



Høgskulen på Vestlandet

NAB3030 - Bacheloroppgave

NAB3030

Predefinert informasjon

Startdato:	18-04-2024 09:00 CEST	Termin:	2024 VÅR
Sluttdato:	02-05-2024 14:00 CEST	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave		
Flowkode:	203 NAB3030 1 PRO-1 2024 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
---------------------	----------------------	----------------------

Informasjon fra deltaker

Antall ord *:	<input type="text" value="25736"/>
----------------------	------------------------------------

Egenerklæring *: Ja
Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert
oppgavetittelen på
norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn:	(Anonymisert)
Gruppenummer:	2
Andre medlemmer i gruppen:	ID ikke tilgjengelig, ID ikke tilgjengelig

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Nei

BACHELOROPPGAVE

Seilende inn i fremtiden: Fremtidens drivstoff og fremdriftssystemer for maritime fartøy

Sailing into the future: Future fuels and propulsion systems for maritime vessels

Nikodem Włodarczyk

Christian Møller

David Haftorsen

Bachelor i Nautikk

Høgskulen på Vestlandet – Institutt for maskin- og maritime studium – Haugesund

Veileder: Johnny Nordahl Berentzen

02.05.2024

Forord

Vi vil gjerne takke informantene fra de tre ulike vestlandsredieriene som ville delta i vår oppgave. Innsikten og erfaringen deres var svært lærerik og verdifull for utformingen av denne oppgaven. Vår veileder Johnny Nordahl Berentzen, fortjener også anerkjennelse og stor takk for assistanse i fremstillingen av oppgaven og tilbakemeldinger som har stadig forbedret sluttresultatet. Oppgaven hadde ikke vært mulig å utføre uten dem. Ikke minst, vil vi takke hverandre for å tilføye hver sin styrke i arbeidet med oppgaven.

Oppgaven har vært krevende å fremstille, siden mye av informasjonen rundt dette temaet er meget fersk, og dermed under stadig utvikling. Denne oppgaven markerer avslutningen på et spennende og gøy, men samtidig svært krevende bachelorløp i Nautikk ved Høgskulen på Vestlandet, og er et resultat av den brede kunnskapen vi har opparbeidet oss i løpet av de tre siste årene her i Haugesund. Dessuten markerer denne oppgaven selve starten på vår maritime karriere, og lærdommen som vi vil fortsette å utvikle utover karrierens løp.

Miljøvern er et stort tema nå til dags, og den maritime næringen er svært opptatt av å nå bærekraftsmålene. Det inspirerte oss til å velge temaet vårt, da vektleggingen av miljøvennlighet er noe som i den siste tiden stadig mer preger alle våre liv. I tillegg har sjøfarten et spesielt ansvar for å ta vare på havmiljøet.

Sammendrag

I dagens samfunn merker vi en stadig økende oppmerksomhet og bekymring knyttet til klimaendringer. Nylig kunngjorde IMO et mål om å halvere de globale CO₂-utslippene fra den maritime næringen innen 2050. Dette initiativet markerer en vesentlig endring innen skipsfarten, som nå tar sikte på en mer bærekraftig kurs for fremtiden. Derfor kom vi fram til følgende problemstilling; *Hvilke fordeler og ulemper har nye miljøvennlige alternative drivstoff i den maritime næringen?*

Formålet med studien er å skape oversikt over ulike fordeler og ulemper ved fire forskjellige alternative drivstoff som vi har valgt å omtale i denne oppgaven. De alternative drivstoffene vi har valgt å ta med er hydrogen, ammoniakk, LNG og metanol. Til slutt konkluderer vi med hvilket av disse fire drivstoffene som er best egnet til å oppnå mer miljøvennlige maritime operasjoner. Alt i alt, kom vi fram til at ammoniakk virker som det mest hensiktsmessige alternativet på langsikt, mens LNG virker foreløpig som det aller beste alternativet på kortsikt.

Noe media og politikere ofte glemmer, er å ikke bare se på utslipp som kommer fra alternative drivstoff når de blir brukt til fremdrift på skip, men heller se på det store bildet, som vil si alle utslipp som oppstår gjennom drivstoffenes hele livsløp, fra de produseres til de forbrennes eller på andre måter brukes til fremdrift. I tillegg må disse drivstoffene være trygge å ta i bruk, samt ha etablert grønn infrastruktur for produksjon, slik at vi faktisk reduserer utslipp av drivhusgasser betydelig når vi implementerer alternative drivstoff i skipsfarten.

I vår forskning brukte vi en kvalitativ metode med åpne kvalitative individuelle intervjuer for å få innsikt i rederienes syn på bruken av disse fire alternative drivstoffene og overgangen til mer miljøvennlige drivstoff i den maritime næringen generelt. Vi valgte denne metoden for å komme nærmere informantene og forstå deres egne oppfatninger bedre. Reell arbeidserfaring var noe vi var spesielt interessert i å ta nytte av, når vi valgte hvem vi ønsket å intervju.

Summary

In today's society, we notice a growing attention and concern regarding climate change. Recently, IMO announced a goal to halve global CO₂ emissions from the maritime industry by 2050. This initiative marks a significant shift in shipping, aiming for a more sustainable course for the future. Hence, we arrived at the following research question: *What are the advantages and disadvantages of new environmentally friendly alternative fuels in the maritime industry?*

The purpose of the study is to provide an overview of various advantages and disadvantages of the four different alternative fuels that we have chosen to discuss in this paper. The alternative fuels we have chosen to include are hydrogen, ammonia, LNG, and methanol. Ultimately, we conclude which of these four fuels is the best suited to achieve more environmentally friendly maritime operations. Overall, we found that ammonia appears to be the most suitable long-term option, while LNG seems currently to be the very best short-term option.

Something that the media and politicians often overlook, is not only considering emissions produced by alternative fuels when used for propulsion on ships, but rather looking at the big picture, which includes all emissions generated throughout the entire lifecycle of the fuels, from the production to combustion or through other uses for propulsion. Additionally, these fuels must be safe to use, and have established green infrastructure for production, so that we can actually significantly reduce greenhouse gas emissions when implementing alternative fuels in shipping.

In our research, we employed a qualitative method using open qualitative individual interviews to gain insight into shipping companies' perspectives on the use of these four alternative fuels and the transition to more environmentally friendly fuels in the maritime industry in general. We chose this method to get closer to the informants and to better understand their own perceptions. Real work experience was something we were particularly interested in, leveraging when selecting whom to interview.

Innholdsfortegnelse

BACHELOROPPGAVE	i
Forord.....	ii
Sammendrag	iii
Summary	iv
Figurliste	ix
Liste over forkortelser.....	x
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for valg av oppgave.....	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Avgrensninger	4
1.4 Oppbygging av oppgaven	5
2 Teori.....	5
2.1 Introduksjon.....	5
2.2 Hydrogen.....	14
2.2.1 Generell informasjon om hydrogen og dets egenskaper	14
2.2.2 Produksjon av hydrogen.....	15
2.2.3 Infrastruktur.....	17
2.2.4 Bruk av hydrogen som drivstoff om bord på skip	19
2.3 Ammoniakk	21
2.3.1 Generell informasjon om ammoniakk og dens egenskaper	21

2.3.2 Produksjon av ammoniakk	22
2.3.3 Infrastruktur.....	24
2.3.4 Bruk av ammoniakk som drivstoff om bord på skip	25
2.4 LNG.....	27
2.4.1 Generell informasjon om LNG og dens egenskaper	27
2.4.2 Produksjon av LNG	28
2.4.3 Infrastruktur.....	29
2.4.4 Bruk av LNG som drivstoff om bord på skip	31
2.5 Metanol	33
2.5.1 Generell informasjon om Metanol og dens egenskaper	33
2.5.2 Produksjon.....	34
2.5.3 Infrastruktur.....	35
2.5.4 Bruk av metanol som drivstoff om bord på skip	37
3 Metode	39
3.1 Kvalitative forskningsmetoder	39
3.2 Åpent kvalitativt individuelt intervju	39
3.3 Intervjuets struktur	40
3.4 Utvalg av informanter	41
3.5 Gjennomføring av intervjuer	42
3.5.1 Forberedelser.....	42
3.5.2 Gjennomføring.....	43

3.6 Analysering av innsamlet data.....	44
4 Resultat	45
4.1 Tema 1: Hydrogen.....	45
4.1.1 Informant 1	45
4.1.2 Informant 2.....	45
4.1.3 Informant 3.....	46
4.2 Tema 2: Ammoniakk.....	46
4.2.1 Informant 1	46
4.2.2 Informant 2.....	47
4.2.3 Informant 3.....	47
4.3 Tema 3: LNG.....	48
4.3.1 Informant 1	48
4.3.2 Informant 2.....	48
4.3.3 Informant 3.....	49
4.4 Tema 4: Metanol	49
4.4.1 Informant 1	49
4.4.2 Informant 2.....	49
4.4.3 Informant 3.....	50
5 Drøfting	50
5.1 Hydrogen.....	51
5.1.1 Pris og tilgjengelighet.....	51

5.1.2 Sikkerhet.....	52
5.1.3 Grad av miljøvennlighet.....	52
5.2 Ammoniakk	53
5.2.1 Pris og tilgjengelighet.....	53
5.2.2 Sikkerhet.....	54
5.2.3 Grad av miljøvennlighet.....	54
5.3 LNG.....	55
5.3.1 Pris og tilgjengelighet.....	55
5.3.2 Sikkerhet.....	56
5.3.3 Grad av miljøvennlighet.....	56
5.4 Metanol	57
5.4.1 Pris og tilgjengelighet.....	57
5.4.2 Sikkerhet.....	58
5.4.3 Grad av miljøvennlighet.....	58
6 Konklusjon	59
6.1 Hvilket av de fire drivstoffene er best egnet til å oppnå mer miljøvennlige maritime operasjoner innen «short-sea shipping»?	59
6.2 Veien Videre: Forslag til fremtidig forskning	60
7 Litteraturliste	61
8 Vedlegg.....	69
8.1 Samtykkeerklæring.....	69

8.2 Intervjuguide.....	74
------------------------	----

Figurliste

Figur 1: Gram CO ₂ -utslipp ved transport av ett tonn per kilometer, for ulike transportmidler (Nordic Council of Ministers, 2017, s. 11).....	6
Figur 2: Andel CO ₂ i atmosfæren målt fra observatoriet i Mauna Loa (NASA, 2019)	7
Figur 3: Gjennomsnittstemperatur på Jorden over de siste 540 millioner år (Wikimedia, 2023)	8
Figur 4: Tre ulike nivåer for grenser av nitrogenutslipp og hvor stor mengde nitrogenutslipp de tillater (Headway Technologies, u.å.)	10
Figur 5: Områder med grenser for utslipp av svovel og nitrogen i Europa (Mallidis, Despoudi, Dekker, Lakovou, & Vlachos, 2020, s. 682)	11
Figur 6: Prosentdel av verdensflåten som benytter alternative drivstoff (DNV, 2024).....	11
Figur 7: Andelen skip som enten er bestilt eller under konstruksjon og som vil benytte alternative drivstoff (DNV, 2024).....	12
Figur 8: Opptak av alternative drivstoff etter skipstype (DNV, 2024)	13
Figur 9: Andel containerskip i verden som er drevet av alternative drivstoff i forhold til bruttotonnasje og containerskip som er bestilt eller under bygging, som vil bli drevet av alternative drivstoff (DNV, 2023, s. 8).....	13
Figur 10: Fremstilling av grått, blått og grønt hydrogen (Energy Education, u.å.)	17
Figur 11: Forenklet illustrasjon av prosessen i en brenselcelle (Bjartnes, Larsen Hirth, Paarup Michelsen, & Ursin, 2021, s. 7)	20
Figur 12: Forenklet sammenligning av størrelsen til drivstofftankene for hydrogen og ammoniakk, i forhold til LNG (SEA-LNG, 2021).....	26

Figur 13: Global infrastruktur for bunkring av LNG (DNV, 2023, s. 13)..... 31

Figur 14: Metoder for produksjon av metanol og deres karbonavtrykk (DNV, 2023, s. 49)... 35

Figur 15: Drivstoffpriser i USD per tonn (DNV, 2024) 52

Liste over forkortelser

Forkortelse	Betydning
IMO	International Maritime Organization
CO ₂	Karbondioksid
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
IMRoD	Introduksjon, Material og metode, Resultat og Diskusjon
CN	Common Era
FN	De Forente Nasjoner
NASA	National Aeronautics and Space Administration
COP 21	Conference of the Parties 21 (FNs klimakonferanse i Paris 2015)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
C°	Grader Celsius
GHG	Revised Greenhouse Gas Strategy
MARPOL	The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
ECA	Emission Control Areas
NO _x	Nitrogenoksider
SO _x	Svoveloksider

g/kW.h	Gram per kilowatt time
RPM	Revolutions Per Minute
RoPax	Roll-on/Roll-off passenger vessel
Ro-Ro	Roll-on/Roll-off
H	Hydrogen
H2	Hydrogengass
H2O	Vann
CH4	Metan
MJ/kg	Megajoule per kilogram
MJ/liter	Megajoule per liter
MPa	Megapascal
O2	Oksygen
MF	Motor Ferry
LH2	Flytende hydrogen
PSV	Plattform Supply Vessel
TWh	Terawatt time
PEM	Proton Exchange Membrane
IGF-koden	International Code for Safety of Ships using Gases or Other Low-flashpoint Fuels
DNV	Det Norsk Veritas
ISO/TR	International Organization for Standardization / Technical Reports
SGMF	The Society for Gas as a Marine Fuel

ISO/TS	International Organization for Standardization / Technical Specifications
NH3	Ammoniakk
MW	Megawatt
EU	European Union
N2O	Lystgass
SCC	Stress Corrosion Cracking
C2H6	Etan
C3H8	Propan
USA	United states of America
VLCS	Very Large Container Ships
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
ULCS	Ultra Large Container Ships
CNG	Compressed Natural Gas
IACS	International Association of Classification Societies
CH3OH	Metanol
Syngas	Synthesis Gas
CCS	Carbon Capture and Storage
COSCO	China Ocean Shipping Company
CMA CGM	Compagnie Maritime d`Affrètement and Compagnie Générale Maritime
TA	Tematisk Analyse
VOC	Volatile Organic Compounds
USD	United States Dollar

HFO	Heavy Fuel Oil
WtW	Well to Wake
HVL	Høgskulen på Vestlandet

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for valg av oppgave

Valget av dette temaet, som er nye alternative drivstoff på skip, ble gjort primært fordi det virker som om det ikke er tilstrekkelig omtalt, samtidig som det er svært interessant å få en dypere forståelse for de ulike drivstoffene og typene av maskineri på skip, hvordan de holdes i drift, og ikke minst de miljømessige og økonomiske aspektene ved bruken av ulike alternative drivstoff som har begynt å dukke opp i den maritime industrien de siste årene.

I tillegg er dette temaet svært relevant og viktig i lys av økende fokus og bekymring for klimaendringer. Behovet for internasjonale målsetninger og strammere rammeverk til sjøs er mer påtrengende enn noensinne. IMO sitt mål om en halvering av globale CO₂-utslipp i den maritime næringen representerer et betydningsfullt skritt til å få den maritime industrien til å endre kurs, og stevne mot en mer miljøvennlig og bærekraftig fremtid, ikke bare for den maritime industrien sin skyld, men også for alt av liv på Jorden, ettersom den maritime industrien utgjør en betydelig del av våre totale utslipp, men samtidig er den en essensiell rolle i vår daglige tilværelse og er livsviktig for at verden skal kunne fungere slik vi kjenner den i dag.

Dessuten hadde det vært inspirerende og meningsfullt å jobbe med en oppgave som kan gi oss et stort utbytte i form av verdifull kunnskap og kompetanse innen akkurat dette temaet, og som kan være til stor nytte når vi skal begynne å jobbe som kadetter allerede nå i sommer. Økt generell forståelse innen dette, vil ikke bare bidra til å oppfylle IMO sine mål, men også styrke vår forberedelse og kompetanse for å møte de utfordringene og mulighetene som ligger foran oss i den maritime industrien.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen som vi har tatt stilling til og skal besvare i denne oppgaven, er som følger:

Hvilke fordeler og ulemper har nye miljøvennlige alternative drivstoff i den maritime næringen?

Temaet for vår oppgave dreier seg altså om nye alternative drivstoff på skip, som vil si andre typer drivstoff enn konvensjonelle drivstoff som diesel eller tungolje, med fokus på å avdekke fordeler og ulemper med slike alternative drivstoff. Disse aspektene skal vi diskutere og besvare ved å gå inn på blant annet generell informasjon om ulike alternative drivstoff og deres egenskaper, tilgjengelighet med tanke på produksjon og infrastruktur, samt deres anvendelse som drivstoff om bord på skip. Videre skal vi legge frem resultatene vi har oppnådd ved å intervjuer en representant hver fra tre ulike rederier, og basert på dette, vil vi til slutt konkludere med hvilket alternativt drivstoff vi tenker egner seg best til å oppnå bærekraftige og mer miljøvennlige operasjoner innen skipsfarten. Dessuten knyttes oppgaven opp mot Den internasjonale maritime organisasjonens (IMO) mål om en reduksjon av CO₂-utslipp i den maritime næringen på 50% innen 2050.

I denne oppgaven skal vi dermed undersøke og utforske fire forskjellige alternative drivstoff. Blant disse fire drivstoffene, finner vi hydrogen, ammoniakk, LNG og metanol. Grunnen til at vi bestemte oss for å velge ut disse fire drivstoffene, er at vi ville velge ut to drivstoff som i dag har blitt ganske utbredt, eller blir det i nær fremtid, og to drivstoff som er svært lite utbredt og som heller ikke ser ut til å bli så veldig utbredt i nær fremtid, men som det forskes mye på nå for tiden. LNG er per i dag det desidert mest utbredte alternative drivstoffet i den maritime næringen. Metanol ligger i dag på tredje plass innen alternative drivstoff når det kommer til antall skip som benytter dette som drivstoff om bord, men når det kommer til skip som per i dag er bestilt og/eller under bygging, så vil metanol få en stor betydning i løpet av de neste årene og havne på en solid andreplass i forhold til antall skip som vil kunne benytte dette som drivstoff om bord. Både hydrogen og ammoniakk derimot, står akkurat nå for en særdeles liten del av bruk i verdens totale skipsflåte, og statistikk viser at det vil komme nye skip på markedet som vil kunne benytte seg av disse to drivstoffene, men mengden vil fortsatt være veldig lav i forhold til andre alternative drivstoff som for eksempel LNG og metanol, noe som gjør at hydrogen og ammoniakk vil få forholdsvis lite betydning i den maritime næringen i nærmeste fremtid. Likevel forskes det mye på disse to sistnevnte drivstoffene, og da spesielt her på Vestlandet, og som følge av dette tenkte vi at det hadde vært interessant å inkludere disse to mer «eksotiske» drivstoffene med foreløpig liten utbredelse. Informasjonen nevnt over henvises til figur 9 og 10, som man finner senere i oppgaven.

I begynnelsen diskuterte vi litt angående om vi også ikke skulle inkludere LPG, biodrivstoff og batteridrift i oppgaven, men vi fant fort ut av at oppgaven da hadde blitt altfor omfattende, så vi valgte å se bort ifra dette, og heller bare ta med hydrogen, ammoniakk, LNG og metanol, slik at prosjektet da blir mindre omfattende og mer presist og ryddig. I tillegg ble denne beslutningen tatt ut ifra informasjonen vi har fått vite av informantene under utførelsen av intervjuer. Batteridrift er herved ekskludert fordi ren batteridrift, altså bruk av fremdriftssystemer som bare benytter batteri og ikke brukes gjennom noen former for hybride funksjoner, er svært upraktisk på grunn av de enorme energimengdene som kreves for fremdrift, samt tyngden og selve størrelsen på batteripakkene, noe som gjør at det egner seg meget bra til korte avstander som på ferger som bare krysser fjorder, men ikke når man skal ut på havet. Batterier er under stadig utvikling, men de har fortsatt betydelige begrensninger. Hybride fremdriftssystemer fungerer nå meget bra og effektivt, men vi valgte å begrense denne oppgaven til fremdriftssystemer som bare benytter et drivstoff eller en form av fremdrift om gangen, utenom systemer med brenselcelleanlegg, som i dag er svært viktig del av bruken av hydrogen og ammoniakk som drivstoff.

Vi har også sett bort ifra biodrivstoff. Hovedgrunnen som ligger bak denne beslutningen, er at informantene våre anser biodrivstoff å være et småskala-fenomen med tanke på at produksjonskjeden for skipsfart ikke er til stede. Dessuten kan det være en grei måte å utnytte avfall på, ved noen omstendigheter, men en produksjon som bare baserer seg på bio-avfall, er altfor liten og vil ikke kunne dekke den maritime næringen sitt behov. Produksjonen kan imidlertid skaleres opp, men da må man bruke biologiske materialer som ikke er avfall ved å ta maten fra folk, som heller ikke er en god ting. LPG derimot, blir av informantene generelt sett på som et drivstoff som består av mest propan og samles opp som et kondensat fra avgassene fra lasten om bord på LPG-tankskip. I tillegg brukes det som oftest sammen med LNG på skip, ved at LPG blandes inn i LNG-en (10-15%) og blir forbrent i en skipsmotor for fremdrift. Ellers har informantene ingen erfaring eller kunnskap om det å kun benytte LPG til fremdrift i sjøfart, og ekskluderes dermed ved at vi bare valgte å omtale drivstoff som blir brukt hvert for seg om bord på skip, utenom bruk av brenselcelleanlegg.

1.3 Avgrensninger

Denne oppgaven begrenser seg til skipsfart som kalles «short-sea shipping» eller nærskipsfart på norsk. Skip som seiler i nærskipsfarten, er vanligvis skip som opererer i begrensede geografiske områder og på relativt korte ruter med hyppige anløp. På grunn av sitt relativt lave energibehov er disse skipene ofte gode kandidater for testing av nye drivstoff, som ofte er preget av høye energi- og lagringskostnader (DNV, 2019, s. 6). Her er det også viktig å nevne at offshore-sektoren er en del av dette. Det samme gjelder mindre bulkskip og tankskip, som bare seiler i Europeiske farvann. Alle former for interkontinentalfart og oversjøisk transport som seiler over svært lange distanser, vil ikke tas med i denne oppgaven. Grunnen er at disse skipene krever drivstoff som er tilgjengelig globalt, og energi-kilden ombord må ha tilstrekkelig høy energitetthet for å maksimere tilgjengelig lasteplass. På grunn av dette vil testing og bruk av alternative løsninger til diesel og tungolje i denne delen av sjøfarten være meget utfordrende (DNV, 2019, s. 6).

En annen avgrensning vi ville inkludere i denne oppgaven er europeisk sjøfart. Dette gjør at hele oppgaven sentreres rundt Europa, blant annet ved at vi da bare forholder oss til blant annet europeiske regler og reguleringer for utslipp, samt hvordan klimatiltak håndteres i Europa og tilgjengelighet av alternative drivstoff i denne delen av verden. Det er lettere å holde seg til ett geografisk område enn å innhente data fra rederier over hele verden. Dette gjør det også lettere å komme i kontakt med relevante intervjuobjekter. Oppgavens tema er dessuten svært relevant for Norge, siden flere av våre lokale rederier har begynt å utforske med alternative drivstoff nå i det siste, noe som gjør at vi kan kalles for pionere innen dette feltet.

I tillegg vil vi i denne oppgaven bare forholde oss til hvert drivstoff hver for seg. Det er rimelig å tro at noen av drivstoffene vi har tatt med i oppgaven har mye bedre karakteristikk og potensialer som gjør at de egner seg mye bedre sammen med andre drivstoff, men for å gjøre det mye enklere for oss selv og for oppgavens skyld med tanke på hvor omfattende den da hadde blitt, så valgte vi å utelate ulike former for hybride fremdriftssystemer eller fremdriftssystemer som drives av flere enn ett drivstoff om gangen, utenom bruk av brenselcelleanlegg, som i dag er helt avgjørende for muligheten til å kunne bruke både hydrogen og ammoniakk som drivstoff om bord på skip, samt for det å redusere utslipp betydelig, og kan av den grunn ikke utelates. Slike systemer produserer elektrisitet ved hjelp av hydrogen, ammoniakk eller andre drivstoff, som deretter brukes til fremdrift.

1.4 Oppbygging av oppgaven

I dette forskningsprosjektet har vi benyttet oss av IMRoD-modellen og dens struktur, fordi denne modellen egner seg godt for vitenskapelige undersøkelser som anvender kvalitative metoder. Modellen omfatter fire forskjellige deler, og disse er innledning, metode, resultat og drøfting (Rognsaa, 2015, ss. 42-52). Den første delen av denne oppgaven, altså teoridelen, består av to deler, hvor den første er en kort introduksjon til emnet forskningsprosjektet omhandler, mens den andre, som da er hoveddelen av teoridelen, omhandler fire ulike drivstoff, ved hjelp av å dele alle drivstoffene vi har tatt med i forskningsprosjektet, i fire undertemaer. Disse fire undertemaene er; generell informasjon om drivstoffet og dets egenskaper, produksjon, infrastruktur, samt ulike aspekter ved stoffets funksjon og bruk som drivstoff om bord på skip. Denne delen har som formål at leseren skal kunne få en grunnleggende og helhetlig forståelse, og innføring i temaet.

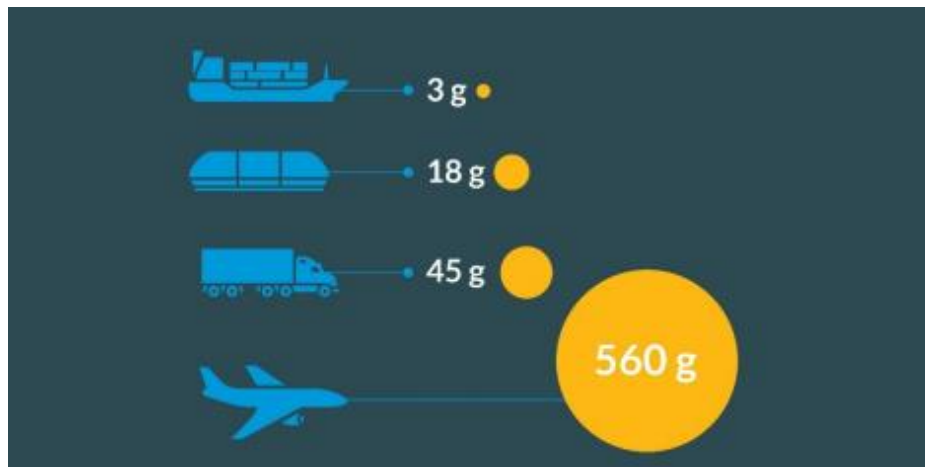
Videre kommer vi til metoddelen, hvor vi blant annet presenterer valg av metode, valg av måte å gjennomføre intervjuer på, samt alle forberedelser til intervjuene. Deretter kommer resultatdelen, hvor vi da gir en presentasjon av empiri, altså faglig data som vi har greid å samle inn gjennom utførelsen av de tre intervjuene. Til slutt kommer drøftingsdelen, hvor vi presenterer våre resultater og funn, drøfter dem opp mot teori, og gir en konklusjon som har som mål å besvare problemstillingen vi har valgt og velge ut et drivstoff som vi mener er best egnet til å oppnå mer miljøvennlige maritime operasjoner.

2 Teori

2.1 Introduksjon

Skipsfart binder verden sammen. Den representerer den viktigste infrastrukturen for handel mellom land og kontinenter. Ifølge IMO, står internasjonal skipsfart for mer enn 80% av verdenshandelen (IMO, u.å.). Transport via sjøveien er også den mest energieffektive og kostnadseffektive metoden for transport av gods. Den gir en pålitelig og rimelig måte å frakte varer globalt på. Det kan også sies at den maritime industrien fungerer som ryggraden i vårt globaliserte samfunn, og dermed også i den globale økonomien, og dens pålitelighet er avgjørende for å opprettholde de tette handelsforbindelsene som knytter verdenssamfunnet sammen. Som demonstrert i figuren på neste side, er sjøtransport allerede den mest

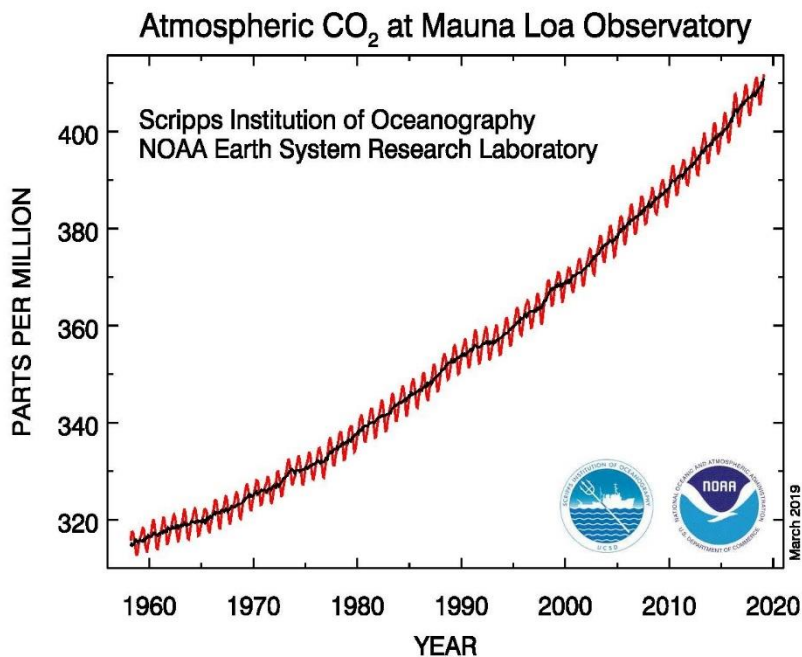
miljøvennlige måten å frakte varer på og ett tonn med gods fraktet på et skip emitterer kun 3g CO₂-utslipp per kilometer (Nordic Council of Ministers, 2017, s. 11).



Figur 1: Gram CO₂-utslipp ved transport av ett tonn per kilometer, for ulike transportmidler (Nordic Council of Ministers, 2017, s. 11)

Likevel er skipsfarten også en kilde til utslipp av klimagasser og i dag står skipsfarten for 2,89% av globale klimagassutslipp (FN-Sambandet, 2023). For Norge er utslippene enda høyere og samlet sjøfart står for opptil 7% av våre totale klimautslipp, som da tilsvarer 24% av totale norske transportutslipp, men samtidig er vi ledende i grønn skipsfart og skipsflåten vår har karbonreduserende tiltak som er opptil 10 ganger mer omfattende enn gjennomsnittet på verdensbasis (McKinsey & Company, 2023). Utslippene fra denne sektoren kan i første omgang virke overraskende lave for noen, men på grunn av stadig strengere krav til utslipp, både til havs og på land, understreker det behovet for å adressere og redusere utslippene fra den maritime industrien, slik at vi klarer å oppfylle nasjonale og internasjonale klimamål.

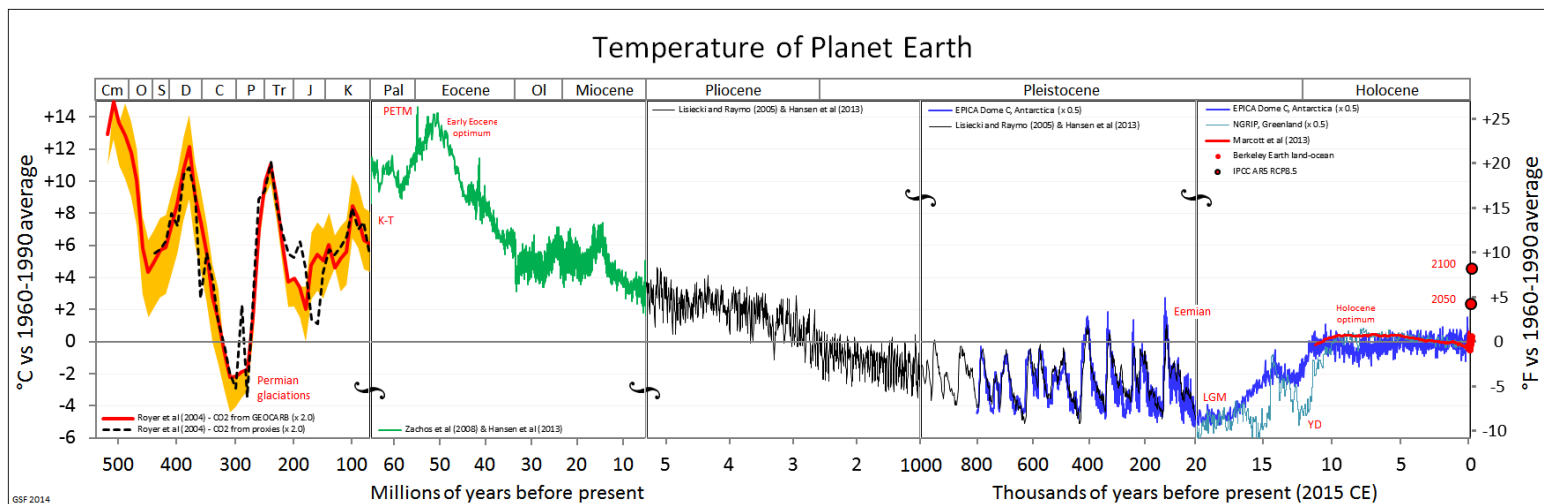
I dag blir flere og flere folk overbevist om at global oppvarming truer våre økosystemer, biologiske mangfold, naturlige omgivelser og livet på jorden på en alarmerende måte, samt at de kraftige og plutselige endringene i temperaturen ikke bare utgjør en trussel mot naturen, men også en betydelig utfordring for økonomien, migrasjonsmønstre og det internasjonale samfunnet som helhet. Havet, som har absorbert hele 90% av den overskytende varmen, blir gradvis surere, noe som kan forverre situasjonen ytterligere (Norges Rederiforbund, 2020, s. 8).



Denne grafen, som er laget på grunnlag av målinger og beregninger fra NASA, viser en kraftig økning i andel drivhusgasser i atmosfæren siden 1960 og frem til nå (NASA, 2019). I dette tilfellet er det mengden CO₂ i atmosfæren som blir vist.

Figur 2: Andel CO₂ i atmosfæren målt fra observatoriet i Mauna Loa (NASA, 2019)

Samtidig er det viktig å merke seg at gjennomsnittstemperaturen på Jorden har blant annet vært preget av sykluser av istider og påvirkninger fra verdensrommet, som for eksempel meteoritter, samt endringer ved Jordens helningsvinkel og endringer av vår bane rundt solen (National Geographic, 2023). Men til syvende og sist er det vi mennesker som står for den drastiske endringen av temperaturer på jorden på det svært korte tidsrommet mellom begynnelsen av den industrielle revolusjonen og nå. Dette understreker vår rolle i å forårsake betydelige endringer i jordens klima på en relativt kort tidsramme, som lett kan merkes ved å studere grafen på neste side. Denne grafen presenterer estimater for global gjennomsnittstemperatur over de siste 540 millioner år, altså siden den første store utbredelsen av komplekse livsformer på Jorden (Wikimedia, 2023).



Figur 3: Gjennomsnittstemperatur på Jorden over de siste 540 millioner år (Wikimedia, 2023)

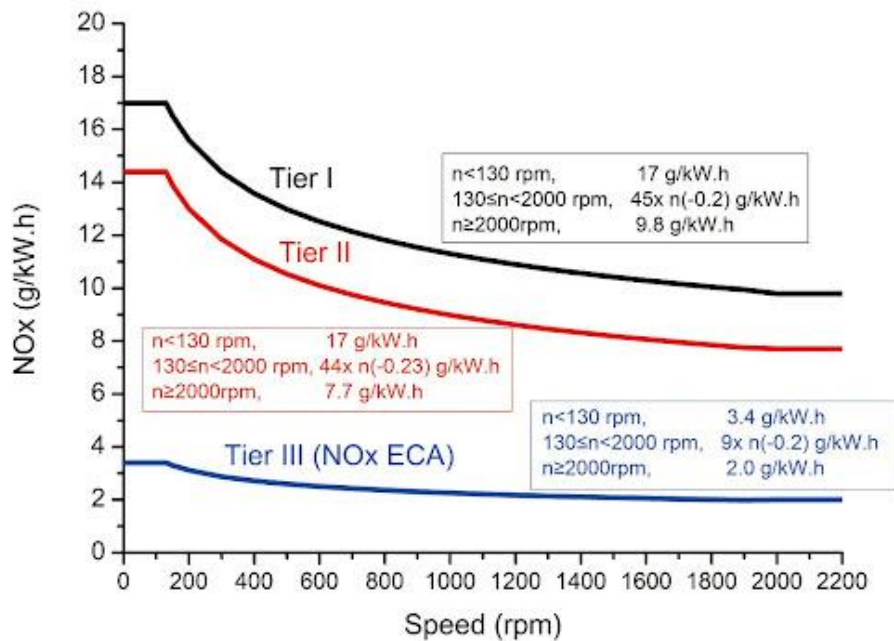
I en tid hvor klimaendringene står sentralt og er en av de mest presserende utfordringene vi nå står ovenfor, har verdenssamfunnet samlet seg om Parisavtalen for å begrense global oppvarming. Under COP 21 i Paris den 12. desember 2015, nådde partene i FN's rammekonvensjon om klimaendringer, ofte forkortet UNFCCC, en historisk avtale for å bekjempe klimaendringer og akselerere, samt intensivere tiltak og investeringer som er nødvendige for en bærekraftig fremtid, med lavutslippssamfunn i fokus (UNFCCC, u.å.). Parisavtalen bygger på konvensjonen og bringer for første gang alle nasjoner sammen i en felles innsats for å gjennomføre ambisiøse tiltak, slik at vi skal kunne klare å bekjempe klimaendringer og tilpasse oss deres virkninger, samt hjelpe utviklingsland i å nå disse målene. Parisavtalen søker også blant annet å begrense temperaturøkningen til under 2 grader Celsius over førindustrielle nivåer og streber etter å begrense den til 1,5 C°, og erkjenner behovet for å styrke evnen til å tilpasse seg konsekvensene av klimaendringer (UNFCCC, u.å.). Slik legger denne avtalen en ny kurs for innsatsen mot klimaendringer på globalt nivå.

I denne sammenhengen blir reduksjonen av klimagassutslipp fra skipsfarten enda mer essensiell. Selv om sjøtransport er den mest miljøvennlige måten å frakte varer på, krever det betydelige innsatser for å minimere bransjens klimapåvirkning ytterligere. På grunn av dette har IMO innført nye tiltak og regelverk for å redusere utslippene i den maritime industrien ytterligere. Det aller viktigste bidraget er IMO sin «Revised Greenhouse Gas Strategy» eller GHG som forkortelse, som ble vedtatt i 2018 og er en strategi for å redusere klimagassutslipp, samt hvor målet er en halvering av maritime utslipp av CO₂ innen året 2050 (UNCTAD, 2023). Denne strategien fastsetter en visjon for å redusere klimagassutslipp fra internasjonal

skipsfart og fjerne dem så tidlig som mulig i dette århundret. Visjonen bekrefter også IMO sin forpliktelse til å redusere klimagassutslipp fra skipsfarten og hastverket med å eliminere dem. I tillegg forestiller denne innledende strategien for første gang en reduksjon i totale klimagassutslipp fra internasjonal skipsfart. Målet er å nå toppen av utslippene så tidlig som mulig og deretter redusere de årlige utslippene med minst 50% innen 2050, sammenlignet med utslippene i 2008 (UNCTAD, 2023). Samtidig legges det vekt på å fortsette innsatsen for å fase ut utslippene fullstendig.

Dessuten setter ikke strategien bare et mål for 2050, men fastsetter også mål for reduksjon av utslipp innen 2030 (20% reduksjon i utslipp, med mål om 30%) og 2040 (70% reduksjon i utslipp, med mål om 80%), og tar hensyn til alle klimagassutslipp gjennom hele livssyklusen, som da vil si alle utslipp fra produksjon til forbrenning av drivstoff (UNCTAD, 2023). 2030 er rett rundt hjørnet, og disse målene gir dermed et signal om at umiddelbar handling er nødvendig og legger en tydelig retningslinje for hvordan man skal gå frem for å nå disse målene.

IMO har også noen strenge krav og regelverk rundt utslipp av drivhusgasser fra før av, som stadig endres på grunn av enda større og flere miljøtiltak, samt strengere krav. MARPOL Annex VI trådte i kraft i 2005 og representerer verdensomspennende enighet om at skadelige luftutslipp fra skip bør reduseres i takt med utviklingen av denne evnen. Vedlegget inkluderer blant annet gradvise reduksjoner av SO_x-utslipp fra skip, gradvise reduksjoner av NO_x-utslipp fra marine motorer og reviderte kriterier for områder med spesielle utslippsrestriksjoner, også kjent som ECA (Emission Control Areas) (ABS, 2023, s. 4). Den aller siste oppdateringen av dette regelverket skjedde i 2020, når vi fikk en global marin svovelgrense (SO_x) på 0,50% (lå tidligere på 3,5%), som gjør at skip nå er nødt til å gå over til marine drivstoff med et svovelinnhold på ikke mer enn 0,50%, mens året før ble en nitrogengrense innført (NO_x Tier III) for områder med spesielle utslippsrestriksjoner (ABS, 2023, ss. 4-6). Neste figur viser en graf for de tre nivåene for nitrogengrenser, hvor nivå 3 blant annet gjelder for Nordsjøen og Østersjøen (Headway Technologies, u.å.).



Figur 4: Tre ulike nivåer for grenser av nitrogenutslipp og hvor stor mengde nitrogenutslipp de tillater (Headway Technologies, u.å.)

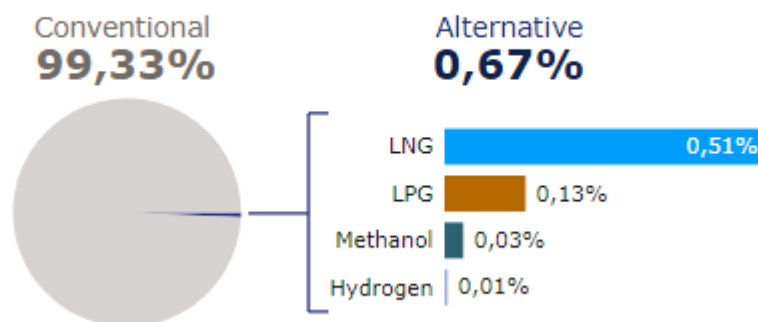
På neste side vises et kart som markerer områder med restriksjoner for svovel- og nitrogenutslipp i Europa. Lyseblå farge angir områder med svovelutslippsgrenser fastsatt av EU, og hvor grensen tilsvarende 0,50%. Disse områdene ble innført før den nåværende globale marine svovelgrensen (markert med grå farge på figuren), som også tilsvarende det samme nivået. Mørkeblå farge derimot, representerer ECA-områdene i Europa (Nordsjøen og Østersjøen), altså områder med spesielle og ekstra strenge utslippsrestriksjoner (Mallidis, Despoudi, Dekker, Lakovou, & Vlachos, 2020, s. 682). Som nevnt tidligere, ligger grensen for svovelutslipp i ECA-områder på 0,10%, og nivå 3 for nitrogenutslipp gjelder når man ferdes i disse områdene. I tillegg er det verdt å nevne at Middelhavet vil også regnes som et ECA-område fra 1. mai 2025, men her vil det foreløpig bare innføres restriksjoner til svovelutslipp og ikke nitrogenutslipp (DNV, 2023).



Figur 5: Områder med grenser for utslipp av svovel og nitrogen i Europa (Mallidis, Despoudi, Dekker, Lakovou, & Vlachos, 2020, s. 682)

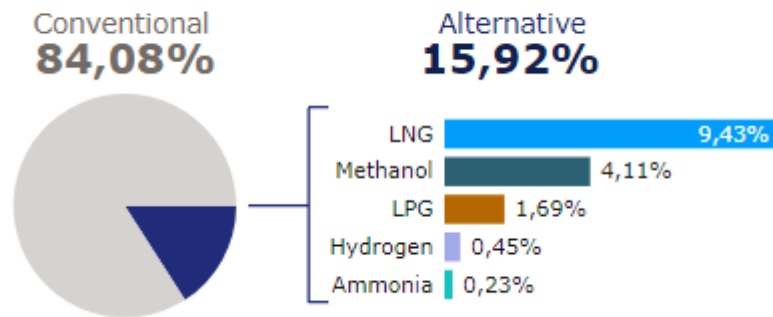
For å være i stand til å etterleve de vedtatte utslippsmålene inkludert målet om minst 50 prosent reduksjon av skipsfartens CO₂-utslipp innen 2050, målt mot utslippsnivået i 2008, så er vi nødt til å implementere alternative drivstoff i den maritime industrien. Begrepet alternative drivstoff brukes om energikilder som kan erstatte, enten helt eller delvis, fossile drivstoff og energikilder innen transport. Alternative drivstoff i sjøfarten vil da si å være drivstoff som erstatter konvensjonelle fossile drivstoff, som marin diesel og tungolje, og dermed bidrar til å redusere klimagassutslipp og luftforurensning fra sjøfarten (Kystverket, u.å.).

In operation



Figur 6: Prosentdel av verdensflåten som benytter alternative drivstoff (DNV, 2024)

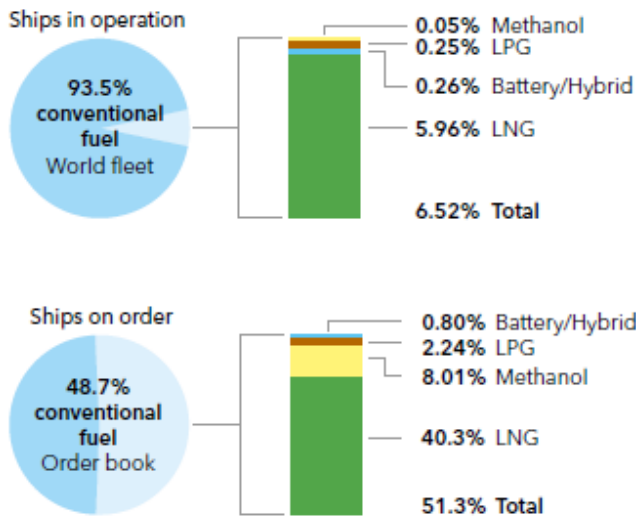
On order



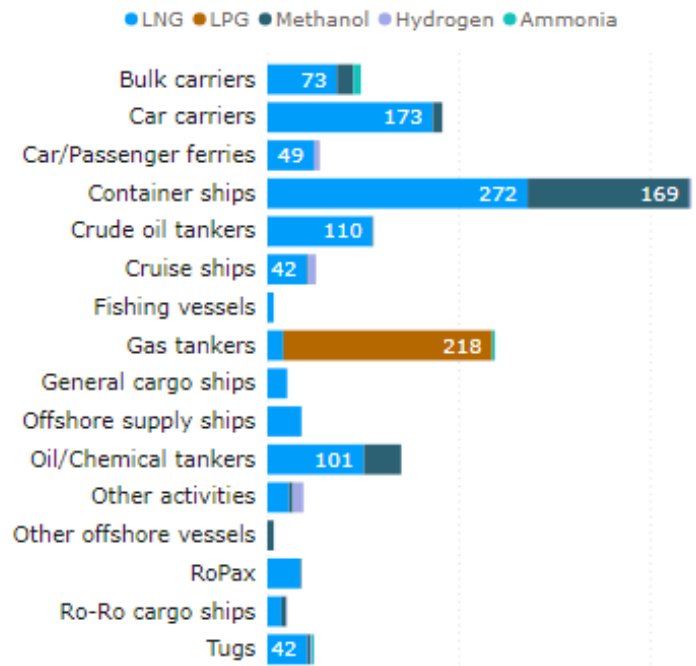
Figur 7: Andelen skip som enten er bestilt eller under konstruksjon og som vil benytte alternative drivstoff (DNV, 2024)

Statistikk fra DNV tilsier at i januar 2024 var det bare 0,67% av alle skip i verden, som var drevet av alternative drivstoff, hvorav 0,51% var drevet av LNG (DNV, 2024). Dette sier oss at nesten hele verdensflåten fortsatt er fullstendig avhengig av konvensjonelle drivstoff som marin diesel og tungolje, men heldigvis ser dette ut til å endre seg betydelig de neste årene, og vi beveger oss gradvis mot en mer miljøvennlig fremtid for skipsfarten.

Figuren for skip som er bestilt og/eller under bygging, viser altså at hele 15,92% av alle skip som var bestilt og/eller under konstruksjon i januar 2024, vil bli drevet av et alternativt drivstoff (DNV, 2024). Dette peker mot en betydelig endring i bransjen, der stadig flere skip blir utviklet med alternative og mer miljøvennlige drivstoffløsninger. Denne trenden markerer begynnelsen på en fremtid med økt mangfoldighet i drivstoffalternativer for skipsfarten, men til tross for den drastiske endringen fra 0,67% til 15,92% i løpet av bare noen få år, så har vi fortsatt en lang og krevende vei å gå før konvensjonelle drivstoff blir i mindretall i forhold til alternative drivstoff. Dette skyldes at en betydelig majoritet, nemlig 84,08% av alle skip som var bestilt og/eller under konstruksjon i januar 2024, fremdeles vil benytte seg av tradisjonelle drivstoff (DNV, 2024).



Figur 9: Andel containerskip i verden som er drevet av alternative drivstoff i forhold til bruttotonnasje og containerskip som er bestilt eller under bygging, som vil bli drevet av alternative drivstoff (DNV, 2023, s. 8)



Figur 8: Opptak av alternative drivstoff etter skipstype (DNV, 2024)

Blant alle skipstyper verdensflåten består av, så er det altså containerskip som leder trenden med å gå over til alternative og mer miljøvennlige drivstoffløsninger. Ifølge DNV var det i juli 2023 bare 6,52% av alle containerskip i verden, målt i bruttotonnasje, som var drevet av alternative drivstoff, hvorav nesten 6% var drevet av LNG (DNV, 2023, s. 8). Ved å se på grafen for containerskip som enten var bestilt eller under bygging i juli 2023, så ser vi at over halvparten av alle containerskip i verden som var bestilt eller under konstruksjon på det tidspunktet, vil bli drevet av et alternativt drivstoff. Dette markerer en banebrytende endring i industrien for global containerfrakt, der bruken av alternative drivstoffløsninger raskt erstatter flertallet av konvensjonelle drivstoffalternativer (DNV, 2023, s. 8).

Alt dette reiser imidlertid et sentralt spørsmål; Hvilke fordeler og ulemper har nye miljøvennlige alternative drivstoff i den maritime næringen? I den kommende delen av forskningsprosjektet vil vi nøye undersøke fire av de mange ulike alternative drivstoffene som forventes å få økt betydning i den maritime industrien i årene som kommer. Dette vil bidra til å belyse hvilke positive og negative sider disse drivstoffalternativene fører med seg, og hvilket av dem som ser ut til å være mest hensiktsmessig for å oppnå bærekraftige og mer miljøvennlige operasjoner innen skipsfarten.

2.2 Hydrogen

2.2.1 Generell informasjon om hydrogen og dets egenskaper

Hydrogen (H) er det letteste grunnstoffet i det periodiske systemet med atomnummer 1. Under standard temperatur og trykk opptrer hydrogen som en gass sammensatt av to hydrogenatomer, altså H_2 . Det er også det mest tallrike elementet i universet, anslått til å utgjøre hele 75 prosent av totalmassen. På jorden forekommer hydrogen vanligvis i form av vann (H_2O), der det kombineres med oksygen, eller i andre kjemiske forbindelser som metan (CH_4). H_2O er grunnleggende for livet slik vi kjenner det (Tomasgard, et al., 2019, ss. 2-3).

Bruken av hydrogen i energisammenheng har lange røtter, som strekker seg helt tilbake til 1800-tallet, da de første demonstrasjonene av vannelektrolyse og brenselceller fant sted. Til nå har hydrogen blitt brukt i alt fra luftballonger til verdensromsekspedisjoner. Gjennom det forrige århundret har hydrogen også blitt forsket på som rakettdrivstoff, flydrivstoff og som alternativt drivstoff for biler. I Norge har Norsk Hydro i lang tid benyttet elektrolyse av vann som en metode for å produsere hydrogen, som ble brukt som innsatsfaktor i produksjonen av kunstgjødsel. Etter tidligere bølgedaler har interessen for hydrogen økt igjen (Bjartnes, Larsen Hirth, Paarup Michelsen, & Ursin, 2021, s. 3).

Hydrogen blir i dag stadig mer utforsket innen transport og fornybar energiproduksjon som en mulig løsning for å redusere karbonavtrykket. Den økende interessen for hydrogen som en energibærer skyldes dens potensiale som et rent brensel. Når hydrogen brenner, produserer det bare vann og varme, og dermed gir det ingen skadelige utslipp. Dette gjør det til et attraktivt alternativ i kampen mot klimaendringer og luftforurensning (Hofstad, Hydrogendrivstoff, 2020).

I tillegg til å bli brukt som drivstoff for kjøretøy, blir hydrogen også utforsket som en lagringsmetode for fornybar energi. Ved å produsere og lagre hydrogen når tilgjengelig overskudd av fornybar energi er til stede, kan det brukes senere når etterspørselen er høyere, og dermed bidra til å stabilisere energiforsyningen (Dopffel & Bertheussen Nåmdal, 2022).

Når vi snakker om drivstoff, så er to begreper svært viktige. Disse er spesifikk energi, altså energiinnholdet et drivstoff har dividert med vekten av energibæreren, og energitetthet, altså energiinnholdet dividert med volumet til det drivstoffet. Hydrogen har en høy spesifikk energi sammenlignet med andre energibærere, målt til 141,9 MJ/kg (øvre brennverdi) og 119,9 MJ/kg (nedre brennverdi). Grunnen til at forskjellen mellom disse to verdiene er såpass stor,

er at nedre brennverdi defineres som øvre brennverdi fratrukket kondensasjonsvarmen, og forbrenningsproduktet til hydrogen består hovedsakelig av vann (H₂O). Men energitettheten i gassform er veldig lav, og tilsvarer kun 0,01 MJ/liter ved atmosfærisk trykk. Derfor lagres hydrogen vanligvis komprimert i tanker med et trykk på enten 35 MPa (350 bar) eller 70 MPa (700 bar), slik at energitettheten blir høyere (Hofstad, Hydrogendrivstoff, 2020). Dette spesifikke aspektet vil vi komme tilbake til og forklare nærmere i kapittel 2.2.4.

2.2.2 Produksjon av hydrogen

I 2022 nådde den globale bruken av hydrogen hele 95 millioner tonn. Det tilsvarer en økning på nesten 3% sammenlignet med året før. Økningen ble drevet av sterk vekst i alle de viktigste forbrukende regionene, med unntak av Europa. Grunnen til det er at vi i Europa opplevde en nedgang i industriaktiviteten på grunn av den betydelige økningen i naturgasspriser. Denne økende trenden indikerer en generell økende interesse for lavutslippsalternativer til drivstoff og brensel ved transport- og energinæringen verden over. I tillegg sies det at årlig produksjon av lavutslippshydrogen kan nå 38 millioner tonn innen 2030 (IEA, 2023).

Produksjonen av hydrogen deles inn i forskjellige fargekoder, som brukes for å kategorisere hydrogen, basert på kilden til energi og produksjonsmetoden som brukes for å lage det. Det finnes mange forskjellige fargekoder, men de som blir brukt mest er grå, blå og grønn (Energy Education, u.å.).

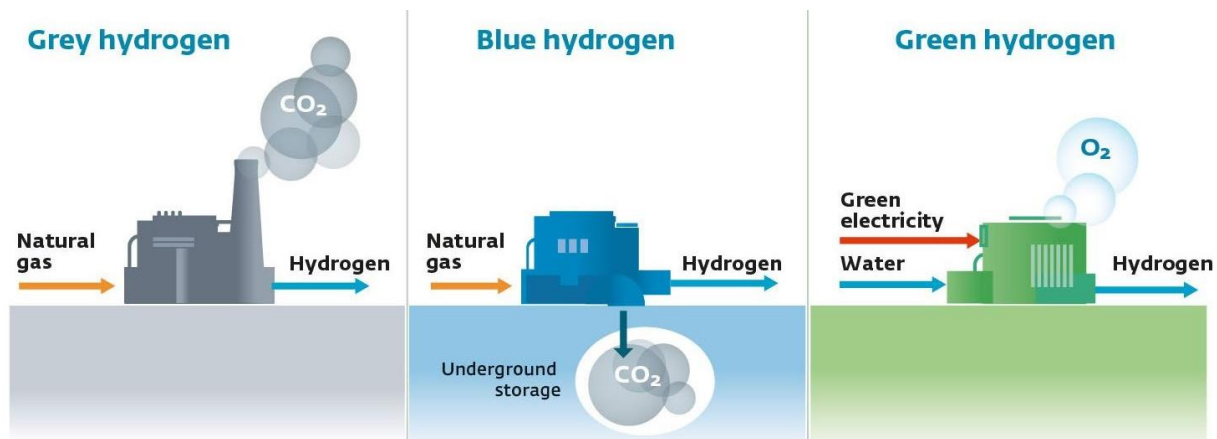
I dag stammer omtrent 96 prosent av alt produsert hydrogen fra kull, olje eller naturgass, og dette hydrogenet kalles ofte grått hydrogen. En stor ulempe med grått hydrogen er de store utslippene som følger med produksjonsprosessen. All CO₂ som dannes fra de fossile brenslene under produksjonen av hydrogenet, slippes ut i atmosfæren (Egge, 2020). Her har vi to forskjellige måter å fremstille hydrogen på. Disse er reformering av naturgass og dampgassifisering. I dag er produksjon av hydrogen gjennom reformering av naturgass den mest utbredte metoden, og prosessen innebærer at naturgass reagerer med vanndamp som oksidant. Ifølge Shell, utgjør denne metoden om lag 68% av verdens hydrogenproduksjon. Ved å benytte denne måten å fremstille hydrogen på, kan større mengder hydrogen produseres, som deretter kan lagres og distribueres fra egnede anlegg (PwC & OHC, 2019, s. 7). Ikke minst er dette vanligvis den billigste produksjonsmetoden, hvis vi ser bort fra

klimagassutslippene. Det er imidlertid avgjørende å ta hensyn til disse utslippene og finne mer miljøvennlige alternativer (Egge, 2020).

Dampgassifisering derimot, er en prosess der brensel, enten det er fossilt eller biomasse, varmes opp uten tilstrekkelig oksygentilførsel for fullstendig forbrenning. Dette fører til dannelse av syntesegass, hovedsakelig bestående av hydrogen og karbondioksid, når oppvarmet karbon reagerer med vanndamp. Denne metoden er mest utbredt i Kina, og ifølge Shell utgjør den rundt 11-18% av all hydrogenproduksjon i verden, men denne måten å fremstille hydrogen på fører også til enorme mengder CO₂-utslipp (PwC & OHC, 2019, s. 7).

Når det kommer til blått hydrogen, så benyttes kull, olje eller naturgass her også, akkurat som ved produksjon av grått hydrogen. Eneste forskjellen er at prosessen er utformet slik at det i prinsippet ikke genereres utslipp. Dette oppnås ved å separere CO₂-utslippene som dannes under reaksjonen mellom naturgass, damp og oksygen. Gjennom kjemiske prosesser skilles hydrogen og CO₂ fra hverandre. Det resulterende hydrogenet kan da brukes på samme måte som grønt eller grått hydrogen, men det er viktig å sørge for at CO₂-utslippene transporteres og returneres til opprinnelsesstedet, for eksempel under havbunnen på kontinentalsokkelen i Norge. Ved å fjerne CO₂, transportere og lagre den, oppnår man derfor i prinsippet rent hydrogen (Egge, 2020).

Omtrent fire prosent av dagens hydrogenproduksjon er klassifisert som grønt hydrogen, og denne andelen øker stadig. Norge har i lang tid vært ledende innen produksjon av grønt hydrogen, med fokus på å produsere det ved hjelp av elektrisitet fra fornybare energikilder (Egge, 2020). Grønt hydrogen dannes gjennom en prosess kalt elektrolyse, der vann deles opp i hydrogen og oksygen ved hjelp av elektrisitet. Denne typen hydrogen betraktes som miljøvennlig fordi produksjonsprosessen ikke slipper ut klimagasser når elektrisiteten stammer fra fornybare energikilder. Selv om elektrolyse kan være kostbart og veldig energikrevende, er det et bærekraftig og miljøvennlig alternativ sammenlignet med produksjonen av hydrogen ved bruk av fossile brensler (Energy Education, u.å.). På neste side finner vi en figur som enkelt illustrerer forskjellene mellom grått, blått og grønt hydrogen, som vi har omtalt i dette delkapittelet.



Figur 10: Fremstilling av grått, blått og grønt hydrogen (Energy Education, u.å.)

2.2.3 Infrastruktur

I dag produseres det store mengder hydrogen over hele verden og stoffet er et av de viktigste industrielle kjemikalierne vi har. Det brukes til å fremstille en rekke andre stoffer, som blant annet ammoniakk, metanol og saltsyre. Dessuten brukes hydrogen i romfart og til å fjerne svovel fra olje og kull, mens flytende hydrogen brukes som et kjølemiddel, med tanke på at kokepunktet til flytende hydrogen ligger på -253°C (UIO, u.å.).

Likevel mangler det infrastruktur for distribusjon og bunkring av hydrogen til skip, ettersom det for tiden nesten ikke er noe etterspørsel etter hydrogen som drivstoff. Det er imidlertid mulig å distribuere flytende hydrogen på en lignende måte som flytende naturgass, altså LNG, men gjøres ved svært sjeldne tilfeller, på grunn av at bruken av hydrogen som drivstoff er såpass lite utbredt. Til tross for dette, er standardcontainere med flytende hydrogen, som typisk har en kapasitet på rundt 3 600 kilo per tank, allerede tilgjengelige for slikt bruk på markedet. På grunn av det lave kokepunktet til hydrogen, kreves det imidlertid tanker for lagring med ekstreme isoleringsevner. Fordamping av hydrogen blir for tiden sett på som uunngåelig, og fordampningshastigheten, som avhenger av forholdet mellom overflaten og volumet av tanken, kan ligge på omtrent 0,3 til 0,5 prosent per dag, avhengig av ulike forhold og teknologien som er tatt i bruk. Dagens tanker har en kapasitet på alt fra rundt 400 til 6 700 kilo, men det sies at fremtidige teknologier vil tillate lagring av opptil 88 500 kilo hydrogen per tank (DNV, 2019, s. 31).

Et eksempel på manglende infrastruktur for bruk av hydrogen som drivstoff, er Norled sin hydrogenferge MF Hydra, som er verdens første hydrogenferge, og som trafikkerer fergestrekningene mellom Hjelmeland, Nesvik og Ombo i Ryfylke. Fergen bruker et brenselcelleanlegg som benytter flytende hydrogen som drivstoff, men per i dag så produseres det ingen flytende hydrogen i Norge, og dette drivstoffet må da fraktes med lastebiler fra Tyskland (Morsund, 2024). Dessuten forventes LH2, altså flytende hydrogen, å være den best egnede formen for hydrogen som kan brukes som drivstoff på større skip, men dette hydrogenet produseres i dag stort sett gjennom gassreforming (PwC & OHC, 2019, s. 3).

Forskere fra Sintef er skeptisk til hydrogen som skipsdrivstoff grunnet kostnader og energikrav. Investeringer i dette fører med seg svært høye kostnader og produksjonen av hydrogen som drivstoff er svært energikrevende. Til tross for dette, kan det sies at norsk maritim industri har nå med suksess tatt i bruk flytende hydrogen (Morsund, 2024). Men det gjenstår likevel å bygge opp en infrastruktur som tilfredsstillende et behov for økende etterspørsel av hydrogen som drivstoff i fremtiden. Blant annet vurderer Equinor et LH2-konsept for en PSV, altså supplybåt eller såkalt «Plattform Supply Vessel», Havila har planer om å ta i bruk hydrogen og brenselceller på Kystruten så snart teknologien er klar (Tomasgard, et al., 2019, s. 23), mens Regjeringen har også bestemt at det skal settes inn enda en hydrogenferge, men denne gangen skal det innføres en hydrogenferge som skal gå over Vestfjorden, mellom Bodø og Moskenes. Dette anbudet vant Torghatten Nord, og de skal ha hydrogenfergen klar for drift allerede høsten 2025. Heldigvis vil det ved dette tilfellet brukes hydrogen som produseres lokalt, men drivstoffet vil være i form av komprimert hydrogen i gassform (Morsund, 2024).

Selv om Norge er ledende innen produksjon av grønt hydrogen og er en stor aktør innen produksjon av hydrogen generelt, så produserer vi fortsatt en god del hydrogen fra naturgass, fordi kostnaden av å produsere hydrogen fra naturgass tilsvarer bare en tredjedel, sammenlignet med produksjon som baseres på elektrolyse. I 2019 produserte vi om lag 225 000 tonn hydrogen til ulike industriprosesser, hvor mesteparten kom fra naturgass, men for at hydrogen virkelig skal kunne brukes som et miljøvennlig og bærekraftig drivstoff, så må denne produksjonen foregå gjennom elektrolyse, med elektrisitet som stammer fra fornybare energikilder, noe vi har en veldig stor andel av, men problemet er at vi for tiden ikke har nok tilgjengelig energi til bruk i denne energikrevende prosessen. Dersom dagens norske industri skulle ha produsert hydrogen ved elektrolyse, ville det krevd energi som tilsvarer hele 11,25 TWh, noe som da tilsvarer omtrent 10 prosent av Norges samlede

strømforbruk. Dette illustrerer de betydelige energimengdene som kreves for å produsere store mengder fornybart hydrogen (Horne & Hole, 2019, ss. 1-4). Uansett danner både stor produksjon av hydrogen og økende etterspørsel etter hydrogen som drivstoff her i landet, et godt utgangspunkt for produksjon av hydrogen som drivstoff og da ikke bare til industrielle prosesser, samt utbygging av bedre infrastruktur, slik at man faktisk klarer å benytte det som drivstoff uten noen større komplikasjoner.

2.2.4 Bruk av hydrogen som drivstoff om bord på skip

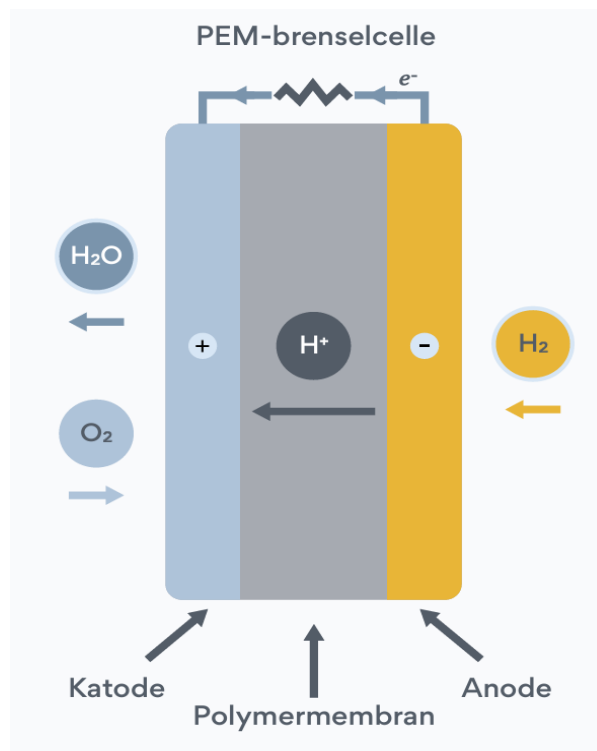
Tidligere nevnte vi at hydrogen har en høy spesifikk energi og meget lav energitetthet. Høy spesifikk energi betyr at en liten mengde hydrogen, med tanke på vekt, kan produsere mye energi når det brukes som drivstoff. Dette aspektet kan gjøre det til et attraktivt alternativ innen transportsektoren, der vekt er en begrensende faktor, for eksempel på skip, hvor man da ønsker å frakte så mye last som det er lov å frakte. På en annen side innebærer lav energitetthet at store volumer av hydrogen er nødvendig for å lagre den samme energimengden som ved bruken av andre drivstoff med høyere tetthet. Dette kan føre til utfordringer med lagring og transport av hydrogen som drivstoff i store mengder, som er nødvendig for å holde et skip i drift. Det fører nemlig til at drivstoffet tar mye mer plass om bord, og kan føre til at skipet ikke kan ta med seg ønsket mengde last.

På grunn av at energitettheten til hydrogen i gassform er såpass lav ved atmosfærisk trykk, så må hydrogenet dermed enten komprimeres eller kjøles ned til væskeform, som da gir oss en energitetthet på 4,5 MJ/liter for komprimert hydrogen ved 70 MPa og 8,5 MJ/liter for hydrogen i væskeform. Likevel har hydrogen mye lavere energitetthet sammenlignet med konvensjonelle drivstoff som diesel, som har en energitetthet på 36,2 MJ/liter, og lavest energitetthet av de fire alternative drivstoffene vi har valgt å ta med i denne oppgaven (Hofstad, Hydrogendrivstoff, 2020). Samlet sett er balansen mellom høy spesifikk energi og lav energitetthet en av utfordringene ved å implementere hydrogen som et bredt anvendelig drivstoff, og det krever utvikling av mer effektive lagrings- og transportløsninger for å utnytte potensialet fullt ut som drivstoff om bord på skip.

Hydrogen kan i dag brukes til fremdrift på to forskjellige måter. Det kan enten forbrennes direkte, på samme måte som fossile drivstoff, eller omdannes til elektrisitet gjennom en brenselcelle også benytte elektrisiteten til fremdrift. For at vi skal kunne oppnå nullutslipp, så

er dermed brenselceller den mest effektive løsningen (Lædre & Johnsen, u.å.). I en brenselcelle blir hydrogenatomene splittet inn i sine grunnleggende komponenter, som vil si et proton og et elektron. Deretter beveger protonet seg gjennom en membran til katoden, mens elektronet går inn i den elektriske kretsen for å generere strøm. Samtidig reagerer protonet og elektronet med oksygenmolekyler på den andre siden, og danner vann. Denne reaksjonen produserer kun strøm, vann og en liten mengde varme (Bjartnes, Larsen Hirth, Paarup Michelsen, & Ursin, 2021, ss. 6-7).

En brenselcelle kan også brukes med andre kjemikalier som etanol eller ammoniakk. Brenselcellen opererer med meget høy effektivitet, siden den direkte konverterer kjemisk energi til elektrisitet. Denne effektiviteten er betydelig høyere enn effektiviteten til en vanlig forbrenningsmotor, som typisk ligger på under 40 prosent. Selv om den teoretiske øvre grensen for brenselcelleeffektivitet ligger på omtrent 100 prosent, så ligger dagens teknologi på rundt 60 prosent (Holtebekk, Pedersen, & Haarberg, 2021). Videre er ikke brenselceller noe nytt, og denne teknologien har allerede blitt tatt i bruk kommersielt blant annet i personbiler, busser og lastebiler. I tillegg er det betydelig forskning på brenselceller i den maritime industrien, som følge av høyere produktivitet og null utslipp ved bruk av slike fremdriftsanlegg (Lædre & Johnsen, u.å.). Figuren under illustrerer en svært forenklet prosess i en brenselcelle.



Figur 11: Forenklet illustrasjon av prosessen i en brenselcelle (Bjartnes, Larsen Hirth, Paarup Michelsen, & Ursin, 2021, s. 7)

Det er også viktig å nevne at selv om energitettheten til hydrogen er lav, både i en komprimert tilstand og i væskeform, så er hydrogen svært brannfarlig, på grunn av sin høye spesifikke energi og sitt veldig lave flammepunkt, som tilsvarer -253°C . Dette gjør håndtering og lagring av hydrogen svært viktig, da det kan føre til farlige situasjoner om ikke nødvendige sikkerhetstiltak blir fulgt, men klare regler for bruk av hydrogen som drivstoff på skip er enda ikke fullstendig utviklet. Hydrogendrivstoff reguleres i dag av «International Code for Safety of Ships using Gases or Other Low-flashpoint Fuels», altså IGF-koden. Regler for hydrogenlagring er fortsatt under utvikling, mens bruk av hydrogen i brenselceller vil antakeligvis inkluderes i fremtidige endringer og oppdateringer av IGF-koden. For øyeblikket må hydrogenlagring og bruk følge alternative designmetoder for å sikre nødvendige sikkerhetsnivåer. Andre regelverk som DNV sine egne klasseregler for brenselcelleinstallasjoner og ISO/TR 15961 gir retningslinjer for sikkerhet ved hydrogenanlegg. Bunkring av hydrogendrevne skip er imidlertid underlagt nasjonale reguleringer, og standarder for hydrogenbunkring er også under utvikling. Dessuten antas det at fremtidige standarder vil nok ha betydelige likheter med eksisterende regler og retningslinjer for bruk av LNG som drivstoff fra SGMF (The Society for Gas as a Marine Fuel) og ISO/TS 18683 (International Organization for Standardization - Guidelines for safety and risk assessment of LNG fuel bunkering operations) (DNV, 2019, s. 31).

2.3 Ammoniakk

2.3.1 Generell informasjon om ammoniakk og dens egenskaper

Ammoniakk (NH_3) er en kjemisk forbindelse bestående av ett nitrogenatom og tre hydrogenatomer. Ved normale temperatur- og trykkforhold opptrer ammoniakk som en gass. Imidlertid har ammoniakk et kokepunkt på -33°C og kan dermed enkelt kondenseres til væske, og deretter lagres i tanker for enkel håndtering og transport (Hofstad, 2023). Ellers er ammoniakk en fargeløs og giftig gass med en skarp og selvalarmerende lukt som kan være kvelende og merkes selv ved lave konsentrasjoner (UIO, 2023). Til tross for helserisikoen denne kjemiske forbindelsen medfører, så er ammoniakk en av de mest produserte kjemikalierne i verden i dag (Gabriellii, 2023).

Etter at Haber og Bosch oppdaget ammoniakk-syntesen i Tyskland på begynnelsen av 1900-tallet, har ammoniakkenes betydning som råstoff i produksjonen av uorganisk gjødsel gradvis økt. Dette har vært avgjørende for å møte de økende behovene innen produksjon av mat på global basis (Øystese, 2020, s. 8). Ammoniakk brukes dermed hovedsakelig som gjødsel i landbruket, men NH₃ benyttes også i store mengder som rengjøringsmiddel og som kjølemiddel i industrielle kjølesystemer og ishaller, mens innen kjemisk industri anvendes ammoniakk blant annet i produksjonen av salpetersyre, samt en rekke ulike aminosyrer (UIO, 2023).

Selv om bruken av ammoniakk som drivstoff for skip er relativt ny, så har selve tanken rundt bruken av ammoniakk som drivstoff generelt vært til stede ganske lenge. Mangelen på diesel under andre verdenskrig førte for eksempel til at det i Belgia ble utviklet en hybridmotor som kunne bruke ammoniakk og kullgass som drivstoff. Dette var for å sikre at offentlig transport fortsatt kunne operere som normalt. Fra tidlig 2000-tallet og frem til nå har det også blitt forsket en del på ammoniakkdrevne biler, og bevist at det er mulig, men interessen for kommersiell bruk er fortsatt svært begrenset. Likevel har tilliten til ammoniakk som det beste alternativet til fossile drivstoff i skipsfarten økt betydelig de siste årene (Øystese, 2020, s. 8). Ammoniakkens mangel på karbon gjør den attraktiv som drivstoff, og den har raskt blitt et fokusområde for økt forskning og utvikling, ettersom den viser potensiale til å redusere karbonutslipp og fremme bærekraftige energiløsninger (Gabrielli, 2023).

Når det kommer til spesifikk energi og energitetthet, så har ammoniakk høyere energitetthet sammenlignet med hydrogen. Energitettheten til flytende ammoniakk ligger altså på 12,7 MJ/liter, noe som er omtrent 50% høyere enn flytende hydrogen. Til tross for dette har ammoniakk lavere spesifikk energi enn hydrogen, og den spesifikke energien til flytende ammoniakk ligger på 18,6 MJ/kg, mot hydrogens 119,9 MJ/kg i samme form. Høyere energitetthet gjør at drivstoffet tar mindre plass, men lagring av ammoniakk vil likevel kreve tre ganger så mye plass sammenlignet med lagring av diesel (Hofstad, 2023).

2.3.2 Produksjon av ammoniakk

I 2020 viste tall at den totale produksjonen av ammoniakk i verden lå på omtrent 180 millioner tonn, hvor hoveddelen da brukes som råmateriale i produksjonen av gjødsel og resten brukes i ulike kjemiske prosesser (Øystese, 2020, s. 8). I likhet med produksjonen av

hydrogen er produksjonen av ammoniakk også stadig økende, som følge av økende etterspørsel etter disse stoffene. Siden ammoniakk hovedsakelig består av hydrogen, så sies det å være hydrogen i kjemisk bunden form (Hofstad, 2023). På grunn av dette er produksjonen av ammoniakk svært avhengig av og sterkt knyttet med produksjonen av hydrogen.

Produksjonen av ammoniakk deles dermed også inn i samme fargekoder som hydrogen, for å kunne kategorisere ammoniakken avhengig av energikilden som ble brukt under produksjonen. Den overveldende majoriteten av den produserte ammoniakken i dag er klassifisert som grå ammoniakk, fordi produksjonen er basert på fossile energikilder med betydelige CO₂-utslipp (Øystese, 2020, s. 9). Produksjonen av ammoniakk kan egentlig deles inn i to trinn, hvor det første trinnet går ut på produksjon av hydrogen, som hovedsakelig produseres ved reformering av naturgass, mens det andre trinnet går ut på at hydrogen kombineres sammen med nitrogen, som hentes fra luften, slik at det dannes ammoniakk (Gabrieli, 2023).

Om lag 75 prosent av all ammoniakk som blir produsert, fremstilles gjennom Haber-Bosch-metoden (Pedersen & Egeland, 2023). Dette er en katalytisk reaksjon mellom hydrogen og nitrogen under høyt trykk og temperaturer på opp til 500°C, og hvor jern brukes som katalysator. Innen hele denne energikrevende prosessen, så er det selve hydrogenproduksjonen som står for det meste av energiforbruket og alle direkte CO₂-utslipp som fremstilling av ammoniakk medfører. Derfor forskes det intenst på mer bærekraftige produksjonsmetoder, inkludert de blå og grønne alternativene (Gabrieli, 2023). Ett tonn ammoniakk genererer vanligvis 1,6 tonn CO₂-utslipp (Øystese, 2020, s. 9).

Blå ammoniakk er egentlig lik den grå, men med den forskjellen at CO₂-utlippene fra produksjonen fanges og lagres, noe som reduserer klimagassutlippene betydelig. Det sies at ved bruk av moderne teknologi kan opptil 95 prosent av CO₂-utslipp fanges under naturgassreformering. Den eneste fullstendig utslippsfrie varianten av ammoniakk er grønn ammoniakk, hvor hydrogenet fremstilles ved bruk av fornybar energi. Ved et slikt tilfelle brukes elektrisitet til å dele vannet i elektrolyseanlegg, slik at hydrogen og oksygen skilles, men dette krever enorme mengder energi fra fornybare energikilder (Øystese, 2020, s. 9).

2.3.3 Infrastruktur

Som vi nå vet, produseres ammoniakk i veldig stor skala og har blitt til en av de viktigste kjemiske stoffene vi har. Som følge av dette har ammoniakk også utviklet seg til å bli et ganske vanlig handelsprodukt, med ulike typer lasteterminaler i alle deler av verden (DNV, 2023, s. 79). Omtrent en femtedel av verdensproduksjonen av ammoniakk fraktes per i dag med skip. Som et resultat av dette, finnes det allerede en viss infrastruktur for ammoniakk i de største havnene og generelt langs de viktigste skipsrutene. Dessuten så eksisterer også etablerte sikkerhetsrutiner og regelverk for håndtering av ammoniakk som last ombord på skip (Øystese, 2020, s. 8).

Mens frakt av ammoniakk på skip nå er blitt ganske utbredt, så mangler det fortsatt infrastruktur for distribusjon og bunkring av ammoniakk som drivstoff til skip. Likevel rapporterer DNV om ferske tiltak rettet mot å etablere bunkringsinfrastruktur for grønn eller blå ammoniakk i land som Norge, Nederland, Singapore og Australia (DNV, 2023, s. 79). Selv om bruken av ammoniakk som energikilde og drivstoff for tiden er begrenset, har ammoniakk en ganske rik historie som drivstoff, og det har blitt bevist flere ganger før at ammoniakk for all del kan benyttes som et alternativt drivstoff i forbrenningsmotorer (Gabriell, 2023). Når det er sagt, så forventes det nå at ammoniakk innen noen år kan kommersielt brennes direkte i en forbrenningsmotor eller benyttes i en brenselcelle om bord på skip (Øystese, 2020, s. 13).

Foreløpig er det ingen skip som fast bruker ammoniakk som drivstoff, men det jobbes hardt med å både tilpasse tradisjonelle forbrenningsmotorer til å kunne brenne ammoniakk, og å benytte ammoniakk som drivstoff i brenselceller (Øystese, 2020, s. 13). I tillegg har flere rederier sagt at de ønsker å implementere ammoniakk som drivstoff for skip i deres virksomhet. Maersk er at av dem. De har allerede bestilt fire store tankskip som skal bygges spesielt for frakt av ammoniakk, og målet er at disse skipene også kommer til å bruke ammoniakk som drivstoff, på samme måte som LNG-tankskip bruker LNG som drivstoff. Det første av disse fire skipene vil trolig overleveres Maersk i slutten av 2026, og det er mulighet for bestilling av ytterligere seks slike fartøy (Martin, 2023). Ikke nok med det, så holder Maersk på å designe et konsept for fremtidige containerskip som skal drives av ammoniakk, i håp om å ta i bruk denne type containerskip i fremtiden (FuelCellsWorks, 2023).

Det rederiet som satser desidert mest på ammoniakk i Norge er Eidesvik. Etter installasjonen av et brenselcellesystem i løpet av 2024, vil Eidesvik sin Viking Energy bli verdens første PSV som seiler lange avstander uten noen form for utslipp av klimagasser. Testingen vil finne sted mens fartøyet er på kontrakt for Equinor, og målet er å installere brenselcellemoduler med en samlet effekt på 2 MW om bord på Viking Energy. Prosjektet er delvis finansiert med EU-midler, med Wärtsilä som hovedpartner, men Equinor, som har kontraktet Viking Energy i 22 år, spiller også en nøkkelrolle i dette prosjektet (Eidesvik, u.å.).

I delen om hydrogen ble det sagt at vi i Norge produserer store mengder hydrogen, og i dag brukes altså nesten alt hydrogenet som produseres i Norge til å lage metanol og ammoniakk (PwC & OHC, 2019, s. 10). Denne informasjonen, sammen med alt som er blitt nevnt i de siste avsnittene, danner et solid grunnlag for fremtidige investeringer og utvidelse av infrastruktur knyttet til ammoniakk som drivstoff i den maritime næringen. Man kan forvente at etterspørselen etter infrastruktur vil øke etter hvert som interessen, samt bruken av ammoniakk øker, noe som sannsynligvis vil bidra til forbedringer i infrastrukturen over tid.

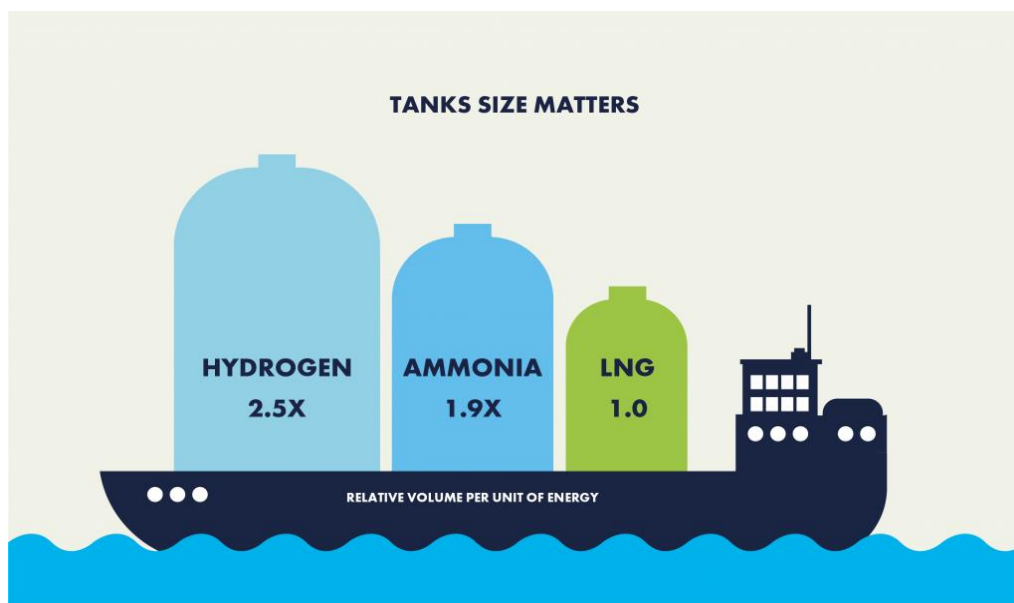
2.3.4 Bruk av ammoniakk som drivstoff om bord på skip

Som beskrevet i delkapittelet som omhandlet generell info om ammoniakk og dens egenskaper, har ammoniakk mye lavere spesifikk energi enn hydrogen, men energitettheten derimot, er omtrent 50% høyere enn energitettheten til flytende hydrogen. Den lave spesifikke energien betyr at store mengder ammoniakk er nødvendig for å produsere betydelig energi ved bruk som drivstoff, basert på vekten til stoffet. Samtidig krever den høyere energitettheten mye mindre volum ammoniakk for å lagre samme energimengde som for eksempel ved bruk av hydrogen. Dette står i kontrast til hydrogen, hvor lavere energitetthet fører til større volum, men mindre vekt. Ammoniakken tar dermed opp mindre plass om bord på skip, men bidrar samtidig til økt vekt sammenlignet med andre drivstoff.

For maritim transport med betydelig energibehov, er den volumetriske energitettheten en kritisk faktor for å optimalisere lastekapasiteten ombord på skipene, og dette sammen med lav fordampning ved langvarig lagring, samt karbonfrie egenskaper, gjør at ammoniakk blir stadig mer vurdert som et drivstoff med kommersielt potensiale, både innen cargo, og cruise eller passasjerfart (Tomasgard, et al., 2019, s. 22). Det er viktig å sikre at rederne maksimerer ytelsen og verdien av investeringene sine når det kommer til nye fartøy som skal ta i bruk

alternative drivstoffløsninger. Den forholdsvis lave energitettheten til alternative drivstoff, sammenlignet med konvensjonelle drivstoff, vil ha stor innvirkning på fartøydesign, dødvekt, lastevolum og maksimalt antall passasjerer skipet kan ta med seg (SEA-LNG, 2021).

Eksempelvis har LNG omtrent dobbelt så høy energitetthet i forhold til ammoniakk, noe som krever dobbelt så mye lagringskapasitet av ammoniakkdrivstoff dersom man velger å benytte seg av en slik drivstoffløsning, mens energitettheten til hydrogen ligger igjen på omtrent halvparten av energitettheten til ammoniakk (SEA-LNG, 2021). Dette vises på neste figur, hvor vi kan se en forenklet illustrasjon av størrelsen eller volumet til drivstofftankene for hydrogen og ammoniakk, sammenlignet med størrelsen av drivstofftankene for LNG, som vanligvis også har dobbelt så stort volum sammenlignet med dieseltanker for å lagre den samme mengden energi. Dessuten påvirkes skipenes lastekapasitet og behov for designjusteringer av blant annet ekstra isolasjon, innkapslingspress og en del forskjellige kritiske sikkerhetskrav, som er nødvendige for å ivareta sikkerheten om bord i skip som benytter alternative drivstoffløsninger (SEA-LNG, 2021).



Figur 12: Forenklet sammenligning av størrelsen til drivstofftankene for hydrogen og ammoniakk, i forhold til LNG (SEA-LNG, 2021)

I likhet med hydrogen kan ammoniakk brukes på nøyaktig samme måte, enten ved hjelp av direkte forbrenning, eller omdannes til elektrisitet gjennom en brenselcelle og deretter bruke denne elektrisiteten til fremdrift (Lædre & Johnsen, u.å.). Ved direkte forbrenning av ammoniakk er det bekymringer for økte utslipp av nitrogengasser. Hvis forbrenningsprosessen i et slikt tilfelle ikke kontrolleres på en optimal måte, så kan det frigjøres større mengder nitrogenoksider (NO_x) og lystgass (N₂O), som er enda mer skadelige

klimagasser enn CO₂ (Gabriellii, 2023). Dette er ikke et problem for brenselceller, siden de ikke produserer noen former for skadelige utslipp. Derfor betraktes de som en langt mer gunstig måte å bruke ammoniakk til fremdrift på, men på grunn av at brenselceller allerede har blitt forklart ganske grundig i delen om hydrogen, så vil dette bli utelatt her. Likevel er det lurt å nevne at brenselceller ikke bare lager mindre støy, men krever også mye mindre plass enn vanlige forbrenningsmotorer og er for tiden veldig dyre (Gabriellii, 2023).

En annen utfordring knyttet til bruken av ammoniakk som drivstoff på skip er at den er giftig og samtidig svært korrosiv. Dette betyr at stoffet må behandles med spesielle prosedyrer, men disse tekniske utfordringene er så å si allerede løst i dagens industrielle anvendelser av ammoniakk (Hofstad, 2023). Dersom man ikke følger gitte prosedyrer, så risikerer man spenningssprekkdannelse eller «Stress Corrosion Cracking», også kjent som SCC, i tanker som er ment for lagring av ammoniakk og uventet svikt av metallegeringer, noe som betydelig øker risikoen for potensielle lekkasjer. Materialer som kobber, kobberlegeringer, sink og visse ståltyper bør dermed unngås der kontakt med ammoniakk kan oppstå. Nøyte temperatur- og fuktighetskontroll kan også redusere risikoen for SCC generelt (DNV, 2023, s. 79). I tillegg er det foreløpig lite regler og prosedyrer rundt ammoniakk som drivstoff, slik som med hydrogen, men regelverk er i ferd med å bli utviklet og det vil trolig komme på plass rimelig fort med tanke på at det finnes mye regelverk og etablerte rutiner når det kommer til håndtering og frakt av ammoniakk som last på skip (Øystese, 2020, s. 8).

2.4 LNG

2.4.1 Generell informasjon om LNG og dens egenskaper

LNG står for «Liquefied Natural Gas», altså flytende naturgass på norsk. Naturgassen er en fargeløs sammensetning av flere gasser og består hovedsakelig av metan (CH₄), som utgjør omtrent 85 prosent av massen, men inneholder også etan (C₂H₆) og andre hydrokarboner som propan (C₃H₈) (Lundberg, Nesse, Hagland, & Hofstad, 2023). For å gjøre gassen flytende, må den nedkjøles til ca. -162°C. Fordelen med dette er at den komprimeres, som da reduserer volumet med opptil 600 ganger i forhold til gassform, og dermed forenkler lagring og transport. Når gassen ankommer bruksstedet, konverteres den tilbake til gassform, for eksempel for å kunne drive gassturbiner i en forbrenningsmotor som er ment for å benytte naturgass som drivstoff (Gassmagasinet, 2024). Som vist på figur 6, 7, 8 og 9 er LNG også det desidert mest utbredte alternative drivstoffet innen sjøfart i dag, og vil forbli det i lang tid

fremover.

Den aller første produksjonen av flytende naturgass begynte allerede i 1918 i USA, og innebar nedkjøling av naturgass for å ekstrahere helium. Lee Twomey fikk patentet for kommersiell storskalaproduksjon av LNG i 1937, med mål om å lagre naturgass i flytende form som energireserver (Gassmagasinet, 2024). Bruken av LNG som drivstoff på skip har lange røtter og de første kommersielle gassdrevne skipene ble konstruert og tatt i bruk så tidlig som på 1970-tallet. I nyere tid har bruken av LNG som drivstoff for skip blitt stadig mer populært, og det inkluderer per i dag alt fra containerskip, skip som inngår i offshore-segmentet, diverse lasteskip, samt cruiseskip og ferger (DNV, 2021).

Som navnet antyder, oppstår LNG eller naturgass mer eller mindre naturlig i form av drivstoff i naturen. Vanligvis finnes denne gassen i et sjikt over oljen, men ved høyere trykk kan den også være løst i oljen, enten helt eller delvis. Det er også mange petroleumfelt der gassen utgjør hoveddelen av reservoarene, mens oljeinnholdet er minimalt. I tillegg er naturgass alltid et biprodukt av oljeproduksjonen og er det primære produktet fra gassfeltene, noe som gjør at det er god tilgang på LNG i alle deler av verden, med tanke på den enorme oljeutvinningen og produksjonen i verden i dag (Lundberg, Nesse, Hagland, & Hofstad, 2023).

Videre har LNG mye lavere klimagassutslipp sammenlignet med diesel og andre konvensjonelle drivstoff, men energitettheten er derimot lavere. Avhengig av sammensetningen, ligger den spesifikke energien på ca. 45 MJ/kg, noe som er høyere enn ammoniakk, men lavere enn hydrogen. Imidlertid, ligger energitettheten til LNG på et nivå mellom 20 og 22 MJ/liter, sammenlignet med 12,7 MJ/liter for ammoniakk, 8,5 MJ/liter for flytende hydrogen og 4,5 MJ/liter for komprimert hydrogen (Eide & Hofstad, 2023).

2.4.2 Produksjon av LNG

Naturgass, på samme måte som olje, er dannet av fossiler som har vært under jorden i millioner av år. Gjennom denne tiden har de blitt utsatt for trykk, som etter hvert har ført til dannelse av disse råstoffene. Det vil si at naturgass ikke nødvendigvis blir fullt ut produsert, men her er det egentlig mer riktig å si at naturgass blir utvinnet, og deretter behandlet. Naturgassen fra et gassreservoar under jorden blir først sendt til spesielle anlegg som ligger

lang kysten hvor den blir behandlet for å fjerne en del forurensninger som vanndamp og lettkondenserbare hydrokarboner, før den så komprimeres og sendes videre ut i verden til markedene enten gjennom rørledninger eller med spesiallagde skip for frakt av naturgass, altså LNG-tanker. Dersom gassen er et biprodukt fra oljeproduksjon, gjennomgår den trykkreduksjon før den deretter renses. Naturgass som er utvinnet offshore, stabiliseres som oftest først på plattformen for å fjerne forurensninger før den transporteres til land for videre behandling (Lundberg, Nesse, Hagland, & Hofstad, 2023).

På grunn av oljenæringens enorme omfang, er også produksjonen av LNG veldig stor og finner sted i store deler av verden, noe som kan regnes å være hovedgrunnen til at bruken av LNG som drivstoff har blitt såpass populært som det er nå. I perioden 2011-2014 lå den årlige globale omsetningen av LNG på rundt 240 millioner tonn, mens i 2021 økte den til omtrent 370 millioner tonn per år, og den øker stadig sammen med den globale etterspørselen (Eide & Hofstad, 2023). Utenom det å være et mer miljøvennlig alternativ som drivstoff, brukes naturgass blant annet også som energikilde i hjem og industri, og i produksjon av elektrisitet i gasskraftverk (Lundberg, Nesse, Hagland, & Hofstad, 2023).

I Norge har vi flere store olje- og gassfelt i Nordsjøen og Norskehavet, hvor LNG utvinnes og behandles ved flere anlegg for gassbehandling. Mesteparten av vår produksjon av LNG foregår ved anlegget på Melkøya utenfor Hammerfest. Hoveddelen av naturgassen som havner på Melkøya transporteres via rørledninger fra Snøhvitfeltet, og fra dette anlegget sender vi LNG med skip blant annet til Spania og USA (Gassmagasinet, 2024). Snøhvitfeltet ligger i Hammerfestbassenget, langt nord på kontinentalsokkelen i Norskehavet. Helt siden 2007 har gassen fra dette feltet blitt kondensert til flytende naturgass ved anlegget på Melkøya før videre transport til andre deler av verden (Norsk Petroleum, 2024). I tillegg produseres LNG i mindre skala ved anlegg som Kårstø, Kollsnes og Tjeldbergodden (Lundberg, Nesse, Hagland, & Hofstad, 2023).

2.4.3 Infrastruktur

Med tanke på at bruken av LNG som drivstoff har vokst så mye i løpet av de siste 20-30 årene og blitt så utbredt, særlig nå i de få siste årene, så har også infrastrukturen i dag blitt ganske bra. Store mottaksterminaler for import og eksport av LNG finnes per i dag i godt over 20 land og antallet terminaler øker stadig (Gassmagasinet, 2024). I de kommende årene forventes

en eksponentiell økning i etterspørsel etter LNG som drivstoff for skip, særlig på grunn av den økende bestillingen av store LNG-drevne containerskip som vist på figur 9, hvor mesteparten av disse er såkalte VLCS (Very Large Container Ships), altså containerskip med plass til mellom 10 000 - 20 000 TEU, og ULCS (Ultra Large Container Ships), som vil si containerskip med plass til over 20 000 TEU, hvor dette tilsvarer 20-fots containere. Slike enorme skip er også avhengige av enorme mengder drivstoff, og dette vil dermed øke etterspørselen av LNG betydelig. Allerede i september 2021, ekskludert LNG-tankskip, så hadde vi 221 skip som brukte LNG til framdrift, og hele 359 LNG-drevne skip var på bestilling på det tidspunktet (DNV, 2023, s. 11).

Samtidig som etterspørselen etter LNG øker, utvikler infrastrukturen for bunkring av LNG seg hurtig også. De fleste storhavnene eller «hubene» i verden tilbyr allerede bunkring av LNG, men mengden nybygg som skal gå på LNG i løpet av de neste årene gjør at det planlegges en god del prosjekter for ytterligere utbygging av infrastruktur for bunkring av LNG i svært mange andre havner i nær fremtid, for å sikre en god tilgjengelighet av LNG som er ment for skipsfart (DNV, 2023, ss. 12-13).

I løpet av 2017 og 2018 ble for eksempel flere skip for bunkring av LNG satt i drift i sentrale havner som Amsterdam, Rotterdam og Antwerpen, samt i flere havner som befinner seg i Nordsjøen, Østersjøen og langs kysten av Florida. Dessuten er det flere bunkerskip for LNG som er bestilt eller under bygging for andre viktige områder som den vestlige delen av Middelhavet, Mexicogulfen, Midtøsten, Singapore, Kina, Sør-Korea og Japan. I tillegg sies det at bunkring fra lastebiler og fra permanente lokale depoter på land også vil fortsette å øke for visse sjøfartssegmenter som for eksempel ferger (DNV, 2019, ss. 20-21).

Som vist på følgende figur, er de fleste bunkringshavnene for LNG i dag lokalisert i Europa, men Asia følger tett etter og satser også kraftig på utbyggingen av infrastruktur for bunkring av LNG. Imidlertid er Norge det landet i verden som har det største antallet av slike havner. Grunnen til det er vår pionerrolle i å innføre LNG som drivstoff for skip og vi er altså det aller første landet som begynte med dette, men også på grunn av vår betydelige produksjon av LNG (DNV, 2023, s. 13).



Figur 13: Global infrastruktur for bunkring av LNG (DNV, 2023, s. 13)

2.4.4 Bruk av LNG som drivstoff om bord på skip

Siden den spesifikke energien til LNG tilsvarer ca. 45 MJ/kg, noe som er mye høyere enn ammoniakk, men samtidig lavere enn hydrogen, og energitettheten ligger på et nivå mellom 20 og 22 MJ/liter, noe som gir en nesten dobbelt så høy energitetthet enn ammoniakk og rundt 2,5 ganger høyere energitetthet enn hydrogen, resulterer dette i at stoffet samlet sett er et mye bedre alternativ enn både ammoniakk og hydrogen. Grunnen er at ikke for store mengder LNG er nødvendige for å produsere betydelig energi om bord med tanke på vekten av stoffet, og samtidig trengs det mye mindre volum av stoffet for å lagre samme energimengde som ved bruk av enten ammoniakk eller hydrogen. LNG tar dermed ikke for mye av vekten om bord som kunne blitt utnyttet på andre måter, og tar mye mindre plass om bord i forhold til mengden energi per liter når vi sammenligner dette med de andre drivstoffene vi nå har vært gjennom. Dette illustreres nemlig på figur 12. Kombinasjonen av høy energitetthet og greit energiinnhold per kg fører til at LNG kan regnes som den desidert beste løsningen av de tre alternative drivstoffene vi har omtalt så langt i denne oppgaven.

LNG gir skipet fremdrift ved hjelp av direkte forbrenning, og kan brukes i både 4-taktsmotorer og i 2-taktsmotorer (DNV, 2021). Gassen lagres om bord i flytende form med temperatur på omtrent -162°C , men blir forbrent inne i motoren som gass. Slike

fremdriftssystemer er dermed også nødt til å være utstyrt med et innebygget prosessanlegg for å omdanne væsken til gass, samt justere trykk og temperatur etter behov før den injiseres inn i selve motorene (DNV, 2023, s. 21). Forbrenning av LNG fører til at utslipp av NO_x kan reduseres med opptil 80%, utslipp av SO_x elimineres nesten fullstendig og partikkelutslipp reduseres også drastisk (DNV, 2021). Dessuten reduseres utslipp av CO₂ med omtrent 25% sammenlignet med konvensjonelle drivstoff som diesel og tungolje. Med tanke på at metan er hovedkomponenten i naturgass, så medfører forbrenning av LNG til en del metanutslipp, men på en annen side er LNG det reneste av alle fossile brensler og bidrar til å redusere utslipp av både klimagasser og andre forurensninger (Barents NaturGass, u.å.).

I tillegg er LNG et attraktivt alternativ fordi det kan brukes i motorer med «dual-fuel-teknologi», altså en teknologi som gjør det mulig å veksle mellom flere forskjellige drivstoff, for eksempel at et skip med slik teknologi om bord kan i noen tilfeller bruke LNG som drivstoff og ved andre tilfeller kan skipet bytte til diesel og heller benytte det til fremdrift. I prinsippet kan LNG også brukes i brenselceller, men grunnet aspekter knyttet til kostnader dette medfører, så blir dette ikke utført i dag og forbrenningsmotorer foretrekkes fortsatt (DNV, 2019, s. 22).

Sikkerhetsmessige farer knyttet til bruken av LNG som drivstoff kan blant annet være eksplosjonsfare, kvelningsfare og kjemisk eksponering. LNG er et brennbart stoff og en eventuell lekkasje av dette stoffet kan føre til en langvarig brann eller i verstefall en eksplosjon. I tillegg kan LNG, og de ulike stoffene LNG består av, erstatte oksygen i et område som er blitt utsatt for lekkasje, og dermed kunne forårsake kvelning, mens den ekstremt lave temperaturen LNG holdes lagret ved om bord på skip, kan føre til ulike typer frostskafer, og tankene må derfor isoleres svært godt (Jørstad, 2021). Likevel viser statistikk at det har vært forholdsvis få ulykker knyttet til lekkasjer av LNG i løpet av de siste tiårene, som tyder på generelt gode sikkerhetsprosedyrer og veletablerte sikkerhetspraksiser (PNG LNG, 2009, ss. 4-6).

Når det kommer til regelverk rundt bruken av LNG som drivstoff, er mye av dette allerede på plass. IGF-koden til IMO for LNG og CNG (Compressed Natural Gas) trådte i kraft 1. januar 2017 og etablerte internasjonal reguleringsbasis for design og konstruksjon av skip som drives av LNG. Andre aspekter ved bruken av LNG som drivstoff, som blant annet bunkring av LNG, er underlagt nasjonale forskrifter, noe som gjør at slike operasjoner må vurderes individuelt. Dessuten har SGMF, IACS (International Association of Classification Societies)

og ISO utviklet ulike krav og retningslinjer for bunkring av LNG og andre aspekter knyttet til bruken av LNG som drivstoff på skip (DNV, 2019, s. 21).

2.5 Metanol

2.5.1 Generell informasjon om Metanol og dens egenskaper

Metanol (CH_3OH) er et organisk kjemisk stoff i form av en klar væske som er enkel å antenne, men er samtidig svært giftig. Den er også kjent som metylalkohol eller tresprit, og regnes som den mest grunnleggende formen av alkohol. Metanol kan lett blandes med vann eller andre kjemiske stoffer under alle forhold og har en lukt lik vanlig alkohol (Bernatek, 2022). De siste årene har metanol fått betydelig oppmerksomhet og basert på figurene som har blitt presentert tidligere i oppgaven, regnes det for øyeblikket som det mest lovende alternative drivstoffet for skip, etter LNG. Det har blitt bevist i praksis at stoffet kan brukes som drivstoff om bord på skip i forbrenningsmotorer uten større komplikasjoner, og det sies at bruken av metanol som drivstoff også kan foregå i brenselceller (ABS, 2021, s. 5).

Videre inneholder metanol den minste mengden karbon og den største mengden hydrogen av alle flytende karbonbaserte drivstoff, og ved atmosfærisk trykk, forblir det flytende i temperaturer mellom -93°C og $+65^\circ$, noe som reduserer utslipp av CO_2 , og gjør stoffet enklere å oppbevare og håndtere sammenlignet med LNG og de andre alternative drivstoffene (DNV, 2023, ss. 49-50). Et annet forhold som gjør dette stoffet attraktivt er at det brytes ned meget raskt både i vann og når det eksponeres for luft. Dersom metanol havner i havet ved en eventuell lekkasje, vil dette ikke føre til enorme konsekvenser for miljøet, med tanke på at halveringstiden til metanol i overflatevann tilsvarer en til syv dager (ABS, 2021, s. 2).

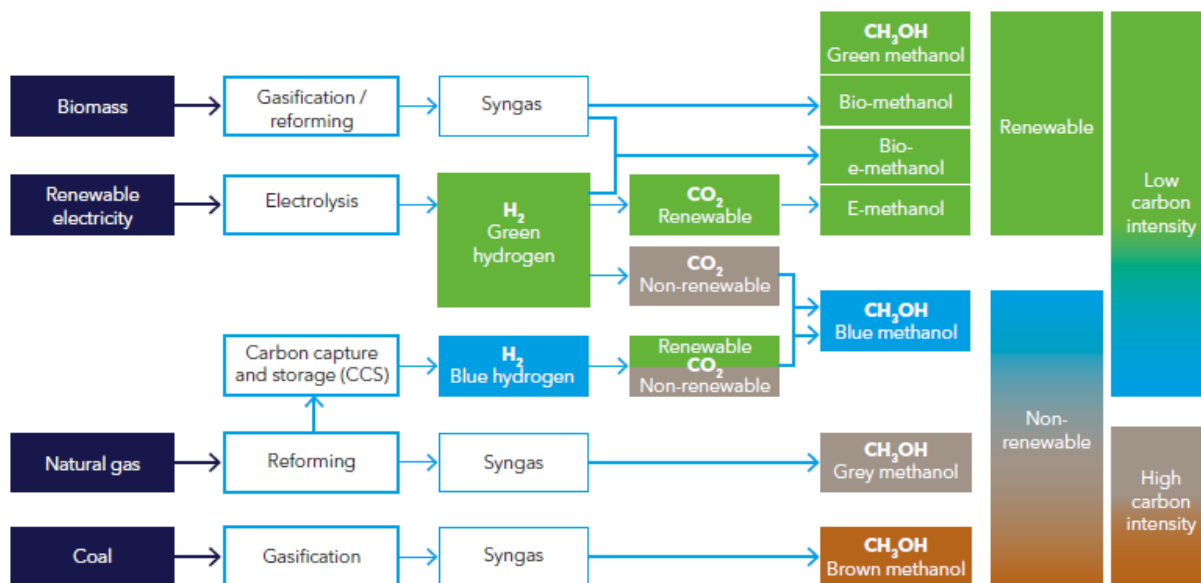
Metanol er nå blitt tilgjengelig over hele verden og har en historie på over 100 år innen industrielle bruksområder (Wärtsilä, u.å.). Dessuten benyttes metanol i produksjonen av tusenvis forskjellige produkter, og i dag finner vi spor av metanol i stort sett alle deler av våre liv. Metanol og dens avledninger, som for eksempel eddiksyre og formaldehyd, dannet gjennom kjemiske reaksjoner, fungerer blant annet som grunnleggende materialer i akrylplast og andre syntetiske stoffer, samt ulike fibre til klær, i tillegg til lim og maling. Det brukes også i forskjellige farmasøytiske produkter og plantevernmidler (Mitsubishi Gas Chemical, u.å.).

Når vi tar en titt på de drivstoffmessige aspektene som er viktige når vi omtaler hvor godt et drivstoff egner seg til fremdrift, så tilsvarende den spesifikke energien til metanol 19,7 MJ/kg, mens energitettheten ligger på 15,6 MJ/liter (Hofstad, 2021). Dette plasserer metanol på tredjeplass innen spesifikk energi og andreplass innen energitetthet når vi tar i betraktning og plasserer disse aspektene til alle de fire alternative drivstoffene som inngår i denne oppgaven, i forhold til hverandre.

2.5.2 Produksjon

I 2016 lå den globale etterspørselen etter metanol på om lag 80 millioner tonn, noe som er dobbelt så mye som i 2006 (DNV 2019 side 25), men etterspørselen, samt produksjonen i takt med denne, fortsetter å øke i et raskt tempo og i 2020 lå den globale etterspørselen på mer enn 98 millioner tonn. I løpet av bare fire år har vi altså sett en økning i produksjon på hele 18 millioner tonn. Mesteparten av denne metanolen brukes i Asia, som står for over 60 prosent av hele etterspørselen, mens rundt 30 prosent brukes til sammen i Nord-Amerika, Vest-Europa og Midtøsten. Den nåværende produksjonen forventes å dekke skipsfartens behov forholdsvis trygt de neste par årene, men med tanke på at etterspørselen etter metanol som drivstoff i den maritime næringen har steget så mye i det siste, så er det rimelig å tro at produksjonen også kommer til å fortsette å øke i årene fremover, særlig med tanke på at det for øyeblikket stadig bestilles flere skip som skal gå på metanol (DNV 2023 side 50).

Metanol kan produseres på mange ulike måter og fra svært mange ulike kilder eller ressurser, inkludert naturgass, kull, og til og med direkte fra CO₂ som fanges fra kraftverk. Produksjon ved hjelp av fornybare ressurser er også mulig, gjennom gassifisering av forskjellige former for biomasser eller gjennom elektrolyse ved bruk av strøm fra fornybare energikilder, dersom riktig infrastruktur er på plass (DNV, 2023, s. 49). Likevel produseres per i dag mesteparten av all metanol i verden fra naturgass, og kategoriseres dermed som grå metanol (ABS, 2021, s. 2). Slik som ved produksjonen av andre alternative drivstoff, kategoriseres metoder for produksjon av metanol også ofte etter deres karbonavtrykk, som illustrert på figur 14 (DNV, 2023, s. 49). Produksjonen av metanol fra naturgass skjer vanligvis i to trinn, hvor første trinn går ut på dampreforming av hydrokarbonbaserte råstoffer, og neste trinn innebærer konvertering av syntesegass til metanol. I prinsippet er det også mulig å produsere metanol i en enkeltstegsprosess ved å benytte seg av katalysatorer, men denne metoden blir i grunn ikke benyttet (Geerts, Hoebink, & van der Wiele, 1990).



Figur 14: Metoder for produksjon av metanol og deres karbonavtrykk (DNV, 2023, s. 49)

I verden finnes det over 90 anlegg hvor metanol blir produsert og disse finnes i alle deler av verden (DNV, 2023, s. 50). En svært liten del av denne produksjonen er lokalisert i Europa, og omtrent halvparten av den globale produksjonen foregår i Kina (Buckingham, 2020). Det at produksjonen av metanol hovedsakelig kommer fra fossile brensler, har dette enten ingen eller negativ virkning når det gjelder reduksjon av utslipp av CO₂ og andre drivhusgasser. Dersom vi faktisk ønsker å kutte utslipp drastisk, så er vi avhengig av at produksjon av grønn metanol er på plass, eller i det minste at produksjonen regnes som blå, slik at utslippene produksjonen medfører fanges og lagres. Etablering av noen nye produksjonsanlegg som skal ta seg av produksjon av grønn metanol er i gang, og det forventes at relativt greie mengder grønn metanol som drivstoff for skip først blir tilgjengelig på markedet enten i løpet av 2024 eller 2025 (DNV, 2023, s. 50).

2.5.3 Infrastruktur

Ut ifra det som er blitt tidligere angående produksjonen av metanol, så er det klart at dette stoffet allerede produseres i ganske store volum og er relativt lett tilgjengelig stort sett hvor hen du befinner deg i verden. I 2023 var lagring av metanol tilgjengelig i over 120 havner på global basis (Methanol Institute, 2023, s. 14), som tilsvarer en betydelig økning fra 2020, når metanol på det tidspunktet var tilgjengelig i omtrent 100 havner i verden (Wärtsilä, 2023, s. 6). Dessuten har metanol blitt fraktet med skip i mer enn 50 år, og finnes i dag i rundt en

femtedel av alle varer som fraktes via sjøveien (Buckingham, 2020, s. 5). Likevel er infrastrukturen for bunkring av metanol som drivstoff foreløpig ganske begrenset, og infrastrukturen for bunkring av metanol regnes fortsatt å være i et tidlig utviklingsstadium, men tempoet av utbyggingen av denne infrastrukturen har økt de siste årene, og vil trolig øke kraftig i nærmeste fremtid med tanke på den store mengden bestillinger på skip som skal drives av metanol (Wärtsilä, 2023, s. 6).

Metanol har flere fordeler over andre alternative drivstoff, som gjør at flere store rederier i dag har tatt i bruk skip som drives av metanol (Methanol Institute, 2023, s. 14). I 2015 var vi vitne til innføringen av verdens første kommersielle metanoldrevne skip, etter at det svenske fergeselskapet Stena Line gjennomførte en vellykket ombygging av en av sine ferger, slik at denne nå kunne ta i bruk metanol som drivstoff (Wärtsilä, 2020). I tillegg blir flere kjemikalietankskip designet for å kunne bruke metanol som drivstoff, slik at de kan utnytte sin egen metanollast som drivstoff i områder med lavt svovelinhold. Siden den gang har det kommet mange bestillinger på skip som benytter metanol som drivstoff. I januar 2022 var det altså over 100 metanoldrevne skip som enten allerede var i drift eller var bestilt, og mesteparten av disse var tankskip, mens containerskip dominerer de aller nyeste bestillingene (Forsyth, 2023, s. 1).

Maersk spiller også en stor rolle når det kommer til satsing på metanol, og den 9. februar 2024 ble deres aller første metanoldrevde containerskip satt i drift. Skipet heter Ane Maersk og har en lastekapasitet som tilsvarer 16 000 TEU. Ane Maersk skal seile en fast rute mellom Asia og Europa, med anløp blant annet i havner som Shanghai, Felixstowe, Hamburg, Antwerpen, Le Havre og Abu Dhabi. I tillegg har Maersk nå hele 24 containerskip på bestilling med lastekapasitet på mellom 9-17 000 TEU, hvor alle av dem vil være utstyrt med «dual-fuel-motorer» som vil kunne bruke metanol til fremdrift, men muligheten til å veksle til diesel vil også være der, dersom ulike omstendigheter skulle føre til at det heller hadde vært mer gunstig å benytte seg av diesel (Maersk, 2023). «Dual-fuel-motorer» gjør derfor overgangen til mer miljøvennlige drivstoff en del lettere, og da både for nybygg og ombygging av skip, altså såkalt «retrofitting». Andre rederier som følger i Maersk sine fotspor, er COSCO og CMA CGM (Methanol Institute, 2023, s. 14).

2.5.4 Bruk av metanol som drivstoff om bord på skip

Som vi allerede vet, ligger den spesifikke energien til metanol på 19,7 MJ/kg, noe som er mye lavere enn både LNG og hydrogen, men høyere enn ammoniakk. Energitettheten derimot, tilsvarer 15,6 MJ/liter, og er dermed i underkant av 50% høyere enn energitettheten til ammoniakk og i underkant av dobbelt så høy som energitettheten til flytende hydrogen, mens energitettheten til LNG er ca. en tredjedel høyere sammenlignet med metanol. Dette medfører til at vi er nødt til å benytte oss av større mengder metanol med tanke på vekten av drivstoffet, for at vi skal kunne produsere samme mengde energi sammenlignet med bruken av hydrogen og LNG som drivstoff, men på en annen side så tar ikke metanolen like mye plass om bord som hydrogen og ammoniakk, og volumet av metanolen som lagres om bord blir da bare rundt 1/3 større i forhold til LNG, når man skal lagre samme energimengde. Kun basert på disse to aspektene kan det konkluderes med at Metanol i prinsippet er et litt dårligere alternativ enn LNG, ved at man må lagre en litt større mengde, både når det gjelder vekt og volum, for å få samme mengde energi, men er bedre enn hydrogen og ammoniakk.

Når det er sagt, er fremdriftssystemer som drives av metanol et mye billigere alternativ enn alle de andre alternative drivstoffene denne oppgaven handler om, når det kommer til installasjonen av selve fremdriftssystemet. Kostnaden for å installere et fremdriftssystem som bruker metanol som drivstoff om bord på et skip, inkludert motor, tanker og rør, tilsvarer bare omtrent en tredjedel av kostnadene for å installere et fremdriftssystem som bruker LNG som drivstoff. Dette skyldes blant annet det at det ikke trengs spesialmaterialer for å tåle ekstremt lave temperaturer eller trykk i drivstofftankene, noe som også gjør disse tankene lettere med tanke på vekten (DNV, 2023, ss. 49-50). For å sette et perspektiv, er kostnaden for å installere fremdriftssystemer som benytter enten hydrogen eller ammoniakk som drivstoff betydelig mye høyere enn det å installere et LNG-system, på grunn av den skyhøye kostnaden av brenselceller.

Videre, kan ifølge DNV, eksisterende landbaserte bunkringsanlegg for bunkring av konvensjonelle drivstoff, ganske enkelt tilpasses for å tilby metanol som drivstoff i den maritime næringen. Derfor kan områder der metanolterminaler allerede eksisterer, også tilby metanol som drivstoff med minimal innsats og minimale kostnader, om det blir nødvendig (DNV, 2023, s. 51). Grunnen til dette er at metanol er lett å håndtere, hovedsakelig fordi at den forblir flytende ved vanlig atmosfærisk temperatur og trykk, i motsetning til andre alternative drivstoff som LNG, ammoniakk og hydrogen. Dette betyr at bunkring av metanol

er svært enkelt i forhold til de andre alternative drivstoffene vi har omtalt i denne oppgaven, og kan dermed i stor grad oppnås med eksisterende infrastruktur, etter bare noen få enkle modifikasjoner. Dessuten vil en drastisk endring innen infrastrukturen for bunkring av metanol ved hjelp av relativt lave kostnader, også føre til at dette drivstoffet vil bli mye billigere i fremtiden, noe som vil gjøre det til et enda mer attraktivt alternativ (Methanol Institute, 2023, s. 14).

Ikke nok med det, har metanol ved bruk som drivstoff en evne til å redusere utslipp av partikler med 95%, SO_x med 90% og NO_x med 60%. I tillegg sies det at CO₂-utslippene kan reduseres med opptil 25% innen «short-sea shipping» (Buckingham, 2020, s. 5). På større skip er reduksjonen av utslipp av CO₂ noe lavere, og da rundt 10%, men dersom man benytter grønn metanol kan disse utslippene reduseres med hele 80% (DNV, 2023, s. 50). For skip som bruker metanol til fremdrift er IGF-koden den viktigste retningslinjen for øyeblikket og det er den man er nødt til å forholde seg til, men en egen forskrift om metanol er under utvikling. Det at metanol har blitt fraktet på skip som last i en lang tid, tilsier og at klare rutiner og regler for håndtering av metanol som last allerede er på plass og sjøfolk har gjort seg kjent med håndtering av dette stoffet. Dessuten har DNV laget sine egne retningslinjer som gjelder lagring og håndtering av metanol om bord, samt bunkring av dette drivstoffet (DNV, 2019, s. 25).

Når det gjelder sikkerhetsmessige aspekter, har det tidligere blitt sagt at metanol, i likhet med ammoniakk, er et giftig stoff. Dersom man blir eksponert for større mengder metanol, kan det forårsake skader på sentralnervesystemet, og dermed resultere i for eksempel synstap, koma og i verstefall død, fordi høye konsentrasjoner av metanoldamp kan føre til kvelning. På grunn av at metanol er tyngre enn luft, så øker også faren for at mannskapet om bord kan bli utsatt for dette stoffet ved en lekkasje. Derfor er man nødt til å håndtere metanol med forsiktighet og følge gitte regler og retningslinjer for lagring og håndtering av metanol som drivstoff om bord på skip (ABS, 2021, s. 6). Dersom metanol tar fyr, fører dette også til en sikkerhetsrisiko med tanke på at flammepunktet ligger på 11-12°C (DNV, 2019, s. 25). Dette utgjør en ekstra sikkerhetsrisiko ettersom metanolflammer er nesten helt usynlige i dagslys (ABS, 2021, s. 6). Men igjen, så brytes metanol ned meget raskt både i vann og når det eksponeres for luft, og hvis stoffet lekker ut i havet, så vil dette ikke føre til noen særlig store konsekvenser for miljøet, siden halveringstiden til metanol i overflatevann bare tilsvarer en til syv dager (ABS, 2021, s. 2).

3 Metode

3.1 Kvalitative forskningsmetoder

Kvalitativ forskning er en åpen og fleksibel metodetype som hovedsakelig fokuserer på å forstå og tolke fenomener i deres naturlige kontekst, og der data samles inn som tekster og ord. Målet her er å få oppfatningen til personen som undersøkes, formidlet gjennom egne ord. Dermed er denne metodetypen egnet til å behandle mindre informasjonsmengder, og da bare noen få intervjuobjekter. Man kan da benytte seg av en semistrukturert intervjuguide, samt utføre personlige intervjuer med noen få informanter man har valgt ut, som da skal prøve å besvare spørsmålene som blir stilt, slik at intervjuerne får en dypere forståelse for temaet. Dette kan hjelpe med å fange opp nyanser og sammenhenger som kvantitative metoder vanligvis ikke klarer å fange opp, men data som samles inn på den måten kan imidlertid være vanskelige å generalisere eller trekke konklusjoner om en større befolkning. Kvalitativ forskning kan også bidra til å frembringe teorier eller hypoteser basert på innsikten som er oppnådd. Den kan deretter informere kvantitative studier for å teste disse teoriene. Kvalitativ forskning kan også brukes til å evaluere ulike programmer eller intervensjoner for å forstå deres effektivitet og brukeropplevelser, samt avdekke eventuelle endringer som er nødvendige (Jacobsen, 2022, ss. 141-145, 149-154, 157).

3.2 Åpent kvalitativt individuelt intervju

I et åpent kvalitativt individuelt intervju er det typisk at de som undersøker, eller forskerne, og den som blir undersøkt, altså informanten, engasjerer seg i en ordinær samtale og snakker sammen i en helt vanlig dialog. Dataene som samles inn ved et slikt tilfelle, kommer i form av ord, setninger og fortellinger. Denne formen for intervju kan gjennomføres på flere forskjellige måter. Vanligvis foregår dette intervjuet ansikt til ansikt, men det kan også skje digitalt. Under samtalen utforsker partene ulike aspekter av temaet, hvor forskerne enten noterer ned informantens uttalelser fortløpende eller tar lydopptak av intervjuet, avhengig av informantens preferanser (Jacobsen, 2022, s. 162).

Her legges det ingen eller svært få begrensninger på hva informanten kan si eller uttale seg om. Til slutt skal notatene som ble skrevet ned under intervjuet eller selve lydklippet analyseres, for å trekke konklusjoner om det som ble sagt. Selve formålet med et åpent

kvalitativt intervju er å få innsikt i informantens egne meninger og perspektiver om temaet som diskuteres (Jacobsen, 2022, ss. 162-163).

I vår forskning valgte vi å gjennomføre åpne kvalitative individuelle intervjuer for å få et dypere innblikk i rederienes representanter sine opplevelser og tanker om bruk av alternative drivstoff og overgangen til mer miljøvennlige drivstoff i den maritime næringen generelt. Hovedgrunnen som ligger bak beslutningen for å benytte oss av nettopp denne metoden for å samle inn informasjon, er at vi ønsket å komme nærmere informantene og deres egne oppfatninger.

3.3 Intervjuets struktur

Kvalitative intervjuer varierer i sin grad av åpenhet. I noen tilfeller foregår intervjuer som helt vanlig og uformelle samtaler uten noen form for begrensninger eller styring fra dem som intervjuer, altså forskerne sin side. Likevel er det åpne intervjuet vanligvis strukturert i mindre eller større grad, ved hjelp av en liste eller såkalt intervjuguide over ulike temaer som ønskes å tas opp. Da er det ofte viktig å bestemme seg på forhånd for hvor sterkt prestrukturerte disse intervjuene skal være. Prestrukturerte intervjuer kjennetegnes ved at spesifikke temaer forskerne ønsker å utforske er bestemt på forhånd (Jacobsen, 2022, s. 166).

Høy grad av prestrukturering når det kommer til intervjuer innebærer at spørsmålene man har tenkt å stille informanten er klare på forhånd og spørsmålene stilles i en fast og bestemt rekkefølge. Fordelen med dette kan være at det blir lettere og mindre tidkrevende å analysere dataene i etterkant av intervjuet, men samtidig kan selve dybden av intervjuet bli meget begrenset, ved at man da kun får begrenset informasjon angående det informanten selv mener og opplever om ulike aspekter når vedkommende ikke får snakke fritt. Ved en lav grad av prestrukturering derimot, unngår man forhåndsdefinerte spørsmål og bruker da heller for eksempel en liste med stikkord som veiledning. Disse kan brukes til å holde samtalen noenlunde rundt temaet. Fordelen her er at informanten får selv velge hva han eller hun ønsker å snakke om, som gjør at man kanskje får gått mer i dybden ved noen av aspektene rundt temaet, men imidlertid har intervjuet en tendens til å bli ganske uoversiktlig og vanskelig å analysere, samt at man ikke nødvendigvis får svar på akkurat det man ønsker og samtalen kan etter hvert havne på villspor og bevege seg vekk ifra temaet (Jacobsen, 2022, ss. 166-168).

Som følge av dette bestemte vi oss for å velge en tilnærming til utførelse av intervjuer som ligger et sted imellom lav og høy grad av prestrukturering. Vi tenkte nemlig å lage en intervjuguide med spørsmål og klare temaer som vi ønsket at informantene skulle svare på, men samtidig så ble vi enige om å ta det rolig, gi rom for fleksibilitet ved å ikke nødvendigvis gå gjennom alle temaene i en bestemt rekkefølge, samt sørge for at informantene kan uttrykke seg fritt og uten noen tidsbegrensninger, og i tillegg stille dem eventuelle oppfølgingsspørsmål. Ved å tillate informantene å uttrykke seg fritt, håpet vi å få et mer nyansert bilde av deres syn på temaet, for å bygge opp vår egen forståelse rundt dette og samtidig hjelpe oss med å trekke konklusjoner basert på deres synspunkter. Dessuten sørget vi for å opparbeide og lese oss opp på de ulike temaene før intervjuene, som også gjorde det lettere å holde en åpen samtale med informantene, hvor alle kunne dele sine personlige synspunkter om ulike alternative drivstoff og andre aspekter innen temaet rundt dette.

3.4 Utvalg av informanter

I utgangspunktet vurderte vi å ha mellom tre og fem informanter, men på grunn av omfanget av forberedelser og analysering, så valgte vi å holde oss til tre. For å kunne anskaffe verdifulle svar ble det fokusert på at svarene skulle komme fra noen med mye erfaring fra den maritime industrien og mye kunnskap innenfor temaet. For å få inn ulike synspunkter av samme sak, valgte vi også å intervjuer både personer som kan klassifiseres som teknisk ansvarlige på rederikontoret og forbrukere på fartøy, eller personer som har lang erfaring med begge deler. En av informantene er teknisk ansvarlig på et rederikontor med erfaring som forbruker på fartøy, en annen er forbruker på fartøy med erfaring som teknisk ansvarlig på rederikontoret, mens den siste er daglig leder i et rederi med erfaring som skipsmegler. Informantene ble kontaktet via e-post og/eller annen kontaktinformasjon som ble funnet på deres tilhørende hjemmesider, gjennom en tredjeperson, og gjennom nær kjennskap til personen. Dessuten kommer de tre informantene fra tre forskjellige rederier som hører til på Vestlandet, og som tar det grønne skiftet og miljøvennlige endringer i den maritime industrien på alvor, samt har allerede implementert alternative løsninger for drivstoff- og fremdriftssystemer. I tillegg kan det være lurt å tilføye at disse rederiene opererer innen tre ulike segmenter av sjøfart, hvor et av dem opererer innen den såkalte offshore-næringen, et annet opererer tankskip, mens det siste opererer bulkskip. Disse rederiene regnes også å være en del av «short-sea-shipping».

3.5 Gjennomføring av intervjuer

3.5.1 Forberedelser

Før dette prosjektet hadde vi en svært begrenset kjennskap til alternative drivstoff. Derfor var det viktig for oss å sette oss grundig inn i emnet før vi begynte å gjennomføre selve intervjuene. Dette ga oss en solid forståelse av temaet og hjalp oss med å lede samtalen på en inkluderende måte. Det bidro også til å opprettholde flyten i samtalen og sikre et meningsfullt utbytte fra intervjuene ved å utvide vår kunnskap om de ulike alternative drivstoffene ytterligere.

Videre bestemte vi oss for å ha åpne kvalitative individuelle intervjuer med noen få informanter, i dette tilfellet falt valget på totalt 3 informanter, og basert på dette lagde vi en felles intervjuguide (Vedlegg 2) som vi ville benytte oss av under hvert av intervjuene. Her utarbeidet vi spørsmål rundt temaer som vi ville drøfte i vår oppgave, og knyttet dette opp mot den tilgjengelige litteraturen. Intervjuguiden valgte vi å dele inn i fire forskjellige deler, som da var innledning, innledende prat, nøkkelspørsmål og en kort avslutning.

I innledningen var målet å fortelle kort hva intervjuet skal handle om og hva formålet er, hvordan dataene vil bli behandlet, si omtrent hvor lang tid vi kan regne med at intervjuet tar, samt avklare tillatelse til å kunne ta lydopptak av intervjuet. Deretter hadde vi en kort innledende prat som gikk ut på at informantene presenterer og forteller litt om både seg selv og rederiet han jobber for. Så kommer hoveddelen med nøkkelspørsmål, hvor vi da først stilte noen spørsmål angående hvordan informantene ser på det grønne skiftet, hva de tenker er mest avgjørende for valget av et mer miljøvennlig drivstoff- og fremdriftssystem og hva de tror er årsaken til at det fortsatt er mange rederier som velger å ikke gå over til mer miljøvennlige alternativer helt enda. Spørsmålene som fulgte etter, var rettet mot hva informantene tenker om de ulike alternative drivstoffene vi valgte å inkludere i dette prosjektet.

Drivstoffene disse spørsmålene var rettet mot er hovedsakelig hydrogen, ammoniakk, LNG og metanol, men vi valgte også å ta med spørsmål angående andre alternativer som LPG, biodrivstoff og batteridrift, samt spørsmål som var rettet mot rotorseil, seil på nyere skip generelt og atomdrevne skip, selv om andre alternativer enn hydrogen, ammoniakk, LNG og metanol ikke blir inkludert i denne oppgaven, men det var likevel interessant å høre hva informantene hadde å si om alle disse ulike fremdriftsaspektene. Til slutt hadde vi skrevet ned

noen stikkord til avslutning, hvor vi tenkte å spørre informantene om det var noe mer de ønsket å legge til det som allerede var sagt, om det hadde vært mulig for oss å kontakte dem igjen hvis det blir aktuelt, og selvfølgelig takke for at de valgte å stille opp til intervju og delta i vårt prosjekt.

I enhver intervjusammenheng er også anonymitet og tillit grunnleggende. Derfor utformet vi et samtykkeskjema (Vedlegg 1) for informantene, hvor vi klargjorde retningslinjer for anonymitet og bruken av informasjonen de ga oss. Før selve intervjuene startet, ble informantene bedt om å bekrefte forståelsen av disse vilkårene, enten muntlig eller skriftlig. Ved hjelp av dette kunne vi trygge informantenes personvern og bygge et tillitsfullt forhold, noe som er avgjørende for en vellykket datainnsamlingsprosess og for å sikre at informasjonen blir behandlet på en etisk forsvarlig måte (Jacobsen, 2022, s. 56).

3.5.2 Gjennomføring

Når det kommer til selve gjennomføringen av intervjuene, så fant ett av dem sted på rederiet sitt kontor, mens de to andre intervjuene foregikk digitalt på Teams. Planen var egentlig å gjennomføre alle intervjuer på de tre rederiene sine kontor, men av ulike grunner var det best for to av informantene å gjennomføre intervjuet på Teams istedenfor. Et intervju hvor man har kontakt med vedkommende ansikt til ansikt er av egen erfaring å foretrekke, blant annet siden man da lettere kan forstå hverandres kroppsspråk og intervjuet blir også mer naturlig når man faktisk snakker til en annen person og ikke til en skjerm, men for vår del så gikk de to digitale intervjuene overraskende bra. Vi klarte å oppnå en god flyt, dialog og dybde i begge samtalene, og vi opplevde heller ingen former for tekniske problemer.

Her tenkte vi også at det var naturlig at hele gruppen møter opp til intervju, så under hvert av de tre intervjuene vi har hatt gjennom dette prosjektet, var alle vi tre til stede. Dessuten tenkte vi at det var best om en av oss hadde kontroll på lydopptaket underveis, en person tok seg av innledningen ved å for eksempel avklare samtykket som gjaldt personlige opplysninger og rett til lydopptak av intervju, samt stille spørsmål som «kan du fortelle litt og det selv?» og «kan du fortelle litt om rederiet?», mens den siste av oss tre tok seg av det å stille alle nøkkelspørsmål. Dessuten stilte alle oppfølgingsspørsmål underveis, dersom det var noe vi lurte på eller noe vi ønsket å vite mer om. Selv om vi hadde laget en intervjuguide på forhånd med spørsmål og klare temaer som vi ønsket at informanten skulle svare på, så fulgte vi

planen om at vi skulle sørge for å gi rom for fleksibilitet ved å ikke nødvendigvis gå gjennom alle temaene i en bestemt rekkefølge, samt sørge for at informantene kan uttrykke seg fritt og uten noen tidsbegrensninger, for å skape en best mulig flyt og holde samtalen så naturlig som mulig.

Intervjuene ble tatt opp ved hjelp av lydopptak, noe som viste seg å være svært nyttig. Lydopptakene ble laget om til tekstform ved hjelp av transkripsjon, for å få en bedre oversikt over hva som egentlig ble sagt og formidlet som svar på de ulike spørsmålene som ble stilt under hvert intervju. Dette gjorde det igjen mye lettere å presentere og drøfte resultatene vi klarte å oppnå. For å beskytte informantenes anonymitet, ble både lydopptakene og transkripsjonene slettet under innleveringen av selve bacheloroppgaven.

3.6 Analysering av innsamlet data

Som vi nevnte tidligere, består kvalitative kilder hovedsakelig av ulike former for tekster, og analysen av disse blir da en slags form for tekstanalyse. Her gjelder det om å trekke meningsfulle innsikter fra informasjonsmengden ved å forsøke å forenkle og strukturere kompleksiteten. Ved å identifisere mønstre, avvik og årsaker på denne måten, kan man oppdage sentrale detaljer som gir ny innsikt i et fenomen. Den kvalitative analysen innebærer altså å bryte ned tekster, koble elementene sammen og forstå dem i sammenheng. Dette resulterer vanligvis i en dypere forståelse av hver del og muliggjør en grundig gjennomgang av analysen (Jacobsen, 2022, ss. 141-145, 149-154, 157).

For at vi skulle klare å gjøre dette, var vi først nødt til å gjøre intervjuene om til tekst, med tanke på at vi bare bestemte oss for å ta lydopptak av intervjuene. Dette gjorde vi ved hjelp av transkripsjon, altså automatisk overføring fra lydopptak til skrift via tekst-til-tale-funksjonen i Word. Når det var gjort, var neste steg å bearbeide tekstene av de tre intervjuene, slik at de ble litt mindre komplekse og lettere å forstå. På denne måten kunne vi sikre at de inneholdt tydelige svar og meninger på alle spørsmål som ble stilt under intervjuene. Målet var altså å lage gode referat eller sammendrag av de tre intervjuene.

Deretter analyserte vi disse ved hjelp av noe som kalles tematisk analyse. Tematisk analyse, forkortet TA, er en metode som systematisk identifiserer, organiserer og gir forståelse av ulike tematiske elementer som finnes i et datasett. Hovedgrunnen til at vi valgte TA, er at det er en meget fleksibel tilnærming som tillater forskeren å rapportere og analysere ikke bare åpenbare

meninger, men også utforske underliggende antakelser og ideer, noe som gjør denne måten å analysere datasett på, at den passer til en bred variasjon av forskningsspørsmål og forskningsemner (Braun & Clarke, 2012, ss. 57-58). Dessuten tenkte vi at akkurat denne metoden var best egnet til å avgrense og basere resultatet på de fire alternative drivstoffene vi valgte å utforske i dette prosjektet, istedenfor å inkludere alt som ble spurt om på intervjuene, slik at vi da får ordentlige og detaljerte svar på det prosjektet faktisk handler om. Resultatene ble dermed delt inn i fire ulike temaer, som korresponderer med våre sentrale forskningsspørsmål og vårt teoretiske rammeverk. For å forenkle koblingen av resultater med teori, så valgte vi å presentere funnene i nøyaktig samme rekkefølge som temaene i teoridelen (kapittel 2). Disse resultatene finner vi i neste kapittel.

4 Resultat

4.1 Tema 1: Hydrogen

4.1.1 Informant 1

Når kommer til det informanten hadde å si om hydrogen, så mente han at det er et stoff som man finner overalt og i alle typer drivstoff, ikke bare for seg selv. Det ble påpekt at hydrogen er blandet inn i alle typer drivstoff som en bestanddel. Informanten understreket at hydrogen er en veldig viktig innsatsfaktor og nøkkelingrediens i produksjonen av grønne drivstoff, som representerer den mest miljøvennlige formen for drivstoff. Han ville også få fram at tilgangen på hydrogen er essensiell for fremstillingen av for eksempel ammoniakk og metanol, noe som gjør at det derfor er viktig å satse på mer miljøvennlig produksjon av dette stoffet. Totalt sett mente informanten at hydrogen spiller en betydelig rolle i utviklingen av mer miljøvennlige og såkalte grønne drivstoff, og en grønnere produksjon av hydrogen vil resultere i alternative drivstoff som faktisk vil bidra til en betydelig reduksjon av utslipp.

4.1.2 Informant 2

Når informanten ble spurt om hydrogen, så valgte vedkommende å gå mer i dybden på hvordan det skal lagres og brukes ombord. Her kom han fram til at det ikke er særlig relevant å bruke slike drivstoff på skip og kalte dette for et "shit fuel". Allerede her er det stor uenighet om hvorvidt hydrogen er et hensiktsmessig drivstoff for fremtidig bruk med tanke på

reduerte utslipp. Det ble også påpekt at hydrogen egentlig er et svært farlig drivstoff, og det kan være utfordrende å komme med en sikkerhetsmessig forsvarlig løsning på bruken av hydrogen som drivstoff på skip. Videre mente informanten at det å lagre hydrogen i flytende form om bord på et skip ville kreve for mye energi, noe som kunne føre til alvorlige konsekvenser hvis noe går galt. For å få alt dette til å fungere på en effektiv måte, så ville dette ha vært altfor komplisert med tanke på prosessen med å binde hydrogen og frigjøre det igjen gjennom kjemiske reaksjoner for å kunne bruke det som drivstoff. Han så dermed på dette som et økonomisk ugunstig, ikke bærekraftig og for «energifattig» alternativ. Til slutt la informanten til at tilgangen på mengden hydrogen som hadde vært nødvendig for å kunne etablere det som et utbredt marint drivstoff, er nærmest umulig, og det er ikke nok av hydrogen som kunne brukes til dette formålet.

4.1.3 Informant 3

Igjen gikk informanten dypere inn på temaet om hydrogen, og mente hovedsakelig at hydrogen potensielt sett kunne være et verdifullt drivstoff. Men dette vil avhenge av valgene som tas i forhold til produksjon og bruk. Han sa også at det fortsatt mangler betydelig utvikling når det gjaldt bruk av hydrogen i gassform for motorer, samt infrastruktur. Likevel var vedkommende optimistisk med tanke på fremtiden og argumenterte for at det var tydelige tegn på at hydrogen kan bli en bærekraftig og teknisk levedyktig løsning uten utslipp. For dagens motorer, var det spesielt fokus på muligheten for å bruke hydrogen som drivstoff i mindre eller mellomstore motorer, altså 4-takts motorer, og da særlig i «dual-fuel-motorer». Samlet sett ble det sett positivt på hydrogenets potensiale til å redusere CO₂-utslipp og vil kunne være et drivstoff å regne med for framtidige fartøy.

4.2 Tema 2: Ammoniakk

4.2.1 Informant 1

Når det gjaldt ammoniakk, la informanten vekt på de potensielle utfordringene ved å bruke det på mindre fartøy. Spesielt omtalte han ulike sikkerhetsaspekter knyttet til transport og lagring av ammoniakk om bord på slike fartøy. Det ble fremhevet at ammoniakk er et drivstoff som brenner meget dårlig i forhold til andre drivstoff. Informanten pekte også på kompleksitetene knyttet til det å integrere ammoniakk i «dual-fuel-motorer» og understreket

at det kunne være vanskelig å faktisk få det til å bli såkalt grønt. Han mente at bruken av ammoniakk som drivstoff om bord på skip fører til store sikkerhetsrelaterte utfordringer, med tanke på at det er giftig, også brenner det svært dårlig i forbrenningsmotorer. Ifølge informanten brenner ammoniakk bare litt bedre enn vann. Til tross for disse utfordringene, mente han at ammoniakk etter hvert kan utvikles til å bli et ganske attraktivt alternativ, dersom flere rederier og motorleverandører er villig til å vise interesse i dette og videreutvikle kunnskapen vi nå har om bruken av dette drivstoffet, med tanke på at et par motorleverandører allerede har testet dette i «dual-fuel-motorer», og da både i ottomotorer og dieselmotorer. Muligheten er til stede, men det handler om å finne den mest effektive tilnærmingen for å få det til å fungere optimalt.

4.2.2 Informant 2

På lik linje som den første informantens perspektiv, ble det nevnt at noen motorleverandører utforsker i dag forskjellige typer motorer og fremdriftssystemer som kan integrere ammoniakk som drivstoff. Det ble videre diskutert hvordan bruk av ammoniakk kan være en smart løsning, spesielt fordi det muliggjør produksjon og lagring av hydrogen, som også kunne blandes sammen med ammoniakken. Dette ville ha muliggjort bruk av både blått og grønt hydrogen, og informantens initiale oppfatning var at dette kunne være en lovende løsning. Vedkommende omtalte deretter hvilke motorer som ville være mest egnet til å forbrenne ammoniakk, spesielt med tanke på utslipp av lystgass, som er over 300 ganger verre enn CO₂, ifølge informanten. Han konkluderte med at hvis problemet med lystgassutslipp kunne løses, ville ammoniakk være en potensielt god løsning. Imidlertid avhenger effekten av lystgass av hvor i atmosfæren den slippes ut og naturligvis av hvor stor mengde som slippes ut.

4.2.3 Informant 3

Meningen til informanten angående dette drivstoffet var stort sett ganske likt som meningen til de andre informantene. Han mente altså at ammoniakk teknisk sett har potensiale til å fungere ganske greit som drivstoff på skip. Imidlertid ble det påpekt at potensielle lekkasjer av ammoniakk kan være svært farlige, som den første informanten tidligere nevnte, og dette bringer opp viktigheten av å drive slike fartøy på en trygg og sikkerhetsmessig forsvarlig måte. Han påpekte også at for et såkalt «fuel-gas-system», så ville det ha fungert bedre

dersom det hadde blitt drevet av hydrogen som energikilde, istedenfor ammoniakk.

Informanten var altså optimistisk med tanke på muligheten for at ammoniakk kunne være et godt alternativ, men understreket at det avhenger av å utvikle dette ytterligere, samt finne den mest hensiktsmessige motorprosessen ved bruk av ammoniakk som drivstoff.

4.3 Tema 3: LNG

4.3.1 Informant 1

Informanten mente at tankskip, spesielt olje- og gasstankskip, er ideelle kandidater for bruken av LNG som drivstoff om bord. Dette skyldes evnen til å fange opp VOC (Volatile Organic Compounds), altså avgasser fra lasten, som kan brukes som drivstoff i «dual-fuel-motorer». Alternativet til det er jo enten å lagre disse avgassene, noe som tar mer plass, eller bare å slippe de ut i atmosfæren, noe som er veldig dårlig for miljøet. Videre påpekte informanten at LNG allerede er tilgjengelig overalt i verden, og regnes derfor som et spesielt bra «overgang drivstoff», mens mer miljøvennlige alternativer blir etter hvert etablert på verdensbasis. Informanten sa også at LNG forbrenner rent i forhold til dieselolje, og betraktes derfor av informanten som en gunstig løsning dersom man skal redusere utslipp.

4.3.2 Informant 2

Metanutslipp ble her nevnt som en potensiell ulempe ved bruk av LNG som drivstoff, da metan er en verre drivhusgass enn CO₂. Mens LNG fungerer meget effektivt for større skip som seiler lengre distanser skipsfart på store fartøy, så viser det seg noe mindre egnet for offshoreindustrien og fartøy som seiler korte distanser, på grunn av mye opp- og nedtrapping av motorene. NO_x-messig var informanten positiv til LNG, da NO_x-fangst kan gjennomføres veldig enkelt, men sa også at NO_x-utslipp er lite relevante langt ute på havet, sammenlignet med nærmere kysten. Videre nevnte informanten at selve bruken av LNG kan være kostbar til tider, grunnet geopolitiske forhold som stadig er i endring, og det har vært spesielt dyrt nå i tiden etter at krigen i Ukraina begynte. Prisen på LNG varierer betydelig sammenlignet med for eksempel diesel, og det kan derfor være uforutsigbart for hva som er den mest lønnsomme løsningen til enhver tid.

4.3.3 Informant 3

Informanten er veldig positiv til LNG som drivstoff, spesielt når fremdriftssystemet er utstyrt med brenselceller. Han sier videre at bruken av LNG i brenselceller resulterer i en betydelig reduksjon av utslipp, på grunn av den høye virkningsgraden i forhold til vanlige forbrenningsmotorer, og brenselcellene kan i prinsippet fungere med nullutslipp i fremtiden. Selv om informanten ikke ser på LNG som den eneste løsningen som kommer til å erstatte alle andre alternativer, særlig i offshoreindustrien, så forblir han likevel positiv til bruken av LNG som drivstoff i offshore-sektoren. I tillegg ble det nevnt at LNG allerede har en betydelig tilstedeværelse som et drivstoff innen sjøfart, og da særlig innen «deep-sea shipping», altså på store skip som seiler svært lange distanser.

4.4 Tema 4: Metanol

4.4.1 Informant 1

Informanten påpekte at infrastrukturen for metanol er allerede ganske godt etablert, og teknisk sett kan det fungere som et alternativt drivstoff, men han mente at et problem knyttet til metanol er tilgjengeligheten av grønn metanol, altså den mest miljøvennlige og bærekraftige typen metanol som kan brukes som drivstoff. Sammenlignet med grønn metanol, er grå metanol betydelig mer forurensende. Til slutt kom informanten med forslaget om å bruke metanol i 2-taktsmotorer, noe han mente var den beste tilnærmingen for å implementere metanol som drivstoff i skipsmotorer.

4.4.2 Informant 2

Informanten her ville få fram at metanol kan være en god løsning for å øke andelen miljøvennlige komponenter i drivstoffet. Han påpekte også at tilgjengeligheten til metanol er svært god, og det kan i dag anskaffes nesten hvor som helst i verden. Selv om metanol per i dag ikke nødvendigvis er det mest miljøvennlige alternativet, er det likevel et alternativ som kan benyttes og som har potensiale til å bli meget miljøvennlig hvis riktige tiltak settes i gang, men akkurat det å gjøre metanolen så miljøvennlig som mulig kan bli krevende, spesielt med tanke på produksjon av store mengder grønn metanol. Imidlertid vil dette også kreve

implementering av karbonfangst, som informanten mente kunne bli et vanskelig regnestykke. Argumentet var at hvis prosessen med å gjøre metanol miljøvennlig, eller andre alternative drivstoff for den del, blir for vanskelig, så ville det være mer hensiktsmessig å fortsette å bruke diesel som hoveddrivstoff. Ifølge informanten er diesel et sjokkerende bra drivstoff, i forhold til alternative drivstoff, som inneholder mye mindre energi enn diesel og brenner mye dårligere, noe som gjør at diesel derfor ikke bør undervurderes som en drivstoffkilde.

4.4.3 Informant 3

Informanten beskrev metanol som et drivstoff av det enkle slaget. Han fremhevet at metanol brenner svært lett, noe som gjør det enkelt å introdusere i en «dual-fuel-motor». Bruk av «dual-fuel-motorer» ble ansett av informanten som den riktige veien å gå, men samtidig er det ikke utelukkende med motorer som kun går på metanol. Dette skyldes metanolens lave flammepunkt, som fører til visse begrensninger knyttet til lasting og lossing, noe informanten understreket. Dermed ser det ut til å være en felles oppfatning blant informantene når det gjelder metanol. Det kan være en løsning i «dual-fuel-motorer», men utfordringen ligger i å sikre en så ren versjon av metanolen som mulig. Informanten ser imidlertid på bedre muligheter for å bruke metanol i skipsmotorer, men dette krever å overkomme barrierene som er knyttet til dette drivstoffet.

5 Drøfting

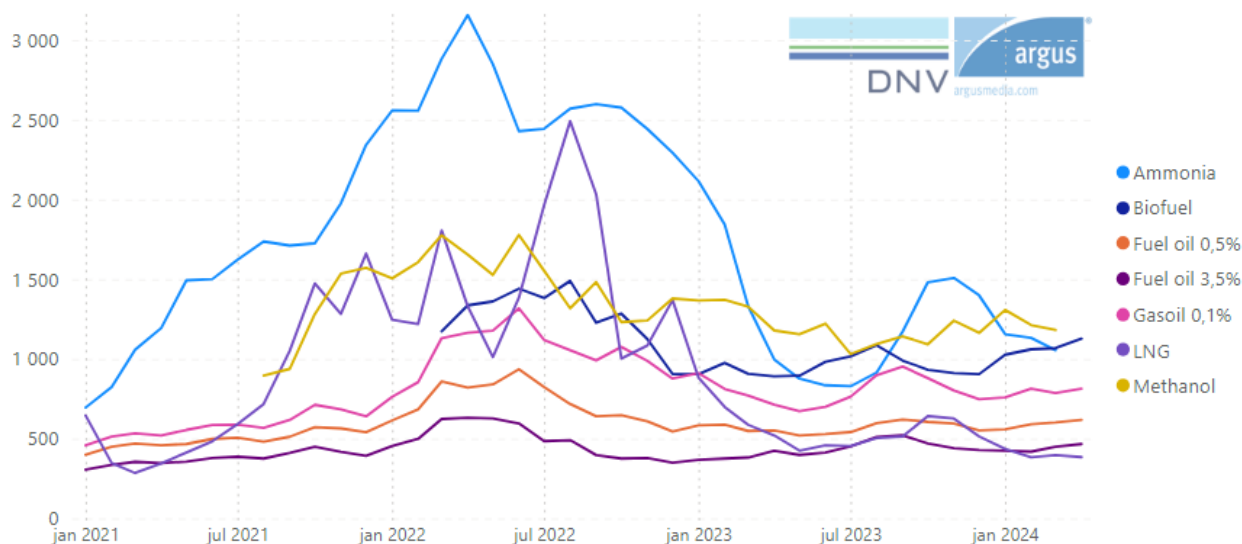
Et av spørsmålene vi stilte under intervjuene gikk ut på hva informantene selv tenker er mest avgjørende for valget av et mer miljøvennlig drivstoff, og det viste seg at valget primært ville basere seg på fire forhold. Disse forholdene er pris, tilgjengelighet, sikkerhet, og det at drivstoffet faktisk er miljøvennlig, ikke bare under bruket om bord, men gjennom hele livsløpet fra det blir produsert og til det blir forbrent eller på en annen måte forbrukt til fremdrift. Når det gjelder prisen, så vil vi ikke bare se på prisen på drivstoffproduktet, men også på en forenklet måte si noe om utgifter knyttet til installeringen av hele fremdriftssystemer knyttet til de gitte drivstoffene og utgifter knyttet til at man av ulike årsaker må ta om bord mindre last. I denne delen vil vi dermed drøfte og reflektere rundt de fire forholdene som gjør at rederiene hadde vurdert å ta i bruk enten hydrogen, ammoniakk,

LNG eller metanol som et potensielt drivstoff i sine skip. Vi vil også understreke at informasjonen som står her baserer seg på informasjon som har blitt nevnt tidligere i oppgaven, samt informasjon vi har fått vite enten under utførelsen av intervjuene eller av interne dokumenter som vi har fått tilsendt av informantene i ettertid.

5.1 Hydrogen

5.1.1 Pris og tilgjengelighet

Først og fremst er prisen på hydrogen som drivstoffprodukt en stor begrensning på grunn av den svært høye kostnaden. Dette skyldes hovedsakelig den betydelige energiutgiften ved produksjon gjennom elektrolyse av vann, samt det fortsatt høye prispunktet selv når det produseres fra naturgass, som ikke er særlig miljøvennlig. Gjennomsnittlig pris av ulike drivstoffprodukter vises på neste figur. Hydrogenprisen vises ikke på denne figuren, men ut ifra det vi har fått vite fra informantene, er prisen på hydrogen som drivstoff enda høyere enn prisen for ammoniakk, som ut ifra figuren er det drivstoffet som har hatt høyest pris de siste tre årene. Kostnaden av å installere et fremdriftssystem som går på hydrogen er også veldig høy, hovedsakelig på grunn av den skyhøye prisen på brenselceller nå for tiden, samt forholdsvis høy pris på drivstofftanker som er egnet for å lagre hydrogen under ekstremt lave temperaturer og svært høyt trykk, mens selve lagringen av hydrogen om bord også er veldig energikrevende, noe som fører til ekstra kostnader. I tillegg er disse tankene nødt til å være 2,5 ganger større, sammenlignet med tanker for lagring av LNG, dersom vi ønsker å lagre en lik mengde energi om bord. Eller for å si det på en annen måte, så trengs det 2,5 ganger mer hydrogendrivstoff, for å få lik mengde energi som ved bruken av LNG. Dette fører teknisk sett til mindre fortjeneste, som kan tolkes som en slags kostnad knyttet til lastekapasiteten på fartøyet, ved at det ikke blir mulig å laste ønsket mengde last om bord, grunnet det at hydrogenet tar såpass mye plass. Når vi ser på tilgjengeligheten av hydrogen, så er den generelt sett svært god, siden det produseres i veldig store mengder og regnes i dag som et av de viktigste kjemiske stoffene vi har. Men tilgjengeligheten for bunkring derimot, er per i dag meget dårlig, og produksjonen av hydrogen i flytende form er begrenset, grunnet den lave etterspørselen av dette som drivstoff.



Figur 15: Drivstoffpriser i USD per tonn (DNV, 2024)

5.1.2 Sikkerhet

Hydrogen kan være svært upraktisk å lagre ombord med tanke på at det trengs 2.5 ganger større drivstofftanker enn LNG for samme energimengde. Disse tankene må også være både kraftig nedkjølt og komprimert, noe som både er dyrt og kan medføre sikkerhetshindringer. H₂ er også svært brannfarlig, grunnet sitt ekstremt lave flammepunkt. Dermed kan det utgjøre store konsekvenser om det skulle skje en lekkasje. H₂ som lagres om bord under svært høyt trykk, kan resultere i svært ødeleggende konsekvenser om brann skulle oppstå. Likevel er selve stoffet ikke farlig for miljøet og lett løselig både i vann og luft, noe som gjør at hydrogen ikke utgjør en særlig stor risiko dersom det av ulike grunner slippes ut i sjøen eller i naturen generelt.

5.1.3 Grad av miljøvennlighet

Miljømessig er hydrogen et fullstendig karbonfritt drivstoff og eneste utslipp knyttet til hydrogen er H₂O, altså vann, og en liten mengde varme, når det blir brukt som drivstoff i brenselceller. Hvis man ser på hydrogenet man får ut ifra vannelektrolyse, er det null til nesten ingen utslipp av CO₂ gjennom hele livsløpet til dette stoffet, altså «Well to Wake», men hvis man ser hydrogen hvor produksjonen baseres på metan (CH₄), er CO₂-utslippene ekstremt mye høyere i forhold til hydrogen som produseres gjennom vannelektrolyse, og til og med veldig mye høyere enn CO₂-utslippene til tungolje (HFO) når vi ser på hele livsløpet

til drivstoffet fra det blir produsert til det blir forbrent. Hvis H₂ blir produsert gjennom elektrolyse, må energien som brukes ha opphav fra grønne og fornybare kilder for å kunne oppnå nullutslipp i forhold til WtW (Well to Wake), men produksjonsprosessen er energikrevende. En av informantene sendte oss egenlagde regnestykker som presenterer reduksjonen av mengden CO₂-utslipp fra bruken av de fire ulike drivstoffene vi har valgt å ta med i denne oppgaven om bord på skip, som bare tar utgangspunkt i mengden energi per kg knyttet til disse drivstoffene, i forhold til tungolje. Regnestykket for grønt hydrogen blir vist under, men i dette tilfellet har informanten brukt mengden CO₂-utslipp fra hydrogen i en forbrenningsmotor og ikke i en brenselcelle, som følge av at grønt hydrogen som blir brukt i en brenselcelle nærmest ikke fører til noen utslipp i det hele tatt når vi ser på hele livsløpet til det drivstoffet.

Den spesifikke energien til tungolje (HFO): 40,9 MJ/kg

Den Spesifikke energien til hydrogen: 120 MJ/kg

Hydrogen som erstatning for HFO (Heavy Fuel Oil) i en forbrenningsmotor:

$$120 / 40,9 = 2,93 \text{ kg HFO/kg hydrogen}$$

$$\text{Forbrenning av } 2,93 \text{ kg HFO} = 9,1 \text{ kg CO}_2$$

Effekten av at 1 kg grønt hydrogen erstatter HFO, fører til en reduksjon av CO₂-utslipp som tilsvarer 9,1 kg CO₂.

Dersom man bruker grått hydrogen, så vil CO₂-utslippene tilsvare 27 kg CO₂/kg hydrogen.

Konklusjonen blir dermed at grønt hydrogen er nødt til å erstatte eksisterende produksjon av grått hydrogen, før vi i det hele tatt begynner å bruke det som drivstoff på skip.

5.2 Ammoniakk

5.2.1 Pris og tilgjengelighet

Ammoniakk har mange av de samme problemene som hydrogen når det kommer til disse to aspektene her. Som illustrert på figur 15, har ammoniakk statistisk sett vært det dyreste drivstoffet etter hydrogen de siste tre årene, og er altså det nest dyreste av de fire drivstoffene vi omtaler i denne oppgaven, men i løpet av det siste halvåret har ammoniakk falt kraftig i pris og per mars 2024, er ammoniakk som drivstoff nå blitt billigere enn hydrogen, metanol og biodiesel. Videre kan kostnadene av installasjonen av et fremdriftssystem som går på ammoniakk, være nokså lik sammenlignet med et som går på hydrogen, mest på grunn av

prisen på brenselceller, men tankene for lagring av ammoniakk er litt billigere enn de for hydrogen, siden tankene for ammoniakk ikke trenger å tåle like ekstreme temperaturer og trykk, fordi ammoniakk forblir i flytende form mellom -33°C og rundt $+60^{\circ}\text{C}$. Ammoniakken virker også inn på fortjenesten man får for lasten man frakter, ved at drivstofftankene til ammoniakken er nesten dobbelt så store, 1,9 ganger for å være eksakt, sammenlignet med LNG, i motsetning til 2,5 ganger for hydrogen, dersom vi ønsker å lagre en lik mengde energi om bord. Det er også et svært viktig kjemisk stoff og produseres i store mengder, noe som gjør at det praktisk talt er tilgjengelig over hele verden, men igjen er infrastrukturen for bunkring svært begrenset.

5.2.2 Sikkerhet

Sikkerhetsmessig er ammoniakk et fargeløst, svært giftig og korrosivt drivstoff, med en selvalarmerende og kvelende lukt. Dette utgjør en stor sikkerhetsrisiko i tilfellet en lekkasje skulle finne sted. På en annen side er ammoniakk mye mindre brannfarlig, noe som betydelig reduserer faren for eventuelle branner eller eksplosjoner, sammenlignet med andre drivstoff. Når vi bare ser på brannrisiko, så kan ammoniakk regnes som ganske trygt, men det at ammoniakk er akutt giftig fører imidlertid til en enda større sikkerhetsrisiko dersom en lekkasje faktisk skulle oppstå. Sammenlagt gjør dette at ammoniakk oppfattes som et mer attraktivt alternativ i forhold til hydrogen, det vil si det beste alternativet innen karbonfrie drivstoff, men likevel må implementeringen av dette drivstoffet nøye vurderes med hensyn til dets giftighet. I tillegg er det lurt å legge til at ammoniakk løses også lett i vann og forholdsvis lett i luft (utenom lukkede rom), samt går nokså kjapt over i gassform ved en lekkasje. En eventuell lekkasje som fører til utslipp av dette stoffet, medfører derfor ikke for store konsekvenser for miljøet, men kan føre til veldig store konsekvenser for mannskap på skip.

5.2.3 Grad av miljøvennlighet

På lik linje med hydrogen, er ammoniakk et karbonfritt drivstoff, som gjør at vi ikke får noen CO₂-utslipp, men ved direkte forbrenning av ammoniakk i en forbrenningsmotor, og hvis utslippene dette medfører ikke blir fanget og kontrollert på en optimal måte, så frigjøres større mengder nitrogenoksider (NO_x) og lystgass (N₂O), og det sistnevnte utslippet blir sett på som en enda mer skadelig klimagass enn CO₂. Men disse utslippene dannes ikke dersom vi bruker

ammoniakk til fremdrift i brenselceller. Hvis ammoniakken vi velger å bruke, blir produsert gjennom prosesser hvor energien som brukes kommer fra fornybare energikilder, så vil dette også føre til ganske lave utslipp av CO₂ fra et WtW-perspektiv, men produksjonsprosessen er i dette tilfellet veldig energikrevende. Likevel fører bruken av grå ammoniakk til høyere utslipp av CO₂ enn bruken av HFO, når vi ser på hele livsløpet til drivstoffet. På samme måte som med grått hydrogen, vil overgangen fra tungolje til grå ammoniakk ikke ha noe positiv effekt når det gjelder reduksjonen av utslipp, og tvert imot vil dette resultere i en større mengde CO₂-utslipp i forhold til WtW. Her vil regnestykket for bruken av grønn ammoniakk på skip se slik ut, men også her har informant vist mengden CO₂-utslipp fra ammoniakk i en forbrenningsmotor og ikke i en brenselcelle.

Den spesifikke energien til HFO: 40,9 MJ/kg

Den spesifikke energien til grønn ammoniakk: 18,8 MJ/kg

Ammoniakk som erstatning for HFO i en forbrenningsmotor:

$$18,8 / 40,9 = 0,46 \text{ kg HFO/kg ammoniakk}$$

$$\text{Forbrenning av } 0,46 \text{ kg HFO} = 1,4 \text{ kg CO}_2$$

Effekten av at 1 kg grønn ammoniakk erstatter HFO, fører til en reduksjon av CO₂-utslipp som tilsvarer 1,4 kg CO₂.

Dersom man bruker grå ammoniakk, så vil CO₂-utslippene tilsvare 2,6 kg CO₂/kg ammoniakk.

Konklusjonen blir dermed lik den for hydrogen. Grønn ammoniakk er nødt til å erstatte eksisterende produksjon av grå ammoniakk, i alle fall delvis, før vi begynner å bruke det som drivstoff på skip.

5.3 LNG

5.3.1 Pris og tilgjengelighet

Figur 15 illustrerer at prisen på LNG varierer veldig. I august 2022 lå den for eksempel på omtrent samme nivå som prisen på ammoniakk per tonn, noe som da skyldes en drastisk reduksjon når det gjelder tilbudet av LNG, grunnet krigen i Ukraina og geopolitiske forhold dette medførte, men som vi ser har prisen på LNG nå falt betydelig og LNG er i skrivende øyeblikk blitt billigere enn alle andre drivstoff, inkludert hydrogen, ammoniakk, metanol, biodiesel, tungolje og diesel. Kostnadene knyttet til installasjonen av et helt fremdriftssystem som drives av LNG er fortsatt forholdsvis høye i forhold til bruken av konvensjonelle

drivstoff, hovedsakelig på grunn av drivstofftanker som er nødt til å tåle ekstreme temperaturer og være godt isolerte, samt på grunn av nødvendig infrastruktur om bord som omdanner væsken til gass før den sprøytes inn i motoren, men kostnaden av dette er mye lavere enn hvis man hadde valgt å installere et brenselcellebasert fremdriftssystem. Dessuten kan LNG brukes i «dual-fuel-motorer», noe som gjør at LNG kan brukes i en motor som også kan brukes til for eksempel diesel. I tillegg fører bruken av LNG til et mye mindre potensielt økonomisk tap som følger av begrenset lastekapasitet, i forhold til lagring av hydrogen, ammoniakk eller metanol om bord. Mindre drivstofftanker med tanke på mengden energi som lagres i disse tankene, fører til større fortjeneste. Likevel har lik mengde diesel dobbelt så høyt energiinnhold. Infrastrukturmessig derimot, er flytende naturgass nå blitt et svært godt etablert drivstoff i den maritime næringen og er tilgjengelig over hele verden. Det finnes altså muligheter for bunkring av flytende naturgass i stort sett alle storhavner i verden.

5.3.2 Sikkerhet

Slik som ved utslipp av alle brannfarlige væsker og gasser, kan dette føre til mange forskjellige farer for helse og sikkerhet. I dette tilfellet kan en eventuell lekkasje av LNG føre til langvarig brann, og frostskafer dersom man blir eksponert for dette stoffet, siden LNG holdes flytende i tanker under en temperatur på -162°C , og må derfor isoleres godt og oppbevares adskilt fra annet utstyr om bord. LNG kan også utgjøre kvelningsfare ved at stoffet kan erstatte oksygen i et område som er blitt utsatt for lekkasje, og dermed kunne forårsake kvelning. Likevel har disse barrierene blitt overkommelige i dag, og bruken av dette drivstoffet fører ikke til noen større komplikasjoner, enn at riktige forholdsregler knyttet til sikkerhet blir ivaretatt. Alt i alt blir LNG per dags dato sett på som et svært sikkert alternativ.

5.3.3 Grad av miljøvennlighet

LNG er det reneste karbonbaserte drivstoffet vi har i dag, og forbrenning av dette drivstoffet reduserer NO_x-utslipp med opptil 80%, utslipp av SO_x elimineres nesten fullstendig og partikkelutslipp reduseres også drastisk. Dessuten kan CO₂-utslipp reduseres med opptil 25% sammenlignet med konvensjonelle drivstoff. Likevel dannes det ved forbrenning av LNG en del metanutslipp. Samlet sett tilsier dette at LNG er et ganske miljøvennlig alternativ til konvensjonelle drivstoff, og når vi ser på hele livsløpet til LNG, er CO₂-utslippene en god del

lavere enn det bruken av HFO fører til. Dette gjør LNG til det eneste «ikke-grønne» drivstoffet som faktisk fører til en reduksjon av CO₂-utslipp, i forhold til bruken av HFO. Imidlertid er det teknisk sett ikke mulig å fremstille grønn LNG. Energien som kreves ved behandlingen av naturgassen for å gjøre den om til LNG, kan komme fra fornybare energikilder, som også kan redusere noe av det totale utslippet ytterligere, men siden LNG utvinnes fra oljereservoarer og produksjonen er nært knyttet til produksjon av mange andre oljedrivstoff, så er det ikke mulig å fremstille helt grønn LNG. Derfor blir regnestykket for bruken av LNG på skip litt annerledes.

Den spesifikke energien til HFO: 40,9 MJ/kg

Den spesifikke energien til LNG: 45,0 MJ/kg

LNG som erstatning for HFO i en forbrenningsmotor:

$45 / 40,9 = 1,1 \text{ kg HFO/kg LNG}$

Forbrenning av 1,1 kg HFO = 3,1 kg CO₂

Effekten av at 1 kg LNG erstatter HFO, fører til en reduksjon av CO₂-utslipp som tilsvarer 3,1 kg CO₂.

5.4 Metanol

5.4.1 Pris og tilgjengelighet

Prisen på metanol har de siste årene ligget på et relativt høyt nivå, og holder seg fortsatt stabilt på et nivå som gjør at metanol gjennom hele den perioden i snitt har vært det tredje dyreste drivstoffet. Per mars 2024 ligger metanol fortsatt på nesten samme nivå og har nå blitt dyrere enn ammoniakk. Ut ifra det vi har hørt, er det bare hydrogen som er dyrere enn metanol for øyeblikket. Når det er sagt, er installasjonen av fremdriftssystemer som drives av metanol, mye billigere enn installasjonen av fremdriftssystemer for alle de andre alternative drivstoffene vi har sett på i løpet av dette prosjektet. Kostnaden for å installere et helt fremdriftssystem som bruker metanol som drivstoff, tilsvarer bare om lag en tredjedel av kostnadene for å installere det nest billigste alternativet, altså et fremdriftssystem som bruker LNG som drivstoff. Grunnen er blant annet at tankene for lagning av metanol om bord ikke må tåle ekstremt lave temperaturer eller trykk, noe som gjør at slike tanker også er mye lettere enn andre tanker vi har omtalt, samt det at metanol lett kan brukes i en «dual-fuel-motor». Metanol er også lett å håndtere, hovedsakelig fordi at stoffet forblir flytende ved vanlig

atmosfærisk temperatur og trykk, i motsetning til de andre alternative drivstoffene. I tillegg er det ikke mye forskjell mellom metanol og LNG når det kommer til hvor stor plass drivstofftankene tar. Tankene for metanol tar bare ca. 1/3 mer plass enn de for LNG. Metanol kan også fås tak i alle deler av verden, men i motsetning til LNG, er ikke infrastrukturen for bunkring særlig utbygd. Likevel kan eksisterende landbaserte bunkringsanlegg for bunkring av konvensjonelle drivstoff, ganske enkelt tilpasses for å tilby metanol som drivstoff, og dermed også tilby bunkring av metanol med minimal innsats og minimale kostnader.

5.4.2 Sikkerhet

Sikkerhetsmessig er metanol, på lik linje med ammoniakk, også kjent for sin giftighet. Eksponering for større mengder av dette stoffet kan skade sentralnervesystemet, føre til synstap og kvelning. Metanollekkasjer utgjør dermed en ganske stor risiko for mannskap. Brannfare er også en av risikoene med metanol, med tanke på at flammepunktet ligger på 11-12°C og metanolflammer er nesten helt usynlige i dagslys. Men heldigvis brytes metanol raskt ned i vann og luft, og eventuelle utslipp til havet har begrensede miljømessige konsekvenser, da halveringstiden i overflatevann er kort, vanligvis en til syv dager. Hvis man ser bort ifra giftigheten, er metanol generelt sett et ganske sikkert drivstoff.

5.4.3 Grad av miljøvennlighet

Bruk av metanol som drivstoff har en evne til å redusere utslipp av partikler med opptil 95%, SO_x med opptil 90% og NO_x med opptil 60%. Når man bruker metanol kan CO₂-utslippene potensielt sett også reduseres med opptil 25% innen «short-sea shipping», og hvis metanolen man bruker er grønn, kan CO₂-utlipp om bord reduseres med opptil 80%. I et tilfelle hvor man bruker grønn metanol som drivstoff, vil man da gjennom hele livsløpet til dette drivstoffet kunne klare å redusere utslipp ganske mye, men miljøvennlige produksjonsprosesser som elektrolyse, ved hjelp av energi fra fornybare energikilder, er kostbare og energikrevende. Likevel, slik som ved bruken av alle de andre alternative drivstoffene, utenom LNG, fører bruken av den grå varianten av drivstoffet til større utslipp av CO₂, enn dersom man bruker HFO til fremdrift, ifra et WtW-synspunkt. Her heller, vil ikke overgangen til grå metanol føre til et bedre og mer miljøvennlig resultat. CO₂-utslippene om bord på skipet kan føre til en liten reduksjon av disse utslippene, men når man ser på det

store bildet, vil en slik overgang bare forverre situasjonen ytterligere. Regnestykket for bruken av grønn metanol kun i en forbrenningsmotor på skip, kan presenteres på en følgende måte.

Den spesifikke energien til HFO: 40,9 MJ/kg

Den spesifikke energien til grønn metanol: 20,1 MJ/kg

Metanol som erstatning for HFO i en forbrenningsmotor:

$20,1 / 40,9 = 0,49$ kg HFO/kg metanol

Forbrenning av 0,49 kg HFO = 1,5 kg CO₂

Effekten av at 1 kg grønn metanol erstatter HFO, fører til en reduksjon av CO₂-utslipp som tilsvarer 1,5 kg CO₂.

Dersom man bruker grå metanol, så vil CO₂-utslippene tilsvare 2,2 kg CO₂/kg metanol.

Her også, er konklusjonen at grønn metanol er nødt til å erstatte eksisterende produksjon av grå metanol, i alle fall til en viss grad, før det blir rimelig å bruke det som drivstoff på skip.

6 Konklusjon

6.1 Hvilket av de fire drivstoffene er best egnet til å oppnå mer miljøvennlige maritime operasjoner innen «short-sea shipping»?

Med tanke på at sjøfart regnes som den mest miljøvennlige måten å frakte varer på, er alle våre informanter enige om at vi fortsatt har god tid når det kommer til implementeringen av alternative drivstoff i den maritime næringen. Våre informanter ser generelt sett på diesel som et fryktelig bra drivstoff, men i prosjektet vårt har vi tenkt å konkludere med å velge ut et alternativt drivstoff blant hydrogen, ammoniakk, LNG og metanol, som vi mener er best egnet til å oppnå mer miljøvennlige maritime operasjoner innen «short-sea shipping».

Basert på informasjonen vi har presentert i denne oppgaven, så er det ganske utfordrende å trekke en entydig konklusjon, men på lang sikt ville nok ammoniakk være det foretrukne valget ifølge oss. Ammoniakk er karbonfritt og kan produseres med meget lave utslipp når man benytter miljøvennlige produksjonsprosesser, hvor energien som brukes under selve produksjonen kommer fra fornybare energikilder. Dessuten medfører dette drivstoffet i prinsippet til ingen utslipp når det brukes til fremdrift i brenselceller om bord på skip, og til

svært få utslipp gjennom hele livsløpet, dersom den grønne varianten av drivstoffet blir brukt, samt er bedre enn hydrogen på de fleste punkter.

På kort sikt derimot, kan det være mer hensiktsmessig å fokusere på å øke bruken av LNG og gjøre at dette alternative drivstoffet blir mer utbredt. Det samme gjelder metanol. Grunnen er at grønne varianter av de alternative drivstoffene produseres i dag i altfor liten skala til at det skal være rimelig å ta de i bruk, sett fra et miljømessig perspektiv, og LNG er dermed i dag det eneste «ikke-grønne» drivstoffet som faktisk fører til en betydelig reduksjon av CO₂-utslipp. LNG og metanol er også bredt tilgjengelige og ganske enkle å produsere. I tillegg vil utbyggingen av infrastruktur for bunkring ikke være så veldig kostbar, med tanke på at infrastrukturen til disse to drivstoffene allerede er godt etablert. Dessuten er de prismessig veldig rimelige, og da særlig LNG, når man legger sammen prisen på drivstoffproduktet, kostnader knyttet til installasjon av fremdriftssystem, og plassen tankene til drivstoffet tar eller mengden av drivstoffet man trenger for å få lik mengde energi som ved bruken av konvensjonelle drivstoff. LNG har i dag blitt det billigste alternative drivstoffet, og til og med billigere enn de konvensjonelle drivstoffene.

Med tanke på at hydrogen er en avgjørende innsatsfaktor i alle alternative drivstoff, så er det samtidig også viktig å fortsette utviklingen av hydrogen som drivstoff, samt gjøre tiltak som har som mål å redusere mengden utslipp under produksjonen av ikke bare hydrogen, men også av de andre alternative drivstoffene. Det viktigste tiltaket vi nå står ovenfor, er altså likevel det å ta i bruk mer miljøvennlige produksjonsprosesser, samt gradvis fase ut produksjonen av disse drivstoffene ved bruk av fossile energikilder og erstatte disse fossile energikildene med grønne og mer miljøvennlige alternativer, som gjør at vi faktisk reduserer utslipp av drivhusgasser betydelig når vi implementerer alternative drivstoff i skipsfarten.

6.2 Veien Videre: Forslag til fremtidig forskning

Det å jobbe med dette prosjektet har vært spennende og lærerikt, men hvis vi skulle ha valgt noe annet å skrive om i et tilsvarende prosjekt, eller bygge videre på det vi har formidlet gjennom denne oppgaven, så hadde det vært meget interessant å utforske andre alternative drivstoff og måter for fremdrift som for eksempel både ren batteridrift og hybriddrift, biodiesel og LPG, og sammenligne disse mot de fire alternative drivstoffene vi har omtalt i dette tilfellet, samt både rotorseil og andre typer seil som nå begynner å dukke opp på noen

nyere skip. Dessuten hadde det vært spennende å se nærmere på atomdrift av skip, og om vi kommer til å se flere atomdrevne skip i fremtiden. I tillegg er skrogdesign og skipsdesign generelt, både utvendig og innvendig, med tanke på energieffektivisering slik at for eksempel eksosvarmen fra motorer brukes til oppvarming av mannskapsområdet, et aspekt knyttet til drivstoffbesparelse og reduksjon av utslipp, som vi ikke nødvendigvis tenker så mye på når det kommer til akkurat dette, men som kunne ha vært høyst interessant å finne mer informasjon om.

7 Litteraturliste

ABS. (2021, februar). *SUSTAINABILITY WHITEPAPER: METHANOL AS MARINE FUEL*. Hentet fra American Bureau of Shipping: <https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/02/Sustainability-Methanol-as-Marine-Fuel.pdf>

ABS. (2023, mars). *MARINE FUEL OIL ADVISORY*. Hentet fra American Bureau of Shipping: <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/marine-fuel-oil-advisory.pdf>

Barents NaturGass. (u.å.). *Miljø*. Hentet fra Barents NaturGass: <https://barentsnaturgass.no/miljofordeler/>

Bernatek, E. R. (2022, august 24). *Metanol*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/metanol>

Bjartnes, A., Larsen Hirth, M., Paarup Michelsen, L.-H. S., & Ursin, L. (2021). *Hydrogen som klimaløsning*. Hentet fra Norsk Klimastiftelse: https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2021/03/2C_Temanotat_3_2021_Hydrogen.pdf

Braun, V., & Clarke, V. (2012). *Thematic Analysis - A Practical Guide*. Thousand Oaks: SAGE Publications.

Buckingham, J. (2020, januar 30). *FUTURE FUELS FOR COMMERCIAL SHIPPING*. Hentet fra ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/345322327_FUTURE_FUELS_FOR_COMM

ERCIAL_SHIPPING

DNV. (2019, Juni). *ASSESSMENT OF SELECTED ALTERNATIVE FUELS AND TECHNOLOGIES*.

Hentet fra DNV: <https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuel-assessment-download.html>

DNV. (2021, mai). *LNG as marine fuel*. Hentet fra DNV:

<https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/>

DNV. (2023, juli). *ALTERNATIVE FUELS FOR CONTAINERSHIPS: LNG, Methanol and Ammonia*.

Hentet fra DNV: <https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuels-for-containerships-methanol-and-ammonia-download.html>

DNV. (2023, november 15). *Mediterranean SOx ECA, and heavy fuel oil ban in the Arctic*.

Hentet fra DNV: <https://www.dnv.com/news/mediterranean-sox-eca-and-heavy-fuel-oil-ban-in-the-arctic-249948/>

DNV. (2024, februar 20). *DNV*. Hentet fra LNG as marine fuel:

https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/technologies?fbclid=IwAR0_CjRDRc_MYCQBs2eDgYqZIOvk0g5ir24nB4_0o3GQpTJnMznB3Uj9rwg_aem_ATnTRqFQDhk_VX4jnCPQ0txS_j9KKKJcUP4Su-xMhgQgqAqz0AplLpwTEStWgCyRB0wcExnzC8xGcDKyewFFL-vT

DNV. (2024, mars). *Fuel Prices*. Hentet fra DNV Alternative Fuels Insight Platform:

<https://afi.dnv.com/statistics/2ae7811e-af73-4b93-bc9a-19c440816b2a/>

DNV. (2024, januar). *Statistics Overview*. Hentet fra DNV Alternative Fuels Insight Platform:

<https://afi.dnv.com/statistics/16486173-4f14-4cc5-b9f6-f2f4b4c47a15>

Dopffel, N., & Bertheussen Nåmdal, M. (2022, juli 15). *Veien mot en bærekraftig fremtid:*

Hydrogenlagring under bakken. Hentet fra Norce Research:

<https://www.norceresearch.no/aktuelt/veien-mot-en-baerekraftig-fremtid-hydrogenlagring-under-bakken>

Egge, H. (2020, april 2). *Hva er egentlig grått, grønt, blått og turkis hydrogen?* Hentet fra

Sintef: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/hva-er-egentlig-gra-gronn-bla-og->

turkis-hydrogen/

Eide, I. B., & Hofstad, K. (2023, desember 7). *LNG*. Hentet fra Store Norske Leksikon:
<https://snl.no/LNG>

Eidesvik. (u.å.). *Viking Energy with ammonia-driven fuel cell*. Hentet fra Eidesvik Offshore
ASA: <https://eidesvik.no/viking-energy-with-ammonia-driven-fuel-cell/>

Energy Education. (u.å.). *Types of hydrogen fuel*. Hentet fra Energy Education:
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_hydrogen_fuel

FN-Sambandet. (2023, april 3). *Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO)*. Hentet fra
FN-Sambandet: <https://fn.no/om-fn/fns-organisasjoner-fond-og-programmer/den-internasjonale-sj%C3%B8fartsorganisasjonen-imo>

Forsyth, A. (2023, mars 21). *ATTENTION ALL SHIPPING - METHANOL GAINS MOMENTUM*.
Hentet fra Longspur Research: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/07/Methanol-and-shipping-210323.pdf>

FuelCellsWorks. (2023, september 22). *Maersk Introduces 15,000 TEU Ammonia-Powered Container Ship Design Concept*. Hentet fra FuelCellsWorks:
<https://fuelcellsworks.com/news/maersk-introduces-15000-teu-ammonia-powered-container-ship-design-concept/>

Gabrielii, C. (2023, juni 29). *Ammoniakk: Fra rengjøringsmiddel til maritimt drivstoff*. Hentet
fra SINTEF: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/ammoniakk-fra-rengjoringsmiddel-til-maritimt-drivstoff/>

Gassmagasinet. (2024). *LNG*. Hentet fra Gassmagasinet:
<http://www.gassmagasinet.com/lng/>

Geerts, W. M., Hoebink, H. B., & van der Wiele, K. (1990, februar). *Catalysis Today: Methanol from natural gas. Proven and new technologies*. Hentet fra ScienceDirect:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092058619085059W>

Headway Technologies. (u.å.). *SCR System: Design & Development*. Hentet fra Headway

- Technologies: <http://en.headwaytech.com/92.html>
- Hofstad, K. (2020, juli 31). *Hydrogendrivstoff*. Hentet fra Store Norske Leksikon:
<https://snl.no/hydrogendrivstoff>
- Hofstad, K. (2021, februar 3). *Flytende drivstoff*. Hentet fra Store Norske Leksikon:
https://snl.no/flytende_drivstoff
- Hofstad, K. (2023, januar 26). *Ammoniakk (energibærer)*. Hentet fra Store Norske Leksikon:
https://snl.no/ammoniakk_-_energib%C3%A6rer
- Holtebekk, T., Pedersen, B., & Haarberg, G. M. (2021, januar 4). *Brenselcelle*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/brenselcelle>
- Horne, H., & Hole, J. (2019). *Hydrogen i det moderne energisystemet*. Hentet fra Norges vassdrags- og energidirektorat:
https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_12.pdf
- IEA. (2023, juli 10). *Low-emission hydrogen production can grow massively by 2030 but cost challenges are hampering deployment*. Hentet fra International Energy Agency:
<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>
- IMO. (u.å.). *IMO – the International Maritime Organization – is the United Nations specialized agency with responsibility for the safety and security of shipping and the prevention of marine and atmospheric pollution by ships. IMO's work supports the UN SDGs..* Hentet fra International Maritime Organization:
<https://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>
- Jacobsen, D. I. (2022). *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Cappelen Damm Akademisk.
- Jørstad, T. S. (2021, mars 16). *The 7 essential hazards in LNG facilities*. Hentet fra Gexcon:
<https://www.gexcon.com/blog/the-7-essential-hazards-in-lng-facilities/>
- Kystverket. (u.å.). *Om alternative drivstoff*. Hentet fra Kystverket:
<https://lavutslipp.kystverket.no/alternativedrivstoff>

- Lundberg, N. H., Nesse, N., Hagland, J., & Hofstad, K. (2023, desember 7). *Naturgass*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/naturgass>
- Lædre, S., & Johnsen, T. A. (u.å.). *Fremdriftssystem for utslippsfrie transportmidler*. Hentet fra SINTEF: <https://www.sintef.no/fagomrader/utslippsfrie-transport/fremdriftssystem-for-utslippsfrie-transportmidler/>
- Maersk. (2023, desember 7). *Maersk to deploy first large methanol-enabled vessel on Asia - Europe trade lane*. Hentet fra Maersk: <https://www.maersk.com/news/articles/2023/12/07/maersk-to-deploy-first-large-methanol-enabled-vessel-on-asia-europe-trade-lane>
- Mallidis, I., Despoudi, S., Dekker, R., Lakovou, E., & Vlachos, D. (2020, november). *The impact of sulphur limit fuel regulations on maritime*. Hentet fra ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/327009082_The_impact_of_sulphur_limit_fuel_regulations_on_maritime_supply_chain_network_design
- Martin, P. (2023, desember 1). *Maersk orders world's biggest ammonia carriers from Hyundai to ship hydrogen derivative across oceans*. Hentet fra Hydrogeninsight: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/maersk-orders-worlds-biggest-ammonia-carriers-from-hyundai-to-ship-hydrogen-derivative-across-oceans/2-1-1563932>
- McKinsey & Company. (2023). *Grønn maritim næring*. Hentet fra Norge i morgen: <https://www.norgeimorgen.no/rapportkategorier/gronn-maritim-naering>
- Methanol Institute. (2023, mai). *MARINE METHANOL: Future-Proof Shipping Fuel*. Hentet fra Methanol Institute: https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf
- Mitsubishi Gas Chemical. (u.å.). *From Clothing to Fuel: The Many Uses of Methanol*. Hentet fra Mitsubishi Gas Chemical: <https://www.mgc.co.jp/eng/rd/technology/methanol.html>

- Morsund, G. (2024, mars 4). *Sintef-forsker skeptisk til norsk hydrogensatsing*. Hentet fra NRK:
<https://www.nrk.no/rogaland/sintef-forsker-mener-det-er-feil-a-satse-pa-hydrogenferger-1.16772235>
- NASA. (2019, mars). *Atmospheric CO2 at Mauna Loa Observatory*. Hentet fra National Aeronautics and Space Administration:
https://climate.nasa.gov/internal_resources/1914/
- National Geographic. (2023, oktober 19). *Earth's Changing Climate*. Hentet fra National Geographic Education: <https://education.nationalgeographic.org/resource/earths-changing-climate/>
- Nordic Council of Ministers. (2017). *Reducing maritime emissions*. Hentet fra Nordic Marina:
<https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1083799/FULLTEXT01.pdf>
- Norges Rederiforbund. (2020, mai 18). *Klimarapport 2020: Null utslipp i 2050*. Hentet fra Norges Rederiforbund:
https://www.rederi.no/contentassets/a31b8c0402244e7c880ee0a6bcdbac7a/2020klimarapport_web.pdf
- Norsk Klimastiftelse. (2024, januar). *Hvor mange bilferge- og passasjerbåtsamband er elektriske?* Hentet fra TilNull: <https://www.tilnull.no/ferger>
- Norsk Petroleum. (2024, april 6). *Snøhvit*. Hentet fra Norsk Petroleum:
<https://www.norskpetroleum.no/fakta/felt/snohvit/>
- Pedersen, B., & Egeland, E. S. (2023, august 8). *Ammoniakk*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/ammoniakk>
- PNG LNG. (2009, januar). *Attachment 1. LNG Safety*. Hentet fra PNG LNG:
https://pnglng.com/media/PNG-LNG-Media/Files/Environment/EIS/eis_attachment01.pdf
- PwC & OHC. (2019, juni). *Status H2 som energibærer*. Hentet fra Blue Maritime Cluster:
https://www.blumaritimecluster.no/download?objectPath=/upload_images/CCCEB48BF3354E519C4EAF01D71443E0.pdf

- Rognsaa, A. (2015). *Bacheloroppgaven: Skriveråd og regler for utforming*. Oslo: Universitetsforlaget.
- SEA-LNG. (2021, juli 2). *UNDERSTANDING ENERGY DENSITY OF FUTURE FUELS COULD BE KEY TO CLEARER DECARBONISATION DECISION-MAKING*. Hentet fra SEA-LNG: <https://sea-lng.org/2021/07/understanding-energy-density-of-future-fuels-could-be-key-to-clearer-decarbonisation-decision-making/>
- Tomasgard, A., Blekkan, E., Karstad, P., Møller-Holst, S., Størset, S., Ulleberg, Ø., . . . Thomassen, M. (2019). *Hydrogen i fremtidens lavkarbonsamfunn*. Hentet fra NTNU: https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden_rapport_A4_web_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c
- Uemura, T. I. (2018). LNG Supply Chain infrastructure Configuration. I ERIA, *Formulating Policy Options for Promoting Natural Gas Utilization in the East Asia Summit Region Volume II: Supply Side Analysis* (ss. 10-13). Jakarta: ERIA.
- UIO. (2023, april 27). *Ammoniakk*. Hentet fra Universitetet i Oslo: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/a/ammoniakk.html>
- UIO. (u.å.). *Hydrogen*. Hentet fra Periodesystemet: <https://www.periodesystemet.no/grunnstoffer/hydrogen/>
- UNCTAD. (2023, september 22). *Net-zero by 2050: Achieving shipping decarbonization through industry momentum and the new ambition at IMO*. Hentet fra UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT: <https://unctad.org/news/transport-newsletter-article-no-108-net-zero-by-2050>
- UNFCCC. (u.å.). *Key aspects of the Paris Agreement*. Hentet fra United Nations Framework Convention on Climate Change: <https://unfccc.int/most-requested/key-aspects-of-the-paris-agreement>
- Wikimedia. (2023, august 2). *Temperature of Planet Earth*. Hentet fra Wikimedia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_palaeotemps.png

Wärtsilä. (2020, april 14). *Industry celebrates five-year anniversary of world's first methanol-powered commercial vessel*. Hentet fra Wärtsilä:

<https://www.wartsila.com/media/news/14-04-2020-industry-celebrates-five-year-anniversary-of-world-s-first-methanol-powered-commercial-vessel-2684363>

Wärtsilä. (2023, september 21). *Four clear examples - proof that methanol could really work for your vessel*. Hentet fra Wärtsilä:

<https://www.wartsila.com/insights/whitepaper/4-clear-examples-proof-that-methanol-could-really-work-for-your-vessel>

Wärtsilä. (u.å.). *Alternative fuels quick guide: Methanol*. Hentet fra Wärtsilä:

<https://www.wartsila.com/marine/decarbonisation/future-fuels-development/future-fuels-101-methanol-as-marine-fuel>

Øystese, K. (2020). *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*. Hentet fra Norsk

Klimastiftelse: https://api.klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/06/NK_notat_3_2020_Ammoniakk_kan_kutte_store_utslipp_i_skipsfart.pdf

8 Vedlegg

8.1 Samtykkeerklæring

Vil du delta i forskningsprosjektet
«Seilende inn i fremtiden: Fremtidens drivstoff og
fremdriftssystemer for maritime fartøy»?

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å utforske ulike alternative drivstoff som har dukket opp i den maritime industrien, samt diskutere hvilke av disse drivstoffene som er best egnet for den fremtidige skipsfarten. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Vi inviterer deg til å delta i et forskningsprosjekt som har til formål å undersøke hvilke miljøvennlige og bærekraftige alternativer til konvensjonelle drivstoff som er best egnet til å kunne implementeres i den maritime næringen, med tanke på IMO sitt mål om en halvering av maritime CO₂ utslipp, innen 2050, samt diskutere og sammenligne de økonomiske, miljømessige og driftsmessige aspektene ved bruken av de ulike drivstoff- og fremdriftssystemene som har dukket opp i den maritime industrien de siste årene. I dette prosjektet har vi tenkt å inkludere fremdriftssystemer som er drevet av hydrogen, ammoniakk, metanol, LNG, LPG, biodrivstoff og batteridrift. Dette prosjektet er en bacheloroppgave i nautikk.

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Personen som er ansvarlig for dette forskningsprosjektet er veileder Johnny Nordahl Berentzen, høgskolelektor ved Høgskulen på Vestlandet (HVL).

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

For at vi lettere kan oppnå en dypere innsikt og mye informasjon rundt temaet vi valgte, så har vi tenkt å velge ut en representant fra 3-4 rederier som holder til i området rundt Haugesund, og som har en del erfaring og kunnskap om dette temaet, til et fysisk og åpent individuelt intervju. Dessuten ønsker vi å få en innsikt i hvilke tanker representantene selv har om de ulike drivstoff- og fremdriftssystemene som hydrogen, ammoniakk, metanol, LNG, LPG, biodrivstoff og batteridrift, samt ulike aspekter ved disse.

Hva innebærer det for deg å delta?

Metoden for hvordan dette prosjektet skal fullføres vil være en blanding av personlig innsyn samt med oppsyn fra artikler og andre kilder (bøker, nettsider). Det vil også inneholde en form for intervju av en enkeltperson der man får opplysninger for enkeltpersoners syn på det som skal spørres om. Spørsmål individet får kommer fra et semistrukturert spørreskjema/ intervjuguide som vi har laget til de enkeltpersonene som skal intervjues. Lydopptak vil bli brukt her, for å høre gjennom hva som skal bli tatt med i selve prosjektet, og få en lettere oversikt over hvordan intervjuet gikk og hva som ble sagt. Til nettsider og artikler tar man fram det man påstår er mest relevant for svaret på vår problemstilling.

Enhver deltaker vil få samme spørsmål, slik det er likt for alle parter som velger å delta i intervjuet vårt.

Det er frivillig å delta

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

Personopplysningene skal dermed kun behandles i forhold til intervjuer som skal utføres, og de blir begrenset til det som er nødvendig for å realisere prosjektet. De som vil ha tilgang til opplysningene er prosjektgruppen, som vil bestå av oss studenter (Christian, David og Nikodem).

For å holde personopplysninger privat vil man bruke koder og ha adskilt fra øvrige opplysninger fra andre slik at det ikke skal kunne spores fra noen uvedkommende personer. Alt av data som blir samlet vil bli adskilt fra hverandre, altså ikke lagret på samme dokument.

Når det kommer til innsamlet data, det vil si det som blir sagt og skrevet ned fra intervjuet vil bli lagret hos oss som utfører intervjuet i form av lydfil og videofil.

Det vil ikke være andre personer enn oss som utfører intervju og intervjuobjekter selv, som vil ha tilgang til data som skal brukes.

Alt av data og personopplysninger som brukes og samles inn av oss, skal ikke ut for offentligheten, det er bare for intervjuet sin del, slik at vi vet hvem som snakker/intervjuer i denne sammenheng. Dette skal ikke brukes i noen form for skytjeneste, konferanser eller lignende utenfor EU.

Hva skjer med personopplysningene dine når forskningsprosjektet avsluttes?

Opplysningene anonymiseres når prosjektet avsluttes/oppgaven er godkjent, noe som etter planen er slutten av april eller begynnelsen av mai. Dette innebærer at personidentifiserbare opplysninger fjernes, omskrives eller grovt kategoriseres, og lyd- eller videoopptak slettes.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra *Høgskolen på Vestlandet (HVL)* har Sikt – Kunnskapssektorens tjenesteleverandør vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å vite mer om eller benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Prosjektansvarlig:
Johnny Nordahl Berentzen
+47 900 54 887
johnny.berentzen@hvl.no
- Vårt personvernombud:
Trine Anikken Larsen
+47 555 87 682
Trine.Anikken.Larsen@HVL.no

Hvis du har spørsmål knyttet til vurderingen som er gjort av personverntjenestene fra Sikt, kan du ta kontakt via:

- Epost: personverntjenester@sikt.no eller telefon: 73 98 40 40.

Med vennlig hilsen

Prosjektansvarlig

Johnny Nordahl Berentzen

Studenter

David Haftorsen, Christian Møller og

Nikodem Wlodarczyk

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «*Seilende inn i fremtiden: Fremtidens drivstoff- og fremdriftssystemer for maritime fartøy*», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i intervju
- at opplysninger om meg tas med i prosjektet slik at jeg kan gjenkjennes, men anonymiseres når prosjektet publiseres
- at mine personopplysninger lagres frem til prosjektslutt, og deretter slettes

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet.

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

8.2 Intervjuguide

Intervjuguide

Innledning:

- Tusen takk for at du stilte opp til intervju.
- Fortelle kort hva formålet med intervjuet er og hva intervjuet skal handle om.
- Fortelle kort om hvordan dataene vil bli behandlet, samt avklare tillatelse til å kunne ta opp intervjuet.
- Si omtrent hvor lang tid informanten kan regne med at intervjuet tar.

Innledende prat:

1. Kan du fortelle litt om deg selv?
 - Navn og alder.
 - Arbeidserfaring og nåværende stilling.
2. Kan du fortelle litt om rederiet du jobber i?
 - Hvilket marked og område rederiet opererer i.
 - Flåtestørrelse og hvilke typer skip som er i flåten.

Nøkkelspørsmål:

3. Hvordan ser du på det grønne skiftet generelt innen skipsfarten? Mener du at dette er den rette veien å gå?
4. Hva tenker du er mest avgjørende for valget av et mer miljøvennlig drivstoff- og fremdriftssystem?
5. Finnes det skip i rederiet du jobber i som opererer på alternativt/alternative drivstoff- og fremdriftssystem og om dere eventuelt har noen som er under planlegging?
6. Hva tror du er årsaken til at det fortsatt er mange rederier som velger å ikke gå over til mer miljøvennlige alternativer helt enda?
7. Hva er dine tanker om hydrogen som drivstoff?
8. Hva er dine tanker om ammoniakk som drivstoff?
9. Hva er dine tanker om metanol som drivstoff?
10. Hva er dine tanker om LNG som drivstoff?
11. Hva er dine tanker om LPG som drivstoff?
12. Hva er dine tanker om biodrivstoff?

13. Hvilke tanker har du om batteridrift, og da både hybrid og ren batteridrift?
14. Tenker du at det er aktuelt å innføre ren batteridrift på skip som seiler over lengre strekninger, altså på andre typer skip enn kun små ferger som kun går langs kysten?
15. Hvilke tanker har dere om rotorseil eller seil på nyere skip generelt?
16. Tror dere at vi kommer til å se mer av atombredne skip i framtiden?

Avslutning:

- Er det noe mer du vil si eller legge til?
- Kan vi kontakte deg igjen hvis det blir aktuelt?
- Vi setter stor pris på at du valgte å stille opp til intervju og delta i prosjektet vårt.