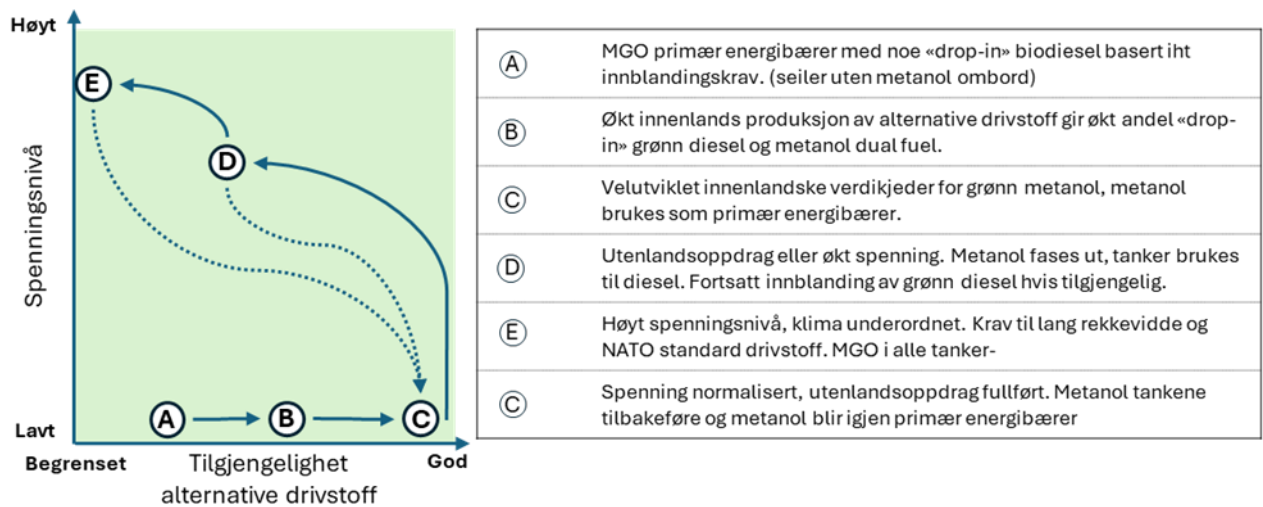
9.1 Fleksibilitet i fremdriftslinje – eksempelscenario

For å illustrere det store mangfoldet av energibærere, teknologi og varianser i fremdriftslinje ble det innledningsvis i kapittel 6 kort beskrevet ulike oppsett for kraftkilde til fremdrift. En av variantene nevnt er fremdriftslinje basert på kraftproduksjon (dieselgenerator, brenselcelle, batteri, e.l.) med energioverføring til elektromotor som står for fremdrift ved f.eks. propeller og/eller thrustere. I det videre vil det kort skisseres hvordan et slikt oppsett i kombinasjon med fleksibilitet i kraft/-energigenerator vil kunne gi et mulighetsrom til å treffe de krav som forventes til funksjonalitet, klimaambisjoner, fremtidige teknologiutvikling og usikker tilgang på alternative energibærere.

Ved å ta utgangspunkt i bruk av dual-fuel forbrenningsmotor med f.eks. diesel/metanol vil det allerede i dette være åpnet for noe fleksibilitet av valg av energibærer. Som nevnt i kapittel 6 er slike motorer satt opp med en prosentvis fordeling mellom de anvendte drivstoffene. Diesel benyttes i utgangspunktet som pilotflamme, men det er forventet at mange forbrenningsmotorer vil la seg konvertere til ulike blandingsforhold mellom drivstoffene, noen også med mulighet til å konvertere til å kunne benytte andre drivstoff. Forslag om valg av diesel/metanol som drivstoff er gjort med bakgrunn i mulighet for drop-in varianter av drivstoffene. På denne måten kan man etter hvert som tilgangen på mer klimavennlige varianter av drivstoffene øke graden av disse for å oppnå lavere utslipp og mer klimavennlighet. Både for diesel og metanol er det forventet at graden av miljøvennlige varianter vil øke fremover, gjennom henholdsvis bio-basert grønn diesel som drop-in fuel innblanding i MGO og e-metanol som drop-in for fossil metanol.

Sikkerhetsmessig vil valg av oppsett med dual-fuel motor fra start kunne være fordelaktig da det i fartøysdesignet vil kunne være planlagt med skrogintegreerte tanker for de ulike drivstoffene. Dette er fordelaktig da man ved tidlig planlegging har bedre forutsetninger for å ivareta sikkerhetskrav knyttet til risikomomentene drivstoffene representert, enn hva man vil ha ved en ombygging i levetiden eventuelt ved integrasjon av tankløsning på dekk ved et seinere tidspunkt.

En av de store utfordringene med Sjøforsvarets fartøy er den store variasjonen i oppdrag og det er også nærliggende å forvente at vektingen av momenter som aksjonsradius, sikkerhet og klimavennlighet vil variere stort mellom ulike oppdrag/oppgaver. Oppsettet skissert over vil kunne gi også et mulighetsrom til å tilpasse seg dette ved at man har fleksibilitet til å gjøre prioriteringer i forhold til hvilke ytelser som vektas høyest for det aktuelle operasjon. I situasjoner med høyt spenningsnivå eller ved utlandsoppdrag er det forventet at enkel logistikk, stor rekkevidde og lav sikkerhetsrisiko er prioritert. Metanol tankene kan i slike tilfeller fylles med diesel for å øke fartøyets rekkevidde og eliminere sikkerhetsrisiko knyttet til metanol som drivstoff. og dagens logistikk løsninger. I tillegg til eksisterende løsninger for etterforsyning som KNM Maud og allierte NATO forsyninger la seg benytte. Ved tilbakeføring til normal situasjon med lavere trusselnivå vil man kunne gå tilbake til metanol som primær energibærer med tilhørende lavt utslipp. Forsøkt presentert i Figur 11 er mulighetsrommet som kan ligge i et slikt oppsett for fremdriftslinje, både med tanke på tilpassing i forhold til tilgang på lavutslippsvarianter av drivstoff, men også med tanke på tilpassing i forhold til logistikkbehov og spenningsnivå knyttet til spesifikke oppdrag.



Figur 11: Fleksibilitet i fremdriftslinje

Vi ser av figuren at det fra utgangspunkt i situasjon «A» som er dagens situasjon vil kunne bevege seg via en drift med lavere utslipp etter hvert som tilgang på mer miljøvennlig fremstilte drop-in varianter bedres («B»), til en situasjon med velutviklet verdikjede for «grønne» drivstoffvarianter som primære energibærer, situasjon «C». Illustrert er også mulighet for å tilpasse seg oppdrag med endrede forutsetninger knyttet til spenningsnivå og/eller drivstofftilgang, situasjon «D» → «E», samt mulighet for tilbakeføring til normalsituasjon.

Skisserte løsning har potensiale til å møte militære funksjonskrav i kombinasjon med drivstoffleksibilitet til å møte miljøkrav ved på sikt i kunne anvende større andel grønne energibærer. Bruk av alternative energibærere i Forsvaret vil i tillegg understøtte etterspørsel og derigjennom produksjon, noe som i neste omgang kan gi økt tilgjengelighet til sivil og militære formål med tilhørende reduserte klimagassutslipp.

10 Anbefalinger og videre arbeider

Som nevnt tidligere i dokumentet gjør uforutsigbarhet i risikobildet at «worst case» scenarier tillegges mer betydning i risikovurderingen enn hva som kanskje er vanlig i sivil sammenheng. Normal tilnærming for å kompensere for risiko er å implementere en kombinasjon av ulike sannsynlighets- og konsekvensreducerende tiltak. For å ta høyde for uforutsigbarheten i de risikoer som kan være til stede for Sjøforsvarets fartøyer anbefales det at det tillegges mer fokus på de konsekvensreducerende tiltak enn hva som kanskje er vanlig i sivil sammenheng. Dette må imidlertid ikke gå på bekostning av sannsynlighetsreducerende tiltak, men være et supplement. Eksempel på typiske tiltak vil være oppdeling og seksjonering som reduserer mengden energibærer som vil være tilgjengelig for reaksjon ved et utilsiktet utslipp.

Videre anbefales det at det også tas med i videre arbeider at risikoreducerende tiltak som anvendes for sivil skipsfart kan være ugunstig eller umulig å implementere i et fartøysdesign som skal ta høyde for militærspesifikk risiko. Eksempel på dette er å flytte tekniske installasjoner over le for å hindre mulighet for akkumulering av brennbar eller giftig væske og gass.

En stor utfordring med å identifisere energibærere som erstatning for diesel er at de fleste alternativene har vesentlig lavere energitetthet og/eller at teknologien som kreves for å utnytte disse er meget dimensjonerende (vekt og volum) for plattformen de skal integreres på. Basert på informasjon gjennomgått i arbeidet med kartlegging av alternative energibærere er det forventet at flere av energibærerne som inngår i denne risikovurderingen har en energitetthet og/eller medfører et vekt/volumkrav som gjør at disse ikke vil være egnet for bruk på Sjøforsvarets fartøyer uten at operasjonskonsept revurderes. Da det ved oppstart av arbeidet med denne rapporten ikke forelå detaljert informasjon om operasjonsprofil har det ikke blitt gjort en nedvelgelse med effekt til vekt/volum som kriterier. Det finner med andre ord flere momenter ut over direkte sikkerhetsrisiko som kan gjøre de ulike energibærerne uegnet for bruk på Sjøforsvarets fartøyer. Når en det foreligger en tydeligere beskrivelse av operasjonsmønster og krav til funksjoner anbefales det at det jobbes videre med å vurdere teknisk egnethet og om hva som er praktisk mulig å integrere, mens man samtidig ivaretar fartøyets tiltenkte funksjoner.

11 Konklusjon

Med bakgrunn i gjennomført overordnet risikoanalyse for identifiserte energibærere har det blitt identifisert 7-syv kritiske scenarier for en del av de identifiserte energibærerne - i noen tilstander/lagringsformer. Disse vurderes til å ha så høyt potensiale for alvorlig hendelse at det ikke er forenelig med de uforutsigbarheter som er knyttet til det risikobildet Sjøforsvarets fartøy opererer i. Følgelig frarådes det at å gå videre med konsepter som baserer seg på disse energibærerne.

For de øvrige energibærerne vurdert har arbeid med analysen avdekket at risikoene disse representerer kan være håndterbare også for fartøyskonsepter som må dimensjoneres for militærspesifikk risiko. Det påpekes imidlertid at dette forutsetter et gjennomgående fokus på sikkerhet i fartøysdesignet og implementering av riktige sikkerhetsbarrierer.

Ut over energibærerne knyttet til de 7-syv kritiske scenariene forventes det også at noen av de øvrige energibærerne vil bli utelukket, ikke direkte som følge av sikkerhetsrisiko, men som en konsekvens av at nødvendige sikkerhetsbarrierer ikke er forenelige med øvrige forventede krav til fartøyene.

12 Annex: Risikovurdering

Energibærer	Tilstand/ lagringsform /teknologi	Dimensjonerende hendelse	Brann		Eksplosjon		Giftighet		Kjernefysisk hendelse		Konsekvens ved intern lekkasje	Gjenvinne kontaminert område	Konsekvens ved utslipp, ytre miljø	Utslipp under bruk	Andre aspekter
			Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens					
Referanse															
Fossil Diesel	Flytende	Lekkasje av større mengder	2-3	4	1-2	4-5	1-2	3	N/A	N/A	Brennbar væske Kjent saneringsbehov	Mindre krevende	Miljøforurensende	CO2, NOx, etc.	
Fossil LNG/LPG	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	4	3	5	3	2	N/A	N/A	Brennbar væske/gass Faseovergang Kraftig nedkjølt væske Oksygenfortrengende	Mindre krevende - moderat	Miljøforurensende		
Fossil Metanol	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	2	4	2	5	2	2	N/A	N/A	Giftighet Korrosjon Saneringsbehov	Mindre krevende	Miljøforurensende	CO2	klimanøytral dersom fremstilt riktig. Krever annen deteksjon Krever annen manuell slukkefilosofi
Fossil Hydrogen	Gass	Lekkasje av større mengder	3	3-4	4	5	3	2	N/A	N/A	Antennelse Eksplosjon	Mindre krevende	Antennelse i umiddelbar nærhet Eksplosjon	Nei	
	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	3-4	4	5	3	2	N/A	N/A	Antennelse Eksplosjon Ekstremt lav temperatur Utfrysing av O2 i luft	Moderat	Antennelse i umiddelbar nærhet Eksplosjon Ekstremt lav temperatur Utfrysing av O2 i luft	Nei	
	Metalhydrid	Lekkasje av hydrogen etter frigjøring fra metalhydrid	3	3	3	3-4	2-3	3	N/A	N/A	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon	Mindre krevende	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon	Nei	
	LOHC	Lekkasje av hydrogen etter separering fra LOHC	3	3	3	3-4	2-3	3	N/A	N/A	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon Lekkasje av LOHC	Mindre krevende	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon Lekkasje av LOHC	Nei	
"Drop-in" drivstoff															
E-fuel	Flytende	Lekkasje av større mengder	2-3	4	1-2	4-5	1-2	3	N/A	N/A	Brennbar væske Saneringsbehov antatt som for diesel	Mindre krevende	Miljøforurensende	CO2, NOx, CO?	klimanøytral dersom fremstilt riktig
Bio-Diesel – (HVO/HEFA)	Flytende	Lekkasje av større mengder	2-3	4	1-2	4-5	1-2	3	N/A	N/A	Brennbar væske Saneringsbehov antatt som for diesel	Mindre krevende	Miljøforurensende	CO2	klimanøytral dersom fremstilt riktig
BLG/Bio-gass	Flytende/Gass	Lekkasje av større mengder	3	4	3	5	3	2	N/A	N/A	Brennbar gass Faseovergang Kraftig nedkjølt væske Oksygenfortrengende	Mindre krevende - moderat	Miljøforurensende	CO2	klimanøytral dersom fremstilt riktig

Energibærer	Tilstand/ lagringsform /teknologi	Dimensjonerende hendelse	Brann		Eksplosjon		Giftighet		Kjernefysisk hendelse		Konsekvens ved intern lekkasje	Gjenvinne kontaminert område	Konsekvens ved utslipp, ytre miljø	Utslipp under bruk	Andre aspekter
			Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens					
Referanse															
Bio-Metanol	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	2	4	2	5	2	2	N/A	N/A	Giftighet Korrosjon Saneringsbehov	Mindre krevende	Miljøforurensende	CO2	klimanøytral dersom fremstilt riktig. Krever annen deteksjon Krever annen manuell slukkefilosofi
Grønn Hydrogen	Gass	Lekkasje av større mengder	3	3-4	4	5	3	2	N/A	N/A	Antennelse Eksplosjon	Mindre krevende	Antennelse i umiddelbar nærhet Eksplosjon	Nei	
	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	3	3-4	4	5	3	2	N/A	N/A	Antennelse Eksplosjon Ekstremt lav temperatur Utfrysing av O2 i luft	Moderat	Antennelse i umiddelbar nærhet Eksplosjon Ekstremt lav temperatur Utfrysing av O2 i luft	Nei	
	Metalhydrid	Lekkasje av hydrogen etter frigjøring fra metalhydrid	3	3	3	3-4	2-3	3	N/A	N/A	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon	Mindre krevende	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon	Nei	
	LOHC	Lekkasje av hydrogen etter separering fra LOHC	3	3	3	3-4	2-3	3	N/A	N/A	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon Lekkasje av LOHC	Mindre krevende	Begrenset mengde hydrogen for ukontrollert reaksjon Lekkasje av LOHC	Nei	
Karbonbasert ikke "drop-in" drivstoff															
Alkoholer (generelt)		Lekkasje av større mengde med fordampning	2	4	2	5	2	2	N/A	N/A	Giftighet Korrosjon Saneringsbehov	Mindre krevende	Miljøforurensende	CO2	Krever annen deteksjon Krever annen manuell slukkefilosofi
Ikke karbonbaserte drivstoff															Annet slukkeskum
Ammoniakk	Flytende	Lekkasje av større mengde med fordampning	2	4	2	4	4	5	N/A	N/A	Giftighet Korrosjon Krevende å sanere	Krevende	Miljøforurensende Giftighet	NOx ved ufullstendig forbrenning	Større lekkasje umuliggjør ekstern assistanse. Flåter kan ikke benyttes.
Batterier	Litium-ion	Thermal runaway med propagering	3-4	4-5	2	5	3	3	N/A	N/A	Utslipp av brennbar og giftig gass Antennelse og mulig eksplosjon	Moderat	Utslipp av brennbar og giftig gass Antennelse og mulig eksplosjon, men forutsetter mulighet for oppbygging av brennbar konsentrasjon.	Nei	

Energibærer	Tilstand/ lagringsform /teknologi	Dimensjonerende hendelse	Brann		Eksplosjon		Giftighet		Kjernefysisk hendelse		Konsekvens ved intern lekkasje	Gjenvinne kontaminert område	Konsekvens ved utslipp, ytre miljø	Utslipp under bruk	Andre aspekter
			Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens	Sannsynlighet	Konsekvens					
Referanse															
	Blysyre	Gassing under lading og/eller kortslutning, med påfølgende antenning av eksplosiv konsentrasjon	3	3	3	4	2	2	N/A	N/A	Utslipp av brennbar. Antennelse og mulig eksplosjon	Mindre krevende	Utslipp av brennbar og mulig giftig gass Antennelse og mulig eksplosjon, men forutsetter mulighet for oppbygging av brennbar konsentrasjon.	Hydrogen under lading	Utslipp av hydrogen under lading er normalsituasjon og dermed designes system for å håndtere dette
Kjernekraft	Gasskjølt reaktor	Brann i støttesystemer	3	3	3	4	2	3	N/A	N/A	Ingen radioaktivitet i fluider benyttet i prosess. Mindre mengder gass benyttet til kjøling (helium) og energioverføring (CO2). Inerte gasser, men kvelningsfare ved utslipp i område med lavt volum. Utlufting som sanering.	Mindre krevende		N/A	Gasser benyttes for kjøling og effektoverføring i turbin. Ikke brennbare eller giftige, men kan være kvelende ved lekkasje i lukket område.
	Gasskjølt reaktor	Ukontrollert kjernereaksjon	2	4	2	4	2	3	2	5				N/A	Gasser benyttes for kjøling og effektoverføring i turbin. Ikke brennbare eller giftige, men kan være kvelende ved lekkasje i lukket område.

13 Referanser

- [1] «TRISO Particles: The Most Robust Nuclear Fuel on Earth,» U.S. Department of Energy, 09 2019. [Internett]. Available: <https://www.energy.gov/ne/articles/triso-particles-most-robust-nuclear-fuel-earth>. [Funnet 29 03 20205].
- [2] *Langtisdplan for forsvarssektoren*, Forsvarsdepartement, 2024.
- [3] *Presentasjon fra oppstartsmøte GSP*, Grønt Skipsfartsprogram, 2024.
- [4] SST / Avdeling for sikkerhet og kvalitet, *Prosedyre for risikovurdering i Sjøforsvaret*, Sikkerhetsinspektøren i Sjøforsvaret, 2023.
- [5] EU Maritime Transport Report, 2023.
- [6] IEA, 2022.
- [7] E. e. al, «Final Report of the Nuclear Propulsion for Merchant Ships I (NuProShip I) project,» Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Ålesund, 2025.
- [8] E. e. al., «SELECTING AND RANKING NUCLEAR REACTORS FOR MERCHANT SHIPPING,» 2024.
- [9] «Biogass Norge,» [Internett]. Available: <https://biogassnorge.no/sirkulaerokonomi>. [Funnet 18 03 2025].
- [10] «Enova - Tilskudd til virksomheter,» [Internett]. Available: <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/tilskuddsliste/?Program=Hydrogenproduksjon%20til%20maritim%20transport%202027>. [Funnet 18 03 2025].
- [11] «Ocean Hyway Cluster - Infrastruktur for ammoniakk i Norge,» 11 03 2024. [Internett]. Available: <https://www.oceanhywaycluster.no/news/infrastruktur-ammoniakk-prosjekt>. [Funnet 18 03 2025].
- [12] *Informasjonsskriv til deltakere GSP Pilot*, Grønt Skipsfartsprogram, 2024.
- [13] DNV, Maritime FOrcast to 2050, DNV, 2024.
- [14] *MIL-DTL-16884P DETAIL SPECIFICATION - FUEL, NAVAL DISTILLATE*.

Vedlegg 2 Gjennomførbarhet av mulige løsninger for reduksjon av direkte klimagassutslipp

Simuleringer av Kraft og propulsjon

Konsept A – DC grid, batterisystem og ABB DynaFin

Kraft kurve:

2xDynaFin 2MW						
wt	0.1					
thd	0.1					
Vsc	N	Q	Pd/unit	Thr/unit	EtaO	EtaD
knots	rpm	kNm	kW	kN		
1	8	15	12	8	0.301	0.301
2	11	30	35	16	0.417	0.417
3	14	45	66	24	0.497	0.497
4	17	60	105	31	0.557	0.557
5	19	76	151	39	0.604	0.604
6	21	93	205	47	0.641	0.641
7	21	92	207	45	0.706	0.706
8	23	100	237	47	0.737	0.737
9	24	108	269	49	0.758	0.758
10	25	116	304	51	0.771	0.771
11	26	120	326	52	0.807	0.807
12	27	128	368	55	0.83	0.83
13	29	147	452	63	0.835	0.835
14	32	177	597	76	0.826	0.826
15	35	214	786	92	0.815	0.815
16	38	255	1012	110	0.805	0.805
17	42	315	1373	137	0.783	0.783
18	46	389	1861	171	0.766	0.766

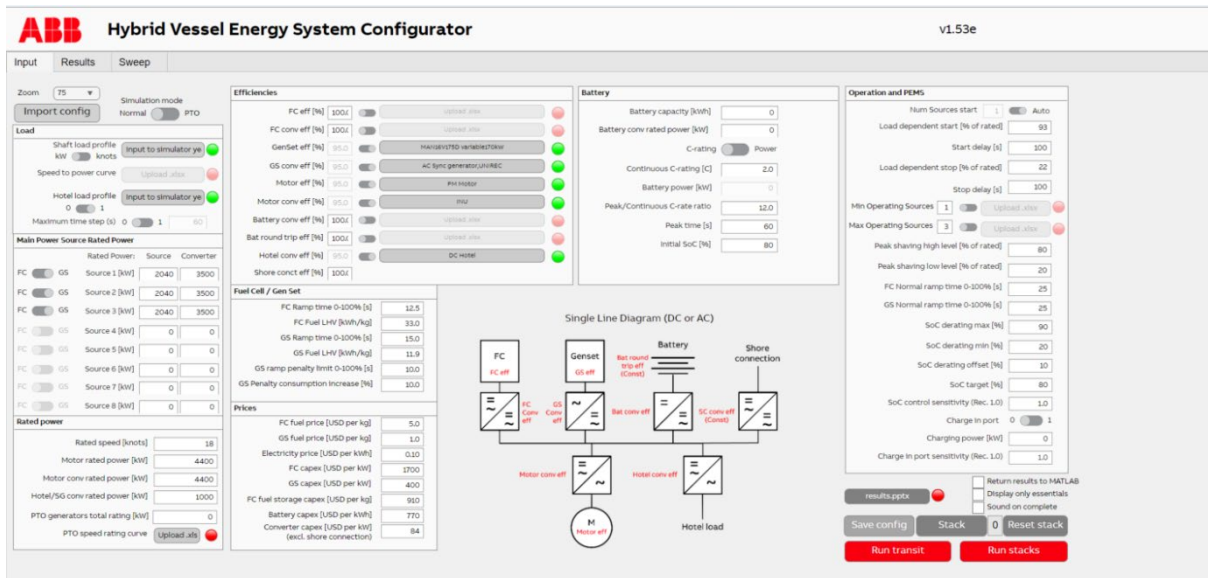


ABB Hybrid Vessel Energy System Configurator v1.53e

Input | Results | Sweep

Zoom: 75 | Simulation mode: Normal | PTO

Load

Shaft load profile: Input to simulator yes

Speed to power curve: Upload file

Hotel load profile: Input to simulator yes

Maximum time step (s): 0 | 1 | 50

Main Power Source Rated Power

Rated Power	Source	Converter
FC	GS	Source 1 (kW): 2040 3500
FC	GS	Source 2 (kW): 2040 3500
FC	GS	Source 3 (kW): 2040 3500
FC	GS	Source 4 (kW): 0 0
FC	GS	Source 5 (kW): 0 0
FC	GS	Source 6 (kW): 0 0
FC	GS	Source 7 (kW): 0 0
FC	GS	Source 8 (kW): 0 0

Rated power

Rated speed (knots): 18

Motor rated power (kW): 4400

Motor conv rated power (kW): 4400

Hotel/SG conv rated power (kW): 1000

PTO generators total rating (kW): 0

PTO speed rating curve: Upload file

Efficiencies

FC eff [%]	GS conv eff [%]	Motor conv eff [%]	Battery conv eff [%]	Hotel conv eff [%]	Shore conv eff [%]
100	100	100	100	100	100

Fuel Cell / Gen Set

FC Ramp time 0-100% [s]	FC Fuel LHV [kJ/kg]	GS Ramp time 0-100% [s]	GS Fuel LHV [kJ/kg]	GS ramp penalty limit 0-100% [s]	GS Penalty consumption increase [%]
12.5	33.0	15.0	11.9	10.0	10.0

Prices

FC fuel price [USD per kg]	GS fuel price [USD per kWh]	Electricity price [USD per kWh]	FC capex [USD per kW]	GS capex [USD per kW]	FC fuel storage capex [USD per kg]	Battery capex [USD per kWh]	Converter capex [USD per kW]
5.0	1.0	0.10	1700	400	910	770	84

Battery

Battery capacity (kWh): 0

Battery conv rated power (kW): 0

C-rating: Power

Continuous C-rating (C): 2.0

Battery power (kW): 0

Peak/Continuous C-rate ratio: 12.0

Peak time (s): 60

Initial SoC [%]: 80

Operation and PEMs

Num Sources start: 1 | Auto

Load dependent start [% of rated]: 93

Start delay (s): 100

Load dependent stop [% of rated]: 22

Stop delay (s): 100

Min Operating Sources: 1 | Upload file

Max Operating Sources: 3 | Upload file

Peak shaving high level [% of rated]: 80

Peak shaving low level [% of rated]: 20

FC Normal ramp time 0-100% [s]: 25

GS Normal ramp time 0-100% [s]: 25

SoC derating max [%]: 90

SoC derating min [%]: 20

SoC derating offset [%]: 10

SoC target [%]: 80

SoC control sensitivity (Rec. 1.0): 1.0

Charge in port: 0 | 1

Charging power (kW): 0

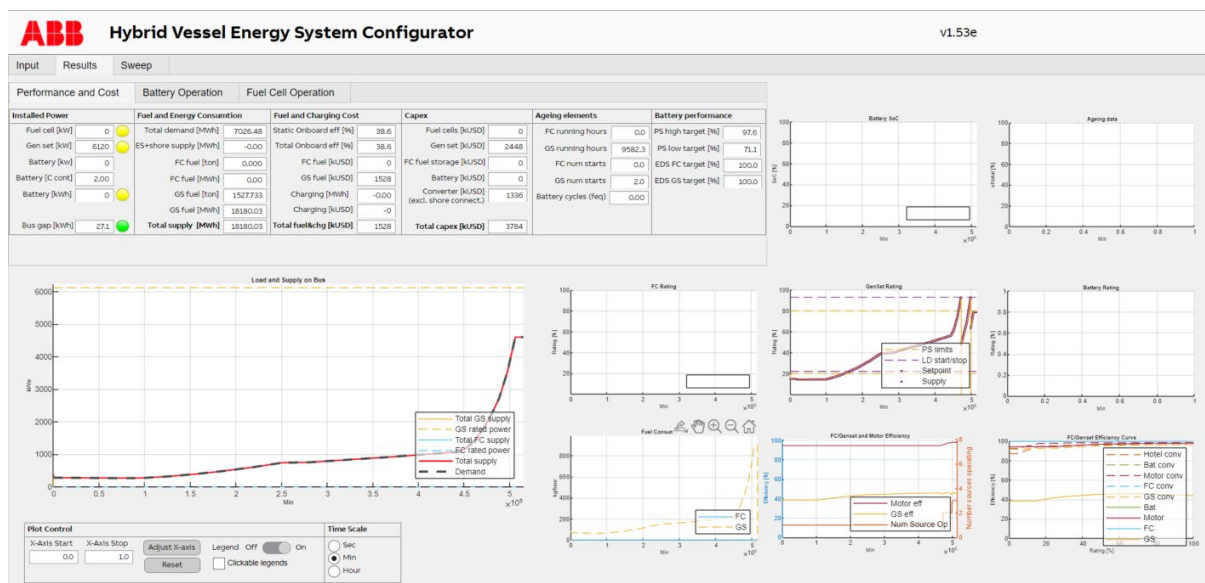
Charge in port sensitivity (Rec. 1.0): 1.0

Single Line Diagram (DC or AC)

Diagram showing power flow between FC, Genset, Battery, and Shore connection. Motor conv eff is shown for the motor and hotel load.

Results

results.pptx | Save config | Stack | Run transit | Run stacks



Konsept B – DC grid, batterisystem med Podded propulsjon

Power kurve:

2x Azipod						
DO980P						
2.85m						
2.85m						
wt	0.1					
thd	0.1					
Vsc	N	Q	Pd/unit	Thr/unit	EtaO	EtaD
knots	rpm	kNm	kW	kN		
1	34	3	11	8	0.336	0.336
2	50	6	34	16	0.429	0.429
3	64	10	67	24	0.488	0.488
4	77	14	110	31	0.529	0.529
5	88	18	162	39	0.561	0.561
6	99	21	224	47	0.586	0.586
7	103	21	231	45	0.631	0.631
8	110	23	268	47	0.653	0.653
9	117	25	304	49	0.67	0.67
10	125	26	344	51	0.68	0.68
11	132	28	384	52	0.685	0.685
12	140	30	446	55	0.685	0.685
13	151	35	552	63	0.685	0.685
14	164	42	720	76	0.685	0.685
15	178	50	935	92	0.685	0.685
16	192	59	1191	110	0.684	0.684
17	208	72	1577	137	0.682	0.682
18	227	89	2104	171	0.678	0.678

ABB Hybrid Vessel Energy System Configurator v1.53e

Input Results Sweep

Zoom 75 Simulation mode Normal PTO

Import config

Load

Shaft load profile kW knots Input to simulator yes

Speed to power curve Upload file

Hotel load profile 0 1 Input to simulator yes

Maximum time step (s) 0 1 60

Main Power Source Rated Power

FC	GS	Source	Rated Power	Source	Converter
FC	GS	Source 1 [kW]	2040	3500	
FC	GS	Source 2 [kW]	2040	3500	
FC	GS	Source 3 [kW]	2040	3500	
FC	GS	Source 4 [kW]	0	0	
FC	GS	Source 5 [kW]	0	0	
FC	GS	Source 6 [kW]	0	0	
FC	GS	Source 7 [kW]	0	0	
FC	GS	Source 8 [kW]	0	0	

Bated power

Rated speed [knots] 18

Motor rated power [kW] 4400

Motor conv rated power [kW] 4400

Hotel/SG conv rated power [kW] 1000

PTO generators total rating [kW] 0

PTO speed rating curve Upload file

Efficiencies

FC eff [%] 100% Upload file

FC conv eff [%] 100% Upload file

GenSet eff [%] 95.0 Manual/PTO generator/REC

GS conv eff [%] 95.0 AC type generator/REC

Motor eff [%] 95.0 PTO motor

Motor conv eff [%] 95.0 PTO

Battery conv eff [%] 100% Upload file

Bat round trip eff [%] 100% Upload file

Hotel conv eff [%] 95.0 Upload file

Shore conv eff [%] 100% Upload file

Fuel Cell / Gas Set

FC Ramp time 0-100% [s] 12.5

FC Fuel LHV [kJ/kg] 33.0

GS Ramp time 0-100% [s] 15.0

GS Fuel LHV [kJ/kg] 11.9

GS ramp penalty limit 0-100% [s] 30.0

GS Penalty consumption increase [%] 30.0

Prices

FC fuel price [USD per kg] 5.0

GS fuel price [USD per kg] 1.0

Electricity price [USD per kWh] 0.10

FC capex [USD per kW] 1700

GS capex [USD per kW] 400

FC fuel storage capex [USD per kg] 900

Battery capex [USD per kWh] 770

Converter capex [USD per kW] (excl. shore connection) 84

Battery

Battery capacity [kWh] 0

Battery conv rated power [kW] 0

C-rating Power

Continuous C-rating [C] 2.0

Battery power [kW] 0

Peak/Continuous C-rate ratio 12.0

Peak time [s] 60

Initial SoC [%] 80

Operation and FEMS

Num Sources start 1 Auto

Load dependent start [% of rated] 93

Start delay [s] 100

Load dependent stop [% of rated] 22

Stop delay [s] 100

Min Operating Sources 1 Upload file

Max Operating Sources 3 Upload file

Peak shaving high level [% of rated] 80

Peak shaving low level [% of rated] 20

FC Normal ramp time 0-100% [s] 25

GS Normal ramp time 0-100% [s] 25

SoC derating max [%] 90

SoC derating min [%] 20

SoC derating offset [%] 10

SoC target [%] 80

SoC control sensitivity (Rec. 1.0) 1.0

Charge in port 0 1

Charging power [kW] 0

Charge in port sensitivity (Rec. 1.0) 1.0

Single Line Diagram (DC or AC)

FC eff

GenSet GS eff

Battery

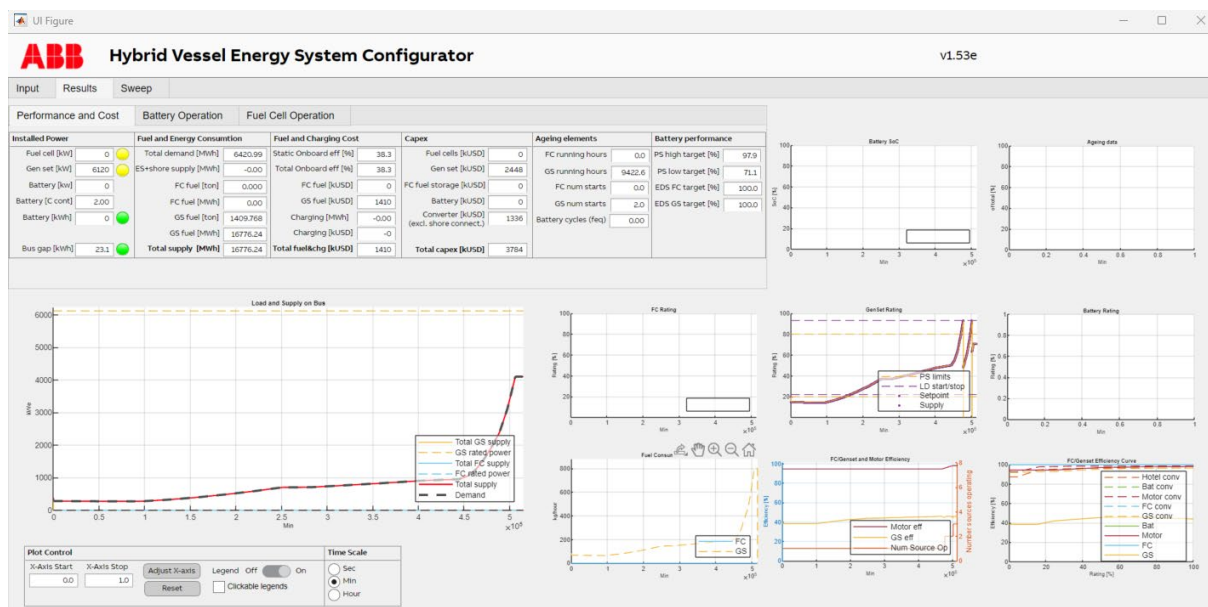
Shore connection

Motor conv eff

Hotel conv eff

Hotel load

Run transect Run stacks



Konsept C – CPP Twin shaftline uten hotelload

Power curve:

2xShaftline CPP 3.5m ³						
wt	0.14					
thd	0.14					
Vsc	N	Q	Pd/prop	Thr/prop	EtaO	EtaD
knots	rpm	kNm	kW	kN		
1	22	6	13	9	0.312	0.312
2	32	11	39	18	0.411	0.411
3	42	17	75	27	0.474	0.474
4	50	23	122	36	0.52	0.52
5	58	30	179	45	0.556	0.556
6	65	36	245	54	0.583	0.583
7	68	35	251	51	0.634	0.634
8	73	37	288	54	0.662	0.662
9	78	40	325	56	0.684	0.684
10	84	42	365	58	0.7	0.7
11	89	43	403	59	0.712	0.712
12	95	47	464	63	0.718	0.718
13	102	54	572	72	0.72	0.72
14	111	65	749	87	0.717	0.717
15	120	78	977	105	0.715	0.715
16	129	92	1248	125	0.712	0.712
17	140	113	1663	156	0.705	0.705
18	152	140	2233	195	0.696	0.696

*9% increase in resistance

ABB Hybrid Vessel Energy System Configurator v1.53e

Input Results Sweep

Zoom 75 Simulation mode Normal PTO

Import config

Load

Shift load profile ☐ knots ☐ Input to simulator yes

Speed to power curve ☐ Upload file

Hotel load profile ☐ Upload file

Maximum time step (s) 0 1 60

Main Power Source Rated Power

Rated Power	Source	Converter
FC 1 (kW)	Source 1 (kW)	4000 4500
FC 2 (kW)	Source 2 (kW)	4000 4500
FC 3 (kW)	Source 3 (kW)	0 0
FC 4 (kW)	Source 4 (kW)	0 0
FC 5 (kW)	Source 5 (kW)	0 0
FC 6 (kW)	Source 6 (kW)	0 0
FC 7 (kW)	Source 7 (kW)	0 0
FC 8 (kW)	Source 8 (kW)	0 0

Rated power

Rated speed (knots) 25

Motor rated power (kW) 5000

Motor conv rated power (kW) 5000

Hotel/SG conv rated power (kW) 850

PTO generators total rating (kW) 0

PTO speed rating curve ☐ Upload file

Efficiencies

FC eff (%) 40.0 HTU8000 shaftline

FC conv eff (%) 100.0

GenSet eff (%) 40.0 HTU8000 shaftline

GS conv eff (%) 100.0 AC sync generator

Motor eff (%) 100.0

Motor conv eff (%) 100.0

Battery conv eff (%) 100.0

Bat round trip eff (%) 100.0

Hotel conv eff (%) 100.0

Shore conv eff (%) 100.0

Fuel Cell / Gen Set

FC Ramp time 0-100% (s) 12.5

FC Fuel LHV (kJ/kg) 11.9

GS Ramp time 0-100% (s) 20.0

GS Fuel LHV (kJ/kg) 11.9

GS ramp penalty limit 0-100% (s) 10.0

GS Penalty consumption increase (%) 10.0

Prices

FC fuel price (USD per kg) 1.0

GS fuel price (USD per kg) 1.0

Electricity price (USD per kWh) 0.10

FC capex (USD per kW) 0

GS capex (USD per kW) 0

FC fuel storage capex (USD per kg) 0

Battery capex (USD per kWh) 0

Converter capex (USD per kW) (incl. shore connection) 0

Battery

Battery capacity (kWh) 0

Battery conv rated power (kW) 6000

C-rating Power

Continuous C-rating (C) 1.0

Battery power (kW) 0

Peak/Continuous C-rate ratio 1.0

Peak time (s) 60

Initial SoC (%) 80

Operation and PEMs

Num Sources start 2 Auto

Load dependent start (% of rated) 93

Start delay (s) 120

Load dependent stop (% of rated) 50

Stop delay (s) 120

Min Operating Sources 2

Max Operating Sources 2

Peak shaving high level (% of rated) 80

Peak shaving low level (% of rated) 20

FC Normal ramp time 0-100% (s) 25

GS Normal ramp time 0-100% (s) 25

SoC derating max (%) 90

SoC derating min (%) 20

SoC derating offset (%) 10

SoC target (%) 80

SoC control sensitivity (Rec. 1.0) 1.0

Charge in port 0 1

Charging power (kW) 0

Charge in port sensitivity (Rec. 1.0) 1.0

Return results to MATLAB ☐

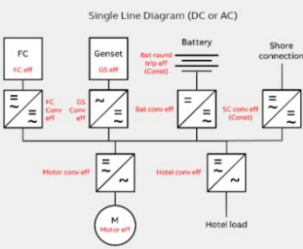
Display only essentials ☐

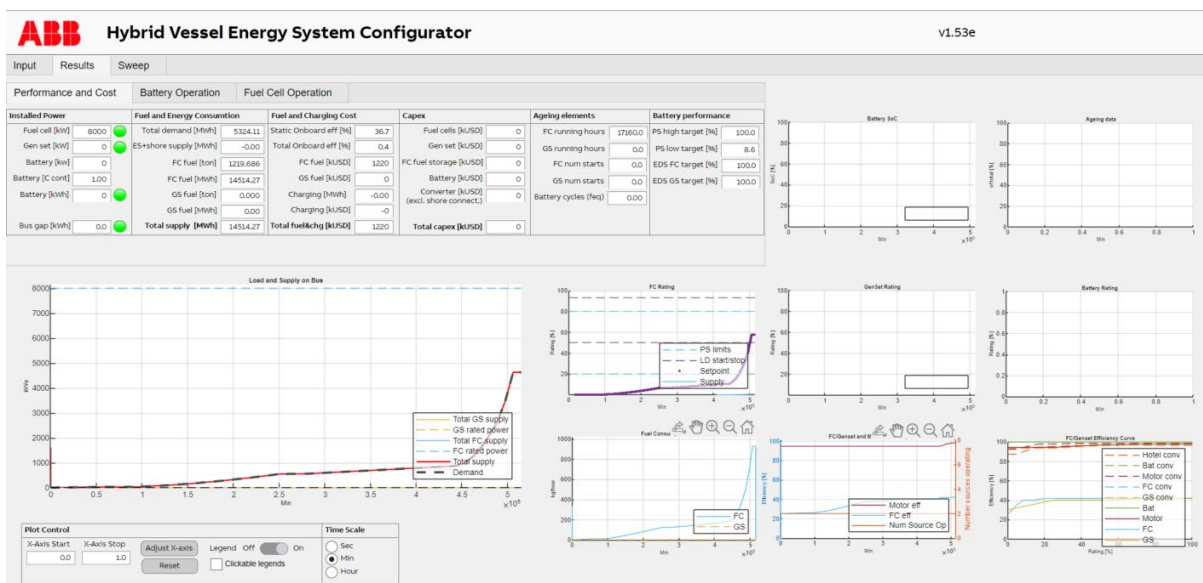
Sound on complete ☐

Save config Stack 0 Reset stack

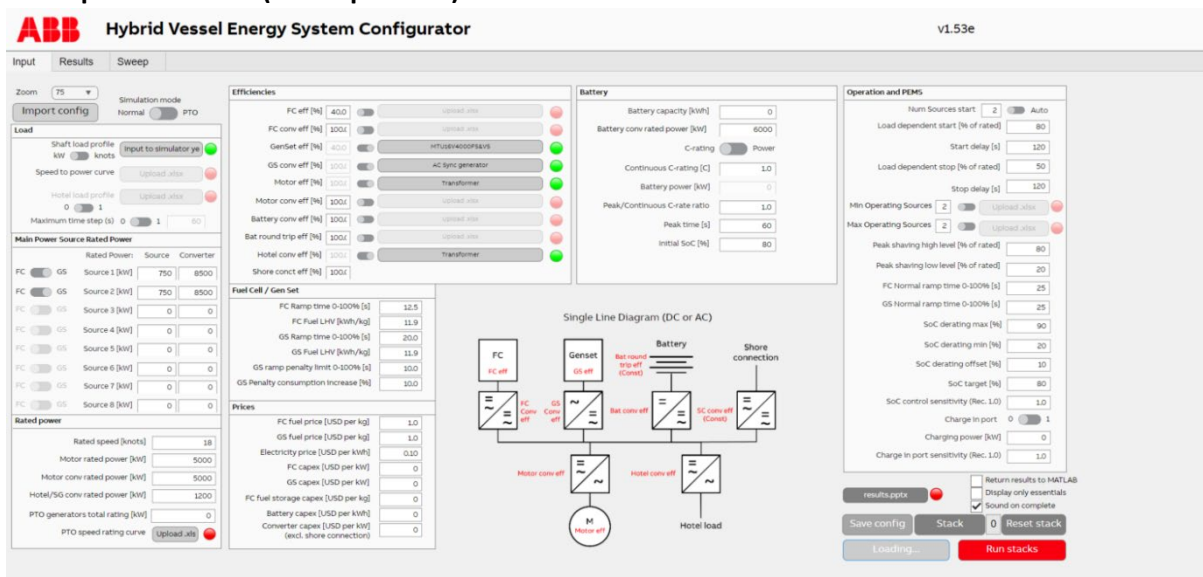
Loading... Run stacks

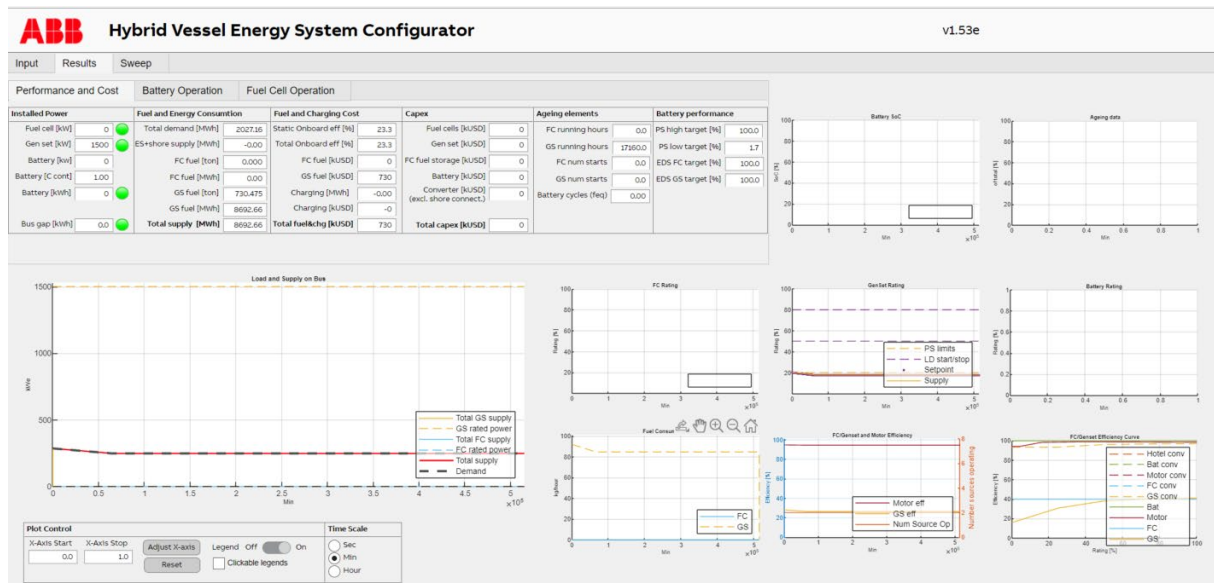
Single Line Diagram (DC or AC)





Konsept C Hotelload (fixed speed AC)





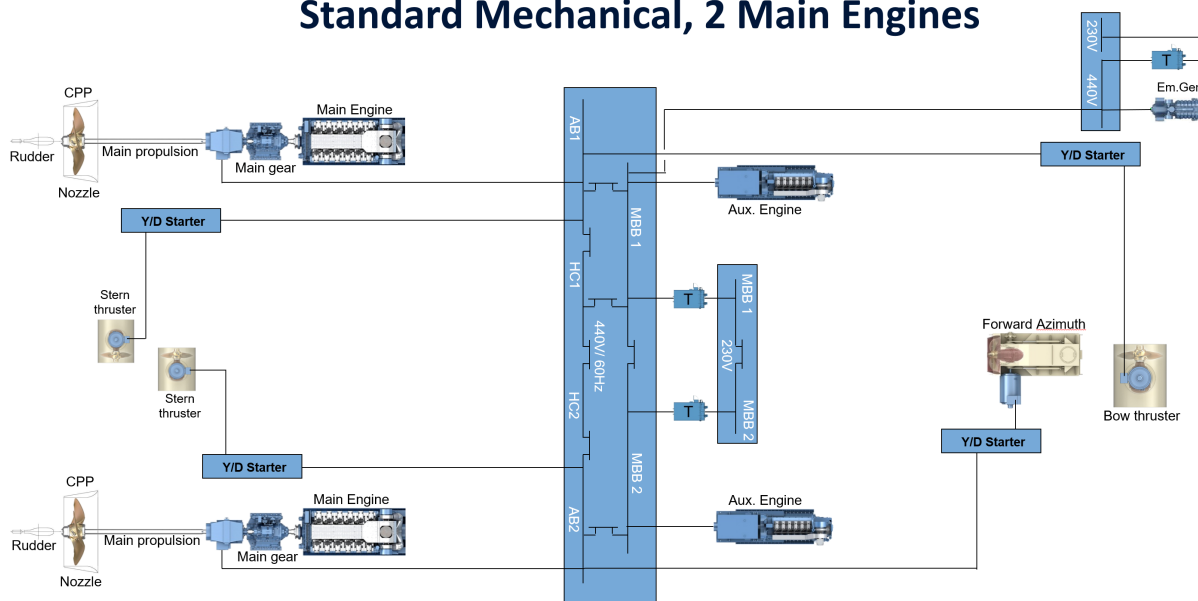
Alternative oppsett av elektro og propulsjon samt tiltak for å redusere energibruk

9.1.1.1 Hoved-alternativer for oppsett av Elektro og Propulsjon

I kapitlene nedenfor gis informasjon om hovedalternativer for oppsett av elektro og propulsjon. Disse alternativene dekker utvikling fra ca 2000 (standard mekanisk) og videre til de mest moderne som diesel-elektriske og hybridfartøy gjerne med DC.

9.1.1.1.1 Standard Mekanisk oppsett

Standard Mechanical, 2 Main Engines



Figur 0-1: Basis Systemoppsett for sammenligning

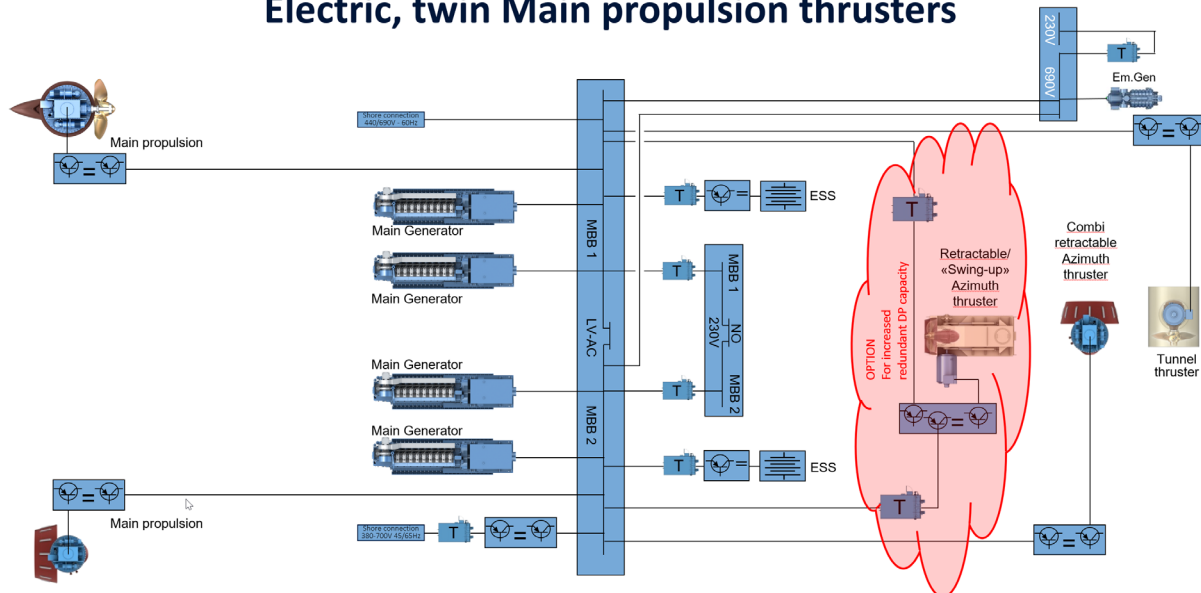
Referanse for sammeligning:

Standard diesel mekanisk system, fast turtall med variabel pitch for alle sidethrustere.

2 x Hjelpgeneratorer + 2 x Akselgeneratorer.

9.1.1.1.2 Elektrisk fremdrift med Hoved thrustere

Electric, twin Main propulsion thrusters

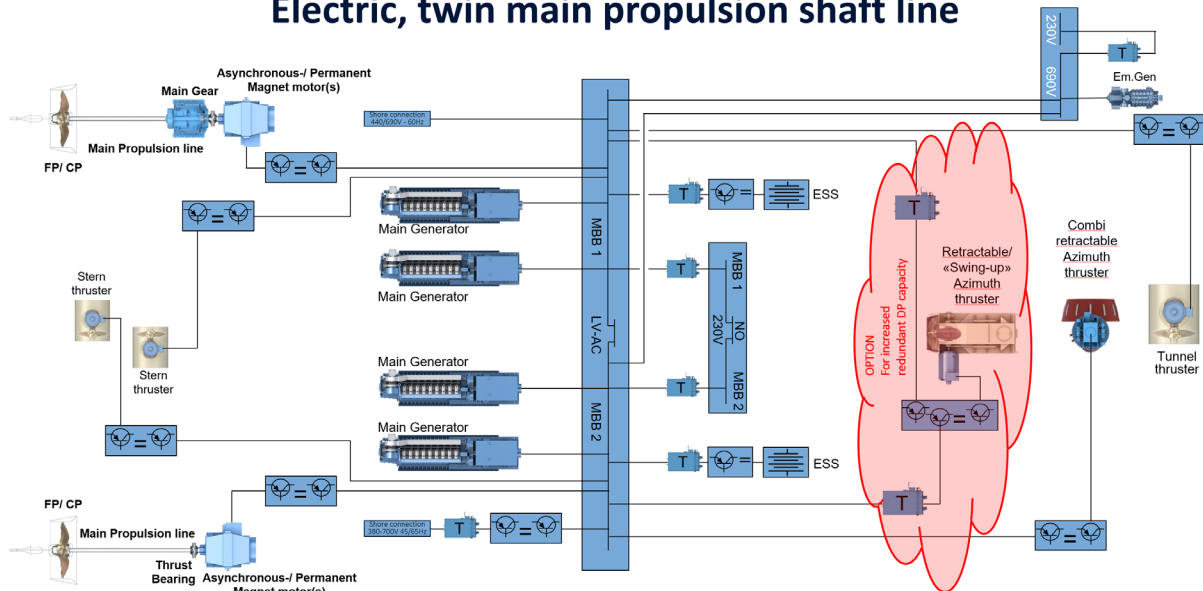


Figur 0-2: Elektrisk system med Azimuth hoved fremdrift

- Standard todelt AC hovedtavle med fast spenning og frekvens, normalt 440/690V - 60Hz. Dobbelt mating mellom hovedtavle og nødtavle, for «dead ship recovery» selv med ene hovedtavle seksjon utilgjengelig.
- To eller flere hoved kraftkilder (generatorer), samt minst en nødkraft kilde (generator).
- Utrustet med landtilkobling, enten for en fast landstrøms e.g. 440V/60HZ eller en løsning som via transformator og en frekvenskonverter kan ta imot mange spenninger og frekvenser og levere korrekt spenning frekvens til hovedtavla.
- Kan utrustes med batteri for energilagring via DC/AC converter og transformator. Mange forskjellige konfigureringer tilgjengelig, her vist med to uavhengige system.
- To-split redundans, det skisserte systemet tilfredsstiller DP2 krav til separasjon og uavhengighet.
- Kan utrustes med alle typer hoved- og baug thrustere. Normalt ikke behov for side thrustere akter da hoved thrustere kan avgi thrust i alle retninger. Thrustere kan være både FP og CP etter ønske og tilgjengelighet.
- Største fordelen med frekvensstyrte thrustere er reduserte tap ved midlere og lavere belastninger.

9.1.1.1.3 Rette aksel linjer med elektrisk drift

Electric, twin main propulsion shaft line

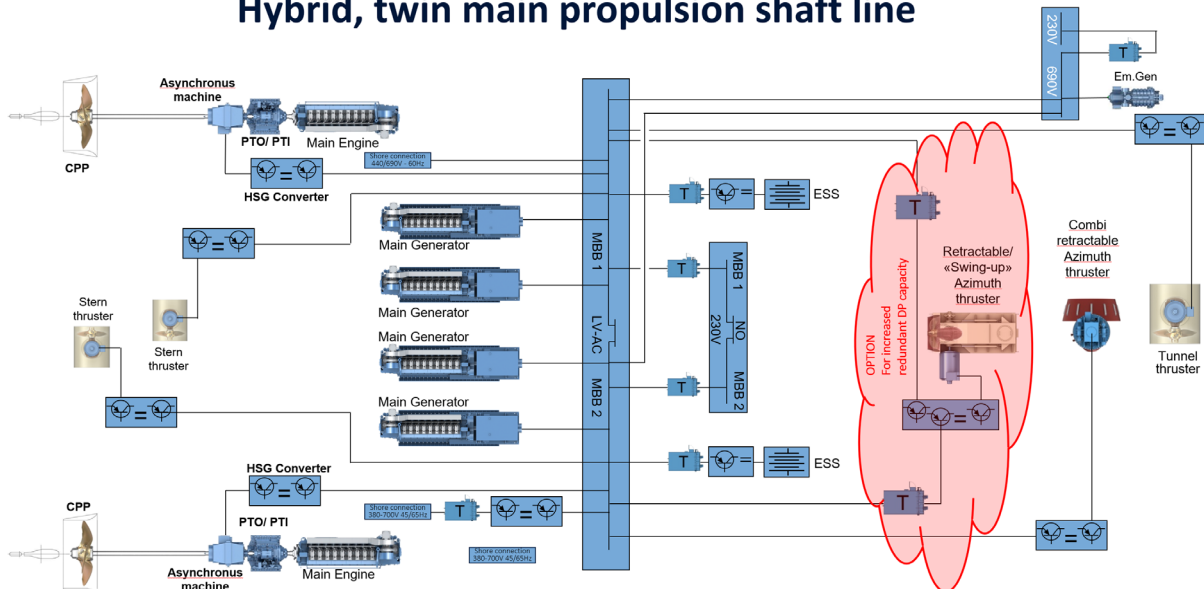


Figur 0-3: Elektrisk system med elektrisk drift på hovedpropellere

- Standard todelt AC hovedtavle med fast spenning og frekvens, normalt 440/690V - 60Hz. Dobbelt mating mellom hovedtavle og nødtavle, for «dead ship recovery» selv med ene hovedtavle seksjon utilgjengelig.
- To eller flere hoved kraftkilder (generatorer), samt minst en nødkraft kilde (generator).
- Utrustet med landtilkobling, enten for en fast landstrøms e.g. 440V/60HZ eller en løsning som via transformator og en frekvenskonverter kan ta imot mange spenninger og frekvenser og levere korrekt spenning frekvens til hovedtavla.
- Kan utrustes med batteri for energilagring via DC/AC konverter og transformator. Mange forskjellige konfigureringer tilgjengelig, her vist med to uavhengige system.
- To-split redundans, det skisserte systemet tilfredsstiller DP2 krav til separasjon og uavhengighet.
- Kan utrustes med alle typer side thrustere. Thrustere kan være både FP og CP etter ønske og tilgjengelighet.
- Største fordelene med frekvensstyrte thrustere er reduserte tap ved midlere og lavere belastninger.
- Hoved propellere er elektrisk drevet enten direkte eller via hovedgear. Her er hvert aksel arrangement skissert med enkel elmotor/ gear for hver side, men kan også arrangeres med to motorer i serie inn på et enkelt gir eller i parallell inn på et dobbelt gear.

9.1.1.1.4 Rette aksel linjer med hybrid drift, Mekanisk med Elektrisk PTO/PTI

Hybrid, twin main propulsion shaft line



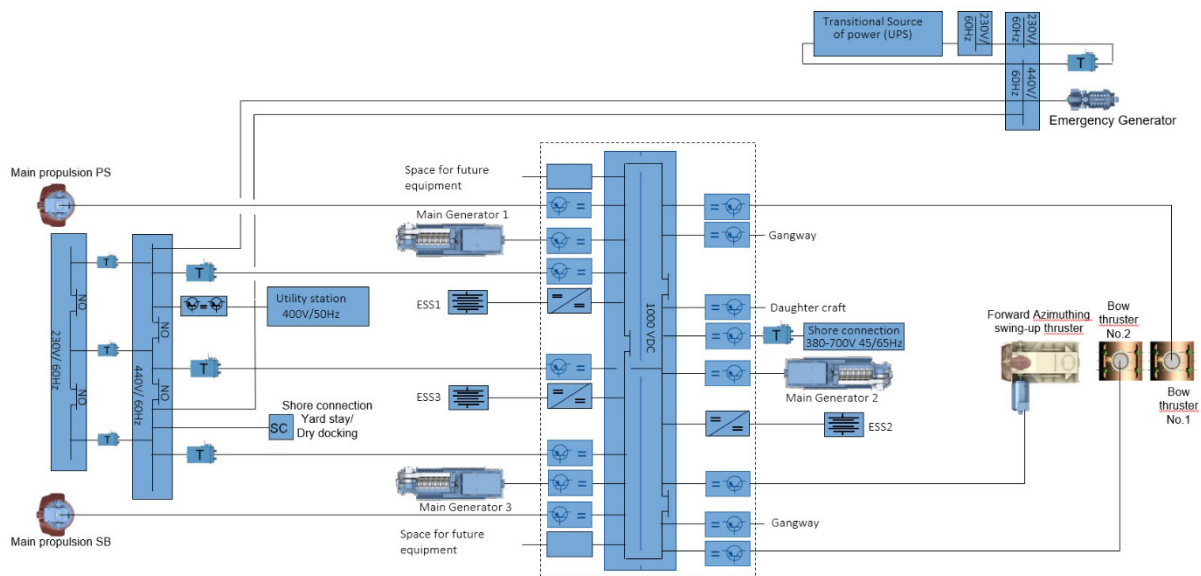
Figur 0-4: Elektrisk system med Hybrid drift på hovedpropellere

- Standard todelt AC hovedtavle med fast spenning og frekvens, normalt 440/690V - 60Hz. Dobbelt mating mellom hovedtavle og nødtavle, for «dead ship recovery» selv med ene hovedtavle seksjon utilgjengelig.
- To eller flere hoved kraftkilder (generatorer), samt minst en nødkraft kilde (generator).
- Utrustet med landtilkobling, enten for en fast landstrøms e.g. 440V/60HZ eller en løsning som via transformator og en frekvenskonverter kan ta imot mange spenninger og frekvenser og levere korrekt spenning frekvens til hovedtavla.
- Kan utrustes med batteri for energilagring via DC/AC converter og transformator. Mange forskjellige konfigureringer tilgjengelig, her vist med to uavhenginge system.
- To-split redundans, det skisserte systemet tilfredstiller DP11 krav til separasjon og uavhengighet.
- Kan utrustes med alle typer side thrustere. Thrustere kan være både FP og CP etter ønske og tilgjengelighet.
- Største fordelene med frekvensstyrte thrustere er reduserte tap ved midlere og lavere belastninger.
- Hoved propellere er satt opp med et hybrid elektrisk drivsystem der Hovedgear er satt opp med en PTO/PTI med både primær og sekundær clutch som muliggjør:
 - Ren elektrisk drift. (PTI mode)
 - Ren mekanisk drift av hovedpropell (variable rpm), generatorsett leverer kraft til hovedtavle. (DM mode)
 - Ren mekanisk drift av hovedpropell (variable rpm), HSG maskin leverer kraft til hovedtavle via HSG frekvenskonverter. Generatorsett står i standby. (PTO mode)
 - Hybrid drift der både hovedmotor og HSG maskin mater inn til gearet og ut til propell. (BOOST mode)

9.1.1.1.5 Elektrisk propulsjon, DC system

DC – Et alternativ til AC løsning som tillater generatorsett som går med variabelt turtall. Moderne DC grid systemer ble utviklet i Norge rundt 2010 og har i mange fartøystyper etablert seg som en must-have grunnet OPEX besparelser for kommersielle skip. I de siste årene har systemet også etablert seg på “grå” skip.

Electric 1000VDC, Twin Main propulsion thrusters



Figur 0-5: Elektrisk system med Hybrid DC drift på hovedpropellere

- 1000V DC distribusjonssystem dvs uavhengig av frekvens. Dobbel mating mellom hovedtavle (AC) og nødtavle, for «dead ship recovery» selv med ene hovedtavle seksjon utilgjengelig.
- Bruker AC motorer og generatorer, DC kun på hoved distribusjon
- Gensets kjøres på variabelt turtall, noe som gjør at diesel jobber i det mest optimale turtalsområdet hele tiden.
- Kan enkelt utrustes med batteri for energilagring direkte på DC linken, enten direktekoblet med variabel DC spenning eller via DC/DC konvertering med fast DC spenning som vist over.
- Kan gi besparelser i vekt og dimensjon i forhold til elektriske AC løsninger
- Bedre OPEX og mindre vedlikehold på diesel gensets.
- To eller flere hoved kraftkilder (generatorer), med mulighet for en nødkraft kilde (generator).
- Utrustet med landtilkobling, enten for en fast landstrøms e.g. 440V/60HZ eller en løsning som via transformator og en frekvenskonverter kan ta imot mange spenninger og frekvenser og levere korrekt spenning frekvens til hovedtavla.
- Her vist med tre-split (ring) redundans, det skisserte systemet tilfredsstillere DP2 krav til separasjon og uavhengighet.
- Kan utrustes med alle typer hoved- og baug thrustere. Normalt ikke behov for side thrustere akter da hoved thrustere kan avgi thrust i alle retninger. Thrustere kan være både FP og CP etter ønske og tilgjengelighet.
- Største fordelene med frekvensstyrte thrustere er reduserte tap ved midlere og lavere belastninger og støysignatur.

9.1.1.2 Valg for å redusere energiforbruk

I kapitlene nedenfor gis informasjon om ulike muligheter for å optimalisere energiforbruket ombord på skipene. Det anbefales at disse evalueres i det videre arbeidet når det finnes bedre detaljer som designalternativer samt operasjonsprofiler og at det gjøres mer detaljerte analyser. Per i dag så er det for lite informasjon tilgjengelig og det er for mange variable til at man kan få gjennomført relevante analyser/simuleringer.

9.1.1.2.1 Landtilkoblinger

Fast landspenning e.g. 440V-60Hz, landstrømsanlegg som kan ta en eller flere faste spenninger inn til skipets hovedtavle, enten direkte eller via en transformator for galvanisk skille og/eller spenningstilpassing. Dette betinger at frekvensen på landspenning samsvarer med skipets frekvens slik at man i Europa med 50Hz landstrøm er avhengig av et tilpasset landstrømsanlegg for 60Hz.

Variabel landspenning e.g. 380-700V – 50/60Hz. Samme som over, men her kjøres landstrøm via frekvenskonvertering slik at man får korrekt spenning og frekvens inn på hovedtavle med spenningsvariasjoner innenfor et relativt vidt spekter. Kan ta imot nesten alle normerte LV spenninger, men får et ekstra tapsledd grunnet frekvenskonverteringen.

9.1.1.2.2 Elektrisk Energilagring

Batteri

Energilagring for forbedret operasjon av forbrenningsmotorer, gjelder først og fremst for dieselelektriske og hybride fartøy som eksemplene vist over. Kan alt etter dimensjonering og konfigurering brukes til lastglatting (peakshaving er også brukt som begrep), ren batteridrift i havn eller under seiling, redundant energikilde ved generatorfeil og tavlefeil, strategisk kjøring av generatorsett i.e. veksle mellom 1 eller flere generatorsett operative på en slik måte at man kjører med optimal last på generatorsett. Kan også brukes til å ta lagre eventuell retureffekt fra kraner etc..

Kondensatorer

I prinsippet samme som over, normalt raskere, men med lavere energi.

Roterende masse

Her bruker man svinghjul til å lagre energi. i.e. ved hjelp av frekvenskonvertere og elektriske maskiner koblet til en svingmasse der man bruker overskuddsenergi til å spinne svinghjulet opp i turtall og ved underskudd på energi henter man energi fra svinghjulet og tilbake til tavla.

9.1.1.2.3 Tunnel thrustere

Standard CP/FP

FP- færre bevegelige deler som kan svikte.

CP- mer fleksibel i forhold til varierende operasjon/ last, slipper også å snu dreieretning noe som gir raskere respons enn en FP thruster

Asynkron motorer/ PM motorer

Asynkron motorer- Robuste maskiner, men med lavere virkningsgrad enn PM maskiner.

Normalt også noe lengre enn PM maskiner som kan gi arrangementsmessige utfordringer, spesielt med vertikalt monterte maskiner for eksempel for opptrekkbare thrustere.

PM maskiner

Høyere virkningsgrad enn asynkronmaskiner, spesielt ved lavere belastning.

Nyere teknologi som gir noen arrangementsmessige fordeler grunnet kortere byggelengde enn andre elektriske maskiner.

RIM teknologi

Thrusterer der PM motor er en integrert del av thrusteruniten, rotor er propell med permanentmagneter og stator er bygget inn i kapsling som ligger rundt propellen. Thrusteren er uten gear og har dermed reduserte mekaniske tap og får et betydelig forbedret støybilde sammenlignet med en standard thruster med vinkelgear.

[9.1.1.2.4 Oppsvingbare/ Opptrekkbare thrustere](#)

Standard CP/FP

FP- færre bevegelige deler som kan svikte.

CP- mer fleksibel i forhold til varierende operasjon/ last.

Asynkron motorer/ PM motorer

Se 9.1.1.2.3.

PM maskiner

Høyere virkningsgrad enn asynkronmaskiner, spesielt ved lavere belastning.

Nyere teknologi som gir noen arrangementsmessige fordeler grunnet kortere byggelengde enn andre elektriske maskiner.

[9.1.1.2.5 Hoved thrustere](#)

Standard CP/FP

FP- færre bevegelige deler som kan svikte.

CP- mer fleksibel i forhold til varierende operasjon/ last. i.e. Seiling, tauing, posisjonering, dypgang

Asynkron motor/ PM motor

Se 9.1.1.2.3.

RIM teknologi

Thrusterer der PM motor er en integrert del av thrusteruniten, rotor er propell med permanentmagneter og stator er bygget inn i dysa som ligger rundt propellen. Thrusteren er uten gear og har dermed reduserte mekaniske tap og får et betydelig forbedret støybilde sammenlignet med en standard thruster med vinkelgear.

[9.1.1.2.6 Aksel linjer](#)

Konvensjonell Mekanisk

Klassisk fremdriftslinje med en eller flere forbrenningsmotorer som driver en eller flere propellere via en eller flere gearbokser. Kan være utrustet med rene akselgeneratorer som betinger CP propell og mulighet for fast rpm for å nyttiggjøre seg av akselgenerator i seilingsoperasjoner. Løsningen fungerer godt for et fartøy som i hovedsak seiler med tilnærmet optimal fart og dypgang, men «taper» mot elektriske og hybride løsninger der større deler av operasjonene er med redusert belastning på hovedpropellene.

Elektrisk

Frekvens styrte elektriske fremdriftsmotorer som enten direkte eller via gearbokser driver fartøyets hovedpropellere.

Ved direktedrift fra asynkronmaskiner blir motorene relativt store da man gjerne bruker en standard 600 rpm motor som blir kjørt på kanskje maksimum 150 rpm, noe som gir en dårlig utnyttelse av instalert anlegg, eller så må det brukes mer spesial motorer.

På slike anlegg kan PM motorer være et godt alternativ på anlegg med to fremdriftslinjer.

Det blir på grunn av PM maskinenes konstruksjon/ virkemåte litt ekstra utfordringer med redundans krav på elektriske fremdriftslinjer med en fremdriftslinje uten bruk av gir.

Hybrid

Er en kombinasjon av de to overstående der man har forbrenningsmotorer som via et hovedgear driver propellene. På denne løsningen kan girene være utrustet med PTO/PTI løsning som muliggjør flere operasjonsmoder.

- Ren mekanisk operasjon, der Hovedmotorer driver propellene alene. Hovedmotorer sørger for propulsjon og generatorsett sørger for elektrisk kraft.
- Ren elektrisk PTI operasjon, der de elektriske maskinene driver propellene. Generatorsett sørger for elektrisk kraft til hovedtavler og via tavler og frekvenskonvertere til fremdriftsmotorer.
- Mekanisk operasjon med PTO der Hovedmotorer både driver propellene og via PTO, El. maskiner og frekvenskonvertere leverer kraft til hovedtavle.
- Mekanisk «boost» mode der hovedmotorer og frekvenskonvertere/El. maskiner via PTI leverer maksimal effekt til propellene.
- Kombinasjon PTO/PTI der den ene fremdriftslinja kjører «Mekanisk operasjon med PTO» og den andre kjører «elektrisk PTI operasjon». Da vil det førstnevnte systemet drive sin propell samt levere elektrisk kraft til hovedtavla, som i sin tur sørger for kraft til de elektriske forbrukerne om bord inkludert den andre fremdriftslinja som opererer i PTI mode. (alternativt kan det anordnes en DC kobling mellom de to drivene slik at man slipper å kjøre all PTI effekt over hovedtavla.).

9.1.1.2.7 Varmegjenvinning

Høg temperatur kjølevann

For generelle varmtvanns og oppvarmingsfunksjoner e.g. HVAC

Lav temperatur kjølevann

Kan brukes til Anti-/ Avising, samt generelle oppvarmingsbehov (vannbåren varme)

Kan via spesiell varmepumpe teknologi brukes til kjøling av «Chilled Water» system.

Eksoskjele

For generelle varmtvanns og oppvarmingsfunksjoner, varmelagring og «Varme til Elektrisk energi»

9.1.1.2.8 Energigjenvinning

Elektrisk retureffekt fra kraner og andre roterende masser.

9.1.1.2.9 Varme og/eller kulde lagring

Isolerte tanker for lagring av termisk energi (varme og /eller kulde).

9.1.1.2.10 Varme til Elektrisk energi

Produsere Elektrisk energi fra varmtvann («heat to power»).

9.1.1.2.11 Effektive Elektriske maskiner

Motorer med høyere Effektivitetsklasser IE1 - IE5

Permanent Magnet motorer

EU har implementert strenge regler for å forbedre energieffektiviteten til elektriske motorer. Her er noen viktige punkter:

IE4 Effektivitetskrav: Fra 1. juli 2023 må elektriske induksjonsmotorer med en nominell effekt mellom 75 kW og 200 kW oppfylle IE4-effektivitetsnivået. Dette er kjent som "Super Premium Efficiency."

Utvidet Omfang: Regelverket dekker nå motorer med effektområder fra 0,12 kW til 1000 kW, inkludert 8-pols motorer.

Variable Hastighetsdrifter: Effektiviteten til variable hastighetsdrifter (VSD) er også regulert, med maksimale energitap spesifisert ved IE2. (variabel hastighet brukes typisk for motorer hvor behovet endres gjennom en operasjon som sjøvannspumper og maskinromsvifter, mens for annet utstyr vil det være mer effektivt med fast turtall som ferskvannspumper).

Informasjonskrav: Motorer og drifter må oppgi effektivitetsverdier ved forskjellige belastningspunkter for å hjelpe med å optimalisere energibruken.

Disse tiltakene er en del av EUs innsats for å redusere energiforbruk og CO₂-utslipp, og bidrar betydelig til kampen mot klimaendringer.

Det kommer nå også IE 5 motorer som anbefales spesifisert på laster som går ofte, se eksempel på CAPEX og OPEX savings med høyeffektive elektromotorer i ref [38].

[9.1.1.2.12 Andre løsninger som ikke adresseres videre](#)

Det jobbes også med en rekke andre løsninger for å redusere energiforbruket i sivil skipsfart som:

- Vind Assistert Seiling
- Stabilisator finner
- Wave foils
- Wave-piercing skrogutforming
- Luft-smøring av skrog (air-lubrication)

Relevans av disse for prosjektet bør vurderes som del av de anbefalte mer detaljerte analysene.

Input benyttet i Total Cost of Ownership modellen

Følgende variable er benyttet i TCO-modellen (worksheet «Vessel Configurator»):

Critical levers				
Critical levers	Scenario	Level	Unit	Comment
CO ₂ pricing	Flat	*)	USD/tCO ₂	Added cost of CO ₂ emissions
Green financing	0 %			Penalty on interest rates (financing)
Electricity cost	Swing			Critical lever on - reducing electricity cost further
Fuel cell advancements	Path we are on			Eff. grows from 50-60% in 2050, CAPEX reduces -1% p.a.
Oil price scenario	Path we are on			Forward curve on oil price from June 2021

*) Se Tabell 5-5 for CO₂-prising som er benyttet i analysene.

	Vessel configurations					
	Vessel 1	Vessel 2	Vessel 3	Vessel 4	Vessel 5	Vessel 6
Vessel type	Container					
Size	Medium					
Region of bunkering	Europe					
Annual Canal Transits	0					
Main engine	ICE LNG	ICE LNG	ICE Methanol	ICE Methanol	ICE Methanol	ICE Ammonia
Fuel type 1 ME	LSFO	LNG	e-Methanol (PS)	e-Methane (PS)	Biomethanol	e-Ammonia
Fuel type 2 ME			Biodiesel (Pyr)	Biodiesel (Pyr)	Biodiesel (Pyr)	Biodiesel (Pyr)
Fuel type 1 ME, %	100 %	100 %	95 %	95 %	95 %	95 %
Auxiliary engine	ICE LNG	ICE LNG	ICE Methanol	ICE Methanol	ICE Methanol	ICE Ammonia
Fuel type AU	LSFO	LNG	e-Methanol (PS)	e-Methane (PS)	Biomethanol	e-Ammonia
Fuel Type Boiler	LSFO	LNG	e-Methanol (PS)	e-Methane (PS)	Biomethanol	e-Ammonia
CO ₂ emissions	WTW	WTW	WTW	WTW	WTW	WTW

Ingen “Energy Efficiency Levers” ble lagt til i analysene.



Grønt Skipsfartsprogram

Vedlegg 3 Livsløpsvurdering av CO2-utslipp fra et militært skip

GSP ARBEIDSPAKKE 6

Livsløpsvurdering av CO2-utslipp fra et militært skip

Forsvarsmateriell

Rapportnr.: 2025-0467, Rev. 1

Dokumentnr.: 105564092.1

Dato: 21.05.2025

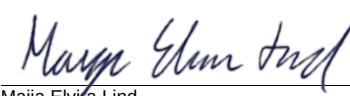


Prosjektnavn: GSP Arbeidspakke 6
 Rapporttittel: Livsløpsvurdering av CO₂-utslipp fra et militært skip
 Oppdragsgiver: Forsvarsmateriell, Grev Wedels plass 1, 0152 Oslo
 Kontaktperson: Elisabeth Natvig
 Dato: 21.05.2025
 Prosjektnr.: 10556409
 Org. enhet: Lifecycle Management
 Rapportnr.: 2025-0467, Rev. 1
 Dokumentnr.: 105564092.1
 Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

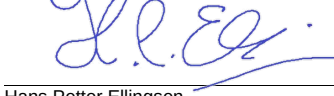
Oppdragsbeskrivelse:

Hensikten med denne studien er å støtte beslutningstaking ved å gjennomføre en omfattende analyse av utslipp av karbondioksidekvivalenter (CO₂-ekv.) fra nybyggingen av et militært fartøy. En scenarioanalyse gjennomføres der utslippene fra ulike endringer i nybyggingsfasen sammenlignes med et basescenario.

Utført av:


 Maija Elvira Lind
 Consultant

Verifisert av:


 Hans Petter Ellingsen
 Head of Section

Godkjent av:


 Martin Davies
 Principal Consultant

Internt i DNV er informasjonen i dette dokumentet klassifisert som:

	Kan dokumentet bli distribuert internt i DNV etter en gitt dato?	
	Nei	Ja
☒ Open	--	--
☐ DNV Restricted		
☐ DNV Confidential	☐	☐
☐ DNV Secret		

Rev. no.	Date	Reason for issue	Prepared by	Verified by	Approved by
0	13.05.2025	First issue	Maija Elvira Lind	Hans Petter Ellingsen	Martin Davies
1	21.05.2024	Second issue	Maija Elvira Lind	Hans Petter Ellingsen	Martin Davies

Copyright © DNV 2025. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

UAVHENGIGHET, UPARTISKHET OG BEGRENSNINGER I RÅDGIVNINGENS UTSTREKNING

Dette dokumentet inneholder innhold levert av DNV. Vær oppmerksom på følgende:

Etiske uavhengighetstiltak

For å opprettholde den nødvendige integritet og upartiskhet som er essensielt for våre tredjepartsroller knyttet til samsvarsvurderinger, utfører DNV innledende interessekonfliktvurderinger før vi påtar oss engasjement i tilknytning til rådgivningstjenester.

Rolleprioritet

Denne rapporten er utarbeidet av DNV i sin rådgivende kapasitet, etter at vi har gjort interessekonfliktvurderinger. Innholdet i rapporten er adskilt fra DNVs ulike roller som uavhengig leverandør av tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering. Hvor overlapp eksisterer mellom disse to typene av tjenester, vil tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering utført av DNV være uavhengige av rådgivning som er gitt på vegne av DNV og de vil ha forrang over de rådgivende tjenestene som ytes.

Fremtidige tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering

Innholdet i dette dokumentet vil ikke forplikte eller påvirke DNVs uavhengige og upartiske dømmekraft eller utfallet i eventuelle fremtidige tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering som utføres av DNV hvor det kan være en viss tilknytning og sammenheng mellom rådgivingen som er gjort og den fremtidige tredjeparts tjenesten knyttet til samsvarsvurdering som skal ytes.

Gjennomgang av overholdelse

DNVs overholdelse av etiske regler og bransjestandarder når det gjelder skille av DNVs ulike roller og tjenester er underlagt periodiske eksterne gjennomganger.

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG	1
2	INTRODUKSJON	2
2.1	Bakgrunn og formål	2
2.2	Metodologi	2
2.3	Forkortelser	2
3	MÅL OG OMFANG AV STUDIEN	3
3.1	Formål og tiltenkt bruk	3
3.2	Studiens omfang	3
3.3	Systemgrenser og funksjonell enhet	4
4	DATAGRUNNLAG OG BEGRENSNINGER	7
5	RESULTATER OG SCENARIOANALYSE	11
5.1	Basescenario - Resultater	11
5.2	Scenarioanalyse - Resultater	13
6	KONKLUSJONER OG HOVEDFUNN	20

1 SAMMENDRAG

DNV har gjennomført en livssyklusanalyse av utslipp i CO₂-ekv. for et militært skip for Forsvarsmateriell, med fokus på å kvantifisere klimagassutslipp knyttet til skipsbyggingsprosessen. I tråd med prinsippene i ISO 14040, 14044 og 14067 gir denne studien en overordnet vurdering av sentrale utslippskilder og evaluerer ulike scenarioer for innkjøp og konstruksjon av skipet.

Analysen gir kvantitative innsikter i utslipp fra stålennkjøp, verftsdrift og transport av materialer. Karbonavtrykket til referanse-skipet er i hovedsak drevet av materialproduksjon. De største utslippskildene er produksjon av stål, rustfritt stål og kobbertråd, mens mindre utslippskilder som transport av materialer og utstyr, materialer brukt i innredningen, arbeid på verftene og sleping av skroget sammenlagt bidrar til det totale karbonavtrykket.

I utregningen for basescenarioet benyttes både landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål og et globalt gjennomsnitt for varmevalset vanlig stål for å gi et mer nyansert bilde av utslippene. De landsspesifikke faktorene gjør det mulig å fange opp regionale forskjeller i produksjonsmetoder, mens det globale gjennomsnittet inkluderer utslipp fra videre bearbeiding, som valsing. Bruken av begge tilnærmingene gir dermed et bredere grunnlag for vurdering og sammenligning. Utslippene fra de tre mest utslippsintensive arbeidene i basescenarioet er oppsummert i Tabell 1. Når landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål benyttes, er produksjonen av kobbertråd for elektriske kabler den største enkeltkilden til utslipp, og står for 27% av de totale utslippene. Når det brukes et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktor for varmevalset vanlig stål, øker utslippene fra stålproduksjonen og blir den dominante utslippskilden, med en andel på 37%.

Tabell 1: Utslipp fra de mest utslippsintensive bidragene

Bidrag	Med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon av vanlig stål		Med globalt gjennomsnitt for utslippsfaktor for varmevalset vanlig stål	
	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv.]	Relativt bidrag [%]	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv.]	Relativt bidrag [%]
Stål	9,511	26%	16,452	37%
Rustfritt stål*	7,398	20%	7,392	17%
Kabler (kobbertråd)	10,103	27%	10,103	23%

*Inkluderer utslipp fra stållegeringer i elektrisk utrusting

Scenarioanalysen viser at endringer i stålproduksjon, økt bruk av lokale leverandører og bruk av fornybar energi i konstruksjonsfasen bidrar til redusert utslipp i byggingen av skipet. Det bemerkes at å øke andelen lokale leverandører kan føre til en økning i utslippene knyttet til stålproduksjon, dersom produksjonen flyttes til land med høyere utslippsintensitet, og at effekten av å øke andelen lokale leverandører må vurderes helhetlig for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i klimagassutslipp.

Ved å identifisere nøkkelbidragsyttere til utslipp og regionale variasjoner gir denne studien Forsvarsmateriell viktig innsikt i utslippsprofilen for skipsbygging. Disse funnene støtter arbeidet med å forbedre innkjøps- og konstruksjonsstrategier, og vil kunne bidra til økt bærekraft og informert beslutningstaking for produksjon av militære skip med lavere karbonavtrykk.

2 INTRODUKSJON

2.1 Bakgrunn og formål

Med det økende fokuset på bærekraft i den maritime industrien, blir det stadig viktigere å forstå og kvantifisere klimagassutslipp i skipsbygging. Byggingen av skip innebærer energikrevende prosesser, fra utvinning av råmaterialer til konstruksjon og endelig montering. Etter hvert som regulatoriske rammeverk og markedsforventninger utvikler seg, legger interessenter – inkludert rederier, investorer og beslutningstakere – større vekt på å vurdere og håndtere karbonavtrykket til nybygde fartøy.

Forsvarsmateriell har som mål å gjennomføre en «Cradle-to-Gate» karbonavtrykksanalyse av et nybygd militært skip. Denne studien vil evaluere klimagassutslipp som genereres fra produksjon av materialer, komponentproduksjon og skipsbygging, samt transporten av materialer til verftet. Vurderingen vil gjøre det mulig for Forsvarsmateriell å:

- Kvantifisere karbonavtrykket til det grunnleggende skipsdesignet,
- Identifisere muligheter for reduksjon av klimagassutslipp i skipsbyggingsprosessen,
- Vurdere påvirkningen av materialvalg og produksjonsprosesser,
- Peke ut hovedbidragsytene til skipets totale karbonavtrykk fram til levering.

Denne rapporten beskriver metodikken og funnene fra livssyklusanalysen av karbonfotavtrykket, og gir innsikt i miljøpåvirkningen ved bygging av det militære skipet.

2.2 Metodologi

Karbonavtrykksanalysen følger prinsippene beskrevet i ISO 14067: *Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification* /1/, samt ISO 14040 /13/ og ISO 14044 /14/.

- ISO 14067 gir spesifikke retningslinjer for kvantifisering og rapportering av klimagassutslipp knyttet til et produkts livssyklus. Denne studien følger ISO 14067 for å sikre en strukturert og transparent tilnærming til beregningen av karbonavtrykk.
- ISO 12040 og ISO 14044 etablerer det overordnede rammeverket for livssyklusanalyse (LCA), inkludert definisjon av systemgrenser, krav til datakvalitet og prinsipper for konsekvensvurdering. Selv om disse standardene gir omfattende retningslinjer for LCA, fokuserer denne studien på en forenklet vurdering av karbonavtrykk, med avgrensning til sentrale utslippskilder relevante for skipsbygging.

Selv om studien følger prinsippene i ISO 14040, 14044 og 14067, presenterer den en overordnet vurdering av klimagassutslipp, med fokus på hovedbidragsytene og scenarioanalyser fremfor en detaljert utslippsinventering og konsekvensanalyse (LCIA). Denne tilnærmingen gir praktisk innsikt samtidig som den opprettholder samsvar med ISO-standardene. Studien legger vekt på:

- En overordnet kvantifisering av klimagassutslipp gjennom byggingen av skipet, med fokus på materialer, energibruk og transport.
- Scenarioanalyser for å vurdere virkningen av variasjoner i materialeanskaffelse, energiforbruk og andre sentrale faktorer.
- Forenklete antagelser der detaljert livssyklusanalyse (LCA) og konsekvensvurderingen (LCIA) ikke er nødvendige for studiens formål.

Denne tilnærmingen sikrer samsvar med ISO-prinsippene, samtidig som den opprettholder et praktisk og beslutningsorientert fokus.

2.3 Forkortelser

Forkortelse	Forklaring
EPiC	Environmental Performance in Construction
EuRIC	European Recycling Industries' Confederation
FCAW	Rørtrådsveising (Flux Cored Arc Welding)

GHG	Klimagass (Greenhouse Gas)
GMAW	MIG-sveising (Gas Metal Arc Welding)
GTAW	TIG-sveising (Gas Tungsten Arc Welding)
ICE	Inventory of Carbon and Energy
IEA	International Energy Agency
LCA	Livssyklusanalyse (Life Cycle Assessment)
LCIA	Konsekvensvurdering (Life Cycle Impact Assessment)
MIG	Metal Inert Gas
MT	Metrisk Tonn
SAW	Nedsenket buesveising (Submerged Arc Welding)
SBTi	Science Based Targets initiative
SMAW	Elektrodesveising (Shielded Metal Arc Welding)
TIG	Tungsten Inert Gas

3 MÅL OG OMFANG AV STUDIEN

3.1 Formål og tiltenkt bruk

Formålet med denne studien er å vurdere klimagassutslipp knyttet til Forsvarsmateriells militære skip, basert på en «Cradle-to-Gate»-tilnærming. Studien kvantifiserer utslipp fra utvinning av råmaterialer til produksjon og levering ved verft, i tråd med standardene ISO 14040, 14044 og 14067 for å sikre en standardisert og helhetlig evaluering.

De viktigste målene med vurderingen er å:

- Etablere et referanse-karbonavtrykk for det militære skipet, og gi innsikt i klimaeffekten av design- og produksjonsprosessene.
- Identifisere primære utslippskilder innen materialanskaffelse, fabrikasjon og montering for å støtte målrettede tiltak for utslippsreduksjon.
- Analysere følsomheten i nybyggutslippene for variasjoner i materialevalg, produksjonsprosesser og faktorer i verdikjeden.
- Støtte Forsvarsmateriells bærekraftsinitiativer ved å integrere utslippshensyn i skipsdesign, innkjøp og produksjonsplanlegging.
- Gi transparente miljøinnsikter for intern beslutningstaking og ekstern dialog med interessenter, inkludert regulatoriske krav.

Resultatene fra denne studien vil danne grunnlag for Forsvarsmateriells strategiske beslutninger om tiltak for utslippsreduksjon. Vurderingen kan også fungere som referanse for fremtidige forbedringer innen bærekraftig skipsbygging. For detaljer om studiens begrensninger, se seksjon 4.

3.2 Studiens omfang

Omfanget av denne studien er å kvantifisere klimagassutslipp knyttet til byggingen av et militært skip, ved bruk av en "Cradle-to-Gate" livssyklusanalyse (LCA). Vurderingen dekker utslipp fra utvinning av råmaterialer, transport og skipsbygging frem til fartøyets ferdigstillelse. "Cradle-to-Gate"-tilnærmingen inkluderer utslipp fra:

- **Materialer og produksjon:** Utvinning og produksjon av stål, rustfritt stål, kobber og andre materialer, inkludert transport til verftet.
- **Byggefasen:** Skjæring, sveising, bruk av elektrisitet, samt sandblåsing innenfor verftets grenser.

3.2.1 Grunnscenario for studien

Denne studien tar utgangspunkt i et definert grunnscenario som fungerer som et sammenligningsgrunnlag for de alternative scenarioene som analyseres. Sammenligningen av utslipp fra scenarioanalysen med grunnscenarioet gjør det mulig å vurdere potensielle forbedringer og identifisere hvilke tiltak som gir størst utslippsbesparelse.

Grunnscenarioet i denne studien representerer en tilpasset versjon av Jan Mayen-klassens kystvaktskip. Scenarioet er justert for å bedre reflektere de faktiske forholdene til standardiserte fartøy. Grunnscenarioet følger byggeprosessen til Jan Mayen-fartøyene, som skjer i tre trinn¹:

- Skroget bygges og utrustes ved et verft i det sørøstlige Mellom-Europa
- Skroget slepes fra verftet i det sørøstlige Mellom-Europa til verftet i Midt-Norge
- Skroget ferdigstilles og utrustes ved verftet i Midt-Norge

Studien vil kvantifisere klimagassutslipp knyttet til materialeanskaffelse, transport og konstruksjon basert på grunnscenarioet. Dette sikrer sammenlignbarhet med andre skipsbyggingsprosjekter og gjør det mulig for Forsvarsmateriell å effektivt vurdere potensielle strategier for utslippsreduksjon. For hovedantagelser for grunnscenarioet, se seksjon 3.3.

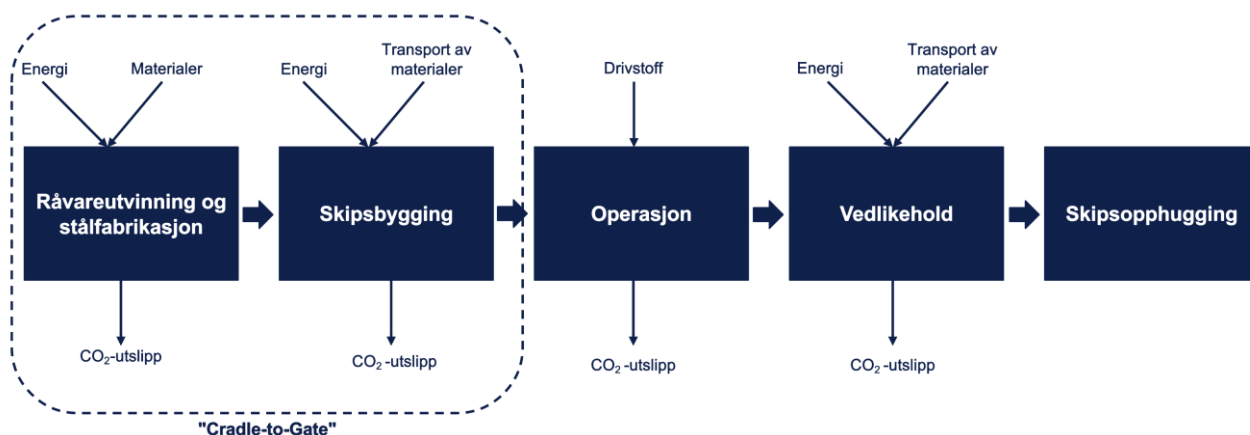
3.2.2 Scenarioanalyse

Scenarioanalyser gjennomføres for å vurdere virkningen av sentrale variabler på det totale karbonavtrykket. Hovedfokuset vil være på krav som kan stilles til aktørene i produksjonskjeden. Analysen vil evaluere hvordan utslippene varierer sammenlignet med grunnscenarioet avhengig av produksjonsmetodene for stål, opprinnelsesland til materialer og utstyr, og fremstillingen av energi brukt i konstruksjonsprosessen. Scenarioanalysen inkluderer også en utslippsanalyse for anskaffelsen av et litiumbatteri for fremdrift under byggingen av skipet.

Resultatene fra denne studien vil gi Forsvarsmateriell innsikt i de viktigste bidragsyterne til fartøyets karbonavtrykk, og legge til rette for strategiske beslutninger for å redusere utslipp og styrke bærekraften i fremtidige skipsbyggingsprosjekter.

3.3 Systemgrenser og funksjonell enhet

Karbonavtrykksvurderingen i denne studien fokuserer på byggingen av et militært skip. Vurderingen følger en "Cradle-to-Gate"-tilnærming (Figur 1), og dekker alle utslipp knyttet til utvinning av råmaterialer, produksjon, transport og skipsbygging frem til fartøyets ferdigstillelse. Driftsfasen, vedlikehold og opphugging av skipet er utenfor studiens omfang, ettersom fokuset er på utslipp fra produksjonsprosessen. Figur 1 viser systemgrensen for studien, markert med den striplete linjen.



Figur 1: Systemgrensen for studien

¹ [Fra fødsel til ferdig kystvaktfartøy](#)

Mer informasjon om materialtyper, transporttrinn og byggeprosesser som dekkes av studien vises i Tabell 2 nedenfor.

Tabell 2: Informasjon om materialtype, transporttrinn og konstruksjonsprosess

Materialtype	Transport	Konstruksjonsprosess
Stål	 Tungtransportkjøretøy	Sveising
Rustfritt stål	 Maritim transport	Skjæring
Kobber		Overordnet strømforbruk
Polyuretan		Blåsing
Kryssfiner		
Betong		
Maling		

Den funksjonelle enheten for denne studien er definert som klimagassutslipp fra ett konstruert militært skip. De viktigste forutsetningene for livssyklusanalysen til skipet er gitt i Tabell 3 nedenfor.

Tabell 3: Hovedantagelser for de ulike livssyklusfasene

Livssyklusfase	Hovedantagelser
Materialer og produksjon 	Skrog – Består utelukkende av stål. Skrogutrustning – Består utelukkende av stål. Skrog- og maskinutrustning - Det antas at 5% av vekten for skrog- og maskinutrustning inngår i den elektriske utrustningen. Av den gjenværende vekten antas 10% å være rustfritt stål, mens de resterende 90% er stål. Røranlegg for skrog og maskineri – Består utelukkende av stål. Innredning – Stiv isolasjon (polyuretan) antas å utgjøre 15% av totalvekten, møbler (kryssfiner) antas å utgjøre 25% av totalvekten, røranlegg (stål) antas å utgjøre 40% av totalvekten, betong antas å utgjøre 20% av totalvekten. Hovedmaskineri – 20% av materialene brukt i produksjonen av hovedmaskineriet antas å være rustfritt stål, og de resterende 80% stål. Propell og propellaksel – Alt materiale brukt i produksjonen av propellen og propellakselen antas å være rustfritt stål. Hjelpemotor – 20% av vekten av materialene brukt i produksjonen av hjelpemotoren antas å være rustfritt stål, og de resterende 80% stål. Ror – 15% av vekten av materialene brukt i produksjonen av ror antas å være rustfritt stål, og de resterende 85% stål. Øvrig maskineri – Det er antatt at 5% av øvrig maskineri inngår i elektrisk utrustning. 10% av den resterende vekten av materialene brukt i produksjonen av øvrige maskiner antas å være rustfritt stål, og de resterende 90% stål. Elektrisk utrusting – 20% av den totale vekten antas å være kabler (kobbertråd), og 70% antas å være ulike stållegeringer (beregnet med utslippsintensiteten for rustfritt stål). Det er antatt at 5% av totalvekten av skrog- og maskinutrustning og øvrig maskineri er elektrisk utrusting for å ta høyde for mengden elektronikk i militære fartøy.
Transport	Materialer transporteres med sjø- eller veitransport fra innkjøpsstedet til verftet i Mellom-Europa eller Norge avhengig av hvilken del av byggeprosessen de inngår i.

	• Sjøtransporten antas å skje ved bruk av et bulkskip (35 000-59 999 dødvekttonn), mens veitransporten antas å skje ved bruk av et stivt tungt kjøretøy (>7.5 T-17 T) med gjennomsnittlig last. • Slepingen av skipet er antatt med samme utslippsfaktor som bulkskipet. • Overordnede avstandsestimater benyttes for veitransport, og havn-til-havn-avstander er hentet fra sea-distances.org. • Transportutslippene fra produksjonsstedet til innkjøpsstedet er ikke inkludert i analysen. • For sjøtransport er transportutslippene fra innkjøpsstedet til avreisehavnen og fra ankomsthavnen til verftet ikke inkludert i analysen.
Konstruksjon 	Fordelingen (%) av sveisemetoder basert på forbruk av sveisematerialer: • FCAW (Flux Cored Arc Welding/rørtrådsveising): 82% • GTAW (Gas Tungsten Arc Welding/TIG-sveising): 0% • SMAW (Shielded Metal Arc Welding/elektrodesveising): 7% • GMAW (Gas Metal Arc Welding/MIG-sveising): 1% • SAW (Submerged Arc Welding/nedsenket buesveising): 10% Strømforbruk ved skjæring og sveising – det antas et strømforbruk på 2 kWh per kWh brukt til skjæring og sveising. Maling: Det antas at all ekstern maling skjer ved verftet i Mellom-Europa, og all intern maling skjer ved verftet i Norge. Blåseareal: Det antas at blåsearealet tilsvarer det utvendige malingsarealet.

4 DATAGRUNNLAG OG BEGRENSNINGER

Data brukt i denne studien er basert på følgende kilder:

- Global Efficiency Intelligence²
- Environmental Performance in Construction (EPiC) database, The University of Melbourne, Melbourne³
- Forsvarsmateriell har levert data om komponentvekt
- The Inventory of Carbon and Energy (ICE) database⁴
- Sea-distance.org⁵
- The UK Government Conversion Factors for greenhouse gas (GHG) reporting⁶
- Litteraturgjennomgang av LCA-studier
- Ekspert i DNV på utslipp i maritim sektor (DNVs interne database)
- Litteratur, f.eks. vitenskapelige fagfellevurderte artikler, offentlig tilgjengelige rapporter
- Mountaneas, Anastasios (2014) Life cycle assessment of pollutants from ships: the case of an Aframax tanker⁷
- The GHG Protocol⁸

Tabell 4 nedenfor viser hoveddataene som er benyttet, sammen med begrensninger og forutsetninger knyttet til disse.

Tabell 4: Datainnput og begrensninger

Fase	Bidrag	Hoveddatainnput	Antagelser/begrensninger	Kilde
Materialer og produksjon	Stål	Mengde stål brukt, utslippsfaktor for varmevalset stål, landsspesifikk CO ₂ -ekv.-utslippsfaktor	• For å bedre representere regionale produksjonsforhold og gi sammenligningsgrunnlag i sensitivitetsanalysen benyttes landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon. Disse faktorene ekskluderer videreforedlingsprosesser som varmevalsing og brukes derfor kun til sammenligningsformål. • De landsspesifikke utslippsfaktorene varierer basert på andelen elektrisk lysbueovn (EAF) versus masovn-basisk oksygenovn (BF-BOF), drivstoffmiks, råmaterialetype og graden av energieffektive teknologier. De skiller ikke mellom ulike stålleverandører eller produksjonsmetoder innen det valgte landet. • I Tabell 5 og Figur 3 er utslippene for stålproduksjon med et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset stål inkludert, for å reflektere utslippene knyttet til den bearbeidede formen (plater, rør, profiler) som vanligvis brukes i skipsbygging.	Global Efficiency Intelligence, EPIC Database, data fra Forsvarsmateriell

² [Global Steel Industry's GHG Emissions — Global Efficiency Intelligence](#)

³ [Environmental Performance in Construction \(EPiC\) Database and Resource Hub](#)

⁴ [Embodied Carbon Footprint Database - Circular Ecology](#)

⁵ [SEA-DISTANCES.ORG - Distances](#)

⁶ [Government conversion factors for company reporting of greenhouse gas emissions - GOV.UK](#)

⁷ [A model for the life cycle analysis of ships: Environmental impact during construction, operation and recycling | Request PDF](#)

⁸ [Life Cycle Databases | GHG Protocol](#)

			• Det antas at stålproduksjonen finner sted i de landene hvor utstyret produseres.	
Materialer og produksjon	Rustfritt stål, polyuretan, kryssfiner, betong	Mengde materiale brukt, CO ₂ -ekv.-utslippsfaktor	• Utslipp fra produksjon av spesifikke komponenter er ikke inkludert – kun materialproduksjon er tatt med • For beregningen av stållegeringer i elektrisk utrusting brukes utslippsfaktoren for rustfritt stål i mangel på utslippsfaktorer for de enkelte stållegeringene. Utslippsfaktoren for rustfritt stål inkluderer bearbeidingsprosesser, og gir derfor et mer representativt estimat enn utslippsfaktoren for vanlig, ubearbeidet stål.	EPiC Database, ICE Database, data fra Forsvarsmateriell
Materialer og produksjon	Kabler	Mengde materiale brukt, CO ₂ -ekv.-utslippsfaktor	Utslippsfaktoren for produksjon av ferdig kobbertråd benyttes her.	EPiC Database, data fra Forsvarsmateriell
Materialer og produksjon	Maling	Mengde maling brukt, tykkelse på malingslag [mikron], CO ₂ -ekv.-utslippsfaktor for malingsproduksjon	• Estimaten for utvendig og innvendig maling er basert på faktiske data levert av Forsvarsmateriell. Tykkelsen på malingslaget er gjennomsnittlig beregnet basert på DNVs interne database. • Malingen av skroget antas å være ekstern i Romania og intern i Norge	EPiC Database, data fra Forsvarsmateriell
Transport	Distanse	Veidistanse fra leverandører til verftet, sjødistanse fra avreisehavn til ankomsthavn	Følgende forsyningskjederuter er tatt med i beregningene: • Leverandør Mellom-Europa → Verft Mellom-Europa • Leverandør Nordvest-Europa → Verft Mellom-Europa • Leverandør Nord-Europa → Verft Mellom-Europa • Leverandør Nord-Europa → Verft Norge • Leverandør Mellom-Europa → Verft Norge • Leverandør Nordvest-Europa → Verft Norge • Leverandør Sør-Europa → Verft Norge	Veiaavstander er estimert på overordnet nivå ved hjelp av skrivebordsundersøkelser, og sjøavstander er hentet fra Sea-Distances.org

			Leverandør USA → Verft Norge	
Transport	Type transport	Utslippsfaktor [kgCO ₂ -ekv. per tonn-km], type transport	- Bulkfartøy for sjøtransport: 35 000–59 999 dødvekttonn - Lastebil for veitransport: stiv tung lastebil (>7,5 t – 17 t) med gjennomsnittlig last - Transportrelaterte utslipp er oppjustert med en faktor 1,5 for å reflektere at materialer og utstyr vanligvis leveres i flere omganger og ikke i én samlet forsendelse. Denne justeringen er gjort for å bedre representere de faktiske utslippene knyttet til logistikk og transport i prosjektets gjennomføringsfase	The UK Government Conversion Factors for greenhouse gas (GHG) reporting
Transport	Sleping av skroget	Utslippsfaktor [kgCO ₂ -ekv. per tonn-km], type transport	Transportutslipp for sleping av skroget mellom verftene antas med utslippsfaktoren for bulkfartøy.	
Konstruksjon	Generelt	-	Empiriske data fra DNVs interne databaser og EPiC er benyttet for å beregne de totale CO ₂ -utslippene fra konstruksjonen, inkludert sveising, skjæring og strømforbruk.	EPiC Database, DNVs interne database
Konstruksjon	Sveising	Total sveiselengde per stålenhet [km/MT], stålvækt [MT], mengde sveisemateriale kjøpt per sveisemeter [MT/m], CO ₂ per mengde elektroder brukt [l/kg], CO ₂ -utslippsfaktor fra strømforbruk ved verftet [g/kWh]	Stålvekten antas å være lett konstruksjon. Verftet for skrogbyggingen er lokalisert i Mellom-Europa.	DNVs interne database, Mountaneas, Anastasios (2014) Life cycle assessment of pollutants from ships: the case of an Aframax tanker
Konstruksjon	Skjæring	Sveiselengde [m], skjærelengde per sveiselengde [m/m], strømforbruk per skjærelengde [kWh/m], CO ₂ -utslippsfaktor fra	Verftet for skrogbyggingen er lokalisert i Mellom-Europa.	DNVs interne database, data fra Forsvarsmateriell, Mountaneas, Anastasios (2014) Life cycle assessment of pollutants from ships:

		strømforbruk ved verftet [g/kWh]		the case of an Aframax tanker
Konstruksjon	Blåsing	Blåst areal [m ²], dieselforbruk per blåst areal [kg/m ²], CO ₂ -utslippsfaktor for dieselolje [kg CO ₂ /MT]	Det blåste arealet antas å være lik det utvendige malingsarealet. Malingsarealet er estimert basert på mengde maling og tykkelsen på malingslaget.	DNVs interne database, The UK Government Conversion Factors for greenhouse gas (GHG) reporting, Mountaneas, Anastasios (2014) Life cycle assessment of pollutants from ships: the case of an Aframax tanker
Konstruksjon	Strømforbruk ved verftet	Overordnet strømforbruk per enhet strøm brukt til sveising og skjæring [kWh/kWh], CO ₂ - utslippsfaktor fra strømforbruk ved verftet [g/kWh]	Det antas at det overordnede strømforbruket er 2,4 ganger strømforbruket til sveising og skjæring. Verftet for skrogbyggingen er lokalisert i Mellom-Europa.	Mountaneas, Anastasios (2014) Life cycle assessment of pollutants from ships: the case of an Aframax tanker, data fra Forsvarsmateriell

5 RESULTATER OG SCENARIOANALYSE

5.1 Basescenario - Resultater

Denne studien presenterer en overordnet vurdering av klimagassutslipp knyttet til livssyklusen til et militært skip. Grunnscenarioet representerer utslipp basert på Forsvarsmateriells standard produksjonsparametre, mens sensitivitetsanalyser vurderer virkningen av variasjoner i nøkkeldata som stålkilde, transportavstander og energiforbruk ved verftet.

Utslippene for basescenarioet er beregnet med to ulike tilnærminger for å beregne utslipp knyttet til stålproduksjon. Den første analysen bruker landsspesifikke utslippsintensiteter for råstålproduksjon av vanlig stål, som gir et mer presist bilde av regionale forskjeller i produksjonsmarkedet. Den andre analysen benytter en global gjennomsnittlig utslippsintensitet for varmevalset vanlig stål, som i tillegg til selve stålproduksjonen også inkluderer bearbeidingsprosesser som valsing og forming. Begge tilnærmingerne er inkludert for å kompensere for begrenset datatilgjengelighet, ettersom de landsspesifikke utslippsintensitetene ikke fanger opp utslipp fra videre bearbeiding av stålet, mens det globale gjennomsnittet kan gi et skjevt bilde ettersom det påvirkes av ekstremverdier fra land med svært høy eller lav utslippsintensitet. Ved å presentere begge analysene oppnås en mer helhetlig og transparent vurdering av utslippene, samtidig som usikkerheten i datagrunnlaget synliggjøres.

De totale "Cradle-to-Gate"-utslippene for skipet i grunnscenarioet er estimert til 37,072 tonn CO₂-ekv. ved bruk av landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål og 44,013 tonn CO₂-ekv. ved bruk av et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål, medregnet utslipp fra utvinning av råmaterialer, transport, og verftsoperasjoner innenfor de definerte systemgrensene. Fordelingen av utslipp per bidrag er vist i Tabell 5 og fremhever stål, rustfritt stål og kabler (kobber) som de dominerende bidragsyterne.

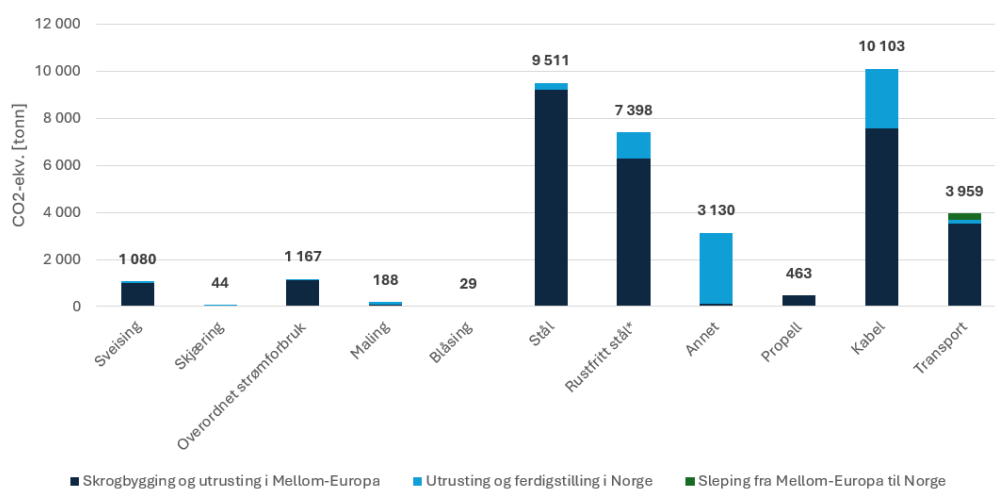
Tabell 5: Fordeling av utslipp per bidrag

Fase	Bidrag	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv.] Med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål	Relativt bidrag [%] Med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål	Utslipp [tonn CO ₂ -ekv.] Med globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål	Relativt bidrag [%] Med globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål
Konstruksjon	Sveising	1,080	3%	1,080	2%
Konstruksjon	Skjæring	45	0%	45	0%
Konstruksjon	Overordnet strømforbruk	1,167	3%	1,167	3%
Materialer og produksjon	Maling	188	1%	188	0%
Konstruksjon	Blåsing	29	0%	29	0%
Materialer og produksjon	Stål	9,511	26%	16,452	37%
Materialer og produksjon	Rustfritt stål*	7,398	20%	7,398	17%
Materialer og produksjon	Annet	3,130	8%	3,130	7%
Materialer og produksjon	Propell	463	1%	463	1%

Materialer og produksjon	Kabler	10,103	27%	10,103	23%
Transport	Transport	3,959	11%	3,959	9%
SUM		37,074	100%	44,013	100%

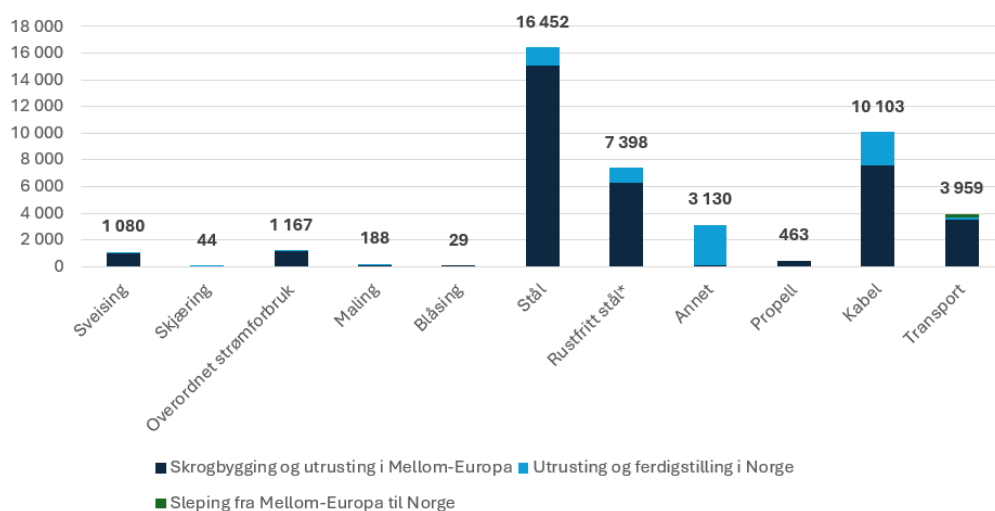
*Inkluderer utslipp fra stållegeringer i elektrisk utrusting

Figur 2 og Figur 3 viser fordelingen av utslipp per bidrag og per trinn i byggeprosessen. Figur 2 viser fordelingen ved bruk av landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål mens Figur 3 viser fordelingen for et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål.



*Inkluderer utslipp fra stållegeringer i elektrisk utrusting

Figur 2: Fordeling av utslipp per bidrag for basescenarioet med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål



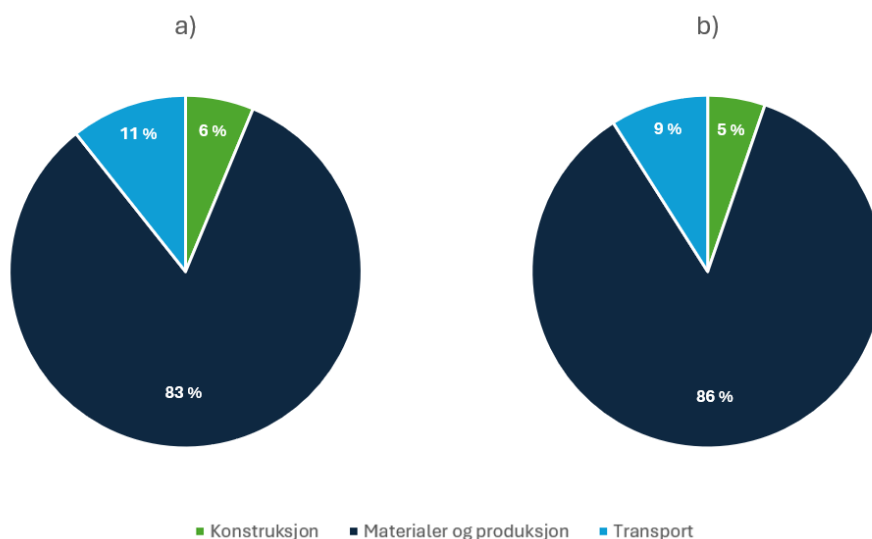
*Inkluderer utslipp fra stållegeringer i elektrisk utrusting

Figur 3: Fordeling av utslipp per bidrag for basescenarioet med et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål

Utslippsfordelingen etter livssyklusfaser er vist i Figur 4. I begge sektordiagrammene er materialer og produksjon den største utslippskilden. Dette skyldes hovedsakelig utslippene knyttet til produksjonen av kobbertråd, stål og rustfritt stål. Utslippsfaktoren for kobbertråd er høyere enn for kobbertråd og kobberplater fordi produksjonsprosessen for kobbertråd

krever flere energikrevende trinn. Etter at kobberet er utvunnet og raffinert, smeltes og vales det til tynne tråder i en prosess som krever elektrisk energi og maskinell bearbeiding.⁹ Utslippene fra produksjonen av stål og rustfritt stål kommer av den høyt energiforbruk i produksjonsprosessen. I Figur 4 b) er dette energiforbruket høyere enn for Figur 4 a) på grunn av bruken av det globale gjennomsnittet for utslippsfaktoren for varmevalset stål, som er høyere enn de landsspesifikke utslippsfaktorene for råstålproduksjon.

Andre betydelige bidragsyttere inkluderer transport av materialer og utstyr, hvor slepingen av skipet fra Mellom-Europa til Norge er inkludert, og utslipp knyttet til betong, rigid isolasjon og møbler i innredningen, som utgjør kategorien «Annet» i Tabell 5. Utslipp fra maling og konstruksjonsarbeid på verftene er relativt små, men bidrar likevel til det totale karbonavtrykket. De høyeste utslippene fra konstruksjonsfasen kommer fra overordnet strømforbruk – som representerer indirekte energiforbruk fra støtteoperasjoner på verftene.



Figur 4: Utslippsfordelingen etter livssyklusfaser for basescenarioet med landsspesifikke utslippsfaktorer for råstålproduksjon for vanlig stål (a) og med et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål (b)

5.2 Scenarioanalyse - Resultater

I scenarioanalysen undersøkes det hvordan endringer i sentrale forutsetninger påvirker de totale utslippene fra byggingen av skipet. Analysen omfatter hele byggeprosessen, inkludert byggingen av skroget i Mellom-Europa og ferdigstilling i Norge. Fem scenarioer analyseres, hvor blant annet leverandørvalg, stålproduksjon og energikilder for strømforbruk ved verftene varieres. Resultatene sammenlignes med basescenarioet for å vurdere potensialet for utslippsreduksjon gjennom ulike valg i verdikjeden.

Basescenarioet som brukes for sammenligningsgrunnlag i scenarioanalysen tar utgangspunkt i landsspesifikke utslippsintensiteter for råstålproduksjon for vanlig stål. Dette gir et mer nyansert bilde av regionale forskjeller i utslipp knyttet til stålproduksjon, sammenlignet med bruk av en global gjennomsnittsverdi. En slik global verdi vil i mindre grad fange opp geografiske variasjoner, og dermed gi et mindre realistisk grunnlag for å vurdere effekten av endringer i leverandørkjeden.

Et sammendrag av resultatene fra scenarioanalysen er gitt i seksjon 5.2.6.

5.2.1 Scenario 1: Grønt stål

Dette scenarioet undersøker innvirkningen av å øke andelen grønt stål brukt i skipsbyggingen. Til tross for et økende antall standarder og initiativer for å redusere utslipp i stålproduksjon, finnes det fortsatt ingen felles definisjon på hva som gjør stål «grønt». Selv om enkelte initiativer som ResponsibleSteel, SBTi og IEA har definert utslippsmål for grønt stål eller lavutslippsstål, mangler en samlet bransjestandard.¹⁰

For å vurdere innvirkningen av å bruke grønt stål mot basescenarioet, har eksisterende utslippsstandarder blitt vurdert. Den resulterende analysen består av to ulike standarder for utslippsintensitet i stålproduksjon – ett i den nedre delen av skalaen og ett i den øvre. I tillegg er scenarioet vurdert for to ulike sammensetninger for grønt stål: ett hvor alt stål som

⁹ [EPIC database - Copper wire](#)

¹⁰ [What is Green Steel? — Global Efficiency Intelligence](#)

produseres i nybyggprosessen er grønt stål, og ett hvor kun skroget består av grønt stål. I denne scenarioanalysen forutsettes det at leverandøren av stålet forblir den samme som i basescenarioet.

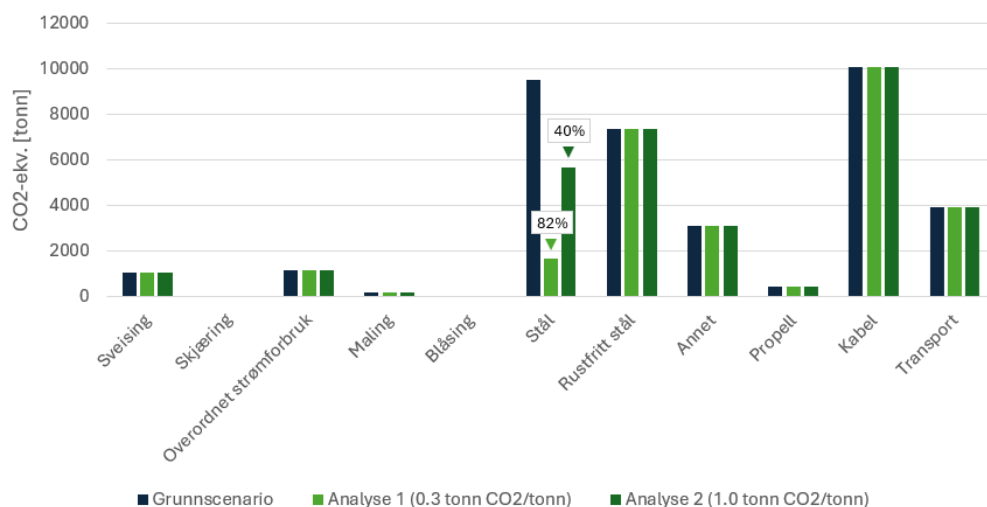
5.2.1.1 Alt stål produsert er grønt stål

Scenarioet hvor alt stål som produseres i nybyggprosessen er grønt stål består av to analyser for utslippsintensitet i stålproduksjonen, som samsvarer med eksisterende standarder for grønt eller lavutslipps stål:

Analyse 1 – En utslippsintensitet på 0.3 tonn CO₂-ekv. per tonn stål produsert er benyttet for all stålproduksjon

Analyse 2 – En utslippsintensitet på 1.0 tonn CO₂-ekv. per tonn stål produsert er benyttet for all stålproduksjon

Figur 5 viser resultatene av scenarioanalysen sammenlignet med basescenarioet. Erstatningen av alt stål med grønt stål påvirker kun utslippene knyttet til stålproduksjon i dette scenarioet. En lavere utslippsintensitet (Analyse 1) resulterer i en større reduksjon i utslipp sammenlignet med grunnscenarioet.



Figur 5: Scenario 1 (alt stål er grønt stål) sammenlignet med basescenarioet

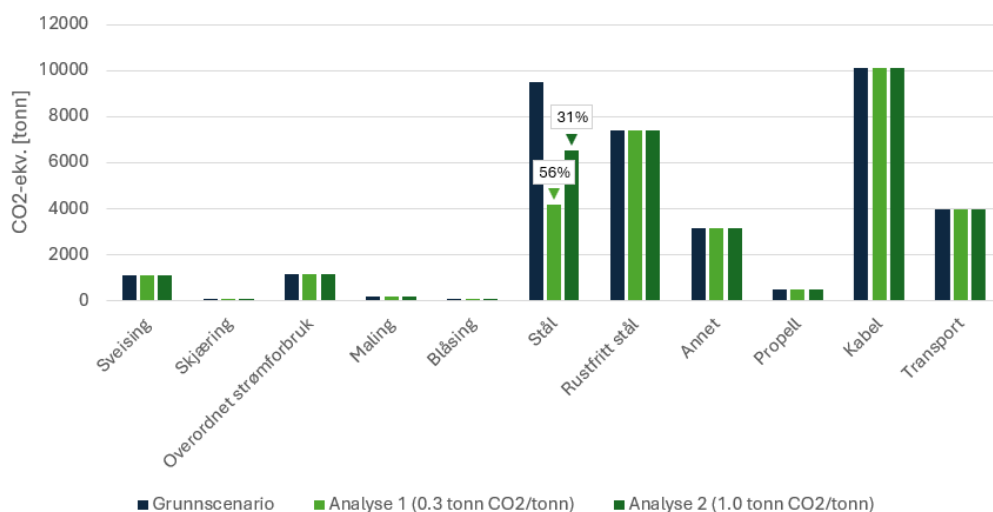
5.2.1.2 Skroget er grønt stål

Scenarioet hvor kun stålet som produseres for skroget er grønt stål består av to analyser for utslippsintensitet i stålproduksjonen, som samsvarer med eksisterende standarder for grønt eller lavutslipps stål:

Analyse 1 – En utslippsintensitet på 0.3 tonn CO₂-ekv. per tonn stål produsert er benyttet for alt stål produsert for skroget

Analyse 2 – En utslippsintensitet på 1.0 tonn CO₂-ekv. per tonn stål produsert er benyttet for alt stål produsert for skroget

Figur 6 viser resultatene av scenarioanalysen sammenlignet med grunnscenarioet. Erstatningen av stålet i skroget med grønt stål har en lavere effekt på utslippene enn å erstatte alt stål i skipet med grønt stål (Figur 5). Den laveste utslippsintensiteten (Analyse 1) gir likevel en reduksjon i utslippene knyttet til stålproduksjon på over 50%.



Figur 6: Scenario 1 (skroget er grønt stål) sammenlignet med basescenarioet

Reduksjonen i totale utslipp for scenario 1 sammenlignet med basescenarioet er vist i Tabell 6 i seksjon 5.2.6. Dersom alt stål produseres som grønt stål, oppnås en total utslippsreduksjon på opptil 21%. Hvis kun stålet i skroget er grønt stål, reduseres totalutslippene med opptil 14%. Det bemerkes at bruken av grønt stål også kan påvirke transportrelaterte utslipp. Dersom stålet må fraktes over lengre avstander enn for leverandørene av vanlig stål, kan dette føre til en økning av transportrelaterte utslipp. Produksjons- og transportutslipp må derfor vurderes samlet for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i utslipp.

5.2.2 Scenario 2: Lokale leverandører

Som vist i Figur 4 a), utgjør utslippene knyttet til transport 11% av totalutslippene fra byggingen av skipet. Av disse transportutslippene er 93% knyttet til transporten av varer og materialer fra leverandører til verftene. For å vurdere innvirkningen av å øke andelen lokale leverandører sammenlignet med basescenarioet utføres det to analyser. I analysene er lokale leverandører definert som leverandører i samme land som verftet eller i nærliggende land:

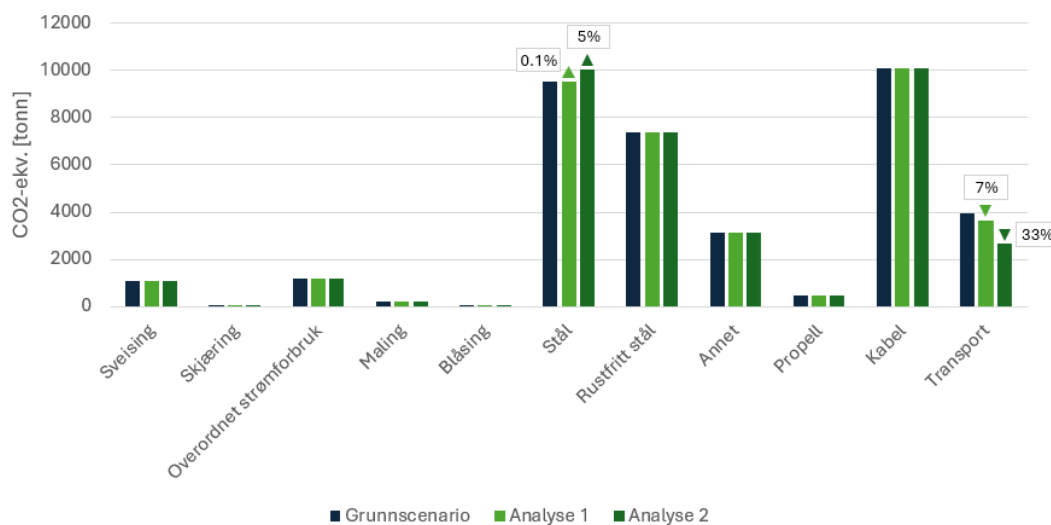
Analyse 1 – Delvis overgang til lokale leverandører

I denne analysen er fokuset på å øke andelen lokale leverandører der disse allerede er identifisert. For materiale- og utstyrsgруппene der det er identifisert lokale leverandører, skal minst 50% av den totale vekten av materialer og utstyr hentes fra disse leverandørene. Øvrige grupper forblir uendret fra basescenarioet.

Analyse 2 – Omfattende overgang til lokale leverandører

I denne analysen er fokuset på å benytte lokale leverandører i størst mulig grad, på tvers av alle materiale- og utstyrsgруппer. Minst 50% av totalvekten av materialer og utstyr skal komme fra lokale leverandører på tvers av alle materiale- og utstyrsgруппer, med unntak av de gruppene hvor det ikke er mulig å identifisere noen slike leverandører. Denne analysen representerer derfor en mer omfattende overgang til lokal forsyning.

Figur 7 viser resultatene av scenarioanalysen sammenlignet med grunnscenariet. Den største effekten av å øke andelen lokale leverandører er en nedgang i transportrelaterte utslipp. Denne effekten er størst for Analyse 2 (33%) hvor andelen lokale leverandører er størst. Samtidig viser Figur 7 at dette medfører en økning i utslipp knyttet til stålproduksjon. Dette skyldes at produksjonen i større grad flyttes fra land med lav utslippsintensitet (f.eks. basert på elektrisk lysbueovn og høy andel fornybar energi) til regioner med høyere utslippsintensitet i stålproduksjonen. Tabell 6 viser likevel en netto nedgang i totale utslipp sammenlignet med basescenarioet etterhvert som andelen lokale leverandører øker.



Figur 7: Scenario 2 (lokale leverandører) sammenlignet med basescenarioet

5.2.3 Scenario 3: Fornybar energi i konstruksjonsfasen

Utslippene knyttet til konstruksjonsfasen er påvirket av utslippsfaktoren for elektrisitet, målt i gram per kilowatttime (g/kWh), som er avhengig av hvordan strømmen produseres. Land som Norge, som hovedsakelig benytter vannkraft, har lavere utslippsfaktor enn land som fortsatt er avhengige av kullkraft¹¹. Valg av energikilder har derfor betydning for hvor klimavennlig strømproduksjonen er i hvert enkelt land.

I dette scenarioet er utslippsintensiteter for fornybare energikilder brukt for å vurdere potensialet for utslippsreduksjon ved å bruke fornybare energikilder i konstruksjonsfasen. For å dekke et spennvidde av utslippsintensiteter for fornybare kilder, benyttes utslippsfaktorene for to ulike fornybare kilder i hver sin ende av skalaen:

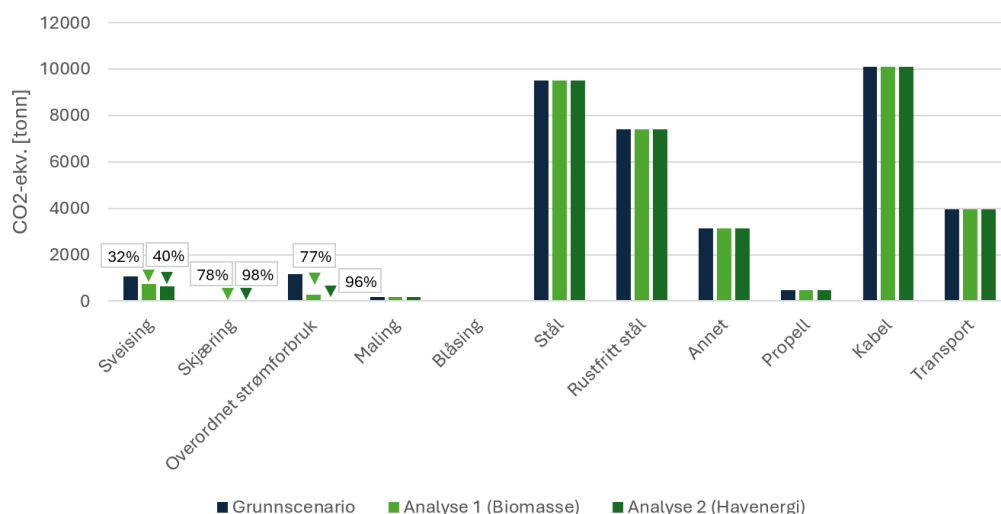
Analyse 1 – Utslippsfaktoren for biomasse gjennom hele livsløpet benyttes (52 g CO₂/kWh)¹²

Analyse 2 – Utslippsfaktoren for havenergi gjennom hele livsløpet benyttes (8 g CO₂/kWh)¹²

Figur 8 viser resultatene av scenarioanalysen sammenlignet med grunnscenarioet. De største utslippsreduksjonene for analysene er knyttet til skjæring og overordnet strømforbruk, etterfulgt av sveising. Imidlertid utgjør disse aktivitetene en relativt liten andel av de totale utslippene fra nybyggingsprosessen, noe som innebærer at den samlede effekten på de totale klimagassutslippene blir begrenset. Tabell 6 viser at de totale utslippene reduseres med henholdsvis 3% og 4% sammenlignet med basescenarioet for Analyse 1 og Analyse 2.

¹¹ [Electricity production - Norwegian Energy](#)

¹² [Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Electricity Generation: Update](#)



Figur 8: Scenario 3 (fornybar energi i konstruksjonsfasen) sammenlignet med basescenarioet

5.2.4 Scenario 4: Litium-ion batteripakken for fremdrift

I dette scenarioet er utslipp knyttet til produksjon og transport av en 1 MWh litium-ion batteripakke til bruk som fremdrift for skipet analysert. I motsetning til de øvrige scenarioene, som i hovedsak vurderer tiltak med potensiale for direkte utslippsreduksjoner i nybyggfasen, viser dette scenarioet en netto økning i utslipp. Dette skyldes at batteriproduksjonen er material- og energikrevende, og at de tilhørende utslippene påløper i nybyggfasen, mens de potensielle utslippsbesparelsene først realiseres i operasjonsfasen av skipets livsløp.

Batteripakkens vekt kan avhenge av flere faktorer: batterikjemien, batteripakkens design, celleformatet og eventuelle redundante moduler for sikkerhet og levetid. For å beregne vekten av batteripakken utføres derfor to analyser for å ta høyde for variasjon i kjemi og design av batteriet:

Analyse 1 – Litium-ion batteripakke på 6 tonn¹³

Analyse 2 – Litium-ion batteripakke på 10 tonn¹⁴

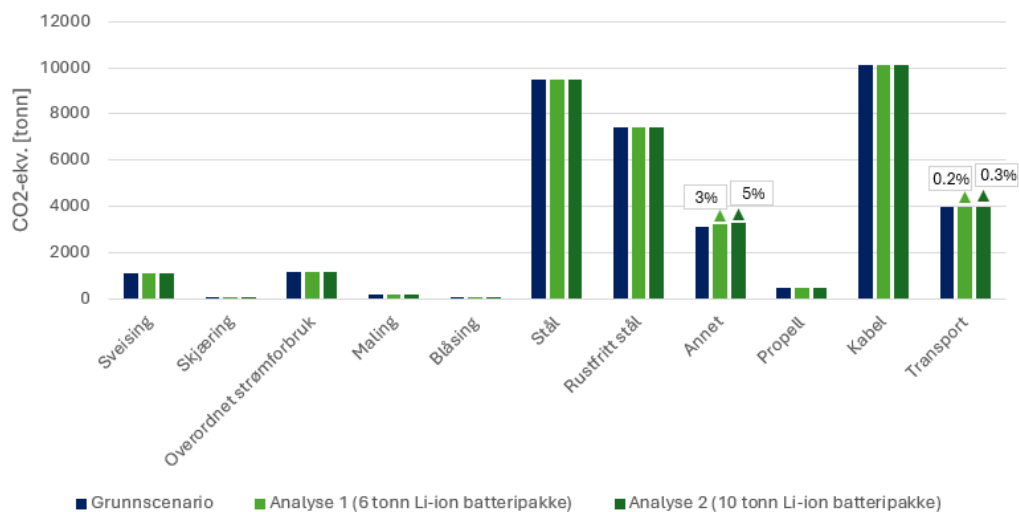
Det er antatt at batteristyringssystemet er inkludert i vekten av batteripakken, og utgjør 2% av den totale vekten. Utslippsintensitetene for både litumbatteriet og batteristyringssystemet er hentet fra SimaPro¹⁵.

Resultatene av scenarioanalysen er vist i Figur 9. Produksjonen av batteripakken fører til en økning i utslipp for begge analysene. I tillegg øker transportutslippene som et resultat av frakten av batteripakken fra leverandøren til verftet. Økningen i totale utslipp, vist i Tabell 6, er 0.2% for Analyse 1 og 0.4% for Analyse 2.

¹³ [Lithium-Ion Battery Energy: How Much Energy, Density, And Limits Explained \[Updated On- 2025\]](#)

¹⁴ Ellingsen et al. (2013). Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. Journal of Industrial Ecology. Volume 18, No. 1.

¹⁵ [SimaPro - Sustainability insights for informed changemakers](#)



Figur 9: Scenario 4 (litium-ion batteripakke for fremdrift) sammenlignet med basescenariot

5.2.5 Scenario 5: Resirkulerte materialer

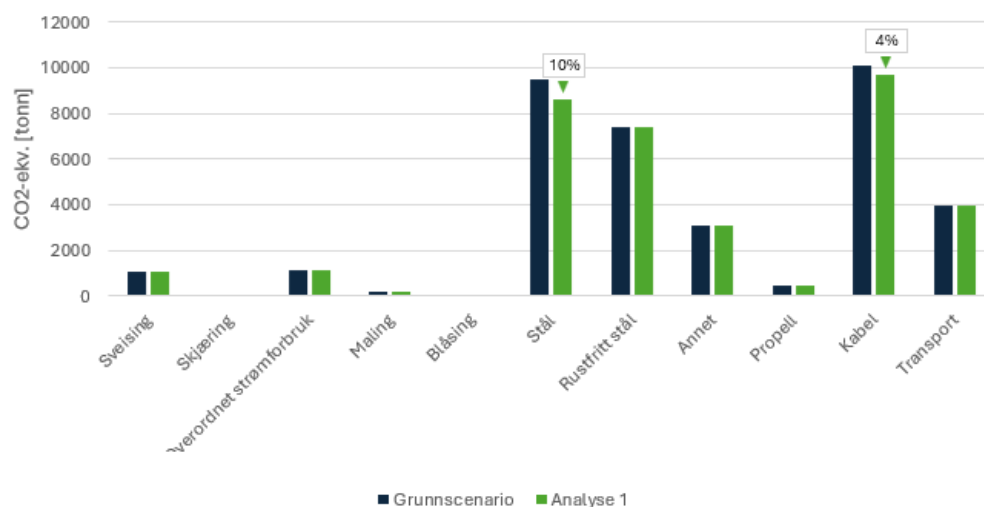
I dette scenariot vurderes utslippene knyttet til bruken av resirkulerte materialer i byggingen av skipet. Ifølge European Recycling Industries' Confederation (EuRIC)¹⁶ reduserer resirkulering av stål klimagassutslippene med opptil 58 %, mens resirkulering av kobber kan redusere utslippene med hele 65 % sammenlignet med primærproduksjon. Disse tallene gjelder imidlertid kun for selve metallproduksjonen og tar ikke høyde for videre bearbeiding. Disse reduksjonene vil derfor ikke gjenspeiles i de beregnede utslippene, ettersom en betydelig del av utslippene vil komme fra trinn som følger etter selve resirkuleringen og fortsatt krever betydelig energiinnsats. For kobber vil dette gjelde produksjonen av kobbertråd.

Utslippsberegningene baserer seg på EuRICs estimer for utslippsreduksjon i produksjonen av resirkulert stål og kobber¹⁶ og er gjennomført for én analyse:

Analyse 1 – 50% av alt stål, med unntak av skroget, består av resirkulert stål, og 50% av alt kobber består av resirkulert kobber

Figur 10 viser resultatene av scenarioanalysen sammenlignet med grunnscenariot. Bruken av resirkulert stål i Analyse 1 gir en utslippsreduksjon på 10% av stålrelaterte utslipp. For kobber gir bruken av resirkulert materiale en 4% reduksjon i utslippene knyttet til produksjonen av kobbertråd. Totalt reduseres utslippene med 4% sammenlignet med basescenariot, som vist i Tabell 6.

¹⁶ [eu-ric-metal-recycling-factsheet.pdf](https://www.eu-ric.org/en/industry-factsheets/eu-ric-metal-recycling-factsheet.pdf)



Figur 10: Scenario 5 (resirkulerte materialer) sammenlignet med basescenarioet

5.2.6 Scenarioanalyse – Sammendrag

Tabell 6 viser et sammendrag av scenarioanalysen, med de totale utslippene og endringen i utslippsmengde fra basescenarioet for hvert scenario.

Tabell 6: Sammendrag av resultatene fra scenarioanalysen

Scenario	Totalutslipp [tonn CO ₂ -ekv.]	Endring fra basescenario
Basescenario	37,074	-
Scenario 1: Grønt stål		
Alt stål er grønt stål		
Analyse 1	29,264	-21%
Analyse 2	33,235	-10%
Skroget er grønt stål		
Analyse 1	31,752	-14%
Analyse 2	34,097	-8%
Scenario 2: Lokale leverandører		
Analyse 1	36,788	-1%
Analyse 2	36,281	-2%
Scenario 3: Fornybar energi i konstruksjonsfasen		
Analyse 1	35,793	-3%
Analyse 2	35,472	-4%
Scenario 4: Litium-ion batteripakke		
Analyse 1	37,166	+0.2%
Analyse 2	37,299	+0.4%
Scenario 5: Resirkulerte materialer		
Analyse 1	35,734	-4%

6 KONKLUSJONER OG HOVEDFUNN

Denne studien vurderer nybyggutslippene fra et militært skip. Analysen fremhever betydningen av materialvalg, transport og aktiviteter på verftet for de totale klimagassutslippene.

Funn fra basescenarioet

- Mengden utslipp fra stålproduksjon er avhengig av hvilken utslippsfaktor som benyttes: et globalt gjennomsnitt for utslippsfaktoren for varmevalset vanlig stål reflekterer bearbeidingen av råstål og resulterer i et høyere utslipp, men tar ikke hensyn til forskjeller i de regionale produksjonsforholdene.
- De største enkeltutslippsgruppene er produksjonen av kobbertråd og stål, etterfulgt av rustfritt stål. Utslippene fra produksjonen av rustfritt stål inkluderer utslipp fra stållegeringer i den elektriske utrustingen, da utslippsintensiteten for rustfritt stål ble brukt for å estimere dette. Denne utslippsintensiteten omfatter bearbeiding av stålet og gir derfor et mer representativt estimat enn utslippsfaktoren for vanlig, ubearbeidet stål.
- Materialer og produksjon bidrar med omtrent 85% av de totale utslippene.
- Utslippene knyttet til transport, inkludert sleping av skroget, utgjør omtrent 10% av de totale utslippene.

Scenario 1 – Grønt stål

- En lavere utslippsintensitet bidrar til lavere utslipp fra stålproduksjonen, ettersom hoveddelen av leverandørlandene i dag har en utslippsintensitet som er høyere enn de eksisterende kravene for grønt stål.
- En utslippsfaktor på 0.3 tonn CO₂-ekv. per tonn stål produsert gir en utslippsreduksjon på 82% dersom alt stål produsert er grønt stål og 56% dersom kun skroget består av grønt stål.
- En utslippsfaktor på 1.0 tonn CO₂-ekv. per tonn stål produsert gir en utslippsreduksjon på 40% dersom alt stål produsert er grønt stål og 31% dersom kun skroget består av grønt stål.

Scenario 2 – Lokale leverandører

- Bruken av lokale (nasjonale eller nærliggende) leverandører gir en reduksjon i utslippene knyttet til transport.
- Flyttingen av stålproduksjon til land med høyere utslippsintensitet gir en økning i utslippene knyttet til stålproduksjon. Denne økningen vil være avhengig av den relative forskjellen i utslippsintensitet mellom leverandør-landene.
- Effekten av økt bruk av lokale leverandører må vurderes helhetlig for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i klimagassutslipp, ettersom flytting av produksjon fra land med lav utslippsintensitet til land med høyere utslippsintensitet kan gi en økning i utslipp knyttet til materialeproduksjon.

Scenario 3 – Fornybar energi i konstruksjonsfasen

- Å benytte fornybar energi i konstruksjonsfasen reduserer utslippene knyttet til sveising, skjæring og overordnet strømforbruk. Hvor stor reduksjonen er avhenger av hvilken fornybar energikilde som brukes.
- Aktivitetene ved verftene utgjør en relativt liten andel av de totale utslippene fra nybyggingsprosessen. Selv om bruken av fornybar energi kan redusere utslipp knyttet til skjæring, sveising og overordnet energiforbruk, vil den samlede effekten på de totale klimagassutslippene derfor bli begrenset.
- For utslippsintensitetene for de fornybare energikildene er medianverdier benyttet, og det bør bemerkes at det derfor er en usikkerhet knyttet til resultatene. Utslippetsanalysen gir likevel et bilde av hvor mye utslipp som potensielt kan reduseres ved overgang til ulike typer fornybar energi.

Scenario 4 – Litium-ion batteripakke

- Analysen gir innsikt i de initiale klimakostnadene ved å velge batteribasert fremdrift.
- Produksjonen og transporten av en 1 MWh litium-ion batteripakke fører til en økning i utslipp fra «Annet»-kategorien på 3% for en 6 tonn batteripakke og 5% for en 10 tonn batteripakke.
- Frakten av batteripakken til verftet fører til en økning i transportutslippene på 0.2% for en 6 tonn batteripakke og 0.3% for en 10 tonn batteripakke.

Scenario 5 – Resirkulerte materialer

- Bruken av resirkulerte materialer reduserer utslippene knyttet til produksjonen av råstål og råkobber, mens utslippsintensiteten for videre bearbeiding av materialene antas å forbli uendret.
- Bruken av resirkulert stål reduserer stålrelaterte utslipp med 10% når 50% av alt stål untatt skroget er resirkulert.
- Bruken av resirkulert kobber i elektriske kabler resulterer i en 4% reduksjon i utslippene knyttet til kobberproduksjon når 50% av kobberet er resirkulert.

Avsluttende observasjoner

Selv om utslippene fra stålproduksjonen varierer basert på hvilken utslippsintensitet som benyttes, forblir stålproduksjon, kobberproduksjon og produksjonen av rustfritt stål de tre største enkeltkildene til utslipp i nybyggingsprosessen. Dette innebærer at betydelige reduksjoner i totale klimagassutslipp kan oppnås gjennom nøye valg av leverandører og lokasjoner for innkjøp av materialer, inkludert grønt stål og resirkulert stål og kobber.

- Den største reduksjonen i utslipp knyttet til stålproduksjon oppnås ved bruk av grønt stål med en utslippsfaktor på 0,3 tonn CO₂-ekvivalenter per tonn stål i nybyggingsprosessen. Imidlertid kan tilgangen på grønt stål være begrenset, og det kan være utfordrende å finne leverandører som både oppfyller tekniske krav og har kapasitet til å levere i ønsket skala. I tillegg vil leverandørens geografiske lokasjon kunne påvirke utslippene ytterligere, ettersom transporten av stålet til verftet også bidrar til de totale utslippene.
- Bruken av resirkulert stål og kobber kan redusere utslippene med rundt 4% for kobberproduksjon og 10% for stålproduksjon.
- Å øke andelen lokale leverandører bidrar til å redusere utslippene knyttet til transport av materialer fra leverandører til verftene. Effekten av økt bruk av lokale leverandører må likevel vurderes helhetlig for å sikre at tiltaket gir en netto reduksjon i klimagassutslipp.
- Strøm fra fornybare energikilder kan benyttes for å redusere utslipp fra verftene og verftsaktiviteter. Ettersom dagens estimat for strømforbruk til støttefunksjoner er basert på en grov tilnærming, bør potensielle utslippsreduksjoner betraktes som veiledende og kan kreve mer presise data for videre vurdering.



Om DNV

Vi er et globalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering med tilstedeværelse i over 100 land. Vårt formål er å sikre liv, verdier og miljøet. Med vår unike tekniske ekspertise og uavhengighet bistår vi våre kunder med å forbedre sikkerhet, effektivitet og bærekraft.

Enten vi godkjenner et nytt skipsdesign, optimerer energiproduksjonen fra en vindmøllepark, analyserer sensordata fra en gassrørledning eller sertifiserer verdikjeden til en matprodusent, hjelper vi våre kunder med å ta gode og riktige beslutninger og øke tilliten til virksomheten, produktene og tjenestene deres. Verden er i endring. Vi kan påvirke utviklingen. Sammen skal vi takle de globale utfordringene og omstillingene vi vil møte.