

Bacheloroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggeteknikk

10010
10027
10029

Ammoniakk som alternativt drivstoff til skip

Bacheloroppgave i Nautikk
Veileder: Arnt Myrheim-Holm
Juni 2021

10010

10027

10029

Ammoniakk som alternativt drivstoff til skip

Bacheloroppgave i Nautikk
Veileder: Arnt Myrheim-Holm
Juni 2021

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



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Oppgavetekst

Ammoniakk som alternativt drivstoff til skip

Forurensning fra fossilt drivstoff har over lengre tid vært et problem, og det blir derfor jevnlig forsket på mer miljøvennlige alternativer til drivstoff som kan benyttes i skipsfarten. Bruken av ammoniakk har i flere tilfeller blitt utpekt som ett av de mest lovende karbonfrie drivstoffalternativene, og har potensialet til å bli benyttet som drivstoff innenfor hele skipsfarten.

I oppgaven skal studentene undersøke, utrede og trekke konklusjoner rundt:

- Kan ammoniakk fungere som drivstoff til skip i praksis, og hvilke utfordringer finnes i den forbindelse?

Besvarelsen skal redigeres mest mulig som en forskningsrapport med sammendrag, konklusjon, referanseliste, kildekritikk, etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal det legges vekt på å gjøre den så kort og oversiktlig, presis og etterrettelig som mulig. Oppgavens omfang skal reflektere en arbeidsbelastning på 15 studiepoeng for hver av studentene.

NTNU i Ålesund forbeholder seg retten til fritt å kunne benytte oppgaven i undervisning og utviklingsarbeid.

Veileder: Arnt Myrheim-Holm

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende utdanning for studieretningen Nautikk ved institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk, ved NTNU i Ålesund.

Vi vil rette en stor takk til:

- Vår veileder Arnt Myrheim-Holm for rettleiding, tilbakemeldinger og god tilgjengelighet under oppgaveskrivingen.
- Vilmar Æsøy fra NTNU for økt forståelse av tema og for konstruktive tilbakemeldinger knyttet til oppgaven.
- Ann Rigmor Nerheim fra NTNU for økt forståelse av tema og for gode innspill vedrørende karbonfrie drivstoff, hydrogen og mer.
- Egil Hystad fra Wärtsilä for økt forståelse av tema og for gode innspill vedrørende systemer, pilotprosjekt, konsept og mer.
- Kolbjørn Berge fra Sjøfartsdirektoratet for økt forståelse av tema og for gode innspill vedrørende helse, miljø, sikkerhet og mer.
- Chalotte Bjørn fra DNV og ekspertene i DNV Group Technology & Research for økt forståelse av tema og for utfyllende skriftlige svar på de stilte spørsmålene.

Sammendrag

Fokus på miljø og nullutslippsløsninger for skip har ført til mer forskning på alternative energikilder som kan bidra til å redusere klimagassutslipp fra skip. Målet med denne oppgaven er å undersøke om ammoniakk kan fungere som drivstoff til skip i praksis, og dekker utfordringer ved denne type bruk. Basert på informasjon fra faglitteratur og relevante intervju, går oppgaven dypere inn i temaet og tar for seg om ammoniakk er å anse som et realistisk alternativ for skipsfarten.

Opgaven har en kvalitativ metodisk tilnærming og anvender forskningsbasert kunnskap. Gjennom arbeid med temaet ble en intervjuguide utformet, som la til rette for korte intervju med fagfolk med relevant erfaring eller kunnskap innenfor feltet. Gruppen har vært ute etter å høre på fagfolk sine personlige meninger, og intervjuet ga rom for dette. De ulike synspunktene presenteres under diskusjonsdelen av oppgaven og sammenlignes med innhentet litteratur. Avvikende informasjon avdekkes, kontrolleres og skilles ut. Intervjuobjektene viser god kjennskap til den kjemiske forbindelsen ammoniakk og dets nytteområder, men de fleste anser eksisterende teknologi rundt utnyttelsen av ammoniakk i forbindelse med sjøfart som umoden. Samtidig påpekes viktigheten i at sikker teknologi utvikles.

Utfordringer ved ammoniakk i forhold til andre drivstofftyper undersøkes underveis, for å søke svar på hvor godt ammoniakk kan fungere som drivstoff til skip. For å skape forståelse for de ulike aspektene som dekker sikker drift om bord på et skip, ble det behov for å ta stilling til temaer innenfor helse, miljø og sikkerhet.

Gjennom diskusjonsdelen blir relevante problemstillinger identifisert og vurdert. Basert på innhentet informasjon gjennomgår gruppen hvordan de nevnte problemstillingene kan hindre utviklingen av ammoniakk sin fremtid som drivstoff. For at ammoniakk skal fremstå som et godt alternativ til bruk innen sjøfart, må tiltak som adresserer utfordringene utarbeides. Oppgaven forsøker å fremme noen mulige tiltak, og forslag til videre forskning blir presentert.

Summary

A focus on the environment and zero-emission solutions for ships has led to an increase in interest and research on alternative fuels that can help reduce greenhouse gas emissions. The aim of the thesis is to examine ammonia as a fuel source for ships and to identify challenges associated with utilizing the substance in this manner. The thesis is written based on information from literature and relevant interviews to examine whether ammonia can serve as a realistic alternative fuel for the maritime fleet.

The thesis has a qualitative methodological approach and uses research-based information. For acquisition of relevant information on the topic, an interview guide was established, which facilitated short interviews with relevant professionals. The interviews enabled the respondents to establish and present their own opinions and interpretations. Their different viewpoints are presented in the discussion chapter of the thesis and are compared with the relevant literature. This allowed for detection, checking, and removal of unsupported claims. The interviewees have shown a high level of awareness and knowledge concerning ammonia and its uses, but most of them consider the existing technology for the utilization of ammonia in shipping as immature. At the same time, the importance of developing safe technology is emphasized.

Challenges surrounding the utilization of ammonia as a fuel compared with other viable options are examined, to seek answers to how suitable ammonia is for shipping fuel needs. To establish an understanding of the various aspects that cover safe operation on board a ship, there was a need to review topics within health, safety, and environment.

Relevant issues are identified and assessed in the discussion chapter of the thesis. The group reviews how the different issues can prevent future development of ammonia as a fuel based on the gathered literature and information. Different measures which address the challenges related to ammonia as a fuel source must be prepared for ammonia to become a viable competitor to existing fuel options. Possible measures as solutions to current challenges for ammonia are presented in the thesis, as well as proposals for further research on the topic.

Ordliste

Atm	Atmosfære
CO ₂	Karbondioksid
DFDS	Det Forenede Dampskibs-Selskab
DNV	Det Norske Veritas
EEDI	Energy Efficiency Design Index
FN	De Forente Nasjoner
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
IGC	The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk
IGF	The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels
IMO	Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen
LNG	Liquefied Natural Gas
M ³	Kubikkmeter
MJ	Megajoule
MW	Megawatt

N ₂ O	Lystgass
NH ₃	Ammoniakk
NOK	Norske kroner
NO _x	Nitrogenoksid
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
pH	Et mål på hvor sur en væske er
RSW	Refrigerated Sea Water
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SOFC	Solid Oxide Fuel Cells
SOLAS	Safety of Life at Sea
ZEEDS	Zero Emission Energy Distribution at Sea

Innholdsfortegnelse

Oppgavetekst.....	I
Forord.....	II
Sammendrag.....	III
Ordliste.....	V
Innholdsfortegnelse.....	VII
Figurliste.....	VIII
Tabeller.....	IX
Kapittel 1 Innledning.....	1
Kapittel 2 Teori.....	3
2.1 Om ammoniakk.....	3
2.2 Det grønne skiftet.....	12
2.3 Regelverk.....	15
2.4 Helse, miljø og sikkerhet.....	16
2.5 Sikkerhetsbarrierer.....	20
2.6 Pågående prosjekter.....	22
Kapittel 3 Metode.....	25
3.1 Mål.....	25
3.2 Design.....	25
3.3 Litteraturstudier.....	25
3.4 Kildebruk.....	26
3.5 Intervju.....	26
Kapittel 4 Diskusjon.....	29
Kapittel 5 Konklusjon.....	41
Videre arbeid.....	42
Referanser.....	43
Vedlegg 1 – Intervjuguide.....	57
Vedlegg 2 – Samtykkeskjema.....	58

Figurliste

Figur 1. Modell av ammoniakkmolekylet, med kjemisk formel basert på illustrasjon fra Store norske leksikon (Pedersen, 2018a).....	3
Figur 2. Ammoniakkens forskjellige faser i forhold til trykk og temperatur (Engineering ToolBox, 2008)	4
Figur 3. Energitettheten til ulike drivstoffalternativer (The Royal Society, 2020).....	5
Figur 4. Produksjonsprosessen til grønn ammoniakk (Murray, 2020).....	6
Figur 5. Illustrasjon av Haber-Bosch-metoden (Brohi, 2014)	7
Figur 6. Elektrisk fremdriftssystem ved hjelp av Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) (Korean Register, 2021)	10
Figur 7. Virkningsgrad til ammoniakk og hydrogen (The Royal Society, 2020)	10
Figur 8. FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2021)	13
Figur 9. ZEEDS sitt konsept om havbasert produksjon og distribusjon (ZEEDS, u.å.)	22
Figur 10. Illustrasjonsbilde av MS Green Ammonia (Grieg Star, 2020).....	23
Figur 11. Forsyningskipet Viking Energy (ShipFC, 2020)	24

Tabeller

Tabell 1. Helsefarer i forbindelse med ammoniakk, fra datablad (Linde, 2020).....	17
Tabell 2. Miljøfarer i forbindelse med ammoniakk, fra datablad (Linde, 2020)	18
Tabell 3. Fysiske farer i forbindelse med ammoniakk, fra datablad (Linde, 2020).....	19

Kapittel 1 Innledning

Alle skip behøver et fremdriftssystem, og de fleste trenger et drivstoff for å fungere. I dag kommer de fleste drivstoffer fra fossile kilder. Problemet med fossile drivstoffkilder er at utslippene bidrar til global oppvarming, grunnet utslipp i forbindelse med utvinning og foredling. For å stoppe den globale oppvarmingen har det blitt etablert lover og reguleringer både nasjonalt og internasjonalt, hvor målet er å redusere miljøutslipp. Dette har medført økt interesse for alternative kilder til drivstoff, hvor ammoniakk er ett av dem.

Ammoniakk inneholder ikke karboner og kan dermed forbrennes uten utslipp av karbondioksid (CO_2). På bakgrunn av dette har det blitt økt interesse rundt drivstoffet og dets rolle i utviklingen av utslippsfrie skip.

Temaet nullutslippsløsninger ble diskutert og lagt frem som et mulig prosjekt i forbindelse med en bacheloroppgave for nautikkstudenter ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Ålesund. I samråd med rådgiver ble én av løsningene gitt hovedfokus i denne oppgaven. Grunnen til at ammoniakk ble valgt som tema er fordi det er et relativt nytt alternativ til drivstoff for skip. Begrensede forhåndskunnskaper om temaet og muligheten for relevans i fremtiden, skapte interesse rundt å definere en problemstilling knyttet til ammoniakk som drivstoff. Problemstillingen er som følger:

- Kan ammoniakk fungere som drivstoff til skip i praksis, og hvilke utfordringer finnes i den forbindelse?

Ettersom at ammoniakk er en tenkt nullutslippsløsning er det naturlig å inkludere det grønne skiftet, herunder drivkrefter og miljø. For at oppgaven skal ha mer relevans for utdannelsen ble det i tillegg valgt å sette søkelys på helse, miljø og sikkerhet (HMS).

Oppgaven er delt inn i fem deler; innledning, teori, metode, diskusjon og konklusjon. Innledningen beskriver problemstillingen og valg av tema. Teoridelen gir et grunnlag for begrep, system og annen viktig eller relevant informasjon. Metodedelen definerer oppgavens fremgangsmåte og metodikken brukt for innhenting av informasjon. Diskusjonsdelen vurderer problemstillingen og drøfter ulike aspekter rundt den. Konklusjonen fremhever det viktigste fra diskusjonen og beskriver oppgavens svar på problemstillingen.

Avgrensning

For å legge vekt på de relevante aspektene innenfor nautikk, har oppgaven blitt avgrenset til å ikke inkludere; kostnadsberegning, beregning av energi og energitap, beregning av volum, og andre matematiske beregninger. Grunnen til dette er at det blir for omfattende og teknisk for en bacheloroppgave, hvor målet er å undersøke, innhente og vurdere eksisterende informasjon fra relevante kilder.

Kapittel 2 Teori

Skipsfarten dekker i dag omtrent 90 prosent av verdens transportbehov mellom kontinentene. Næringen står for ca. to prosent av verdens CO₂-utslipp. Innenriks viser godsanalysen at sjøtransport står for om lag 50 prosent av disse utslippene, mens veitransporten står for 40 prosent. (Kystverket, 2019)

Ammoniakk har blitt brukt i flere ulike segment som jordbruk, rengjøring og kjølesystem (Pedersen, 2018a). Fokus på det grønne skiftet har ført til at man har undersøkt flere bruksområder, eksempelvis bruken av ammoniakk som drivstoff (Norsk klimastiftelse, 2020). Dersom ammoniakk blir produsert ved hjelp av fornybar energi, så har drivstoffet potensialet til å være karbonfritt (Hofstad, 2020a). På bakgrunn av en økende interesse for lav- og nullutslippsløsninger, kan ammoniakk være et interessant alternativ. I denne oppgaven har det blitt innhentet informasjon fra relevante aktører, prosjekter og annen forskning.

2.1 Om ammoniakk

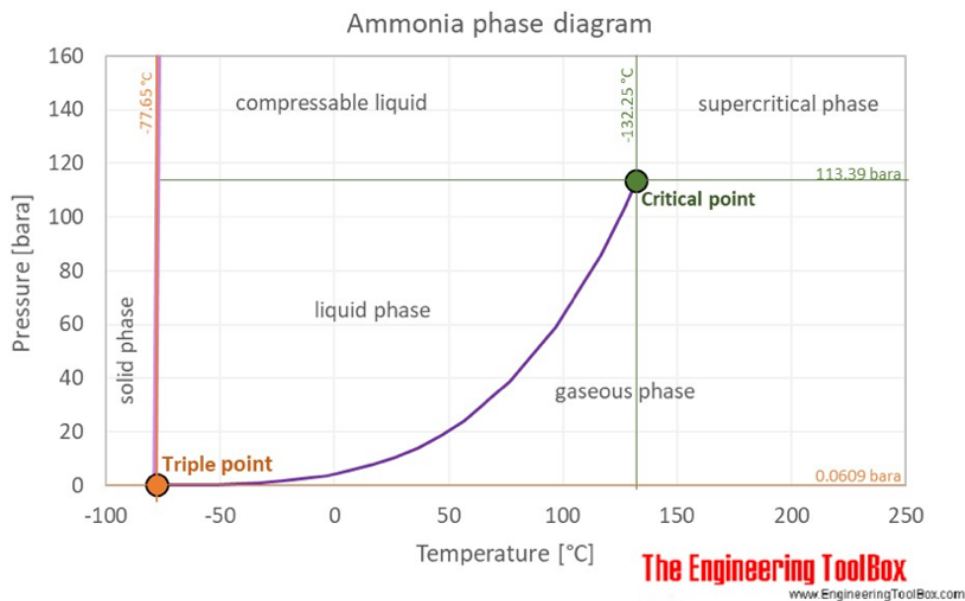


Figur 1. Modell av ammoniakkmolekylet, med kjemisk formel basert på illustrasjon fra Store norske leksikon (Pedersen, 2018a)

Ammoniakk (NH₃), som illustrert i figur 1, er et kjemisk stoff sammensatt av nitrogen og hydrogen atomer (Pedersen, 2018a). Dette er en fargeløs gass, som ofte kjennetegnes av den stramme lukten som gassen lager (Zumdahl, 2015). Gassen er brennbar, men er utfordrende å sette fyr på (Valera-Medina, et al., 2018). Ammoniakk er giftig og kan blant annet være helseskadelig å inhalere (Pedersen, 2018a). Til tross for dette gjør gassens sterke lukt at den lett kan oppdages ved lekkasjer. Samtidig utgjør ammoniakk en potensiell fare for miljø og omgivelser (Hofstad, 2020a). Årlig produseres det rundt 180 millioner tonn ammoniakk, noe som gjør dette til ett av de mest produserte kjemiske stoffene i verden (Valera-Medina, et al., 2018). Per i dag blir den største andelen av ammoniakk benyttet som råstoff under fremstilling av kunstgjødsel, men stoffet har også en rekke andre anvendelser (Norsk klimastiftelse, 2020).

Kjemisk oppbygging og egenskaper

Ammoniakkmolekylet har fått tildelt den kjemiske formelen NH_3 , og er bygd opp av et nitrogenatom og tre hydrogenatom (Pedersen, 2018a). Temperatur og trykk avgjør den fysiske fasen til ammoniakk. Ammoniakk vil være i væskeform ved eksempelvis $0\text{ }^\circ\text{C}$ og 20 bar, og gassform ved $100\text{ }^\circ\text{C}$ og 40 bar (figur 2).

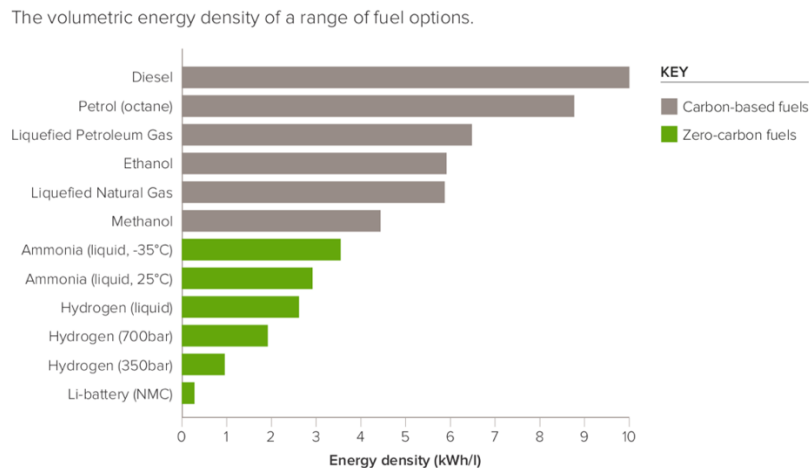


Figur 2. Ammoniakkens forskjellige faser i forhold til trykk og temperatur (Engineering ToolBox, 2008)

Figur 2 viser at temperatur og trykk påvirker tettheten til stoffet. Tar man utgangspunkt i et trykk på én atmosfære (atm), så vil ammoniakk være i gassform og ha en tetthet på 0.699 kg/m^3 ved $25\text{ }^\circ\text{C}$, og væskeform med en tetthet på 696 kg/m^3 ved $-33.35\text{ }^\circ\text{C}$. Ammoniakk vil krystallisere seg og gå over i fast form når temperaturen blir kaldere enn $-77.56\text{ }^\circ\text{C}$, uavhengig av trykket (Engineering ToolBox, 2008).

Ammoniakk kan forbrennes ved brennpunktet $651\text{ }^\circ\text{C}$ (Engineering Toolbox, 2003) ved atmosfærisk trykk, eller ved å komprimeres til oktantall 130 (Veltman & Kong, u.å.). Oktantall beskriver et brennstoff sin motstand mot selvtenning (Lundberg & Fiskaa, 2020). Biproduktet av forbrenningsprosessen til ammoniakk er nitrogen og vann. Ammoniakk er klassifisert som giftig og etsende, og blandet med vann har stoffet en pH verdi på 11.6 (Valera-Medina, et al., 2018).

Energitetthet



Figur 3. Energitettheten til ulike drivstoffalternativer (The Royal Society, 2020)

Energitetthet blir definert som mengden med energi i en gitt masse eller volum (Afework, et al., 2019). I væskeform har ammoniakk en energitetthet på rundt 3 kWh/L. Sammenlignet med konvensjonelle drivstoff som eksempelvis diesel og bensin er dette forholdsvis lavt som vist på figur 3.

Ammoniakkproduksjon

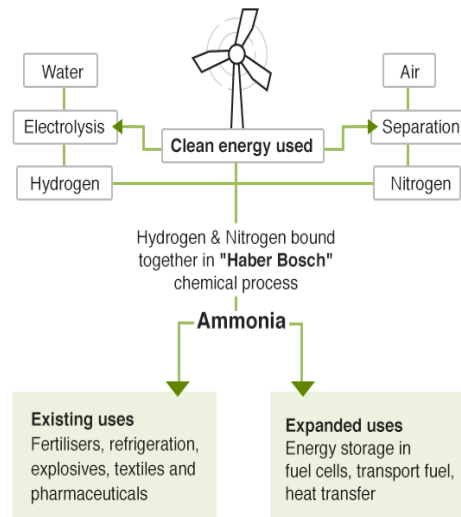
Ammoniakk kan fremstilles på flere måter, men produksjon i stor skala gjøres vanligvis gjennom Haber-Bosch-metoden (Pedersen, 2018a). Selv om ammoniakk ikke inneholder karbon, vil produksjonsmetoden avgjøre mengden karbon som slippes ut i forbindelse med produksjon av ammoniakk (Hofstad, 2020a).

En analyse om livsløpsvurderinger knyttet til påvirkningen av miljøet gjennom energiproduksjon, har påvist at ammoniakk til transport og energiproduksjon kan redusere store miljøpåvirkninger (Yusuf, et al., 2016). Ved å bruke ammoniakk i stedet for fossile energikilder, kan den globale oppvarmingen reduseres (Valera-Medina, et al., 2018).

Videre går det frem i undersøkelsen at et kjøretøy som drives med ammoniakk har potensialet til å redusere utslipp av drivhusgasser fra 0.270 kg/km til 0.100 kg/km. Dersom elektrisitet produsert ved hjelp ammoniakk blir sammenlignet med elektrisitet produsert ved hjelp av fossile energikilder, vil 1 megajoule (MJ) elektrisitet tilsvare en reduksjon i CO₂ utslipp fra 0.130 kg til 0.083 kg over en tidsperiode på 500 år (Valera-Medina, et al., 2018).

Den vanligste metoden for fremstilling av ammoniakk er Haber-Bosch-metoden (Aarnes, 2020a). Ammoniakk fremstilles gjennom denne metoden ved at nitrogen og hydrogen kommer i kontakt med hverandre i luften, som skaper en kjemisk reaksjon. Prosessen er knyttet til en volumkontraksjon og en varmetvikling. Ammoniakkutbyttet er avhengig av omgivelsene, og vil være større ved stort trykk og høy temperatur (Pedersen, 2018a).

How green ammonia is made



BBC

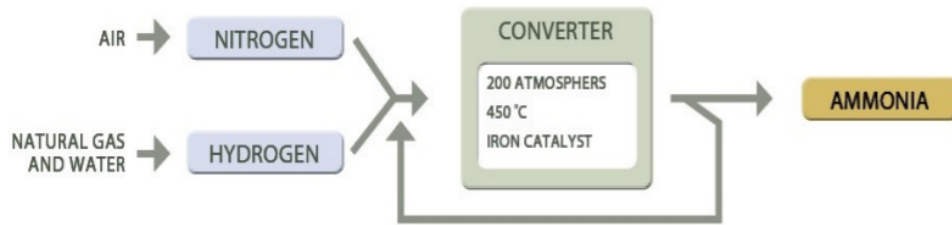
Figur 4. Produksjonsprosessen til grønn ammoniakk (Murray, 2020)

Produksjon av ammoniakk gjennom Haber-Bosch-metoden krever tilgang til hydrogen (figur 4). Hydrogen kan blant annet fremstilles ved elektrolysering av vann. Dette gjøres ved at elektrisk energi omdannes til kjemisk energi gjennom oppvarming av demineralisert vann (UngEnergi, 2021). En katode med elektrisk energi spalter vannet og skiller hydrogen- og oksygenatomer fra hverandre (Zhang, et al., 2020).

En annen måte å fremstille hydrogen på er ved bruk av fossile energikilder. I denne prosessen blir metangass og vanddamp utsatt for høyt trykk og temperatur (UngEnergi, 2021). Ved å tilsette vanddamp til prosessen vil hydrogenutbyttet bli større, samtidig som CO₂ blir dannet som et biprodukt under den kjemiske reaksjonen (Egge, 2020).

Nitrogen produseres ved å kjøle ned luft til flytende form, og deretter skilles oksygen- og nitrogenmolekylene gjennom en fraksjonert destillasjon (Kofstad & Pedersen, 2021).

Ammoniakk blir i noen tilfeller produsert etter Claude- eller Casale-metoden. Fremgangsmetodene er ganske lik Haber-Bosch-metoden, men prosessene blir utført ved et høyere trykk og temperaturforhold (Pedersen, 2018a).



Figur 5. Illustrasjon av Haber-Bosch-metoden (Brohi, 2014)

I fremstillingsmetoden til Fritz Haber og Carl Bosch, som vist i figur 5, brukes en jernbasert katalysator for å oppnå tilstrekkelig reaksjonsfart ved en temperatur på mellom 350 og 600 °C, og et trykk på mellom 150 og 300 atm (Pedersen, 2020a). En gassblanding av nitrogen og hydrogen plasseres i katalysatoren og avkjøles (Pedersen, 2020b). Temperaturen gjør at deler av gassen går over til ammoniakk som væske, mens residerende nitrogen og hydrogen som ikke har reagert føres tilbake i prosessen (Pedersen, 2018a).

Grå, blå og grønn ammoniakk

Ammoniakk er som tidligere nevnt i utgangspunktet karbonfritt, og forårsaker ingen direkte utslipp av CO₂ når det blir forbrent (Hofstad, 2020a). Det er likevel ikke gitt at den energien som blir benyttet under produksjonsprosessen er miljøvennlig. På bakgrunn av dette har det blitt etablert ulike betegnelser for de ulike typene av ammoniakk; grå, blå og grønn ammoniakk (Norsk klimastiftelse, 2020).

Grå ammoniakk

Dette er ammoniakk som har blitt produsert fra naturgass ved hjelp av fossil energi. Denne typen ammoniakk har de største CO₂-utslippene og blir derfor betegnet som grå (Norsk klimastiftelse, 2020).

Blå ammoniakk

Dette er også ammoniakk som har blitt produsert fra naturgass ved hjelp av fossils energi, men i tillegg blir det lagt vekt på at CO₂-utslippene skal fanges og lagres (Hofstad, 2020a). Ved hjelp av karbonfangst kan 85-95% av karbondioksidet ved produksjon av hydrogen fanges og lagres i berggrunnen (International Renewable Energy Agency, 2019).

Grønn ammoniakk

Dette er ammoniakk som har blitt produsert fra grønn hydrogen (Hofstad, 2020a). Grønn hydrogen blir produsert med energi fra fornybare energikilder (Norsk klimastiftelse, 2020), eksempelvis vindenergi og solenergi (Hofstad, 2020b) og er helt CO₂-fri (Banjaminsen, 2019).

2.1.1 Bruksområder

Historisk sett har ammoniakk blitt benyttet til helt andre formål enn som drivstoff til skip. I lang tid har majoriteten av den produserte ammoniakken blitt benyttet til fremstilling av mineralgjødning til landbruket (Pedersen, 2018a). På grunn av de kjemiske egenskapene til stoffet, har det blitt etablert flere ulike bruksområder. Slike eksempel innebefatter blant annet bruk av ammoniakk til fremstilling av plastmaterialer, som en ingrediens eller virkemiddel i vaskemidler og som kuldemedium i diverse kjøleanlegg (Zumdahl, 2015). Frem til i dag har et økt fokus på det grønne skiftet medført at man i større grad enn før har undersøkt potensialet til ammoniakk som drivstoff og energibærer, spesielt rettet mot fremdrift av skip (Murray, 2020).

Kuldemedium

Ammoniakk har blitt benyttet som kuldemedium i lang tid, spesielt knyttet til store industrianlegg. Sammenlignet med de vanligste kuldemediene har ammoniakk størst varmekapasitet og generelt gode egenskaper (Kuldeteknisk AS, u.å.).

Stoffet har vært attraktivt i system som krever effektiv kjøling eller frysing. På grunn av det lave energiforbruket har stoffet blitt brukt i både ismaskinanlegg på land og «refrigerated sea water» (RSW)-nedkjølingssystem til sjøvann og fisk (Kuldeteknisk AS, u.å.)

Flere brukere av ismaskin-anlegg og RSW-nedkjølingssystem har gått over til et system som benytter CO₂ grunnet de mange farene og helserisikoene som finnes ved bruk av ammoniakk i slike system (Innovasjon Norge, 2018). Feil håndtering av stoffet kan føre til helsefarlige situasjoner (Tempra AS, 2019).

Kunstgjødsel

Ammoniakk som kunstgjødsel inneholder 82 prosent nitrogen og må av sikkerhetsårsaker tilsettes i våt jord på mellom 15 og 20 centimeters dybde (Bjørnå, 2020). De vanligste kunstgjødsels blandinger som inneholder nitrogen er laget av ammoniumnitrat, og blir normalt laget av ammoniakk og salpetersyre (Yara Norge AS, u.å.). Dette er en blandingstype som regelmessig brukes i Europa og Sentral-Asia (Bjørnå, 2020). Stoffet egner seg godt som konserveringsmiddel for plantemateriale som skal benyttes til fôr, for å unngå skadelig gjæring (Christensen & Bratberg, 2018). Nerve- og muskelskader hos enkelte storfe og høns har i noen tilfeller blitt konsekvensen av avdampet ammoniakk fra avføringen til dyrene (Aarnes, 2020b).

Salmiakk

Ammoniumklorid, også kalt for salmiakk, er et produkt som fremstilles av ammoniakk og har derfor like egenskaper (Store norske leksikon, 2015). Stoffet betegnes gjerne som et rengjøringsmiddel (Aarnes, 2020b), og er laget av ammoniakk oppløst i vann (Pedersen, 2018c).

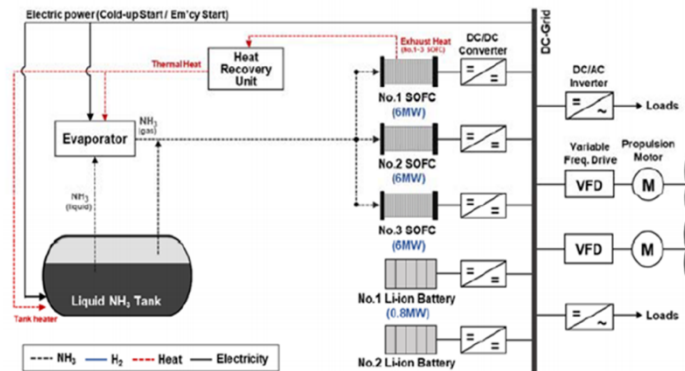
2.1.2 Forbrenningsmotorer og brenselcelle

Det er flere måter å bruke ammoniakk på som drivstoff. Ammoniakk kan forbrennes i en forbrenningsmotor, i en damp/gass turbin eller konverteres til kjemisk energi i brenselceller. I skipsindustrien er det forbrenningsmotorer (Wärtsilä, 2020) og brenselceller (Larsen & Markussen, 2020) som har fått mest oppmerksomhet.

Forbrenningsmotor

I dag er det to måter å benytte ammoniakk på i en forbrenningsmotor. Den første metoden er at brennstoffet sprøytes inn i et forbrenningsrom, der det selvantenner gjennom et mekanisk arbeid og en kompresjon. Den andre metoden er å la brennstoffet antenne i forbrenningsrommet ved hjelp av en gnist, som igjen skaper mekanisk arbeid (Sarsten & Fiskaa, 2019).

Brenselceller



Figur 6. Elektrisk fremdriftssystem ved hjelp av Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) (Korean Register, 2021)

I brenselceller blir kjemisk potensiell energi i ammoniakken omgjort til elektrisk energi gjennom spontane elektrodereaksjoner ved hjelp av en elektrokjemisk celle. Det er flere typer brenselceller, eksempelvis «Solid Oxide Fuel Cells», «Alkaline Fuel Cells» og «Proton-Exchange Membrane Fuel Cells». De nevnte brenselcellene gjør den samme jobben med å omgjøre kjemisk energi til elektrisk energi, men ved ulike temperaturer (Holtebekk, et al., 2021). Figur 6 viser hvordan et arrangement med brenselceller kan se ut om bord på et skip.

Virkningsgrad

Modelled efficiencies for energy provided from primary electricity⁴⁹.

Process	Efficiency of ammonia or hydrogen production (renewable power from wind & solar)	Efficiency of application	Overall efficiency
Ammonia from electrolysis and Haber-Bosch, used with a solid oxide fuel cell to produce electricity	55 to 60%	50 to 65%	28 to 39%
Ammonia from electrolysis and Haber-Bosch burned in an internal combustion engine	55 to 60%	30 to 40%	17 to 24%
Hydrogen cracked from ammonia obtained by electrolysis and Haber-Bosch, and used in a PEM fuel cell	40 to 50%	40 to 50%	15 to 25%
Hydrogen from electrolysis and used in a PEM fuel cell	65 to 70%	40 to 50%	26 to 35%

Figur 7. Virkningsgrad til ammoniakk og hydrogen (The Royal Society, 2020)

«Virkningsgrad er et mål på hvor effektiv en maskin eller en prosess er, og defineres som forholdet mellom tilført energi og utnyttbar energi» (Store norske leksikon, 2018). Ammoniakk sitt forhold mellom tilført og utnyttbar energi er forholdsvis lav, og den totale virkningsgraden ligger på 17 til 24% i forbrenningsmotorer og 28 til 39% i brenselceller (figur 7).

Historie

Ammoniakk som drivstoff er ikke utbredt, men det er likevel noen eksempler gjennom historien der ammoniakk har blitt brukt som drivstoff. Den første ammoniakkdrevne motoren som ble utviklet var en motor som ble benyttet i et mindre lokomotiv på 1800-tallet. På begynnelsen av 1900-tallet ble ammoniakk foreslått som ett tilleggsstoff til bensin, det ble laget en bil som gikk på ammoniakk og hydrogen, og det ble registrert et patent på en forbrenningsmotor som gikk på disse to stoffene (Dimitriou & Javaid, 2020).

Under andre verdenskrig forsøkte den belgiske regjeringen å bruke det som et alternativt drivstoff for busser. Manglende tilgang på fossilt brennstoff gjorde ammoniakk til en relativt kortvarig løsning, ettersom det viste seg å gi for dårlig effekt til motoren. Interessen for ammoniakk som energikilde falt i en periode etter andre verdenskrig når tilgangen på olje og gass forbedret seg (Dimitriou & Javaid, 2020).

2.1.3 Oppbevaring

Det er mulig å lagre ammoniakk i alle de ulike fasene, men i store kvantum er det mest praktisk å oppbevare ammoniakk i flytende form på grunn av høyere energitetthet og enklere temperatur og trykkforhold (Pasman, 2015).

De tre mest brukte metodene for oppbevaring av ammoniakk er:

1. Lagring under høyt trykk i romtemperatur i sfæriske eller sylindriske tanker
2. Lagring ved atmosfærisk trykk ved -33°C i isolerte sylindriske tanker
3. Vakuumsatte sfæriske tanker på rundt 0°C . Dette blir ikke brukt på skip.

Trykksatt lagring

Under trykksatt lagring blir ammoniakk plassert i sylindriske tanker, som er designet for opp til 25 bar. De større sfæriske tankene er designet for opp til 16 bar. Tankene er malt med reflekterende maling, eller er dekket med isolasjon i varmere klima. Noen blir også sprayet med vann når det er fare for at de kan bli for varme. Tankene har normalt sett inertgass i seg for å gjøre innholdet mindre antennelig. Sikkerhetsventiler og manometer for trykk er installert, og det er mulig å blø ut den inerte gassen gjennom trykkventiler (Appl, 2011).

Det er ofte brukt rustfritt stål på tankene, fordi ammoniakk er tærende på flere typer metaller. Ved trykksatt ammoniakk i skip og tanker, kan det oppstå sprekker fra stresskorrosjon. Dette er et problem som er forsket på, men som ikke er helt forstått. Vann har vist seg å redusere denne faren, så det er normalt at tanken inneholder 0.2% vann. Det kan også bli brukt et aluminium- eller sinklag på innsiden av tanken for å ytterligere hindre stresskorrosjon (Appl, 2011).

Lagring ved lav temperatur

Under lagring ved lav temperatur, blir ammoniakken kjølt ned til en temperatur på -33°C og ført inn i tanker med et trykk på rundt 1.1-1.5 bar. De sylindriske tankene har en flat bunn og en kuppel til topp, og er helt isolert. Tanken er konstant nedkjølt med kjøleelement (Appl, 2011).

2.2 Det grønne skiftet

Næringslivets Hovedorganisasjon beskriver det grønne skiftet som «En endringsprosess i samfunnet som handler om å øke verdiskapingen med mindre samlet miljøpåvirkning og betydelig lave klimautslipp» (NHO, u.å.). Dette er et internasjonalt samarbeid som har Parisavtalen og De forente nasjoners (FN) bærekraftsmål som utgangspunkt (Olerud & Halleraker, 2020), men hvor hvert enkelt land må se på sine muligheter for å kunne bidra (Regjeringen, 2020a). Regjeringen i Norge har et ønske om at landet skal fortsette å være en sjøfartsnasjon (Regjeringen, 2020b), og har derfor lagt mye vekt på verdiskaping i maritim næring i forbindelse med det grønne skiftet (Regjeringen, 2020a). På bakgrunn av dette har Norge lagt frem en handlingsplan som omhandler grønn skipsfart, som blant annet inkluderer ammoniakk som en mulig null- og lavutslippsløsning (Regjeringen, 2019a).

2.2.1 Parisavtalen

Parisavtalen er en internasjonal avtale om klimapolitikk, og skal bistå med begrensning av den globale oppvarmingen (UNFCCC, u.å. a). Et av de viktigste målene til avtalen er togradersmålet som går ut på å redusere temperaturstigningen på jorda til under 2°C (Jakobsen, et al., 2021). Avtalen skal sørge for at de involverte nasjonene er bedre rustet til å håndtere konsekvensene av klimaendringene og at klimaendringene blir redusert (UNFCCC, u.å. b).

2.2.2 FNs bærekraftsmål



Figur 8. FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2021)

FNs bærekraftsmål illustrerer en felles arbeidsplan for hele verden (FN-sambandet, 2021). Målene er en erstatning for tusenårsmålene og består av 17 mål, som vist i figur 8, og 169 delmål (Norad, 2015). Formålet med de nevnte målene er å sørge for en bærekraftig utvikling frem mot 2030, og dette innebærer blant annet utryddelse av fattigdom, bekjemping av ulikhet og å stanse klimaendringene (Regjeringen, u.å. a).

2.2.3 Bærekraftsmål til IMO

Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO) er FNs organ for regulering av internasjonal sjøfart (FN-sambandet, u.å.). Organisasjonen sine klimarelaterte mål er å redusere CO₂ utslippet til hele den internasjonale shippingindustrien med minimum 40% innen 2030, samt å jobbe for å redusere utslippet med 70% innen 2050, sammenliknet med utslippet i 2008. IMO arbeider for å redusere de totale klimagassene til internasjonal shipping med minimum 50% innen 2050, og for å fase ut klimagasser i tråd med Parisavtalen (IMO, u.å. a).

IMO vil oppnå målene gjennom ulike energieffektiviseringstiltak som «Energy Efficiency Design Index» (EEDI) og «Ship Energy Efficiency Management Plan» (SEEMP) (IMO, u.å. a). EEDI er et teknisk minimumskrav for hvor energieffektivt utstyr og motorer skal være, og kravet blir strengere i takt med den innovasjonen og utviklingen som foregår innenfor det feltet. SEEMP er et operasjonelt tiltak for skip som skal sørge for at energieffektiviteten om bord blir forbedret på en kostnadseffektiv måte (IMO, u.å. e).

2.2.4 Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart

Regjeringens handlingsplan handler i all hovedsak om hvordan Norge skal bidra til en bærekraftig sjøfart for det 21. århundret (Regjeringen, 2019b). Planen inneholder en omfattende gjennomgang av teknologi, rammevilkår, reguleringer, miljøkrav, avgifter og mer (Regjeringen, 2019a). Regjeringen ønsker å halvere utslippene fra innenriks sjøfart og fiske innen 2030 (Regjeringen, 2019c).

2.2.5 Støtteordninger i Norge

Regjeringen i Norge ønsker at grønn verdiskapning skal være mulig å gjennomføre i skipsfarten, og prøver å legge til rette for det. Dette gjøres ved å fastsette krav til lav- og nullutslipp, og i tillegg etablere målrettede virkemidler (Regjeringen, 2020c). Virkemidlene sørger for at de riktige prosjektene blir synliggjort og finansiert på en forsvarlig måte (Regjeringen, 2020d). Regjeringen ønsker at dette skal gi ringvirkninger som sørger for at teknologisk utvikling og vekst vil være med på å redusere klimagassutslipp (Regjeringen, 2020a).

Norges forskningsråd

Norges forskningsråd skal sikre at de riktige forskings- og innovasjonsprosjektene får finansiering. Regjeringen har derfor gitt forskningsrådet ansvaret for forvaltning av forskningsmidlene fra alle departementene (Regjeringen, u.å. b). Forskningsrådet fungerer også som en rådgiver for regjeringen og svarer på politiske spørsmål knyttet til forskning og utvikling (Forskningsrådet, 2021). Dette gjelder blant annet politiske spørsmål om hvilke satsingsområder regjeringen bør sette søkelys på (Regjeringen, u.å. b). I tillegg har rådet ansvar for at forskningen som blir gjennomført har tilfredsstillende kvalitet, og dette sjekkes ved kontinuerlig evaluering av prosjektene (Regjeringen, 2020e).

Enova

Enova er et statsforetak og deres hovedoppgave er å sørge for at nye og klimavennlige prosjekter får nok økonomisk støtte til å kunne gjennomføres (Enova, u.å. a). De ønsker å finansiere slike prosjekter for å redusere klimagassutslipp, men også for å sørge for forsterket forsyningssikkerhet for energi (Regjeringen, u.å. c). I tillegg mener de at finansiering av ny teknologi vil bidra til reduserte klimagassutslipp på sikt (Sysco, u.å.).

Innovasjon Norge

Innovasjon Norge er et statseid selskap som skal bidra til lønnsom næringsutvikling i Norge, og samtidig profilere Norge som et reisemål (Garvik, 2020). Selskapet tilbyr en rekke tjenester innen rådgivning, finansiering, kompetanse, profilering og nettverk. Innovasjon Norge ønsker at tjenestene skal bidra til nyskaping, utvikling og bærekraftig vekst i det norske næringslivet (Innovasjon Norge, 2020). Innovasjon Norge ønsker at selskap skal lykkes med fremtidsrettet næringsvirksomhet, og har etablert flere støtte- og låneordninger (Garvik, 2020).

2.3 Regelverk

Regelverket til maritim næring i forhold til drivstofftyper og drivstoffhåndtering, blir konstruert av IMO. IMO er et FN-organ som arbeider for sikkerhet og forhindring av forurensing til sjøs. De ønsker å oppnå dette gjennom konvensjoner, som er avtaler mellom medlemslandene. Avtalene er bindene, gjennom at landet ratifiserer avtalen om til sitt lovverk. IMO har flere konvensjoner, som for eksempel SOLAS-konvensjonen (Borch, 2016).

2.3.1 SOLAS-konvensjonen

“The International Convention for the Safety of Life at Sea”, forkortet SOLAS, er en konvensjon underlagt IMO (IMO, u.å. b). Konvensjonen setter minimumskrav til blant annet konstruksjon, brannsikkerhet og utstyr på skip (Borch, 2016). SOLAS regulerer flere underliggende koder, blant annet IGF- og IGC-koden (IMO, u.å. b).

2.3.2 IGC-koden

“The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk” forkortet til IGC-koden, er en forskrift, utgitt av IMO, underlagt SOLAS-konvensjonen, som gir en internasjonal standard for sikker transport av gasser i væskeform, på sjøen. Forskriften omhandler transport av farlige og flytende gasser i bulk (DNV GL, 2015), og har som mål å minimere farer for skip, mannskap og utslipp. Den setter standarder for konstruksjon og design av skip, og beskriver hvilket utstyr skipet skal ha (IMO, u.å. c). IGC-koden er ratifisert i norsk lov gjennom nærings- og handelsdepartementet til «Forskrift om frakt av farlig last på lasteskip og lektere» (Lovdata, 2006).

2.3.3 IGF-koden

“The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels”, forkortet IGF-koden, er en forskrift utgitt av IMO og underlagt SOLAS-konvensjonen. Den setter en internasjonal standard for skip som ikke er dekket av IGC-koden. IGF-koden er gjeldende for skip som benytter gass som drivstoff eller drivstoff med lavt flammepunkt (IMO, u.å. d).

Forskriften beskriver kriterier som må opprettholdes i forbindelse med systemer, maskineri og utsyr for å redusere farer for skip, mannskap og miljø (IMO, u.å. d). Den har blitt ratifisert til norsk lov gjennom Nærings- og fiskeridepartementet til «Forskrift om skip som bruker drivstoff med flammepunkt under 60°C» (Lovdata, 2020).

2.4 Helse, miljø og sikkerhet

Interessen for bruk av mer miljøvennlige løsninger og drivstoff på skip har skapt helt nye utfordringer innen skipsfarten, spesielt med tanke på sikkerhet (Sjøfartsdirektoratet, 2021). Et regelverk som sørger for sikkerhet må ligge til grunn før ammoniakk kan bli et alternativt drivstoff. Per i dag finnes ikke noe regelverk som spesifikt oppfølger skip som benytter ammoniakk som drivstoff (Grønt Skipsfartsprogram, u.å.). Høsten 2020 formet Det Norske Veritas (DNV) en sikkerhetshåndbok om ammoniakk som et marint drivstoff. Arbeidet ble gjennomført på vegne av Grønt Skipsfartsprogram i samarbeid med Sjøfartsdirektoratet (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Håndboken har fokus på sikkerheten og gjennomgår hvordan ammoniakk som drivstoff kan påvirke utforming og arrangement for bunkring, sikker lagring og sikker bruk om bord. Sikkerheten til passasjerene og mannskapet blir prioritert (Sjøfartsdirektoratet, 2021).

Håndboken er ikke en fasit på hvordan ammoniakk skal tas i bruk og håndteres om bord, men belyser farer og utfordringer tilknyttet ammoniakk. Boken gir en veiledning i hvordan slike løsninger kan gjøres, godkjennes og tas i bruk om bord (Sjøfartsdirektoratet, 2021).

2.4.1 Helsefarer

Ammoniakk er lettløselig i vann og har i tillegg en hygroskopisk egenskap som gjør at stoffet kontinuerlig søker etter fuktighet (New York State, 2004). For mennesker er dette problematisk på grunn av kroppsdelene som inneholder en del fuktighet, eksempelvis lunger og øyner (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Konsekvensene fra en eksponering handler i all hovedsak om hvor høy konsentrasjonen er og hvor lenge vedkommende har blitt eksponert (Helsenorge, 2019).

Tabell 1. Helsefarer i forbindelse med ammoniakk, fra datablad (Linde, 2020)

Helsefarer	Fareerklæring(er)
Akutt toksisitet (innånding av gass)	H331: Giftig ved innånding.
Etseskade på hud	H314: Gir alvorlige etseskader på hud og øyne
Alvorlig øyeskade	H318: Gir alvorlig øyeskade

Eksponering kan forårsake reaksjoner som irritasjon og smerter i øyne, hud og slimhinner, som kan skape tåreflod, nysing, hoste og lignende. Ved høye konsentrasjoner kan stoffet gi kroniske effekter på luftveiene (Sjøfartsdirektoratet, 2013), og etsende og alvorlige øyeskader (Helsenorge, 2019) (se tabell 1.). Direkte kontakt med flytende ammoniakk kan føre til alvorlige frostskafer, fordi stoffet fryser ved hudkontakt i romtemperatur (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Gassen kan være dødelig ved innånding (Linde, 2020).

2.4.2 Miljøfarer

Utslipp av ammoniakk kan ha en rekke miljømessige konsekvenser. På grunn av egenskapene er det blant annet svært giftig for liv i vann (Linde, 2020) (se tabell 2.). Ammoniakk har også en forsurende effekt som har noen miljømessige og negative ringvirkninger (Melhus, et al., 2018). Utslipp av klimagasser kan forekomme under selve forbrenningsprosessen til ammoniakk i en forbrenningsmotor (Grønt Skipsfartsprogram, 2021).

Tabell 2. Miljøfarer i forbindelse med ammoniakk, fra datablad (Linde, 2020)

Miljøfarer	Fareerklæring(er)
Akutt fare for vannmiljøet	H400: Meget giftig for liv i vann
Kronisk fare for vannmiljøet	H411: Giftig, med langtidsvirkning, for liv i vann

På samme måte som at ammoniakk er giftig for mennesker, så er det også giftig for andre levende organismer (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Et utslipp av ammoniakk i havmiljøet kan forårsake problemer for vannlevende organismer. Dersom stoffet er til stede i vannet og i tillegg har høy nok konsentrasjon, så vil det være utfordrende for organismer som befinner seg i vannet å skille ut giftstoffet. Konsekvensene av dette vil være at det danner seg alt for høye nivå av ammoniakk i indre vev og blod, noe som kan føre til alvorlige skader eller død (EPA, u.å.). I tillegg kan ammoniakk forårsake uønskede pH-endringer i vandige og økologiske miljøer (Linde, 2020). Temperaturen og pH-verdien i vannet kan påvirke giftigheten som ammoniakk har for vannlevende organismer (EPA, u.å.).

Ammoniakk har en forsurende effekt, og ved et nedfall i jorden kan stoffet bli omdannet til lystgass (N_2O) (Melhus, et al., 2018). Forbrenning av ammoniakk i en forbrenningsmotor kan føre til utslipp av nitrogenoksid (NO_x) og N_2O (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Dette er klimagasser som bidrar til luftforurensning (Pedersen, 2018b) og global oppvarming (Miljøstatus, 2020).

Ammoniakk har vist seg å ha tilnærmet lik NO_x utslipp som bensin, men kan ha større utslipp ved noen omstendigheter (Lhuillier, et al., 2019). Det finnes systemer for rensing av NO_x utslipp (Norsk klimastiftelse, 2020), men ikke for N_2O utslipp (Grønt Skipsfartsprogram, 2021).

2.4.3 Brann og eksplosjonsfare

Antennelsesrisikoen til ammoniakk er lavere enn andre drivstoff, men risikoen øker i kontakt med andre brannfarlige stoffer (Korean Register, 2021). Ammoniakk brenner dårlig i åpen luft og krever i stor grad støtte fra en annen kilde for å brenne (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Ved kontakt med et sterkt oksidasjonsmiddel som kloritt eller hypokloritt kan det forekomme en eksplosiv forbindelse (Korean Register, 2021). I tillegg kan gassen eksplodere ved oppvarming under trykk (Linde, 2020).

Tabell 3. Fysiske farer i forbindelse med ammoniakk, fra datablad (Linde, 2020)

Fysiske farer	Fareerklæring(er)
Brennbar gass	H221: Brannfarlig gass
Gasser under trykk	H280: Inneholder gass under trykk; kan eksplodere ved oppvarming

I likhet med andre gasser er også ammoniakk antennelig (tabell 3.). Gassen er selvantennelig ved temperaturforhold over 651 °C, med brennbarhetsgrense på 15 til 28 prosent blandet med luft (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Brennbarhetsgrensen er oppgitt ved 25 °C og atmosfærisk trykkforhold. Ammoniakk er mindre eksplosivt enn andre drivstoff, men det vil likevel være en underliggende risiko til stede (Norsk klimastiftelse, 2020). Tenningsenergi på 8 MJ er nødvendig for å antenne ammoniakk. Dette tilsvarer 30 ganger så mye energi som metan trenger og 470 ganger så mye som hydrogen (Grønt Skipsfartsprogram, 2021).

2.4.4 Personlig verneutstyr

Tekniske prosedyrer for riktig bruk av verneutstyr ved håndtering av stoffet er etablert gjennom dagens industrielle bruk av ammoniakk (Korean Register, 2021). Databladet til kjemikaliet beskriver hvordan sikker håndtering av stoffet skal gjøres og anbefaler tiltak for å begrense og redusere utslipp (Linde, 2020). IGC-koden stiller krav til riktig bruk av beskyttelsesutstyr, og spesifiserer retningslinjer som er pålagt ulike operasjoner for å verne mannskapet. Utstyret skal blant annet være separert ifra, og komme som tillegg til skipets røykdykkerutstyr. Det nevnes at plasseringen av dette utstyret skal forekomme som lett tilgjengelig, med en tydelig og oversiktlig markering (NeRF, u.å.).

Det personlige verneutstyr skal dekke all eksponert hud slik at ingen del av kroppen er ubeskyttet. Underlagt dette er et stort forkle, kjemikaliehansker med lange ermer, passende støvler, kjemikaliebestandig kjeledress og tettsittende briller eller visir som dekker hele ansiktet. Ved entring og arbeid i et gassfylt rom skal utstyr være på plass for å detektere og informere personellet om kontaminerte områder (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Åndedretts og øyevern skal være tilgjengelig for alle om bord, med stasjoner for saneringsvask og øyeskyll plassert på praktiske og tilgjengelige steder (NeRF, u.å.).

2.5 Sikkerhetsbarrierer

Ammoniakk fraktes i hovedsak som en vare om bord på skip i dag, og det finnes rutiner og krav til håndtering av ammoniakk på skip. Per i dag, finnes som tidligere nevnt ingen tilsvarende reguleringer for ammoniakk som drivstoff til skip (Norsk klimastiftelse, 2020). Lover og retningslinjer danner grunnlag for sikkerhetstiltak som må utføres (Digitaliseringsdirektoratet, u.å.). Sikkerhetstiltak iverksettes for å hindre skader og helsefarlige aspekt ved ulike situasjoner (Stranden & Knut, 2018).

Ammoniakk som drivstoff er nytt i industrien, men det er ikke et nytt produkt. Som energibærer vil ammoniakk inneholde fysiske og kjemiske egenskaper som skaper sikkerhetsutfordringer (Hofstad, 2020a). Eksisterende sikkerhetstiltak for andre drivstofftyper kan iverksettes mot de spesifikke behovene ammoniakk som en energibærer vil trenge (Haldor Topsoe, 2020). IGC-koden inneholder eksempelvis retningslinjer for personlig verneutstyr om bord gasstankere som transporterer ammoniakk (Lovdata, 2006).

2.5.1 Ammoniakk sammenlignet med LNG

«Liquified Natural Gas» (LNG) er et alternativt drivstoff som har lignende egenskaper som ammoniakk. På bakgrunn av dette har det blitt undersøkt hvorvidt egenskapene til disse kan sammenlignes, for å evaluere om sikkerhetsbarrierene til LNG skip er relevante for ammoniakk (Grønt Skipsfartsprogram, 2021).

Verken vannfri ammoniakk eller LNG er kompatible med konvensjonelle lagringstanker grunnet koketemperaturen til gassen (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Begge gasstypene krever lagringsmuligheter som kan håndtere ulike trykkforhold, samt avdampingsgass (Brudevoll & Rabbevåg, 2021) som kan komme av tilført varme til systemet (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Ammoniakk er mindre antennelig enn andre drivstoff, men er en

del giftigere. Stoffet har andre håndteringskrav sammenlignet med andre gasser på grunn av giftigheten (Norsk klimastiftelse, 2020).

Sikkerhetstiltak utarbeidet for LNG som blant annet segregasjon, doble barrierer, oppdaging og automatisk isolasjon av lekkasjer, kan være med på å etablere retningslinjer når sikkerhetskravene for ammoniakkdrevne skip blir utformet (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Sikkerhetsfunksjonene i LNG regelverket vil veilede næringen i bruken av ammoniakk som drivstoff, men særskilte spesifikasjoner om bord relatert til ivaretaking av sikkerheten kreves (Hofstad, 2020a).

2.5.2 Sikkerhetssystem

De helsemessige farene knyttet til ammoniakk danner en stor risiko ved lekkasjer. IGF-koden er gjeldende for skip som drives av gasser med et lavt flammepunkt (Korean Register, 2021). Koden spesifiserer blant annet hvordan skip skal utformes i sammenheng med segregering (IMO, 2014). Et system som beskytter drivstoffinstallasjonen fra eksterne hendelser som kan medføre materielle skader er nødvendig (Norsk klimastiftelse, 2020).

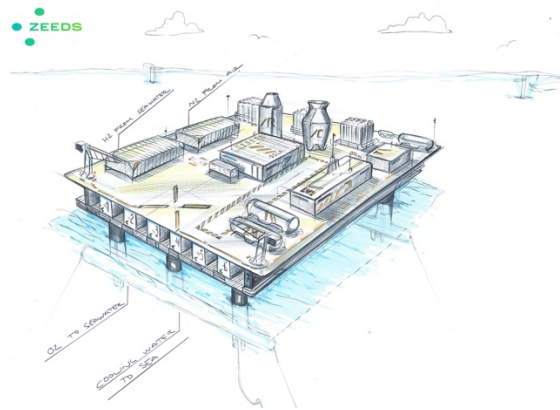
For sikker håndtering av lekkasjer kan et sikkerhetssystem med arrangement for doble barrierer dannes (Grønt Skipsfartsprogram, 2021). Et slikt system skal redusere faren for utslipp, samt begrense mengden og skadeomfanget ved tilfeller av utslipp (Oljeindustriens Landsforening, u.å.). Formålet med sikkerhetsbarrierer er for å unngå, men også for å håndtere og isolere lekkasjer (Grønt Skipsfartsprogram, u.å.).

2.6 Pågående prosjekter

2.6.1 ZEEDS

ZEEDS (Zero Emission Energy Distribution at Sea) er et samarbeid ledet av Wärtsilä, sammen med Aker Solutions, Det Forenede Dampskibs-Selskab (DFDS), Equinor, Grieg Star og Kvaerner, med støtte fra Nordic Innovations. ZEEDS har flere prosjekter, som for eksempel konstruksjon av stasjoner for bunkring, en forsyningskjede av grønn ammoniakk og konstruksjon av skip som går på ammoniakk (ZEEDS, u.å.).

Havbasert produksjon og distribusjon



Figur 9. ZEEDS sitt konsept om havbasert produksjon og distribusjon (ZEEDS, u.å.)

ZEEDS har planer om å plassere fyllstasjoner på sjøen til hydrogen og ammoniakk, som vist i figur 9. Ideen går ut på å bygge opp et økosystem av hydrogen og ammoniakkproduksjon til sjøs. Denne produksjonen skal gjøres på gitte steder på havet, og skal brukes til å bunkre opp skip som benytter hydrogen eller ammoniakk. Målet er å redusere karbonutslipp og strebe etter Parisavtalen gjennom å forsøke å endre shipping industrien (Wärtsilä, 2019).

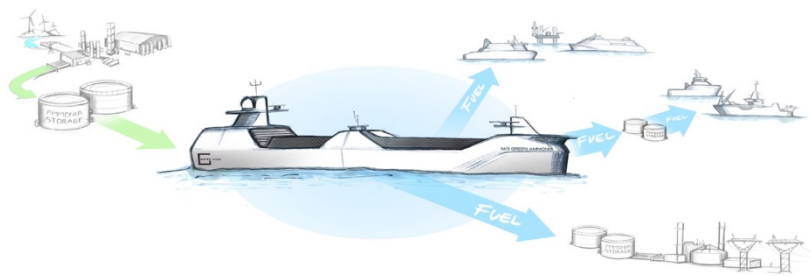
Stasjonene skal først produsere hydrogen av vann ved hjelp av vindkraft, deretter skal hydrogenet bli omgjort til ammoniakk, som skal lagres i tanker under vann, der vanntrykket holder ammoniakken i flytende tilstand. Ved tankene skal det være skip som frakter ammoniakken om bord til skipene som skal bunkre. Wärtsilä hevder at et skip skal kunne bunkre i en time og ha nok drivstoff til å operere i opptil 11 dager. Stasjonene skal plasseres i trafikkerte områder, slik at skipene ikke trenger å gå til havn for å bunkre opp (Wärtsilä, 2019).

ZEEDS konseptet er først og fremst designet for Nordsjøen og Østersjøen. Det er planlagt fem stasjoner, som skal ha 74 vindmøller hver, hvor hver stasjon skal kunne produsere 2500 m³ med ammoniakk per dag. Ifølge ZEEDS skal en stasjon være nok til å forsyne 147 skip (Wärtsilä, 2019).

Ammoniakkfabrikk

Gjennom ZEEDS-initiativet har Varanger Kraft planlagt ammoniakkproduksjon i Berlevåg kommune innen 2025. Varanger Kraft har en vindpark på 50 megawatt (MW), som skal utvides til 200 MW. Målet er å produsere rundt 100.000 tonn grønn ammoniakk per år. Bedriften har mottatt støtte på 50 millioner norske kroner (NOK) fra Den europeiske union (Ellingsen, 2020).

MS Green Ammonia



Figur 10. Illustrasjonsbilde av MS Green Ammonia (Grieg Star, 2020)

Grieg Edge og Wärtsilä samarbeider på et prosjekt om å bygge et skip kalt for MS Green Ammonia, som vist i figur 10. Dette er et tankskip som skal gå på ammoniakk, og skal sjøsettes i 2024. Prosjektet ble utviklet gjennom ZEEDS samarbeidet, og har fått støtte på 46.4 millioner NOK fra den norske stat (Grieg Star, 2020). Støtten ble finansiert gjennom støtteordningen Pilot-E, etablert av Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Enova (Enova, u.å. b). Formålet med skipet er ammoniakkdistribusjon fra fabrikkene i Berlevåg kommune (Grieg Star, 2020).

2.6.2 ShipFC



Figur 11. Forsyningsskipet Viking Energy (ShipFC, 2020)

ShipFC er et prosjekt som ønsker å avdekke om større skip kan driftes uten utslipp av klimagasser over lengre distanser (ShipFC, 2020).

Eidesvik Offshore ASA og Equinor ASA skal gjennomføre et forskningsprosjekt som går ut på å installere brenselceller til ammoniakk om bord på forsyningsskipet Viking Energy, som vist i figur 11 (Equinor, 2020). Wärtsilä, Prototech, NCE Maritime CleanTech er også med og de vil få ansvaret for ulike deler av prosjektet. Innovasjon Norge og Enova er også mulige finansierer. Hele forskningsprosjektet har per i dag et budsjett på 230 millioner NOK (Eidesvik Offshore ASA, u.å.).

Planen går ut på å installere brenselceller om bord som til sammen kan levere 2 MW med energi. Dette vil gjøre det mulig for Viking Energy å seile utelukkende på ammoniakk i opptil 3000 timer i året (ShipFC, 2020). Equinor har en femårskontrakt med Eidesvik som ble påbegynt i april 2020, og teknologien rundt ammoniakk vil bli testet på skipet i 2024. Ammoniakken kan basert på planene til prosjektet dekke fra 60 til 70 prosent av det nødvendige energibehovet om bord. De resterende prosentandelene vil bli dekt av LNG og batteriløsninger som allerede er installert om bord (Equinor, 2020).

Kapittel 3 Metode

Denne delen av oppgaven presenterer hvilken metode som har blitt benyttet under oppgaveskrivingen. Kapitlet forklarer hvordan oppgaven innhentet informasjon, ble strukturert og behandlet data. Dette omhandler blant annet hensikten med oppgaven, litteraturvalg, gjennomføring av intervju, samt styrker og svakheter ved valgt metode.

3.1 Mål

Målet med oppgaven er å anvende forskningsbasert kunnskap innenfor sentrale begrep og områder knyttet til skipsfarten, og se på ammoniakk som en miljøvennlig løsning for drivstoff til skip. Oppgaven benytter informasjon fra intervju og relevant litteratur for å se på de ulike utfordringene som finnes i den forbindelse. Målet er å undersøke i hvilken grad ammoniakk kan fungere som drivstoff til skip.

3.2 Design

Oppgaven har en kvalitativ metodisk tilnærming. En slik tilnærming går ut på å innhente meninger og opplevelser i motsetning til en kvantitativ metodisk tilnærming, som går ut på å samle inn data i målbare enheter (Dalland, 2020). Grunnen til at denne metoden er brukt baserer seg på avgrensningen som oppgaven har og fordi temaet som ble valgt er relativt nytt, og det eksisterer få pilotprosjekt rundt bruken av det på skip. Problemstillingen gir mulighet for åpne svar og retter seg på tanker og meninger, noe som gir en kvalitativ metodisk tilnærming.

3.3 Litteraturstudier

Oppgavens tema er stadig under utvikling, og det har derfor blitt satt søkelys på å innhente relevant og oppdatert litteratur. Litteraturen som har blitt benyttet i oppgaven har sitt opphav fra relevante publikasjoner, lærebøker og avisartikler, både i fysiske utgaver og på internett. Bruken av publikasjoner og avisartikler har sørget for en oppdatert oversikt og forståelse ovenfor temaet. Utover dette har det blitt benyttet databaser som Oria, ScienceDirect og Engineering Village. Ved bruk av de nevnte databasene ble søkeord knyttet til ammoniakk benyttet som utgangspunkt. På eksempelvis ScienceDirect ble søkeord som «ammonia», «fuel», «alternative fuel» og «fuel cell», benyttet. Dette ga gode resultater for noe av det

teoretiske grunnlaget i oppgaven, og kombinert med den nevnte litteraturen ga det tilstrekkelig informasjon til den teoretiske delen.

3.4 Kildebruk

Kildene som er benyttet i oppgaven er etter gruppen sin vurdering antatt som pålitelige. Informasjon fra internett har i større grad blitt innhentet fra anerkjente sider som eksempelvis Store norske leksikon. I noen tilfeller har mindre kjente nettsider blitt brukt, spesielt dersom det var lite informasjon tilgjengelig. Da har det blitt brukt nettsider knyttet opp til universitet, nasjonale organ, relevante selskap eller lignende. Kildene som oppgaven benytter har blitt kontrollert og faktasjekket. I tillegg har kildebruken blitt gjennomgått i samråd med veileder.

3.5 Intervju

I en gjennomgang av oppgavens målsetninger og struktur ble det fastslått at det kunne være utfordrende å finne all ønsket informasjon utelukkende ved bruk av eksisterende litteratur. For kunne å danne en helhetlig forståelse rundt ammoniakk som et alternativt drivstoff så oppsto det et behov for å oppsøke ulike synspunkt og meninger rundt temaet. Derfor ble det bestemt som nødvendig å intervju relevante personer og tilhørende i organisasjoner som kunne bidra til å gå en helhetlig, upartisk forståelse.

Intervjuet krevde at det ble etablert en guide for hvordan det skulle gjennomføres. Dette ble gjort for ha en tydelig struktur og plan under intervjuene. På bakgrunn av dette ble det konstruert en semistrukturert intervjuguide (vedlegg 1) som ga intervjueren et større handlingsrom til å eksempelvis stille oppfølgingsspørsmål. I tillegg kunne intervjuobjektet besvare noen av spørsmålene på en mer åpen måte, noe som var til fordel for oppgaven, spesielt ved spørsmål rundt ammoniakk sin rolle i fremtiden.

En klar fordel med å utføre et slikt intervju er tyngden som svarene kan gi. Dersom en påstand eller et innspill kan støttes av en respektert organisasjon eller person, så vil det naturligvis være av betydning for oppgaven. Det er viktig å bemerke seg at innspill og/eller argument fra et slik intervju ikke kan ansees som eksakt vitenskap, men oppgaven er likevel ute etter ulike perspektiv og meninger rundt temaet.

En svakhet ved intervjuene som ble gjennomført er utvalget. Utvalget består av fem personer, hvor noen av de er mer eller mindre like med tanke på yrke eller bakgrunn. Det

kan være naturlig å anta at et større utvalg kunne tilført nye og uutforskede meninger og synspunkt som kunne hatt en verdi for oppgaven. Likevel består utvalget av et antall personer som har en samlet kompetanse som ligger på et relativt spredt og høyt nivå.

3.5.1 Utvalget

Utvalget er basert på intervjuguiden som ble konstruert. For å kunne anskaffe verdifulle svar ble det fokusert på at svarene burde komme fra noen med en viss tyngde innenfor temaet. Derfor ble nøkkelpersoner fra NTNU, Sjøfartsdirektoratet, Wärtsilä og DNV valgt, og dette ble gjort for å innhente svar fra personer med ulike perspektiv eller bakgrunn. De ble kontaktet via e-post og/eller annen kontaktinformasjon som ble funnet på deres tilhørende hjemmesider, eller gjennom en tredjeperson. Totalt ble fem personer intervjuet, hvorav en arbeidet for Sjøfartsdirektoratet, en for Wärtsilä og to fra NTNU. DNV valgte å svare på spørsmålene som en organisasjon. Personene som ble intervjuet var:

- Ann Rigmor Nerheim, førsteamanuensis ved NTNU i Ålesund. Nerheim arbeider på institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk. Hun har en doktorgrad innen naturgass og jobber blant annet som studieprogramkoordinator på bachelorstudiet for fornybar energi.
- Vilmar Æsøy, professor ved NTNU i Ålesund. Æsøy arbeider på institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk. Han har flere publikasjoner rundt fremtidsrettet teknologi og en doktorgrad innen marine maskinsystemer og forbrenningsmotorer.
- Kolbjørn Berge, senioringeniør hos Sjøfartsdirektoratet, ved avdelingen for fartøy og sjøfolk. Berge har blant annet ansvar for å koordinere arbeid opp mot grønne skip og nye drivstoff.
- Egil Hystad, ansatt hos Wärtsilä. Hystad jobber med markedsinnovasjon og salg i Nord-Europa, og jobber blant annet med å utvikle nye konsept og pilotprosjekt.
- DNV. Ekspert i DNV Group Technology & Research.

3.5.2 Intervjuguide, samtykkeskjema og gjennomføring

Før intervjuet fikk intervjuobjektene tilsendt en guide og et samtykkeskjema (vedlegg 2). Dette ble gjort for at vedkommende skulle vite på forhånd hva intervjuet gikk ut på. Intervjuguiden inneholdt alle spørsmålene som var planlagt på forhånd, slik at intervjuobjektet ikke stilte uforberedt. Samtykkeskjemaet beskriver formålet med intervjuet, hvem som var ansvarlig for oppgaven, hvorfor personen ble intervjuet og rettighetene deres.

Fire av fem valgte å gjennomføre intervjuet på Microsoft Teams, men DNV ønsket å svare på spørsmålene skriftlig. Det skriftlige svaret ble ikke ansett som en ulempe for oppgaven og forespørselen deres ble derfor godtatt. Under intervjuet ble arbeidet fordelt slik at én foretok intervjuet og to personer noterte ned relevante sitater fra intervjuobjektet. For å bekrefte at alle de noterte sitatene var riktige og forstått, så ble det ved behov stilt ekstra spørsmål rundt det som hadde blitt sagt. Intervjuobjektene fikk mulighet til å endre eller trekke tilbake sitat, og konteksten ble samtidig bekreftet.

3.5.3 Analyse

Da intervjuguiden var ferdig utarbeidet ble den analysert før den ble distribuert til de involverte partene. På denne måten ble mangler i guiden redegjort for, slik at utfyllende spørsmål kunne stilles underveis i intervjuene. Svarene til de ulike partene ble bestandig stilt opp mot hverandre, og sammenlignet i løpet av prosessen. Dette skapte rom for å søke etter dypere svar og meninger på problemstillinger som ble opplyst under intervjuene.

Ved å analysere svar fra ulike intervju er det mulig å hente forskjellige tolkninger og synspunkt i forbindelse med problemstillingen. Meningene vil bidra til å støtte, styrke eller svekke diskusjonen rundt temaet. Dette dannet rom for å sette ulike spørsmål og svar rundt problemstillingen opp mot hverandre.

Kapittel 4 Diskusjon

Bruken av ammoniakk har potensialet til å være en nullutslippsløsning til skipsfarten. Det finnes både praktiske og sikkerhetsmessige styrker og svakheter med ammoniakk som drivstoff til skip. Derfor er det viktig at det tas hensyn til alle de ulike aspektene. Problemstillingen i denne oppgaven omhandler utfordringer, HMS, og hvorvidt det er utførbart å benytte ammoniakk som drivstoff til skip. Diskusjonsdelen belyser fordeler og ulemper ved ammoniakk som drivstoff, hvorfor ammoniakk er vurdert som et alternativ til skipsfarten og hvilken tilrettelegging som kreves.

Klasseselskapet DNV sine eksperter innen forskning og teknologi, mener følgende:

Ammoniakk vil sannsynligvis, til tross for å være et unaturlig valg som drivstoff til skip, fungere godt. Det er en del utfordringer som må håndteres, men det finnes ikke mange alternativer for helt utslippsfrie drivstoffer, forutsatt at det er fremstilt fra fornybar energi, når dette i fremtiden kan bli påkrevd. (DNV, personlig kommunikasjon, 2021)

Gjennom teoridelen og intervju med relevante personer, har det kommet frem at ammoniakk kan fungere som ett drivstoff til skip, dersom utfordringene til drivstoffet blir håndtert. Derfor er det naturlig i oppgaven å diskutere noen av de konkrete utfordringene til ammoniakk som drivstoff, og om de kan bli løst.

Energitetthet

Energitettheten til ammoniakk vil være en sentral utfordring som bør adresseres for å se helheten av å bruke det som drivstoff. Egil Hystad fra Wärtsilä forteller at: «En m³ diesel tilsvarer energiinnholdet til nesten 3 m³ ammoniakk» (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021). I praksis kan dette bety at et ammoniakkdrevet skip må ha tre ganger så store tanker for å ha muligheten til å frakte den samme energimengden som et konvensjonelt skip som forbrenner diesel. DNV bemerker noen konsekvenser av energitettheten og forteller at: «Dette kan føre til at skipet må bunkres oftere eller at nyttelasten blir noe redusert» (DNV, personlig kommunikasjon, 2021).

Konsekvensene av det økte behovet for volum kan påvirke de forskjellige skipstypene ulikt. Det er ikke gitt at et skip må ha en ammoniakk tank som tilsvarer energiinnholdet til en dieseltank. Det vil derfor være naturlig å anta at rederen selv må vurdere om ammoniakk er et tilfredsstillende alternativ på det spesifikke tidspunktet, skipet og fartsområdet. For noen eksisterende skip kan det eksempelvis være utfordrende å implementere slike system om bord på grunn av skipets oppbygging og arbeidsoppgaver, men på andre skip kan det være en enklere prosess. Dette blir ytterligere påpekt av Vilmar Æsøy, professor ved NTNU i Ålesund: «Ammoniakk vil gjerne fungere for større skip, og kanskje skip der man allerede har erfaring med den type stoff, slik som kjemikalietankere og skip som er vant til å håndtere stoff som ammoniakk» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021).

For skip som behøver maksimalt utbytte av volumet om bord, og som behøver store mengder med drivstoff er energitettheten viktig. Kolbjørn Berge, Senioringeniør hos Sjøfartsdirektoratet, sier at: «Volum er en stor utfordring for deep sea flåten og fiskebåter. Med en gang du begynner å komme litt lenger ut er det problematisk å få plass til energien du skal få med deg» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021). Selv om energitettheten til ammoniakk er lavere enn konvensjonelt drivstoff, finnes det likevel få alternativer til slike skip som har det samme potensialet som ammoniakk. DNV understreker at: «For skip som brukes over lange strekninger, og som typisk også er store og bruker mye drivstoff, er alternativene få. Ammoniakk er antatt å bidra med en vesentlig del av drivstofforbruket for slike skip» (DNV, personlig kommunikasjon, 2021).

Den lave energitettheten vil kunne direkte påvirke rekkevidden til et ammoniakkdrevet skip. Selv om energitettheten kan anses som en betydelig ulempe, så vil det være relevant å sammenligne ammoniakk opp mot andre lav- og nullutslippsløsninger. Ann Rigmor Nerheim, førsteamanuensis ved NTNU, er tydelig på dette og trekker frem at: «Ammoniakk har den fordelen med at det i volumetrisk energitetthet ligger mellom LNG og hydrogen» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). Så selv om rekkevidden til ammoniakk er noe dårligere enn LNG, er den fremdeles bedre enn hydrogen. Dette argumentet blir også støttet opp av DNV som viser til at: «En annen fordel med ammoniakk er rekkevidden i forhold til andre nullutslippsløsninger» (DNV, personlig kommunikasjon, 2021).

Infrastruktur

Noen av de større utfordringene ved å implementere ammoniakk som drivstoff til skip, blir tydeliggjort når man undersøker infrastrukturen. Det finnes flere ulike utfordringer knyttet til de ulike delprosessene av konseptet til en velfungerende infrastruktur. For å få dette til å fungere, behøver man en bærekraftig produksjonsside, distribusjonskjede og i tillegg en god nok tilgjengelighet. Derfor vil det være relevant å gjennomgå de overnevnte delprosessene for å kunne vurdere om utfordringene knyttet til infrastruktur er løsbare.

En utfordring med dagens ammoniakk er hvordan den blir produsert. For at ammoniakk skal være et karbonfritt alternativ må den klassifiseres som grønn. Dette vil være utfordrende basert på dagens situasjon, noe som også blir poengtert av Vilmar Æsøy: «Per i dag kommer mesteparten av hydrogen på markedet fra fossile energikilder, og sånn vil det være i lang tid frem til man får opp fornybar hydrogenproduksjon» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). Det er derfor nødvendig med en storstilt omstilling for å i det hele tatt kunne tilby den ønskelige mengden med grønn ammoniakk.

Den nødvendige mengden med ammoniakk er også noe som kan bli en utfordring. Hystad nevner et eksempel og forteller at: «Dersom vi skulle konvertert hele flåten til ammoniakkdrevne skip i dag, hadde vi trengt 2,3 millioner tonn ammoniakk hver dag. For å få dette til må vi triple eksisterende ammoniakkproduksjon i dag» (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021). Dersom nye ammoniakkdrevne skip blir utviklet og bygget så vil det derfor være naturlig å anta at etterspørselen til ammoniakk øker. Dette kan være svært positivt for de som produserer ammoniakk, og kan føre til økte ressurser hos produsentene som kan benyttes til innovasjon innen fremstillingsmetoder. Til slutt kan dette føre til billigere fremstilling av ammoniakk.

Den økte etterspørselen kan likevel forårsake en uønsket problemstilling rundt tilbudet av ammoniakk. I den sammenheng er det viktig å se på hva den største andelen av ammoniakk benyttes til i dag; gjødsel og matproduksjon. DNV understreker dette og fremhever at «Produksjonen av ammoniakk må derfor økes for at drivstoffbruk ikke skal komme i en konkurransesituasjon til matproduksjon» (DNV, personlig kommunikasjon, 2021). Det kan tyde på at det vil bli et behov for enorme mengder ammoniakk om det skal bli et velfungerende alternativt drivstoff.

På den andre siden har produksjonsprosessen til ammoniakk en stor fordel i forhold til andre karbonfrie drivstoff; skalerbarhet. For å kunne produsere grønn ammoniakk trenger man i prinsippet bare vann, luft og fornybar energi. Dette er en stor fordel og er noe som også blir fremhevet av Æsøy: «Det finnes mange steder i verden med tilgang på dette, der produksjonen av grønn ammoniakk til drivstoff for skip kan fokuseres» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). Det vil sannsynligvis være et behov for blant annet nye fabrikker for at infrastrukturen skal fungere, og da kan denne skalerbarheten være fordelaktig.

Behovet for økt produksjon av ammoniakk fører også til et økt behov for energi. Uansett om det er grå, blå eller grønn ammoniakk som skal produseres, så trenger man en gitt mengde med energi for at det skal kunne være mulig å produsere. Dette kan skape grobunn for noen problemstillinger og Kolbjørn Berge sier selv at: «Et problem som kan være utfordrende på produksjonssiden er at det går mye energi» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021). Det vil derfor være en betydelig kostnad tilknyttet energiforbruket. I tillegg er det en uheldig kombinasjon at virkningsgraden til ammoniakk ikke er så høy. Æsøy påpeker virkningsgraden og nevner et betydelig tap av den opprinnelige energimengden:

Dersom man ser på ammoniakk fra en fornybar kilde som en energibærer, så er virkningsgraden på hele prosessen veldig lav. Før man har kommet frem til skipet så har man tapt 80-90% av energimengden. (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021)

Ammoniakk kan dessuten være dyrere å produsere sammenlignet med andre karbonfrie drivstoff. Ser man på ammoniakk i forhold til hydrogen, så krever ammoniakk noen flere steg og investeringer for å bli produsert. I akkurat dette eksempelet mener likevel Vilmar Æsøy at de økte kostnadene kan forsvares:

Selv om man må bruke litt ekstra investeringer for å produsere ammoniakk med hydrogen som blir produsert ved hjelp av elektrolyse, så kan det lønne seg hvis man ser på hele energikjeden under ett, fordi at du har mindre kostnader ved lagring og transport, på grunn av blant annet temperatur og trykkforhold. (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021)

Etter at ammoniakken har blitt produsert, må den også bli distribuert på en hensiktsmessig og sikker måte. En betydelig fordel med ammoniakk er at det allerede blir fraktet store mengder i dag. Det finnes derfor allerede en form for infrastruktur som kan justeres og skaleres etter behov. Det vil derfor være naturlig å anta at ammoniakk allerede er i en bedre posisjon enn andre tilsvarende fornybare energibærere. Denne fordelene blir ytterligere fremhevet av Egil Hystad:

Det blir fraktet mye ammoniakk på båter hvert år. Det finnes allerede tanker, mannskap og båter som er vant til å håndtere stoffet på en sikker måte. Det finnes materialkunnskap, gassdetektorer og ventiler som kan håndtere ammoniakk, overføring fra tankanlegg, skip til skip og til land igjen. Veldig mye er på plass. (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021)

På den andre siden er det viktig å skille transport og forbrenning. Selv om man vet hvordan man skal få ammoniakken om bord, hvordan det skal lagres og hvordan det skal transporteres på en trygg måte, finnes det likevel begrenset kunnskap om forbrenning av ammoniakk. Dette er ny og uprøvd teknologi, og Berge presiserer at: «Vi har ikke dieselmotorer per i dag som kan gå på ammoniakk. De er i hvert fall ikke hyllevare, og det samme gjelder for brenselceller» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021). Klare regelverk og retningslinjer må derfor på plass for at et skip i denne infrastrukturen kan driftes på en trygg måte.

Når produksjonssiden og distribusjonsskjeden har blitt etablert, er det tilgjengeligheten som er det siste kritiske leddet i en velfungerende infrastruktur. Dersom et ammoniakkdrevet skip skal seile over lengre distanser og driftes som konvensjonelle skip, er det avhengig av nok fyllestasjoner. Å etablere en slik tilgjengelighet vil kunne ta tid og krever betydelige investeringer. Bruken av LNG som drivstoff er et godt eksempel på denne utfordringen:

I løpet av 20 år med LNG produksjon så er LNG likevel bare 0,4% av omsatt drivstoff i dag. Dekarboniseringstrenden der man går fra heavy fuel oil til noe som ikke har karbon i seg, kan ikke ha denne farten. Grunnen var ikke teknologien i forbrenningsmotoren, ikke energiutbytte eller pris, men tilgjengeligheten i en infrastruktur. (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021)

Tilgjengelighet til ammoniakk til sjøs er på den andre siden noe som blir undersøkt allerede i dag. ZEEDS sin visjon om hydrogen og ammoniakkdistribusjon til sjøs er en av flere mulige løsninger som vil kunne øke tilgjengeligheten til ammoniakk.

Flere elementer må derfor på plass for å sikre en god nok infrastruktur rundt ammoniakk. Det er en del faktorer som bør undersøkes og etableres, før et ammoniakkdrevet skip kan driftes som et konvensjonelt skip. Hystad påpeker:

Det kreves en industriell tilnærming på dette, så i stor skala på tvers av verdikjeder. Man må se på dette helt fra tilgjengelig primerenergi, for eksempel vannkraft, vindkraft, atomkraft eller naturgass, via produksjonsapparatet og via distribusjonsapparatet til de som skal ha det. (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021)

Helse, miljø og sikkerhet

En mulig utfordring knyttet til problemstillingen er hvorvidt sikkerheten vil kunne bli ivaretatt om bord et skip som benytter ammoniakk som drivstoff. HMS har potensial til å bli en utfordring, og det virker derfor naturlig å diskutere dette.

Sikkerheten til mannskapet om bord bør alltid prioriteres. For at brukerne skal kunne ha tillit til systemet, må et trygt og effektivt regelverk ligge til grunn før ammoniakk kan bli et alternativ som drivstoff. Vilmar Æsøy nevner blant annet at: «Det kreves god opplæring slik at mannskapet kan nok til å opptre sikkert, både ved håndtering av systemene og for å vite hva som skal gjøres dersom noe skjer» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). På den måten vil mannskapet kunne håndtere de fleste situasjonene dersom noe skulle skje.

Sikkerhetshåndboken om ammoniakk som et marint drivstoff utformet av DNV legger frem flere viktige punkt om hvordan stoffet bør håndteres. Mangelen på effektive sikkerhetsreguleringer for bruk av ammoniakk som drivstoff på skip blir stadig belyst. Ann Rigmor Nerheim understreker at: «Når det gjelder alle disse nye drivstoffene, så må man ikke glemme opplæringen» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). Æsøy mener også at det finnes utfordringer rundt dette, og poengterer at: «Når man går fra konvensjonell dieselolje til ammoniakk, så drar man med seg mange sikkerhetsmessige faktorer som må takles, både i form av system, opplæring og håndtering» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). Dette tyder på en klar sammenheng mellom opplæring av mannskap, utbedring av sikkerhetsreguleringer og sikkerhetsrutiner for å ivareta sikkerheten.

Den maritime industrien har erfaring med å transportere ammoniakk som last hos gasstankere, og i noen tilfeller har gassen blitt brukt som kjølemedium. Introduksjonen av

ammoniakk som drivstoff skaper likevel nye sikkerhetsutfordringer knyttet til bunkring, oppbevaring, tilførsel og forbruk hos de ulike skipstypene. Æsøy hevder at: «Vi har allerede i dag ammoniakk om bord på kjølesystem som lukket system. Lekkasje har skjedd og man har kunnskap og teknologi rundt dette» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021).

Tidligere erfaringer med lekkasjer gjør at man er bedre rustet til å iverksette tiltak for å forhindre utslipp. Samtidig kan dette gi indikasjon på at en lekkasje i praksis kan være uunngåelig, og vil kunne gjentas i fremtiden. Nerheim legger til at: «Det har vært lekkasjer, men det har gått bra, så det viser kanskje at sikkerhetsrutinene for så vidt har fungert» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). I praksis betyr dette at man har muligheten til å overføre erfaringer fra tidligere lekkasjer for å kvalitetssikre nyere system. Kolbjørn Berge nevner at: «Utslipp må håndteres dersom man får en hendelse, og det kan gjøres ved å ha en egen sone hvor man håndterer dette» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021). Dersom man vet hvordan man skal håndtere en lekkasje, og i tillegg har rutiner for dette, vil det være mulig å oppnå en god sikkerhetskultur.

Ammoniakk er som tidligere nevnt giftig og kan forårsake store konsekvenser for mennesker og omgivelser. På bakgrunn av dette er det viktig med riktig og tilstrekkelig verneutstyr. Nerheim forteller at: «Hvis man ser på historikken til ammoniakk så vet man at ammoniakk har blitt fraktet i bulk i mange år, og så vidt jeg vet så har det ikke vært noen store ulykker, men konsekvensene ved en ulykke er store. Økt bruk, med flere som skal håndtere drivstoffet, gir også økt risiko for uønskede hendelser» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). Selv om en ulykke har endt bra før, betyr det ikke nødvendigvis at det alltid vil gå like bra. Utslipp og eksponering i forbindelse med ammoniakk krever derfor gode sikkerhetstiltak og rutiner. Regelverk slik som IGF- og IGC-koden er derfor viktige å ta i bruk.

Nerheim snakker blant annet om de kjemiske egenskapene til ammoniakk, og vektlegger giftighetsgraden: «Men så er det det med giftigheten, det kommer man ikke rundt» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). Giftigheten til stoffet er helt klart et problem som må adresseres. Berge påpeker at: «På passasjerskip vil man merke ammoniakk før den når et giftig nivå. Det vil være ubehagelig og kan skape panikk» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021).

Tar man for seg de kjemiske egenskapene til ammoniakk, ser man at tiltak må bli etablert før ammoniakk kan tas i bruk som drivstoff. Sikkerhetsbarrierer med formål om å unngå lekkasjer og uhell om bord må tilrettelegges. Vilmar Æsøy nevner at: «Båten må designes på en måte som sørger for sikkerheten. Områder må være sikret slik at man har doble barrierer mellom mennesker og tanker, med tilstrekkelige gassdetektorer» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021).

Slike sikkerhetsbarrierer innebærer blant annet doble rørsystem med ventilasjon mellom rørene. Dersom systemet i tillegg er designet med inner- og ytterdører, vil muligheten for direkte kontakt mellom personell og ammoniakk ved en lekkasje, reduseres. Samtidig må man ikke glemme at ammoniakk har potensialet til å være en dødelig gass, og den underliggende faren for at noe kan gå galt vil være til stede.

Et annet spørsmål er om man klarer å betydelig redusere antennelsesrisikoen til ammoniakk. Gassen er mindre antennelig enn andre drivstoff, men man kan likevel ikke utelukke brannfaren. DNV trekker frem at: «DNV arbeider for tiden med utvikling av regelverk for å ivareta sikkerheten for skip som bruker ammoniakk som drivstoff. Dette skal ivareta både risiko knyttet til giftighet og brannfare» (DNV, personlig kommunikasjon, 2021). System for risikohåndteringen av disse faremomentene er under utvikling, og derfor kan den underliggende risikoen for brann og giftigheten til ammoniakk være et løsbart problem. Dessuten trenger ammoniakk 30 ganger så mye tenningsenergi som metan og 470 ganger så mye som hydrogen. Dette betyr at det kan være utfordrende å antenne gassen under normale forhold.

Drivkraft

Drivkraften til at teknologi rundt ammoniakk blir utviklet, er i stor grad for å redusere miljøutslipp. Kolbjørn Berge trekker frem at: «Vi hadde ikke vært så interessert i å se på ammoniakk om det ikke var mulig å gjøre den grønn» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021).

Det er tydelig at det grønne skiftet har ført til et behov for utvikling av nullutslippsløsninger. Den norske regjeringen jobber for at Norge skal være en ledende aktør innen den maritime industrien, og har i tillegg egne mål om å redusere utslipp av klimagasser. Vilmar Æsøy mener at: «Det er et ekstremt driv på å få til nullutslippsløsninger i Norge» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). Dette kan tyde på at klimautfordringene har blitt et sentralt tema

innen skipsfarten, spesielt når det kommer til nybygg. Støtteordninger slik som Enova og Innovasjon Norge har allerede tilrådt forskjellige prosjekter økonomisk støtte, for at utvikling av grønnere teknologi skal kunne være gjennomførbart. Støtten bidrar til insentiver, og kan være helt avgjørende for å minimere risikoen til virksomheter som satser på nye og potensielt kostbare prosjekt. Slike insentiver vil kunne muliggjøre utvikling og innovasjon innenfor bruken av ammoniakk som drivstoff.

Globale mål og klimaavtaler har vært en stor pådriver for utviklingen av pilotprosjekt innen grønn energi. FNs bærekraftsmål inneholder blant annet mål om å stanse klimaendringer, og tar for seg konsekvensene som klimagassene påfører miljøet. Ved spørsmål om ammoniakk kan fungere som et alternativt drivstoff til skip, svarer Æsøy: «Ammoniakk er et nullkarbondrivstoff, noe som er en fordel for å kunne nå utslippsmålene» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021).

Mye ligger til grunn for at man kan se på ammoniakk som et alternativt drivstoff, men likevel fremkommer det en del usikkerhet rundt løsningen. Ann Rigmor Nerheim forteller at: «Jeg var veldig skeptisk til ammoniakk før, men jeg tror ikke at man kommer utenom det. Det er viktig at det nå kommer noen pilotprosjekt, slik at man får testet det ut i praksis» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). Æsøy nevner det samme: «Den nære fremtiden vil forhåpentligvis bringe frem flere pilotprosjekt» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021).

Pilotprosjekt som ShipFC og ZEEDS vil kunne bidra til å redusere denne usikkerheten rundt ammoniakk. Gjennom slike prosjekter vil det være mulig å undersøke om et skip kan driftes uten utslipp av uønskede klimagasser over lengre distanser, og om ulike systemer og andre relevante momenter vil fungere i praksis. Dette kan ha stor betydning for teknologiutviklingen til ammoniakk.

Miljøet

Ved spørsmål om ammoniakk er løsningen på nullutslipp, svarer Nerheim: «Jeg tror ikke det er ett svar på hva som blir drivstoffet for fremtiden, det blir nok en mix» (Nerheim, personlig kommunikasjon, 2021). Hystad nevner også dette og forteller at: «Du kan kanskje ha batterier og elektromotorer på småbåter, hydrogen og brenselceller i mindre båter med mindre rekkevidde, men for de store effektene og lengdene vil kanskje ammoniakk være det praktiske drivstoffet» (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021).

For å nå målene er det sannsynligvis helt avgjørende med nye og grønnere drivstoffalternativ enn det industrien opererer med i dag. DNV påpeker at: «Klimamålene kan nok oppnås på mange måter, men vi klarer ikke dette med en tradisjonell fossil flåte» (DNV, personlig kommunikasjon, 2021). Likevel mener Vilmar Æsøy at det er en del som må på plass før dette kan være gjennomførbart: «Dersom vi skal klare å løse de globale utfordringene, må vi ha systemer og regelverk som er like for alle» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). Han understreker viktigheten til at kampen mot klimaendringer bør skje gjennom et globalt samarbeid, og ikke at en enkelt nasjon som eksempelvis Norge tar opp kampen alene. Samtidig mener Kolbjørn Berge at: «Vi må ha en ganske stor omvelting til lavutslippsløsninger nasjonalt, og man vil gjerne gå i den retningen internasjonalt også» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021). Dette kan tyde på at det bør være en balansegang i arbeidet som blir gjort nasjonalt og internasjonalt for at man skal kunne nå klimamålene.

DNV understreker ett av målene til IMO:

IMO har besluttet at CO₂ utslippsintensiteten av skip skal reduseres med 70% innen 2050. Deler av dette kan oppnås bl.a. med energieffektiviseringstiltak og redusert fart, men det vil være behov for alternative drivstoff med lavere utslipp for å nå målet. For skip som brukes over lange strekninger, og som typisk også er store og bruker mye drivstoff, er alternativene få. Ammoniakk er antatt å bidra med en vesentlig del av drivstofforbruket for slike skip. (DNV, personlig kommunikasjon, 2021)

Ønsker man å nå klimamålene, er det tydelig at alternative drivstoff vil være en del av løsningen. Berge forteller at: «For å nå de klimamålene som er satt så kan du ikke slow-steame deg ned til nullutslipp. Operasjonelle tiltak vil hjelpe, men vi må ha et drivstoffskifte, et skifte av energibærer for å oppnå målene som er satt» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021). Ammoniakk har potensialet til å være en viktig energibærer for den fremtidige skipsfarten.

Selv om grønn ammoniakk blir betegnet som et karbonfritt drivstoff, finnes det fremdeles utfordringer rundt utslipp. Egil Hystad nevner at: «Vi vet at i ammoniakkforbrenningen så vil det skje forskjellige ting, blant annet vil vi få ammoniakk ut, altså uforbrent ammoniakk. Det må vi håndtere. Vi vet også at vi vil få NO_x kanskje i samme størrelsesorden som i en dieselforbrenning» (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021). Som nevnt tidligere finnes

det likevel systemer for rensing av NO_x. Berge har også bekymringer rundt utslipp, og forteller at: «Dersom man har store lystgass-utslipp i forbrenningsprosessen, er det ikke sikkert at miljøgevinsten er der» (Berge, personlig kommunikasjon, 2021).

Teknologi

Mye må på plass før ammoniakk vil være klart. Æsøy presiserer at: «Det må utvikles teknologi, drivstoffsystemhåndtering og det er på ingen måte en moden teknologi. Ammoniakk er veldig tidlig i fasen og det gjenstår mye utviklingsarbeid» (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021). Fremtiden til ammoniakk avhenger av utfordringene som finnes i dag. Utvikling av ammoniakksystem er i gang, men dersom ammoniakk skal være et alternativt drivstoff, må teknologien være til stede.

DNV tror heller ikke at ammoniakk er modent, men nevner at:

Teknologien til å bruke ammoniakk som alternativt drivstoff i skip forventes å være modent om relativt få år. Motorteknologi, både for to-taktsmotorer og fire-taktsmotorer, er under utvikling hos de største motorleverandørene. Teknologi for å fjerne eventuelle lokale forurensninger fra motorene er også under utvikling. Samtidig er regelverk for å ivareta sikkerheten ombord også under utvikling. Dersom utviklingen går som forventet, vil det være mulig å bruke ammoniakk helt eller i blanding med andre drivstoff i skip innen utgangen av dette tiåret. (DNV, personlig kommunikasjon, 2021)

Det kommer frem at teknologien kan være klar i nær fremtid. Uten å vite helt sikkert når den vil være moden, tyder det på at utviklingen ikke vil begrenses i forhold til dette. Håndtering av drivstoffsystem må samtidig gjøres rede for, og Kolbjørn Berge er positiv til ammoniakk:

Du vet hvordan du skal ta det om bord, hva du skal lage tanken av, og hvordan du skal løse de fleste problemene. Det kommer snart regler fra klasseselskaper, og en håndbok som peker litt i retningen av ting. Mange ting ligger til rette. (Berge, personlig kommunikasjon, 2021)

Egil Hystad spesifiserer at: «Motorene vi vil konvertere til ammoniakk eksisterer allerede. Det handler ikke om å smi nye akslinger, stempler, topper eller å forandre dyser og kontrollsystemer» (Hystad, personlig kommunikasjon, 2021). Dette tyder på at motorene

ikke vil være en utfordring, men motorsystemet må kanskje likevel tilpasses for at de skal fungere med ammoniakk.

Mye ligger til rette for at ammoniakk skal kunne fungere som et drivstoff, og flere har positive tanker rundt fremtiden til ammoniakk. Likevel finnes det en betydelig risiko rundt utvikling og implementering av slike løsninger, og Vilmar Æsøy er bekymret for om Norge er for ivrige:

Jeg tror at faren nå er at Norge som springer først i denne køen, kan gå på en smell. Jeg er redd for at Norge går for fort frem og er for ivrige, og at de ikke tenker over at dette skal være bærekraftig både for miljø og kostnader. Løsningene koster, og når man skal konkurrere i et marked med alle, så må det på en måte være like konkurransevilkår. (Æsøy, personlig kommunikasjon, 2021)

Kapittel 5 Konklusjon

Formålet med oppgaven var å undersøke om ammoniakk kan fungere som drivstoff til skip i praksis, og hvilke utfordringer som finnes i den forbindelse. Mye tyder på at ammoniakk som drivstoff kan fungere i praksis, men det finnes utfordringer som bør løses på en forsvarlig måte. Gjennom relevant data, og innhentet informasjon fra intervju og litteratur, har gruppen kommet frem til følgende konklusjoner:

Energitettheten er en av utfordringene grunnet ammoniakks lave energiinnhold. Likevel er den høyere for ammoniakk enn hos andre utslippsfrie alternativ. Tiltak for å løse utfordringene med energitetthet kan være større tanker, fylling fra bunkringsstasjoner til sjøs eller bunkringsbåter. Det har også kommet frem gjennom arbeidet at drivstoffet ikke er like godt egnet for alle typer skip.

Infrastrukturen til ammoniakkproduksjon og distribusjon er en utfordring som må løses før ammoniakk kan anses som et godt alternativt drivstoff. I dag blir det produsert store mengder ammoniakk, hvor den største andelen blir kategorisert som grå, fremstilt ved hjelp av fossile energikilder. Ammoniakk bør kunne produseres på en grønn måte, og bør kunne distribueres og være tilgjengelig i stor skala. En slik velfungerende infrastruktur krever mye energi og store investeringer for å kunne bli en realitet. Det at fremstilling av ammoniakk er skalerbart uten store utfordringer vil være avgjørende for en slik omstilling.

Sikkerheten ved håndtering av stoffet vil i stor grad kunne løses, men giftigheten kan være en utfordring. Ammoniakk blir allerede fraktet til sjøs i dag, og det finnes prosedyrer og sikkerhetsrutiner rundt dette. Dersom det blir etablert gode regelverk, sikkerhetsbarrierer og sikkerhetsrutiner rundt systemene for ammoniakkdrevne skip, kan slike skip driftes på en sikker måte. Dette krever god opplæring av mannskap og økt kompetanse rundt egenskapene til stoffet for å forhindre uønskede hendelser som lekkasjer eller andre uønskede hendelser.

Drivkraften for å fremme ammoniakk som et alternativt drivstoff er for å redusere miljøutslipp. Globale mål og klimaavtaler er en drivkraft fordi man ikke kan nå klimamålene med en fossil flåte. Ammoniakk som drivstoff vil ikke alene føre til at klimamålene nås, men kan være en del av løsningen sammen med andre teknologier.

Teknologien rundt ammoniakk er ikke moden nok i dag for at det skal kunne konkurrere med fossilt brennstoff, men om få år er det sannsynlig at utviklingen av ammoniakk er god nok til at det kan benyttes som drivstoff. Mye er på plass for at det skal fungere, men det vil kreve både nasjonalt og internasjonalt arbeid.

Videre arbeid

Gjennom oppgaven har det kommet frem tema som er mulig å utdype med videre forskning. Forslag til videre arbeid rundt problemstillingene som ble funnet er blant annet:

- Beregning av kostnader knyttet til utvikling og produksjon av ammoniakkdrevne skip
- Redegjøre for volum og størrelsen på drivstofftanker som et ammoniakkdrevet skip krever, og om problemstillingen rundt den lave energitettheten til ammoniakk kan løses på denne måten.
- Undersøke om bunkringsstasjoner til sjøs kan implementeres i praksis, hvor de må plasseres og antallet som vil være nødvendig for å oppnå god nok infrastruktur.
- Undersøke skalerbarheten til grønn ammoniakk, energibehov og energitap ved produksjon.
- Utarbeide regelverk, sikkerhetsbarrierer og sikkerhetsrutiner til ammoniakkdrevne skip.

Referanser

Afework, B., Jenden, J., Stenhouse, K. & Donev, J., 2019. *Energy Education: Energy density vs power density*. [Internett]

Tilgjengelig på:

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_density_vs_power_density

[Funnet 25 April 2021].

Appl, M., 2011. *Wiley Online Library: Ammonia*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://doi.org/10.1002/14356007.a02_143.pub3

[Funnet 21 April 2021].

Aarnes, H., 2020a. *Universitetet i Oslo - Institutt for biovitenskap: Haber-Bosch og nitrogengjødsel*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/kjemi/haber.html>

[Funnet 21 April 2021].

Aarnes, H., 2020b. *Store norske leksikon: Ammoniumforgiftning*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/ammoniumforgiftning>

[Funnet 21 April 2021].

Banjaminen, C., 2019. *forskning.no: Dette må du vite om hydrogen*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://forskning.no/energi-fornybar-energi-klima/dette-ma-du-vite-om-hydrogen/1359513>

[Funnet 25 April 2021].

Bjørnå, F., 2020. *Store norske leksikon: Nitrogengjødsel*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/nitrogengjodsel>

[Funnet 21 April 2021].

Borch, J. O., 2016. *Fartøyledelse og kontroll av skipets drift*. 1. utgave red. Bergen: Fagbokforlaget.

Brohi, E. A., 2014. *Chalmers Open Digital Repository - Master's Thesis in Sustainable Energy Systems: Ammonia as fuel for internal combustion engines?*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/207145/1/207145.pdf>

[Funnet 21 April 2021].

Brudevoll, B. A. & Rabbevåg, F., 2021. *Store norske leksikon: Gasstanker*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/gasstanker>

[Funnet 21 April 2021].

Christensen, S. & Bratberg, E., 2018. *Store norske leksikon: Ensilering*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/ensilering>

[Funnet 21 April 2021].

Dalland, O., 2020. *Metode og oppgaveskriving*. 7 red. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.

Digitaliseringsdirektoratet, u.å.. *Digitaliseringsdirektoratet: Sikkerhetstiltak*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://internkontroll-infosikkerhet.difi.no/godt->

[vite/risikohandtering/sikkerhetstiltak](https://internkontroll-infosikkerhet.difi.no/godt-vite/risikohandtering/sikkerhetstiltak)

[Funnet 28 April 2021].

Dimitriou, P. & Javaid, R., 2020. *ScienceDirect: A review of ammonia as a compression ignition engine fuel*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.209>

[Funnet 21 April 2021].

DNV GL, 2015. *Kystverket.no: Sjøsikkerhetsanalysen 2014 - Miljøfarlig, radioaktiv og eksplosjonsfarlig last og drivstoff*. [Internett]

Tilgjengelig på:

https://www.kystverket.no/contentassets/f056df3c875140aa98ef49a25cc082c6/8_analyse-av-miljofarlig-radioaktiv-og-eksplosjonsfarlig-last-og-drivstoff-annet-enn-olje.pdf

[Funnet 4 Juni 2021].

Egge, H., 2020. *Sintef: Hva er egentlig grått, grønt, blått og turkis hydrogen?*. [Internett]

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

[Funnet 25 April 2021].

Eidesvik Offshore ASA, u.å.. *Eidesvik: Viking Energy with ammonia-driven fuel cell*.

[Internett]

Tilgjengelig på: <https://eidesvik.no/viking-energy-with-ammonia-driven-fuel-cell/>

[Funnet 21 April 2021].

Ellingsen, J., 2020. *Nordnorsk Rapport: Lanserer karbonfri energi fra Berlevåg innen 2025*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.nordnorskrapport.no/2020/11/lanserer-karbonfri-energi-fra-berlevag-innen-2025/>

[Funnet 21 April 2021].

Engineering Toolbox, 2003. *The Engineering Toolbox: Ammonia - Vapour Pressure at gas-liquid equilibrium*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://www.engineeringtoolbox.com/ammonia-pressure-temperature-d_361.html

[Funnet 27 April 2021].

Engineering ToolBox, 2008. *The Engineering Toolbox: Ammonia - Thermophysical Properties*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://www.engineeringtoolbox.com/ammonia-d_1413.html

[Funnet 21 April 2021].

Enova, u.å. a. *Enova: Om Enova*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.enova.no/om-enova/>

[Funnet 21 April 2021].

Enova, u.å. b. *Enova: Om Pilot-E*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.enova.no/pilot-e/om-pilot-e1/>

[Funnet 21 April 2021].

EPA, u.å.. *EPA: Aquatic Life Criteria - Ammonia*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-ammonia>

[Funnet 21 April 2021].

Equinor, 2020. *Equinor: The world's first carbon-free ammonia-fuelled supply vessel on the drawing board*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.equinor.com/en/news/2020-01-23-viking-energy.html>

[Funnet 21 April 2021].

FN-sambandet, 2021. *FNs bærekraftsmål*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>

[Funnet 28 April 2021].

FN-sambandet, u.å.. *FN-sambandet: Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO)*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.fn.no/om-fn/fns-organisasjoner-fond-og-programmer/den-internasjonale-sjoefartsorganisasjonen-imo>

[Funnet 21 April 2021].

Forskningsrådet, 2021. *Forskningsrådet: Kva gjer Forskningsrådet?*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.forskningsradet.no/om-forskningsradet/oppgaver-organisering/om-forskningsradet/>

[Funnet 21 April 2021].

Garvik, O., 2020. *Store norske leksikon: Innovasjon Norge*. [Internett]

Tilgjengelig på: [https://snl.no/Innovasjon Norge](https://snl.no/Innovasjon_Norge)

[Funnet 21 April 2021].

Grønt Skipsfartsprogram, u.å.. *Grønt Skipsfartsprogram: Sikkerhetsfokus i ny ammoniakk håndbok*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://grontskipsfartsprogram.no/nyhet/sikkerhetsfokus-i-ny-ammoniakk-handbok/>

[Funnet 21 April 2021].

Grønt Skipsfartsprogram, 2021. *Grønt Skipsfartsprogram: Ammonia as a marine fuel safety handbook*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2021/01/Ammonia-as-a-Marine-Fuel-Safety-Handbook.pdf?t=1612776920678>

[Funnet 21 April 2021].

Grieg Star, 2020. *Grieg and Wärtsilä to build groundbreaking green ammonia tanker*.

[Internett]

Tilgjengelig på: [https://www.griegstar.com/grieg-and-wartsila-to-build-groundbreaking-green-ammonia-tanker/?cn-](https://www.griegstar.com/grieg-and-wartsila-to-build-groundbreaking-green-ammonia-tanker/?cn-reloaded=1&fbclid=IwAR1L_TsXqQA4QWASZT4MFULiwqZw3zhPsj6rABclfcU6-3XvIkd5VMxcqhk&cn-reloaded=1&cn-reloaded=1)

[reloaded=1&fbclid=IwAR1L_TsXqQA4QWASZT4MFULiwqZw3zhPsj6rABclfcU6-3XvIkd5VMxcqhk&cn-reloaded=1&cn-reloaded=1](https://www.griegstar.com/grieg-and-wartsila-to-build-groundbreaking-green-ammonia-tanker/?cn-reloaded=1&fbclid=IwAR1L_TsXqQA4QWASZT4MFULiwqZw3zhPsj6rABclfcU6-3XvIkd5VMxcqhk&cn-reloaded=1&cn-reloaded=1)

[Funnet 21 April 2021].

Haldor Topsoe, 2020. *Haldor Topsoe: Ammonfuel - An industrial view of ammonia as a marine fuel*. [Internett]

Tilgjengelig på:

https://www.topsoe.com/hubfs/DOWNLOADS/DOWNLOADS%20-%20White%20papers/Ammonfuel%20Report%20Version%2009.9%20August%203_update.pdf

[Funnet 21 April 2021].

Helsenorge, 2019. *Helsenorge: Ammoniakkgass*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.helsenorge.no/giftinformasjon/giftige-gasser/ammoniakkgass/>

[Funnet 21 April 2021].

Hofstad, K., 2020a. *Store norske leksikon: Energibærer*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://snl.no/ammoniakk_-_energibærer

[Funnet 8 April 2021].

Hofstad, K., 2020b. *Store norske leksikon: Energikilder*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://snl.no/fornybare_energikilder

[Funnet 8 April 2021].

Holtebekk, T., Pedersen, B. & Haarberg, G. M., 2021. *Store norske leksikon: Brenselcelle*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/brenselcelle>

[Funnet 21 April 2021].

IMO, 2014. *IMO: Development of International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)*. [Internett]

Tilgjengelig på:

http://production.prestogo.com/fileroot7/gallery/dnvg1/files/original/3a9c8c40881146ffb63ec632781d238c/3a9c8c40881146ffb63ec632781d238c_low.pdf

[Funnet 21 April 2021].

IMO, u.å. a. *IMO: IMO action to reduce greenhouse gas emissions from international shipping*. [Internett]

Tilgjengelig på:

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/IMO%20ACTION%20TO%20REDUCE%20GHG%20EMISSIONS%20FROM%20INTERNATIONAL%20SHIPPING.pdf>

[Funnet 21 April 2021].

IMO, u.å. b. *IMO: International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. [Internett]

Tilgjengelig på: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\).-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS).-1974.aspx)

[Funnet 21 April 2021].

IMO, u.å. c. *IMO: IGC code*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGC-Code.aspx>

[Funnet 21 April 2021].

IMO, u.å. d. *IMO: International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGF-Code.aspx>

[Funnet 21 April 2021].

IMO, u.å. e. *IMO: Energy Efficiency Measures*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>

[Funnet 8 Juni 2021].

Innovasjon Norge, 2018. *Innovasjon Norge: Holder fisken kald med kjøleanlegg*.

[Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.innovasjon norge.no/no/om/nyheter/2018/holder-fisken-kald-med-kjoleanlegg/>

[Funnet 21 April 2021].

Innovasjon Norge, 2020. *Innovasjon Norge: Hva gjør vi?*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.innovasjon norge.no/no/om/hva-gjor-vi/kort-om-oss/>

[Funnet 21 April 2021].

International Renewable Energy Agency, 2019. *IRENA*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf)

[Funnet 8 April 2021].

Jakobsen, I. U., Kallbekken, S. & Lahn, B., 2021. *Store norske leksikon: Parisavtalen*.

[Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/Parisavtalen>

[Funnet 21 April 2021].

Kofstad, P. K. & Pedersen, B., 2021. *Store norske leksikon: Nitrogen*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/nitrogen>

[Funnet 21 April 2021].

Korean Register, 2021. *Safety4Sea: Report on Ammonia-Fueled Ships*. [Internett]

Tilgjengelig på: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/02/Korean-Register-Report-on-Ammonia-Fueled-Ships-](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/02/Korean-Register-Report-on-Ammonia-Fueled-Ships-2021-02.pdf?cfchljschltk=9e5e8823b46ca12b0129f24444e72ff0f393042e-1618997855-0-AbQOIVZtak3rp8WwK1Y2ivBehagNTpoWO_RziaWNftYd5NwfPplAd3H3ysD59ZkmYGnygusQ)

[2021-02.pdf? cf chl jschl tk =9e5e8823b46ca12b0129f24444e72ff0f393042e-1618997855-0-](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/02/Korean-Register-Report-on-Ammonia-Fueled-Ships-2021-02.pdf?cfchljschltk=9e5e8823b46ca12b0129f24444e72ff0f393042e-1618997855-0-AbQOIVZtak3rp8WwK1Y2ivBehagNTpoWO_RziaWNftYd5NwfPplAd3H3ysD59ZkmYGnygusQ)

[AbQOIVZtak3rp8WwK1Y2ivBehagNTpoWO_RziaWNftYd5NwfPplAd3H3ysD59ZkmY GnygusQ](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2021/02/Korean-Register-Report-on-Ammonia-Fueled-Ships-2021-02.pdf?cfchljschltk=9e5e8823b46ca12b0129f24444e72ff0f393042e-1618997855-0-AbQOIVZtak3rp8WwK1Y2ivBehagNTpoWO_RziaWNftYd5NwfPplAd3H3ysD59ZkmYGnygusQ)

[Funnet 21 April 2021].

Kuldeteknisk AS, u.å.. *Kuldeteknisk: Industrielle kjøle- og fryseanlegg med ammoniakk NH3*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.kuldeteknisk.no/produkter/industrielle-kjoele-og-fryseanlegg-med-ammoniakk-nh3/>

[Funnet 21 April 2021].

Kystverket, 2019. *Mer om: Hav og kyst*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/hav-og-kyst/skipstrafikk/>

[Funnet 18 April 2021].

Larsen, S. & Markussen, H. M., 2020. *Skipsrevyen: Eidesviks Offshore sin PSV «Viking Energy» blir verdens første utslippsfrie offshoreskip..* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.skipsrevyen.no/article/viking-energy-blir-foerste-skip-paa-ammoniakk/>

[Funnet 26 April 2021].

Lhuillier, C., Brequigny, P., Contino, F. & Mounaïm-Rousselle, C., 2019. *Performance and Emissions of an Ammonia-Fueled SI Engine with Hydrogen Enrichment*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02322439/document>

[Funnet 21 April 2021].

Linde, 2020. *Linde Gas: Sikkerhetsdatblad - Ammoniakk, vannfri*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://www.linde-gas.no/no/images/Ammoniakk_vannfri_R717_2.2_NO_tcm639-552178.pdf

[Funnet 21 April 2021].

Lovdata, 2006. *Lovdata: Forskrift om frakt av farlig last på lasteskip og lektere..*

[Internett]

Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2006-06-29-786>

[Funnet 21 April 2021].

Lovdata, 2020. *Lovdata: Forskrift om skip som bruker drivstoff med flammepunkt under 60 °C.* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-27-1883>

[Funnet 21 April 2021].

Lundberg, N. H. & Fiskaa, G. O., 2020. *Store norske leksikon: Oktantall.* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/oktantall>

[Funnet 21 April 2021].

Melhus, Ø., Haukebø, B., Reitan, D. R. & Sørheim, H., 2018. *NHO: Ammoniakkutslipp fra SCR-anlegg om bord i fartøy.* [Internett]

Tilgjengelig på:

<https://www.nho.no/contentassets/d36a66b7537e4599a907fa6acbdee586/ecoxy--oppdatert-nh3-utslipp-fra-scr-anlegg-ombord-i-fartoy.pdf>

[Funnet 21 April 2021].

Miljøstatus, 2020. *Miljøstatus: Lystgass (N₂O).* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/lystgass-n2o/>

[Funnet 21 April 2021].

Murray, A., 2020. *BBC: The foul-smelling fuel that could power big ships.* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.bbc.com/news/business-54511743>

[Funnet 28 April 2021].

NeRF, u.å.. *Netherlands Regulatory Framework : IGC-Code Int. Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (MSC.177(79)).*

[Internett]

Tilgjengelig på: https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_2389_14/7/

[Funnet 25 April 2021].

New York State, 2004. *New York State - Department of health: The Facts About Ammonia*. [Internett]

Tilgjengelig på:

https://www.health.ny.gov/environmental/emergency/chemical_terrorism/ammonia_tech.htm

[Funnet 21 April 2021].

NHO, u.å.. *NHO: Grønt skifte: Begreper du må kunne*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.nho.no/tema/energi-miljo-og-klima/artikler/gront-skifte-10-begreper-du-ma-kunne/>

[Funnet 21 April 2021].

Norad, 2015. *Norad: Bærekraftsmålene*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.norad.no/om-bistand/dette-er-fns-barekraftsmal/barekraftsmalene/>

[Funnet 21 April 2021].

Norsk klimastiftelse, 2020. *Norsk klimastiftelse: Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/06/NK_notat_3_2020_Ammoniakk_kan_kutte_store_utslipp_i_skip_sfart.pdf

[Funnet 26 April 2021].

Olerud, K. & Halleraker, J. H., 2020. *Store norske leksikon: Grønt skifte*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://snl.no/grønt_skifte

[Funnet 21 April 2021].

Oljeindustriens Landsforening, u.å.. *Norsk olje og gass: Moderne oljevernberedskap*. [Internett]

Tilgjengelig på:

<https://www.norskoljeoggass.no/contentassets/f85a786f558448748d7f99f81bde84dc/barrierer-mot-utslipp.pdf>

[Funnet 21 April 2021].

Pasman, H., 2015. *ScienceDirect: Risk Analysis and Control for Industrial Processes - Gas, Oil and Chemicals*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800057-1.00001-8>

[Funnet 2 Juni 2021].

Pedersen, B., 2018a. *Store norske leksikon: Ammoniakk*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/ammoniakk>

[Funnet 18 April 2021].

Pedersen, B., 2018b. *Store norske leksikon: NOx*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/NOx>

[Funnet 21 April 2021].

Pedersen, B., 2018c. *Store norske leksikon: Salmiakk*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/salmiakk>

[Funnet 9 Juni 2021].

Pedersen, B., 2020a. *Store norske leksikon: Haber-Bosch-metoden*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/Haber-Bosch-metoden>

[Funnet 25 April 2021].

Pedersen, B., 2020b. *Store norske leksikon: Katalysator*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/katalysator>

[Funnet 25 April 2021].

Regjeringen, 2019a. *Regjeringen: Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart*.

[Internett]

Tilgjengelig på:

<https://www.regjeringen.no/contentassets/2ccd2f4e14d44bc88c93ac4effe78b2f/handlingsplan-for-gronn-skipsfart.pdf>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, 2019b. *Regjeringen: Handlingsplan for grønn skipsfart*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/handlingsplan-for-gronn-skipsfart/id2660877/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, 2019c. *Regjeringen: Lanserer handlingsplan for grønn skipsfart*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/lanserer-handlingsplan-for-gronn-skipsfart/id2660885/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, 2020a. *Regjeringen: Det grønne skiftet i Norge*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/gront-skifte/id2076832/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, 2020b. *Regjeringen: Grønn, lønnsom skipsfart*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/gronn-lonnsom-skipsfart/id2790919/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, 2020c. *Regjeringen: Regjeringen varsler nye grep for å sikre grønn omstilling i skipsfarten*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-varsler-nye-grep-for-a-sikre-gronn-omstilling-i-skipsfarten/id2789609/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, 2020d. *Grønnere og smartere – morgendagens maritime næring*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-10-20202021/id2788786/>

[Funnet 28 April 2021].

Regjeringen, 2020e. *Regjeringen: Tildelingsbrev til Norges forskningsråd for 2020*.

[Internett]

Tilgjengelig på:

<https://www.regjeringen.no/contentassets/e0051d59fc4f48c1980a342fa18a1111/tidelingsbrev-norges-forskningsraad-2020.pdf>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, u.å. a. *Regjeringen*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/tema/fns-barekraftsmal/id2590133/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, u.å. b. *Regjeringen: Norges forskningsråd*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dep/kd/org/etater-og-virksomheter/underliggende-etater/norges-forskningsrad/id426571/>

[Funnet 21 April 2021].

Regjeringen, u.å. c. *Regjeringen: Enova*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dep/kld/organisasjon/etater-virksomheter/enova/id2599611/>

[Funnet 21 April 2021].

Sarsten, A. & Fiskaa, G. O., 2019. *Store norske leksikon: Forbrenningsmotor*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/forbrenningsmotor>

[Funnet 21 April 2021].

ShipFC, 2020. *ShipFC: About*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://shipfc.eu/about/>

[Funnet 21 April 2021].

Sjøfartsdirektoratet, 2013. *Sjøfartsdirektoratet: Læring av hendelser – amoniakklekkasje om bord*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.sdir.no/sjofart/ulykker-og-sikkerhet/undersokelse-av-ulykker/laring-av-hendelser/laring-av-hendelser-ammoniakklekkasje-om-bord/>

[Funnet 21 April 2021].

Sjøfartsdirektoratet, 2021. *Sjøfartsdirektoratet: Lanserer håndbok om ammoniakk som marint drivstoff*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.sdir.no/aktuelt/nyheter/lanserer-ny-handbok-om-ammoniakk-som-marint-drivstoff/>

[Funnet 21 April 2021].

Store norske leksikon, 2015. *Store norske leksikon: Ammoniumklorid*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/ammoniumklorid>

[Funnet 26 April 2021].

Store norske leksikon, 2018. *Store norske leksikon: Virkningsgrad*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/virkningsgrad>

[Funnet 26 April 2021].

Stranden, R. & Knut, R. A., 2018. *Store norske leksikon: Sikkerhet*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://snl.no/sikkerhet>

[Funnet 28 April 2021].

Sysco, u.å.. *Sysco - Ordbok: Enova*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://sysco.no/ordbok/enova/>

[Funnet 21 April 2021].

Tempra AS, 2019. *Tempra: Brannvesenet: Bytt ut kjøleanlegg som bruker ammoniakk*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://blogg.tempra.no/brannvesenet-bytt-ut-kjooleanlegg-som-bruker-ammoniakk/b/7108/>

[Funnet 21 April 2021].

The Royal Society, 2020. *The Royal Society: Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>

[Funnet 23 April 2021].

UNFCCC, u.å. a. *United Nations Framework Convention on Climate Change: The Paris Agreement*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

[Funnet 21 April 2021].

UNFCCC, u.å. b. *United Nations Framework Convention on Climate Change: Key aspects of the Paris Agreement*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/key-aspects-of-the-paris-agreement>

[Funnet 21 April 2021].

UngEnergi, 2021. *UngEnergi: Hydrogen*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://ungenergi.no/energibaerere/ovrige-energibaerere/hydrogen>

[Funnet 21 April 2021].

Valera-Medina, A. et al., 2018. *Sciencedirect: Ammonia for power*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.07.001>

[Funnet 21 April 2021].

Veltman, M. & Kong, D. S.-C., u.å.. *NH₃ Fuel Association: Developing Fuel Injection Strategies for Using Ammonia in Direct Injection Diesel Engines*. [Internett]

Tilgjengelig på: https://nh3fuelassociation.org/wp-content/uploads/2012/05/veltman_kong.pdf

[Funnet 27 April 2021].

Wärtsilä, 2019. *Wärtsilä: Building sustainable shipping with ZEEDS*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.wartsila.com/insights/article/building-sustainable-shipping-with-zeeds>

[Funnet 21 April 2021].

Wärtsilä, 2020. *Wärtsilä: Tester ammoniakk som fremtidens drivstoff*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.wartsila.com/nor/media/nyhet/25-03-2020-tester-ammoniakk-som-fremtidens-drivstoff>

[Funnet 26 April 2021].

Yara Norge AS, u.å.. *Yara - Gjødning - Miljø: Mineralgjødning og klimaavtrykk*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.yara.no/gjoedning/klima-og-miljo/mineralgjoedning-og-klimaavtrykk/>

[Funnet 21 April 2021].

Yusuf, B. et al., 2016. *ScienceDirect: Comparative life cycle assessment of various ammonia production methods*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.023>

[Funnet 21 April 2021].

ZEEDS, u.å.. *ZEEDS: Projects*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://zeedsinitiative.com/projects/>

[Funnet 21 April 2021].

Zhang, H. et al., 2020. *ScienceDirect: Techno-economic comparison of green ammonia production processes*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114135>

[Funnet 21 April 2021].

Zumdahl, S. S., 2015. *Britannica*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.britannica.com/science/ammonia>

[Funnet 18 April 2021].

Vedlegg 1 – Intervjuguide

Spørsmål:

1. Hvordan tror du ammoniakk vil fungere som drivstoff til skip? Hva er hovedutfordringene med ammoniakk som drivstoff til skip?
2. Hva er fordeler og ulemper med ammoniakk som drivstoff til skip?
3. Er teknologien rundt ammoniakk modent nok til å nyttes som alternativt drivstoff?
4. Hva er de største farene knyttet til håndtering av ammoniakk?
5. Hvilke tiltak må til for at det skal være trygt å arbeide på et skip som går på ammoniakk?
6. Hvordan tror du fremtiden ser ut for nullutslippsløsninger som ammoniakk

Vedlegg 2 – Samtykkeskjema

Vil du delta i bacheloroppgaven

«Ammoniakk som alternativt drivstoff til skip»

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et intervju hvor formålet er å undersøke hvorvidt ammoniakk kan nyttes som alternativt drivstoff til skip. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Formålet med intervjuet er å innhente informasjon som kan bidra til å gi oss nyttige synspunkt rundt oppgavens problemstillinger;

- Kan ammoniakk fungere som drivstoff til skip i praksis, og hvilke utfordringer finnes i den forbindelse?
- Hvor trygt er det å arbeide om bord et skip som benytter ammoniakk som drivstoff?
- Hvordan vil teknologien rundt ammoniakk utvikle seg i fremtiden?

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

NTNU Ålesund er ansvarlig for prosjektet. Veileder for oppgaven er «veileder», studieprogramleder for Nautikk Bsc.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Vi tror at din kompetanse vil være relevant for å gi oss nyttige synspunkt og argument som kan benyttes i oppgaven.

Hva innebærer det for deg å delta?

Hvis du velger å delta i oppgaven, innebærer det et kort intervju hvor vi stiller spørsmål som har blitt utsendt på forhånd. Dine svar blir notert og vil kunne benyttes som sitat i drøftingsdelen av oppgaven. Etter intervjuet vil relevant innhold bli sendt til deg for sitatsjekk, hvor du har mulighet til å endre eller fjerne sitatene. Intervjuet vil bli holdt på Teams, eller en annen passende plattform dersom Teams ikke er mulig.

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 skrevet. Relevante svar fra deg vil benyttes i oppgaven som sitat. Du bestemmer selv om du skal siteres som enkeltperson eller på vegne av din organisasjon.

Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?

Notater fra selve intervjuet vil bli slettet når prosjektet er avsluttet/levert, noe som etter planen er cirka juni 2021.

Dine rettigheter

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

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

Hvor kan jeg finne ut mer?

Hvis du har spørsmål til oppgaven, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Veileder
- Student 1
- Student 2
- Student 3

Med vennlig hilsen

Student 1, student 2, student 3

(Studenter)

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om oppgaven «*Ammoniakk som alternativt drivstoff til skip*», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til

- å delta i intervju
- at opplysninger fra meg publiseres slik at jeg eller organisasjonen kan gjenkjennes gjennom sitat i oppgaven

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

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

