



**FORSVARET**  
Forsvarets høgskole

## **Lavutslippsfartøyer i Sjøforsvaret**

*Lar det seg gjøre?*

**Tore Skjelanger**

Masteroppgave

Forsvarets høgskole

vår 2022

---

---

## Forord

Verdens klimautfordringer er et tema som jeg tidligere ikke har fattet særskilt interesse for, til tross for at jeg har vært bekymret for hvordan dette vil prege oss i fremtiden. I min søken etter forskningsområde relatert til fremtidens forsvar, var det kolleger i Sjøforsvarets utviklingsavdeling som introduserte meg for utfordringer med å møte strenge fremtidige miljøkrav ved bygging av marinefartøyer. Dette fanget en nysgjerrighet hos meg som nå har gitt meg betydelig økt kunnskap om dramatiske konsekvenser og muligheter for internasjonal skipsfart i fremtiden. Det har vært særdeles interessant å forske på dette i lys av fremtidens sjøforsvar, samtidig som jeg har fått erfart nytten av en strukturert metodisk fremgangsmåte for å frembringe ny kunnskap.

Jeg vil rette takk til min arbeidsgiver, Forsvarsmateriell, som har tilrettelagt for at jeg i perioder har kunnet fokusere på min studie. Jeg har i disse periodene også hatt nytte av faglige diskusjoner med kolleger i Forsvarsmateriell og Sjøforsvaret. Jeg håper forsvarssektoren kan nyttiggjøre seg av resultatet fra mitt arbeide.

Jeg har dessuten tilegnet meg økt forståelse for oppgavens tema gjennom faglige diskusjoner med personell fra Rederinæringen, Forsvarets Forskningsinstitutt, Forsvarets høgskole og Sintef. Jeg vil understreke hvor viktig slike ulike institusjoner er for fremtidig utvikling.

Det er ingen selvfølge at en familiefar har anledning til å bruke betydelige deler av sin fritid på studier. Jeg vil derfor rette en spesiell takk til min familie for deres tålmodighet og forståelse for mitt behov for å bruke verdifull tid på noe som virkelig har vekket en særskilt interesse og nysgjerrighet i meg.

---

# Sammendrag

Skjerpede klimakrav til skipsfarten vil påvirke fremtidige forsvarsanskaffelser. Både sivil- og militær skipsfart er i ferd med å erkjenne at betydelig skjerpede miljøkrav kommer. Utfordringen er uklarheter rundt hvordan kravene vil utarte seg, og om det finnes teknologiske løsninger som samsvarer med ambisjonene som settes. Nye standardfartøyer for Marinen og Kystvakten er under utredning, og utslippsreducerende løsninger blir krevende å implementere. Denne studien belyser muligheter for nullutslippsløsninger for disse fartøyene, som et resultat av en omfattende dokumentstudie og analyse. Hovedfokus er hvordan fartøyenes energibehov kan dekkes i økende grad av alternative energibærere som representerer lavutslipp av CO<sub>2</sub>. Det vært behov for å identifisere hva som kreves og forventes, samt å søke mulige løsninger som kan innfri dette. Det metodiske verktøyet *Multi-Criteria Analysis* (MCA) er benyttet, og oppgaven operasjonaliseres i samsvar med verktøyets 5 prosessstrinn.

Gjennom første prosessstrinn har identifisering av mål og hensikt vært gjeldende. Identifiseringen viser at det ikke eksisterer målbare krav, men generelle krav og forventninger om redusert miljøbelastning og klimavennlige løsninger. Det stilles imidlertid forventninger til at operativ evne og interoperabilitet ikke reduseres, samt krav om at nye løsninger skal være ressursbesparende for Forsvaret. Gjennom studiens analyser fremkommer det at ingen av de alternative løsningene vil være ressursbesparende. Videre identifiseres muligheter for måloppnåelse gjennom prosessstrinn 2. Gjennom å studere relevante aktørers tiltak, er konklusjonen at det finnes ingen tydelig utviklingsretning for alternative energibærere. Ulike teknologiske muligheter er vurdert, og noen energibærere blir videre analysert innen kategoriene *biobasert*, *hydrogenbasert* og *strømbasert*. I tredje del er 12 vurderingskriterier innenfor kategoriene *politisk*, *teknisk*, *operasjonelt* og *økonomisk* identifisert. Disse er benyttet som rammeverk for analyse av 7 energibærere i oppgavens fjerde del. Analysen er gjort i 2025- og 2030-perspektiv, og viser at ingen alternativer kan enkeltstående bidra til måloppnåelse.

Siste prosessstrinn omhandler utvalg av løsninger. Konklusjon er at måloppnåelse er mulig med fleksible hybride løsninger som kombinerer elektrisk drift med dieseldrift, og på sikt hydrogen gjennom flytende hydrogenbærere (FHB). Nevnte fleksible løsninger kan bidra til at 1/3 av standardfartøyenes årlige energibehov dekkes av CO<sub>2</sub> nøytrale kilder fra 2025. Fra 2030 kan dette gradvis øke til halvparten av energiforbruket. Den fleksible løsningen vil i stor grad oppfylle definert målsetning, men forventningen om ressursbesparelser ikke er mulig å innfri med alternative CO<sub>2</sub> nøytrale energibærere.

---

## Summary

Future climate regulations will impact naval defence procurements. Both international shipping and naval industry have started to acknowledge that significantly stricter environmental regulations will have to be met. However, it is hard to predict how future regulations and requirements will be like and if there will be technological solutions available to meet the ambitions. New standardised vessels for the Norwegian Navy and Coast Guard will soon be developed, and emission reducing solutions will be challenging to implement. This thesis is evaluating zero-emission solutions for these vessels, and a comprehensive document study and analysis has made this possible. Increasingly use of low-carbon energy carriers to cover the energy need for naval vessels will be the aim for the analysis.

The basis for the study has been identifying expectations and requirements, and then seek different solutions which can meet these. *Multi-Criteria Analysis* (MCA) has been used as a methodological tool, operationalized in accordance with 5 defined process steps.

Through the first process step, goals and purposes have been identified. The identification shows that there exist only general requirements and expectations in order to reduce environmental impact seeking climate-friendly solutions. However, any reduction of operational capability and interoperability seems not to be acceptable from a defence-perspective. It is also expected that future vessels shall lower the life-cycle-cost compared with today's naval vessels. Based on this study, none of the alternative solutions will meet this expectation. Furthermore, options for achieving goals are identified through process step 2. Even if there have been several studies on solutions for future low-emission shipping, there are no clear direction for development of alternative energy carriers. In this thesis, different technological options have been assessed, and some energy carriers are further analysed through the categories *bio, hydrogen and electricity*.

In the third part, 12 assessment criteria in the categories *politically, technically, operationally and economically* have been identified. These are further basis for the analysis of 7 energy carriers in the fourth part of the thesis. The analysis is done in a 2025- and 2030-perspective and show that none of the alternative options can separately contribute to goal-achievement.

Assessment and selection of solutions are made in the last process step. The conclusion is that goal-achievement is possible using flexible hybrid solutions that combines electrical-propulsion and diesel propulsion, and in the long-term hydrogen through liquid hydrogen carriers (LOHC). 1/3 of the annual energy consumption of the standardised naval vessels can be supplied by CO<sub>2</sub> neutral sources from 2025. From 2030, this may gradually increase to half of the energy consumption. Such flexible solutions will meet the defined objective, but the expectation of reduced life-cycle-costs is not possible to meet using CO<sub>2</sub> neutral energy carriers.

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 AVGRENSNINGER AV STUDIEN OG PROBLEMSTILLING .....	2
1.2 METODE, OPERASJONALISERING OG FALLGRUVER .....	4
1.3 KILDER .....	7
<b>2 Identifisering av mål og hensikt</b> .....	<b>9</b>
2.1 NYE FARTØYER TIL SJØFORSVARET .....	9
2.2 OVERORDNEDE KRAV OG FORVENTNINGER .....	11
2.3 MÅLSETTING .....	13
<b>3 Identifisere muligheter for å oppnå mål</b> .....	<b>15</b>
3.1 TREND OG UTVIKLING .....	16
3.1.1 Rederinæringen .....	16
3.1.2 Grønt Skipsfartsprogram .....	17
3.1.3 FN og IMO .....	18
3.1.4 EU .....	18
3.1.5 NATO .....	19
3.2 TEKNOLOGISKE MULIGHETER .....	20
3.2.1 Energiressurser .....	20
3.2.2 Energiomsetning om bord .....	21
3.3 ALTERNATIVE ENERGIBÆRERE .....	23
3.3.1 Biobasert .....	24
3.3.2 Hydrogenbasert .....	27
3.3.3 Strømbasert .....	30
<b>4 Identifisering av kriterier</b> .....	<b>32</b>
4.1 POLITISK .....	33
4.2 TEKNISK .....	34
4.3 OPERASJONELT .....	36
4.4 ØKONOMISK .....	38
<b>5 Analyse energibærere</b> .....	<b>40</b>
5.1 BIODIESEL .....	41
5.2 METANOL (BIO/SYNTETISK) .....	45
5.3 HYDROGEN .....	48
5.4 AMMONIAKK .....	53
5.5 FHB (FLYTENDE HYDROGENBÆRER) .....	56
5.6 BATTERI .....	60
5.7 LANDSTRØM .....	64
5.8 OPPSUMMERING AV ANALYSE .....	67
<b>6 Utvalg</b> .....	<b>69</b>
6.1 ENKELTVURDERING GJENNOM YTELSESMATRISEN .....	69
6.2 TOTALLØSNINGER .....	72
<b>7 Avslutning</b> .....	<b>75</b>
<b>Litteraturliste</b> .....	<b>1</b>
<b>Vedlegg</b> .....	<b>4</b>
Vedlegg 1, The Alternative Fuel Barrier Dashboard .....	4
Vedlegg 2, Energy carriers and converters .....	4
Vedlegg 3, Ytelsesmatriser .....	4
Vedlegg 4, Alternative energy carriers and converters .....	4
Vedlegg 5, Energy cost, density and readiness level .....	4
Vedlegg 6, Volumetric and gravimetric energy density .....	4
Vedlegg 7, Technological readiness levels .....	4

---

Vedlegg 8, Upstream, operational and net CO2 emissions .....	4
Vedlegg 9, Fuel price projections .....	4
Vedlegg 10, Possible fuel combinations .....	4
Vedlegg 11, Summary of alternative fuels .....	4
Vedlegg 12, Vurdering av personvern .....	4
Vedlegg 13, Tillatelse Forsvarets forskningsnemnd .....	4

---

# 1 Innledning

FNs klimarapporter har understreket behovet for umiddelbare tiltak for å redusere klimagassutslipp. Det stilles forventninger til det enkelte lands myndigheter om å iverksette tiltak som kan bidra til å oppnå deres forpliktelser om klimakutt. Som eksempel har Storbritannia vedtatt et nytt klimamål som innebærer å redusere utslippene med 68 prosent innen 2030. Norge har forpliktet seg under Parisavtalen til å redusere utslipp av klimagasser med minst 50 prosent innen 2030, sammenlignet med 1990. Norge skal videre bli et lavutslippssamfunn innen 2050 (Miljødepartementet, 2021, p. 11).

Skipsfarten står for 2 prosent av menneskeskapt CO<sub>2</sub> utslipp, og må på linje med andre næringer komme opp med nye miljøvennlige løsninger som møter fremtidens miljøkrav. Det pågår et EU-initiativ for å få fortløpende utviklingen av alternative energibærere for skipsfarten. Dette for å kunne redusere kostnadsgapet mellom fossile drivstoff og miljøvennlige alternativer. Gjennom å bidra med et rammeverk for å sikre økende etterspørsel og teknologiutvikling, er håpet at man skal skape et velfungerende EU marked for miljøvennlige energibærere (Union, 2021, p. 4). Maritim sektor er i hovedsak basert på fossilt drivstoff, og innføringen av alternative mer miljøvennlige energibærere er utfordrende. Dette kan forklares med uhensiktsmessige incentiver for satsning på ny teknologi, samt at skipsindustrien er basert på langsiktighet når det bygges fartøyer og infrastruktur (Commission, 2021b, p. 3). Mange aktører vegrer seg for drastiske omstillinger grunnet mangel på tydelighet om fremtidens regelverk, teknologiske satsningsområder samt tilrettelagt infrastruktur og forsyning.

I regjeringens klimaplan for 2021-2030 slås det fast at «grønn vekst er mulig, men det forutsetter en politikk som sikrer at næringslivet kan utvikle og ta i bruk ny teknologi som erstatter gårsdagens fossile løsninger» (Miljødepartementet, 2021, p. 12). Utviklingen vil fremtvinge krav til Forsvarets fremtidige materiellanskaffelser. Forsvarssektoren er gjennom anskaffelsesloven forpliktet til å innrette anskaffelsespraksisen slik at den bidrar til å redusere skadelig miljøpåvirkning. Det gis herunder anledning til å stille krav og kriterier som bidrar til fremming av innovasjon og miljøhensyn (Fiskeridepartementet, 2016, p. § 5). Betydelig strengere krav til miljøvennlige løsninger kan få stor innvirkning på fremtidige forsvarsanskaffelser, samt mulige driftsmessige og operative konsekvenser.

Sjøforsvaret fikk i 2020 i oppdrag å vurdere en standardisert fartøystype for Marinen og Kystvakten. Noen av disse er tenkt å skulle erstatte en del av dagens kystvaktfartøyer, mens andre skal fungere som støttfartøyer for marinens operasjoner (Sjøforsvaret, 2021). Innfasing av de første fartøylene er tenkt allerede fra 2025, og det haster derfor med å foreta vurderinger og fatte designmessige beslutninger. Sjøforsvarets fartøyer har gjerne en levetid på mer enn 30 år, og en del av utredningen er å finne



---

teknologiske muligheter som møter fremtidige miljøkrav. Med bakgrunn i den lange levetiden vil valg av løsninger på nye marinefartøyer påvirke utslipp og kostnader i mange tiår. «Av hensyn til både utslippene og kostnadene anbefales det derfor at framskriving av fremtidige utslipp får en større rolle i investeringsbeslutninger og LTP-prosessen» (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 3).

Det er flere faktorer som skiller militære fartøyer fra sivile, derfor bør også dette tas med i vurderingen når man skal se på alternative løsninger for fremtiden. Ett viktig hensyn er at militære fartøyer kan kreves å fungere under ekstreme forhold hvor det ikke er forsvarlig å ha tilstedeværelse av sivile fartøyer. Dette kan være innsats under krig og konflikt. Da bør de militære fartøyene også ha en viss evne til å fungere også etter å ha blitt utsatt for angrep eller ha blitt påført skader forårsaket av angrep (NATO, 2019, pp. Part 1, XVIII). Denne særegenheten for militære fartøyer kan brukes som argument for å unngå å ta i bruk ny miljøvennlig teknologi. Sivile rederier kan også oppleve det som en ulempe og belastning å måtte forholde seg til nye strenge miljøkrav, og investeringer i ny teknologi er forbundet med betydelig risiko. I lys av Forsvarets særegenheter kan innføringen av nullutslippsløsninger også ha betydning for Sjøforsvaret som reder, og for marinefartøyenes evne til å løse oppdragene gitt av samfunnet. Det må uansett forventes at man fra politisk hold krever at dette usikkerhetsrommet utredes, og denne studien kan bidra til at disse mulighetene og begrensningene utforskes.

## **1.1 Avgrensninger av studien og problemstilling**

Forsvarssektoren har lang erfaring med fremskaffelse av fartøyer til Marinen og Kystvakten. Gjennom Forsvaret utvikles det en rekke brukerkrav basert på et operativt konsept, før Forsvarsmateriell får ansvar for videre kravsetting samt selve anskaffelsen innenfor ulike regelverk og tildelte økonomiske rammer. Det er en rekke krav som stilles til denne type fartøyer, og det må nå forventes at miljøkravene blir betydelig skjerpet.

Miljøutslipp eller klimagassutslipp er samlebetegnelser på flere typer klimagasser som kan skade miljøet. Et særskilt fokus for å nå FNs bærekraftsmål med hensyn til temperaturøkning, er utslippsreduksjon av CO<sub>2</sub>. Blant ulike klimagassutslipp fra skip er det derfor CO<sub>2</sub> utslipp jeg har valgt som avgrensning i min studie.

---

Det er i hovedsak to måter å redusere et fartøys CO2 utslipp på. Den ene er å finne energieffektiviseringstiltak eller et mer energieffektivt operasjonsmønster. Bruk av ny teknologi med autonome systemer kan eksempelvis gi betydelige utslippsreduksjoner, samtidig som operativ evne ivaretas og potensielt forbedres (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 52). Reduksjon av fartøyers faktiske energiforbruk krever en omfattende kartlegging og analyse, og jeg har i min oppgave avgrenset meg til å ikke behandle dette videre.

**Studien fokuserer imidlertid på den andre metoden for CO2 reduksjon. Dette innebærer å sørge for at fartøyenes faktiske energibehov dekkes i større grad av fornybar energi gjennom andre energibærere enn tradisjonell fossil diesel.** Dette fordi energieffektivisering har sin begrensning, mens de betydelige utslippskuttene bare kan nås med alternative energibærere. Å finne slike løsninger er en stor og krevende prosess for skipsfarten generelt, og for Sjøforsvaret spesielt. Dette med bakgrunn i at krav og forventninger til marinefartøyer kan være spesielt krevende å innfri, samt at en reduksjon i operativ evne tilsynelatende ikke kan aksepteres.

Store materiellinvesteringer i Forsvaret skal besluttes politisk, og det må forventes skjerpede miljøkrav for fremtidens materiellinvesteringer. Samtidig har det fra politisk hold blitt varslet satsning på teknologi som kan fremme vekst i norsk industri, og at offentlige anskaffelser kan bidra til å styrke denne satsningen. Når nå nye standardfartøyer vurderes anskaffet for fremtidens Sjøforsvar, vil jeg i denne studien undersøke følgende problemstilling:

***Hvordan kan Sjøforsvaret tilnærme seg politiske mål om nullutslipp for skipsfarten ved bygging av nye fartøyer, uten at dette får betydelige operative eller økonomiske konsekvenser?***

Aktuelle rapporter og litteratur som er gjennomgått i min studie peker alle på en stor grad av usikkerhet knyttet til teknologiutviklingen for grønn skipsfart. En undersøkelse EU har gjort blant relevante interessenter tilknyttet skipsfarten viser at det ikke er ønske om å satse på én eller få energibærere, men la teknologiutviklingen avgjøre hva som vil bli mest hensiktsmessig i fremtiden (Union, 2021, p. 134). Til tross for at både FN, EU og IMO har definerte mål for 2050, er det uklart hva som skal løse de største utfordringene for bransjen om et par tiår. Det er altså store utfordringer med å forutse denne teknologiutviklingen på lang sikt.

Med bakgrunn i denne store usikkerheten i et lengre perspektiv, har jeg i hovedsak valgt å avgrense min oppgave til å se på hvilke teknologier som kan være hensiktsmessige å innføre for nye fartøyer i Sjøforsvaret i et 2025- og 2030-perspektiv.

---

I disse vurderingene vil jeg kunne konsentrere meg om teknologi som allerede er under utprøving på fartøyer. Jeg vil allikevel måtte se lengre frem i tid for å vurdere tilrettelegging for en senere oppgradering av fartøyer for implementering av ny teknologi.

## 1.2 Metode, operasjonalisering og fallgruver

Til å besvare min problemstilling benytter jeg meg av **kvalitativ tilfellestudie med intensivt undersøkelsesdesign**. Intensive design er egnet til å gå i dybden på et fenomen i lys av mange nyanser, hvor målet er en grundig og detaljert forståelse. Tilfellestudier er godt egnet til å opparbeide seg detaljert forståelse gjennom utforskning, og se dette opp mot en spesiell kontekst som kan gi ny forståelse og kunnskap (Jacobsen, 2015, pp. 90, 99, 133). Denne type studier blir benyttet i økende grad, og det finnes ulike metoder for gjennomføring av slike forskningsprosjekter. Jeg benytter meg av *Multi-criteria analysis* i min studie.

### **Multi-criteria analysis (MCA)**

Utgangspunktet for studien er å utforske ulike teknologiske muligheter som finnes, for å se på om hver av disse er akseptable sett opp mot en rekke parametere og kriterier i en sjømilitær kontekst. Videre å sette disse inn i en oversikt som kan danne grunnlag for videre valg og beslutninger. MCA er da et godt egnet teoretisk og metodisk rammeverk.

I en konseptfase av et prosjekt gjennomføres det gjerne kost-nytte analyser av ulike alternativer og muligheter. MCA er ofte et supplement i en slik prosess for å kunne bidra til å underbygge en beslutning. Subjektive preferanser kan være et problem i mange beslutningsprosesser, og i flere tilfeller kan da MCA legge til rette for mer struktur og åpenhet i beslutningsprosessen. Britiske myndigheter benytter MCA i stor grad og på mange ulike nivåer, og de har utviklet et teoretisk oppslagsverk for å kunne benytte dette på best mulig måte (Government, 2009). Det er denne jeg har valgt å benytte som et teoretisk rammeverk i studien, heretter kalt **MCA-veilederen**.

FFI benytter også tilsvarende metoder ved flere av deres forskningsprosjekter. De definerer *Multi-Criteria Decision Analysis* som hensiktsmessig når situasjonen er kompleks, kan få betydelige konsekvenser eller behov for etterprøvnbarhet kan oppstå (FFI. Stein Malerud, 2006).

---

Ut fra teoretisk rammeverk benyttes følgende anbefalt prosess for MCA:

- **Identifisere målsetning og hensikt**
- **Identifisere ulike muligheter for å oppnå målsetning**
- **Identifisere hvilke kriterier som benyttes for å sammenligne valgmulighetene**
- **Analysere mulighetene**
- **Utvelgelse**

Dette rammeverket preger også oppbygningen av oppgaven, og kapittelinnvidlingen er gjort med utgangspunkt i ovennevnte prosessstrinn.

En viktig rammefaktor er å finne mest hensiktsmessige metode for å komme frem til et utvalg av kriterier. MCA veilederen skiller mellom to metoder. Den ene går ut på å involvere ulike interessenter og beslutningstakere i prosessen. Da gjerne gjennom intervjuer eller arbeidsgrupper. Den andre tilnærmingen er å gjennomføre en dokumentanalyse av relevante informasjonskilder fra interessenter, for så gjøre en utvelgelse av kriterier som reflekterer interessentenes syn (Government, 2009, p. 33). Det er denne tilnærmingen jeg har valgt, altså en **dokumentstudie**. Dette er besluttet med bakgrunn i innledende kildegjennomgang og samtaler med enkelte interessenter. Helhetsoversikt over studiens problemområde er mangelfull, og dermed vil eventuelle interessenter og respondenter kunne gi innspill uten tilstrekkelig grunnlagsinformasjon. Et annet poeng fra MCA veilederen er at i komplekse prosjekter i offentlig sektor kan ulike interessenter ha svært ulik tilnærming og agenda til problemet, og det kan dermed bli utfordrende å finne frem til et felles sett med kriterier (Government, 2009, p. 34). Et siste poeng er at denne dokumentstudien ikke nødvendigvis skal kulminere i en beslutning, men kunne bidra som en transparent oversikt som kan benyttes som et beslutningsgrunnlag. MCA er et hensiktsmessig verktøy for å etablere et slikt eksplisitt, transparent og oversiktlig grunnlag som kan benyttes av beslutningstakere (Government, 2009, pp. 20-21).

Det er gjort et stort antall studier med henblikk på utslippsreduksjon for ulike fartøyer innen skipsfarten. Den ene rapporten påpeker at *«den store variasjonen mellom- og innen hver fartøyskategori gjør at det er krevende å trekke generelle konklusjoner om utslippsreduksjonspotensial og kostnader ut fra gjennomsnittsberegninger»* (Miljødirektoratet, 2020, p. 97). Når jeg i tillegg erfarer at det finnes få omfattende beregninger eller studier på utslippsreduksjon for militære fartøyer, vil min studie baseres på mer generelle betraktninger og vurderinger.

Funn og konklusjoner er kvalitetssikret mot relevante interessenter underveis i prosessen for å styrke studiens validitet og reliabilitet.

---

Det er flere vitenskapelige aspekter som kan ligge til grunn for MCA eller lignende metoder. Med bakgrunn i artikkelen *Structure of Multi-Criteria Decision-Making* (Brugha, 2004), vil jeg hevde at jeg gjennom min studie beveger meg inn i både **kritisk realisme og konstruktivisme**. Dette gjennom kombinasjonen av å hente ut og tolke empiri fra en dokumentert virkelighet, for så å konstruere et system som analyserer virkeligheten opp mot ulike kontekster.

## Fallgruver

MCA er et verktøy som kan benyttes i en ledelsesprosess. Beslutningstaking er en prosess med flere fallgruver, hvor bevissthet rundt disse kan styrke lederens vurderinger. Bevissthet rundt fallgruver vil styrke reliabiliteten og validiteten i min studie. Det er gjennomført betydelig forskning på dette området, og jeg tar utgangspunkt i et arbeid fra professorer ved *Harvard Business School*. Som en del av sin forskning har de har publisert en artikkel med tittelen «*The Hidden Traps in Decision Making*» hvor de benevner fallgruver som:

*Anchoring, Status-Quo, Framing, Confirming-Evidence, Estimating and Forecasting* (J.S. Hammond, 1998). Disse fallgruvene er sentrale i valgt MCA-prosess.

**Kapittel 2** i oppgaven omhandler **første prosesstrinn i MCA**, identifisering av målsetning og hensikt. «**Anchoring Trap**» er en fallgruve som er aktuell på dette stadiet, og omhandler hvordan innledende undersøkelser kan gi persepsjoner og løsninger som har festet seg ved de involverte. Slike biaser kan ubevisst henge ved når målsetningen skal vurderes og defineres. Ankring omtales også av Beadle ved FFI (Beadle, 2016, pp. 39-42). Han peker på at vi har en tendens til å starte med **innsideperspektivet**, altså å tilegne oss mest mulig detaljkunnskaper for å bedre forstå situasjonen. Dette kan føre til et detaljfokus og ankring, og når man først har fått et anker opplever man mindre behov for å lete etter alternativer. **Utsideperspektivet** bygger på noe større og mer generelt, altså mer i retning av hvor vanlig et fenomen er. Dette perspektivet er nyttig med tanke på å se saken i en større kontekst, før man begynner å studere dem mer detaljert fra innsiden. Tiltak for å unngå *ankringsfellen* omtales i kapittel 2.

**Kapittel 3** har til hensikt å identifisere muligheter for å oppnå mål, og er **andre steg i MCA**. «**Status-Quo Trap**» vil være en aktuell fallgruve. Dersom man er tankemessig låst til at dagens løsninger er det optimale, vil flere muligheter fort kunne bli vurdert som uaktuelle. Tiltak for å unngå dette er nevnt innledningsvis i kapittel 3.

**Kapittel 4** omhandler valg av kriterier for analyse av mulighetene, og er relatert til **tredje prosesstrinn i MCA**. Her er bevissthet rundt «**Framing Trap**» viktig. Framing omhandler hvordan

---

man setter rammene for problemløsning og beslutninger. Konteksten man definerer problemet innenfor kan formes på ulike måter, og utfallet av beslutningsprosessen kan påvirkes betydelig av dette. Hvordan man kan unngå denne fallgruven omtales i kapittel 4.

**Kapittel 5** er selve analysedelen i studien, og **fjerde trinn i MCA**. «*Confirming-Evidence Trap*» er en fallgrube som er aktuell gjennom slike analyser, og handler om at man enkelt kan finne argumenter som underbygger ens egentlige ønske om utfall. Mulige tiltak for å unngå dette omtales innledningsvis i kapitlet.

**Kapittel 6** omhandler utvelgelse, og er knyttet til **femte prosessstrinn i MCA**. Når man står overfor utvelgelse og beslutninger bør «*Estimating and Forecasting Trap*» unngås. Dette handler om å basere beslutninger i stor grad på hva man tror fremtiden vil bringe, eller ens egne estimeringer, fremfor analyser og forskning. Tiltak for å unngå dette omtales i kapittel 6.

## 1.3 Kilder

Studien baserer seg på det som betegnes som **sekundærdata**, i form av dokumentgjennomgang (Jacobsen, 2015). Å møte fremtidens miljøkrav byr på store utfordringer for skipsnæringen i hele verden. Dermed finnes det også et stort antall studier og rapporter som har sett på hvordan skipsfarten kan løse disse utfordringene. Relevant kildeomfang ble uforholdsmessig stort, så kildeutvelgelser som møter problemstillingen på mest hensiktsmessig måte var nødvendig.

EU har brukt betydelige ressurser på å forske på området, og gjennom programmet FuelEU er det utstedt noen rapporter som er valgt benyttet. I tillegg har de anerkjente classeselskapene DNV og Lloyd's publisert relevant forskning som legges til grunn. Gjennom *Norges Rederiforbund* og *Grønt skipsfartsprogram* er det også publisert en rekke rapporter som er relevant for oppgaven.

Felles for disse kildene er at det finnes empiri og datagrunnlag som benyttes i studiens vurderinger og analyser, gjerne oversatt til mer generelle betraktninger.

Når det gjelder den forsvarsspesifikke vinklingen i problemstillingen har kildetilfanget vært mer beskjedent. Konseptvalgutredningen for nye standardfartøyer er en sentral kilde. I tillegg benyttes en rekke kilder fra både NATO og Forsvarssektoren som er relevant, og herunder også FFI-rapporter. Nasjonale lover og forskrifter som er relevant for forsvarsanskaffelser er også sentral.

---

En annen viktig kilde er en masteroppgave fra Nederland fra 2021, i form av en teknisk studie hvor det er sett på ulike aspekter ved bruk av alternative energibærere på de store nederlandske kampfartøyene (Streng, 2021). Til tross for at innfallsvinkelen er mer teknisk og designmessig rettet enn for denne studien, inneholder den relevant empiri og konklusjoner som benyttes her.

Kilden som danner det metodiske rammeverket er MCA-veilederen som omtalt i kap 1.2.

---

## 2 Identifisering av mål og hensikt

*MCA veilederen* fremhever viktigheten av å identifisere målsettingene, og gjerne dele disse inn i hva som er viktig på umiddelbar sikt og mer overordnet i en lengre tidshorison. De umiddelbare målene kan være retningslinjer eller beslutninger som ligger til grunn for et konkret prosjekt. De mer langsiktige er gjerne opphengt i strategiske eller politiske veivalg, som for eksempel bærekraft, miljø eller sosiale aspekter (Government, 2009, pp. 10, 31).

Det har vært utfordrende å finne tydelige forventninger og krav til nullutslippsteknologi på Sjøforsvarets nye fartøyer. Oppgavens vinkling blir å se på dette i en internasjonal og nasjonal kontekst i lys av Forsvarets oppgaver og operative krav. Ved å studere ulike forventninger, ambisjoner, retningslinjer og krav vil dette snevres inn til noe som kan defineres som målsetning i forhold til problemstillingen.

Gjennom identifiseringsarbeidet er bevissthet rundt fallgruven «anchoring» viktig. Å kunne se saken fra ulike perspektiver og ha et åpent sinn, er tiltak som motvirker ankring. Det er også sentralt at man i diskusjon med andre unngår å dele av ens egne tanker i en tidlig fase, for å unngå å bidra til ankring hos omgivelsene (J.S. Hammond, 1998, p. 4). Valg av dokumentstudie foran intervjuer har redusert risikoen for å havne i denne fallgruven.

I **kapittel 2.1** belyses grunnlaget i et umiddelbart perspektiv med utgangspunkt i konseptvalgutredningen for nye fartøyer til Sjøforsvaret. Deretter følger en redegjørelse i **kapittel 2.2** for mer overordnede forsvarsspesifikke- og politiske mål og føringer. I **kapittel 2.3** summerer jeg opp og definerer en målsetning som legges til grunn.

### 2.1 Nye fartøyer til Sjøforsvaret

I juni 2021 leverte Sjøforsvaret en konseptvalgutredning til Forsvarsstaben om nye standardfartøy for Sjøforsvaret. «Utredningen handler om å bygge et Sjøforsvar for fremtiden som er tilpasningsdyktig for nye løsninger og behov, og som er tilpasset Forsvarets økonomiske rammer» (Sjøforsvaret, 2021).



---

Bakgrunnen er gjeldende langtidsplan for Forsvarssektoren som skisserer et behov for å se på sammenfallende egenskaper ved en rekke fartøyer som skal anskaffes og erstattes. Dette fordi Sjøforsvaret nå har en rekke ulike fartøyer som driftes og understøttes svært forskjellig.

Hensikten med å anskaffe en standardisert fartøystype til bruk for ulike oppgaver er at man kan dra nytte av mer enhetlig drift, styrkeproduksjon, vedlikehold samt fleksibilitet. Sjøforsvaret anslår at i løpet av en 10-15 års periode vil det potensielt være minst 15 fartøyer som er tenkt anskaffet til Kystvakten og Marinen som kan sees i sammenheng med utredet konsept (Sjøforsvaret, 2021).

Marinen vil ha behov for moderfartøyer for det nye konseptet for minemottiltak, i tillegg til logistikk- og støttefartøyer. Kystvakten skal erstatte flere fartøyer for både indre- og ytre kystvakt.

Gjennom konseptvalgutredningen kommer det frem at det er ønskelig å fremskaffe fartøyer ved bruk av norsk maritim sektor. Dette for å møte nærings- og forsvarspolitiske ambisjoner. I tillegg vil miljøvennlige teknologiske løsninger kunne møte varslede krav til fremtidige offentlige anskaffelser (Sjøforsvaret, 2021).

### **Grunnlag og krav**

Sjøforsvaret tar gjennom sin konseptvalgutredning utgangspunkt i fem effektmål for anskaffelse av standardfartøy (Sjøforsvaret, 2021). Effektmålene er som følger:

Gjennom standardisering effektivisere driften med lik bemanning, kompetanse, drift og vedlikehold.

1. Økt operativt handlingsrom gjennom fleksibilitet og modulære løsninger.
2. Fartøyene skal utvikles i tråd med Meld. ST 10 (2020-2021) kapittel 7.1 Klimamål for skipsfarten (Fiskeridepartementet, 2020).
3. Tilfredsstill Sjøforsvarets behov for en bred og dynamisk fartøysstruktur gjennom en kostnadseffektiv anskaffelse.
4. Etablere en robust driftsløsning i et levetidsperspektiv.

Utredningen beskriver at overordnet grunnlag for disse effektmålene er behovet for å løse fremtidige oppgaver på en mer ressurseffektiv og kostnadsbesparende måte. Når det gjelder effektmål 2 er innholdet i stortingsmeldingen noe rundt formulert og bærer preg av generelle ambisjoner og forventninger om utslippskutt i skipsfartsnæringen.

Det bemerkes i konseptvalgutredningen at de aktuelle fartøystypene i utgangspunktet er tiltenkt lavere militære spesifikasjoner enn tradisjonelle kampfartøyer. Det kan derfor legges til grunn en betydelig grad av sivilt regelverk og klassekrav. Det er imidlertid gjennom NATO utviklet en del regelverk og

---

standarder som bør følges, slik som NATO standardiseringsavtaler (STANAG). STANAGer som er ratifisert til bruk i Forsvarssektoren, skal benyttes ved anskaffelser av materiell eller tjenester (Forsvarsdepartementet, 2013, p. § 16). Det er også en del *NATO capability codes* som ligger til grunn, og noen av disse er også nevnt i konseptvalgutredningen. Interoperabilitet er ett av de operative kravene til Sjøforsvarets fartøyer, og nevnte NATO-regelverk er et middel for å tilsikre dette.

## 2.2 Overordnede krav og forventninger

Internasjonale reguleringer er nødvendig for å unngå karbonlekkasje, og EU jobber derfor aktivt med et rammeverk som skal gjelde for medlemslandene i første rekke. Herunder en revidering av *Alternative Fuels Infrastructure Directive (AFID)* samt *Renewable Energy Directive (RED II)* (Commission, 2021b, p. 3). Med karbonlekkasje menes at CO<sub>2</sub>-reducerende tiltak ett sted kan føre til at utslipp øker et annet sted. Rederinæringen hos medlemslandene mener det er avgjørende med tydelige, robuste og langsiktige EU reguleringer for at investorer skal kunne utvikle og ta i bruk nye skip basert på fornybare energikilder (Commission, 2021b, p. 6). Datagrunnlaget som EU har utarbeidet for å kunne oppnå sine målsettinger tilsier at innen 2030 bør 6-9 prosent av drivstoff i maritim sektor være basert på lavutslippsteknologi. Innen 2050 må denne prosentandelen være 86-88 (Commission, 2021b, p. 52).

Fra 2021 har Norge forpliktet seg til å følge opp sine vedtatte klimakutt overfor EU. Forpliktelsen innebærer 40 prosent kutt i ikke-kvotepliktige utslipp sammenlignet med 2005-nivå innen 2030. Til tross for at det er noen år til dette målet innfris, har man også forpliktet seg til årlige kutt. Disse skal dokumenteres og rapporteres år for år (Miljødepartementet, 2021, p. 12).

Norsk innenriks skipsfart står for 9 prosent av totale CO<sub>2</sub>-utslipp i Norge (Skipsfartsprogram, 2016, p. 7). I 2019 ble en faggruppe bestående av Miljødirektoratet, Statistisk Sentralbyrå, Enova, Vegdirektoratet, Kystverket, Landbruksdirektoratet og Norges Vassdrags- og Energidirektorat etablert. På vegne av en rekke departementer ble de gitt i oppdrag å utrede tiltak og virkemidler for å redusere utslipp i Norge for å oppnå nasjonale utslippsmål i 2030. Resultatet ble en omfattende rapport utgitt i 2020 med tittelen *Klimakur 2030*. Til tross for at en betydelig del av rapporten omhandler tiltak for fartøyer, var ikke Forsvarssektoren involvert i arbeidet. «*Det er ikke utredet tiltak for militære fartøyer i Klimakur 2030*» (Miljødirektoratet, 2020, p. 122).

---

Heller ikke EU sitt arbeid med retningslinjer for nullutslippsløsninger for skip inkluderer marinefartøyer, kystvakt- eller andre fartøyer som utfører statsoppgaver. EU har heller ikke anledning gjennom traktatens bestemmelser til å innføre reguleringer for den enkelte stats marinefartøyer. Til tross for dette vil EU sitt initiativ kunne bane vei for at marinefartøyer også kan ta i bruk alternative energibærere (Union, 2021, pp. 13, 20, 43).

Håndbok for Miljøvern i Forsvaret har til hensikt å gi økt fokus på miljøvern, men tiltak for å begrense CO2 utslipp kan virke mangelfullt. I håndboken slås det blant annet fast at Forsvaret har som mål å være en foregangsetat når det gjelder å etterleve nasjonale og internasjonale miljøbestemmelser, lover og regler (Forsvaret, 2013, p. 31). Håndboken er fra 2013, og det kunne vært hensiktsmessig med en oppdatert utgave som inkluderer ansvar for å redusere klimagassutslipp.

Det har lenge blitt stilt krav til miljøtiltak for forsvarsanskaffelser. Anskaffelsesloven (LOA) sier at det kan stilles bestemte energi- og miljøkrav med utspring i EØS-avtalen eller andre internasjonale avtaler (Fiskeridepartementet, 2016, p. § 16). Anskaffelsesforskriften ble i 2017 oppdatert med krav om å minimere miljøbelastningen og fremme klimavennlige løsninger ved anskaffelser og stille miljøkrav og kriterier i alle trinn av anskaffelsesprosessen der det er relevant og knyttet til leveransen. *«Der miljø brukes som tildelingskriterium, bør det som hovedregel vektet minimum 30 prosent»* (Fiskeridepartementet, 2017).

Under forsvarsanskaffelser kan man imidlertid unntas fra Anskaffelsesloven (Fiskeridepartementet, 2016, p. § 2). Anskaffelsesregelverk for forsvarssektoren (ARF) kommer til anvendelse der hvor unntak påberopes. Gjennom ARF kreves det at det tas hensyn til miljømessige konsekvenser av anskaffelsen, og at det så langt som mulig stilles konkrete miljøkrav til produktets ytelse og funksjon. Paragrafen viser dessuten til gjeldende handlingsplan for miljø- og samfunnsansvar i offentlig sektor (Forsvarsdepartementet, 2013, p. § 6.7).

Gjennom Solberg-regjeringens klimaplan varsles det at innkjøpsmakten til det offentlige vil kunne bli benyttet for å stille klimakrav om lav- og nullutslippsteknologi. Hensikten er å påvirke teknologiutviklingen positivt, men markedet må avgjøre hvilken teknologi som er mest hensiktsmessig (Miljødepartementet, 2021, p. 14). FFI påpeker at Forsvarssektoren har et stort forbedringspotensial når det gjelder å prioritere klimavennlige løsninger for forsvarsanskaffelser. *«Når andre faktorer skal vektlegges, slik som økonomi og operative krav, er det få miljøhensyn som til syvende og sist blir tatt»* ((FFI), 2019, p. 13).

---

## Operative krav

Operative krav som stilles i Forsvaret generelt og Sjøforsvaret spesielt, endres med tiden og revideres når planverk oppdateres. En del av dette planverket er gradert, og kommer derfor ikke til å omtales her. Noen overordnede kategorier av operative krav som er relevant for studien er:

- Evner og kapasiteter
- Reaksjonsevne
- Deployerbarhet
- Utholdenhet
- Interoperabilitet

Utgangspunktet blir å unngå reduksjon av operativ evne innenfor ovennevnte kategorier. Konseptvalgutredningen legger sågar til grunn en ambisjon om økt operativt handlingsrom (Sjøforsvaret, 2021). Denne studien er dog ikke basert på et definert nivå av operativ evne, men gjennom analyser synliggjøres det hvordan denne evnen påvirkes av de ulike alternativer.

Forvaret skriver om forsknings og utviklingsprosjekter at *«det må legges vekt på at anbefalte løsninger reduserer risikoen for brukerrestriksjoner begrunnet i fremtidige miljøkrav»* (Forsvaret, 2013, p. 26). I kontekst av valgt problemstilling kan dette tolkes som at miljøkrav ikke bør redusere operativ evne, men dette kan altså endres med eventuelle nye politiske føringer.

## 2.3 Målsetting

Både Forsvarets ledelse og norske myndigheter virker avventende når det gjelder å stille konkrete utslippskrav til Sjøforsvaret og Forsvarssektoren for øvrig. Dette kan forstås i lys av et varierende trusselbilde som kan kreve økt aktivitet. Man er også avventende med å stille for strenge miljøkrav til nye fartøyer, gjerne med bakgrunn i mangel på konsekvensutredning. Mitt inntrykk er at konseptvalgutredningen for standardfartøyer til Sjøforsvaret har tatt hensyn til at det vil komme skjerpede miljøkrav. En første vurdering av ulike miljøtiltak er foretatt, og det forventes at ytterligere utredninger vil komme. Forsvaret har selv også slått fast at *«der det er økonomisk mulig skal Forsvaret velge de miljømessig gunstigste løsningene»* (Forsvaret, 2013, p. 31).

---

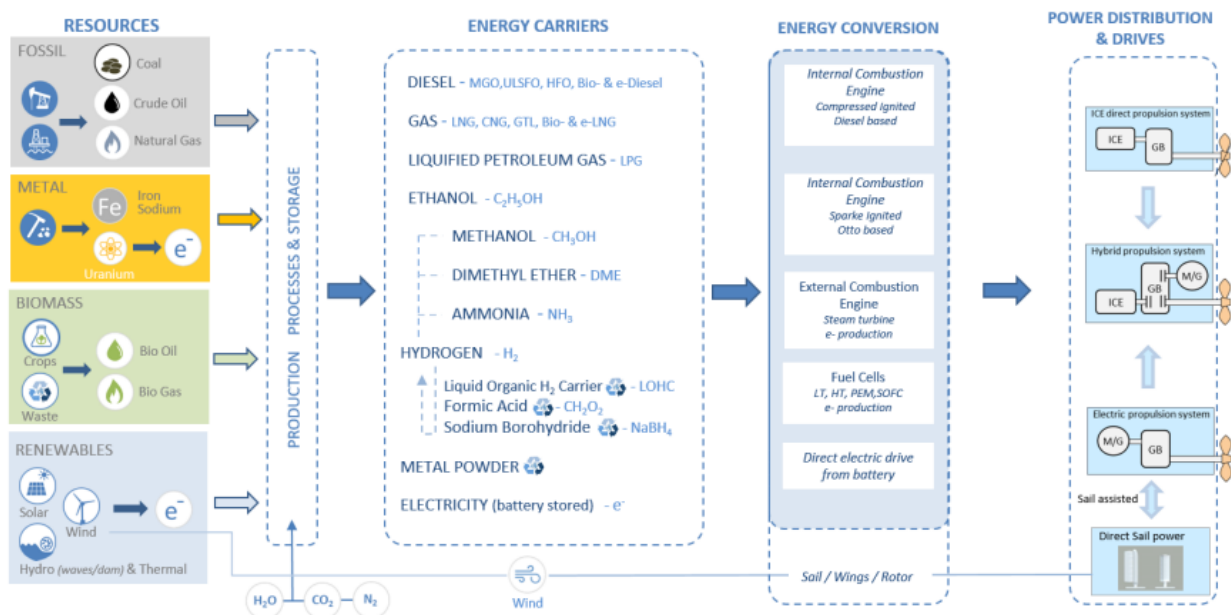
Med utgangspunkt i gjennomgått dokumentasjon, samt redegjørelsen i kap 2.1 og 2.2, legges følgende målsettinger til grunn for studien:

- **Det skal tas i bruk teknologi som til en viss grad erstatter fossilt drivstoff når nye fartøyer skal anskaffes til Sjøforsvaret.**
- **Ressurseeffektivitet og kostnadsbesparelse er viktige parametere for anskaffelse og drift av nye marinefartøyer.**
- **Operative krav til Sjøforsvarets fartøyer bør innfris, herunder også interoperabilitet med allierte. For standardfartøyene kan imidlertid lavere militære krav enn for kampfartøyer aksepteres.**

### 3 Identifisere muligheter for å oppnå mål

Etter at mål og hensikt er definert er det neste steget i MCA å identifisere muligheter. I denne omfattende prosessen bør mulighetene ha en verdi for måloppnåelsen (Government, 2009, p. 32). Samtidig må man være bevisst på fallgraven «Status-Quo», og fokusere på alternativer foran dagens løsninger. Et annet råd er å se dagens løsninger opp mot definert målsetning, som en påminnelse om at man ikke kommer utenom alternativene (J.S. Hammond, 1998, p. 7). Denne studien har hatt en bred og åpen tilnærming til alternative løsninger, noe som bidratt til å unngå denne fallgraven.

Innledende dokumentgjennomgang viste at EU tilsynelatende har hatt den bredeste tilnærmingen til å identifisere muligheter for grønn skipsfart. I sitt analysearbeid er hele 53 teoretiske løsninger for skip identifisert, hvor de med figuren under illustrerer noe av kompleksiteten og mulighetsrommet. Det vises også til *vedlegg 10* for mer detaljert skisse over samtlige muligheter.



Figur 1. Forenklet energidiagram, hentet fra (Commission, 2021b, p. 227).

Til tross for en bred inngangsverdi denne studien, ble det tidlig klart at søkelys på de mest sannsynlige alternative mulighetene var hensiktsmessig. *MCA veilederen* er tydelig på at å se på andre erfaringer og foreta uformell utsiling av alternativer, gjør at man unngår å legge for mye ressurser i å analysere usannsynlige muligheter (Government, 2009, p. 32). Med bakgrunn i kortere tidshorisont enn EU har i

---

sine analyser, vil denne studien fokusere på mulighetsrommet rundt de mest omtalte alternativene. Herunder er det sentralt å se på hva andre aktører gjør nasjonalt og internasjonalt, og dette er redegjort for i **kapittel 3.1**. I **kapittel 3.2** belyses teknologiske muligheter generelt, før **kapittel 3.3** belyser ulike energibærere som er aktuell for videre analyse og drøfting.

## 3.1 Trend og utvikling

En utfordring med å finne et utvalg av ulike teknologiske muligheter er å anslå hvilken retning utviklingen går. En måte å tilnærme seg dette på er å se på hva relevante aktører foretar seg. På denne måten er det mulig til å forutsi en trend. Trendstudier tar utgangspunkt i dagens utvikling, og man kan for eksempel overvåke teknologiske trender som anses som viktige innenfor et spesifikt fagfelt (Beadle, 2016, p. 15).

### 3.1.1 Rederinæringen

*Norges Rederiforbund* er en interesseorganisasjon for norsktilknyttede rederivirksomheter. I 2020 utga Rederiforbundet en klimastrategi som forklarer hvordan næringen skal nå en målsetting om å være klimanøytral innen 2050. En annen målsetning er å halvere utslippene pr transportert enhet innen 2030, sammenlignet med 2008 når nullutslippsvisjonen deres ble vedtatt. De viktigste tiltak er energieffektiv drift, forbedre eksisterende skip, flåtefornyelse, samt innfasing av bærekraftige lav- og null-utslippsdrivstoff (Rederiforbund, 2020, p. 6).

Med utgangspunkt i fartøyers normale levetid på 20-30 år, har Rederiforbundet besluttet at deres medlemmer utelukkende skal bestille skip med nullutslippsteknologi fra 2030. De erkjenner at det i dag ikke finnes tilstrekkelig utprøvde løsninger eller infrastruktur for større nullutslippsskip. Rederiforbundet foreslår derfor at man bygger nye skip som reduserer utslippene betydelig, og samtidig konstruerer dem slik at de kan modifiseres til å benytte nullutslippsteknologi når denne er moden nok. De jobber også for at drivstoff som ikke er klimanøytralt skal forbys internasjonalt fra 2050 (Rederiforbund, 2020, pp. 5, 13).

Det anbefales en strategi som går ut på å utvikle en rekke alternativer for nullutslipps energibærere, man vil unngå å låse seg til en løsning (Rederiforbund, 2017, p. 59). Det anbefales videre at rederier,

---

industri, myndigheter samt internasjonale organisasjoner sammen tilrettelegger for en bred men målrettet teknologiutvikling. Rederiforbundet vil snarest mulig ta i bruk bærekraftige drivstoff og bidra til at nødvendig infrastruktur for disse etableres. Dette ved å først skape en etterspørselsvekst lokalt langs kysten, deretter regionalt før det utvides til det globale markedet. Det sammenfaller med deres vurdering om at kystflåten er best egnet for en tidlig utvikling og testing av ny teknologi. Dette med bakgrunn i at disse skipene er mindre energikrevende og at det er lettere å etablere infrastruktur (Rederiforbund, 2020, p. 13).

Rederiforbundet påpeker at utvikling av nødvendig regelverk bør skje gjennom IMO, for å sikre en global konkurransevne samt nødvendig oppslutning og håndhevelse (Rederiforbund, 2020, p. 9). Forbundet representerer 130 medlemmer, hvorav flere allerede bidrar til miljøvennlig teknologiutvikling og innovasjon. Flere av disse er tilknyttet *Grønt Skipsfartsprogram*.

### **3.1.2 Grønt Skipsfartsprogram**

*Grønt Skipsfartsprogram* er et partnerskapsprogram som etter initiativ fra DNV-GL ble opprettet i 2015. Hensikten er at private og offentlige aktører skal arbeide sammen om å nå programmets visjon om at Norge skal etablere verdens mest effektive miljøvennlige skipsfart. De mener at dette kan skape en plattform for norsk eksport av miljøteknologi (Skipsfartsprogram, 2016, p. 12).

Mer enn 30 pilotprosjekter er igangsatt, og myndighetenes støtte og involvering i programmet er avgjørende. I *handlingsplan for grønn skipsfart* vil regjeringen videreføre dette, blant annet for å skape grønne og lønnsomme arbeidsplasser innenfor Norges maritime klynge (Miljødepartementet, 2019, p. 67).

Programmets fokus er innenriks skipsnæring, og det er nettopp reduksjon av innenriks utslipp som gir størst effekt i forhold til Norge sine forpliktelser til utslippsreduksjon. Dette med bakgrunn i hvordan det enkelte lands utslipp beregnes. Skipsfartsprogrammet vil jobbe fremover for å bygge ut infrastruktur langs hele kysten for miljøvennlige energibærere til konkurransedyktige priser. I og med at grønt skipsfartsprogram er et partnerskapsprogram mellom det offentlige og det private, kan dette bli en viktig arena for å få til hensiktsmessige virkemidler de neste årene.

Forsvaret er foreløpig ikke en del av *Grønt Skipsfartsprogram*.



---

### 3.1.3 FN og IMO

FNs bærekraftsmål en felles arbeidsplan for verden, og FNs klimapanel utstedte i 2021 deler av sin sjette hovedrapport. Del 3 av denne rapporten planlegges offentliggjort i 2022, og vil omhandle utslippsreduksjon og virkemidler (Miljødirektoratet, 2021).

IMO er FNs internasjonale maritime organisasjon. Deres ansvarsområde er blant annet sikkerhet for- og begrensning av forurensning fra skip. De har ansvar for å regulere ulike aspekter knyttet til sikkerhet, miljø, juridiske forhold, teknisk samarbeid og effektivisering innen skipsfarten ((IEA), 2021, p. 16). IMO har altså et ansvar for å omsette FN sine anbefalinger til tiltak for skipsfarten. Med sine 174 medlemsland kan det være krevende å etablere felles internasjonale rammer og regelverk.

IMOs ambisjonsnivå er en reduksjon i CO<sub>2</sub> utslipp pr transporterte enhet med 40% innen 2030 sammenlignet med 2008-nivå. Innen 2050 er ambisjonen 70% reduksjon av CO<sub>2</sub> og 50% av drivhusgasser (IMO, 2018, p. 5). Deres visjon er å oppnå nullutslipp *så snart som mulig i dette århundre*. IMO vil ferdigstille korttidsmålene for utslippsreduksjon ila 2023, og flere tiltak har allerede tredd i kraft. Arbeidet med medium- og langtidsmål skal starte før 2023 (IMO, 2018, p. 6).

Når det gjelder korttidsmålene for skipsfarten er det energieffektivisering og landstrøm som har fokus. Igangsetting av forskning og utvikling på alternative energibærere er også sentralt, herunder etablering av retningslinjer og incentivordninger (IMO, 2018, p. 7).

I et medium tidsperspektiv er fokuset videreutvikling av nasjonale planer og innovasjoner, og etablering av mekanismer som sikrer deling av erfaringer mellom medlemslandene. Regler for kartlegging og registrering av faktiske utslipp et annet tiltak som IMO står i spissen for. Fra 2023 forventes det at et nytt regelverk trer i kraft som pålegger alle skip over 5000 tonn å rapportere årlig fartøyets karbon-intensitet, altså faktisk CO<sub>2</sub> utslipp som en faktor av skipets vekt og tilbakelagt distanse ((IEA), 2021, p. 23).

### 3.1.4 EU

Det er et høyt prioritert satsningsområdet for EU-kommisjonen å planlegge hvordan man kan nå FNs klimamål. I desember 2019 ble EUs miljøstrategi, *European Green Deal*, lagt frem. Dette er en ambisiøs plan med målsetting å nå FNs bærekraftsmål. *The 2030 Climate Target Plan* beskriver detaljert hvordan nødvendige delmål skal oppnås for å bli klimanøytral i 2050 (Commission, 2021b, p. 61).

---

*FuelEU Maritime Initiative* og *Alternative Fuels Infrastructure Regulations* er sentrale EU programmer for skipsfarten, og skal stimulere til bruk av fornybart- og lavutslipps-drivstoff for maritim transportnæring. Mens Norge fokuserer på tiltak for innenriksfartøyer, har EU et fokus på større skip (over 5000 tonn), hvor de mener at potensialet for global utslippsreduksjon er størst.

EU sin målsetting er mer ambisiøs enn IMOs, og innebærer å redusere CO<sub>2</sub> utslippene fra skipsfarten med 40 prosent innen 2030 og 70% innen 2050. Dette i forhold til 2008-nivå (Benoit, 2021, p. 29). Interessentene i EU ønsker at man setter utslippsmål som markedet må finne løsninger på, fremfor å beslutte ett spesifikt satsningsområde. Samtidig vil det bli et belønningssystem for de aktører som klarer å overgå de vedtatte målparameterne for utslipp, og nærme seg nullutslipp (Union, 2021, p. 52). EU ønsker å innføre en ny avgiftspolitik, da den gamle politikken er basert på et rammeverk fra 2003. Eksisterende reguleringer fritar blant annet maritim næring fra avgifter på fossilt drivstoff. Med en ny avgiftspolitik tilpasset drivstoffenes miljømessige egenskaper, håper de å stimulere til økt satsning på alternative energibærere (Commission, 2021a). Et annet mulig tiltak er å pålegge fartøyer å benytte landstrøm ved kailigge der hvor det er tilrettelagt for dette.

EUs medlemsland og skipsnæringens interessenter foretrekker reguleringer fremfor EU-lovverk som enkeltnasjonene blir tvunget til å implementere i nasjonale lover (Commission, 2021b, pp. 2-4). Gjennom European Green Deal støtter EUs innovasjonsfond investeringer i ny miljøvennlig teknologi med betydelige midler.

### **3.1.5 NATO**

NATO er en allianse av medlemsland som selv anskaffer fartøyer og annet forsvarsmateriell. Det finnes imidlertid reguleringer som skal sørge for interoperabilitet mellom nasjonenes kapabiliteter, som for eksempel standardiserte drivstoff.

NATO sin overordnede miljøvernpolicy omhandler hovedsakelig hvordan medlemslandene skal forholde seg til miljøvern i operasjoner (NATO, 2011). Policyen berører ikke hvordan medlemslandene skal arbeide for å redusere klimagasser. Det er ikke etablert noen retningslinjer for å redusere klimagassutslipp fra fartøyer, men NATO har arbeidsgrupper hvor medlemslandene utveksler erfaringer og ser på teknologiske muligheter. Herunder en arbeidsgruppe som blant annet ser på innføring av miljøkrav i skipsdesign.

Flere av NATO-nasjonene har sett behovet for å utrede tiltak for å redusere klimafotavtrykket fra marinefartøyer. USA og Italia satser på biodrivstoff som en alternativ energibærer for militære enheter i fremtiden. De har sammen med industrien utviklet et andregenerasjons biodrivstoff som blant annet

---

nå benyttes av den italienske kystvakten ((FFI), 2019, p. 14). USA har blitt en ledende produsent av biodrivstoff, og har utviklet regelverk og standarder som sikrer produsenter og forbrukere en forutsigbar satsning, spesielt på andre-generasjons biodrivstoff ((IEA), 2021, p. 25).

Den nederlandske forsvarsministeren har uttrykt kritikk overfor eget forsvars klimafotavtrykk, og har satt som mål å redusere forbruk av fossilt drivstoff med 70 prosent innen 2050. Materielletaten i den nederlandske forsvarssektoren har derfor startet med utredning av ulike måter å redusere utslipp på fra Marinens fartøyer (Streng, 2021, p. 1). I en teknisk studie konkluderes det med at alle nederlandske marinefartøyer som leveres eller oppdateres etter 2030 må ha nullutslippsteknologi for å kunne oppnå målsettingen (Streng, 2021, p. 39).

## 3.2 Teknologiske muligheter

Det finnes mange teknologiske muligheter for bruk av alternative energibærere på fartøyer. Alternativene representerer ulike muligheter for CO<sub>2</sub> reduksjon. EU har slått fast at for å nå deres utslippsmål er det behov for å konsentrere seg om de alternativene som representerer nullutslippsteknologi, og disse må utvikles innen 2030 (Commission, 2021b, p. 2). Dette er også utgangspunkt for denne studien, da satsning på teknologier som gir beskjeden grad av CO<sub>2</sub> utslipp er ikke hensiktsmessig for å oppnå de langsiktige målene. «*Det tekniske mulighetsrommet for ulike energibærere vil i stor grad være avhengig av størrelsen, energibehov og operasjonsmønster på skipet*» (Miljødirektoratet, 2020, p. 109).

### 3.2.1 Energiressurser

EU har gjennom sine analyser av fremtidens alternative energibærere utelukket metalliske kilder som alternativ til fossile kilder. Slike energibærere omtales ikke i denne studien heller, men det utelukkes ikke at man i fremtiden vil finne hensiktsmessige energibærere for skipsfarten basert på metalliske kilder.

---

## **Fossile**

De mest brukte formene for fossile ressurser er olje, gass og kull. Utgangspunktet for denne studien er å se på *erstatning* for slike fossile ressurser. Teknologi som omfatter disse vil derfor ikke tas med. Det vil imidlertid være behov for å benytte fossile ressurser i en eller annen grad frem til ny teknologi kan bidra til en fullstendig erstatning. Derfor vil dette være en del av totalløsninger som drøftes i kapittel 6. I tillegg vil forbrenning av fossil olje eller gass med karbonfangst kunne være en del av fremstillingen av hydrogen i fremtiden.

## **Biomasser**

Biomasser kan nyttes i gassform, i flytende form eller i alkoholholdige produkter. Enten som rene bio-produkter, eller som en blanding med fossile produkter.

Bio-drivstoff kan produseres på flere ulike måter, og flere av fremstillingsmåtene vurderes som lite bærekraftig. For å få til en mest mulig miljøvennlig fremstilling med et minst mulig netto CO<sub>2</sub>-utslipp bør bio-drivstoff komme fra egne avlinger til dette formål (Commission, 2021b, p. 230).

## **Fornybar**

De typiske fornybare energikildene er vannkraft, vindkraft og solenergi. Skal disse benyttes som energikilder for fremtidens nullutslippsløsninger for skip, må denne energien komme i form av elektrisk energi overført til en energibærer. Energibærere for elektrisk energi om bord kommer gjennom direkte landstrøm ved kailgge, eller lading av batterier. En annen energibærer vil være hydrogen, omdannet fra elektrisk energi. Hydrogen kan lagres om bord i ulike former for energibærere.

### **3.2.2 Energiomsetning om bord**

Dieselmotoren har vært nærmest enerådende for fremdrift og strømproduksjon om bord på fartøyer, til tross for denne har en rekke ulemper. Det finnes i dag mange alternativer til tradisjonell dieselmotor, og ofte benyttes det kombinasjoner av flere. Motorprodusentene har også erkjent at de må etablere fleksible løsninger som kan møte fremtidens behov. Motorprodusentene har en avgjørende rolle i skipsnæringens overgang til nullutslippsløsninger ((IEA), 2021, p. 29).

---

Gassturbiner er ikke vurdert her på grunn av lav energieffektivitet samt høye kostnader, noe som DNV også har konkludert med i en relevant studie (Rederiforbund, 2017, p. 30).

### **Elektrisk**

Elektriske motorer til fremdriftssystemer gir en stor grad av fleksibilitet, og god tilgjengelig kraft i hele turtallsspekteret. Den er også støysvak og innehar få bevegelige deler, og dermed mindre behov for vedlikehold enn forbrenningsmotoren. Den nederlandske studien peker på at fartøyer med svært varierende operasjonsprofil kan oppnå høy effektivitet og redusert forbruk med en fullintegrert elektrisk kraftfordeling og elektrisk fremdriftslinje og med generatorer som produserer nødvendig kraft (Streng, 2021, p. 26).

Diesel-elektrisk fremdrift har blitt benyttet på ulike servicefartøyer i lang tid, nettopp for å kunne ha en større grad av fleksibilitet. I nye nullutslippsløsninger med elektrisk energioverføring gjennom batteriinstallasjoner eller brenselceller, vil bruk av elektromotorer bli enda mer benyttet. Gjennom hybride løsninger på skip har man erfart en atskillig bedre energieffektiv drift ved bruk av elektromotorer ((IEA), 2021, p. 32).

### **Forbrenningsmotor**

Dieselmotorer for skip er som regel mer kompatible for variasjoner i drivstoffkvalitet enn for eksempel bilmotorer, noe som teoretisk sett kan være fordelaktig når nye drivstoffløsninger skal vurderes. Dersom marine dieselmotorer vedlikeholdes skikkelig, varer de gjerne ut fartøyets levetid ((IEA), 2021, p. 30).

Motorer som benytter gass eller alkoholbaserte drivstoff som metanol, antenner drivstoffet ved hjelp av gnist slik som tennplugg. Disse motorene utnytter imidlertid drivstoffets energiinnhold på en dårligere måte enn dieselmotoren, men forbrenningen går hurtigere og man oppnår høyere turtall. Utvikling og bruk av gassmotorer i nye skip har vært økende de siste årene.

*Dual-fuel motorer* er inne i en spennende utvikling med tanke på implementering av nye energibærere for skipsfarten. Disse motorene konstrueres for å kunne benytte både diesel og andre drivstoff med lavt flammepunkt slik som gass, hydrogen eller metanol. En såkalt *pilot-fuel* bestående av diesel eller biodiesel må benyttes for antenning, gjerne på minimum 5% av total drivstofftilførsel. Flexibiliteten som disse dual-fuel motorene gir vil sannsynligvis være avgjørende for utviklingen av nye

---

lavutslippsløsninger for skipsfarten. En rekke pilotprosjekter har pågått en stund, og flere motorprodusenter satser nå stort på *multifuel*- eller *dual-fuel motorer*.

### **Brenselcelle**

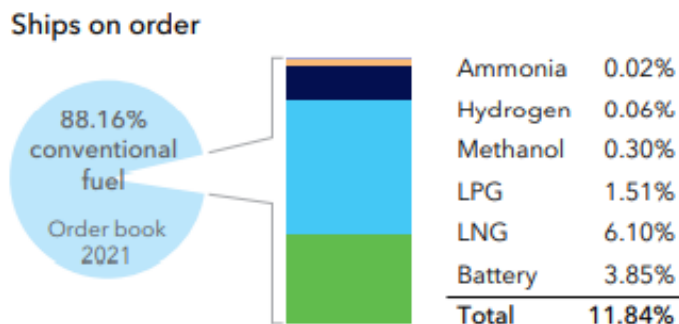
Brenselcelleteknologi har eksistert i mange år, men ikke i skipsfarten. Det er foreløpig ikke utviklet teknologi som gjør at man kan konstruere anlegg der effektbehovet er svært stort, slik som på større fartøyer. Det kreves mye volum for store brenselcelleanlegg. Det pågår en rekke pilotprosjekter, men pris og tilgang er faktorer som gjør at rederiene foreløpig vegrer seg for å satse. Teknologien er basert på omforming av kjemisk energi fra drivstoffet til elektrisk energi gjennom elektrokjemiske reaksjoner. Den brenselcelleteknologien som er mest utbredt i dag er polymer brenselceller (Miljødirektoratet, 2020, p. 111).

Brenselceller har en bedre energieffektivitet enn forbrenningsmotorer, og ved bruk av alternative energibærere kan man oppnå nullutslipp av CO<sub>2</sub>. En tilleggsegenskap er at det genereres svært lite støy, samt at behovet for vedlikehold er lavt. De mest lovende alternativene for brenselceller på kort sikt er for mindre fartøyer som opererer innenriks, hvor det i tillegg til CO<sub>2</sub> reduksjon kan være fordelaktig med redusert støy og vibrasjoner og andre utslippsreduksjoner (DNV, 2021b, pp. 40-43). Man vil da kunne videre oppskalere installasjonen når teknologiutviklingen gjør dette hensiktsmessig. Det er potensiale for lekkasje i forbindelse med brenselcellene, noe som medfører krav om gass-sikre maskinrom (Streng, 2021, p. 88).

## **3.3 Alternative energibærere**

Det er anslått at andelen fornybare energibærere i skipsfarten vil være 3% i 2025 og 8,6% i 2030. Det er videre estimert at bio-drivstoff vil stå for den høyeste andelen av alternative energibærere, men at hydrogenbaserte drivstoff sammen med elektrisitet vil øke gradvis til over 30% i 2050 (Commission, 2021b, p. 108). En av årsakene til disse foreløpige anslagene er at bio-drivstoff som regel kan direkte erstatte fossile drivstoff, og at man unngår kostbare ombygginger og tilpasninger.

Før et utvalg av alternativer presenteres, er det relevant å belyse med *figur 2* hvordan skipsnæringen på verdensbasis satser på alternative energibærere for skip som nå er satt i bestilling.



Figur 2. Oversikt over nye fartøyer som er i bestilling på verdensbasis i 2021 (DNV, 2021a, p. 30).

Illustrasjonen viser en relativt beskjeden satsning på alternative energibærere, hvor flytende naturgass (LNG) er økende. LNG en fossilbasert energibærer som medfører betydelig utslippsreduksjon av klimagasser, men reduksjonspotensialet av CO<sub>2</sub> er lavt. Man erfarer bare inntil 15% redusert CO<sub>2</sub> utslipp, og faren for metanutslipp trekker også negativt i miljøregnskapet ((IEA), 2021, p. 24). Dette medfører at LNG ikke tas med som et nullutslippsalternativ for fremtiden, og er heller ikke vurdert videre i denne studien.

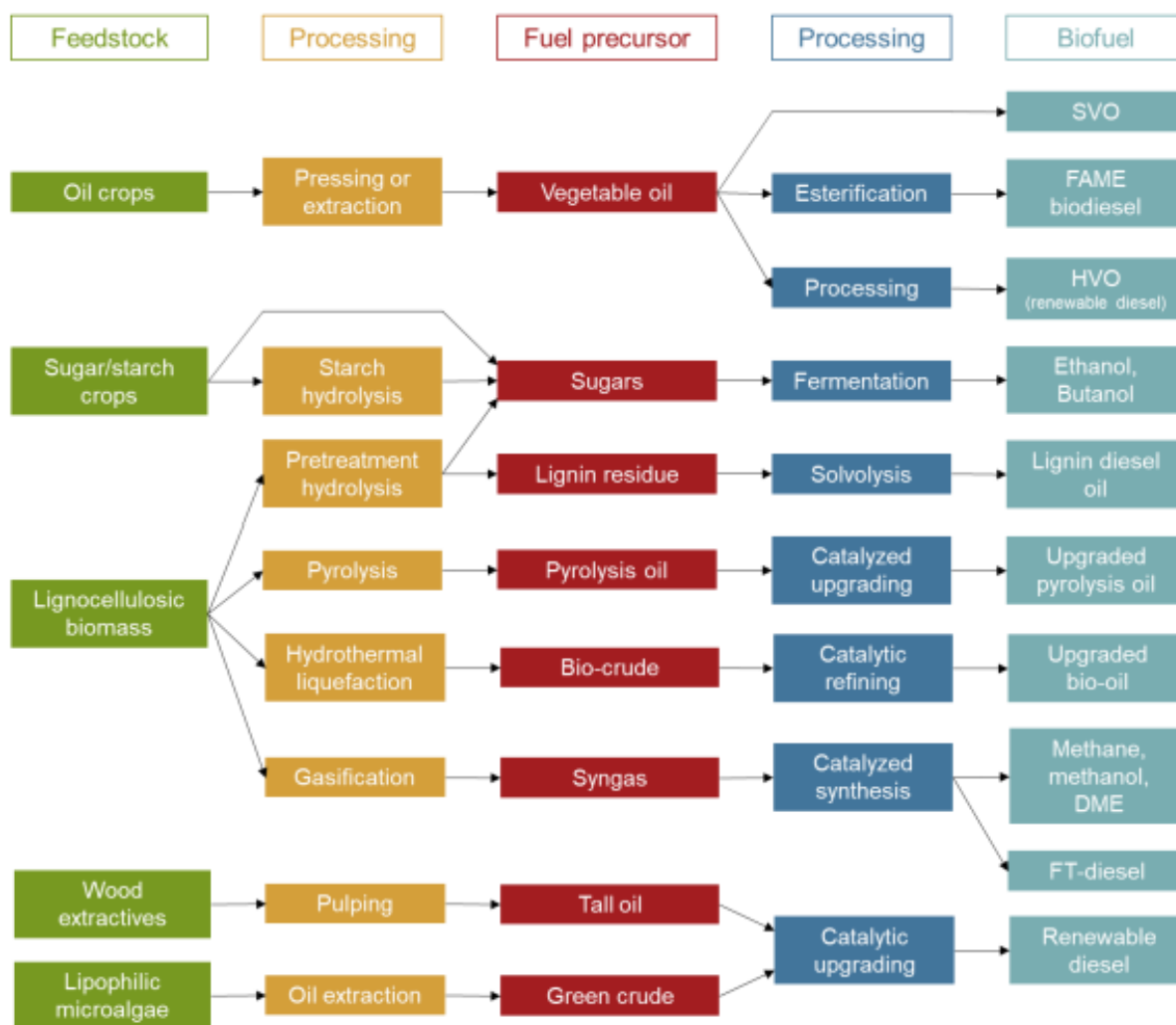
Med utgangspunkt i tidligere gitte avgrensninger vil nå en rekke alternative energibærere fordelt innenfor følgende hovedkategorier omtales:

- **Biobasert**
- **Hydrogenbasert**
- **Strømbasert**

### 3.3.1 Biobasert

Biodrivstoff har tilsvarende egenskaper som tradisjonelle fossile drivstoff, og medfører utslipp av avgassen CO<sub>2</sub> i energiomsetningen om bord. Det som gjør biodrivstoff miljøvennlig er at dyrkings- og fremstillingsprosessen skjer i nåtid, og herunder forbrukes det CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Dermed kan man i det totale kretsløpet oppnå betydelig CO<sub>2</sub> reduksjon. Dette i motsetning til fossile drivstoff som gjerne har ressursopphav millioner av år tilbake i tid.

Biobaserte drivstoff kan fremstilles på mange ulike måter, og noen er mindre bærekraftig enn andre. Figur 3 viser ulike mulige kilder og fremstillingsmetoder for biodrivstoff, og dette komplekse bildet medfører også utfordringer i forhold til implementering av nye drivstoff i standarder og regelverk.



Figur 3. Illustrasjon over mulige kilder og fremstillingsmetoder for biodrivstoff ((IEA), 2021, pp. 43, 50)

Enkelte fremstillingsmetoder gjør at drivstoffproduksjonen konkurrerer om de samme råvarer og landbruksareal som matproduksjon, noe som skaper internasjonal debatt om bærekraft og mulig stigmatisering av biodrivstoff i sin helhet ((IEA), 2021, p. 7).

Biodrivstoff er vanligvis inndelt i første- andre- og tredjegenasjon. Potensialet for utslippsreduksjon avhenger av hvilken generasjon samt hvordan de er fremstilt (Rederiforbund, 2017, p. 26). I Norge brukes også begrepene konvensjonelt- og avansert biodrivstoff, hvor det konvensjonelle tilsvarer førstegenerasjons. Biomasser har potensiale til å fullt ut forsyne maritim sektor med miljøvennlig og bærekraftig drivstoff, og biodrivstoff blir av mange sett på som den mest lovende løsningen på kort- og mellomlang sikt ((IEA), 2021, p. 6).



---

## **Biogass (LBG)**

LBG reduserer CO<sub>2</sub> utslipp i mye større grad enn LNG, med ca. 10% av utslippene som forårsakes av fossil diesel (Commission, 2021b, p. 180). Biogass dannes ved nedbrytning av et bredt spekter av biologisk materiale og består av CO<sub>2</sub> og metan. Selv om det totale CO<sub>2</sub> regnskapet for biogass er positivt, er det utfordringer knyttet til utslipp av metan. Metan er svært miljøskadelig, og det er utfordrende å hindre utslipp under produksjon, transport og forbrenning ((IEA), 2021, p. 49).

LNG og LBG har samme egenskaper og kan blandes om hverandre. Derfor kan LBG først og fremst være kosteffektivt om bord i fartøyer som allerede har LNG, og bruk av biogass i skipsfarten er først og fremst tenkt som en mer utslippsvennlig erstatning for LNG (Miljødirektoratet, 2020, p. 96). Med bakgrunn i dette vil ikke LBG bli tatt med videre i analysen.

## **Biodiesel**

Førstegenerasjons biodiesel er som regel produsert av vegetabiliske oljer direkte fra avlinger og betegnes FAME (fettsyre-metyl-ester). I dag blir biodiesel i hovedsak benyttet som en prosentvis innblanding i fossil diesel. De fleste av dagens dieselmotorer kan benytte en innblanding av inntil 20% av dette biodrivstoffet (DNV-GL, 2018, p. 22). For marine dieselmotorer var en foreløpig anbefaling at det ikke tilsattes mer enn 7% for å unngå driftstekniske utfordringer (Miljødirektoratet, 2020, p. 116).

Andre generasjons biodiesel er et renere produkt i hovedsak basert på avfallsprodukter fra industri og husholdning, som for eksempel frityrolje eller slakteriavfall. Det kan som regel benyttes direkte på dieselmotorer med få eller ingen tilpasninger (DNV-GL, 2018, p. 23). Hydrogenbehandlet Vegetabilisk Olje (HVO) er ett eksempel, og blir ofte omtalt som grønn diesel eller fornybar diesel. Produktet er mer stabilt enn FAME, og kan direkte erstatte fossil diesel. Tredjegenerasjons biodiesel er vanligvis fremstilt av vekster fra havet, slik som algevekster.

Regjeringen ønsker å innføre omsetningskrav for anleggsgas og sjøfart for 2022, med sikte på at mengden bio-drivstoff i dieselen følger samme målsetning som for transportsektoren frem mot 2030 (Miljødepartementet, 2021, p. 15).

---

## Biometanol

Metanol er et av de mest produserte kjemikaliene på verdensbasis. Til tross for beskjeden bruk som energibærer på skip, har det i stor grad blitt benyttet som drivstofftilsetning for forbedret motorytelse (Chemistry, 2020, p. 832). Drivstoffet kan ikke benyttes som erstatning i en vanlig kompresjonsmotor på fartøyer, men det utvikles nå *dual-fuel* motorer hvor metanol kan anvendes i kombinasjon med diesel. Lignocellulosebiomasse er basert på tørrstoff fra planter, og den mest tilgjengelige biomassen. Dette kan blant annet benyttes til produksjon av biometanol. I tillegg til at biometanol representerer nullutslipp av CO<sub>2</sub>, er utslipp av sot og andre miljøskadelige avgasser nærmest neglisjerbar sammenlignet med fossile drivstoff. En annen fordel er at det eksisterer allerede passende infrastruktur for distribusjon på verdensbasis ((IEA), 2021, p. 45).

### 3.3.2 Hydrogenbasert

Hydrogen sine egenskaper gjør at den ikke finnes naturlig, men i bindinger med andre stoff. Skal man benytte hydrogen må det derfor fremstilles på en eller annen måte.

Hydrogen i ulike former har potensiale til å bli nullutslipps energibærere, forutsatt produksjon med fornybar energikilde. Produksjon av hydrogen i Europa i dag blir gjort med naturgass, noe som medfører betydelige utslipp av klimagasser.

Hydrogen fremstilt gjennom elektrolyse gir svært god CO<sub>2</sub> reduksjon, forutsatt den blir produsert med strøm basert på fornybar energi. Dette kalles gjerne grønt hydrogen. Fremstillingen er en svært energikrevende prosess, noe som bidrar til en relativt høy hydrogenpris. DNV forventer at det vil ta minst et tiår før grønt hydrogen kan prismessig konkurrere med hydrogen fremstilt av fossilt drivstoff (DNV, 2021b, p. 59). I Norge ser man også på fremstilling ved bruk av fossil gass, med karbonfangst som skal forbedre karbonregnestykket. Dette kalles blått hydrogen, og har en rimeligere fremstillingsmåte.

En måte å fremstille et karbonnøytralt drivstoff på er å produsere syntetiske energibærere gjennom hydrogen som benytter CO<sub>2</sub> i produksjonsleddet. **Syntetisk gass, syntetisk diesel og metanol** er fremstilt på denne måten (Chemistry, 2020, p. 821). Det er en krevende prosess å fange CO<sub>2</sub> fra luft som inneholder en svært liten andel CO<sub>2</sub>, derfor er dette kostbare stoff å produsere. En mer økonomisk fremstillingsmåte er å benytte CO<sub>2</sub> fra karbonfangst fra andre forbrenningsprosesser. Dette er imidlertid mer kontroversielt miljømessig i og med at forbrenning av fossile kilder inngår i prosessen.

---

## **Hydrogen (flytende/gass)**

Transport og lagring av hydrogen kan skje i flytende form eller komprimert gass. For å transportere og lagre hydrogen må det enten trykkes eller kjøles ned slik at energitettheten kommer på et akseptabelt nivå. Både kompresjon og nedkjøling er energikrevende prosesser. Jo høyere trykk man påfører gassen, jo bedre vil energitettheten bli. For biler som benytter hydrogen er gassen komprimert til hele 700 bar. For å oppnå flytende hydrogen må den kjøles helt ned til -253 grader, og dette krever energi tilsvarende rundt 30% av hydrogenets energiinnhold (DNV-GL, 2019, p. 31).

Det er fremdeles en rekke usikkerhetsmomenter og sikkerhetsrisikoer forbundet med hydrogen og potensielle hydrogenlekkasjer. DSB karakteriserer hydrogen som et farlig stoff, og må håndteres deretter. Hydrogen kan benyttes både i forbrenningsmotorer og brenselceller.

## **Ammoniakk**

Ammoniakk har en rekke egenskaper som gjør den lettere å håndtere enn hydrogen. Energibæreren har høyere energidensitet, og er atskillig enklere å transportere og lagre. Ammoniakk er heller ikke eksplosiv, men den har en annen sikkerhetsmessig utfordring ved at den er giftig (Chemistry, 2020, p. 834). Energibæreren kan både benyttes i en forbrenningsmotor eller brenselcelle.

Ammoniakk produsert gjennom grønt hydrogen vil gi et CO<sub>2</sub> utslipp nær null (Commission, 2021b, p. 230). Norge har produsert ammoniakk i lang tid ved Yara sin fabrikk på Herøya, og denne benyttes i gjødselproduksjon (DNV-GL, 2019, p. 83). Skipsfarten har erfaring med transport av ammoniakk samt bruk av stoffet i mindre skala som kuldemedium i kjøleanlegg. Det er imidlertid ikke erfaring med bruk av ammoniakk som energibærer på skip.

## **Syntetisk gass**

Syntetisk gass har tilsvarende drivstoffegenskaper som LNG, og produseres ved bruk av hydrogen. Dersom man benytter grønt hydrogen kan man oppnå lavt totalutslipp av CO<sub>2</sub>.

Ved bruk av syntetisk gass er det et problem at det slippes ut en del metangass, dette gjelder også for LNG. Utslipp skjer ved uforbrent metan i motoren, eller utlufting. Problemet med metanutslipp er at denne har 25 ganger større innvirkning på global oppvarming enn CO<sub>2</sub> (Chemistry, 2020, p. 832). Tilsvarende som for LNG og LBG, vil heller ikke syntetisk gass bli videre analysert i denne studien.

---

Målene definert i kap 2 ville ikke blitt oppnådd da de tekniske-, operasjonelle- og økonomiske konsekvensene ville blitt for stor.

### **Syntetisk diesel**

Fremstilling og bruk av syntetisk diesel krever av ulike årsaker mer enn dobbelt så mye energi som hver av de andre syntetiske hydrogenbærerne som er omtalt (Chemistry, 2020, p. 827).

Med bakgrunn i at syntetisk diesel er å betrakte som et renere produkt enn fossil diesel, er det ingen ulemper med å ta dette produktet i bruk om bord. Ulempene ligger først og fremst på produksjonssiden (Chemistry, 2020, p. 832). Med utgangspunkt i blant annet Lloyd's prisutviklingsmatrise i vedlegg 9, dømmes herved syntetisk diesel ut som et alternativ for videre analyse. Med inntil en tidobling av prisen sammenlignet med fossil diesel helt frem til 2050, vil dette ikke være et alternativ som er forenelig med målene definert i kap 2.

### **Flytende hydrogenbærere (FHB)**

Flytende hydrogenbærere forkortes FHB, og på engelsk LOHC. Teknologien går ut på å oppgradere en væske med hydrokarboner til et høyere hydrogeninnhold. Væsken er da av en slik egenskap at den kan sammenlignes med konvensjonell diesel. Dermed kan den forholdsvis enkelt transporteres og lagres. Når den benyttes om bord i brenselcelle eller en *dual-fuel* motor frigjøres hydrogen fra væsken, og denne væsken havner tilbake på tank. Man må med andre ord returnere væsken til land for at den skal kunne tilsettes hydrogen igjen. Det kreves forholdsvis lite energi for innblanding og frigjøring av hydrogen (DNV-GL, 2019, p. 32).

FHB basert på en molekylbærer betegnet *dibenzyltoluene* (DBT) har nå blitt svært lovende for et nullutslippsalternativ for skipsfarten. Stoffet er flytende i et bredt temperaturspekter, lite brannfarlig og lite giftig for mennesker. Det kan imidlertid være giftig for organismer i havet, og utslipp må unngås (Chemistry, 2020, p. 825).

### **Syntetisk metanol**

Metanol kan fremstilles med lav-karbon hydrogen og CO<sub>2</sub>. Selv om dette medfører CO<sub>2</sub> utslipp når den forbrennes om bord, er det den tilførte CO<sub>2</sub> i fremstillingen som gjør at det totale

---

karbonregnskapet blir klimavennlig. En av fordelene med metanol er at den er flytende ved normal temperatur og atmosfærisk trykk. Til tross for dette er den klassifisert som en væske med lavt flammepunkt. Om lag 10% av alt hydrogen som produseres på verdensbasis går til metanolproduksjon (DNV-GL, 2019, p. 83). Produksjon av syntetisk metanol er så langt begrenset til en fabrikk på Island ((IEA), 2021, p. 46).

### **3.3.3 Strømbasert**

DNV-GL definerer batteri som lades av dieselmotorer om bord som energieffektivisering, mens batterier som primært lades opp med landstrøm regnes som alternativt drivstoff (Rederiforbund, 2017, p. 21).

#### **Strøm (landkabel)**

Ett element som er spesielt med marinefartøyer sammenlignet med kommersielle fartøyer er at de har relativt høy grad av kailigge. Det er ulike årsaker til dette, og en av disse kan være at det er viktigere å være i besittelse av militære kapasiteter, uten at det er avgjørende med høy grad av brukstid. Dette varierer mellom ulike fartøystyper og oppdrag.

Å vurdere landkabler som en alternativ energibærer for fartøyer kan gjerne virke merkelig med bakgrunn i åpenbare operative begrensninger. På den annen side er potensialet for CO<sub>2</sub> reduksjon ved bruk av landstrøm til kai for marinefartøyer så betydelig, at dette må tas med i analysearbeidet. Bruk av landstrøm på Sjøforsvarets fartøyer er ikke noe nytt, men det kan antas at det eksisterer forbedringspotensiale både med tanke på teknisk innretning om bord og tilrettelegging i havn.

#### **Strøm (batteri)**

I et fartøy med fullelektrisk drift lades store batteripakker med landkabler til kai, og denne energien blir brukt til både fremdrift og hjelpesystemer om bord. Dersom landstrømmen som benyttes er av fornybare kilder, slik som norsk vannkraft, oppnår man en nullutslippsløsning.

Grunnet lav energitetthet i dagens batterier har fullelektrisk drift så langt bare vært aktuelt for fartøyer med korte distanser og hyppig lading.

---

Det har vært en formidabel utvikling for batteriteknologi de senere år, og forskning innen dette feltet har høy prioritet over store deler av verden. Videre forskning på *Litium-ion batterier* har til hensikt å ytterligere forbedre energiinnhold, størrelse, sikkerhet samt redusere pris (DNV, 2021b, p. 36).

---

## 4 Identifisering av kriterier

For å kunne evaluere de ulike alternativene må det utvelges kriterier, sett opp mot målsettingen. For gjennomføring av en analyse må disse kriteriene kunne settes et mål på, gjerne på en kvalitativ måte. Med dette menes hvordan det enkelte alternativ forventes å prestere i forhold til definerte kriterier (Government, 2009, p. 13). Tiltak for å unngå fallgraven «*Framing*» er viktig gjennom hele fasen. Til tross for at man har gjort et utvalg av kriterier, bør man jevnlig hente frem andre alternative kriterier for å se om dette påvirker analysen vesentlig. Det er også nyttig å spørre seg selv hvordan endring i kriterier ville ha påvirket ens egen tenkning rundt problemet (J.S. Hammond, 1998, p. 14). Det har vært utfordrende å unngå denne fallgraven, men en bred og konkret tilnærming til rammer og kriterier har redusert denne risiko.

DNV-GL slår fast at potensialet som de ulike energibærerne har for skipsfarten er avhengig av faktorer som miljøkrav og forventninger, utslipp, bærekraft, sikkerhet, kostnader, tilgjengelighet, fysisk karakteristikk samt kjemiske egenskaper (Rederiforbund, 2017, p. 25). I tillegg peker Lloyd's på faktorer som investeringsvilje, teknologisk modenhet, regelverk samt det helhetlige samfunnsperspektivet (Lloyd's, 2020). Alle disse faktorene, sammen med det forsvarsspesifikke operative perspektivet, danner grunnlaget for videre analyse. **12** faktorer gruppert innenfor **4** vurderingskategorier er valgt:

- **Politisk**
- **Teknisk**
- **Operasjonelt**
- **Økonomisk**

Ifølge MCA-veilederen er det hensiktsmessig å gruppere kriterier dersom antallet er høyt (mer enn 8). Dette begrunnes med at det forenkler prosessen med vurdering av om kriteriene er hensiktsmessig samt at det gjør analysene mer oversiktlig når disse skal presenteres for beslutningstakere (Government, 2009, p. 34).

Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvikl.	Modenhet	Vekt/volun	Sikkerhet	Utholdenh	Sårbarhet	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.

Figur 4. Valgte vurderingsfaktorer

---

## 4.1 Politisk

### CO2 reduksjon

Grunnlaget for studien er oppnåelse av CO2 reduksjon med alternative energibærere, derfor er også dette et selvsagt vurderingskriterium. Det er imidlertid ulike måter å måle CO2-reduksjon på, og denne studien benytter en såkalt *well-to-wake* tilnærming. Dette betyr å se det totale karbonfotavtrykket fra energikilden og til energiomsetning om bord. I så måte er også karbonlekkasje aktuelt, men vanskelig å evaluere. Som eksempel vil fartøyer i norske farvann som har bunkret i utlandet ikke være del av den norske utslippsstatistikken og ikke omfattet av norske klimaforpliktelser (Fiskeridepartementet, 2020, p. 78). Analysen vil i flere tilfeller henviser til vedlegg 8 som er hentet fra Lloyd's sin rapport (Lloyd's, 2020, p. 28). Her synliggjøres nettopp denne differansen mellom CO2 utslipp om bord, og det faktiske *well-to-wake* utslippet.

### Bærekraft

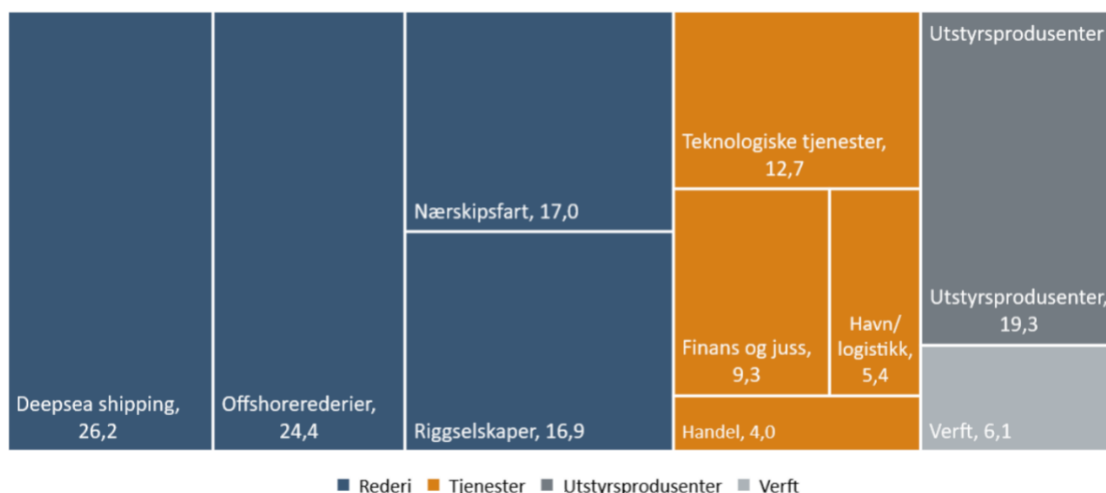
Når nye energibærere skal vurderes må det totale miljøregnskapet tas i betraktning. Herunder også om satsning innenfor skipsfarten får negative innvirkninger på andre sektorer. Potensielle konflikter mellom matproduksjon og fremstilling av biodrivstoff er ett eksempel. Et annet eksempel er nullutslippsdrivstoff som benytter fossile ressurser i fremstillingsprosessen.

Noen klimatiltak lønner seg ikke for Forsvaret isolert sett, men kan være et kostnadseffektivt klimatiltak for samfunnet (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 20).

### Norsk industriutvikling

Når store investeringsprosjekter skal gjennomføres, kan det forventes at investeringene kommer norsk industriutvikling til gode. DNV-GL peker på at rederiene bør bidra aktivt til å bygge opp kompetansen i industrien gjennom pilotprosjekter for å lykkes med lavutslippsmålene (Rederiforbund, 2017, p. 61). *Figur 4* viser at det er de norske rederiene som står for den største delen av verdiskapningen i norsk maritim næring.





Figur 5. Verdiskapning i norsk maritim næring, tall i mrd.kr (Miljødirektoratet, 2020, p. 102).

«I maritim sektor har Norge aktører langs hele verdikjeden og nye løsninger kan utvikles nasjonalt. Satsing på teknologiutvikling i Norge vil derfor både kunne bidra til at tiltak utløses og legge til rette for grønn konkurransekraft» (Miljødirektoratet, 2020, p. xix).

## 4.2 Teknisk

DNV peker på at den største tekniske utfordringen ved å ta i bruk nye energibærere er å finne designmessig plass til lagring av nye drivstoff, samtidig som sikkerhet er ivaretatt. Dette innebærer at volumkrevende installasjoner ikke går på bekostning av operativ nytte og størrelsesbegrensninger. Samtidig kan energibærere ha egenskaper som gjør dem brannfarlig, eksplosiv eller giftig. Altså forhold som krever plass til sikkerhetsbarrierer og annen type lagringsforhold (DNV, 2021a, p. 10). Den nederlandske studien peker også på dette, og fremhever at effektivt design alltid er komplisert ved anskaffelse av marinefartøyer (Streng, 2021, p. 6).

---

## **Teknisk modenhetsnivå**

Det er betydelige muligheter for teknologiutvikling knyttet til alternative energibærere om bord på skip. Det er brenselcelleteknologi og elektrisitet som krever den desidert største innsatsen på innovasjon og utvikling. EU forventer at andelen skip med brenselcelle øker fra 0 % i 2030 til ca. 20% i 2050. Når det gjelder batteridrift forventes det å gå fra ca. 0,2% i 2030 til ca. 6% i 2050 (Union, 2021, p. 119).

Internasjonal godkjenningssprosess for nye drivstoff til skipsfarten er som regel svært tidkrevende, og tar mange år. Dette gjelder både tilpasning til en eksisterende ISO-standard og implementering av en ny standard ((IEA), 2021, p. 52). For aktører innen skipsfarten innebærer det risiko å satse på en teknologi som ikke er tilstrekkelig moden og forutsigbar. Innføring av ny teknologi er ofte en tid- og ressurskrevende prosess (Miljødirektoratet, 2020, p. 96). Det påpekes at *interim-retningslinjer* er den beste måten for utvikling av mål-baserte krav for nye teknologier. Det tar gjennomsnittlig 5 år å utvikle slike retningslinjer, noe som må tas med i betraktningen for utviklingen av nye energibærere for skip (Commission, 2021b, p. 235).

## **Vekt og volum**

For marinefartøyer er det designmessig krevende å finne balansen mellom minst mulig vekt og volum, god stabilitet og manøvreringsegenskaper, hensiktsmessig plassering av store mengder utstyr samt tilstrekkelig kapasitet til lagring (Streng, 2021, p. 22).

De fysiske egenskapene til de ulike energibærerne kan være svært ulike, og av stor betydning da volum og vekt er sentrale utfordringer når skip skal designes. Drivstoffet bør ikke ta for stor plass eller veie for mye, relativt til energimengden det inneholder. Ulike energibærere kan også medføre ulike lokasjoner for lagring om bord av hensyn til sikkerhet, vekt og volum. Valg av fremdriftsmaskineri gir også utfordringer ift plassering og størrelse. Gjennom den nederlandske tekniske studien er det påpekt at valg av energibærer med lav energitetthet medfører betydelig økt deplasement, volum, vekt og motstand. Dette vil igjen føre til økt energibehov for fremdrift (Streng, 2021, pp. 62, 80). Det er med andre ord et viktig energieffektivt tiltak å benytte energibærere med høyest mulig energidensitet.

## **Sikkerhet**

Sikkerhetsmessige godkjenninger er en forutsetning for å kunne ta i bruk ny teknologi i skipsfarten. Dette krever testing og dokumentasjon, og vil kunne være en ressurskrevende og tidkrevende prosess

---

(Miljødirektoratet, 2020, p. 137). IMO erkjenner at sikkerhetsgodkjenning av nye energibærere for skip kan bli en utfordrende barriere (IMO, 2018, p. 9). EU påpeker at det kan være ressurskrevende med nødvendig opplæring og trening for å ivareta sikkerhetsforsvarlig drift av nye teknologier og energibærere (Union, 2021, p. 122). I 2017 trådte IMOs IGF-kode i kraft. Denne regulerer sikkerheten på skip som benytter drivstoff med lavt flammepunkt, da i hovedsak LNG. Regelverket innebærer omfattende reguleringer av arrangement, installasjoner, krav til utstyr, kontroll og monitorering. Det settes også krav til spesiell kompetanse, trening og utdanning for skipets mannskaper (Commission, 2021b, p. 67). DNV anbefaler at det fokuseres på interimregler som sørger for at nye teknologier kan utvikles sikkert og effektivt (Rederiforbund, 2017, p. 6).

NATO har gjennom International Naval Safety Assosiation (INSA) utviklet ANEP-77 (Naval Ship Code), som skal sikre marinefartøyers særegenheter på en måte som ikke er ivaretatt av IMO SOLAS. Koden erkjenner marinefartøyers operasjonelle bruk, herunder ekstreme trussel scenarier (NATO, 2019, pp. Part1-0-1 ). ANEP-77 slår fast at koden ikke gjelder dersom fartøyet frakter større mengder drivstoff med lavt flammepunkt (NATO, 2019, pp. Part1-0-2). Den sier også at dersom det ikke er gjort enighet om annet, skal ikke brennbare væsker om bord være av typen med lavt flammepunkt (NATO, 2019, pp. Part1-VI-3).

## 4.3 Operasjonelt

Marinefartøyers operasjonelle krav og driftsprofil er mer variert og kompleks enn for sivile fartøyer, og utholdenhet i operasjoner gis høy prioritet. I tillegg kan fartøyenes oppgaver være varierte, og oppdrag og operasjonsområder kan endres betraktelig gjennom fartøyenes levetid (Streng, 2021, pp. 5, 11).

### Utholdenhet

Rekkevidde og utholdenhet er avhengig av fartøyets fartspotensiale og drivstoffkapasitet. Operasjonskonseptet for den enkelte fartøystypen sier noe om dette, og etterforsyning gjennom ulike logistikelementer kan være en del av regnestykket. En svært viktig faktor for fremtidens energibærere

---

er tilgjengelighet, og hvor omfattende det er å få brakt den om bord og hva som kreves av besetningen for å håndtere den (Chemistry, 2020, p. 830).

Skal man satse på nye energibærere, er det essensielt at det er tilgjengelighet på drivstoffet der man trenger det og når man trenger det. For en fergestrekning med to faste havner er dette lettere å få til enn for et marinefartøy som skal operere over store områder.

Etterforsyning av drivstoff til et operasjonsteater er en utfordring, og denne øker når man skal erstatte tradisjonelle fossile energibærere med alternative energibærere (Streng, 2021, pp. 4-5). Konsept for logistikk i Sjøforsvaret skal blant annet tilrettelegge for økt operativ evne med forbedret utholdenhet og handlefrihet. Fartøy med stor bunkerskapasitet utgjør en viktig fremskutt kapasitet, og vil sammen med sivil kapasitet på land være hovedkilder for forsyning av blant annet drivstoff. Det er behov for fleksibilitet og robusthet i forsyningsapparatet ((FLO), 2018, p. 8). Innføring av flere nye energibærere kan få betydelige konsekvenser for logistisk understøttelse av allierte styrker (Streng, 2021, p. 102).

## **Sårbarhet**

Krav til overlevelsessevne for marinefartøyer kan variere stort mellom ulike fartøyskategorier. Det er krav og forventninger til at fartøyene konstrueres minst mulig sårbar for å kunne opprettholde sin funksjon gjennom kritiske situasjoner som kan oppstå i krise/krig. I forhold til oppgavens problemstilling kan sårbarhet knyttes direkte til valg av energibærer og fremdriftskonfigurasjon. Energibærere kan påvirke fartøyets sårbarhet og overlevelsessevne i forhold til brennbarhet og eksplosjonsfare med potensielt skadeomfang. Et fremdriftsmaskineri sin pålitelighet og stabilitet kan også virke betydelig inn på sårbarheten. (Streng, 2021, pp. 12,20).

Fartøyets evne til å gjenoppta funksjonalitet ved skade eller feil på utstyr er også et viktig premiss ved design av marinefartøyer. Dette kan oppnås med redundans, altså backup-systemer for viktige funksjoner. Utstyrets evne til å tåle ytre påvirkning slik som vibrasjon og sjokk spiller også inn. I siste revisjon av Naval Ship Code er det satt ekstra fokus på å oppdatere regelverket i forhold til sårbarhet og såkalt *Post-damage*.

## **Signatur**

En av utfordringene med design av marinefartøyer kan være å minimere fartøyenes signatur. Med signatur menes hvordan fartøyet kan gjenkjennes av andre enheter og våpen. Eksempler kan være varmeutstråling, vibrasjon/trykk, akustisk, elektromagnetisk eller radarrefleksjon. For å forhindre at

---

våpen eller fiendtlige farkoster gjenkjenner fartøyet kan det være kritisk å oppnå minimal signatur. Valg av fremdriftssystemer og energibærere kan ha innvirkning på dette.

Bruk av ny teknologi med nullutslippsløsninger kan påvirke fartøyenes signatur negativt, men kan også føre til forbedring. Tradisjonelle fremdriftssystemer med dieselmotorer er signaturmessig utfordrende i forhold til både støy, vibrasjon og eksosgastemperatur. Elektriske systemer kan forbedre dette betraktelig, men andre signaturer kan øke slik som elektromagnetiske felt (Streng, 2021, p. 19). Tradisjonelt benyttes ulike kostbare og volumkrevende tiltak for å redusere marinefartøyers signatur, og disse ulempene kan påvirkes når man velger energibærere og fremdriftssystemer. Det er også relevant at nye standardfartøyer er varslet å ha lavere militærspesifikke krav enn det som er vanlig for kampfartøyer, som omtalt i kap 2.1.

## 4.4 Økonomisk

Gjennom en designfase av et anskaffelsesprosjekt kan budsjettmessige begrensninger medføre at enkelte designmessige ønsker og krav ikke kan innfris. Budsjetttrammer settes ofte tidlig, og vil kunne bli styrende for hvilke løsninger som er mulig å få til. Gjennom en kravstillingsfase vil det gjøres en rekke kompromisser gjennom kost-nytte-betraktninger.

DNV har gjort en analyse av noen alternative drivstoff for skipsfarten på oppdrag av miljødirektoratet. Her kommer det blant annet frem at ingen av drivstoffene er samfunnsøkonomisk lønnsomme (DNV-GL, 2018, p. 4).

### Investering

Ny teknologi medfører en økonomisk risiko for oppdragsgiver og kunde, og dette kan påvirke kostnadene. Virkemidler som påvirker investeringskostnaden kan av ulike årsaker ha større betydning for et investeringsprosjekt enn påvirkning på fremtidige driftskostnader (Miljødirektoratet, 2020, p. xxviii). Dette kan ha bakgrunn i begrensede investeringsbudsjetter, men også adferds faktorer som gjør at man overfokuserer på det som ligger nært i tid. Dette kan også oppstå i Forsvarssektoren der investeringsprosjektene gjennomføres av Forsvarsmateriell, mens fremtidige driftsutgifter treffer Forsvaret.

---

For alle typer skip vil umoden teknologi og begrensninger ved alternative energibærere utgjøre betydelige økonomiske barrierer (Miljødirektoratet, 2020, p. 127). Militære skip har lang levetid, og ofte høye investeringskostnader. Det kan antas at barrierene vil være store for denne type fartøyer.

### **Driftskostnader**

Stor prisdifferanse mellom fossilt og alternativt drivstoff er problematisk. Tatt i betraktning den lange levetiden på Sjøforsvarets fartøyer, kan teknologi som er lønnsom i dag bli svært kostbar i drift mot slutten av levetiden (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 42). Prisen på fossilt drivstoff er betydelig lavere enn for alternative energibærere, og har sammenheng med tilbud- og etterspørsel situasjon. Fremstillingskostnader for alternativer driver også prisen oppover. Prisutviklingen på alternativt drivstoff er ventet å bli betydelig redusert når man kan iverksette storproduksjon og oppnår konkurranse innen dette segmentet. Det er forventet at avgiftsnivå på fossilt drivstoff vil øke, og at dette vil bidra til å redusere prispapet mellom fossilt drivstoff og miljøvennlige alternativer.

«Drivstoffavgifter, havneavgifter og eventuelle andre avgifter som kan differensieres mellom ulike energibærere kan bidra til å gjøre nullutslippsløsninger mer konkurransedyktige sammenlignet med fossile drivstoff» (Miljødirektoratet, 2020, p. 96).

I en undersøkelse som er gjort av EU hos skipsfartsinteressentene, kommer det frem at nær halvparten av de spurte har drivstoffpris som den viktigste årsaken til at de avventer å ta i bruk ny miljøvennlig teknologi på sine fartøyer (Union, 2021, p. 152).

### **Vedlikehold og oppgradering**

Introduksjon av nye energibærere og nye fremdriftssystemer kan medføre nye vedlikeholdsmessige utfordringer. Hyppighet av driftsavbrudd kan øke, og mangel på kvalifisert personell eller reservedeler kan påvirke både tid og kostnader.

Med ambisjonsnivået for nullutslipp må det påregnes oppgradering til nye løsninger når ny teknologi har modnet. Sjøforsvaret har erfaring med såkalt *mid-life-updates*, og disse kan være både tidkrevende og kostbare. Når det nå skal vurderes løsninger som kan best mulig møte fremtidens miljøkrav, bør slike oppgraderinger tas med i den økonomiske vurderingen. Oppgradering kan medføre at drivstoff må lagres annerledes, eller at maskineri må oppgraderes.

Den nederlandske studien peker på at det vil være kostnadsbesparende å sørge for at fremdriftsmaskineri plasseres og designes på en slik måte at det er enkelt å skifte ut større komponenter i fremtiden for oppgradering (Streng, 2021, p. 22).

## 5 Analyse energibærere

Gjennom MCA er det vanlig å utvikle en ytelsesmatrise. Dette er et verktøy som visualiserer det totale bildet av alternativer og hvordan disse vurderes opp mot hverandre (Government, 2009, p. 21). Figur 5 indikerer hvordan analyseresultatene fra studien synliggjøres.

Energibærere i forhold til utvalgte måleparametere	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvikl.	Modenhet	Vekt/vol.	Sikkerhet	Utholdenh	Sårbarhet	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (Fossil Diesel)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel													
Metanol													
Hydrogen													
Ammoniakk													
FHB													
Batteri													
Landstrøm													

Figur 6. Matrise som utgangspunkt for analyse.

Med bakgrunn valgt kvalitative tilfellestudie, gjennomføres analysedelen basert på vurderinger underbygget av dokumentasjon. I kapittel 5 drøftes hver enkelt energibærer opp mot valgte kriterier. Dette vil være grunnlaget for scoringen som senere visualiseres i 2 ytelsesmatriser i kapittel 5.9, i hhv 2025- og 2030-perspektiv. Scoringen gjennomføres med følgende verdier:

<b>3</b>	Meget positiv
<b>2</b>	Positiv
<b>1</b>	Litt positiv
<b>0</b>	Nær referanseløsning
<b>-1</b>	Noe negativ
<b>-2</b>	Negativ
<b>-3</b>	Svært negativ

Figur 7. Score-verdier

Viktige bidrag til analysen er empiriske data og vurderinger fra flere tekniske studier. Sammenfattede oversikter fra relevante studier er presentert som vedlegg til oppgaven, og referert til en rekke steder i delanalysene.

---

«Confirming-Evidence» er en fallgrube, beskrevet i kapittel 1.2, som er sentral underveis i analysen. Det viktigste er å være ærlig med seg selv om ens egentlige motiver. Innhentes dokumentasjon som kan bidra til å gjøre riktige valg, eller søkes informasjon som kan underbygge ens egentlige preferanser (J.S. Hammond, 1998, p. 11)? Dette kan være avgjørende for analysens utfall. Analysen baseres blant annet på et utvalg av uavhengige, brede, tekniske studier som bidrar til å redusere risiko for å havne i denne fallgruben.

Å analysere de ulike energibærerne isolert sett er utfordrende, da det fremstår som åpenbart at de må benyttes i kombinasjon med andre. Dette vil imidlertid gi et godt grunnlag for videre utvalg og drøfting av kombinasjonsløsninger i kapittel 6. Ut fra avgrensninger underveis i studien, vil nå 7 alternative energibærere analyseres videre. Dette er **hydrogen, ammoniakk, FHB, batterier, landstrøm, biodiesel og metanol (bio/syntetisk)**.

## 5.1 Biodiesel

### Politisk

Potensialet for CO<sub>2</sub> reduksjon er betydelig ved bruk av biodiesel. Ser man imidlertid på hele produksjonskjeden har biodiesel ca. 30% utslipp pr energienhet sammenlignet med fossil diesel. Det er energikrevende å produsere bio-drivstoff, og energi kreves i flere ledd i produksjons prosessen. Basert på anslag gjort av EU vil energibehovet til fremstilling ligge på så mye som 3% av den totale energiforsyningen i 2050. Imidlertid er energibehovet for bio-drivstoff til maritim sektor bare i overkant av 0.3% (Commission, 2021b, p. 180). Produksjonskjedens CO<sub>2</sub> utslipp er en utfordring, men kan forbedres i takt med at produksjon gjennomføres flere steder slik at klimafotavtrykket går ned. Det forventes eksempelvis at produksjon av 3.generasjons drivstoff kan opprettes kystnært og nær forbruker, slik at det totale klimafotavtrykket reduseres (Rederiforbund, 2017, p. 27). Av tabellen i vedlegg 11 fremgår det at reduksjonspotensialet for utslipp av 2.generasjons biodiesel er 80%, og hele 90% for 3.generasjons. Konklusjon er at **CO<sub>2</sub> reduksjon** vil være litt positiv i et 2025-perspektiv, og betydelig forbedret fra 2030.

Det har blitt gjennomført en rekke studier hvor bærekraft for biodrivstoff er vurdert, og de varierer som følge av et stort antall stoffer og fremstillingsmetoder ((IEA), 2021, p. 52). Dersom biodrivstoffet produseres av produkter som ikke benyttes til annet formål, er graden av bærekraft større. Noe som



---

trekker i negativ retning er transport av biomasser og biodrivstoff over store avstander, gjerne med transportmiddel med CO<sub>2</sub> utslipp. Lloyd's fastslår i sin rapport at biodrivstoff har betydelige utfordringer relatert til både bærekraft og tilgjengelighet (Lloyd's, 2020, p. 4). Bruk av biodiesel i Forsvaret er også vurdert av FFI, og der konkluderes det med at det pr nå ikke gir god nok miljøgevinst. «I dagens situasjon er det ikke gitt at økt bruk av biodrivstoff er miljøvennlig eller bærekraftig» (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 81). Det forventes at utviklingen vil gjøre biodiesel mer bærekraftig, og sammenlignet med fossile drivstoff oppnås en miljøgevinst. Konklusjon blir at i 2025 vil det fremdeles bare være en liten positiv utvikling for biodiesel med hensyn til **bærekraft**, og at en eksplosiv etterspørsel i flere næringer vil fortsatt utfordre bærekraftsituasjonen i 2030.

Biodiesel er innført i veitransportsektoren, men i svært begrenset grad i maritim sektor ((IEA), 2021, p. 9). Det er sannsynlig at dette drivstoffet vil være avgjørende for å kunne nå utslippsmålene på kort og mellomlang sikt. «Biodrivstoff er nøkkelen til å oppnå de ambisiøse målene for utslippsreduksjon» (Rederiforbund, 2017, p. 52). Norsk industri har foreløpig ikke satset vesentlig på produksjon av biodiesel, noe som medfører at behovet i Norge nå dekkes av import fra Europa. Som nevnt tidligere påvirker dette både bærekraft og CO<sub>2</sub> utslipp. Pris på sluttprodukt vil være avgjørende for produksjon og handel, og her kan det være utfordrende for norske aktører å konkurrere med resten av Europa. Når det gjelder tredjegerasjons biodrivstoff kan det antas at havnasjonen Norge har muligheter til å satse. Konklusjonen er at satsning på biodiesel ikke vil gagne **norsk industriutvikling** i vesentlig grad på kort sikt. Potensialet for en fremtidig satsning på tredjegerasjons biodiesel vil være betydelig, men økt import av biodiesel vil kunne negativt påvirke en veletablert norsk industri basert på fossilt drivstoff.

## **Teknisk**

Med førstegerasjons biodiesel har man opplevd noen utfordringer relatert til korrosjon, ustabilitet, mikrobiologisk vekst og annet. Det ser ut som at disse utfordringene i hovedsak er løst i andregenerasjons drivstoff (Rederiforbund, 2017, p. 26). Både DNV og Lloyd's vurderer teknisk modenhetsnivå for bruk av biodiesel på skip for god. Dette fremkommer av hhv vedlegg 1 og 7, og gjelder både første- andregenerasjons biodiesel. En av årsakene til denne vurderingen er at drivstoffet har omtrent de samme egenskapene som fossil diesel, og kan benyttes med eksisterende installasjoner og med etablert infrastruktur. Det er heller ikke behov for etablering av nytt regelverk eller større endringer i rutiner. Teknisk modenhetsnivå for produksjonsleddet vurderes som mindre relevant i

---

forhold til valgt problemstilling. Konklusjonen er at **teknisk modenhet** er tilnærmet like god som for bruk av fossil diesel på fartøyer, både i et 2025-perspektiv og i fremtiden.

Energitetthet for biodiesel er bare marginalt forskjellig fra fossil diesel. Dette fremgår også av illustrasjonen i vedlegg 6. Det er dermed ikke forbundet noen ulemper vektmessig eller volummessig med bruk av biodiesel. Med bakgrunn i dette vurderes **teknisk vekt og volum** til å være på tilsvarende nivå som ved bruk av fossil diesel som energibærer.

Det er ikke funnet noen sikkerhetsmessige ulemper eller fordeler ved bruk av biodiesel på skip. Dette med bakgrunn i at de tekniske egenskapene til biodiesel er lik fossil diesel, samt at man benytter tilsvarende maskineri, infrastruktur og prosedyrer. **Sikkerhetsnivå** vurderes til å være på samme nivå som ved bruk av fossil diesel, både nå og i fremtiden.

## Operasjonelt

Når det gjelder FAME og HVO er tilgjengelighet og evne til masseproduksjon til skipsfarten utfordrende. Som nevnt tidligere i dette kapittel forventes det vedvarende utfordringer i forhold til både bærekraft og tilgjengelighet, og har sammenheng med konkurranse fra andre næringer. På den annen side kan det som nevnt i kapittel 3.1.5 tyde på at store NATO-nasjoner som USA satser på biodiesel til militære fartøyer. Da vil dette kunne bane vei for andre medlemsland, og tilsikre tilgang på drivstoffet både i alliert kontekst og lokalt hos medlemslandene. Med bakgrunn i dette er min analyse at utfordringer med tilgang har negativ innvirkning på **utholdenhet** på kort sikt, men at et NATO-samarbeid om nye standarder for drivstoff kan bedre dette på lengre sikt.

Til tross for at det er knyttet usikkerhet til tilgang på biodiesel for militære fartøyer, vil bruk av fossil diesel kunne mitigere denne usikkerheten. Hvordan tilgang på fossil diesel vil være på lang sikt er usikkert, men i et 2025- og 2030-perspektiv vil sannsynligvis tilgangen være noe bedre enn i dag. Konklusjonen blir derfor at satsning på biodiesel ikke vil påvirke **sårbarheten** i negativ grad.

Når det gjelder **signatur** vurderes denne som upåvirket ved valg av biodiesel foran fossil diesel. Dette med bakgrunn i uendret konfigurasjon på fartøyets struktur og fremdriftssystemer.

## Økonomisk

En årsak til at skipsfarten er interessert i biodiesel er at utslippsmålene kan oppnås på kort sikt med et produkt som ikke krever betydelige ekstrainvesteringer, såkalt *drop-in-fuel*. I noen tilfeller må det

---

foretas mindre tilpasninger på fartøyets motorer ved bruk av enkelte typer biodiesel ((IEA), 2021, p. 60). Investeringskostnader for motor og infrastruktur om bord forventes ikke å bli høyere for andre- og tredje generasjons biodiesel enn for motorer beregnet for fossil diesel (Rederiforbund, 2017, p. 30).

**Investeringskostnader** vurderes derfor å være på samme nivå ved bruk av biodiesel som med tradisjonell fossil diesel.

Biodiesel er en betydelig dyrere enn fossil diesel, noe som blant annet kommer frem av vedlegg 1. Forskjellen kan antas å reduseres når fossilt drivstoff får økte avgifter, samtidig som tilbud og etterspørsel på biodiesel endres betraktelig. På den annen side er det flere som hevder at økende etterspørsel etter biodiesel kan føre til at prisene forblir høye i overskuelig fremtid (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 32). Dette fremgår også av vedlegg 9 basert på Lloyd's sine anslag. Det er knyttet forventninger til at den utviklingen av tredjegerasjons biodrivstoff kan føre til en mer bærekraftig og rimeligere løsning. Frem mot 2030 er det hovedsakelig den landbaserte transportsektoren som sørger for kraftig vekst i etterspørsel etter biodiesel. Det forventes at etterspørselen fra denne sektoren vil avta rundt 2030 med bakgrunn i elektrifiseringen av kjøretøy. EU anslår da at en kraftig etterspørsel av bio-diesel fra den maritime næringen vil sørge for en fortsatt vekst og medfølgende prisnedgang for dette drivstoffet (Union, 2021, p. 110). EU forventer å ha tilstrekkelig kapasitet til å produsere bio-drivstoff til EUs internasjonale maritime sektor. Dette til tross for at det totale forbruket forventes å øke med 10-gangen fra 2030 til 2050 (Commission, 2021b, pp. 180-182). Det knyttet usikkerhet til prisutviklingen for biodiesel. Det konkluderes derfor med at dette vil være negativt i forhold til økte **driftskostnader** i et 2025-perspektiv. Selv om prisene på biodiesel kan forbli høye, kan økte avgifter på fossil diesel redusere prisdifferansen i et 2030-perspektiv.

Vedlikeholdsmessig vil bruk av biodiesel kunne sammenlignes med vedlikehold på fartøyer med fossile dieselmotorer. Dette med utgangspunkt i at tekniske utfordringer med førstegenerasjons biodiesel forventes eliminert fra 2025. Det forventes derfor at **vedlikeholdskostnader** vil holde seg på tilsvarende nivå som ved bruk av konvensjonell diesel.

---

## 5.2 Metanol (bio/syntetisk)

### Politisk

Potensialet for CO<sub>2</sub> reduksjon for biometanol er omtrent tilsvarende som for biodiesel, og avhenger av den totale produksjons- og leveransekjeden. Både i vedlegg 8 og 10 er utslippene vurdert til under 30% av utslipp ved bruk av fossil diesel. Det forventes også at utslippspotensialet vil øke i takt med ny produksjonsteknologi. Produksjonsform og energikilde for produksjon av syntetisk metanol er markedsstyrt, og naturgassreforming forventes å være den økonomisk gunstigste produksjonsformen frem til 2030. Med incentiver fra myndigheter er det mulig å erstatte deler av produksjonen med elektrolyse for å redusere utslipp (DNV-GL, 2019, p. 109). Bruk av syntetisk metanol som energibærer vil ikke medføre noe betydelig utslippsreduksjon av CO<sub>2</sub> med mindre man benytter karbonfangst eller grønn hydrogen i produksjonen. Som det fremgår av vedlegg 8, har man potensielt et nullutslippsalternativ dersom man benytter grønt hydrogen i fremstillingen. Det konkluderes med at ved å benytte ulike former for metanol som energibærer på Sjøforsvarets fartøyer vil man kunne oppnå noe **CO<sub>2</sub> reduksjon** fra 2025, og en positiv utvikling rundt 2030.

Også for bærekraft kan man møte de samme problemstillingene for fremstilling av bioetanol som ved biodiesel. Forskjellen er at etterspørselen etter biodiesel forventes å være atskillig høyere. Foreløpig er det få steder i verden det produseres biometanol i større skala, så inntil videre vil ikke energibæreren være bærekraftig i forhold til utslippene i logistikk-kjeden. Biometanol produseres ofte av trevirke, og konkurrerer ikke om de samme råstoffene som finnes i produksjon av biodiesel. I DNV sin rapport om produksjon og bruk av hydrogen i Norge fremkommer det at naturgassreforming vil være den fremtredende fremstillingsmåten for metanol i Norge i lang tid. Selv om deler av denne produksjonen kan gjøres karbonfri ved bruk av elektrolyse, må deler av det samlede behovet for ammoniakk dekkes inn ved bruk av naturgass. En satsning på karbonnøytral metanol vil dermed ikke bidra til en global reduksjon av CO<sub>2</sub>, selv om man kan vise til lokal reduksjon. Man får dermed en karbonlekkasje som ikke regnes som bærekraftig. En eventuell storsatsning på karbonfangst kan bedre denne bærekraften. **Bærekraft** for bruk av metanol på marinefartøyer vurderes å være marginalt bedre enn for fossil diesel for øyeblikket, men både biologisk- og syntetisk metanol vil kunne fremstå som en mer bærekraftig løsning på sikt.

Norsk industri har ikke satset vesentlig på produksjon av biometanol. Dette kan imidlertid snu i takt med en hurtig utvikling av andre- og tredjegerasjons biodrivstoff. Det er noen få fartøyer i verden som benytter seg av metanol i dag, men dette kan øke drastisk med satsningen på alternative energibærere. Det er vanskelig å slå fast hvilken betydning en økt etterspørsel av teknologi basert på biometanol vil få. Rundt 10% av verdens hydrogenproduksjon benyttes til produksjon av syntetisk

---

metanol. Produksjon av metanol er i vekst på verdensbasis, og det forventes en dobling innen 10 år. Equinor sin fabrikk på Tjeldbergodden produserer i dag en fjerdedel av Europas metanolforbruk (DNV-GL, 2019, pp. 36, 85). Norske initiativer som sikrer etterspørsel etter karbonnøytral metanol vil sannsynligvis stimulere norsk industri til å satse på denne energibæreren nasjonalt, med eksportmuligheter på sikt. Vurderingen er derfor at et valg om å benytte metanol vil ha noe positiv innvirkning på **norsk industriutvikling**, og potensielt økende fra 2030.

## **Teknisk**

Som nevnt i kapittel 3.3.1 er det nå en rekke motorfabrikanter som tilrettelegger for bruk av metanol på dual-fuel motorer. Passasjerfergen Stena Germanica har siden 2015 benyttet dual fuel motorer med metanol, og diesel som backup. I tillegg er det flere kjemikalieskip med norsk flagg som benytter metanol som energibærer (Miljødirektoratet, 2020, p. 117). Dette er som pilotprosjekter å regne, og både DNV og Lloyd's regner teknologisk modenhetsnivå for metanol som middels. Dette fremgår også av hhv vedlegg 1 og 7. I 2020 godkjente IMO metanol som drivstoff for fartøyer, og medfølgende standard gir klare retningslinjer for arrangement, kontroll og overvåkning ((IEA), 2021, p. 51). Dersom man ønsker å satse på en kombinasjon av brenselceller og metanol vil teknologien følge modningsløpet til brenselceller. Konklusjonen er at **teknisk modenhet** ved bruk av bio- og syntetisk metanol er noe negativ også i 2025, men i et 2030-perspektiv har man fått mer enn 10 års erfaring og kan karakterisere metanol som en moden teknologi på skip.

Metanol lagres i form av flytende væske under atmosfærisk trykk, og er lite komplisert å håndtere og lagre. Energitettheten er imidlertid betydelig lavere enn for diesel, både når det gjelder vekt og volum. Dette kommer frem av vedleggene 4 og 6 som viser en halvering av energitettheten sammenlignet med fossil diesel. Dette medfører at den tar opp relativt mye plass om bord, men oppveies noe av en bedre energiutnyttelse. Energitettheten er imidlertid høyere enn for ammoniakk og betydelig høyere enn for FHB. En annen fordel er at metanol ikke er skadelig for liv i sjøen dersom man skulle få utslipp. Med bakgrunn i at utslipp ikke er miljøskadelig er det tillatt å lagre drivstoffet i fartøyenes dobbeltskrog (Chemistry, 2020, p. 832). Det tekniske **vekt/volum** aspektet ved bruk av metanol som energibærer vurderes som noe negativ i forhold til fossil diesel.

Den nederlandske studien peker på flere forhold som utgjør en sikkerhetsrisiko ved bruk av metanol. Lavt flammepunkt, samt at gassen metanol avgir er tyngre enn luft, utgjør en betydelig brann- og eksplosjonsfare. Samtidig er metanol korrosiv, og gassen den avgir kan være giftig for mennesker. Disse ulike sikkerhetsaspektene kan mitigeres ved å etablere gass-sikre maskinområder samt sikkerhetsbarrierer på rørsystemer (Streng, 2021, p. 88).

---

Med utgangspunkt i ovennevnte studie, samt DNV sin vurdering i vedlegg 1, er konklusjonen at **sikkerhetsaspektet** er negativt.

### Operasjonelt

Som tilfellet er med ammoniakk, har metanol også blitt produsert og håndtert i stor skala i lang tid. Dermed er det etablert produksjon, infrastruktur og regelverk som gjør det lettere å benytte denne energibæreren på skip i fremtiden. Det er imidlertid lav produksjon av biometanol på verdensbasis. Det finnes en fabrikk i Canada og en i Nederland som produserer biometanol til det kommersielle markedet ((IEA), 2021, p. 46). I et 2025-perspektiv er bunkringsmulighetene for metanol svært begrenset, og man har ikke noe etablert logistikkapparat i NATO som håndterer etterforsyning av denne energibæreren til skip. Relativt til flere andre alternative energibærere, har metanol en energitetthet som gjør at man kan ha lagringskapasitet om bord til en god utholdenhet. Sammenlignet med dieseldrift er kapasiteten noe lav. Vurderingen er at **utholdenheten** vil være negativ fra 2025, med en mulig bedring fra 2030.

Den økte sikkerhetsrisikoen ved bruk av biometanol med lavt flammepunkt kan være kritisk under militære operasjoner hvor andre enheter kan påføre fartøyet skade. Sammen med nevnte utfordringer knyttet til logistikk og tilgjengelighet vurderes derfor **sårbarheten** som negativ både i et 2025-perspektiv og på lengre sikt.

Biometanol benyttes som nevnt i forbrenningsmotorer, og det er dual-fuel eller multi-fuel motorer som vil være aktuelt, tatt i betraktning manglende modenhet for brenselceller. Med slike motorer vil man ikke oppnå noen betydelige forskjeller signaturmessig sammenlignet med vanlige dieselmotorer, ei heller konstruksjonsmessige forhold. Altså ubetydelig endring i **signatur** fra referanseløsning med dieseldrift.

### Økonomisk

Det forventes at det kreves noe ekstra investeringsmidler for å tilrettelegge for bruk av metanol på nye fartøyer. Inntil 5% økning kan påregnes i form av endring på motorer og infrastruktur (Rederiforbund, 2017, p. 27). Med bakgrunn i dette forventes det at installasjon tilrettelagt for biometanol har noe negativ økonomisk innvirkning på **investering** sammenlignet med et dieselbasert fartøy. Dette forventes å bedres fra 2030 dersom multi-fuel motorer og ekstra sikkerhetsbarrierer har blitt mer regel enn unntak.

---

Tilsvarende som for biodiesel, vil biometanol være kostbart i flere år sammenlignet med fossil diesel. Forskjellen forventes å avta dersom CO<sub>2</sub>-avgiftene økes. Av vedlegg 9 kan man også se at Lloyd's forventer at prisen på biometanol vil holde seg like under prisen på biodiesel, og følge dens utviklingstrend. Metanol kan produseres fra fossile kilder, biomasser, eller syntetisk gjennom fornybare kilder og hydrogen. Syntetisk metanol er atskillig mer kostbar enn andre former for metanol. Med utgangspunkt i Lloyd's sin oversikt over forventet prisutvikling (vedlegg 9), fremgår det at i 2030 forventes energiprisen å være 3 ganger høyere enn for biodiesel. Til tross for noe forventet prisnedgang virker det som at syntetisk metanol vil være blant de mest kostbare energibærerne driftsmessig. Det er altså forventet noe ulikt prisnivå mellom bio- og syntetisk metanol, men det må planlegges med en blanding ved tilrettelegging for metanoldrift. Oppsummert vil dette gi en svært negativ påvirkning på fartøyets **driftskostnader** i 2025 og negativ etter 2030.

For å holde fartøyenes vedlikeholdsutgifter nede forventes det at det kreves ekstern verkstedsstøtte i minst mulig grad. «Den strategiske utviklingen av Sjøforsvaret medfører at vedlikehold i størst mulig grad skal utføres av besetningene om bord»(FLO), 2018, p. 16). Ved å innføre metanol som energibærer kan det være mer krevende å gjennomføre vedlikeholdsoppgaver. Dette med tanke på umoden teknologi, samt at metanol kan være både giftig og brannfarlig. På den annen side bør ikke vedlikeholdet bli mer omfattende enn for dieselmotorer på sikt. En av fordelene med biometanol er en renere drift, og mindre slitasje. **Vedlikeholdsutgiftene** vil kunne antas å øke på kort sikt med innføring av ny energibærer, men på lengre sikt kan de forventes å bli på samme nivå som dagens dieseldrift.

## 5.3 Hydrogen

### Politisk

Forbruk av hydrogen gjennom energiomsetning om bord medfører ingen avgassutslipp av CO<sub>2</sub>, noe som blant annet fremgår av Lloyd's sin oversikt i vedlegg 8. Eneste unntak er dersom man benytter hydrogen i en dual-fuel motor, må det påregnes et lite utslipp da det kreves en liten prosentandel diesel som pilot fuel. For å oppnå nullutslipp må hydrogenet produseres av fornybare energikilder. Samtidig bør produksjonen foregå nærmest mulig forbruker for å unngå stort karbonfotavtrykk ved transport.

---

Konklusjonen er at **CO2 reduksjon** er positiv i et 2025-perspektiv, men meget positiv fra 2030 da det kan forventes at hydrogen produseres mer klimanøytralt.

Det store bærekraftsspørsmålet for hydrogen er knyttet til den kraftkrevende fremstillingsprosessen. Grunnstoffet fremstilles i dag i stor skala til ulike formål, og hele 3% av verdens energikonsum blir brukt til fremstilling av hydrogen (DNV-GL, 2019, p. 3). Norge har isolert sett tilgjengelig kraft til å produsere grønt hydrogen som kan benyttes blant annet på Forsvarets fartøyer. Ser man på det internasjonale kraftmarkedet totalt sett, vil det være lenge til man kan produsere grønt hydrogen uten at det fører til CO2 utslipp i andre deler av det internasjonale kraftmarkedet. **Bærekraft** for bruk av hydrogen på Sjøforsvarets fartøyer vurderes som noe positiv sammenlignet med bruk av fossil diesel. I et langtidsperspektiv vil denne kunne øke til svært positiv.

En nasjonal og internasjonal satsning på bruk av hydrogen i skipsfarten kan gi positive ringvirkninger for norsk industri. Det er potensiale for en betydelig økt norsk hydrogenproduksjon, produsert av fornybar energi eller som en del av karbonfangst-prosjekt. «*Nasjonal og internasjonal klimapolitikk er en viktig driver for den fremtidige etterspørselen etter hydrogen i Norge*» (DNV-GL, 2019, p. 106). Norge har isolert sett et kraftoverskudd, og dette overskuddet forventes å øke betraktelig frem mot 2030. Dette kan gi grunnlag for en satsning på elektrolysebasert hydrogenproduksjon (DNV-GL, 2019, p. 8). Det finnes en rekke pilotprosjekter både nasjonalt og internasjonalt som kan bane vei for hydrogen som en alternativ energibærer i fremtiden (Miljødirektoratet, 2020, p. 114). Konklusjonen blir at satsning på hydrogen som energibærer på norske fartøyer vil være positivt for **norsk industri** både på kort og lengre sikt.

## **Teknisk**

Hydrogen som energibærer på skip er å anse som en umoden teknologi. Det er pr. i dag ikke fraktet flytende hydrogen på skip, hverken transporterert eller som drivstoffkilde. Det er imidlertid noen pilotprosjekter under planlegging (Chemistry, 2020, p. 821). Som det fremgår av vedlegg 7 er Lloyd's sin vurdering at teknisk modenhetsnivå er lavt når det gjelder bunkring, lagring og fremdriftssystemer. Dette samsvarer med DNV sin vurdering av hydrogen i vedlegg 1. Brenselcelleteknologien har fremdeles utfordringer som må løses for å kunne benyttes på skip. Det er ikke noe etablert system for utveksling av erfaringer mellom ulike pilotprosjekter med utprøving av hydrogen på skip (DNV-GL, 2019, p. 80). Konklusjonen er at **teknisk modenhetsnivå** er fremdeles svært lavt i 2025, men at det kan forventes noe bedring fra 2030.



---

Uavhengig om hydrogen lagres flytende eller i komprimert form, er den svært volumkrevende sammenlignet med diesel. «Den aller største utfordringen med hydrogen er lagring» (Chemistry, 2020, p. 835). Hydrogenbaserte fremdriftsanlegg med brenselceller er både tunge og volumkrevende om bord i fartøyer. Dette gjelder både drivstofftanker og selve brenselcelleanlegget. Dette vil innvirke på energibehovet for fremdrift (DNV-GL, 2018, p. 18). Vekten av energibæreren er gunstig, men vekten av selve hydrogentankene blir betydelig grunnet krav til dimensjonering. Flere hundre bar hydrogen i gassform krever store dimensjoner på tanktykkelse. Nedkjøling til -253 grader celsius for å holde hydrogen flytende krever ekstremt god tankisolering, og blir sammenlignet med å lagre iskem i en stekeovn (Chemistry, 2020, pp. 820, 828, 831). En annen utfordring med en lett væske som flytende hydrogen er sloshing (skvulping) i lagertankene, som kan gi stabilitetsmessige utfordringer. **Vekt/volum** er negativ sammenlignet med bruk av fossil diesel. Noen signifikant forbedring forventes heller ikke fra 2030.

Et av hovedproblemene med hydrogen er at det er lett antennelig og kan utgjøre en betydelig eksplosjonsfare (DNV-GL, 2019, p. 35). Det finnes ikke et regelverk som dekker lagring av hydrogen om bord. Dette burde imidlertid være mulig å få til, selv om det kan være en tidkrevende prosess. Mitigerende tiltak for å veie opp for sikkerhetsutfordringen kan være ressurskrevende. Lagringstankene utgjør i utgangspunktet ikke noe fare da de er designet for å motstå prosjektiler fra våpen. Hydrogen er de minste molekylene som finnes, og kan dermed lett lekke ut. På den annen side gjør dette at hydrogengassen er svært lett, og forsvinner raskt opp i atmosfæren ved lekkasjer. Hydrogengass er ikke giftig, men den kan fortrenge oksygen og på den måten utgjøre fare i tanker og rom (Chemistry, 2020, p. 834). Dersom det oppstår lekkasjer eller søl med flytende hydrogen med ekstremt lav temperatur, kan dette føre til skader på både skrog og mennesker. I motsetning til lekkasjer med hydrogen i gassform, vil nedkjølt hydrogen binde til seg fuktighet og ikke stige opp. Dette øker eksplosjonsfaren betraktelig (Chemistry, 2020, p. 834). Det er større utfordringer med en eventuell innfasing av flytende hydrogen som energibærer, enn det som var med innføring av LNG. På den annen side kan man dra en rekke erfaringer med seg fra LNG-prosessen, og adoptere dette når man skal introdusere hydrogen som drivstoff på skip (Chemistry, 2020, p. 820). Konklusjonen er at **sikkerheten** ved bruk av hydrogen om bord på skip er svært negativ sammenlignet med diesel. Dette samsvarer med DNV sin vurdering i vedlegg 1.

## Operasjonelt

Å fylle komprimert hydrogen er en svært utfordrende og tidkrevende prosess. Med dagens teknologi vil det gjerne ta flere dager å fylle opp et middels stort fartøy (Chemistry, 2020, p. 831). For bunkring

---

av flytende hydrogen vil den lave temperaturen medføre en svært krevende operasjon, og tap i form av fordampning. I romfartsindustrien er det rapportert om at nær halvparten av det flytende hydrogenet kan gå tapt i fordampning (Chemistry, 2020, p. 831). Det vil også bli krevende å etablere infrastruktur på land som kan håndtere flytende hydrogen på en hensiktsmessig og sikker måte. Dette utgjør store logistikkmessige utfordringer for et marinefartøy, herunder også etterforsyning under operasjoner. Med bakgrunn i dette vil bruk av hydrogen i flytende- eller gassform på Sjøforsvarets fartøyer være svært negativt for fartøyenes **utholdenhet**, både på kort og mellomlang sikt.

Hydrogen vil påvirke fartøyets sårbarhet og overlevelsessevne i kritiske operasjoner i forhold til brennbarhet, eksplosjonsfare samt logistikkmessige utfordringer. Det er ikke grunn til å anta at dette vil endres i et 2030-perspektiv. Dette samsvarer med vurderinger gjort i den nederlandske studien, og fremkommer blant annet av tabellen i vedlegg 4. **Sårbarhet** for militære fartøyer som benytter hydrogen vurderes som svært negativ sammenlignet med dieseldrift.

Bruk av hydrogen som energibærer kan få innvirkning på fartøyets signatur, avhengig av valgte tekniske løsninger. Benyttes brenselcelleteknologi vil støy og vibrasjoner nærmest elimineres (Rederiforbund, 2017, p. 29). Som for forbrenningsmotoren, avgir brenselceller mye varme som kan øke den termiske signaturen, men metoder for avkjøling kan eliminere dette. Med tanke på at bruk av hydrogen vil være svært volumkrevende og sikkerhetsmessig utfordrende, vil dette påvirke fartøyets design i betydelig grad. Dette vil igjen kunne påvirke muligheten for redusert optisk signatur negativt. Med bakgrunn i at brenselcelleteknologi ikke er modent i 2025, vurderes **signatur** på samme nivå som for dieseldrevne fartøyer. I et 2030-perspektiv er det økte muligheter for å kunne designe fartøyer med teknologi som reduserer fartøyets signatur.

## **Økonomisk**

Investeringskostnadene for fartøyer basert på hydrogen som energibærer, avhenger i stor grad av valgte tekniske løsninger. Kompleksiteten er omfattende, for eksempel når lagringstanker skal designes. «Å opprettholde høyere trykk krever mer energi, slik at når man skal bestemme tanktrykk og -volum vil det være en avveining mellom investeringskostnader for tilstrekkelig lagringsvolum og kostnader forbundet med lagring» (Miljødirektoratet, 2020, p. 111). Investeringskostnader forbundet med brenselcelle kan bli høy, tatt i betraktning at det er krevende å satse på nyvunnen teknologi. Dersom man benytter dual-fuel motorer vil den økonomiske risikoen avta. DNV vurderer hydrogen til å være en energibærer som vil øke investeringskostnaden for nye fartøyer i stor grad, dette fremgår også av vedlegg 1. Det er mulig å søke innovasjonsmidler til investeringsprosjekter hvor man satser på ny miljøvennlig teknologi. Til tross for dette vil investeringsbelastningen være stor, med betydelig

---

økonomisk risiko. «Den største utfordringen for implementering av hydrogen som drivstoff i skip anses å være de betydelige tilleggs kostnadene sammenlignet med konvensjonelle løsninger» (DNV-GL, 2019, p. 73). Det konkluderes med at **investeringskostnad** er svært negativ både i 2025 og i 2030.

Driftsutgiftene ved bruk av brenselceller har potensiale til å reduseres betraktelig de kommende årene. En av årsakene er at kombinasjonen hydrogen og brenselceller gir en meget god energieffektivitet. En annen årsak er prisen på hydrogen som forventes å falle gradvis, og muligens halveres frem mot 2050. Dette samtidig som avgifter på fossil diesel økes. Forventet prisutvikling fremgår blant annet av vedlegg 9, men det er betydelig usikkerhet knyttet til slike prognoser. Benyttes hydrogen gjennom dual-fuel motor vil ikke effektiviteten være like god, men samtidig gir det anledning til å veksle mellom ulike energibærere ut fra tilgjengelighet og prisnivå. En faktor som slår negativt inn er at valg av hydrogen medfører behov for designmessig volumøkning for nye fartøyer. Dette vil gi økt energibehov. Ny teknologi med driftsmessige og sikkerhetsmessige utfordringer kan dessuten gi økte driftsutgifter i form av sikkerhetstiltak, kompetansebehov og andre driftsutfordringer. Konklusjonen er at **driftsutgifter** ved valg av hydrogen vil være svært negativ i 2025 og negativ i 2030.

Brenselceller har svært få mekanisk bevegelige deler, noe som potensielt reduserer behov for vedlikehold sammenlignet med fartøyer basert på forbrenningsmotorer (Streng, 2021, p. 34). På den annen side vil man med umoden teknologi måtte regne med en del uforutsett vedlikehold som får både økonomiske og driftsmessige konsekvenser. Alle de sikkerhetsmessige aspektene rundt bruk av hydrogen om bord vil også antas å gi strengere krav til vedlikehold og sertifisering. Et annet moment er at begrenset tilgjengelighet på kvalifisert vedlikeholds personell kan gi økte vedlikeholdsutgifter ved innføring av ny teknologi. **Vedlikeholdskostnader** for bruk av hydrogenbasert teknologi vurderes som negativ i et 2025-perspektiv og noe negativ fra 2030. Det er imidlertid potensiale for reduserte vedlikeholdsutgifter på lang sikt.

---

## 5.4 Ammoniakk

### Politisk

Ammoniakk produseres av hydrogen, og som nevnt i kap.5.3 er da CO<sub>2</sub> utslipp avhengig av energikilde i produksjonen. Tidligere ble ammoniakk produsert av grønn hydrogen, men etter hvert kunne ikke denne produksjonsformen konkurrere med fossil gass (Chemistry, 2020, p. 821). Hydrogen for ammoniakkproduksjon er forventet å bli produsert av naturgass frem til 2030 (DNV-GL, 2019, p. 7). Som det kommer frem av vedlegg 8 er potensiell CO<sub>2</sub> reduksjon betydelig til tross for at hydrogenet produseres med naturgass, og benyttes grønt hydrogen kan man oppnå nullutslipp. Dette påvirkes også av hvorvidt det benyttes brenselceller eller dual-fuel motorer. Det konkluderes med en positiv **CO<sub>2</sub> reduksjon** fra 2025, og potensielt meget positiv fra 2030.

Angående bærekraft for ammoniakk som energibærer for skipsfarten, gjelder i utgangspunktet de samme aspektene som for hydrogen. En tilleggsdimensjon for utslipp er potensiell konsekvens ved utslipp til sjø. Utslipp av ammoniakk i sjø har en langvarig dødelig effekt på livet i havet (DNV-GL, 2021, p. 10). Hovedutfordringen er imidlertid den kraftkrevende produksjonsformen som konkurrerer med resten av verdens energibehov. Yara importerer ammoniakk fra andre deler av verden til sin gjødselproduksjon i perioder hvor gassprisene i Norge er høye (DNV-GL, 2019, p. 83). **Bærekraft** vurderes dermed noe positiv på kort sikt, og økende etter hvert som Europas kraftmarked dekkes av fornybar energi.

Det har blitt gjort mulighetsstudier på å produsere ammoniakk i Norge på en mer klimavennlig måte. Enten ved bruk av fornybar energi eller med karbonfangst. Der kom det frem at dersom Norge skal bli konkurransedyktig med ammoniakkproduksjon utenlands, må det iverksettes insentiver eller avgifter fra politisk hold for at dette skal være lønnsomt. Det er foreløpig ikke iverksatt noen slike tiltak som gjør at norsk industri satser på karbonnøytral ammoniakkproduksjon (DNV-GL, 2019, p. 84). Inntil videre forventes det ikke at enkeltaktørers satsning på ammoniakk som energibærere på skip vil utgjøre en norsk industrisatsning. Det pågår imidlertid flere studier som ser på fremtidige muligheter. Satsning på ammoniakk på Sjøforsvarets fartøyer vurderes å ha litt positiv effekt på **norsk industri** på kort sikt, og potensielt mer positiv effekt etter 2030.

---

## Teknisk

Ammoniakk kan både fungere som hydrogenbærer og som drivstoff i seg selv. Drivstoffet har imidlertid noen begrensende egenskaper som gjør det krevende å få til en optimal forbrenning i motorer eller ved bruk i brenselceller (Chemistry, 2020, p. 821). En utfordring er at det er svært energikrevende å reformere ammoniakk til hydrogen om bord, noe som taler imot valg av brenselcelle. Ammoniakk har fordelen av å kunne forbrennes, men det må en del tilpasninger til for at ammoniakk skal kunne benyttes i en forbrenningsmotor. Dual fuel motorer som kan benyttes til dette formål er utviklet, men det er fremdeles 5-10 år unna å bli en etablert teknologi i skipsindustrien. En av utfordringene er imidlertid forbrenningsegenskapene og betydelige utslipp av NO<sub>x</sub> (Miljødirektoratet, 2020, p. 111). Det finnes ikke skip som benytter ammoniakk i dag, men det er pågående pilotprosjekter på gang. En stor gruppe europeiske interessenter har fått EU-støtte til å teste ut brenselceller med ammoniakk på forsyningsfartøyet *Viking Energy* fra 2024 (Miljødirektoratet, 2020, p. 114). Med bakgrunn i at det ikke er noen erfaring med bruk av ammoniakk som energibærer, vil dette kunne medføre en omfattende prosess for testing og godkjenning (DNV-GL, 2021, p. 3). Både Lloyd's og DNV vurderer ammoniakk som energibærer på skip som umoden teknologi, og fremkommer av vedlegg 1 og 7. Konklusjonen er at **teknisk modenhet** er meget negativ i 2025, og negativ i 2030.

En fordel med ammoniakk er at den kan lagres og transporteres flytende, og det skal relativt lite trykksetting eller nedkjøling til for å oppnå dette (10 bar ved 25grader celsius, eller -33 grader celsius ved atmosfærisk trykk). I denne tilstanden opptar den atskillig mindre volum enn hydrogen om bord, selv om volumetrisk energitetthet bare er en tredjedel av hva man oppnår med diesel. Med hensyn til trykk, temperatur og volum for lagring om bord medfører bruk av ammoniakk signifikant innvirkning på skipets design og størrelse. **Vekt/volum** vurderes som negativ sammenlignet med dieseldrift.

Til tross for at ammoniakk er mindre brennbar og mindre eksplosiv enn hydrogen og metan, kan den ikke benyttes som drivstoff med dagens regelverk. Inntil slikt regelverk er på plass er det grunn til å anta at IGF-koden kan være et utgangspunkt (DNV-GL, 2021, p. 11). DNV er i ferd med å utvikle klasseregler, men IMO-regelverk er fremdeles langt unna. Ammoniakk er imidlertid farlig for mennesker. Innånding kan være dødelig, og eksponering på hud kan være svært skadelig. Derfor må en rekke sikkerhetsbarrierer etableres for å mitigere risikoen. Grønt Sjøfartsprogram har gitt ut en sikkerhetskåte som et for å etablere sikkerhetsstandarder for ammoniakk. Der eksemplifiseres det at 1 liter flytende ammoniakk kan ekspandere til å dekke et område på 170 m<sup>3</sup> med dødelig konsentrasjon av ammoniakk. «Det er en erkjennelse at risikoen for eksponering av ammoniakk ikke kan elimineres med designmessige løsninger og hensiktsmessige operasjonsprosedyrer» (DNV-GL, 2021, pp. 16, 19). I tillegg til risiko for lekkasjer ved bunkringsoperasjoner, er ammoniakk et korrosivt

---

stoff som kan føre til lekkasjer på tilhørende systemer og komponenter. Sikkerhetshåndboken anbefaler en rekke omfattende sikkerhetstiltak for å unngå at mennesker eksponeres. Slike ulike sikkerhetstiltak kan gi utfordringer for Sjøforsvarets fartøyer. **Sikkerheten** ved bruk av ammoniakk vil være negativ, men kan bedres gjennom erfaring, veletablerte prosedyrer, sikkerhetsbarrierer og regelverk.

## Operasjonelt

Sammenlignet med hydrogen har ammoniakk noen essensielle fordeler som mulig energibærer for fartøyer. Det ene er tidligere omtalte egenskaper som gjør den mer anvendbar og sikker om bord. Det andre er at ammoniakk har blitt brukt i betydelig grad i andre sammenhenger gjennom snart et århundre. Dette medfører at produksjon, transport og regelverk i stor grad er etablert (Chemistry, 2020, p. 832). Det finnes imidlertid ingen bunkringsinfrastruktur for ammoniakk (Miljødirektoratet, 2020, p. 114). I forhold til fartøyenes **utholdenhet** vil disse påvirkes i betydelig grad dersom man velger ammoniakk som energibærer. Dette med bakgrunn i at teknologi og infrastruktur tar mange år å modnes. Denne vurderingen er også underbygget med utgangspunkt i DNV sin vurdering som fremkommer i vedlegg 1. Til tross for vurderingen opp mot et 2025- og 2030-perspektiv, er potensialet for fremtiden betydelig.

Sårbarhet ved benyttelse av ammoniakk knyttes til to faktorer; sikkerhet og operativ tilgjengelighet. I krise/krig vil sikkerheten ved en betydelig skade på fartøyet være betydelig bedre enn ved bruk av en høyere brennbar/eksplosiv energibærer, noe som medfører økt evne til å opprettholde drift. På den annen side vil sikkerheten for personellet påvirkes i stor grad ved ammoniakklekkasje, og tiltak for å verne personell vil kunne påvirke operativiteten. Fartøyets operative tilgjengelighet ved krise/krig vil være påvirket så lenge som ammoniakk regnes som en umoden og lite etablert energibærer internasjonalt. Bruk av ammoniakk påvirker **sårbarhet** svært negativt i et 2025-perspektiv og negativt i 2030. Dette synspunkt støttes også gjennom den nederlandske studien, og herunder synliggjort i tabell i vedlegg 4.

Ammoniakkdrift vil ikke nødvendigvis få noen innvirkning på fartøyets signatur. Unntaket er dersom brenselcelleteknologi benyttes, hvor man drar fordeler av betydelig reduksjon av støy og vibrasjoner. Mitt utgangspunkt er at ved ammoniakkdrift velges en løsning med dual-fuel motor, hvorav det ikke oppnås noen signifikante **signaturmessige** forskjeller fra konvensjonell dieseldrift.

---

## Økonomisk

Investeringskostnadene knyttet til bruk av ammoniakk som energibærer om bord ligger et sted mellom dieseldrift og LNG drift (Miljødirektoratet, 2020, p. 114). Det er noe behov for motortilpasninger, samt ekstrakostnader med konstruksjon av lagringstanker. Sikkerhetsbarrierer kan også forventes å medføre økt kostnad. Dersom beslutningen om å benytte ammoniakk fattes før teknologien er tilstrekkelig moden, er risiko for ytterligere økning av kostnader til stede. **Investeringskostnader** vurderes som negativ både i 2025 og 2030, men forventes å forbedres på lengre sikt. Konklusjonen er underbygget av DNV sin vurdering, gjengitt i vedlegg 1.

Vedlegg 9 viser at Lloyd's sin estimering av drivstoffkostnader frem mot 2050 antyder en gradvis nedgang i prisen på ammoniakk. Dette avhenger også av fremstillingsmetode. Både i et 2025-perspektiv og etter 2030 vurderes imidlertid drivstoffutgiftene til å være betydelig høyere enn for fossil diesel, samt noe høyere enn for biodiesel. I tillegg vil umoden teknologi kunne påvirke andre driftsutgifter. I vedlegg 1 kommer det også frem at drivstoffkostnaden vurderes som svært høy av DNV. Konklusjonen er at valg av ammoniakk som energibærer vil kunne påvirke Sjøforsvarets **driftsutgifter** i svært negativ grad fra 2025, og negativt fra 2030.

Som følge av pågående pilotprosjekter kan man høste erfaringer med vedlikeholdskostnader, men foreløpig er denne kostnaden usikker. Det legges til grunn valg av løsning basert på dual-fuel motorer, og ikke brenselceller. Til tross for dette må det forventes at sikkerhetsaspektet krever økt ressursbruk og høyere kompetanse ved vedlikehold. I tillegg vil kravene til lagringstanker utgjøre en merkostnad for periodisk vedlikehold enn hva som er tilfellet for konvensjonell diesel. Ammoniakk som energibærer vil påvirke **vedlikeholdskostnadene** negativt både på kort og mellomlang sikt. Konklusjonen er den samme som i den nederlandske studien, oppsummert i vedlegg 4.

## 5.5 FHB (flytende hydrogenbærer)

### Politisk

FHB har potensiale til å bli en ettertraktet hydrogenbærer for skipsfarten. Sikkerhetsmessig er den svært fordelaktig, og miljømessig representerer den nullutslippsteknologi (Chemistry, 2020, p. 35). Hvor nær man kommer netto nullutslipp av CO<sub>2</sub> avhenger både av hvordan hydrogenet er fremstilt,

---

hvordan energibæreren transporteres samt hvorvidt man benytter brenselcelle eller dual-fuel motor. Omsetningsprosessen for hydrogen om bord vil i utgangspunktet ikke medføre utslipp av CO<sub>2</sub>. Det vil imidlertid ta noen år før man kan medregne denne utslippsreduksjonen, tatt i betraktning at FHB må regnes som en fremtidens energibærer. Med bakgrunn i usikkerheten dette innebærer regnes potensialet for **CO<sub>2</sub> reduksjon** som litt positiv fra 2025, men positiv fra 2030. Dette er litt under potensialet for hydrogen omtalt i kap 5.1.3.

Som for fremstilling av andre typer energibærere, avhenger bærekraft for FHB av tilgang på fornybare energikilder med tilhørende fare for karbonlekkasje. Skipsfarten vil også her konkurrere med andre næringer om grønt hydrogen. En tilleggsdimensjon for FHB er klimafotavtrykket for retur av utladet FHB til produksjonssted. På den annen side kan dette gjøres med samme transportmiddel som bringer nytt drivstoff, da man gjerne erfarer at de returnerer med tomme tanker. FHB vurderes som positivt **bærekraftig** sammenlignet med fossil diesel, og fra 2030 kan denne bli svært positiv.

Gjennom *Grønt Skipsfartsprogram* er det trukket frem spennende pilotprosjekter i norsk industrinæring som ser på ulike muligheter for produksjon av FHB i Norge. Dette med tanke på både distribusjon og bunkring i Norge, men også som en betydelig eksportmulighet. En tilrettelegging for bruk av FHB på Sjøforsvarets fartøyer vil kunne virke positivt inn på en satsning fra norsk industri, samt tilsikre en viss langsiktig leveranse. Til tross for at det er betydelige usikkerheter knyttet til denne teknologien, vurderes FHB til å være positiv for **norsk industri** i 2025, og potensielt svært positiv fra 2030.

## **Teknisk**

FHB, eller LOHC, er en relativt ny kandidat til å kunne dekke skipsfartens behov som alternativ energibærer for fremtiden. Den har derfor ikke vært en del av evalueringen som er gjort av alternative energibærere i flere av de kilder som er henvist til i denne studien. Til tross for dette har den i det siste blitt omtalt som svært lovende teknologi som kan bli kommersielt tilgjengelig i løpet av kort tid. I og med at den er hydrogenbasert, samt at en del dieselbasert infrastruktur kan benyttes, kan det antas at den følger modenhetsløpet til ammoniakk. En utfordring som ikke er løst ennå er å utvikle en reaktortype som kan operere i miljøet om bord i et fartøy. Kjemiske reaktorer som kreves for å frigjøre hydrogen fra FHB er bare beregnet for landinstallasjon, og vibrasjoner og bevegelser om bord påvirker systemet (Chemistry, 2020, p. 833). Foruten dette er prosessen med å ta drivstoffet i bruk på dual-fuel motorer regnet som mindre komplisert. Gjennom et norsk pilotprogram er man optimistisk med tanke på å ta den nye energibæreren i drift allerede fra 2025. Dersom Forsvaret avventer utviklingen før en satsning kan bli aktuelt, vil man først fra 2030 kunne se FHB benyttet på de nye standardfartøyene.



---

**Teknisk modenhetsnivå vurderes** som meget negativ i 2025, men noe negativ i 2030. Potensialet for en hurtig modning er høyst til stede dersom det er mange aktører som satser på denne energibæreren.

FHB kan sannsynligvis lagres i tanker beregnet på fossil diesel. Energitettheten til energibæreren er betydelig lavere enn for diesel i og med at det er kun hydrogenet i væsken som blir benyttet, resten må returneres for å lades opp med nytt hydrogen på land. Denne prosessen krever også at det lages minst en ekstra buffertank om bord i og med at fulladet og utladet FHB ikke kan lagres på samme tank samtidig (Chemistry, 2020, p. 828). Ifølge EU vil volumetrisk energitetthet ligge lavere enn ammoniakk, men bedre enn hva som er verdiene for hydrogen. Dette er blant annet synliggjort gjennom illustrasjonen i vedlegg 6. Dersom man baserer fartøyets energibehov utelukkende på FHB, vil dette påvirke fartøyets vekt/volum i betydelig grad ettersom diesel har 6 ganger høyere energitetthet. Som nevnt vil også brenselcelle være et alternativ, men dette vil være mer volumkrevende enn forbrenningsmotor. Bruk av FHB vil være negativt i forhold til **vekt/volum**, sammenlignet med fossil diesel.

Bruk av flytende hydrogenbærere medfører en enklere sikkerhetsmessig godkjenningssprosess enn for hydrogen. Dette fordi FHB kan lagres og håndteres sammenlignbart med fossil diesel. Til tross for dette er det sikkerhetsmessige aspekter knyttet til frigjøring av hydrogenet om bord og omsetning i en forbrenningsmotor eller brenselcelle. Med ny teknologi er det en viss risiko vedhengt dette som må håndteres. Konklusjonen er at **sikkerhetsrisiko** i et 2025-perspektiv vil være noe negativ, men at man fra 2030 vil kunne ha etablert prosedyrer som gjør at man kan oppnå lik sikkerhet som ved konvensjonell dieseldrift.

## **Operasjonelt**

Sammenlignet med konvensjonell diesel vil alle alternative energibærere omtalt i studien påvirke fartøyenes utholdenhet. Dette med bakgrunn i at distribusjon av fossil diesel har blitt bygget ut i verden gjennom generasjoner, og det vil ta tid før noen alternative energibærere når dette nivået. En annen årsak er at alle alternativer er underlegen diesel når det gjelder energitetthet, som altså påvirker hvor stor energimengde man har tilgjengelig. FHB har absolutt potensiale til å kunne ekspandere raskt på markedet i og med at det tilsynelatende kan distribueres gjennom samme infrastruktur som diesel. Det vil imidlertid bli utfordrende å lagre tilstrekkelig mengde energi om bord, tatt i betraktning FHB sin lave energitetthet. Dette kan delvis kompenseres med mer effektiv drift samt større del av fartøyet avsatt til drivstofflagring. **Utholdenhet** påvirkes totalt sett negativt i et 2025-perspektiv og noe negativt fra 2030.

---

Å ta i bruk ny teknologi kan medføre en viss sårbarhetsrisiko i forhold til uforutsette driftsavbrudd. Bruk av FHB vil som tidligere nevnt ikke utgjøre økt sikkerhetsrisiko hverken i fredstid eller krise/krig, noe som er fordelaktig sammenlignet med flere andre alternative energibærere. Tilgjengelighet på FHB vil være utfordrende i mange år fremover, noe som påvirker sårbarheten i operasjoner. På den annen side vil FHB sine egenskaper kunne føre til at en NATO-godkjenning blir mindre komplisert, og på sikt vil flere nasjoner kunne ta i bruk denne energibæreren på militære fartøyer. FHB som energibærer vil påvirke fartøyenes **sårbarhet** negativt i 2025, og noe negativt fra 2030.

Som nevnt vil bruk av FHB bety få endringer på fartøyet sammenlignet med konvensjonell dieseldrift, og fartøyets signatur blir i liten grad påvirket. Dersom man velger å benytte brenselceller vil dette kunne få positiv effekt på både støy og vibrasjon, men det vurderes mindre sannsynlig at valget faller på brenselceller. **Signatur** vurderes som uendret sammenlignet med tradisjonell dieseldrift.

## Økonomisk

Hydrogenet som frigjøres fra FHB om bord, kan benyttes i en dual-fuel forbrenningsmotor sammen med diesel som pilot fuel. Dette må veies opp mot bruk av brenselcelle som er en mer energieffektiv metode, men mer kostbar investeringsmessig. (Chemistry, 2020, p. 830). Frigjøring av FHB om bord krever høy varme, og ca. 20% av hydrogenets energiinnhold går med til denne prosessen (DNV-GL, 2019, p. 32). Man kan imidlertid finne energieffektive løsninger med å benytte overskuddsvarme til dette formål. Med bakgrunn i teknisk umodenhet for brenselceller samt fleksibilitet for fortsatt bruk av fossil diesel, vurderes forbrenningsmotor som et mer sannsynlig valg for Sjøforsvaret enn brenselceller. Med bakgrunn i dette vurderes **investeringskostnadene** for en FHB løsning som noe negativ.

Sammenlignet med ammoniakk er produksjon av FHB atskillig mindre energikrevende (DNV-GL, 2019, p. 33). Samtidig er transport og lagring mindre komplisert, og disse faktorene er fordelaktige i forhold til kostnadene for denne energibæreren. Beregninger fra DNV viser at benyttelse av FHB som energibærer av hydrogen utgjør en betydelig lavere kostnad pr kg hydrogen, sammenlignet med ammoniakk eller flytende hydrogen (DNV-GL, 2019, p. 104). FHB har potensiale til å oppnå en litt lavere kostnad enn ammoniakk, avhengig av utvikling og etterspørsel. Samtidig unngås de sikkerhetsmessige utfordringene vedhengt ammoniakk, og andre driftskostnader vurderes derfor som lavere for FHB. Med bakgrunn i teknisk modenhet blir **driftsutgiftene** ved bruk av FHB som svært negativ i et 2025-perspektiv, og negativ fra 2030. Dog med et potensiale for en mer positiv økonomisk utvikling på lengre sikt enn ved bruk av ammoniakk.

---

I utgangspunktet kan det antas at vedlikeholdsomfang og utgifter ikke vil være vesentlig høyere ved bruk av FHB enn ved konvensjonell diesel. Da med forutsetning av benyttelse av dual-fuel motor og ikke brenselcelle. Det må påberegnes en betydelig usikkerhet med hensyn til vedlikeholdsutgifter som følge av umoden teknologi. Dette kan både være knyttet til uforutsette driftsutfordringer, men også økt kompetansekrav for vedlikehold. **Vedlikeholdskostnader** vil være negativ fra 2025 og noe negativ fra 2030.

## 5.6 Batteri

### Politisk

Batteridrift regnes som meget miljøvennlig, men med visse begrensninger. En meget lav energitetthet vanskeliggjør batteridrift alene, men som en del av en hybrid løsning er batterier godt egnet. Til tross for dette er denne delanalysen basert på selvstendig batteridrift med opplading fra land. Med slik elektrisk batteridrift kan man oppnå suveren utslippsreduksjon av CO<sub>2</sub>, men dette varierer med graden av fornybar landstrøm. DNV anslår 50-90% CO<sub>2</sub> reduksjon (vedlegg 11). Konklusjonen er at man oppnår meget positiv **CO<sub>2</sub> reduksjon** ved bruk av batterier oppladet av fornybar strøm fra land.

Norge har god tilgang på fornybar energi, hovedsakelig gjennom vannkraft. Selv med en økning i energibehov vil det i sesonger med normale værforhold være et kraftoverskudd (Miljødepartementet, 2021, p. 197). Til tross for dette er vi knyttet sammen med resten av Europa gjennom et internasjonalt kraftmarked, som i betydelig grad er basert på fossile energikilder. Med et slikt perspektiv vil det kunne stilles spørsmål ved en hurtig voksende elektrifisering. På kort sikt vil man ikke oppnå en fullgod bærekraftig løsning med økt bruk av elektrisk kraft. På den annen side vil man kunne hevde at økt elektrifisering av dagens fossilbaserte fartøyer vil være en god bærekraftig løsning i Norge. Et annet aspekt ved bruk av batterier produksjonsutslipp, samt at utvinning av råstoffer til batterier ikke er bærekraftig på lang sikt. Batterier som energibærere av fornybar energi er en meget **bærekraftig** løsning sammenlignet med bruk av fossil diesel, spesielt dersom man klarer å oppnå økt prosentandel av fornybar energi i Europas kraftmarkeder.

Norsk innenriks sjøfart har en særegenhet ved at den har stor grad av korte avstander og omfatter mange fartøyer. Dette har bidratt til betydelig satsning på elektrifisering. Incentivordninger og krav fra norske myndigheter har samtidig gjort det mulig å få til en lønnsomhet ved batteridrift innen visse

---

segmenter. Helelektrifisering med dagens batteriteknologi egner seg best til korte overfarter og til fartøy som har plass til batteriene (Miljødirektoratet, 2020, p. 112). Norge er en foregangsnaasjon når det gjelder å ta i bruk batteridrift som en del av fremdriftssystem på skip. En oversikt fra november 2020 viser at det var 250 fartøyer med batteridrift i verden, og ytterligere 200 var i bestilling. Av disse var ca. 40% tiltenkt brukt i norske farvann (Fiskeridepartementet, 2020, p. 78). Norge ligger dessuten langt fremme i utviklingen av batteriteknologi, samt utnyttelse av denne som et ledd i grønn omstilling. Satsning på batterifremdrift på Sjøforsvarets fartøyer vil potensielt få svært positiv effekt for videreutvikling av en **norsk industri**, som allerede ligger langt fremme innovasjonsmessig innenfor dette segmentet.

## **Teknisk**

Den fremtidige utviklingen for batterier er vanskelig å forutse, men den vil trolig fortsette med en positiv trend. Energitettheten til Li-ion batterier har seksdoblet seg fra 2008 og frem til i dag, og det kan forventes at slike batterier har en doblet kapasitet i 2030 sammenlignet med 2020 (DNV-GL, 2018, p. 18). Betydelig satsning innenfor en rekke andre segmenter, slik som bilbransjen, hjelper utviklingen. Flere har varslet om nye typer faststoff batterier med atskillig høyere energitetthet, og som i tillegg er sikrere. Dagens batteriteknologi er dominert av litium, men alternativer som vil dramatisk forbedre batteriegenskapene er under oppseiling (DNV, 2021b, p. 38). Gjennom dokumentstudien kom det frem at Lloyd's vurderer teknisk modenhet for batteri som alternativ energibærer på skip som lite moden (vedlegg 7). DNV på sin side vurderer denne modenheten til å være relativt god (vedlegg 1). Denne ulikheten kan være et resultat av at DNV er sterkere knyttet til Norge, hvor man har kommet lengre i utviklingen av batterifartøyer enn resten av Europa. I *FuelEU* sin illustrasjon i vedlegg 5 er teknologisk modenhet vurdert som høy. Det er også relevant å trekke frem at flere generasjoner norske ubåter har benyttet seg av batterier som en del av fremdriftssystemene, og denne erfaringen kan være verdifull når man vurderer batterier som en del av fremdriftsløsningen på nye standardfartøyer. Oppsummert konkluderes det med at **teknisk modenhet** for elektrisk fremdrift basert på batterier som energibærer nærmer seg modenhetsnivået til dieselbasert drift, og at man i 2030 kan oppleve modenhetsnivået som like god.

Energitettheten i batterier er svært lav sammenlignet med diesel, og den desidert laveste av alle energibærerne som er vurdert i denne studien. Dette medfører ikke bare at batteriene opptar mye volum og vekt, men at det ikke er mulig å få tilstrekkelig batterikapasitet til å operere fartøyene over flere dager. FFI har gjennomført beregninger på klimaeffekt ved etterinstallasjon av en batteripakke på et av Kystvaktens fartøyer, hvor batteripakken er tenkt som et supplement til dieseldrift. Beregninger

---

viser en drivstoffreduksjon på mellom 7 og 21 prosent, avhengig av operasjonsmønster (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 50). Til tross for nevnte utfordringer øker batteriers energitetthet i takt med ny batteriteknologi, og det er potensiale for at man kan finne revolusjonerende løsninger i fremtiden. Elektrisk drift har dessuten atskillig bedre virkningsgrad enn konvensjonell dieselmotor, og dermed vil energibehovet være lavere. Konklusjonen er at batterier vil ha svært negativ innvirkning på **vekt/volum**, både i 2025 og 2030.

Ved tradisjonell dieseldrift har man gjennom generasjoner opparbeidet rutiner og barrierer som ivaretar en god sikkerhet. Til tross for dette kan elektrisk fremdrift forbedre sikkerheten, da man unngår brennbare væsker og andre risikoer forbundet med dieselmotorer. Samtidig har ulike batterier sikkerhetsrisikoer som må mitigeres. «*Et Li-ion batteri kan begynne å brenne dersom det blir skadet og batteriet må derfor plasseres slik at det er godt beskyttet mot innkommende våpen*» ((FFI), 2019, p. 24). Det forskes på tiltak for å beskytte batteripakker mest mulig, samtidig som man søker å finne nye batteriløsninger som ikke har den samme sikkerhetsrisiko som Li-ion batterier. Et annet sikkerhetsmessig aspekt er at man med batterier kan oppnå en driftssikkerhet som på sikt kan overgå forbrenningsmotorer, som iblant kan oppleve kritisk driftsstans. Vedlegg 1 viser at DNV vurderer sikkerheten ved bruk av batterifremdrift som god. **Sikkerheten** vurderes herved å være på samme nivå som ved dieselfremdrift, men at man på sikt vil oppnå en forbedring som følge av økt driftsstabilitet.

## Operasjonelt

Utholdenheten er det som taler mest imot batterifremdrift, og som gjør det umulig å utelukkende basere en fremdriftsløsning på denne energibæreren. Selv med en stor batteripakke, vil man med dagens teknologi bare ha kapasitet til å operere i noen timer. Det er dessuten en ulempe at strøm ikke kan etterforsynes på en enkel måte med dagens logistikkonsept. Til tross for at effektiviseringstiltak omtales lite i denne studien, vil dette ha betydelig innvirkning på utholdenhet ved batteridrift. Dersom man i økende grad benytter saktegående fart eller stilleligge, supplert med autonome systemer, vil utholdenheten med batteridrift kunne økes betraktelig. Uansett er konklusjonen på kort og mellomlang sikt at batteridrift alene vil medføre svært negativ **utholdenhet** for nye standardfartøyer. Dette understøttes også av DNVs barriereoversikt i vedlegg 1.

Med den svært begrensede utholdenheten vil dette også påvirke fartøyets sårbarhet. På den annen side vil den sikkerhetsmessige vurderingen kombinert med en stabil batteridrift kunne redusere sårbarheten i en kritisk situasjon. Den nederlandske studien har også konkludert med at elektromotor som fremdriftsmiddel påvirker sårbarheten positivt, noe som blant annet kommer frem av vedlegg 4. Sårbarheten kan også forbedres dersom man oppnår redusert signatur. Det er først og fremst

---

utholdenheten som gjør at **sårbarheten** forblir negativ både på kort og mellomlang sikt. Til tross for at denne delanalysen omhandler batteridrift isolert sett, vil jeg nevne potensialet for at batterier kan bidra til en totalforbedring av sårbarhet ved en hybrid fremdriftsløsning.

For marinefartøyer kan batteridrift kan gi fordeler som betydelig redusert signatur (temperatur, støy, vibrasjon), samt mulighet for å ta ut ekstra energi på kort tid. «*Skipene vil kunne ha mulighet til å operere med lavere signatur som igjen gjør dem vanskelig å oppdage*» ((FFI), 2019, p. 24). Det trekkes igjen paralleller til ubåter hvor redusert signatur har vært en avgjørende faktor, og hvor batterielektrisk drift har bidratt til dette. Til tross for at man oppnår en minimalisering av støy, vibrasjon og temperatur, kan elektromagnetisk signatur bli et økende problem ved elektrisk drift. Det finnes imidlertid en rekke tekniske løsninger for å kompensere dette, noe som ikke vil bli nærmere omtalt i denne studien. I lys av nye standardfartøyer og konseptvalgutredningen kan det tolkes at redusert signatur kan være mer ønskelig på enkelte fartøyer enn andre. Konklusjon er at batteridrift har en positiv effekt på fartøyenes **signatur**, og kan på sikt gjøres enda mer optimal på fartøyer hvor dette er ønskelig.

## Økonomisk

Fartøyer med helelektrisk drift har noe høyere investeringskostnader enn fartøyer basert på tradisjonelle dieselmotorer. I tillegg må det vurderes hvorvidt ladeinfrastruktur på land blir en del av investeringsprosjektet for nye fartøyer. Studien forutsetter at dette dekkes gjennom andre prosjekter. Det forventes en betydelig reduksjon i anskaffelseskostnad for batterier de neste årene, men det er usikkert hvor rask denne utviklingen vil bli (Miljødirektoratet, 2020, p. 132). Statlige støtteordninger gjennom Enova for satsning på batteriteknologi har betydning for investeringsviljen, men det er uklart hvorvidt man gjennom forsvarsanskaffelser vil kunne dra nytte av slike ordninger. Konklusjonen er at **investeringskostnadene** for batteri-elektrisk fremdrift er noe høyere enn for konvensjonell dieseldrift, men at disse forskjellene avtar på mellomlang sikt.

Til tross for en svært varierende strømpris, er den i Norge gjennomsnittlig lav over tid. Erfaringer fra elbiler viser en betydelig besparelse av driftsutgifter sammenlignet med fossilt drivstoff. Dette er også påvirket av at man med batterielektrisk fremdrift oppnår en atskillig mer energieffektiv drift. Samtidig er dieselpriis for fartøyer betraktelig lavere enn for privatbilister grunnet storkjøpsfordeler og lavere avgifter. Det kan imidlertid antas at avgiftene på fossilt drivstoff til skip vil øke de neste årene. **Driftsutgiftene** for batterielektrisk fremdrift er positiv sammenlignet med dieselbasert drift. Det registreres at DNV vurderer dette mer nøkternt i europeisk målestokk, noe som fremgår av vedlegg 1.

---

Vedlikeholdskostnadene påvirkes av at batteripakkene må forventes å erstattes hvert 10. år (Rederiforbund, 2017, p. 29). Hvor stor denne kostnaden vil bli, avhenger av den tidligere omtalte prisutviklingen på batterier. Samtidig er det vurdert at vedlikeholdskostnader på batteripakker og elektromotorer vil være lavere enn vedlikehold av dieselmotorer med tilhørende hjelpesystemer. Fra 2030 er det også teknologit utviklingen tatt med i betraktningen. Batteriers levetid, energitetthet og vekt forbedres stadig, og utviklingen ser ut til å fortsette i en positiv retning (Miljødirektoratet, 2020, p. 71). Den nederlandske studien konkluderer med at vedlikehold for batteridrift er positivt (vedlegg 1). I sum vil livsløpskostnader for **vedlikehold** være noe negativ med dagens teknologi, men vil kunne bedres på sikt med ny teknologi.

## 5.7 Landstrøm

### Politisk

Beregninger basert på tall innhentet fra Sjøforsvarsstaben viser at for en spesifikk fartøysklasse er 23% av årlig energibehov ved kailigge (Skjelanger, 2021). Dette viser et betydelig potensiale for CO<sub>2</sub> reduksjon gjennom økt tilrettelegging for bruk av landstrøm. Selv med varierende seilingsgrad mellom fartøysklassene kan det antas at nær 20% av energibehovet til Sjøforsvaret kan dekkes inn gjennom bruk av landstrøm. Da er ikke en potensiell lading av batterier tatt med. «*Landstrøm er et tiltak med betydelig utslippsreduksjonspotensial, siden en vesentlig del av energiforbruket fra skip skjer når de ligger til kai*» (Miljødirektoratet, 2020, p. 95). Landstrøm som energibærer ved kailigge kan regnes som utslippsfri dersom man legger til grunn fornybar energi i strømproduksjonen. Selv om man kan påregne noe kailigge i forbindelse med besøk i utenlandske havner, utgjør dette en liten del av fartøyenes operasjonsmønster. Konklusjonen er derfor at man oppnår en meget positiv **CO<sub>2</sub> reduksjon** under kailigge dersom landstrøm benyttes som energibærer.

Bærekraft for strøm er tidligere omtalt, og avhenger av energikilde. Landstrøm ved verftsopphold eller i avlastningshavn kan allikevel bli forsynt med store dieselaggregater. Dette viser at tilgang på landstrøm forsynt gjennom fornybare energikilder er avgjørende for at landkabler skal kunne være en god bærekraftig energibærer. Vurderingen sett i lys av fremtidige standardfartøyer er at man kan oppnå en solid **bærekraftig** løsning på sikt dersom det tilrettelegges med moderne landstrømsanlegg i hjemmehavner og avlastningshavner.

---

Nasjonale støtteordninger gjennom Enova har sørget for en god landstrømsatsning i Norge. En evaluering viser at kapasiteten ved en rekke nye landstrømsanlegg ikke blir godt nok utnyttet, og at dette kan skyldes manglende tilrettelegging på skipene (Miljødirektoratet, 2020, p. 113). Det er altså potensiale for at norsk maritim næring kan være langt fremme i utvikling og utnyttelse av landstrøm dersom næringen samarbeider godt. En satsning fra Sjøforsvaret på nye og forbedrede landstrømløsninger kan være positivt for norsk industriutvikling. En økt nasjonal satsning vil også kunne bidra til norsk eksport når europeiske markeder øker. Det bemerkes også at gjennomgang av Regjeringens rapport *Klimakur 2030* ga nærmere 200 søketreff på ordet *landstrøm*, noe som kan vitne om at dette er et sentralt satsningsområde. Konklusjonen blir at satsning på moderne landstrømanlegg på Sjøforsvarets nye standardfartøyer vil være svært positivt for **norsk industriutvikling**, nå og i fremtiden.

### **Teknisk**

EU foreslår at det innføres reguleringer fra 2030 som forplikter en rekke fartøy til å koble seg til landstrøm for havneopphold av varighet over 2 timer (Commission, 2021b, p. 24). Skal dette være gjennomførbart, er det nødvendig at man enes om en teknisk standard. En internasjonal standard for landstrøm ser ut til å være et viktig bidrag på veien for å nå klimamålene, og må på plass innen kort tid. Dette tiltaket fremheves både i DNV-GL sin rapport, FuelEU sitt dokumentgrunnlag samt Lloyd's sin rapport. Til tross for at landstrøm har vært i bruk i lang tid, foregår det en utvikling som gjør at kompatibiliteten mellom infrastruktur på land og fartøy ikke alltid er ivaretatt. For at man effektivt skal kunne utnytte landstrøm som en utslippsfri energibærer, må det tilrettelegges for brukervennlige og teknisk gode løsninger. Det konkluderes med at man i 2025 fremdeles har tekniske utfordringer knyttet til landstrøm, men at man i 2030 har **teknisk modne** og etablerte løsninger.

Etablering av moderne høyspent landtilkobling om bord krever noe plass og vekt, men er ikke signifikant. Det kan dog veies opp med mindre behov for drivstoff under perioder med kailigge. Tilrettelegging for landstrøm får ubetydelige konstruksjonsmessige følger for **vekt/volum**.

### **Operasjonelt**

Det som setter landkabler som energibærer i en særstilling, er at de ikke kan benyttes under seilas. Dette gjør at de naturligvis kommer dårlig ut når det gjelder rekkevidde og **utholdenhet**.



---

Utgangspunktet for denne analysedelen er vurdering av energibærerne enkeltvis. Landstrøm kommer da dårligst ut med hensyn til **sårbarhet**, dette som følge av at energibæreren bare kan benyttes til kai.

Når det gjelder **signatur** er elektrisk drift med landstrøm like suveren som ved batteridrift, til tross for at det er mindre relevant når fartøyet ligger til kai.

### **Økonomisk**

Landstrøm er å regne som en økonomisk gunstig investering ved anskaffelse av nye fartøyer. Dette hvis man ser bort fra investering i ladeinfrastruktur på land som omtalt i forrige delkapittel. Denne infrastrukturen på land er som regel en del av en større helhet, og kan også forsyne andre enheter. Det blir utfordrende å vurdere dette her, men for Forsvaret er det et element som må tas med i det totale regnestykket og som det må tilrettelegges for. Landstrøm vurderes å være en økonomisk gunstig energibærer **investeringsmessig**.

Driftsutgiftene ved bruk av landstrøm sees opp mot alternativet, som er å forsyne fartøyets hoteldrift med strøm fra egen dieselgenerator. Som ved enhver annen dieselmotor er virkningsgraden relativt dårlig, i motsetning til å benytte direkte strøm fra land. Sjøforsvarets fartøyer har varierende kostnader ved bruk av landstrøm. Der hvor det enkelte marinefartøy kan benytte landstrøm uten å bli belastet på eget budsjett, er det et ekstra incentiv for å benytte seg av landtilkoblingen. Samtidig vil man kunne oppnå andre driftsbesparelser ved å slippe å drifte motor med generator til kai. Landstrøm vurderes som **driftsmessig** økonomisk lønnsomt i betydelig grad.

Det er svært få vedlikeholdskostnader forbundet med å benytte landstrøm som energibærer. Det kan derimot medføre betydelige vedlikeholdskostnader knyttet til å drifte dieselgenerator i lange perioder. Med bakgrunn i dette vurderes **vedlikeholdskostnader** ved bruk av landstrøm som meget positiv sammenlignet med drift av dieselgenerator.

## 5.8 Oppsummering av analyse

Analyseresultatene for hver enkelt av de 7 energibærerne er nå samlet i egenutviklet ytelsesmatrise. Dens hensikt er å visualisere muligheter og svakheter ved de ulike alternativene enkeltvis, for å danne grunnlag for videre drøfting og utvelgelse i kapittel 6. Ved å presentere 2 matriser, en for 2025 og en for 2030, synliggjøres en forventet utvikling. Dette vil være relevant for valg av løsninger som skal vare i flere årtier. De ulike alternativer er vektet opp mot en null-referanse. Dette er et tenkt fartøy på størrelse med nye standardfartøyer, med konvensjonell dieseldrift. Tallvurderinger er basert på de enkelte delanalysene fra kapittel 5.

Multi Criteria Assessment (MCA)													
Fra 2025													
Energibærere i forhold til utvalgte måleparametere	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvikl.	Modenhet	Vekt/vol.	Sikkerhet	Utholdenh	Sårbarhet	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (Fossil Diesel)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel	-0,2	1	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	-2	0
Metanol	-0,8	1	1	1	-1	-1	-2	-2	-2	0	-1	-3	-1
Hydrogen	-1,4	2	1	2	-3	-2	-3	-3	-3	0	-3	-3	-2
Ammoniakk	-1,1	2	2	1	-3	-2	-2	-3	-1	0	-2	-3	-2
FHB	-0,8	1	2	2	-3	-2	-1	-2	-2	0	-1	-1	-2
Batteri	0,1	3	2	3	-1	-3	0	-3	-2	2	-1	2	-1
Landstrøm	1,5	3	2	3	-1	3	2	-3	-3	3	3	3	3
3	Meget positiv												
2	Positiv												
1	Litt positiv												
0	Nær referanseløsning												
-1	Noe negativ												
-2	Negativ												
-3	Svært negativ												
Fra 2030													
Energibærere i forhold til utvalgte måleparametere	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvikl.	Modenhet	Vekt/volur	Sikkerhet	Utholdenh	Sårbarhet	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (Fossil Diesel)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel	0,1	2	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0
Metanol	-0,3	2	2	2	0	-1	-2	-1	-2	0	-1	-2	0
Hydrogen	-0,9	3	2	2	-2	-2	-3	-3	-3	1	-3	-2	-1
Ammoniakk	-0,6	3	2	2	-2	-2	-1	-2	-1	0	-2	-2	-2
FHB	0,0	2	3	3	-1	-2	0	-1	-1	0	-1	-1	-1
Batteri	0,6	3	3	3	0	-3	1	-3	-2	3	0	2	0
Landstrøm	1,8	3	3	3	1	3	2	-3	-3	3	3	3	3

Figur 8. Ytelsesmatriser energibærere 2025 og 2030.

### Politisk

I den politiske vurderingskategorien er det tydelig at alle alternativene kommer positivt ut sammenlignet med referanse. Dette er naturlig med bakgrunn i at det nettopp er løsninger som reduserer CO2 på en bærekraftig måte som er utgangspunktet for valgte energibærere. I tillegg er det gjennom identifisering av mål og hensikt i kapittel 2 redegjort for en forventning om at satsning på nullutslippsløsninger bør bidra til norsk industriutvikling.

---

## **Teknisk**

Konvensjonelt dieselbasert fremdriftsmaskineri har betydelige fordeler med en teknisk moden teknologi som benytter et drivstoff med suverene tekniske egenskaper. Det er derfor utfordrende å finne alternativer som ikke bærer noe negativt ved seg, men man kommer ikke utenom slike løsninger. Utfordringer knyttet til teknisk modenhet og vekt/volum kan håndteres ved å kombinere flere energibærere. Det er mer utfordrende å finne kombinasjoner som reduserer sikkerhetsutfordringene, som for en rekke energibærere er betydelige.

## **Operasjonelt**

Flere av de analyserte energibærerne gir store operasjonelle utfordringer som kun kan håndteres ved at man kombinerer disse med dieseldrift. Logistikkmessige utfordringer med etterforsyning er sentralt. Gjennom vurdering av mål og hensikt i kapittel 2, synes det uakseptabelt med betydelig økt sårbarhet og redusert operativ tilgjengelighet. Det er også interessant å se at noen alternativer kan gi gevinster i form av mindre synlighet/signatur.

## **Økonomisk**

Gjennom analyse av krav og politiske forventninger oppleves det forståelse for at satsning på nye energibærere vil medføre økte investeringskostnader. Det finnes flere alternativer som ikke vil medføre store merinvesteringer. Økte drifts- og vedlikeholdsutgifter er derimot mer utfordrende, og strider i utgangspunktet med flere av effektmålene som konseptvalgutredningen for nye standardfartøyer bygger på.

---

## 6 Utvalg

Det siste steget i en MCA er å velge ut det beste alternativet. For denne studien er ikke målet å konkludere med hvilket alternativ som er det mest hensiktsmessige. Målet med utvelgelsesdelen er å snevre inn funnene i analysen til å kunne foreslå totalløsninger som kan resultere i måloppnåelse. Hovedfunksjonen til MCA er å kunne bearbeide kompleks informasjon og fremstille disse på en måte som vil lette beslutningstakerens arbeid i hans vurderinger (Government, 2009, p. 21). Det er spesielt viktig for beslutningstakeren å bære bevisst på fallgruven «Estimating and Forecasting». Det beste rådet er å være disiplinert i forhold til å veie for- og imot ulike alternativer, samt å vurdere hva fremtiden vil bringe ut fra tilgjengelige fakta og ikke inntrykk (J.S. Hammond, 1998, p. 18). Studien belyser usikkerhet rundt hva som er de sannsynlig beste alternativene for fremtiden, og at beslutninger må tas med bakgrunn i konkrete forutsetninger. Det vil allikevel være fare for at beslutningstakere havner i nevnte fallgruve.

En grunnleggende MCA vil gjennom en ytelsesmatrise kunne gi beslutningstaker mulighet til å velge et alternativ basert på det han får presentert. MCA veilederen nevner også situasjoner hvor ingen av alternativene er akseptable. I slike tilfeller kan et alternativ være å finne kreative kombinasjoner ved å slå sammen løsninger. På denne måten kan man oppnå fordeler ved at den ene løsningen har styrker i en viss setting, mens en annen løsning gir fordeler i en annen setting (Government, 2009, pp. 32, 39). Det er dette som er tilfellet for funn i denne studien. Det må tilstrebes å finne kombinasjoner av flere teknologier som sammen gir fleksibilitet og gevinstrealisering i flere settinger. Ytelsesmatrisen gir her en oversiktlig fremstilling over hvilke kombinasjoner som kan være hensiktsmessige.

### 6.1 Enkeltvurdering gjennom ytelsesmatrisen

#### **Biodiesel**

En fordel med å ta i bruk biodiesel er at det er en *drop-in fuel* som forholdsvis enkelt kan erstatte fossil diesel i en forbrenningsmotor. Utfordringen på kort- og mellomlang sikt er tilgang i et marked hvor mange ulike sektorer konkurrerer om dette drivstoffet. En annen utfordring er at biodiesel ikke gir en

---

stor CO2 gevinst på kort sikt, og er heller ikke det mest bærekraftige alternativet. At USA ser ut til å vurdere biodiesel på marinefartøyer, taler for at dette kan bli en satsning i NATO. På lengre sikt er forsvarssektoren sannsynligvis mer avhengig av biodrivstoff for å oppnå utslippsreduksjoner enn mange andre sektorer (Forsvarets Forskningsinstitut (FFI), 2021, p. 81). På kort sikt kan biodiesel, i kombinasjon med fossil diesel, være en sikkerhet for opprettholdelse av god utholdenhet og minimal sårbarhet.

### **Metanol**

Med bakgrunn i analysen og ytelsesmatrisen fremgår det at metanol ikke er hensiktsmessig å benytte på nye standardfartøyer, hverken alene eller i kombinasjon med andre energibærere. Dette med bakgrunn i de sikkerhetsmessige aspektene og sårbarheten som dette valget påfører fartøyene. Foruten de tekniske utfordringene viser ytelsesmatrisen at denne energibæreren strider med flere av de definerte målene fra kap 2; ressurseffektivitet, kostnadsbesparelse, operative krav og interoperabilitet. Til tross for dette kan ikke metanol utelukkes som en fremtidig energibærer for marinefartøyer

### **Hydrogen**

Hydrogen i ren gass- eller flytende form er den energibæreren som får dårligst score av utvalgte energibærere. Dette til tross for at en satsning på hydrogen vil være positivt for både miljø og industriutvikling. Bruk av rent hydrogen lar seg ikke forsvare på marinefartøyer; verken teknisk, operasjonelt eller økonomisk. Det strider med følgende mål fra kapittel 2: Ressurseffektivitet, kostnadsbesparelse, operative krav og interoperabilitet.

### **Ammoniakk**

Det forventes at flere sivile rederier vil satse på ammoniakk som hydrogenbærer, som et mer håndterbart alternativ enn rent hydrogen. Analysen viser at ammoniakk ikke er et akseptabelt alternativ for nye standardfartøyer. Til tross for relativt lav brann- og eksplosjonsfare, vil ammoniakk føre med seg en utfordrende sikkerhetsrisiko som følge av giftighet. Ammoniakk ser også ut til å være et kostbart alternativ, både investeringsmessig og driftsmessig. Satsning på ammoniakk medfører at flere av målene fra kap 2 ikke kan innfris, selv i kombinasjon med andre energibærere.

---

## **Flytende hydrogenbærere (FHB)**

Dersom man vil satse på hydrogen på standardfartøyene, vurderes det eneste realiserbare alternativet til å være FHB. Til tross for at teknologien er umoden, er det lite komplisert å tilrettelegge for bruk av FHB for senere bruk. Den kan også benyttes på en dual-fuel motor, noe som vil gi en ønsket fleksibilitet. FHB må benyttes i kombinasjon med diesel for å tilsikre påkrevd utholdenhet. Det er for stor risiko forbundet med satsning på brenselcelle for standardfartøyene innenfor studiens tidsavgrensning.

## **Batteri**

Batteriers svært lave energitetthet medfører en uakseptabel reduksjon i utholdenhet. Ytelsesmatrisen viser imidlertid at batteridrift fører med seg en rekke fordeler som gjør at batterier i kombinasjon med andre energibærere vil være positivt. Det er for eksempel flere skip som installerer batterier for å forbedre drivstofføkonomien ved såkalt *peak-shaving* eller som redundant kraftforsyning (*spinning reserve*) (Miljødirektoratet, 2020, p. 107). Flere slike energieffektiviseringstiltak kan muliggjøres med batterier, og analysen har også antydnet en bedret driftssikkerhet. Ytelsesmatrisen viser at på sikt vil batterier være et svært godt valg politisk, og det vil være driftsmessig lønnsomt.

## **Landstrøm**

Landstrøm er et suverent valg når fartøyene ligger til kai, og som nevnt i analysen utgjør dette nær 20% av fartøyenes årlige energibehov. Ytelsesmatrisen viser at man vanskelig kommer utenom en satsning på landstrøm, og det er da viktig at infrastruktur er på plass både i hjemmehavn og andre avlastningshavner. Det forventes en ny standard for moderne og brukervennlig landstrøm, og Forsvaret må da påregne å tilrettelegge for denne utviklingen. «*Det må være samsvar mellom strategien på skipssiden og på infrastrukturensiden*» (Miljødirektoratet, 2020, p. 96). Landstrøm og batterier fikk høyest score i begge ytelsesmatrisene.

---

## 6.2 Totalløsninger

I *Klimakur 2030* har DNV i sine analyser lagt til grunn at tiltak må være realistisk gjennomførbart med tanke på teknologisk modenhet, tilgjengelighet på drivstoff og andre barrierer. I tillegg kommer kriterier som betydelig CO<sub>2</sub> reduksjon og lav samfunnsøkonomisk kostnad (Miljødirektoratet, 2020, p. 122). Disse elementene bør også legges til grunn for vurderinger av totalløsninger for nye standardfartøyer til Sjøforsvaret. Standardfartøyenes operasjonsmønster vil utarte seg noe ulikt, men de faller naturlig inn i en kategori tilsvarende offshoresegmentet og kortdistansefartøyer i Norge. For denne gruppen fartøyer har DNV vurdert det hensiktsmessig med ulike varianter av biodrivstoff, elektrisitet eller kombinasjoner av disse (Rederiforbund, 2017, p. 40). Dette samsvarer med denne studiens funn, og tydeliggjøres gjennom ytelsesmatrisene.

Slik EU vurderer stemningen i markedet vil det frem mot 2030 kun være biodrivstoff og batteridrift som vil være dominerende som alternativ til fossilt drivstoff. Dette med bakgrunn i umodenhet for de andre alternativene (Union, 2021, p. 76). I samme tidsperspektiv er DNV-GL sin anbefaling at det sees på teknisk-operasjonelle tiltak i sammenheng med innføring av alternative drivstoff, (DNV-GL, 2019, p. 67). Selv om slike energieffektiviseringstiltak ikke berøres i denne studien, vil hybride løsninger som inkluderer batteridrift være hensiktsmessig av flere årsaker. I tillegg til redusert utslipp av CO<sub>2</sub> kan man oppnå mer optimal og energieffektiv drift av forbrenningsmotoren (DNV-GL, 2018, p. 16). Med utgangspunkt i FFI sin analyse av Kystvakt som omtalt i kap 5.1.7, anslås moderat en CO<sub>2</sub> reduksjon på **10%** med batteridrift på standardfartøyer. FFI konkluderer med at hybride løsninger med batteridrift vil være kostnadsbesparende for fartøy i indre kystvakt og moderfartøy til nye mineryddersystemer (Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), 2021, p. 83).

DNV-GL anbefaler i sin rapport at det designes skip med fleksibilitet til å adoptere nye løsninger. Dette kan være å installere forbrenningsmotorer som er kompatible med biodrivstoff, men også hydrogenbaserte drivstoff (Rederiforbund, 2017, p. 6). Løsninger som inkluderer strøm/batteridrift er også nevnt. Med utgangspunkt i ytelsesmatrisen for 2030 kan det være hensiktsmessig å benytte kombinasjoner hvor FHB er en del av løsningen.

Til tross for satsning på strømbaserte løsninger, vil brenselcelleteknologi være uegnet i mange år fremover. Kostnader og levetid er utfordringer som gjør at brenselceller ikke har blitt mer populær så langt. Sammenlignet med forbrenningsmotor er brenselcelleanlegg flere ganger dyrere (DNV, 2021b, p. 42). En slik løsning vil blant annet stride betydelig med kostnadsbesparelser og ressurseffektivitet, som var definerte mål fra kapittel 2. Som nevnt i kapittel 6.1 kommer man heller ikke utenom å

---

implementere landstrøm på nye fartøyer til Sjøforsvaret, og dette tiltaket kan tilsikre at inntil **20%** av fartøyenes årlige energibehov gjøres klimanøytralt.

Nye standardfartøyer skal snart besluttes, og man er avhengig av delvis dieseldrift i mange år for å sikre operativ evne. Nye forbrenningsmotorer kan enkelt gjøres kompatibel for innblanding av biodiesel, og denne innblandingen kan gradvis økes i takt med ny generasjon av dette biodrivstoffet. Basert på denne dokumentstudien anslås det nøkternt **10%** reduksjon av CO<sub>2</sub> utslipp fra 2025 som følge av betydelig omsetningskrav av biodiesel. I 2030 kan dette potensialet ha økt betydelig med avansert biodrivstoff, men bærekraftsspørsmålet er fremdeles ikke avklart.

Tilrettelegging for fremtidig bruk av FHB krever at det installeres multifuel-motorer, men dette får ikke noe betydelig innvirkning på investeringskostnadene. Det må også medregnes at maskinrommene må gjøres gasstette, noe som må hensyntas og kalkuleres inn i design.

**Denne studien har vist at fra 2025 kan man gjennom landstrøm (20%), batteridrift (10%) og innblanding av biodiesel (10%) oppnå at minst 1/3 av standardfartøyenes årlige energibehov dekkes av CO<sub>2</sub>-nøytrale kilder.**

Fra 2030 vil bidrag fra FHB kunne bidra til en ytterligere klimagevinst. I tillegg vil man ved første skifte av batteripakke mot slutten av 2030-tallet kunne oppnå økt utholdenhet som følge av bedret energitetthet. **Det vil da være mulig å dekke halvparten av standardfartøyenes energibehov med fornybare kilder ila 2030-årene.**

Videre er det et potensiale for å oppnå nullutslipp i 2050 slik som definert av Rederiforbundet; altså fartøyer som kan seile det aller meste av tiden uten utslipp, med en eventuell reserveløsning som kan benyttes ved spesielle behov (Rederiforbund, 2020, p. 9). Da med betydelig innslag av FHB, avansert biodiesel og en optimalisert strømpakke.

Det tillegges at på sikt må logistikkonsepter i Forsvaret og NATO tilpasses en situasjon med energibærere som reduserer fartøyenes drivstoffkapasitet sammenlignet med 2020.

Figur 7 viser en analyse av hvordan en kombinasjon av utvalgte energibærere **samlet** scorer på vurderingskriteriene. Dette avhenger av den prosentvise fordelingen mellom valgte energibærere.





---

## 7 Avslutning

Ved anskaffelse av nye fartøyer for Sjøforsvaret vil det fra politisk- og samfunnsmessig hold forventes satsning på miljøvennlig teknologi. Denne studien har belyst og vurdert hvordan alternative nullutslipps energibærere kan erstatte dagens fossile løsninger på nye standardfartøyer for Sjøforsvaret. Gjennom denne forskningen har det vært behov for å finne ut hva som kreves og forventes, for å kunne definere hva som er målet. Deretter var det sentralt å kartlegge ulike muligheter, for så å finne ut hvilke kriterier disse skulle vurderes opp mot for videre analyse. Multi-Criteria Analysis (MCA) var et hensiktsmessig verktøy til dette arbeidet.

Målsetningen ble å ta i bruk teknologi som til en viss grad erstatter fossilt drivstoff, på en kosteffektiv måte. Dette uten betydelige konsekvenser for operativ tilgjengelighet eller interoperabilitet med allierte.

Gjennom MCA ble dokumentstudie valgt som metode, og det ble identifisert betydelige mengder med tidsaktuelle og relevante kilder. Kildetilfanget var større blant sivile teknologiske studier enn for den militærspesifikke vinklingen.

Til tross for betydelig forskning på nye energibærere for skipsfarten, finnes det ikke klare trendretninger som reduserer langsiktig risiko ved satsning på ny teknologi. Det finnes derimot et stort antall muligheter, hvorav samtlige har betydelige ulemper sammenlignet med konvensjonell dieseldrift.

Det vil kunne ta tid før man fullstendig kan erstatte dagens energibærere på marinefartøyer med nullutslippsteknologi. «*For at man skal kunne velge bort løsninger med stort utslipp, må det finnes lavutslippsløsninger*» (Miljødepartementet, 2021, p. 13). Nye drivstofftyper krever tilgjengelighet, infrastruktur på land samt teknisk tilrettelegging om bord. Spesielt tilrettelegging på land og tilstrekkelig tilgjengelighet på drivstoff krever betydelig innsats og vilje fra samfunn og myndigheter (Rederiforbund, 2017, p. 18). Logistikkutfordringer som vanskeliggjør etterforsyning kan være avgjørende for valg av løsninger.

Innenfor politiske-, tekniske-, operasjonelle- og økonomiske aspekter ble det identifisert en rekke underkriterier som ble benyttet i analysen. Til tross for at analysene av energibærere ble utført enkeltvis opp mot valgte kriterier, viser konklusjonen at eneste løsning vil være kombinasjoner av flere. Å finne frem til en kombinasjon av ulike energibærere kan være både fordelaktig og en nødvendighet. «*Spesielt i en tidlig teknologiutviklingsfase kan det være en fordel, og muligens en*

---

*forutsetning, å ha en konvensjonell eller annen driftssikker energibærer som reserveløsning»*  
(Miljødirektoratet, 2020, p. 110).

Med bakgrunn i MCA-verktøyet ble ytelsesmatriser utarbeidet hvor analyse av energibærerne fremkommer enkeltvis, men også sett i kombinasjon. Disse matrisene fremstår nå som hovedprodukter fra studien.

I problemformuleringen ble følgende spørsmål stilt:

***Hvordan kan Sjøforsvaret tilnærme seg politiske mål om nullutslipp for skipsfarten ved bygging av nye fartøyer, uten at dette får betydelige operative eller økonomiske konsekvenser?***

Konklusjonen viser at dette kan tilnærmes gradvis ved å benytte fleksible hybride løsninger som kombinerer elektrisk drift med dieseldrift, og på sikt hydrogen gjennom flytende hydrogenbærere (FHB). Batteri, landstrøm, biodiesel og FHB er alternativer som kan være økonomisk forsvarlig, og som lar seg kombinere med konvensjonell dieseldrift.

I kapittel 6.2 konkluderes det med at nevnte fleksible løsninger kan tilrettelegge for at 1/3 av standardfartøyenes årlige energibehov dekkes av CO<sub>2</sub>-nøytrale kilder. Fra 2030 kan dette gradvis øke til halvparten av energiforbruket. Den fleksible løsningen vil i stor grad oppfylle målene satt i kapittel 2, men forventningen om økonomiske besparelser er svært utfordrende å innfri ved innføring av alternative energibærere. Dette sammenfaller med DNV sin analyse som nevnt i kap.4.4.

Skal betydelig CO<sub>2</sub>-kutt oppnås, kommer man ikke utenom energieffektiviseringstiltak. Dette inkluderer også endret operasjonsmønster muliggjort av teknologiske nyvinninger slik som ubemannede systemer som benytter større fartøyer som base (Sjøforsvaret, 2021). Slike tiltak er i liten grad berørt i denne studien, men det anbefales at dette blir noe som Sjøforsvaret vurderer nærmere.

Jeg mener at min bevissthet rundt fallgruver har styrket mitt forskningsarbeid. Jeg har eksempelvis opplevd at med et innsideperspektiv på en spesifikk teknologi kan optimismen bli for stor i forhold til et utviklingspotensiale. Når jeg samtidig har forsøkt å se på dette med utsideperspektiv, kommer andre forhold inn i bildet som for eksempel hvor lang tid det normalt tar for en teknologi å gå gjennom et utviklingsstadium. Dersom jeg allikevel skulle være påvirket av innsideperspektiv i mine konklusjoner, er MCA fordelaktig ved at ytelsesmatrisene kan benyttes som grunnlag for andres vurderinger og konklusjoner. Jeg erfarer dessuten at aktører involvert i pilotprosjekter har et innsideperspektiv, noe som er viktig å være oppmerksom på gjennom utvikling av nye standardfartøyer. Avslutningsvis anbefales det at Sjøforsvaret i større grad involveres i nasjonalt samarbeid for grønn skipsfart.

---

# Litteraturliste

- (FFI), F. F. (2019). *Viten - Det grønne forsvaret?* (19/02096). F. F. (FFI).  
<https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/det-gronne-forsvaret>
- (FLO), F. L. (2018). *Konsept for logistikk i Sjøforsvaret*.
- (IEA), I. E. A. (2021). *Progress towards biofuels for marine shipping* (IEA Bioenergy: Task 39). I. Bioenergy.  
<https://www.nmbu.no/en/services/centers/bio4fuels/news/node/44067>
- Beadle, A. W. (2016). *Å forske på Forsvaret i fremtiden* (16/01810). F. f. (FFI).  
<https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/a-forske-pa-forsvaret-i-fremtiden-muligheter-begrensninger-og-kognitive-fallgruver>
- Benoit, T. N. A. (2021). *Study on assessment of possible global regulatory measures to reduce greenhouse gas emissions from international shipping*. P. O. o. t. E. Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/19483b13-f405-11eb-aeb9-01aa75ed71a1/language-en>
- Brugha, C. M. (2004). Structure of Multi-Criteria Decision-Making. *The Journal of the Operational Research Society*, 55. <https://www.jstor.org/stable/4101887>
- Chemistry, R. S. o. (2020). Challenges in the use of hydrogen for maritime applications.  
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/ee/d0ee01545h>
- Commission, E. (2021a, 14.07.2021). Making energy taxation greener.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_21\\_3667](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_3667)
- Proposal for regulation on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport*, (2021b). [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/fueleu\\_maritime\\_-\\_green\\_european\\_maritime\\_space.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/fueleu_maritime_-_green_european_maritime_space.pdf)
- DNV-GL. (2018). *Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk* (2018-0181, Rev. 2).  
<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M1027/M1027.pdf>
- DNV-GL. (2019). *Produksjon og bruk av hydrogen i Norge* (2019-0039, Rev. 1).  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/0762c0682ad04e6abd66a9555e7468df/hydrogen-i-norge---synteserapport.pdf>
- DNV-GL. (2021). *Ammonia as a marine fuel – Safety Handbook*.  
<https://grontskipsfartsprogram.no/rapport/ammonia-as-a-marine-fuel-safety-handbook/>

- 
- DNV. (2021a). *Maritime Forecast to 2050* (Energy Transition Outlook 2021, Issue. <https://www.dnv.com/Publications/maritime-forecast-to-2050-107160>)
- DNV. (2021b). *Technology progress report* (Energy Transition Outlook 2021, Issue. <https://www.dnv.com/Publications/technology-progress-report-211013>)
- FFI. Stein Malerud, T. K. (2006). *Metoder for flermålsanalyse* (2005/03041). <https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/metoder-for-flermalsanalyse-en-oversiktsstudie-fra-goal>
- Lov om offentlige anskaffelser (anskaffelsesloven), (2016). <https://lovdata.no/lov/2016-06-17-73>
- Forskrift om offentlige anskaffelser (anskaffelsesforskriften), (2017). <https://lovdata.no/forskrift/2016-08-12-974>
- Meld. St. 10 (2020 –2021), (2020). <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-10-20202021/id2788786/>
- Miljøvern i Forsvaret (håndbok), (2013).
- Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), B. A. o. S. K. (2021). *Hvordan kan Forsvaret kutte utslipp av drivhusgasser?* (21/01488). FFI. <https://www.ffi.no/publikasjoner/arkiv/hvordan-kan-forsvaret-kutte-utslipp-av-drivhusgasser-en-funksjonell-studie>
- Anskaffelsesregelverk for forsvarssektoren (ARF), (2013). <https://lovdata.no/forskrift/2013-10-25-1411>
- Government, D. f. C. a. L. (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. [http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria\\_Analysis.pdf](http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf)
- IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships, § Annex 11 (2018). [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/ResolutionMEPC.304\(72\)\\_E.pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/ResolutionMEPC.304(72)_E.pdf)
- J.S. Hammond, R. L. K., H. Raiffa. *Harvard Business Review*. (1998). The Hidden Traps in Decision Making. *Harvard Business Review*. [https://www.researchgate.net/publication/12948100\\_The\\_Hidden\\_Traps\\_in\\_Decision\\_Making](https://www.researchgate.net/publication/12948100_The_Hidden_Traps_in_Decision_Making)
- Jacobsen, D. I. (2015). *Hvordan gjennomføre undersøkelser? : innføring i samfunnsvitenskapelig metode* (3. utg. ed.). Cappelen Damm akademisk.
- Lloyd's, U. a. (2020). *Techno-economic assessment of zero-carbon fuels*. <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/techno-economic-assessment-of-zero-carbon-fuels/>

- 
- Miljødepartementet, K.-o. (2019). *Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart*.  
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/handlingsplan-for-gronn-skipsfart/id2660877/>
- Meld. St. 13 (2020-2021) Klimaplan for 2021-2030, (2021).  
<https://www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/nno/pdfs/stm202020210013000dddpdfs.pdf>
- Miljødirektoratet. (2020). *Klimakur 2030*. <https://www.miljodirektoratet.no/klimakur>
- Miljødirektoratet. (2021). *FNs klimapanel*. Miljødirektoratet.  
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fns-klimapanel-ipcc/>
- NATO Military principles and policies for environmental protection, (2011).
- Naval Ship Code, (2019). <https://www.navalshipcode.org/Home/NavalShipCodes>
- Rederiforbund, N. (2017). *Navigating a low-carbon future* (2017-0205).  
<https://rederi.no/rapporter/>
- Rederiforbund, N. (2020). *Null utslipp i 2050*. N. Rederiforbund. <https://rederi.no/rapporter/>
- Sjøforsvaret. (2021). *Utredning om standardfartøy for Sjøforsvaret*.
- Skipsfartsprogram, G. (2016). *Sjøkart for grønn kystfart*. G. skipsfartsprogram.  
[https://www.dnv.no/Images/Sj%C3%B8kart%20-%20Gr%C3%B8nt%20kystfartsprogramENDELIG\\_tcm9-77508.pdf](https://www.dnv.no/Images/Sj%C3%B8kart%20-%20Gr%C3%B8nt%20kystfartsprogramENDELIG_tcm9-77508.pdf)
- Skjelanger, T. (2021). *Mailutveksling vedr landstrømforbruk hos Marinen*.
- Streng, J. E. (2021). *Alternative Energy Carriers in Naval Vessels - Design Options and Implications for RNLN Large Surface Vessels* [Master, Delft University of Technology]. Netherlands.  
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A47e02b82-5a0f-4eba-8092-f2e10b5c6845>
- Union, E. (2021). *The use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport*.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2021:562:FIN>

---

# Vedlegg

## **Vedlegg 1, The Alternative Fuel Barrier Dashboard**

Hentet fra (DNV, 2021a)

## **Vedlegg 2, Energy carriers and converters**

Hentet fra (Rederiforbund, 2017)

## **Vedlegg 3, Ytelsesmatriser**

Egenprodusert, Excel

## **Vedlegg 4, Alternative energy carriers and converters**

Hentet fra (Streng, 2021)

## **Vedlegg 5, Energy cost, density and readiness level**

Hentet fra (Union, 2021)

## **Vedlegg 6, Volumetric and gravimetric energy density**

Hentet fra (Union, 2021)

## **Vedlegg 7, Technological readiness levels**

Hentet fra (Lloyd's, 2020)

## **Vedlegg 8, Upstream, operational and net CO2 emissions**

Hentet fra (Lloyd's, 2020)

## **Vedlegg 9, Fuel price projections**

Hentet fra (Lloyd's, 2020)

## **Vedlegg 10, Possible fuel combinations**

Hentet fra (Union, 2021)

## **Vedlegg 11, Summary of alternative fuels**

Hentet fra (Rederiforbund, 2017)

## **Vedlegg 12, Vurdering av personvern**

Bekreftelse fra Forsvaret, desember 2021

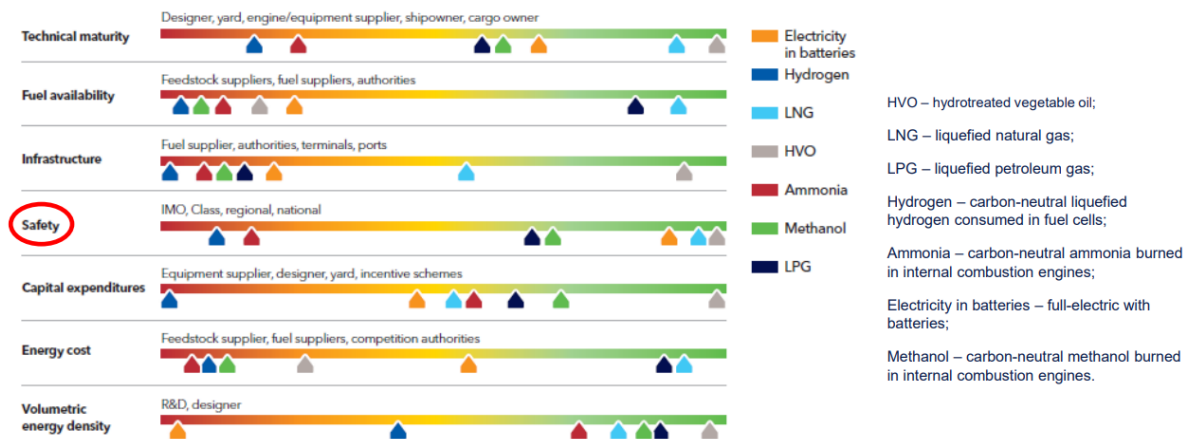
## **Vedlegg 13, Tillatelse Forsvarets forskningsnemnd**

Bekreftelse fra Forsvaret, desember 2021

**Vedlegg 1, The Alternativ Fuel Barrier Dashboard**

Illustrasjonen viser en oppsummering av DNVs evaluering av ulike energibærere, hentet fra 2019 utgaven av DNVs *Maritime Forecast to 2050*.

**The Alternativ Fuel Barrier Dashboard – indicative status of key barriers for selected alternative fuels in 2020**





## Vedlegg 2

Fremstillingen viser energibæreres kompatibilitet med ulike fremdriftskonfigurasjoner, og er hentet fra DNVs rapport *Navigating a low-carbon future* fra 2017.

Energy carriers		Converters							
		Diesel engine	Dual fuel engine	Hybrid propulsion	Battery main	Fuel cell AUX	Fuel cell ME	Renewables (part)	Nuclear
Liquefied fuel	Liquefied fossil fuels	X	X	X	-	-	-	-	-
	Methanol	-	X	X	-	X	X	-	-
	1 <sup>st</sup> gen. biofuel	X	X	X	-	-	-	-	-
	2 <sup>nd</sup> gen. biofuel	X	X	X	-	-	-	-	-
	3 <sup>rd</sup> gen. biofuel	X	X	X	-	-	-	-	-
	Synthetic/Bio-Methanol	-	X	X	-	X	X	-	-
Gaseous fuels	Gaseous fossil fuels, LNG	X	X	X	-	X	X	-	-
	Bio gas	X	X	X	-	X	X	-	-
	Synthetic	-	-	-	-	-	-	-	-
Electrochemical (part)	Full electric, land based charging	-	-	-	X	-	-	-	-
	Plug in hybrid, land based charging	X				-	-	-	-
	Hydrogen	-	-	-	-	X	X	-	-
On board renewables	Sail, kites, turbines, solar	-	-	-	-	-	-	X	-
Nuclear	Thorium, Uranium, plutonium	-	-	-	-	-	-	-	X

Vedlegg 3 Ytelsesmatriser

Multi Criteria Assessment (MCA)

Fra 2025

Energi bærere i forhold til utvalgte måleparametere	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvik	Modenhe	Vekt/volu	Sikkerhe	Utholder	Sårbarhe	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (Fossil Diesel)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel	-0,2	1	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	-2	0
Metanol	-0,8	1	1	1	-1	-1	-2	-2	-2	0	-1	-3	-1
Hydrogen	-1,4	2	1	2	-3	-2	-3	-3	-3	0	-3	-3	-2
Ammoniakk	-1,1	2	2	1	-3	-2	-2	-3	-1	0	-2	-3	-2
FHB	-0,8	1	2	2	-3	-2	-1	-2	-2	0	-1	-1	-2
Batteri	0,1	3	2	3	-1	-3	0	-3	-2	2	-1	2	-1
Landstrøm	1,5	3	2	3	-1	3	2	-3	-3	3	3	3	3

3 Meget positiv  
 2 Positiv  
 1 Litt positiv  
 0 Nær referanseløsning  
 -1 Noe negativ  
 -2 Negativ  
 -3 Svært negativ

Fra 2030

Energi bærere i forhold til utvalgte måleparametere	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvik	Modenhe	Vekt/volu	Sikkerhe	Utholder	Sårbarhe	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (Fossil Diesel)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodiesel	0,1	2	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0
Metanol	-0,3	2	2	2	0	-1	-2	-1	-2	0	-1	-2	0
Hydrogen	-0,9	3	2	2	-2	-2	-3	-3	-3	1	-3	-2	-1
Ammoniakk	-0,6	3	2	2	-2	-2	-1	-2	-1	0	-2	-2	-2
FHB	0,0	2	3	3	-1	-2	0	-1	-1	0	-1	-1	-1
Batteri	0,6	3	3	3	0	-3	1	-3	-2	3	0	2	0
Landstrøm	1,8	3	3	3	1	3	2	-3	-3	3	3	3	3

Multi Criteria Assessment (MCA)

Fra 2025

	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvik	Modenhe	Vekt/volu	Sikkerhe	Utholder	Sårbarhe	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (kun fossil)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H Y B R I D Fossil diesel													
Biodiesel													
FHB		1	2	1	-1	-1	0	-1	0	1	-1	-1	-1
Batteri													
Landstrøm													

3 Meget positiv  
 2 Positiv  
 1 Litt positiv  
 0 Nær referanseløsning  
 -1 Noe negativ  
 -2 Negativ  
 -3 Svært negativ

Fra 2030

	Score	Politisk			Teknisk			Operasjonelt			Økonomisk		
		CO2 Red.	Bærekraft	Ind.utvik	Modenhe	Vekt/volu	Sikkerhe	Utholder	Sårbarhe	Signatur	Invest.	Drift	Vedl.
Referanse (kun fossil)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H Y B R I D Fossil diesel													
Biodiesel													
FHB		2	3	2	0	-1	0	0	0	2	-1	-1	0
Batteri													
Landstrøm													

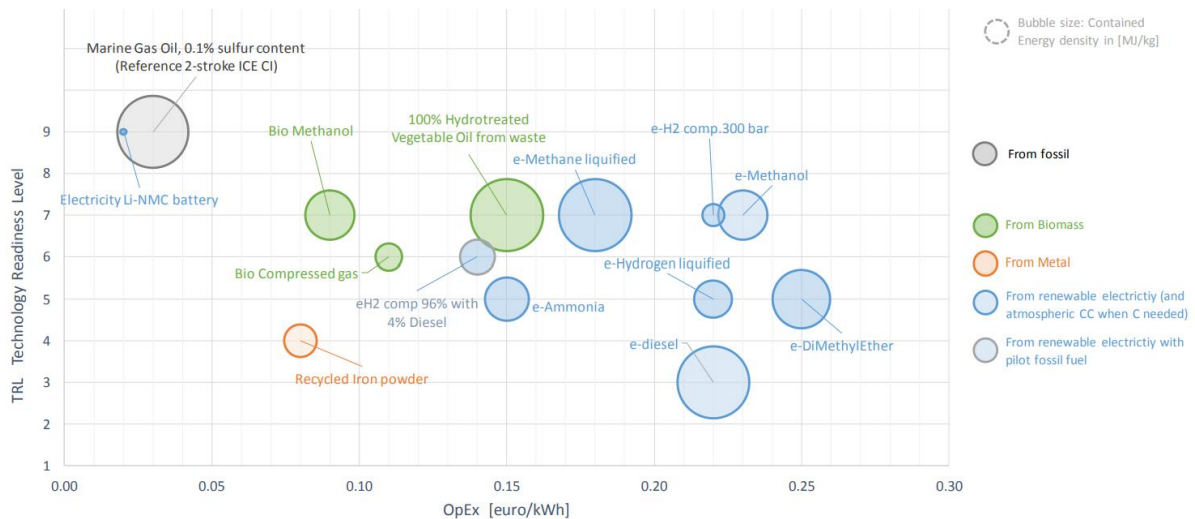
## Vedlegg 4

Tabellen under viser en oppsummering av en vurdering gjort av ulike energibærere og fremdriftsmaskineri, hentet fra den nederlandske studien *Alternative Energy Carriers in Naval Vessels*.

	Carriers										Converters			
	F-76	LNG	Hydrogen	Ammonia	HVO	FAME	Ethanol	Methanol	Butanol	Batteries	Diesel	Turbine	Fuel cell	Electric motor
Survivability											-	-	+	+
Susceptibility	Depends on converter										-	-	+	+
Acoustic	Depends on converter										-	-	++	+
IR	Depends on converter										-	-	-	+
Vulnerability	++	--	--	--	++	++	-	--	+	-	+	-	-	+
Recoverability	++	--	--	--	++	+-	-	--	+	--	-	-	++	+-
Mobility	Depends on converter										+	++	-	+
Top speed	Depends on converter										+	++	-	+
Acceleration	Depends on converter										+	++	-	++
Manoeuvrability	Depends on converter										Depends on configuration			
Volume	++	--	--	--	+	+	-	-	+-	-	+	++	+-	+
Displacement	++	--	--	--	+	+	-	-	+-	-	+	++	+-	+
Logistics	++	--	--	--	++	+	+	+-	++	-	Depends on fuel			
Maintenance	++	--	--	--	+	+	-	-	+	+-	+	-	++	+
Cost	Not in scope										++	-	-	+

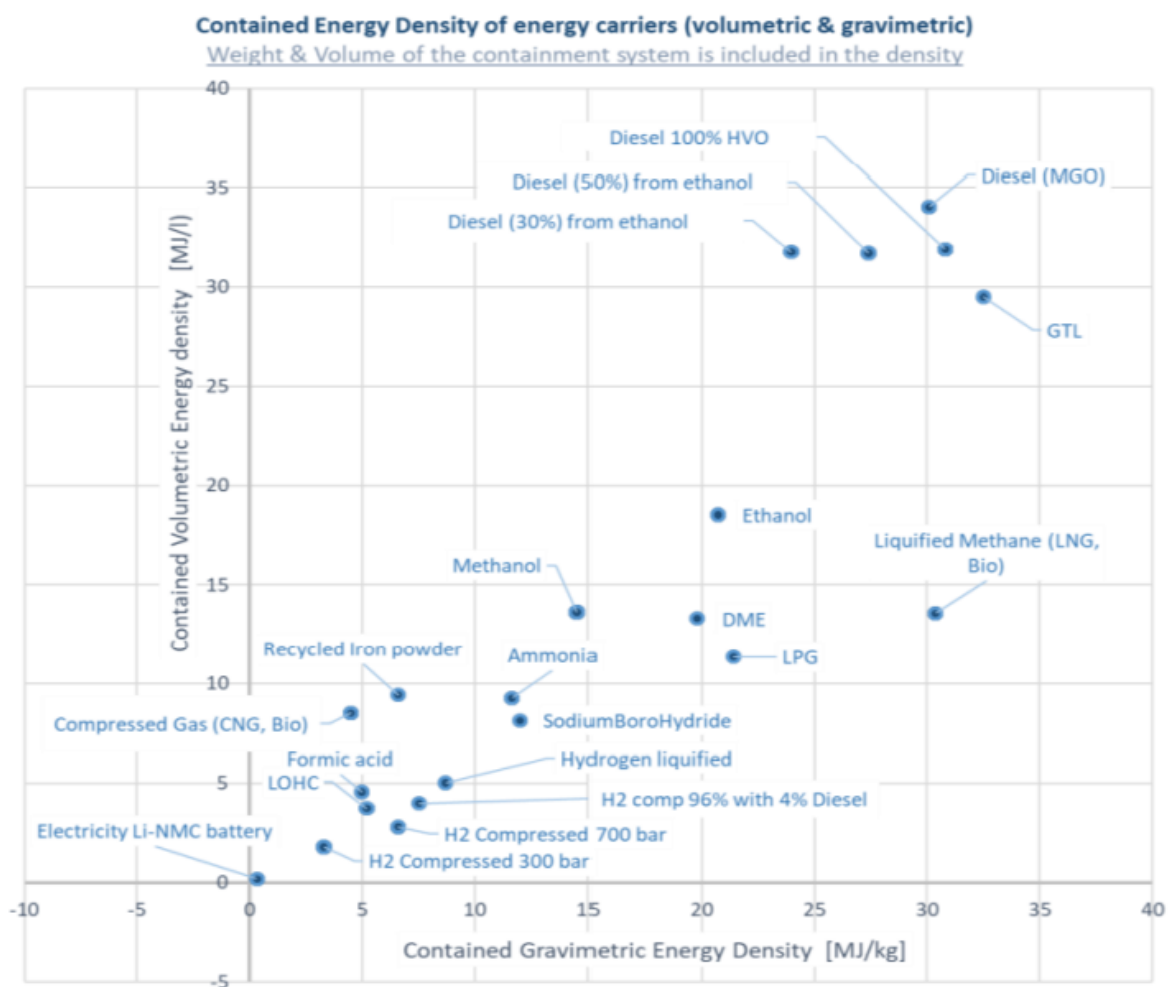
## Vedlegg 5

Skissen under viser en oppsummering av hvordan FuelEU vurderer ulike energibærere mht teknologisk modenhetsnivå, energipris samt energitetthet. Er hentet fra rapporten *The use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport* som det er referert til en rekke steder i oppgaven.



## Vedlegg 6

Illustrasjonen viser FuelEU sin fremstilling av volumetrisk og gravimetrisk energitetthet for ulike energibærere. Den er hentet fra rapporten *The use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport* som det er referert til en rekke steder i oppgaven.



## Vedlegg 7

Matrisen viser Lloyd's vurdering av teknisk modenhet for en rekke energibærere, opp mot ulike tekniske forhold om bord. På en skala fra 1 til 9, er 9 er svært moden og 1 svært umoden. Matrisen er hentet fra rapporten *Techno-economic assessment of zero-carbon fuels* som det er referert til en rekke steder i oppgaven.

TRL	Bunkering			Storage onboard					Processing and conversion			Propulsion			
	Equipment	Procedures	Fuel quality standards	Structural tank	Membrane containment system	IMO type A tank	IMO type B tank	IMO type C tank	Venting system	Fuel supply system	Reformer	2-Stroke ICE	4-Stroke ICE	FC	Boiler
LSHFO ICE reference ship	9	9	9	9					9	9		9	9		9
Bio-diesel ICE	9	9	9	9					9	9		9	9		9
E-diesel ICE	9	9	9	9					9	9		9	9		9
Bio-methanol ICE	7	6	3	7					7	7		7	6		2
E-methanol ICE	7	6	3	7					7	7		7	6		2
Bio-methanol FC	7	6	3	7					7	7	3		6	7	2
E-methanol FC	7	6	3	7					7	7	3		6	7	2
Bio-LNG ICE	9	9	9		8		9	9	9	9		9	9		9
E-LNG ICE	9	9	9		8		9	9	9	9		9	9		9
Bio-LNG FC	9	9	9		8		9	9	9	9	4			7	
E-LNG FC	9	9	9		8		9	9	9	9	4			7	
E-ammonia ICE	7	2	2			7	7	7	3	7		3	2		2
NG-ammonia ICE	7	2	2			7	7	7	3	7		3	2		2
E-ammonia FC	7	2	2			7	7	7	3	7	2		2	7	2
NG-ammonia FC	7	2	2			7	7	7	3	7	2		2	7	2
E-hydrogen ICE	4	2	3				3	6	2	2		2	5		2
NG-hydrogen ICE	4	2	3				3	6	2	2		2	5		2
E-hydrogen FC	4	2	3				3	6	2	2			5	7	2
NG-hydrogen FC	4	2	3				3	6	2	2			5	7	2
Batteries	4	2	3				3	6	2	2			5	7	

### Vedlegg 8

Søylediagrammet under er hentet fra Lloyd's sin rapport *Techno-economic assessment of zero-carbon fuels*, som det er referert til en rekke steder i oppgaven. Det illustrerer *well-to-wake* utslipp av CO<sub>2</sub> for et utvalg energibærere. Grønn prikk markerer netto utslipp.



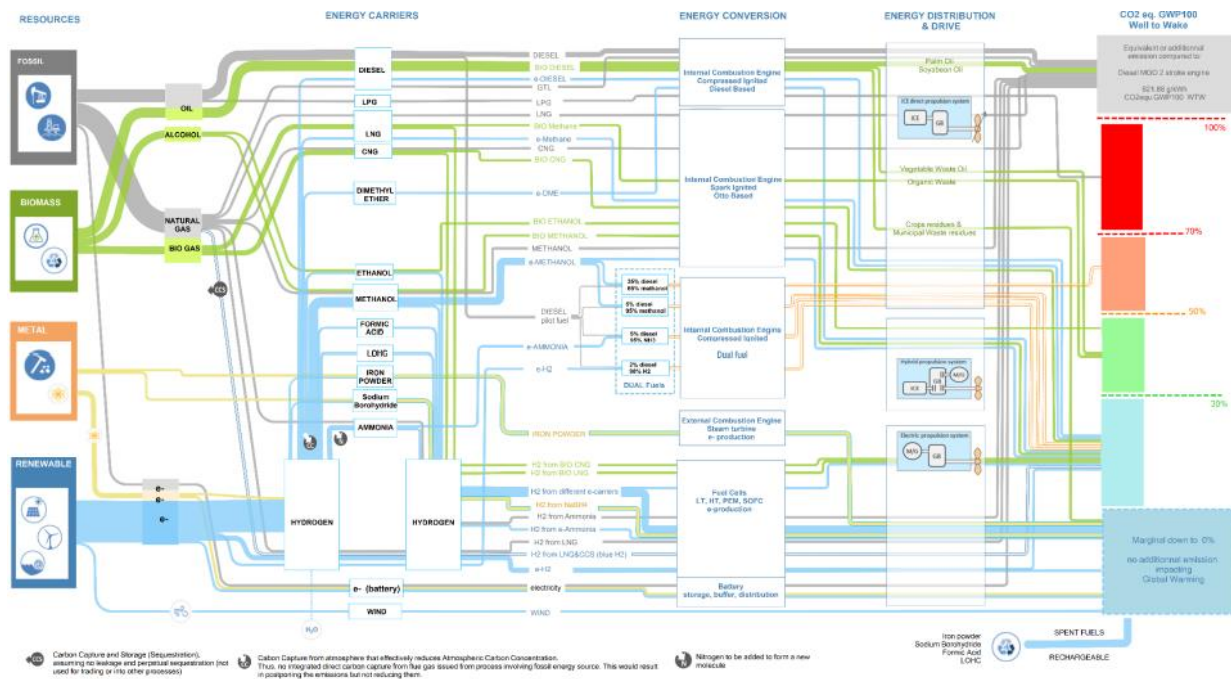
## Vedlegg 9

Tabellen viser Lloyd's sitt estimat over prisutvikling for noen energibærere, og er hentet fra rapporten *Techno-economic assessment of zero-carbon fuels*, referert til flere steder i oppgaven.

Fuel price projections											
		Lower bound				Upper bound					
		\$/GJ				\$/GJ					
Primary energy source	Fuel	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050		
Oil	LSHFO	8	11	11	11	8	11	11	11		
Biomass	Bio-diesel	22	24	27	29	25	49	74	98		
Biomass	Bio-methanol wood	23	25	27	30	24	48	72	96		
Biomass	Bio-methanol waste stream	19	21	23	25	20	40	61	81		
<b>Substitution price for biofuels</b>		9	19	26	33						
Renewable electricity	E-diesel	130	114	99	83	208	182	156	130		
Renewable electricity	E-methanol	84	73	63	52	136	118	101	83		
Renewable electricity	E-LNG	69	60	51	42	113	98	84	69		
Renewable electricity	E-ammonia	55	47	39	30	96	82	68	55		
Renewable electricity	E-hydrogen	52	44	36	28	92	79	65	52		
Natural gas	NG-ammonia	28	26	24	23	46	43	40	38		
Natural gas	NG-hydrogen	25	23	21	19	44	40	37	34		



**Vedlegg 10:** Er hentet fra Fuel EU sin rapport *The use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport*, og viser ulike muligheter for energibærere på fartøyer. Skissen egner seg best i utskrevet A3-format.



## **Vedlegg 11**

Tabellen viser noen egenskaper og kompatibiliteter for utvalgte energibærere om bord, sett opp mot ulike fremdriftsanlegg. Oversikten er hentet fra DNV sin rapport *Navigating a low-carbon future*, som er referert til flere steder i oppgaven

<b>Family</b>	<b>Fuel types</b>	<b>Converter</b>	<b>Applicable for</b>	<b>Barrier level</b>	<b>Cost at maturity</b>	<b>Potential reduction</b>
1.Liquid fuels	A. Biofuel 1. gen (20% blend)	Diesel/Dual fuel engine	All	2	3	10%*
	B. Biofuel 2.gen (100%)		All	3	3	80%
	C. Biofuel 3.gen (100%)		All	4	2	90%
2.Gaseous fuels	A. LNG/LPG	Diesel/Dual fuel engine	All	2	2	20%
	B. Bio-LNG/LPG (30% blend)		All	3	3	35%
	C. Bio-LNG/LPG (100%)		All	4	2	90%
3.Electro-chemical fuels	A. Full electric	Battery	Small passenger, small short sea, offshore	3	4	Dependent on carbon intensity of electricity in 2050 50-90%
	B. Plug-in hybrid (30%)	Diesel/Dual fuel engine/ Battery	Passenger, offshore, short sea	3	4	20-35%
	C. Hydrogen (renewables/ nuclear)	Fuel Cell	Passenger, offshore, short sea	4	4	80%

\*Assumes consistency between maturity, cost and reduction

---

## **Vedlegg 12**

### **Vurdering av personvern ifm. forskningsprosjekt**

Personvern hensyn har blitt vurdert ved prosjektets oppstart, samt underveis i gjennomføringen. Gjennom utarbeidelse av sjekkliste fra Norsk Senter for Forskningsdata (NSD), ble det vurdert at prosjektet ikke er søknadspliktig. Dette med bakgrunn i prosjektets metodiske tilnærming, og at det ikke har vært nødvendig å innhente eller behandle personopplysninger.

Jeg har også hatt telefonisk kontakt med NSD underveis i prosjektet for å verifisere mine vurderinger. Med bakgrunn i min beskrivelse av metodisk tilnærming og gjennomføring, bekrefter NSD at mitt forskningsprosjekt faller utenfor søknadsplikt. Jeg har underveis fulgt NDS sine fremgangsmåter for å unngå behandling av personopplysninger, slik som beskrevet på deres hjemmeside.

I avsluttende fase av prosjektet har jeg igjen vurdert om det finnes opplysninger i mine innsamlede data som medfører personvernulemper. Min konklusjon er fremdeles at dette ikke forekommer hverken i produktet eller innsamlede data.

Det har imidlertid vært vurdert nødvendig å innhente tillatelse fra Forsvarets forskningsnemnd, og denne finnes som vedlegg i oppgaven.

Bergen, 23.04.2022

Tore Skjelanger

## Vedlegg 13



**FORSVARET**  
Forsvarets høgskole

1 av 2

### Vår saksbehandler

Audun Benjamin Bengtson, aubengtson@mil.no  
+47  
FHS/FAGSTAB/SEK FOU ADM

### Vår dato

2021-12-20

### Vår referanse

2021/043579-002/FORSVARET/ 002

### Tidligere dato

### Tidligere referanse

### Til

Tore Skjelanger  
.  
..

### Kopi til

## Tillatelse til å innhente opplysninger i og om Forsvaret til forskningsformål

### 1 Bakgrunn

Forsvarets høgskole (FHS) har mottatt din søknad av 2. desember 2021 om tillatelse til å innhente opplysninger i og om Forsvaret til forskningsformål. Prosjektet det skal innhentes data til er en masteroppgave, og følgende problemstilling er oppgitt: «Hvordan kan Sjøforsvaret tilnærme seg politiske mål om nullutslipp for skipsfarten ved bygging av nye fartøyer, uten at dette får betydelige operative eller økonomiske konsekvenser?». Prosjektet er en dokumentstudie.

### 2 Drøfting

Vurdering av søknader om tillatelse til å innhente opplysninger i og om Forsvaret til forskningsformål er regulert av *Bestemmelse om utlevering av personopplysninger til forskning og gjennomføring av spørreundersøkelser*, fastsatt av sjef HR-avdelingen i Forsvarsstaben 1. mai 2018.

I henhold til punkt 2.3 og 2.4 i denne bestemmelsen er det en forskningsnemnd oppnevnt av sjef FHS som har myndighet til å behandle søknader om tillatelse til datainnsamling i Forsvaret. Kriterier og rettsgrunnlag som skal legges til grunn for vurderingen er omtalt i punkt 4.1 og 4.2.

Forskningsnemnda har vurdert din søknad som tilfredsstillende i henhold til gjeldende krav.

### 3 Vedtak

Søknad om tillatelse til å innhente opplysninger i og om Forsvaret til forskningsformål innvilges. Tillatelsen gjelder til prosjektslutt 15.05.2022.

### 4 Vilkår for tillatelsen

Det er kun gitt tillatelse til innhenting av det datamaterialet som fremgår av søknaden. Data hentet fra Forsvaret skal ikke benyttes til andre formål enn den aktuelle masteroppgaven. Ved prosjektslutt skal alle data hentet fra Forsvaret slettes. Det skal sendes sluttmelding til FHS vedlagt bacheloroppgaven. Sluttmelding sendes til [fhs.datautlevering@mil.no](mailto:fhs.datautlevering@mil.no)

Postadresse	Besøksadresse	Sivil telefon/telefaks	Epost/ Internett	Vedlegg
Postboks 800 Postmottak 2617 Lillehammer Norge	Oslo mil/Akershus 0015 OSLO Norge	/	postmottak@mil.no www.forsvaret.no	1
		Militær telefon/telefaks 99/0500 3699	Organisasjonsnummer NO 986 105 174 MVA	

2 av 2

Sven Gabriel Holtmark

Leder forskningsnemnda

*Dokumentet er elektronisk godkjent, og har derfor ikke håndskreven signatur.*