

Chris Uthaug og Kristine Skinnes

Hvordan kan fremtidens kystvaktfartøy designes for optimal oppdragsløsning og fremtidsrettet miljøprofil?

TN303212 Hovedprosjekt

Bacheloroppgave i Nautikk
Veileder: Arnt Myrheim-Holm

Mai 2022

Chris Uthaug og Kristine Skinnes

Hvordan kan fremtidens kystvaktfartøy designes for optimal oppdragsløsning og fremtidsrettet miljøprofil?

TN303212 Hovedprosjekt

Bacheloroppgave i Nautikk
Veileder: Arnt Myrheim-Holm
Mai 2022

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



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende del av bachelorstudiet Nautikk ved NTNU i Ålesund. Oppgaven vektlegges med 15 studiepoeng.

På grunnlag av gruppens faginteresse, ønsket vi å skrive om Kystvakten og tok derfor kontakt med Rune Stenevik i Kystvaktens kompetansesenter (KVKS). Han utfordret gruppen til å se på hvordan fremtidens kystvaktfartøy kan gjøres mer miljøvennlige i drift, og møte IMOs kommende krav om en mer bærekraftig miljøprofil uten at det går på bekostning av Kystvaktens operasjonelle drift. Dette anser vi også som et dagsaktuelt tema for hele den maritime næringen, og vi tok derfor utfordringen. Kystvakten med Stenevik som hovedkontaktperson, har fungert som en ekstern veileder og informasjonskilde gjennom hele prosessen.

Vi ønsker å takke Arnt Myrheim-Holm som har fungert som intern veileder ved NTNU og har bistått oss med gode råd og relevant oppfølging igjennom hele oppgaveperioden. Gruppen vil også takke Rune Stenevik som i tillegg til å ha vært ekstern veileder i Kystvakten, også har gitt oss tilgang til informasjon og organisert verftsbesøk hos Vard Langsten hvor gruppen fikk omvisning ombord på KV Jan Mayen.

Takk til Odvin Nilsen, som gav oss et viktig innblikk i Kystvaktens utrustning av de kommende fartøyene i Jan Mayen klassen, i form av en grundig og svært interessant omvisning ombord. Her fikk vi også anledning til å stille spørsmål underveis og vi fikk gjennomført et kvalitativt intervju som gav oss et godt grunnlag til å kunne gjennomføre denne oppgaven.

Vi vil i tillegg takke Vilmar Æsøy og Jan Emblemsvåg som stilte opp til intervju og gav oss et godt innblikk i deres synspunkter på muligheter og utfordringer som finnes innen fremdriftssystemer og utrustning av fremtidige Kystvakt fartøy.

Til slutt vil vi takke Jogeir Skinneres for grundig korrekturlesing og gode tilbakemeldinger på oppgaven.

Sammendrag

Målet med denne oppgaven er å se nærmere på hvordan Kystvakten kan utruste sine fremtidige fartøyer for optimal oppdragsløsning og en bærekraftig miljøprofil. Regelverk strammes stadig inn, nye utslippsmål settes og miljøfokuset blir større og større. Denne oppgaven ser derfor på de forskjellige drivstoffalternativene LNG, LPG, Metanol, Biodiesel, Biogass, Ammoniakk, Elektrisitet, Hydrogen og Kjernekraft for å belyse fordeler og utfordringer med disse. Dette knytter vi opp mot Kystvaktens oppdragsløsning for å avslutningsvis kunne se om noen av disse drivstoffalternativene tilfredsstillende fremtidens miljøkrav uten at det går på bekostning av Kystvaktens operasjonelle drift.

Oppgaven er gjort som en litteraturstudie der det i tillegg er gjennomført kvalitative intervjuer av relevante personer med kunnskap innenfor feltet for å få et innblikk i mulighetene som finnes.

Med utgangspunkt i problemstillingen, har vi samlet informasjon om Kystvakten som organisasjon, og vi har sett på fordeler og utfordringer med forskjellige typer drivstoff som vi ser på som relevante. Vi har også presentert de fremtidige kravene og ambisjonene til IMO. Videre har vi sett regelverket, Kystvaktens behov og de ulike drivstoffalternativene i lys av hverandre, og avslutningsvis kommet med egne tanker om det vi ser på som aktuelle løsninger for fremtiden.

Oppgavens konklusjon er todelt. Ene delen presenterer alternativer vi mener Kystvakten kan ta i bruk på sine neste generasjons fartøyer og andre delen ser på muligheter enda lengre frem i tid. Oppgaven presenterer LNG-hybride fremdriftssystemer som en mulig løsning i første omgang, før ammoniakk, hydrogen og kanskje atomkraft kan ta over i senere tid når man vil oppnå IMOs klimaambisjon om nullutslipp.

Abstract

The purpose of this bachelor thesis is to examine the ability of the Norwegian coast guard to equip and design their vessels for future mission necessities while maintaining a sustainable environmental profile. Regulations are constantly tightened; new emission targets are set, and the environmental focus is steadily increasing. This thesis will therefore look at various alternative fuels like LNG, LPG, Methanol, Electricity, Biofuels, Ammonia, Hydrogen and Nuclear power to shed light on the benefits and challenges of the respective fuels. We will further link these fuel properties to the coast Guards mission portfolio to see if any of the alternatives satisfy the environmental requirements without compromising the Coast Guard operational demands.

This thesis is done as a literature study, where in addition we have conducted qualitative interviews of persons with relevant knowledge in this field. This was done with the intention to gain alternative insight into the opportunities that exist.

In the process of answering our primary research questions, we have gathered information about the coast guard as an organization, while also researching the advantages and challenges of the alternative fuels we find relevant. Finally, we combined our results to formulate our own thoughts on what we see as possible solutions for future Coast Guard vessels.

The conclusion of the thesis is twofold. The first part presents alternatives we believe the Coast Guard can implement for the next generation vessels while the second part looks at opportunities even further ahead. This thesis presents LNG-hybrid propulsion systems as a possible short-term solution, and ammonia, hydrogen and perhaps nuclear power as a later long-term solution when IMO's climate ambition for zero emissions is to be achieved.

Akronymer og ordforklaringer

Anaerob – Oksygenfri
Brenselcelle - Generering av energi gjennom elektrodereaksjoner i en elektrokjemisk celle
Bunkers - Drivstoff
Bærekraftig - Handlinger som imøtekommer dagens behov uten å ha negativ innvirkning for kommende generasjoners behov
CO₂ - Karbondioksid
Dampreforming - Produksjon av hydrogen med en kjemisk prosess ut ifra hydrokarboner
Deep Sea shipping - Større havgående fartøy som går lange interkontinentale ruter med faste timeplaner og havner
Densitet - Et mål på tyngden av et stoff. Synonymt med massetetthet
Det grønne skiftet - Omhandler hvordan Norge skal bli et lavutslippsland innen 2050 etter FNs bærekraftmål
Diesel elektrisk - Fremdriftssystem hvor en diesel motor benyttes til å drive en generator som produserer elektrisitet for fremdrift
DNV - Det Norske Veritas
DP operasjon - System for nøyaktig posisjonskontroll ved hjelp av skipets fremdriftssystemer og posisjonsreferansesystemer
Drop-in fuel - Drivstoff som kan brukes i samme system og blandes inn i annet primær drivstoff
ECA – Emission Control Area - utslippskontrollområder
Energibærer - Stoff eller materiale som frigir energi i en kjemisk reaksjon til forbruk et senere tidspunkt eller annen lokasjon
Energitetthet - Energiinnholdet delt på volumet til stoffet
FAME - Raps Metyl Ester
Flammepunkt - Laveste temperatur brennbart stoff avgir gasser som kan antennes av ekstern kilde
Fornybar energi - Energikilder som fornyes naturlig av naturen, i en hastighet som overgår forbruket til mennesker. Eksempelvis vindkraft og solenergi
HVO - Hydrogenbehandlet vegetabiliske oljer

Hybrid - Kombinasjon av flere drivstoffkilder for fremdriftssystem
Hydrogenerering - Tilføring av hydrogen inn i andre organiske eller uorganiske forbindelser
Hydroksid – Hydrogeninnholdende kjemiske forbindelser
IGF koden - International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels
IKV - Indre Kystvakt
IMO - International Maritime Organization
Karbonsøytralt - Utslipp som ikke fører til netto økning av CO2 innholdet i atmosfæren.
Katalysator - Stoff som øker hastigheten i en kjemisk reaksjon
Kokepunkt - Temperatur der et stoff går over fra flytende fase til gassfase (avhengig av trykk)
Konvensjon - Alminnelig anerkjent og vedtatt retningslinje, normer eller regler
kPa - Kilopascal
Kryogenikk - Læren om å oppnå og opprettholde ekstremt lave temperaturer. Regner gjerne fra flytende luft (-196°C) ned til absolutte null punkt (-273,15°C)
KV - Kystvakten
LBG – Liquefied biogass
LNG - Liquefied natural gas / flytende naturgass
LPG - liquefied petroleum gas
MARPOL - International convention of the Prevention of Pollution from Ships (“The marine fisheries of Cambodia”)
MDO - Marine Diesel Oil
MGO - Marine Gas oil
NOx - Nitrogenoksider
Partiell oksidasjon - Kjemisk prosess hvor forskyvning av elektroner forekommer

Peak Shaving - Operativ benyttelse av batterihybrid system for å fjerne behovet for oppstart av ekstra generator
Power Smoothing - Operativ benyttelse av batterihybrid system hvor belastning på motorer opprettholdes til et gjennomsnitt med hjelp av batterier
PWC - PricewaterhouseCoopers
SAR - Search and Rescue
Skrubbere - Rensesystem som kan monteres på motorer for å redusere utslipp
Short Sea shipping - Fartøy som opererer i begrensede geografiske områder med relativt korte ruter og hyppige opphold
Smeltepunkt - Temperatur der fast stoff går over til væskeform
SO_x - Svoveloksider
Vannelektrolyse - Vann blir spaltet ved hjelp av elektrisitet til Hydrogen og Oksygen
VOC - Flyktige organiske forbindelser
Walk away safe reaktor - At reaktoren uten menneskelig hjelp vil roe seg ned å gå over til sikkerhetsmodus om noe uforutsett skulle inntreffe
YKV - Ytre Kystvakt

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Akronymer og ordforklaringer	iv
Innholdsfortegnelse	vii
Figurliste	viii
1 Innledning	1
1.1 Presentasjon av Kystvakten.....	1
1.2 Bakgrunn	2
1.3 Problemstilling	3
1.4 Formål	3
1.5 Avgrensning av oppgaven.....	4
2 Arbeidsmetode.....	4
2.1 Metode.....	4
2.2 Forkunnskap og litteraturstudie.....	4
2.3 Kvalitativt intervju	5
3 Hoveddel / Kunnskapsgrunnlag.....	6
3.1 Regelverk	6
3.2 Utslippsstoffer	8
3.3 Kystvaktens operative behov	9
3.4 Presentasjon av alternative drivstoff	10
3.5 Grafisk oppsummering	25
4 Intervju.....	26
4.1 Intervjuobjektene.....	26
5 Drøfting	27
6 Resultat.....	36
6.1 Mulighet 1, Neste generasjons fartøy.....	36
6.2 Mulighet 2, Nullutslipp	37
6.3 Konklusjon	37
6.4 Videre arbeider	38
Referanser	39

Figurliste

Figur 1 IMO's klimaambisjoner. (Klima og miljødepartementet, 2019)	7
Figur 2 LNG produksjon og bruk (NTNU Ocean Training AS, 2022)	12
Figur 3 grafisk forklaring av Peak Shaving (Buitendjik, 2020)	16
Figur 4 Grafisk forklaring av powersmoothing (Buitendjik, 2020)	17
Figur 5 Grafisk forklaring av batteridrift (Buitendjik, 2020)	17
Figur 6 Klassifisering av Hydrogen (PWC, 2019)	22
Figur 7 Grafisk sammenligning av maritime drivstoff (DNV GL, 2019)	25
Figur 8 Grafisk sammenligning av alternative drivstoff (DNV GL, 2019)	26
Figur 9 Skipet Havila Capella (Skipsrevyen, u.d.)	32

1 Innledning

1.1 Presentasjon av Kystvakten

Kystvakten er en avdeling underlagt sjøforsvaret. Selv om avdelingen regnes som en del av det militære forsvaret av Norge, står den i hovedsak for å løse Forsvarets maritime fredsoperative oppdrag. Kystvakten regnes som statens myndighetsutøver på havet og er kontinuerlig på vakt for å bidra til sikkerhetspolitisk stabilitet, ressursforvaltning og beredskap i de norske havområdene. Ifølge årsrapporten fra Kystvakten fra 2020 gjennomførte de 2757 oppdrag av ulike typer (Forsvaret, u.d.).

Kystvaktens slagord er «Alltid til stede, klare med det vi har». Med begrenset politi, inspeksjons- og kontrollmyndighet og rett til å iverksette tvangstiltak på vegne av flere statlige aktører og sivile myndigheter, er deres oppgaver suverenitetshevdelse, fiskeri- og fangstoppsyn, ressurskontroll, tolloppsyn og miljøvern.

I tillegg til dette er KV en viktig del av søk- og redningsberedskapen (SAR) for sjøfarende innen norsk økonomisk sone (Forsvaret, u.d.).

1.1.1 Organisasjonens oppbygging

KV består av en flåte på 15 fartøyer. 5 av fartøyene hører til under *Indre Kystvakt*, mens de 10 resterende opererer under *Ytre Kystvakt* og er havgående fartøyer. 4 av disse er helikopterbærende. I januar 2020 fikk KV ansvaret for den statlige slepebåtberedskapen langs kysten, og fikk dermed tilført 2 nye fartøyer i flåten, «KV Jarl» og «KV Bison» (Forsvaret, u.d.).

1.1.2 Indre Kystvakt (IKV)

IKV består av de 5 fartøyene i Nornen-klassen, KV «Nornen», KV «Farm», KV «Heimdal», KV «Njord» og KV «Tor». Disse opererer hovedsakelig innenfor 12 nautiske mil fra kysten og har i disse områdene ulike tilsyns-, kontroll- og aksjonsfunksjoner på vegne av en rekke myndigheter og etater som Politiet, Fiskeridirektoratet, Sjøfartsdirektoratet og Tolletaten med flere (Forsvaret, u.d.).

1.1.3 Ytre Kystvakt (YKV)

YKV består av fartøyene i Barentshav-klassen, KV «Barentshav», KV «Bergen», KV «Sortland», og Nordkapp-klassen, KV «Nordkapp», KV «Senja» og KV «Andenes». I tillegg ligger også fartøyene KV «Svalbard», KV «Harstad», KV «Jarl» og KV «Bison» under denne klassen. Innen 2025 er det planlagt at Nordkapp-klassen skal byttes ut av 3 nye fartøyer i Jan Mayen-klassen. Det første fartøyet, KV «Jan Mayen», skal være leveringsklart høsten 2022.

YKV opererer i hele Kystvaktens område, hovedsakelig i områdene underlagt norsk jurisdiksjon. Innenfor norsk-økonomisk sone, i fiskerisone ved Jan Mayen, i fiskevernesonen ved Svalbard, samt i internasjonale farvann under «Den nordøstatlantiske fiskerikommisjon» (NEAFC-organisasjonen), er KV primær myndighetsutøver (Forsvaret, u.d.).

1.1.4 Dagens fremdriftssystem

Dagens KV-fartøyer er stort sett utrustet med dieselmotorer av ulike varianter. Fartøyene i Nornen-klassen har et dieselelektrisk maskineri. Deres kraftstasjon er sammensatt av tre Cummins hovedmotorer, en KTA19DM1 på 485 kW og to KTA 38DM1 hver på 970 kW (Skipsrevyen, u.d.).

Det er kun fartøyene i Barentshav-klassen som skiller seg ut med en hybridløsning.

Maskineriet på de tre søsterskipene KV «Barentshav», KV «Bergen» og KV «Sortland», er sammensatt av fire gassmotorer som til sammen gir en effekt på ca. 3200 kW.

Gassgeneratorsettet består av 3 x GS16R hver på 865 kW levert av Mitsubishi og en GS12R på 642KW. I tillegg har de en diesel hovedmotor på 4000 kW (Skipsrevyen, u.d.).

1.2 Bakgrunn

Vi har valgt å kalle oppgaven «Hvordan kan Kystvakten utruste sine fartøyer for optimal oppdragsløsning og bærekraftig miljøprofil». Vi ble utfordret av Rune Stenevik i KVKS til å se nærmere på denne problemstillingen. Dette ser vi på som aktuelt på grunn av dagens miljøkritiske situasjon. Fordi Kystvakten er underlagt samme reglement som andre fartøyer når de opererer i fredstid, er det viktig å vurdere andre drivstoffalternativer for å kunne møte fremtidens miljøutfordringer.

Regelverket både regionalt i Norge og internasjonalt strammes inn. Det er spesielt fokus på å redusere utslipp av svoveloksider (SO_x), nitrogenoksider (NO_x), flyktige organiske forbindelser (VOC), krav til drivstoffkvalitet og klimagassutslippet (MARPOL Annex VI) (Klima og miljødepartementet, 2019).

Det nye regelverket gjør at Kystvakten må tenke nytt for å imøtekomme kravene, samtidig som de skal klare å opprettholde den operative kapasiteten. Det finnes flere muligheter for dette. For å imøtekomme de gjeldende og kommende kravene, har løsningen frem til nå vært å redusere utslippene fra eksisterende drivstoff med avanserte rensesystemer. KV opererer også med fartøyer som benytter seg av LNG. Om man ser tilbake i nyere tid så ser man at det er kommet en rekke negative sanksjoner i form av avgifter mot sjøtrafikken. Dette gjør at det også er en økonomisk motivasjon for Kystvakten å se mot andre drivstoffkilder.

1.3 Problemstilling

Etter ønske fra Kystvakten, vil vi se nærmere på hvilke muligheter som eksisterer for fremtidige fartøyer for å få en bærekraftig miljøprofil uten at det går på bekostning av den operasjonelle driften. I oppgaven presenterer vi dagens situasjon, drivstoffene som Kystvakten benytter, og dagens gjeldende regelverk. Dette for å få forståelse av hva referansepunktene er når vi sammenligner med de alternative løsningene Kystvakten kan benytte seg av i fremtiden.

Vi har derfor valgt følgende problemstilling:

Hvordan kan fremtidens Kystvaktfartøy designes for optimal oppdragsløsning og fremtidsrettet miljøprofil?

1.4 Formål

Bakgrunnen for at Kystvakten ønsker å se på alternativer til drivstoffkilder, er miljøutfordringene som tradisjonelt drivstoff fører med seg, både økonomisk og miljømessig. Formålet med denne oppgaven er derfor å belyse hvilke muligheter som er tilgjengelig med dagens og kommende teknologi for å få en bærekraftig miljøprofil som møter IMOs nåværende og kommende krav uten at det går på bekostning av oppdragsløsningen.

1.5 Avgrensning av oppgaven

For å avgrense oppgaven og at den ikke skal bli for teknisk, har vi valgt å se på de ulike temaene vi tar opp på et mer overordnet nivå. Det vil for eksempel være mulig å skrive en egen dedikert oppgave om hvert respektive drivstoff vi har drøftet i denne oppgaven. Vi er derfor velger derfor å avgrense oppgaven på denne måten, og vil komme med anbefalinger til videre arbeider avslutningsvis i oppgaven. Vi har tatt utgangspunkt i drivstoffene som er beskrevet i DNV GLs rapport med navn «*Assessment of selected alternative fuels and technologies*». Med den kunnskapen vi har tilegnet oss gjennom å arbeide med oppgaven, ser vi på disse som de mest realistiske for et fartøy som skal kunne operere for Kystvakten. I tillegg har vi valgt å ta utgangspunkt i fartøyene i YKV når vi skal komme frem til et resultat av drøftingen. Dette begrunnes i at YKV har den største utfordringen når det kommer til et mer miljøvennlig drivstoff på grunn av de store fartsområdene.

2 Arbeidsmetode

2.1 Metode

I påfølgende avsnitt skal vi gjøre rede for metoden gruppen har benyttet for å besvare problemstillingen. I oppgaven vil vi forsøke å finne et drivstoffalternativer som evner å ivareta Kystvaktens funksjon og oppdragsløsning, og samtidig med en målsetning om minst mulig miljøbelastning. Oppgaven er i stor grad basert på publisert litteratur, men vil også bli supplert med kvalitative intervju av relevante personer med kunnskap innenfor fagfeltet.

2.2 Forkunnskap og litteraturstudie

Gruppens forkunnskaper for denne oppgaven kommer fra tidligere tjeneste om bord i Kystvaktens fartøyer, samt teoretisk kunnskap som vi har tilegnet oss gjennom tre-årig nautikkstudie ved NTNU i Ålesund. Av emner vi har hatt i studieløpet, kan «Drift og vedlikehold av skip», «Varmer og strømningslære» og navigasjonsfagene 1 til 4, anses som de mest relevante for oppgaven. Gjennom hele studieløpet har det blitt gitt et innblikk i hvordan situasjonen i den maritime bransjen er i dag, men også hvordan den stadig utvikler seg.

Videre har gruppen aktivt søkt etter litteratur som omhandler relevante temaer som oppgaven kan dra nytte av. Dette for å gjøre oss som forfattere av oppgaven bedre rustet til å diskutere problemstillingen, men også for å opparbeide oss mer kunnskap når det kommer til

oppgaveskriving på bachelornivå. Det er i tillegg blitt lest andre bacheloroppgaver for å se hvordan oppbygning og utførelse kan løses på forskjellige måter.

På grunn av at oppgavens tema baserer seg på teknologi som stadig er i utvikling, kan mye av informasjonen man kommer over på internett være delvis eller helt feilaktig. Vi anser det som viktig å hente relevant informasjon og nøkkeltall fra sikre kilder innen det maritime virksomhetsområdets egne nettsider og litteratur. Denne informasjonen oppdateres kontinuerlig, er kvalitetssikret, og er anerkjent i det maritime miljøet. Alle kilder som er brukt og referert til i oppgaven er etter gjennomgang blitt vurdert av gruppen som pålitelige. Der hvor vi direkte bruker informasjon fra tredjeparts kilder vil disse bli referert til og opplistet i oppgavens referanseliste. For å kvalitetssikre kildene, ble også søkemotoren «google scholar» og NTNUs nett-bibliotek brukt. Eksempel på søkeord som ble benyttet er «Alternativ maritime fuels», «LNG Maritime Propulsion», «Hybrid propulsion system», «Alternative fremdriftssystem for maritim bruk». Slike søkeord gav oss flere relevante kilder både i form av bacheloroppgaver med lignende temaer, men også faglitteratur om alternative drivstoffkilder. Kildene er presentert i litteraturlisten.

For å få en bedre forståelse for oppgaveskriving, brukte vi boken «En enklere metode» skrevet av Ann Kristin Larsen. Boken gav oss en grunnleggende innføring i samfunnsvitenskapelig forskningsmetode. Det er ikke undervist i metodefag i studieforløpet.

I oppgaven blir det presentert figurer, bilder og illustrasjoner. All informasjon som er hentet fra en ekstern kilde er referert til i bildetekst/figurttekst/tabelltekst og til slutt også i litteraturlisten.

2.3 Kvalitativt intervju

For å supplere litteraturstudiet vårt, valgte vi å gjennomføre flere kvalitative intervjuer. Når en utfører kvalitative undersøkelser, er man mer fleksibel og det er rom for å utvikle undersøkelsen underveis (Larsen, 2017). Vår tilnærming til intervjuutvelgingen kaller Larsen for snøballmetoden. Boken sier følgende: «*Her tar forskeren kontakt med personer som han/hun antar kan mye om det aktuelle temaet. Disse personene kan igjen opplyse om andre personer som det kan være lurt å snakke med*» (Larsen, 2017). Dette ble tilfelle i oppgaven vår da både veileder fra NTNU og vår kontakt person i Kystvakten hadde flere gode intervjuobjekter å komme med.

Det var denne fleksibiliteten med intervjuobjektene som gjorde at vi valgte å gå for den kvalitative metoden. Et kvalitativt intervju tillater at vi kan tilpasse oss intervjuobjektet og mer eller mindre ha en åpen og flytende samtale som vi styrer. Dette kalles for en asymmetrisk relasjon, der forskeren styrer intervjuet (Larsen, 2017). Fordi intervjuobjektene våre innehar mer kunnskap i deres fagfelt sammenlignet med oss studenter, er det hensiktsmessig for oss å holde intervjuene som «ustrukturerte intervju med åpen intervjuguide» (Larsen, 2017). Dette gjør at vi kan la intervjuobjektet prate fritt om de temaene som vi tar opp, og at intervjuobjektene kan fortelle om det de har kunnskap om. Vi bruker intervjuguiden vår mer som en sjekklister for oss selv slik at vi vet at alle relevante temaer blir besvart før intervjuet avsluttes. Det vi må passe på er at intervjuet holder seg til de temaene vi ønsker belyst for å besvare oppgaven.

Etter at intervjuene er gjennomført må dataen bearbeides. Her har gjort lydopptak av intervjuene som vi deretter har transkribert. Vi valgte å transkribere intervjuene fordi det gir et godt datagrunnlag og fordi det bidrar til høyere validitet og reliabilitet. Det er også viktig for kvaliteten på intervjuet (Larsen, 2017).

Intervjuene blir presentert i drøftingsdelen og sett i sammenheng med egne tanker. På denne måten får vi belyst ulike synspunkter og mulige løsninger på problemstillingen. Da det finnes lite informasjon om kjernekraft med dagens teknologi som fremdriftssystem, har vi valgt å bruke intervjuet med Jan Emblemsvåg i kunnskapsgrunnlaget for dette temaet. Denne delen er derfor basert på hans subjektive fremstilling.

3 Hoveddel / Kunnskapsgrunnlag

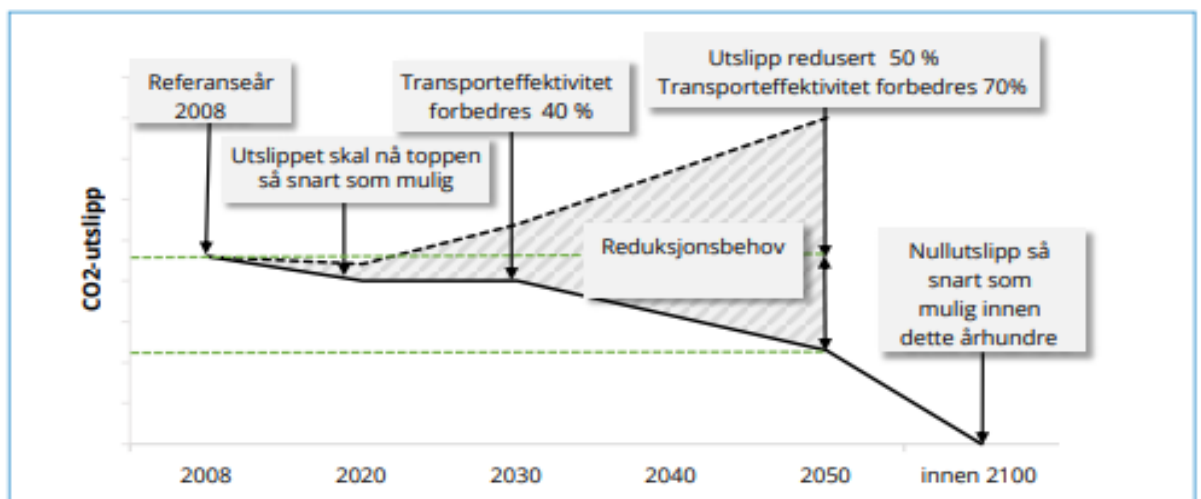
3.1 Regelverk

3.1.1 IMO

IMO er en forkortelse for «International Maritime Organization» og er et organ under FN som hovedsakelig er satt til å drifte det globale maritime regelverket innen sikkerhet og miljø. IMO jobber aktivt med å forebygge og kontrollere forurensing forårsaket av skip. Dette gjenspeiles i at 21 av de 51 traktatene IMO har vedtatt er miljøfokuset (Sjøfartsdirektoratet, u.d.).

Reglementet som begrenser forurensing med opphav fra skip og fartøy stammer fra konvensjonen med navn «International Convention on the Prevention of Pollution from Ships». Mye av fokuset til IMO, og derfor også den Norske regjeringen, ligger i å redusere utslipp av SO_x, NO_x og VOC (Klima og miljødepartementet, 2019). Norge ledet blant annet forhandlingene som resulterte i IMOs konkrete ambisjon om å halvere klimagassutslipp fra internasjonal skipsfart innen 2050. Videre har regjeringen også sagt at de skal jobbe for å halvere utslippene fra innenriks sjøfart og fiske innen 2030. Dette planlegger regjeringen å få til ved å stimulere lav- og nullutslippsløsninger i alle fartøyskategorier. Regjeringen sier at de vil videreutvikle, og ved behov finne nye virkemidler for å nå dette målet. Satsingen innen den maritime næringen inngår også i Norges klimaregnskap under Parisavtalen (Klima og miljødepartementet, 2019).

I Figur 1 ser vi en grafisk fremstilling av IMOs miljøambisjoner for den maritime miljøsituasjonen.



Figur 1 IMOs klimaambisjoner. (Klima og miljødepartementet, 2019)

3.1.2 MARPOL

MARPOL står for «International Convention for the Prevention of Pollution from Ships» og er konvensjonen som dekker alt av forurensning og miljøpåvirkning som kommer fra skipets drift eller ved ulykker. Konvensjonen inneholder blant annet reguleringer skrevet med hensikt å forhindre og minimalisere forurensing fra skip (IMO, u.d.).

MARPOL er delt inn i 6 deler:

- Annex I: Pollution of the Sea by Oil (forurensing av havet fra oljer)
- Annex II: Pollution of the Sea by noxious Liquid substances in bulk (forurensing av havet fra skadelige væsker i bulk)
- Annex III: Pollution of the Sea by harmful substances in package form (forurensing av havet fra skadelige stoffer i fast form)
- Annex IV: Pollution of the sea by sewage from ships (forurensing av havet fra kloakk)
- Annex V: Pollution from Garbage from ships (forurensing av havet fra søppel)
- Annex VI: Air pollution from ships (luftforurensing fra skip)

3.1.3 Emission Control Area

Det finnes to typer utslipps- og drivstoffkvalitets-kontrollerte områder som er definert i Annex VI. De første kravene gjelder globalt. De andre gjelder områder hvor strengere krav til for eksempel SO_x, NO_x, VOC er strengt regulert. Disse kalles for Emission Control Areas (ECA).

Mest relevant for Kystvakten er Nordsjøen som er definert som et eget ECA område (SO_x: 2005/2006; NO_x: 2016/2021). Det kan komme til å bli flere slike områder i Kystvaktens fartsområde, som for eksempel i enkelte fjorder i Norge.

3.2 Utslippsstoffer

I denne delen av oppgaven ønsker vi på en enkel måte å presentere utslippsstoffene IMO fokuserer på. Oppgaven tar for seg hvordan Kystvakten skal kunne få en mer bærekraftig miljøprofil og veien til målet innebærer og kutte CO₂-, NO_x- og SO_x- utslipp fra fartøyene sine. Vi vil derfor i følgende delkapittel kort forklare hva disse stoffene er, hvordan de oppstår og hva man kan gjøre for å redusere mengden av dem. IMO stiller krav til alle disse stoffene i flere konvensjoner under MARPOL.

3.2.1 CO₂

Karbondioksid (CO₂) er en kjemisk forbindelse som dannes i ulike forbrenningsprosesser og forbrenning av stoffer som inneholder karbon. Den har kjemisk formel CO₂. Stoffet finnes naturlig i atmosfæren og er ikke farlig for mennesker i mindre mengder. Utfordringen er at det menneskeskapt karbondioksidet overskrider den naturlige CO₂-balansen på kloden vår. Ved forbrenning av fossilt brensel, som for eksempel marin dieselloleje, tilfører man mer

karbondioksid i det naturlige kretsløpet. Karbondioksidutslipp er den mest kritiske formen for klimagassutslipp på grunn av den lange levetiden CO₂ har i atmosfæren og at dette øker drivhuseffekten (Olerud & Lahn, 2020).

3.2.2 NO_x

Nitrogenoksider (NO_x) er en kjemisk forbindelse som oppstår i forbrenningsprosessen av fossilt brensel ved høye temperaturer. NO_x er en fellesbetegnelse for nitrogenoksidene NO og NO₂ (Nox-Fondet, u.d.).

NO_x påvirker miljøet og menneskers helse negativt. Konsekvensene for mennesker kan være svekket lungefunksjon og forverring av Astma. Dette stoffet er ofte forbundet med det som lager «smog» og svevestøv i byer og havner. En av grunnene til å ta i bruk landstrøm er for å kutte utslippene av nitrogenoksider når fartøyet ligger til kai (FHI, 2019).

3.2.3 SO_x

SO_x er forkortelsen til svoveloksider og oppstår ved forbrenning av svovelholdige drivstoff. Maritime drivstoff har normalt sett relativt høyt svovelinnhold sammenlignet med konvensjonelt drivstoff som brukes på land. Svovel påvirker miljøet negativt på den måten at svoveloksider og nitrogenoksid reagerer med vann i atmosfæren. Da dannes det sure forbindelser som faller til jorden som sur nedbør. Før stoffene faller til jorden vil det oppstå svevestøv som bidrar til «smog» og dårligere sikt. Stoffet har også skadelig effekt på mennesker og risikoen kan i maritim setting være større i havner der det er flere utslippskilder på et mindre område (Sjøfartsdirektoratet, 2022).

3.3 Kystvaktens operative behov

Kystvakten gjennomførte 2757 oppdrag i 2020 (Sjøforsvaret, 2021). Blant disse var ulykker og havarier, og flere ble avverget gjennom deltagelse i 164 søk og redningsaksjoner. 1. januar 2020 tok Kystvakten over slepeberedskapen og deltok derfor med 177 utførte slep dette året. Oppdragsporteføljen til Kystvakten dekker altså et bredt spekter av operasjonelt behov sammenlignet med for eksempel en ferge som går fast havn-havn anløp. I tillegg til en variert oppdragsportefølje er farvannet Kystvaktens fartøyer skal operere i meget variert. I Kystvaktens årsrapport fra 2020 forteller de at torskefisket kan foregå helt opp til 81°Nord.

Dette kan bidra til en større utfordring når det kommer til å finne alternative drivstoff som kan benyttes på deres fartøy.

Det er viktig å skille mellom short-sea og deep-sea fart. Basert på dagens teknologi, har deep-sea fartøy færre alternativer når vi sammenligner det med short-sea (DNV GL, 2019). Dette kan vi se for eksempel ved at det allerede er kommet helelektriske batteridrevne ferger, men at disse ikke har kapasiteten til å kunne gjennomføre seilaser over lengre distanser. I kapittel 1.1 forteller vi om oppbygningen til Kystvakten. Man kan trekke likheter mellom de store YKV skipene og deep-sea shipping. De skal ha muligheten til å nå langt, og dette gjenspeiler seg i valg av utrustning og størrelse på fartøyet. På samme måte er short-sea shipping definert av DNV som fartøy som typisk opererer innenfor begrensede geografiske områder på relativt korte ruter, og med hyppige havneopphold. Denne typen operativ drift har lavere energibehov sammenlignet med store, havgående fartøy (DNV GL, 2019). IKV er mindre fartøy som er egnet til å operere i grunnere og trangere farvann i nærmere tilknytning til land. IKV kan derfor være enklere å utruste med nyere teknologi tidligere.

YKV sitt fartsområde dekker større havområder og lengre distanser. Deep-sea shipping er beskrevet av DNV som store, havgående fartøy som dekker lange ruter, og som følger faste ruter og timeplaner. Dette gjør at fartøyene krever en energikilde om bord som har tilfredsstillende energitetthet for å frigjøre plass til last samtidig som det dekker energibehovet for hele seilassen. Kystvakten er ikke spesielt utrustet for lastetransport og følger ikke faste ruter og timeplaner. Til tross for dette, er de ute på lengre patruljer og trenger plass til annet oppdragsrelatert utrustning som for eksempel helikopterhangar.

3.4 Presentasjon av alternative drivstoff

3.4.1 Dagens drivstoff

Ifølge tall fra DNV fra 2019, er marin diesellole det mest brukte drivstoffet i den maritime bransjen. Den bidrar også til ca. 3% av det globale menneskeskapte CO₂-utslippet (DNV GL, 2019).

Marin diesellole og tungolje blir i dag brukt på de fleste sjøgående fartøyer. Dette er fordi det er et godt utprøvd drivstoff som bruker kjent teknologi, er lett tilgjengelig, og er økonomisk gunstig sammenlignet med alternativene (DNV GL, 2019). Til tross for dette har oljebasert drivstoff en større miljømessig påvirkning sammenlignet med de alternativene vi skal ta for

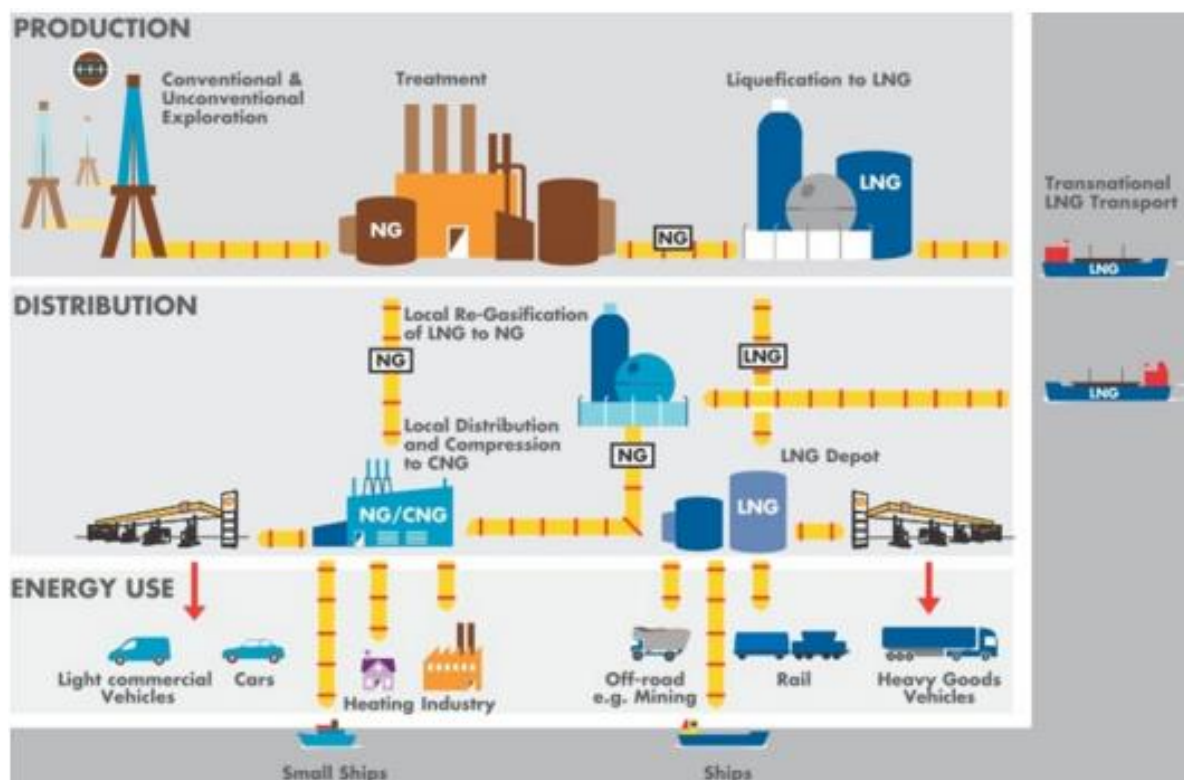
oss i påfølgende kapittel. På grunn av de nye reglene er ikke bruken av dette drivstoffet lenger mulig uten å ta i bruk ny teknologi. Skal man bruke denne typen drivstoff i fremtiden, må det for eksempel tas i bruk såkalte «skrubbere». Dette er en teknologi som renser eksosen for svovelinnholdet.

Som beskrevet i kapittel 3.1.1 har IMO kommet med nye mål og ambisjoner, og derfor også nye restriksjoner. Som et resultat av dette må den maritime bransjen se etter alternative drivstoff som kan hjelpe med å nå disse målene. På grunn av det nye miljøfokusset og regelverket som blir laget er det ikke usannsynlig at man vil få en nedgang i bruken av tungolje og marin dieselolje og en fremvekst av alternative måter å drive fartøyene. Dette vil også Kystvakten måtte forholde seg til. Kystvakten er i dag stort sett driftet av tradisjonelt drivstoff. Det er kun Barentshavklassen som skiller seg ut og driftes av en hybridløsning med LNG. Derfor vil også Kystvakten bli nødt til å tenke nytt om de skal nå de nye målene fra IMO.

3.4.2 LNG

LNG står for «Liquefied Natural Gas», og er en naturgass som er blitt nedkjølt til -163°C , slik at den går over til flytende form. Produksjonen foregår i store deler av verden hvor hovedformålet til etablert produksjon har vært energiproduksjon. Gassen kommer fra olje- og gassfelt, så dette er ikke et fornybart drivstoff. Gassen består hovedsakelig av Metan (90-100%) men kan også inneholde små deler av andre stoffer som for eksempel nitrogen, propan og butan.

Ved at gassen kjøles ned til flytende form oppnår man mindre volum slik at man klarer å frakte større mengder. Volumet reduseres 600 ganger når det går fra gass til væske (NTNU Ocean Training AS, 2022). Dette gjør at gassen kan egne seg som et drivstoff til fremdriftssystemer om bord på fartøy. I senere tid har LNG blitt brukt i økende grad som drivstoff, mye på grunn av de miljømessige fordelene dette bringer med seg.



Figur 2 LNG produksjon og bruk (NTNU Ocean Training AS, 2022)

3.4.2.1 Fordeler med LNG

LNG er ansett som et miljøvennlig og energieffektivt drivstoff som har fått en høy sikkerhetsstandard. Den er mye brukt som alternativt drivstoff i «hybride» fremdriftssystemer, som for eksempel slik Kystvakten har utrustet Barentshavklassen.

Utviklingen av LNG fartøyer startet allerede tilbake på 2000-tallet, og behovet for regelverk kom tidlig. IMO publiserte først retningslinjer i 2009, og fikk senere i 2015 på plass en egen internasjonal kode som tok for seg sikkerhet på alle skip som brukte gass, og andre gasser med lavt flammepunkt som drivstoff om bord. Koden går under navnet IGF koden og tar for seg design, konstruksjon, operasjon, sikkerhet og miljø. LNG blir derfor en av de løsningene vi tar for oss i denne oppgaven som allerede har et internasjonalt regelverk på plass.

Kystvakten innehar egen erfaring med dette stoffet som energibærer da de allerede opererer med flere fartøyer utrustet med LNG.

Den store motivasjonen til å ta i bruk LNG slik Kystvakten har gjort på noen av sine fartøyer er de miljømessige fordelene. Motorer som benytter seg av ren LNG fjerner så godt som alt av svovel og partikkelutslipp. Videre blir utslippet av CO₂ redusert med 26% og utslippet av

nitrogenoksid (NO_x) er redusert med hele 80-90%. Dette gjør at LNG kvalifiseres til et bedre alternativ miljømessig (NTNU Ocean Training AS, 2022).

3.4.2.2 utfordringer med LNG

Utfordringer som ofte knyttes opp mot LNG er mangel på en effektiv infrastruktur, utfordringer relatert til transport, lagring og operasjonelt bruk, og den relativt lave energitettheten.

På grunn av egenskapene til LNG får vi følgende operative utfordringer (NTNU Ocean Training AS, 2022):

- Gasslekkasjer gir risiko for eksplosjon og forgiftning av personell om bord
- LNG lekkasjer gir risiko for termisk skade på materiell, eksplosiv fare og fare for alvorlige frostskaider på personell
- LNG er avhengig av avanserte trykksystemer og man får derfor risiko forbundet med trykkoppbygning
- Systemene som styrer et LNG-fremdriftssystem, er ansett som mer krevende enn på vanlige konvensjonelle dieselmotorer.
- Energitettheten på 60% av vanlig marin dieselolje gjør at man må ha med seg mer LNG for å komme like langt.
- Lagring av LNG er mer utfordrende på grunn av tank-design og gassens egenskaper

Teknologien er kommet langt siden det første fartøyet kom på 2000-tallet, og mye av disse utfordringene er løst eller forbedret med nyere teknologi og strenge sikkerhetskrav som er detaljert forklart i IGF-koden. Man kan blant annet nevne dobbel barriere sikkerhetssystemer, sikker ventilasjon, samt fremskritt på tankteknologi. Videre har også infrastrukturen til LNG kommet langt på vei. Mest relevant for Kystvakten vil være Norge, og det er kommet flere lokasjoner langs kysten hvor man kan få bunkret LNG direkte fra produksjonsanlegg. I mindre mengder kan også LNG mottas i de fleste havner ved hjelp av LNG tankbiler eller til havs via LNG tankere (NTNU Ocean Training AS, 2022).

En av usikkerhetsmomentene ved LNG er såkalt «Methane slip». Dette er lekkasjer av uforbrent drivstoff. Metan er meget skadelig for atmosfæren og risikoen må derfor minimeres.

Selv om LNG ser ut til å være et bedre alternativ miljømessig sammenlignet med dagens MDO, så er det ikke et fornybart drivstoff. Det er fortsatt utslipp knyttet til LNG og det vil derfor ikke være en permanent løsning når man på sikt ønsker nullutslipp.

3.4.3 LPG

LPG er betegnelsen for alle typer blandinger av Propan og Butan i flytende form, men kan også være en ren konsentrasjon av en av disse. Blandingen brukes for å oppnå ønskede metnings- trykk- og temperaturegenskaper. Gassen utvinnes av våtgassen i et petroleumfelt, og blir omgjort til flytende form ved hjelp av kondensasjon. For å forstå forskjellen mellom LNG og LPG, blir LNG laget av tørrgass som består av metan (DNV GL, 2019). Ved fullstendig forbrenning avgir LPG primært vanndamp (H₂O) og karbondioksid (CO₂) (Kosan Gas, u.d.). Normalkokepunktet for propan er -42°C, mens for butan er det -0,5°C. Dette vil si at ved normal temperatur og trykk vil LPG opptre som gass (Hofstad, 2020).

3.4.3.1 Fordeler med LPG

LPG blir sett på som et mer miljøvennlig drivstoff sammenlignet med ordinære flytende brenslere. Ved forbrenning slippes det ut 16% mindre CO₂ enn ved forbrenning av for eksempel heavy fuel oil (HFO). I tillegg er prisen for å installere et LPG-anlegg grovt sett halvparten av kostnadene for å installere et LNG-anlegg. Dette grunner i at LPG ikke har de samme kryogeniske utfordringene som LNG på grunn av sitt høyere kokepunkt (Ship Technology Global, u.d.).

Utslippsnivået til gassen tilfredsstillere IMO sine krav, det vil derfor ikke være behov for skrubberer. LPG representerer også en vei mot nullutslipp ved at man benytter seg av fornybar LPG. Dette gjøres ved at man benytter bioLPG som vi videre presenterer i kapittel 3.6.6 (Ship Technology Global, u.d.).

LPG er allerede tatt i bruk andre steder i den maritime sektoren. Det økonomiske aspektet til gassen sammenlignet med for eksempel LNG gjør at det er flere og flere som ser på mulighetene til å utruste sine fartøy med LPG drift (Ship Technology Global, u.d.).

3.4.3.2 Utfordringer med LPG

Utfordringer som knyttes opp mot LPG er gassens egenskaper. Siden gassen er tyngre enn luft, vil den synke i atmosfæren. På fartøy med gassdrift ombord er vanligvis gassdetektorer

og ventilasjonssystemer plassert høyt oppe. Et fartøy med LPG-drift krever spesialiserte gassdetektorer og ventilasjonssystem som er tilpasset LPG sine egenskaper.

Som nevnt er LPG enten en ren konsentrasjon av Propan eller Butan, eller en blanding av disse. Disse gassene er drivhusgasser og er 3-4 ganger verre enn CO₂. Dersom det skulle oppstå lekkasje av ikke-forbrent gass, er konsekvensene høye. Ved operativ bruk får man i tillegg utslipp av CO₂ som gjør at dette ikke er en nullutslipssløsning (Kosan Gas, u.d.).

3.4.4 Elektrisitet

Når vi tenker på elektrisitet i et fremdriftssystem, tenker vi på batterier. Batterier alene og i en hybrid-løsning er eksempler på hvordan man benytter seg av energi og hvordan man fordeler den om bord et fartøy. Elektriske fremdriftssystemer er lettere kontrollerbare og optimalisert med tanke på ytelse, sikkerhet og drivstoffeffektivitet (DNV GL, 2019). Det har skjedd veldig mye på batteri-fronten, og når den teknologien blir bedre fremover vil prisene gå ned, tilgjengeligheten opp, og dermed vil nye muligheter presentere seg.

Fullelektriske skip representerer et stort fremskritt innenfor batteriteknologi og fremdriftssystemer. Til tross for dette er de fortsatt begrenset til fartøy av mindre størrelser, og som benyttes i korte ruter. Det kan derfor tenkes at ren elektrisk drift ligger lengre frem i tid (Buitendijk, 2020).

3.4.4.1 Fordeler med elektrisitet

Den klart største fordelen med batteri er at det er ingen direkte utslipp av å benytte seg av batteridrift. Dette vil derfor være et fornybart fremdriftssystem. Videre er det også mulig å ta i bruk batteripakker om bord i eksisterende fartøyer uten krevende ombygging. Dette er mye gjort i offshore-industrien for å møte strengere utslippskrav. Det betyr at Kystvakten kan i teorien bygge om sine eldre fartøyer med slike pakker om det er plass om bord.

3.4.4.2 utfordringer med elektrisitet

Rekkevidden man kan oppnå med ren elektrisitet er ikke tilstrekkelig nok til å kunne lage helelektriske skip som skal kunne gå langdistanse-seilaser. Batteriteknologien i maritim sektor er fortsatt i tidlig stadiet og batteripakkene er derfor nødt til å være relativt store for å få ha tilstrekkelig kapasitet. Det vil også være et behov for muligheter for ladning av batteriene

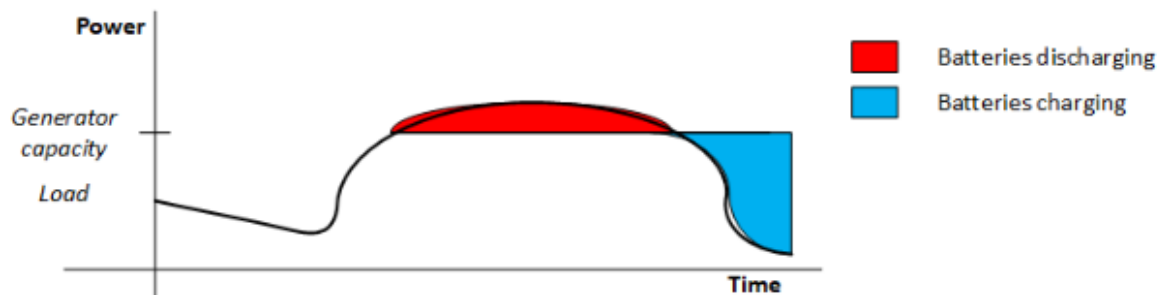
ved hjelp av landstrøm. Denne infrastrukturen er per dags dato ikke av relevant størrelse (DNV GL, 2019).

3.4.4.3 Operativ bruk av batteri

Den optimale batterihybrid-løsningen vil avhenge av operativ situasjon, kraftbehov, generatorstørrelse, batteristørrelse og hvordan fordelingen er programmert. Det finnes flere måter å benytte seg av batterihybride løsninger som vi presenterer i påfølgende delkapittel (Buitendjik, 2020).

3.4.4.4 Peak Shaving

«Peak shaving» refererer til et hybrid-system der batterier blir benyttet til å forhindre tradisjonelle motorer eller generatorer til å overskride en grenseverdi der systemet vanligvis ville trengt en ekstra generator eller motor. Dette gjør at de opprettholder høy last på den ene generatoren som er i operasjon. Denne teknikken er hensiktsmessig for systemer som opplever lange topper i belastningen, altså «peaks». Resultatet av denne teknikken er at man unngår start/stopp av ekstra generatorer, som igjen tillater bruk av mindre motorer. Når lasten blir redusert etter fullført operasjon, opprettholdes det høye nivået på motoren slik at batteriet lades igjen.

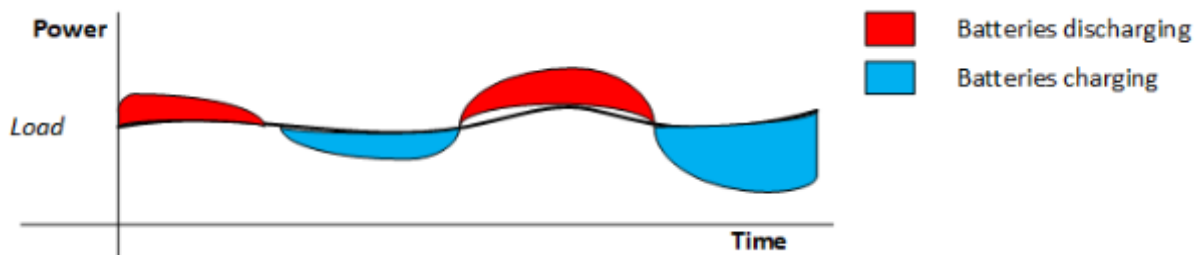


Figur 3 grafisk forklaring av Peak Shaving (Buitendjik, 2020)

3.4.4.5 Power Smoothing

Dette er en annen håndtering av det hybride-systemet hvor lasten til generatoren vil forsøkes holdt på et komfortabelt gjennomsnittlig nivå. Batterisystemet vil virke inn under korte topper som krever mer kraft, og lades under korte perioder med lite kraftbehov. Generatoren vil

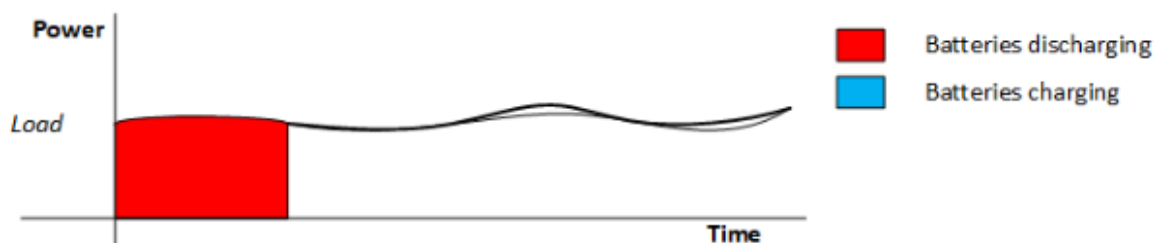
derfor ligge på en konstant lavere last der hvor motoren oppnår best effektivitet. Dette forbedrer drivstofføkonomien og kan redusere kostandene (Buitendjik, 2020).



Figur 4 Grafisk forklaring av powersmoothing (Buitendjik, 2020)

3.4.4.6 Fully Electric

Er batteripakkene store nok kan skipet også operere helelektrisk i gitte perioder og lades i havner via landtilkobling. På denne måten opprettholdes nullutslipp i den operative delen av batteribruken. I praksis betyr dette at batteriet vil kunne ta over 100% av driften til for eksempel en dieselmotor ombord, slik at driften av skipet vil være utslippsfri i en gitt periode. Utholdenheten på batteriet vil være avhengig av størrelsen på batteripakken. Dette kan være hensiktsmessig i havner eller i ECA områder.



Figur 5 Grafisk forklaring av batteridrift (Buitendjik, 2020)

3.4.5 Metanol

Metanol, som også kalles metylalkohol eller tresprit, er et fargeløst, lettantennelig og et svært giftig stoff. Stoffet er flytende og har sitt kokepunkt på 64,7°C. Det ble tidligere fremstilt ved tørrdestillasjon av tre, og det er derfor stoffet har fått navnet tresprit. I dag produseres metanol hovedsakelig syntetisk og ved hjelp av 2 metoder. Den ene er hydrogenering av karbonmonoksid under høyt trykk i nærvær av katalysatorer (metanolsyntesen). Den andre metoden er partiell oksidasjon av hydrokarboner fra naturgass. Sistnevnte er den som brukes i

Norge for å fremstille metanol på metanolfabrikken i Tjeldbergodden i Møre og Romsdal (Bernatek, 2021).

Metanol blir i dag hovedsakelig brukt som løsemiddel i kjemisk industri og i organisk syntetisk industri som råstoff til fremstilling av en rekke metylforbindelser, organiske fargestoffer og formaldehyd (Bernatek, 2021). Det er bare et fåtall fartøyer som nå bruker metanol som drivstoff.

3.4.5.1 Fordeler med Metanol

Fordelen med metanol er at det allerede produseres i relativt store mengder, er tilgjengelig over hele verden og fraktes allerede på skip. Ifølge rapporten fra DNV var den globale metanoletterspørselen på omtrent 80 millioner tonn i 2016, en fordobling av mengden fra 2006. Til gjengjeld er produksjonskapasiteten på mer enn 110 millioner tonn. Videre forventes det at dagens produksjon trygt kan dekke etterspørselen fra skipsfart frem til 2030, forutsatt at etterspørselen etter metanol vil ha en gradvis økning og holde seg på et moderat nivå (DNV GL, 2019). I tillegg har stoffet høyere energitetthet enn for eksempel hydrogen, noe som gjør det enklere å lagre og frakte (Øystese, 2021).

3.4.5.2 utfordringer med Metanol

Den største faren ombord utgjøres trolig av metanolens flammepunkt på bare 11°C. I tillegg brenner stoffet med en usynlig flamme slik at brann er vanskelig å oppdage (Equinor, u.d.). Som nevnt er metanol et svært giftig stoff. Et inntak av 30-50g metanol er dødelig, da det påvirker kroppens oksygenopptak. Her tilknyttes det utfordringer med tanke på sikkerhetstiltak ved behandling av stoffet (Bernatek, 2021).

Metanol med sin energitetthet på rundt 22MJ/kg er det stoffet med lavest energitetthet som blir nevnt i denne oppgaven. Dette skaper utfordringer i forhold til lagring og transportering. Til tross for at tilgjengeligheten av stoffet er god, er ikke bruken av metanol til maritimt drivstoff like utviklet. På grunn av mangel på etterspørsel er tilgjengeligheten i form av maritimt drivstoff så å si ikke eksisterende (Grindhaug, Slettemark, & Rummelhoff, 2015).

Den kjemiske formelen for metanol er CH_3OH . Dette vil si at det inneholder ett karbonatom, tre hydrogenatom og hydroksid. Ved forbrenning av metanol, vil stoffet avgi CO_2 på grunn av karboninnholdet, og det er her utfordringen kommer inn. Dersom Metanol skal bli sett på

som et mer miljøvennlig drivstoff, må det produseres karbonnøytral metanol basert på biomasse (bio-metanol), eller med direktefangst av CO₂ fra luft sammen med grønt hydrogen (e-metanol). Dette er for tiden vanskelig å få tak i og svært kostbart å produsere, men kan på sikt med høyere kostnad på utslipp, billigere strømpriser og bedre CO₂-fangst teknologi, bli utjevnet til sammenligning med andre alternativer og prisdifferansen vil reduseres (Øystese, 2021).

3.4.6 Biodrivstoff

Biodrivstoff er en samlebetegnelse brukt for å beskrive energibærere som oppstår ved at man lager drivstoff ut ifra biomasse. Ifølge DNV er de mest lovende formene av biodrivstoff stoffet HVO (Hydrogenbehandlet vegetabiliske oljer), FAME (raps metyl ester) og LBG (Liquefied biogas) (DNV GL, 2019).

Biodrivstoff kan blandes inn som en erstatning for MGO uten at det kreves større modifikasjoner og dermed også kostnader. FAME kan ikke blandes inn med mer enn syv prosent uten at det kreves modifikasjoner. HVO kan benyttes som en 100 prosents erstatning av MDO. Det vil derfor når det er snakk om biodrivstoff, være referert til HVO som det flytende alternative, og LBG som gass. Biogas (LBG) er en gassblanding som blir dannet ved anaerob nedbryting av organisk materiale. Dette kan for eksempel være døde planterester, matavfall eller husdyrgjødsel. Gassblandingen inneholder blant annet metan og karbondioksid. I tillegg inneholder biogas de giftige gassene hydrogensulfid og ammoniakk.

Man deler drivstoffet inn i konvensjonelt biodrivstoff og avansert biodrivstoff. Konvensjonelt biodrivstoff er produsert av råstoff som brukes til mat eller dyrefor. Avansert drivstoff produseres av bioavfall eller rester. På grunn av problemstillingen med at biomasse krever jordbruksareal er avansert drivstoff mest hensiktsmessig.

3.4.6.1 Fordeler med biodrivstoff

Selv om det vil være utslipp av drivhusgasser ved forbrenning så teller disse gassene allerede inn i det naturlige CO₂ kretsløpet. Dette kommer av at biomassene som drivstoffet er laget av har i tidligere fase før de ble omgjort til drivstoff, fungert som CO₂ fangere når de vokste og levde. Dette resulterer i at biodrivstoff ikke vil påvirke nettinnholdet av drivhusgasser i atmosfæren.

På grunn av at Biogass innehar nesten identiske egenskaper med LNG, vil det kunne benyttes direkte inn i eksisterende maskineri og infrastruktur uten dyre modifikasjoner. Flytende biodrivstoff kan også blandes med dagens diesel som et «drop-in fuel» eller så kan HVO fungere som en fullverdig erstatning for vanlig diesel uten store tekniske inngrep. Dette tar med seg den fordel at dagens flåte skal kunne få til en overgang relativt billig sammenlignet med et helt nytt fremdriftssystem (DNV GL, 2019).

3.4.6.2 utfordringer med biodrivstoff

Utfordringer som ofte knyttes opp mot LBG er operativt sett de samme som LNG. Det betyr mangel på en tilfredsstillende infrastruktur, utfordringer relatert til transport, lagring og operasjonell bruk, og den relativt lave energitettheten.

Biodrivstoff er i dag dyrere enn fossile brensler og det foreligger en kontroversiell problemstilling når det kommer til produksjon da det kreves land-areal som gir utslag i sosioøkonomiske utfordringer (DNV GL, 2019).

3.4.7 Ammoniakk

Ammoniakk er en fargeløs gass med et høyt innhold av Hydrogen. Derfor egner den seg godt som drivstoff og energibærer, og den er spesielt egnet for langtransport innen skipsfart. I dag brukes ammoniakk først og fremst til gjødsel og er lite utbredt som drivstoff. Som en del av «det grønne skiftet» er det planlagt å ta i bruk gassen på maritime fartøy.

Under normale temperatur- og trykkforhold vil stoffet opptre som gass, men ammoniakk kan enkelt gjøres om til flytende stoff ved hjelp av kondensasjon eller nedkjøling og fylles på tanker. Koepunktet for ammoniakk er $-33,4\text{ °C}$ (Pedersen, 2021).

Når vi snakker om grått, blått og grønt hydrogen/ammoniakk, er det produksjonsprosessen det er snakk om. Dagens rimeligste måte å produsere hydrogen på er restproduktet fra CO₂. Derfor er den nå hverken bærekraftig eller klimavennlig. Grønn ammoniakk får sin benevnelse når fremstillingen av stoffet stammer ifra grønt hydrogen. Ulf Eriksen, leder for enheten Hydrogen i Statkrafts forretningsområde Vind- og solkraft Europa, mener at grønt hydrogen, som er produsert gjennom elektrolyse basert på fornybar kraft, vil bli den viktigste og billigste måten å produsere miljøvennlig hydrogen på i fremtiden, og dermed grønn ammoniakk (Eriksen, 2021).

3.4.7.1 Fordeler med Ammoniakk

Grønn ammoniakk blir ansett som det beste karbonfrie drivstoffalternativet til langdistanse skipsfart. Den er produsert av grønt hydrogen som igjen er produsert av fornybare kilder (Eriksen, 2021).

Den kjemiske formelen for ammoniakk er NH_3 . Dette vil si at den inneholder ett nitrogenatom, og tre hydrogenatomer. Den inneholder ikke karbon slik som fossile brennstoff, og det vil dermed ikke dannes CO_2 når gassen forbrennes. I tillegg har flytende ammoniakk 1,5 ganger høyere energitetthet enn flytende hydrogen, noe som medfører at stoffet også er enklere å lagre og transportere. Yara International er en av verdens største produsenter av ammoniakk. Selskapets ammoniakfabrikk på Herøya i Porsgrunn har en årskapasitet på 500.000 tonn (Eriksen, 2021).

3.4.7.2 utfordringer ved ammoniakk

Ammoniakk er som de andre drivstoffalternativene, ikke helt uten utfordringer. Gassen er svært giftig, etsende og har en stikkende lukt. Den stikkende lukten gjør at det tidlig kan oppdages dersom det skulle forekomme lekkasje, men på grunn av helsefare, er det utfordringer knyttet til behandling av stoffet og det er nødvendig med strenge sikkerhetstiltak.

Selv om gassen anses som mer miljøvennlig enn andre drivstoffalternativer da den ikke inneholder karbon, vil det slippes ut nitrøse gasser (NO_x) ved forbrenning. Dette kan reduseres med tekniske løsninger, som ved bruk av katalysator.

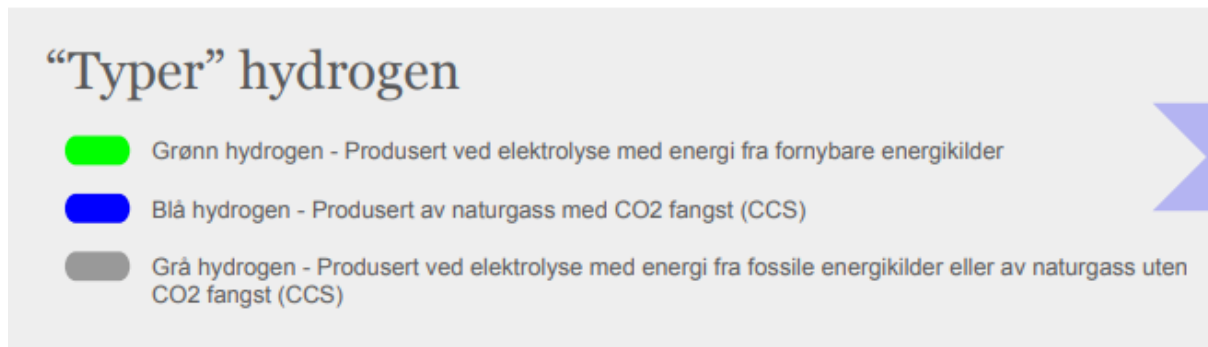
I dag er det svært kostbart å produsere grønt hydrogen, og dermed grønn ammoniakk. I en artikkel fra Norstat sier Ulf Eriksen at han tror stoffet vil bli konkurransedyktig på pris i fremtiden.

«Storskala produksjon og økt tilgjengelighet av fornybar energi vil redusere kostnadene ved å fremstille grønt hydrogen. Samtidig vil økte priser på CO_2 -kvoter gjøre alle typer fossile brenslere dyrere. Dermed vil prisen på grått hydrogen øke, mens grønt hydrogen blir rimeligere» (Eriksen, 2021).

3.4.8 Hydrogen

Hydrogen er et av de stoffene vi har mest av i verden, og på samme måte som elektrisitet er hydrogen en energibærer, ikke en energikilde. Det betyr at Hydrogenet må lages og produseres av mennesker. Når dette hydrogenet er produsert kan det lagres for så å bli brukt direkte som brennstoff eller til å produsere elektrisitet for et eventuelt fremdriftssystem. Når hydrogenet brennes får vi et restprodukt i form av vann og mindre mengder nitrogenoksider. Forbrenningsproduktet er altså helt rent, og vil derfor bidra til at Kystvaktskipene vil være innenfor alle IMO-krav med tanke på utslipp (Equinor, u.d.).

Det finnes flere måter å fremstille hydrogen, og med dagens teknologi kan det gjøres ved vannelektrolyse, reformering av naturgass, eller ved dampgassifisering (PWC, 2019). I rapporten til PWC forteller de at det mest aktuelle for Norge er å produsere hydrogenet ved vannelektrolyse eller reforming av naturgass. Reforming av naturgass er den vanligste formen for hydrogenproduksjon i dag. Teknologien er ung, og det er enda flere utfordringer som må løses før hydrogenet kan benyttes som drivstoff. Det er flere operative pilotprosjekter i gang, men for at hydrogenet skal være med på en bærekraftig miljøomstilling er hydrogenet nødt til å være produsert ved hjelp av fornybare energikilder. Det er derfor kommet 3 klassifikasjoner av hydrogen. Henholdsvis Grønn-, blå- og grå hydrogen som er fremstilt i Figur 6.



Figur 6 Klassifisering av Hydrogen (PWC, 2019)

3.4.8.1 Fordeler med Hydrogen

Grunnen til at mange mener hydrogen er fremtidens drivstoff er at det forbrennes helt uten utslipp av farlige naturgasser, det eneste restproduktet man får er vann. Det vil si at hydrogenet er et av de reneste drivstoffene vi har i denne rapporten, men utfordringen ligger i å få hydrogenet produsert på en bærekraftig og miljøvennlig måte. For Kystvakten sin del vil

det si at et skip som benytter seg av hydrogendrift under operasjon vil tilfredsstill alle IMO-utslippskrav.

Til tross for at teknologien er relativt ung så er brenselcelle-teknologien som benyttes i hydrogen-drift normalt sett en mer effektiv energikilde sammenlignet med konvensjonell forbrenningsmotor. 1 kilo hydrogen tilsvarer ca. 5 liter diesel – Energi til propell (PWC, 2019).

3.4.8.2 utfordringer med Hydrogen

De største utfordringene til å ta i bruk hydrogen vil være innenfor sikkerhet, lagring og den relativt unge teknologien. Hydrogenet vil på grunn av plassbesparelse mest sannsynlig lagres som en gass om bord i fartøyene, eller eventuelt som en komprimert gass. Stoffets egenskaper gjør hydrogenet ekstremt eksplosivt og brennbart. Det trengs derfor enda mer utvikling av sikkerhetssystemer, regelverk og teknologi til skipene. Mannskap som skal operere på slike fartøy trenger derfor også ekstra opplæring for operasjonell og sikker bruk (Bureau Veritas, 2021).

På grunn av den lave energitettheten, sammenlignet med andre drivstoff, trenger hydrogen betraktelig mer volum til lagring om bord i fartøyene. For at hydrogenet skal lagres som en gass må tankene og systemet enten opprettholde et ekstremt høyt trykk på 350-700bar, eller så må systemet tåle kryogenisk lagring med temperatur ned til minst -253°C. Hydrogenet er altså sammenlignbart med utfordringene til LNG når det kommer til operasjonell sikkerhet og bruk, men at det er betraktelig større vanskelighetsgrad i håndteringen av flytende hydrogen på grunn av stoffets gitte egenskaper, ung teknologi og mangel på erfaringer (Bureau Veritas, 2021).

Hydrogenteknologien er relativt tidlig i utviklingsfasen og den tilsynelatende største utfordringen for implementering ser ut til å ligge i umoden teknologi. Rapporten «Barrierer og mulige løsninger for implementering av hydrogen som energibærer i norsk maritim sektor» konkluderer med at hydrogen som energibærer «møter utfordringer i alle segmenter og ledd grunnet usikkerhet og mangel på kunnskap rundt den nye teknologien» (Johannessen, Osebakken, & Yogendran, 2021).

3.4.9 Kjernekraft

I intervjuet med Jan Emblemsvåg får vi forklart hvordan en atomreaktor fungerer på en enkel måte:

«I tradisjonell forbrenning, som for eksempel når vi brenner diesel, ved, eller kull for energi så er det en kjemisk reaksjon som gjør at vi klarer å hente ut energien i for eksempel varme, dette er kalt for fusjon. Kjernekraft er ikke en kjemisk prosess, men en fusjonsprosess. Det som skjer i atomreaktoren, er at man forsøker å høste energien som oppstår når man deler atomer» (Emblemsvåg, 2022).

Når Thorium- eller Uranatomet er blitt splittet, er neste steg å fange eller å utnytte energien. Dette kan gjøres på flere måter, og det er her teknologien har gjort fremskritt som kan gjøre den aktuell som et fremdriftssystem om bord på skip. Det som gjøres i dagens kjernekraftverk rundt om i verden er at man bruker vann for å lagre energien. Dette forteller Emblemsvåg at ikke er så effektivt, og at det er forbundet med noe mer risiko.

«Det man har funnet ut i nyere tid er at man kan bruke salt til å lagre denne energien, og i stedet for å bruke Uran som energikilde, så bruker man Thorium. Dette gjør at man har utrolig mye bedre kontroll på prosessen og at man får tatt ut 50 ganger mer energi enn når du bruker vann» (Emblemsvåg, 2022).

Når energien er fanget eller hentet ut, transporters den inn i en sløyfe som ikke inneholder radioaktivt materiale, for så å sende den inn i en turbin. Turbinen er den samme som vi har i dag. Forskjellen er at den drives av en atomreaktor i stedet for vann, kull eller lignende. Denne kan da brukes til å drifte en propell, lade batteri og drifte energibehovet om bord i et skip.

3.4.9.1 Fordeler med kjernekraft

Den aller største fordelen til kjernekraft er at om man klarer å splitte atomet så frigjør dette mye energi. Skal man sammenligne 1kg med kull og 1kg med thorium, som en moderne reaktor kan benytte, inneholder kiloet med Thorium ca. 3,5millioner ganger mer energi (Emblemsvåg, 2022). Stoffet er meget energieffektivt og har svært høy energitetthet (TEKNA, 2021).

Risikomomenter som vanligvis er forbundet med kjernekraft er ikke til stede med de nye saltsmeltereaktorene på grunn av den grunnleggende fysiske oppbyggingen av reaktoren (TEKNA, 2021). Reaktorene vil være Walk-Away safe på grunn av at reaktoren i seg selv er «negativt radioaktiv». Det vil si at dersom reaktoren ikke får energi, vil den roe ned og stoppe av seg selv. Dette resulterer i at en lignende overopphetning som skjedde i Tsjernobyl ikke vil være fysisk mulig.

Når man har fylt en reaktor med drivstoff vil den kunne gå i over 30 år forteller Emblemsvåg. Dette resulterer i at et fartøy vil kunne operere i ekstremt lange perioder rent drivstofføkonomisk. Om teknologien ikke skal kunne benyttes internt på et fartøy som fremdriftssystem, kan det lages reaktorer på land for å utvinne energi og eventuelt produsere «vanlige» drivstoff.

3.4.9.2 utfordringer med kjernekraft

Den største utfordringen knyttet til kjernekraft er skepsisen rundt temaet. Mye av dette bunner i tidligere store ulykker som for eksempel Tsjernobyl. På grunn av denne skepsisen er det relativt lite forskning på området, og derfor er heller ikke teknologien ferdigutviklet og testet. I tillegg må teknologien utvikles og testes før et regelverk kan utvikles av relevante styringsorganer, noe som kan ta tid.

3.5 Grafisk oppsummering



Figur 7 Grafisk sammenligning av maritime drivstoff (DNV GL, 2019)

I DNV sin sammenligning av maritime drivstoff har de presentert energi-tettheten i figur 7. I tillegg har de demonstrert hvordan dagens teknologi påvirker energi-tettheten når man tar i betraktning lagringssystemene som kreves av de respektive stoffene. Dette er demonstrert i figuren med piler. Eksempelvis illustrerer figuren hvordan flytende Hydrogen (LH2) innehar en relativt høy energitetthet, men når man tar i betraktning utstyret som trengs for å benytte hydrogenet om bord i fartøyene minsker energitettheten betraktelig (DNV GL, 2019).

Energy source	Fossil (without CCS)					Bio	Renewable ⁽³⁾			
	Fuel	HFO + scrubber	Low sulphur fuels	LNG	Methanol	LPG	HVO (Advanced biodiesel)	Ammonia	Hydrogen	Fully-electric
High priority parameters										
• Energy density		●	●	●	●	●	●	●	●	●
• Technological maturity		●	●	●	●	●	●	●	●	●
• Local emissions		●	●	●	●	●	●	●	●	●
• GHG emissions		●	●	● ⁽²⁾	●	●	●	●	●	●
• Energy cost		●	●	●	●	●	●	●	●	● ⁽⁴⁾
• Capital cost	Converter	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Storage	●	●	●	●	●	●	●	●	●
• Bunkering availability		●	●	●	●	●	●	●	●	●
Commercial readiness ⁽¹⁾		●	●	●	●	●	●	●	●	● ⁽⁵⁾
Other key parameters										
• Flammability		●	●	●	●	●	●	●	●	●
• Toxicity		●	●	●	●	●	●	●	●	●
• Regulations and guidelines		●	●	●	●	●	●	●	●	●
• Global production capacity and locations		●	●	●	●	●	●	●	●	●

⁽¹⁾ Taking into account maturity and availability of technology and fuel.

⁽²⁾ GHG benefits for LNG, methanol and LPG will increase proportionally with the fraction of corresponding bio- or synthetic energy carrier used as a drop-in fuel.

⁽³⁾ Results for ammonia, hydrogen and fully-electric shown only from renewable energy sources since this represents long term solutions with potential for decarbonizing shipping. Production from fossil energy sources without CCS (mainly the case today) will have a significant adverse effect on the results.

⁽⁴⁾ Large regional variations.

⁽⁵⁾ Needs to be evaluated case-by-case. Not applicable for deep-sea shipping.

Figur 8 Grafisk sammenligning av alternative drivstoff (DNV GL, 2019)

Figuren ovenfor er en oppsummering fra DNV GL. Fargekodingen demonstrerer på en forenklet måte hvor aktuelle de drivstoffene er etter funnene gjort i deres rapport.

4 Intervju

4.1 Intervjuobjektene

Intervjuobjekter ble strategisk valgt med bakgrunn i å belyse forskjellige løsninger fra personer med forskjellig bakgrunn for å se om vi kunne finne en fellesnevner. Vi gjorde først

intervju med Odvin Nilsen, skipssjef på den kommende KV Jan Mayen. Dette ble gjort i den hensikt i å få belyst problemstillingen fra en representant i Kystvaktens sitt perspektiv.

Påfølgende ble det gjort et intervju med Vilmar Æsøy. Han er professor ved NTNU i Ålesund og innehar mye relevant kunnskap når det kommer til maritime fremdriftssystemer. Dette ble gjort i den hensikt å belyse Kystvaktens problemstillinger og eventuelle løsninger fra et annet utenforstående perspektiv.

Avslutningsvis ble det gjort et intervju med Jan Emblemsvåg som også er professor ved NTNU i Ålesund. Emblemsvåg innehar mye kunnskap når det kommer til temaet kjernekraft. Intervjuet ble gjort i den hensikt å belyse et tema som har stått utenfor diskusjon i lang tid, for finne ut hva som ligger til grunn for dette.

5 Drøfting

For å få et overblikk over mulighetene med de forskjellige drivstoffalternativene, har vi sett på deres fordeler og utfordringer når det kommer til kostnader, tilgjengelighet, egenskaper og miljøutslipp. For at et drivstoff skal kunne erstatte dagens, må det levere tilfredsstillende resultater på disse punktene og likevel kunne levere etter Kystvaktens behov. Kystvakten har som nevnt i kapittel 1.1 et bredt fartsområde som strekker seg langs hele norskekysten og nordover mot Svalbard. Her må det skilles mellom IKV og YKV hvor disse kan utrustes på forskjellige måter etter deres respektive fartsområde. For YKV er utfordringen transportering av drivstoff over lange avstander. Dermed må drivstoffet enten eksempelvis kunne bli levert og distribuert på lokasjoner som for eksempel Svalbard, eller så må fartøyet klare å frakte med seg nok drivstoff til en fullverdig patrulje. I drøftingen mot en konklusjon om hvilke alternative drivstoff Kystvakten kan utrustes med i fremtiden, har vi sett bort fra IKV og bruker YKV og deres behov som utgangspunkt.

Når Nilsen ble spurt om hva som er viktig for Kystvakten med tanke på oppdragsløsning og krav til neste generasjons fartøy forteller han følgende:

«Det er viktig å ha et fartøy som er både utstyrt og rigget for de oppdragene Kystvakten er blitt satt til å løse. Ikke minst så er det viktig at de er bemannet med kompetente og opplært personell som kan utføre oppdraget med de verktøyene de har, på en forsvarlig måte. Når det kommer til krav på de nye fartøyene så er det først og fremst at det blir en plattform som gjør at vi kan drive rasjonelt og forsvarlig, det vi skal gjøre.»

Det Nilsen kan fortelle oss her tolker vi som at Kystvakten er nødt til å ha en pålitelig plattform til å utføre sine oppdrag. I praksis vil det kanskje bety at den nyeste og mest banebrytende teknologien ikke egner seg til å bli tatt i bruk ombord i Kystvakten på et tidlig stadie. Kystvakten er nødt til å ha en plattform som kan levere hele tiden, og det betyr at de må ha et godt utprøvd system de kan stole på. Derfor tenker vi at Kystvakten med fordel kan se på teknologi som allerede er tatt i bruk i andre deler av den maritime bransjen. Likevel vil vi se lengre frem i tid og vurdere hvilke drivstoffalternativer Kystvakten kan ta i bruk på sikt.

Det er vanskelig å se for seg hva som kan komme til å bli den beste løsningen når teknologien ikke er ferdig utviklet. Eksempelvis kan gjennombrudd på en type drivstoff resultere i at det blir mer aktuelt enn et annet. I intervjuet med Æsøy spurte vi hva han tenker om hvilke drivstoff som kan ta over for de som brukes i dag for å kunne måle seg med de fremtidsrettede miljøkravene. Da svarte han: *«Dere stiller selvfølgelig det aller vanskeligste spørsmålet som alle lurer på, inklusive meg selv. Men dere spør hva jeg tror. Det er veldig mange alternativ, men det er veldig få som er kommet så langt i utviklingsstadiet at vi kan kalle det realistiske alternativ».*

Et viktig tema å tenke på i en slik problemstilling er plassbegrensningen man har ombord. Hovedutfordringen til de nye drivstoffene i denne oppgaven har vist seg å være energitettheten da flertallet av de alternative drivstoffene har en lavere energitetthet sammenlignet med dagens tradisjonelle drivstoff. Det resulterer i at Kystvakten må ha med seg mer drivstoff for å kunne nå like langt, og det vil dermed kreve større plass ombord. Selv om stoffet har relativt god energitetthet, er det viktig å ta i betraktning utrustningen som må plasseres om bord i skipet. Dette er presentert grafisk i kapittel 3.5, figur 7. Av alternativer som krever minst plass, ser vi at det er syntetisk drivstoff som kommer best ut. Så kommer flytende biodrivstoff, etterfulgt av LNG og til slutt ammoniakk.

«Vi sier ofte at en tommelfingerregel er at hvis du skal erstatte diesel med andre ting, så må du gange med 3 for å gå over til LNG, så må du kanskje gange med 5 eller 6 for å gå over til ammoniakk. Biodrivstoff er flytende, så du må kanskje gange med 1,5 eller 2, så det er ikke så veldig stor plass du trenger. Med hydrogen så må du gange med mellom 10 og 20. Det er litt løse tall, men det gir et bilde kan du si på den plassen du må ha tilgjengelig om bord» (Æsøy, 2022).

På den ene siden kan løsningen på plassbegrensning være at kystvaktfartøyene må bygges større. Større fartøy vil kunne ha med seg mer drivstoff og dermed kompensere for det økende plassbehovet ombord. På den andre siden vil et større skip ha med seg operative utfordringer som at manøvrering i trange områder vil bli mer utfordrende, og i tillegg vil kanskje større og tyngre fartøy kreve mer energi for fremdrift. Her kan det tenkes at skillet mellom IKV og YKV bli mer nødvendig og hensiktsmessig. I intervjuet med Nilsen forteller han at den kommende Jan Mayen klassen blir større, sammenlignet med de nåværende fartøyene, og at et slik alternativ allerede er aktuelt. Det er heller ikke usannsynlig at det vil komme en fremgang innen tankteknologi og at tankutrustningen til for eksempel LNG vil kreve mindre plass lengre frem i tid. Vi ser derfor for oss at plassbegrensningen kan kunne løses etter hvert enten ved bedre materialteknologi, eller større plass ombord.

Metanol er et av stoffene denne oppgaven har tatt for seg. Stoffet er giftig for mennesker og har lavt flammepunkt på 11°C som medfører en rekke sikkerhetshensyn. Med stoffets fordeler som beskrevet i delkapittel 3.4.5.1, ser vi at metanol absolutt kunne bidratt til reduisering av utslipp og ville kvalifisert til nåværende regelverk. Stoffet kan transporteres som vanlig væske og dermed også bruke eksisterende infrastruktur, noe som er mer utfordrende med bruken av for eksempel LNG. Til tross for de mange fordelene med stoffet, konkluderer studien “Alternative drivstoff til skip” med at metanol ikke er aktuelt som erstatning for konvensjonelle drivstoff med dagens pris (Grindhaug, Slettemark, & Rummelhoff, 2015). Det er muligheter for å produsere metanol karbonnøytralt basert på biomasse. Dette er nødvendig om stoffet skal kunne vurderes som et alternativ lengre frem i tid.

Metanol har tilnærmet lik miljøprofil som LNG. Derfor tenker vi at det for Kystvakten kan være mer hensiktsmessig å bruke LNG som de allerede har erfaring med. Slik LNG produseres i dag, er dette ikke et nullutslippsalternativ. Muligheten er likevel til stede dersom LBG blir benyttet. Summen av dette gjør at metanol faller bort fra diskusjonen til fordel for LNG.

LPG og LNG har mange likhetstrekk. LPG er per definisjon ikke en naturgass, men uthenting av gassen skjer i naturgass-prosesseringen, noe som gjør gassproduksjonen til LPG avhengig av naturgass (ELGAS, 2021). På den ene siden leverer LPG en høyere energitetthet og kan transporteres og brukes relativt enklere og billigere sammenlignet med LNG. På den andre siden er LNG en lettere gass i forhold til luft som vil bety at ved en eventuell lekkasje vil

gassen stige og forsvinne ut i luften. Dette er ønskelig med tanke på sikkerhet. Til sammenligning er LPG en tyngre gass som resulterer i at den vil bli liggende på bakkenivå. For å opprettholde sikkerheten om bord i fartøyene vil det kreve spesiallagde sikkerhetssystemer og ventilasjon.

Kostandene ved utbygging av LPG til operativt bruk vil teknisk sett være mindre sammenlignet med LNG på grunn av manglende behov for kryogenisk utstyr. Ved forbrenning er stoffene relativt like, men LNG slipper ut mindre CO₂. Vi ser ikke for oss en miljømessig hensikt i å benytte seg av et mer forurensende drivstoff med bakgrunn i at det er det rimeligste. Fokuset mener gruppen må være på miljøet. Gjennom arbeid med oppgaven, kan det se ut til at LNG er det reneste fossile drivstoffet vi har i dag, som også har infrastruktur og teknologiske løsninger på plass. Vi tror derfor LNG vil være mer hensiktsmessig fremfor LPG som drivstoffkilde (DNV GL, 2014).

LNG er ikke en nullutslipps-løsning, noe som ønskes på sikt. Likevel kan LNG bli mer miljøvennlig i senere tid om man begynner å benytte seg av LBG. Får man produsert LNG fra biomasse blir gassen kalt for LBG. Denne er nærmest identisk med LNG når det kommer til egenskaper, og den kan derfor benytte seg av samme maskineri og infrastruktur. Dette ser vi som hensiktsmessig da en satsing i dag kan gi vinning i reduserte kostander mot nullutslipp senere. Likevel er det noen utfordringer å tenke på for både LNG og LBG. På den ene siden krever produksjon av biomasse til LBG store mengder landbruksareal. Produksjonen er også med dagens teknologi og lave etterspørsel svært kostbar. På den andre siden kan vi se for oss at dette er en «naturlig vei å gå» på grunn av de like egenskapene til gassene. Nilsen mener også at LNG kan være en god løsning i første omgang. Dette har KV som nevnt tidligere allerede god erfaring med som en hybrid løsning, men på sikt kan det bli mulig å bruke LNG som energibærer alene. I intervjuet med Nilsen kan han fortelle: «LNG kan være aktuelt på sikt, så lenge man får til å oppbevare gassen i skrogtanker slik at det krever mindre plass. Det er den største utfordringen med LNG. Med ny byggeteknologi skal det være mulig å få lagringen om bord betydelig mindre plasskrevende. Får man til dette blir det mer og mer aktuelt for nye fartøy» (Nilsen, 2022).

Gruppen er også positive til LNG-drift da vi ser at det er et renere alternativ som er tatt i bruk av flere parter allerede i dag. Det at det blir økende antall fartøyer driftet med LNG kan vi se for oss er positivt da dette kan bidra til økt etterspørsel og derfor mer sannsynlighet for videre

satsing. Bacheloroppgaven “LNG drift av skip” forteller om hvordan de gjennom sin undersøkelse kom frem til at LNG-anlegg kommer til å bli satset på og bli enda mer utbredt. Dette vil igjen bidra til å gjøre LNG enda mer aktuelt fordi tilgjengelighet har vært et stort usikkerhetsmoment. Med bakgrunn i overnevnte ser vi at til tross for at LNG ikke vil være den permanente løsningen, vil overgang til LNG bidra til å nå nærliggende IMO mål samt redusere den miljømessige påkjenningen med tanke på utslipp. Vi ser at en av de store utfordringene med en overgang til et alternativt drivstoff er at det må tørres å satse på noe som kanskje ikke blir noe av. Det at LNG-systemene har overgangsverdi til eventuelt LBG for så videre til ammoniakk, ser vi på som en ekstra forsikring for Kystvakten når man skal se enda lenger frem mot nullutslipps alternativ.

Innenfor batteridrift ser det ut til at teknologien ikke er kommet langt nok til at kapasiteten tilfredsstillende behovet til Kystvaktens operasjoner, og det egner seg i dag kun til operasjoner over korte avstander i begrensede tidsperioder. Derfor tenker vi at en batteriløsning i seg selv er for lite, men at en hybrid løsning kan være et bedre egnet alternativ for Kystvakten. Dette utelukker ikke mulighetene med batteripakker, men vi ser hensikten med å kombinere driften med et annet drivstoff.

I intervjuene med Æsøy og Nilsen, nevner de at de også har troen på et hybrid alternativ, nettopp fordi vi ikke kommer til å være ferdig med den tradisjonelle dieselen på mange år. Batteripakkene kan bidra til at drivstoffprofilen blir mer effektivisert. Som nevnt i kapittel 3.4.4 kan det for et fartøy med mye stilleligge under for eksempel DP operasjoner, være hensiktsmessig med en hybrid-løsning med batteripakke for å optimalisere driften. I offshore-industrien er det økende bruk av batteripakker, og dette mener vi kan være et alternativ for Kystvakten også.

«Det å kombinere dieselen med større og større batteribanker nå som teknologien går fremover, ser ut som en god løsning i nærmeste fremtid. Dette vil gjøre at Kystvakten kan være miljøvennlig i gitte perioder, og heller kjøre diesel når de må». (Nilsen, 2022)

Gruppen ser at man ikke kommer unna dieselen helt enda, men mener at det å installere batteripakker vil være et stort steg i riktig retning. I intervjuet med Nilsen forteller han at skulle man ønske å installere batteripakker om bord i kommende Jan Mayen klassen så finnes det plass om bord til dette. Slike muligheter tenker vi burde utnyttes slik at også den gamle flåten til Kystvakten kan oppnå en mer bærekraftig miljøprofil.

Den hybride løsningen tenker vi må kunne forbedre miljøutslippene, samtidig som det blir tilrettelagt for fremtidige utbedringer. Et godt eksempel på en slik løsning er MS «Havila Capella». Skipet ble kåret til «Next Generation Ship Award» på grunn av at det benytter gass som drivstoff kombinert med en batteripakke på 6,1MWh og betydelig energigjenvinningsteknologi. Denne batteripakken vil gjøre at Havila Capella kan seile helt utslippsfritt i for eksempel verdensarvfjordene. Dette gjenspeiler seg i intervjuet med Nilsen som forteller om hvordan han mener en hybridløsning som tillater Kystvakten å være miljøvennlige når de må, er å foretrekke. Eksempelvis så kan en slik batteripakke gi skipet 6 timer seilingstid på ren batteridrift.



Figur 9 Skipet Havila Capella (Skipsrevyen, u.d.)

MS «Havila Capella» er videre klargjort for å installere brenselceller og drivstofftanker med system for hydrogen i fremtiden. Vi ser også at størrelsen på skipet gjenspeiler noe av det Kystvakten opererer med i dag. På bakgrunn av det, kan vi se for oss en slik løpasse for Kystvaktens militære behov kanskje er mulig å gjennomføre.

Det finnes mange mulige kombinasjoner innen hybride løsninger. I dag har allerede Kystvakten hybrid som en løsning med Barentshavklassens LNG- og diesel-kombinasjon. Under intervjuet med Nilsen kunne han fortelle at dette er noe de har gode erfaringer med.

IMO sine klimaambisjoner er å til slutt oppnå nullutslipp. Her har gruppen kommet frem til tre alternativ som vi tror kan bli aktuelle; biobaserte drivstoff, hydrogen og ammoniakk. Foreløpig er biobaserte drivstoff definert som nullutslipp. Det finnes i dag, men i begrensede mengder, og det blir derfor relativt kostbare drivstoff. Det er også utfordringer med tanke på at biomassen som brukes til å fremstille drivstoffet, krever store landbruksområder for å

produseres. Æsøy forteller at han har troen på biodrivstoff, men til tross for dette er vi litt skeptiske til biodrivstoff som et godt alternativ. Vi kan på den ene siden se fordelene med å ta i bruk biodrivstoff som energibærer, men for at biodrivstoff sine fordeler skal vinne frem, er det essensielt at produksjonen flyttes fra jordbruksareal beregnet til matproduksjon, og over til avansert biodrivstoff som fremstilles fra alger og egnet skogbruk.

Det at drivstoffene er dyre og mangler infrastruktur er i stor grad en felles utfordring med alle disse nullutslipps alternativene når vi ser på de med dagens teknologi. Man må derfor se litt bort fra dette i en eventuell konklusjon da videre satsing og teknologiske fremskritt kan endre dette i fremtiden. Dette er relevant for gruppen når vi ser på hele prosessen fra produksjon til forbrenning da denne er nødt til å være «grønn». På grunn av mangel i produksjon av grønt hydrogen og ammoniakk, er det så og si ingen miljøgevinst i å gå over på disse stoffene. I dag er det å produsere grønt hydrogen og ammoniakk svært kostbare alternativer. Det er ikke umulig å se for seg at prisene i fremtiden vil bli jevnet ut sammenlignet med drivstoffene som brukes i dag med høyere utslippsavgifter for CO₂ i tillegg til storskala produksjon, bedre teknologi og økt tilgjengelighet.

«Per i dag så er 95% av alt hydrogen som blir brukt i markedet produsert fra olje og gass så det er ikke grønt hydrogen, det er i beste fall «grått» hydrogen, eller du kan godt kalle det «kølsvalt» hydrogen egentlig da dagens hydrogen er en energibærer fra en fossil kilde. Hydrogensamfunnet er helt avhengig av at vi får opp nok fornybar energi som kan produsere det hydrogenet. Hvis ikke så har ikke hydrogen noen mening i det globale perspektivet».
(Æsøy, 2022)

Gruppen ser at man er avhengig av å gjøre fremskritt på produksjons-fronten for at det skal bli miljøgevinst ut av hydrogen. Ved forbrenning vil det være fordeler ved bruk av hydrogen og ammoniakk allerede i dag, men til tross for dette er det ikke hensiktsmessig å ta i bruk stoffet før det er produsert fornybart.

Forskningen jobber med å benytte hydrogen direkte. Dette er enda på et veldig tidlig stadie og teknologien må utvikles mer før det kan tas i bruk. I fremtiden ser vi for oss at hydrogen kan være et bra alternativ om det kan høstes fra fornybare energikilder som vindkraft eller vannkraft. Produksjonen krever mye energi, og det må utvikles løsninger for produksjon på en bærekraftig måte. Med tanke på operasjonell bruk, handler det om hvordan man skal kunne oppbevare hydrogen siden den har veldig lav tetthet og tar mye plass ombord. Gassen må

enten oppbevares på trykktank med høyt trykk, eller den må kjøles ned til flytende form. Dette er krevende i forhold til materialteknologien med tanke på kryogeniske forhold. *«Per i dag så finnes det teknologi for det, men det er hovedsakelig innen romfart. Da er spørsmålet om vi kan hente romfartsteknologi til et skip og hvor lønnsomt det er. Teknologien finnes, men er det mulig ut ifra et økonomisk perspektiv?»* (Æsøy, 2022).

På grunn av utfordringene til hydrogen er det forsket mye på ammoniakk som energibærer. Ammoniakk sin kjemiske formel er NH_3 , og det er disse tre hydrogenatomer man vil utnytte i motsetning til et fossilt drivstoff som inneholder karbon og dermed vil avgis CO_2 ved forbrenning. På grunn av at ammoniakk fjerner noen av utfordringene med hydrogen, ser vi på dette som et godt alternativt nullutslipps drivstoff for fremtiden. Dette forutsetter at vi klarer å produsere grønn ammoniakk. *«Skal det gi mening å erstatte dagens fossile drivstoff med ammoniakk, er det helt avgjørende at dette er grønn ammoniakk. Ellers har det ingen klimagevinst»* (Øystese, 2021).

Gruppen ser veien over på ammoniakk som kort å gå da stoffet allerede finnes i handelen. Under intervjuet med Æsøy, kunne han fortelle: *«Ammoniakk blir allerede produsert og brukt i store mengder, i utgangspunktet for å produsere kunstgjødsel. Store selskaper som Yara driver med produksjon av ammoniakk. I tillegg tester de nå ut motorer som kan bruke ammoniakk som energikilde»* (Æsøy, 2022).

En fordel vi ser med ammoniakk er at et fartøy som allerede bruker LNG som drivstoff ombord, har relativt kort vei over til ammoniakk da stoffet oppfører seg på samme måte. Dermed kan du bruke til dels samme drivstoffsystem og samme sikkerhetssystem (Æsøy, 2022). I forhold til sikkerhet så er mye likt på grunn av de samme egenskapene. Dette vil være en fremgangsmåte som vil tilfredsstillе dagens teknologi, men også gjøre fartøyene bedre rustet til å kunne håndtere en overgang til nullutslipp. Ammoniakk har sine utfordringer med at det er et giftig stoff, og det krever spesiell håndtering om bord i et fartøy, noe som kan være ganske krevende. Dette ser vi ikke på som en avgjørende faktor til å eventuelt kunne utelukke ammoniakk som et godt alternativ, da det ikke er usannsynlig at teknologiske fremskritt innen design kan løse mye av dette på sikt.

Etter å ha snakket med Jan Emblemsvåg, tror vi heller ikke det er noen vei utenom kjernekraft i fremtiden. Vi kommer til å være avhengig av at det skjer en utvikling på den fronten, spesielt om vi skal fortsette å bruke like mye energi som vi bruker i dag. Dette støtter også

Æsøy: «Per i dag så kommer 80% av all energi som vi bruker på jorda fra fossile kilder, altså olje, gass og kull. Om det skal erstattes av noe som er rent så blir det ganske mange vindturbiner og nye vannkraftverk og da er det formidable dimensjoner vi snakker om. Personlig så tror jeg nok at det er ingen vei utenom at denne nye kjernekraftteknologien må få sin plass i energibildet» (Æsøy, 2022).

Gruppens kunnskap og inntrykk av kjernekraft før praten med Jan Emblemsvåg var meget begrenset. Vi har hørt at det har mye potensiale, men at det rett og slett er for farlig. I tillegg har nok ulykken som skjedde i blant annet Tsjernobyl stått for mye av skepsisen.

Emblemsvåg kunne i intervjuet fortelle hvor langt teknologien har kommet nå og at det derfor viktig å få frem en åpen debatt om kjernekraft igjen, rett og slett fordi teknologien ikke er den samme som den var på 60-tallet. Gruppen tenker at dersom man skal klare å finne den optimale løsningen for en bærekraftig miljøprofil må man vurdere alle alternativer.

Kjernekraft ser vi også for oss kan være løsningen på det ekstreme energiforbruket som kreves for å produsere grønt hydrogen og ammoniakk om det ikke skal brukes direkte ombord på fartøyene som fremdriftssystem.

I forhold til sikkerhet ved reaktor ombord på fartøy som fremdriftssystem, kan Emblemsvåg fortelle at dette er et prosjekt de har søkt penger om i det norske forskningsrådet for å finne ut hva slags opplæring mannskapet om bord en slik fremtidig båt må ha. Han forteller at operasjonsmessig vil det ikke være noen stor utfordring, og han nevner modulbaserte reaktorer som vil få plass i et 10m x 10m x 10m maskinrom. De nye reaktorene er såkalt Walk-Away safe og det henger sammen med at egenskapene til reaktoren gjør at den er «negativt radioaktiv». Det vil si at jo mindre kraft du tar ut av reaktoren, jo mindre varme lager den og den vil roe seg ned av seg selv. Det vil i praksis si at det som skjedde i Tsjernobyl, at reaktoren overopphetet og tok av, ikke fysisk kan skje i en reaktor basert på denne typen teknologi. En av sikkerhetsfunksjonene den nye reaktoren har, er en såkalt isplugg nederst i reaktoren. Skulle noe galt skje og strømmen kuttes til reaktoren, vil isen smelte. Dette fører til at salstmelteren faller ned i en tank under og alt stopper opp.

Jan forteller videre at teknologien er bedre utviklet enn folk tror. Slike reaktorer har allerede blitt laget, og Kina hadde en forskningsreaktor i drift september 2021. Bill Gates med Terra Power jobber og forventer å ha noe klart innen 2026-2027. Jan mener at innen 10-15års tid kan det være ganske mange slike reaktorer rundt om i verden (Emblemsvåg, 2022). Han

forteller at ting tar tid fordi det er enormt strenge sikkerhetskrav til slik teknologi. Dette med hvor kompleks driften vil være mener vi er relevant da Kystvakten er bemannet etter LEAN manning prinsippet. Om saltsmelterreaktoren krever et større mannskap ville dette kanskje være en utfordring for Kystvakten. samtidig tenker vi at dersom teknologien blir utviklet på en suksessfull måte, vil besparelsene kanskje kunne finansiere ekstra og spesialisert personell.

Vi ser at mye utprøving, forskning og regelverk gjenstår, men vi tenker at mulighetene er store. Skulle det ikke egne seg til å ha om bord i kystvaktfartøyene så kan reaktorene brukes til produksjon av biodrivstoff, hydrogen eller ammoniakk som vi har nevnt tidligere i drøftingen som gode alternativer.

6 Resultat

Når man skal gjøre en vurdering av alternative fremdriftssystemer som skal opprettholde Kystvaktens oppdragsløsning og samtidig gi en bedret miljøprofil er det en rekke vurderinger man må legges til grunn. For å sikre at Kystvakten og IMOs interesser blir ivaretatt er det viktig at et fremtidig drivstoff leverer en forbedret miljøprofil sammenlignet med dagens drivstoff, og at drivstoffet er operativt egnet til Kystvaktens behov. Drivstoffet må kunne brukes innenfor gjeldende regelverk, eller eventuelt så må det være sannsynliggjort at det vil komme et regelverk på plass i senere tid. På denne måten klarer man å ta høyde for sikkerhetsaspektene ved de alternative drivstoffene. Når det kommer til operativt bruk er energitetthet en vesentlig kriterium da dette har stor innvirkning på hvor egnet drivstoffet vil være for Kystvakten som opererer over lengre tid og lange distanser.

Konklusjonen vår vil være todelt. Vi vil først ta for oss hva som kan være aktuelt i neste generasjons fartøy for å møte gjeldende IMO krav. Påfølgende vil vi se på hva som kan være mulighetene for å nå IMOs klimaambisjon om nullutslipp lengre frem i tid når ny teknologi er på plass.

6.1 Mulighet 1, Neste generasjons fartøy

Ved neste generasjons fartøy fokuserer vi på dagens tilgjengelige teknologi slik at fartøyet i teorien kan bestilles i dag. Denne oppgaven viser til at LNG er det reneste fossile brennstoffet vi har tilgjengelig, med regelverk og en forbedret infrastruktur. Drivstoffet har Kystvakten allerede tatt i bruk på Barentshavklassen og de har derfor operativ erfaring. LNG vil

kvalifisere innenfor alt av gjeldende regelverk utgitt av IMO og vil gi en betydelig bedring av miljøprofilen til Kystvakten.

Barentshavklassen er LNG-Diesel hybrid og gruppen kan se for seg at implementering av batteripakke i tillegg vil være en ytterligere forbedring til neste generasjons fartøy. LNG-systemene er tilrettelagt for fremtidige nullutslippsløsninger slik som LBG og Ammoniakk, noe som gir en ekstra sikkerhet i satsingen for fremtidige utbedringer.

En lignende satsing som Havila Capella har gjennomført med bruken av LNG dual fuel motor med hybrid batteridrift, kan være en god løsning som ivaretar kortsiktig og langsiktige interesser, også for Kystvakten.

6.2 Mulighet 2, Nullutslipp

Ut fra denne oppgaven ser man at ved å ta i bruk LNG på neste generasjons fartøyer er mulighetene for nullutslipp i senere tid - bedre tilrettelagt. Ammoniakk og hydrogen er presentert i denne oppgaven som gode alternativer til fremtidig nullutslipp. Man er avhengig av at produksjonen er gjort fornybart for at det skal ha en miljømessig gevinst. På grunn av hydrogenets egenskaper og utfordringer kan gruppen se for seg at ammoniakk er noe mer sannsynlig, men vi utelukker ikke hydrogen av den grunn.

Kjernekraft er et stoff denne oppgaven har presentert som en slags Joker. Det har vært lite omdiskutert, men dette ser ut til å endre seg da kjernekraft kan se ut til å være en løsning på energi-utfordringene verden står overfor. Debatten er på vei tilbake på dagsordenen og oppfordring til forskning er til stede. Denne oppgaven viser til at kjernekraft kan brukes som et ekstremt energieffektivt og sikkert fremdriftssystem om bord i fartøy. I tillegg presenteres også en mulighet til å produsere ammoniakk og hydrogen på en grønn måte slik at konvensjonelle drivstoff kan benyttes om bord.

6.3 Konklusjon

Som et resultat av denne oppgaven har vi kommet frem til at Kystvakten kan utruste sine kommende fartøyer, uten bekostning av oppdraget, med LNG-hybride fremdriftssystemer som en mulig løsning i første omgang, før ammoniakk, hydrogen og kanskje atomkraft kan ta over i senere tid når man vil oppnå IMOs klimaambisjon om nullutslipp

6.4 Videre arbeider

Under skrivningen av denne oppgaven har gruppen fått innblikk i ulike drivstoffalternativer. Vår oppgave gir kun et overblikk over mulighetene som finnes, og vi vil derfor anbefale at videre forskning går mer i dybden på de enkelte muligheter vi har presentert.

Ønsker man å bygge videre på vår oppgave kan vi se for oss oppgaver som setter søkelys på for eksempel: atomkraft som fremdriftssystem eller optimalisering av hybride fremdriftssystemer.

Referanser

- Bernatek, E. R. (2021). *SNL om Metanol*. Hentet Mars 3, 2022 fra <https://snl.no/metanol>
- Buitendjik, M. (2020, August 6). How hybrid technology can optimise energy use on board ships. *SWZ Maritime*.
- Bureau Veritas. (2021). *6 questions about hydrogen as fuel*. Hentet Februar 15, 2022 fra <https://marine-offshore.bureauveritas.com/magazine/client-corner-6-questions-about-hydrogen-fuel>
- DNV GL. (2014). *Teknisk vurdering av skip og av infrastruktur for forsyning av drivstoff til skip*.
- DNV GL. (2019). *Assessment of selected alternative fuels and technologies*. Høvik: DNV GL Maritime.
- DNV GL. (2019). *Comparison of Alternative Marine Fuels*. DNV GL.
- ELGAS. (2021). *LPG vs Natural Gas*. Hentet April 2, 2022 fra <https://www.elgas.com.au/blog/486-comparison-lpg-natural-gas-propane-butane-methane-lng-cng/>
- Emblemsvåg, J. (2022, Februar 28). Intervju om kjernekraft som fremdriftssystem.
- Equinor. (u.d.). *Hydrogen*. Hentet Januar 28, 2022 fra <https://www.equinor.com/no/energi/hydrogen?b7d804976ede=0>
- Equinor. (u.d.). *Methanol prduktspesifikasjoner*. Hentet Februar 7, 2022 fra <https://www.statoil.com/no/OurOperations/TradingProducts/Methanol/Pages/Methanol%20productSpecifications.aspx>
- Eriksen, U. (2021). *Grønn Ammoniakk: Klimavennlig drivstoff for lange distanser og tunge oppgaver*. Statkraft.
- FHI. (2019). *Nitrogendioksid*. Hentet Februar 7, 2022 fra <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/nitrogendioksid2/>

- Forsvaret. (u.d.). *Kystvakten*. Hentet Februar 5, 2022 fra <https://www.forsvaret.no/om-forsvaret/organisasjon/sjoforsvaret/kystvakten>
- Grindhaug, A., Slettemark, S., & Rummelhoff, E. K. (2015). *Alternative drivstoff til skip*. Stord/Haugesund: Høgskolen i Stord/Haugesund.
- Hofstad, K. (2020). *SNL om LPG*. Hentet Februar 10, 2022 fra <https://snl.no/LPG>
- IMO. (u.d.). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. Hentet Februar 17, 2022 fra [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- Johannessen, I. M., Osebakken, M. T., & Yogendran, M. F. (2021). *Barrierer og mulige løsninger for implementering av Hydrogen som energibærer i norsk maritim sektor*. Høgskolen på Vestlandet.
- Klima og miljødepartementet. (2019). *Regjeringens handlingsplan for Grønn skipsfart*. Klima og miljødepartementet.
- Kosan Gas. (u.d.). *Miljøvennlig energi - LPG som alternativ energikilde*. Hentet Mars 1, 2022 fra <https://www.kosangas.no/hvorfor-velge-lpg/hvorfor-lpg/miljoe/kosan-gas-og-miljoeet/>
- Larsen, A. K. (2017). *En enklere metode*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Nilsen, O. (2022, Mars 11). Skipssjef KV "Jan Mayen". (K. Skinnes, Intervjuer)
- Nox-Fondet. (u.d.). *Hva er Nox*. Hentet Februar 7, 2022 fra <https://www.noxfondet.no/artikler/hva-er-nox/>
- NTNU Ocean Training AS. (2022). *Operating ships on LNG*. Ålesund: NTNU Ocean training.
- Olerud, K., & Lahn, B. (2020). *CO2-Utslipp i Store norske leksikon*. Hentet Februar 7, 2022 fra <https://snl.no/CO2-utslipp>
- Pedersen, B. (2021). *SNL om Ammoniakk*. Hentet Mars 15, 2022 fra <https://snl.no/ammoniakk>

- PWC. (2019). *Status H2 som energibærer i maritim nøring*.
- Ship Technology Global. (u.d.). *Could LPG be the marine fuel for the future?* Hentet Mars 3, 2022 fra https://ship.nridigital.com/ship_mar21/lpg_container_ships
- Sjøfartsdirektoratet. (2022). *SOx - svoveloksider*. Hentet Februar 7, 2022 fra <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/utslipp-fra-skip/utslipp-til-luft2/sox---svoveloksider/>
- Sjøfartsdirektoratet. (u.d.). *IMOs miljøarbeid*. Hentet Februar 25, 2022 fra <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/imos-miljoarbeid/>
- Sjøforsvaret. (2021). *Årsrapport Kystvakten 2020*.
- Skipsrevyen. (u.d.). *båtomtaler KV Bergen*. Hentet mars 5, 2022 fra <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/k-v-bergen>
- Skipsrevyen. (u.d.). *båtomtaler KV Nornen*. Hentet Mars 4, 2022 fra <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/k-v-nornen/>
- Skipsrevyen. (u.d.). *MS "Havila Capella"*. Hentet April 2, 2022 fra <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/havila-capella/>
- TEKNA. (2021). *Thorium og saltsmeltereaktorer*. Hentet Februar 28, 2022 fra <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/energi/energibloggen/thorium-og-saltsmeltereaktorer/>
- Æsøy, V. (2022, Mars 1). *Alternative fremdriftssystem*.
- Øystese, K. (2021). *Fire grunner til at ammoniakk og metanol kan bli fremtidens drivstoff*. Hentet Mars 3, 2022 fra <https://energiogklima.no/nyhet/gronn-skipsfart/gronnskipsfart-fire-grunner-til-at-ammoniakk-og-metanol-kan-bli-fremtidens-drivstoff/>

