



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Maskiningeniør

Vårsemesteret, 2022

Åpen

Forfatter: Ane Karine Naaden

*Ane Karine Naaden*

.....  
(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Hirpa G. Lemu, UiS

Veileder(e): Hirpa G. Lemu, UiS

Tittel på bacheloroppgaven:

Studie om Ammoniakk som energibærer på skip og offshoreinstallasjoner.

Engelsk tittel:

Study of Ammonia as energy carrier for ships and offshore installations.

Studiepoeng: 20 poeng. Essay i vitenskapsteori/etikk er inkludert.

Emneord:

Ammoniakk  
LNG  
Energibærer

Sidetall: 49

+ vedlegg/annet: 2

Stavanger, 15.05.2022

---

## Forord

Denne bacheloroppgaven ble skrevet vårsemestret 2022 ved Universitet i Stavanger (UiS) som avslutning på maskiningeniør studiet.

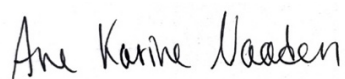
Med bakgrunn som maskinoffiser på skip ønsket jeg å skrive en oppgave om fremtidens drivstoff som kan redusere utslippene forbundet til skipsfarten. Det ble derfor valgt å se på ammoniakk og LNG som drivstoff. Bacheloroppgaven bruker litteraturstudie og spørreundersøkelse som forskningsmetode for å analysere hvilken av disse to som kunne egne seg best som energibærer ombord på skip og offshoreinstallasjoner.

Jeg vil benytte anledningen til å gi en stor takk til:

Hirpa G. Lemu for veiledning.

Deltakerne i spørreundersøkelsen.

Dato 15.05.22



Ane Karine Naaden

## Sammendrag

I denne bacheloroppgaven ble det sett på ammoniakk og LNG som energibærere til fartøyer og offshoreinstallasjoner som fremtidens drivstoff. Ammoniakk er under utprøving, mens LNG er allerede et etablert drivstoff. For å besvare problemstillingen; «*Er ammoniakk fremtidens drivstoff eller er det hensiktsmessig å utvide dagens bruk av LNG for å innfri målet om en grønnere skipsfart?*» ble det brukt litteraturstudie for innhenting av tilgjengelig informasjon om energibærerne. Det ble også sendt ut en spørreundersøkelse til norske rederier og operatørselskaper for å få svar på om det var interesse for ammoniakk og LNG som drivstoff. Spørreundersøkelsen tok også for seg hvilke faktorer som var nødvendig for å bytte ut tradisjonelt drivstoff som diesel med nye alternativ.

Det konkluderes med at ammoniakk ikke bør utelukkes som en av fremtidens energibærer, det til tross for en fortsatt lang vei å gå med tanke på teknologi, regelverk, sikkerhetsaspekter, infrastruktur og fremstilling av grønn ammoniakk. Det understrekes med at ammoniakk kan være helt utslippsfri avhengig av fremstillingsmetode i motsetning til LNG. Frem til ammoniakk er utprøvd og klar for markedet vil det kunne være hensiktsmessig å utvide bruken av LNG som drivstoff. Det kan igjen gjøre en overgang til ammoniakk enklere på grunn av fellesprinsipper innen teknisk anlegg, lagring og bunkring. For offshoreinstallasjoner vil det per dags dato ikke være lønnsomt med ammoniakk som drivstoff.

På grunn av begrenset respons på spørreundersøkelsen vil det ikke gi et representativt resultat. Likevel konkluderes det med at det er interesse for ammoniakk som energibærer fra både rederier og operatørselskaper med forbehold at sikkerhets- og helseaspekter ved håndtering løses, samt tilgjengelighet av grønn ammoniakk som drivstoff.

# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>II</b>
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>III</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>V</b>
<b>TABELL LISTE</b> .....	<b>VI</b>
<b>ORDFORKLARING</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUKSJON.....	1
1.2 PROBLEMSTILLING.....	2
1.3 BEGRENSNINGER.....	2
<b>2 METODE</b> .....	<b>3</b>
2.1 LITTERATURSTUDIE.....	3
2.2 SPØRREUNDERSØKELSE.....	3
2.3 VALG AV METODE.....	3
<b>3 GRUNNLAG TEORI OM AMMONIAKK OG LNG</b> .....	<b>4</b>
3.1 AMMONIAKK.....	4
3.2 FREMSTILLING AV AMMONIAKK.....	5
3.3 LNG.....	6
3.4 FREMSTILLING AV LNG.....	6
3.5 BRENSSELCELLE.....	7
3.6 PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC).....	8
3.7 ALKALINE FUEL CELL (AFC).....	8
3.8 SOLID OXIDE FUEL CELL (SOFC).....	8
3.9 FORBRENNINGSMOTOR.....	9
3.10 GASSTURBIN.....	11
3.11 LNG OFFSHOREINSTALLASJONER.....	12
<b>4 TILGANG OG TRANSPORT</b> .....	<b>13</b>
4.1 FRAKT OG LAGRING AV AMMONIAKK.....	13
4.2 FRAKT OG LAGRING AV LNG.....	15
<b>5 KOSTNAD</b> .....	<b>17</b>
5.1 PRODUKSJON OG DISTRIBUSJON.....	17
5.2 AVGIFTER.....	18
5.3 PRIS.....	18
5.4 FINANSIERING OG INTERESSE (TEKNOLOGI).....	19
<b>6 MILJØ OG SIKKERHET</b> .....	<b>20</b>
6.1 SIKKERHET, AMMONIAKK.....	20
6.2 BRANN, EKSPLOSJON.....	21
6.3 MILJØ, UTSLIPP.....	21
6.4 HELSE.....	22
6.5 SIKKERHET, LNG.....	23
6.6 BRANN, EKSPLOSJON.....	23
6.7 MILJØ, UTSLIPP.....	24
6.8 HELSE.....	24
<b>7 VIRKNINGSGRAD OG UTNYTTELSE</b> .....	<b>25</b>
<b>8 PÅGÅENDE PROSJEKTER MED BRUK AV AMMONIAKK</b> .....	<b>27</b>

8.1	COLOR FANTASY .....	27
8.2	VIKING ENERGY.....	28
8.3	MS GREEN AMMONIA .....	29
8.4	NS FREYJA, VIKING LADY OG OCEAN INFINITY OG ANDRE .....	30
<b>9</b>	<b>RESULTAT FRA SPØRREUNDERSØKELSE.....</b>	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>DRØFTING.....</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>41</b>
<b>12</b>	<b>FORSLAG TIL VIDERE FORSKING .....</b>	<b>42</b>
	<b>BIBLIOGRAFI .....</b>	<b>43</b>
	<b>VEDLEGG .....</b>	<b>49</b>

## Figurliste

Figur 3-1. Kjemiskforbindelse for NH <sub>3</sub> , ammoniakk .....	4
Figur 3-2. Brenselcelle (inspirert av [32]) .....	7
Figur 3-3. Dual Fuel gass motor [41].....	10
Figur 3-4. Offshoreinstallasjon Statfjord C [49] .....	12
Figur 4-1. Illustrasjon av LNG tankskip [3] .....	15
Figur 4-2. Design former av LNG tank, prismeformet (v) og rundformet (h) [3] .....	15
Figur 4-3. LNG bunkring (inspirert av tilsvarende system på plattform forsyningskip) .....	16
Figur 5-1. Fremstilling av grønn ammoniakk .....	17
Figur 5-2. Fremstilling av LNG.....	18
Figur 5-3. Zeeds konsepts skisse [68] .....	19
Figur 6-1. Stress Corrosion Cracking (SCC).....	20
Figur 6-2. Stress Corrosion Crack (SCC) fra ammoniakk tank [2] .....	20
Figur 7-1. Illustrasjon av avstanden fra Tananger til Johan Sverdrup.....	25
Figur 8-1. Color Fantasy [80] .....	27
Figur 8-2. Viking Energy [83].....	28
Figur 8-3. Illustrasjon av fartøyet MS Green Ammonia [87].....	29
Figur 8-4. Illustrasjon av NYK Line Ammoniakk drevet taubåt [59] og AFAGC [1] .....	30
Figur 9-1. Bardigram for respons spørsmål 1 .....	31
Figur 9-2. Bardigram for respons spørsmål 2 .....	32
Figur 9-3. Bardigram for respons tilleggs spørsmål til spørsmål 2.....	32
Figur 9-4. Bardigram for respons spørsmål 3 .....	33
Figur 9-5. Bardigram for respons spørsmål 4 .....	34
Figur 9-6. Bardigram for respons spørsmål 5 .....	35
Figur 9-7. Bardigram for respons spørsmål 6 .....	36

## Tabell liste

Tabell 1. Karakterisk data til energibærere .....	4
Tabell 2. Pristabell drivstoff.....	18
Tabell 3. Konstruksjonsmaterialer ammoniakk (data hentet fra [18]) .....	20
Tabell 4. Faremoment ammoniakk (data hentet fra [18]).....	22
Tabell 5. Ammoniakk eksponering (data hentet fra [18]) .....	22
Tabell 6. Faremomenter LNG (data hentet fra [3, 74]).....	24
Tabell 7. Virkningsgrad av kraftkilder .....	26
Tabell 8. Egenskaper til ammoniakk og LNG (data hentet fra [26]).....	38

## Ordforklaring

AFAGC	Ammonia fuel ammonia gas carrier
AFC	Alkaline Fuel Cell
BLEVE	Boling Liquid Evaporating Vapour Explosions
CO <sub>2</sub>	Kjemisk formel, karbondioksid
DAFC	Direct Ammonia Fuel Cell, Direkte ammoniakk Brenselcelle
DF	Dual Fuel
DP	Dynamisk Posisjonering
HFO	Heavy Fuel Oil
IDAFC	Indirect Ammonia Fuel Cell, indirekte ammoniakk Brenselcelle
IGC	International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk/ Den internasjonale gass-skipskoden
IGF	International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels
IMO	International Maritime Organization, Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen.
ISO	Internasjonale standardiserings organisasjonen
LFO	Light Fuel Oil
LNG	Liquefied Natural Gas, flytende naturgass.
LPG	Liquefied Petroleum Gas, flytende petroleumsgass
MARPOL	The International Convention for the Prevention of Pollution from ships
NH <sub>3</sub>	Kjemisk formel, ammoniakk
NO <sub>x</sub>	Kjemisk formel, nitrogenoksid
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PPM	Parts Per Million
SCC	Stress Corrosion Cracks
SCR	Selective Catalytic Reduction
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
SO <sub>x</sub>	Kjemisk formel, svoveloksid
Zeeds	Zero Emission Distribution at Sea



# 1 Innledning

## 1.1 Introduksjon

Skipsfarten i dag står for rundt 80 prosent av verdens varefrakt [4]. Majoriteten av skip og offshoreinstallasjoner benytter petroleumsprodukter til produksjon av energi og fremdrift. De er avhengig av å ha et drivstoff som egner seg til jevn operasjon over tid, som trygt og effektivt kan lagres ombord for å kunne være selvforsynt. Bruken av petroleumsprodukter til kraftproduksjon medfører at skipsfarten står for 3% CO<sub>2</sub> -, 15% NO<sub>x</sub> - og 5-8% av SO<sub>x</sub> utslippene i verden [5]. Dette er gasser som oppstår ved forbrenning av fossilt drivstoff og er helseskadelig for mennesker og dyr, samt øker den globale oppvarmingen [6].

FNs sjøfartsorganisasjon IMO regulerer og kontrollerer forurensende utslipp fra skipsfarten via den internasjonale konvensjonen MARPOL. IMO setter også krav til energieffektivitet for eksisterende og nye skip, noe som også medfører reduksjon i drivstoffrelaterte utslipp. Det jobbes kontinuerlig med utvikling av teknologi for å begrense utslipp fra skipsfarten, og i dag finnes det eksosrensemetoder for å redusere utslipp [6]. IMO har som mål å kutte CO<sub>2</sub> utslippene til skipsfarten med 40% innen år 2030 og 70% innen 2050 [7]. Dette for å nå målet i Parisavtalen som omhandler en begrensning i global oppvarming der den globale gjennomsnittstemperaturen på jordkloden ikke skal overstige 2°C ved slutten av århundret [8].

Det er ikke bare IMO som krever forandring i dagens forurensende flåte. Norske oljeselskaper setter også krav til befrakter som konkurrerer om kontraktene. Dermed tvinges rederiene til oppgradering av miljøvennlige løsninger, blant annet installasjon av batteripakker, bruk av LNG og nå i det siste også brenselceller med ammoniakk [9, 10].

Teknologien for en grønnere skipsfart er under kontinuerlig utvikling. I dag finnes klimavennlige løsninger som gjør det mulig å ha fartøyer som ferger, servicebåter til oppdrettsnæringen og offshore forsyningskip på batteri, hydrogen, biogass og LNG som hybriddrift. Et eksempel på dette kan være reduksjon i forbruk av drivstoff på 30% for offshore forsyningskip ved bruk av batteripakke i operasjoner der en bruker dynamisk posisjonering (DP). Fartøyene går korte avstander med gode muligheter til ladning og bunkring. Store fartøyer som går lange avstander, har behov for drivstoff med høy energitetthet som kan lagres. Fartøyene har ikke samme mulighet til å lade og bunkre, dermed vil batteridrift og hydrogen ikke egne seg [10-13].

I denne oppgaven skal det ses nærmere på ammoniakk og LNG som energibærere til skipsfarten. LNG er et alternativt, miljøvennlig drivstoff som allerede er i bruk og reduserer utslippene på mange fartøyer. De siste årene har det blitt rettet mye oppmerksomhet rundt bruken av ammoniakk, der dette beskrives som et av fremtidens drivstoff som kan gi liten eller helt utslippsfri drift [11].

## 1.2 Problemstilling

For å kunne erstatte tradisjonelt fossilt drivstoff og derved redusere forurensing og oppnå klimamålene fra skipsfarten blir det i denne oppgaven sett på hva som egnet seg best som energibærer av ammoniakk og LNG. LNG som drivstoff er en kjent og utprøvd teknologi som brukes på fartøyer i dag, mens ammoniakk fremdeles er på forskningsstadiet. Oppgavens problemstilling er som følger; «*Er ammoniakk fremtidens drivstoff eller er det hensiktsmessig å utvide dagens bruk av LNG for å innfri målet om en grønnere skipsfart?*». Oppgaven besvares med litteraturstudie og supplerende spørreundersøkelse som metode. Problemstillingen vil i hovedsak ta for seg skipsfarten, samt flyttbare- og faste offshoreinstallasjoner hvor dette er formålstjenlig.

## 1.3 Begrensninger

Denne oppgaven ble begrenset av tid og tilgjengelig informasjon. Ammoniakk er i forskningsstadiet og er fremdeles lite utprøvd i skipsnæringen. Oppgaven baserer seg derfor på dagens tilgjengelige informasjonsgrunnlag. Som en del av dette studiet er det utført en spørreundersøkelse som er utsendt til og besvart av norske rederier og operatørselskaper. Undersøkelsens validitet begrenses av antall deltakere og respons.

## 2 Metode

### 2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie er en teoretisk oppgave som bygger på innsamlet informasjon fra bøker, artikler og andre fagkilder. Den innsamlende teorien skal kilde kritiseres for å vurdere gyldigheten, troverdighet og relevans til tema. Videre skal teorien analyseres, sammenlignes og drøftes for å kunne gi svar på oppgavens problemstilling [14].

For å besvare forskningsspørsmålet til denne bacheloroppgaven ble litteraturstudie valgt som hovedmetode. Skrive en systematisk tekst med oversikt over ammoniakk og LNG som energibærere og til slutt analysere teorien for å besvare forskningsspørsmålet.

### 2.2 Spørreundersøkelse

Som supplerende metode ble det brukt en spørreundersøkelse. Spørreundersøkelsen er en av de mest brukte datainnsamlingsmetodene. Det skilles i hovedsak mellom kvantitativ- og kvalitativ metode. Kvantitativ metode bruker tall, statistikk og anvender innsamlet informasjon til statistiske fremstillinger i figurerer, tabeller og grafisk fremstilling. Spørsmålene stilles til ett utvalg personer eller bedrifter, ofte med faste svaralternativer. Kvalitativ metode bruker meninger, erfaring og forståelse [14, 15].

Forskningsetikk setter krav til at data skal oppbevares og behandles på en sikker måte, slik at uvedkommende ikke skal få kjennskap til de enkeltes svar. Etter personopplysningsloven skal deltakerne samtykke til å delta i undersøkelsen på grunnlag av kjennskap til undersøkelsens formål. Samtidig skal som resultatene publiseres på en måte som bevarer deltakerens anonymitet og innhentet informasjon skal destrueres etter utført forskning.

Kravene til forskningsetikk og personopplysningsloven er ivaretatt under arbeidet og all innhentet informasjon blir destruert etter innlevert oppgave.

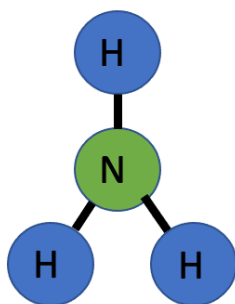
### 2.3 Valg av metode

For å innhente opplysninger om norske rederier og operatørselskap vil ha fordel av å bytte drivstofftype fra tradisjonell diesel til ammoniakk eller LNG, og eventuelt hva som skal til for å gjennomføre en slik endring ble det gjennomført en spørreundersøkelse. Det ble benyttet en blanding av kvantitativ- og kvalitativ forskningsmetode. En kvantitativ del bestående av et standardisert spørreskjema med avkrysningsalternativer, og en kvalitativ del med en valgfrie kommentarbokser der deltakeren kunne gi sin mening, erfaring og kommentere for å gi dybde og forståelse. Se vedlagt spørreundersøkelse i vedlegg 1.

### 3 Grunnlag teori om Ammoniakk og LNG

#### 3.1 Ammoniakk

Ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ), beskrives som fremtidens drivstoff [11]. Den kjennetegnes av en stikkende lukt og er fargeløs. Ammoniakk består av et nitrogenatom og tre hydrogenatomer, som vist i Figur 3-1. Aggregattilstanden for ammoniakk er gass under normalt trykk og temperaturer, men kan gjøres flytende ved hjelp av kondensasjon. Dermed kan den fylles på lagringstanker [13, 16]. Kokepunktet for ammoniakk er  $-33,4^\circ\text{C}$  med tetthet 0,61 tonn per kubikk meter. Frysepunktet er  $-77^\circ\text{C}$  [16-18].



Figur 3-1. Kjemiskforbindelse for  $\text{NH}_3$ , ammoniakk

Sammenlignet med flytende hydrogen inneholder ammoniakk mer hydrogen i forhold til volum. Det vil si at en liter flytende ammoniakk inneholder mer hydrogen enn en liter flytende hydrogen, noe som betyr at ammoniakk dermed har et høyere energiinnhold. Imidlertid kreves det tre ganger større volumet av ammoniakk enn for tradisjonelt fossilt drivstoff diesel, som vist i Tabell 1 [2, 13]. Ammoniakk krever mindre nedkjøling for å holdes flytende sammenlignet med hydrogen ( $-253^\circ\text{C}$ ) [13, 19].

Tabell 1. Karakterisk data til energibærere

Energibærer	Energitetthet (MJ/liter)	Tetthet ved kokepunkt ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	Kilde
Diesel	36,2	0,845	[13]
LNG (metan)	22	0,43	[20]
Ammoniakk	12,7	0,68	[13]

Ammoniakk er karbonfritt og vil derfor ikke frigjøre  $\text{CO}_2$  under forbrenning. Dette gjør ammoniakk aktuell som energibærer til «det grønne skiftet». Ved forbrenning vil det imidlertid dannes giftig  $\text{NO}_x$  gass.  $\text{NO}_x$  gass kan imidlertid fjernes helt i brenselcelle, eller reduseres ved Selective Catalytic Reduction teknologi (SCR) i en forbrenningsmotor [2, 11, 13, 21].

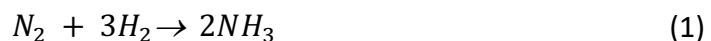
Ammoniakk er i tillegg svært korrosivt og giftig. Derfor må det håndteres med gode sikkerhetsrutiner og prosedyrer [13]. Ammoniakk transporteres i dag på tankfartøyer og brukes for det meste i husholdningsartikler som vaskemidler og gjødsel til jordbruk [16].

### 3.2 Fremstilling av ammoniakk

Til tross for karbonfri forbrenning av ammoniakk, er selve fremstillingen avgjørende for om det blir dannet CO<sub>2</sub>, og om denne frigjøres. Det skilles mellom de tre ammoniakktyper: grå, blå og grønn [13]. «Hofstad» [13] beskriver fremstilling av ammoniakk fra naturgass der CO<sub>2</sub> frigjøres, også kalt grå ammoniakk. Blå ammoniakk reduserer utslipp av CO<sub>2</sub>, ved bruk av karbonfangst og lagring, mens fremstillingen av grønn ammoniakk gjøres helt uten dannelse av CO<sub>2</sub>, ved bruk av fornybar energi til produksjonen av hydrogen [11, 13, 22].

Ammoniakk fremstilles hovedsakelig av naturgass med Haber Bosch-metoden (se formel 1). Haber Bosch-metoden er en termokjemisk, energikrevende prosess, som ofte bruker fossilt drivstoff som energikilde. Metoden bruker dampreforming som utvinner hydrogen fra hydrogenkarbonene i naturgass. Hydrogenet reagerer med nitrogenet i luften, ved temperaturer på 350-600°C og trykk på 100-450 bar. En katalysator blir brukt for å øke reaksjonsfarten i prosessen. Til slutt blir gassen nedkjølt til væske. Resterende nitrogen og hydrogen som ikke har reagert blir resirkulert tilbake i prosessen [2, 13, 16, 18].

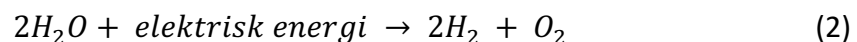
*Formel 1 angir reaksjonslikning for Haber Bosch metoden.*



Under produksjon vil karbon frigjøres i form av CO<sub>2</sub> fra naturgass. For å minimere utslipp av CO<sub>2</sub> kan det brukes karbonfangst og lagring. Karbonfangst og lagring eller CO<sub>2</sub> håndtering, betyr at CO<sub>2</sub> blir rensset fra gasstrømmen og permanent lagret ved å injisere den i geologiske formasjoner og dermed unngår en frigjøring til atmosfæren.

Produksjon av grønn ammoniakk bruker derimot fornybar energi til utvinning av hydrogenet som behøves. Fremstilling av hydrogen med elektrolyse av vann er energikrevende og bruker elektrisitet for spalting av vann til hydrogen og oksygen. Prosessen er kostbar og anses ikke som lønnsom [11, 13, 18, 19, 23, 24].

*Formel 2 angir reaksjonsligning for elektrolyse.*



### 3.3 LNG

LNG er flytende naturgass som finnes i rene gassfelt eller som biprodukt fra oljefelt. Gassen er fargeløs, luktfri og består hovedsakelig av metan. LNG inneholder også hydrogensulfid, karbondioksid, nitrogen og tyngre hydrokarboner som propan, butan og etan. LNG sin aggregattilstand er gass under normalt trykk og temperatur, og kan gjøres flytende ved kondensasjon,  $-161,4^{\circ}\text{C}$ . Tettheten for LNG er rundt 0,43 tonn per kubikkmeter. Flytende aggregattilstand reduseres volumet 600 ganger. LNG har lavere energiinnhold i forhold til fossile drivstoff, men er mer miljøvennlig ved at den har mindre utslipp av skadelige avgasser [3, 20, 25, 26].

Sammenlignet med ammoniakk er ikke LNG korrosivt eller giftig, men den er antennelig ved riktig konsentrasjon i forhold til luft og kan føre til kvelning i lukkede områder med dårlig ventilasjon [3].

Fordelen med LNG er at den er flytende og lett å lagre så lenge den blir avkjølt, og dermed enkel å transportere. Dette gjør at det kan fraktes LNG på skip over store avstander. LNG transporteres i dag som flytende gass i spesialbygde LNG skip eller gjennom undersjøiske rørledninger fra gassfelt til gassterminaler. LNG brukes som energibærer for generering av elektrisitet og til oppvarming i gasskraftverk, boliger, industri og råstoff for petrokjemisk produksjon av metanol og ammoniakk. Bruken av gass som kraftproduksjon er regnet som miljøvennlig og bidrar til reduksjon av klimagassutslipp i forhold til tilgjengelige alternativer [20, 27, 28].

LNG brukes også som drivstoff i kompresjonstennings motorer, gnisttennings motorer og i gasturbiner på fartøyer og på offshoreinstallasjoner. Med lavt svovelinnhold og ved fullstendig forbrenning er avgassene primært  $\text{CO}_2$  og vanndamp. Bruken av LNG reduserer utslippene av  $\text{NO}_x$  med 80 til 90%,  $\text{CO}_2$  med 30% og  $\text{SO}_x$  med opptil 100%. En får et høyt energiutbytte og et lavt utslipp sammenlignet med olje og kull [28, 29].

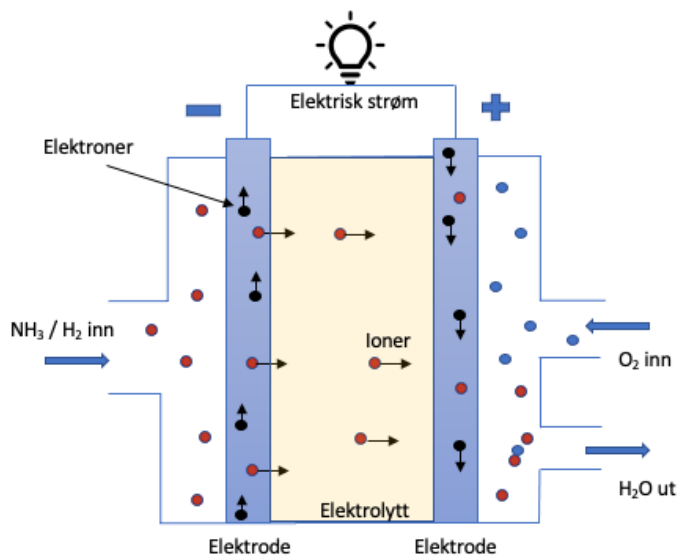
### 3.4 Fremstilling av LNG

Etter mottak på terminal blir naturgassen stabilisert og renses for fjerning av vann, karbondioksid og hydrogensulfid. Gassen består hovedsakelig av metan med noen tyngre hydrokarboner. Blandingsforholdet til gassen varierer etter gassfeltenes naturlige egenskaper. Etter endt prosessering kondenseres gassen til flytende aggregattilstand, før den lagres og eksporteres til forbruker [20, 28, 30].

### 3.5 Brenselcelle

Brenselceller omdanner kjemisk energi direkte til elektrisk energi, med en virkningsgrad fra 50% til 75% med små til ingen utslipp av drivhusgasser. Det vil si fravær av karbondioksid, og marginalt med nitrogenoksid [31, 32]. På lik linje med petroleumsforbrenningsmotorer er også brenselcellen avhengig av effektiv varmeveksling for å opprettholde virkningsgraden [32].

Brenselceller består av to elektroder, en anode og en katode nedsenket i en elektrolytt. Brenselcellen blir kontinuerlig tilført drivstoff og elektrodereaksjoner produserer elektrisk energi. Til slutt tilføres oksygen som reagerer og danner vann som vist i Figur 3-2. Den har lett vekt og liten størrelse [32, 33].



Figur 3-2. Brenselcelle (inspirert av [32])

Brenselceller på ammoniakk deles inn i to kategorier, direkte og indirekte. Direkte ammoniakk brenselcelle (DAFC) bruker ammoniakk som brensel. I motsetning bruker indirekte ammoniakk brenselcellen (IDAF) ammoniakken som kilde til hydrogen. Den behøver derfor en ekstern unit som spalter og renser ammoniakken før hydrogenet tilføres brenselcellen [34]. Brenselcellene kan også deles inn i lav og høytemperatur brenselceller. Lavtemperatur brenselceller er Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), alkaliske brenselcelle (AFC) og høytemperatur brenselcelle er Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) [11].

### 3.6 Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)

PEM brenselcelle er IDAFC og krever rent hydrogen som brensel. Det betyr at ammoniakken må spaltes til hydrogen og nitrogen for å brukes. Ammoniakken må være tilnærmet helt dekomponert (>99,5%) for å kunne brukes i brenselcellen. Prosessen for å spalte ammoniakk krever store mengder energi for å oppnå reaksjonstemperatur (520 til 690°C). Normal driftstemperatur er på 60 til 90°C. Virkningsgraden anslås til å være 40-48%. Brenselceller er tidligere brukt i biler, busser og ubåter [2, 11, 18, 33].

Ulempen med PEMFC er dens sensitivitet til gjenværende ammoniakkrester i hydrogenet. Så lite som 1 ppm vil være skadelig, noe som vil redusere virkningsgraden og levetiden til brenselcellen [2]. Samtidig vil virkningsgraden reduseres betraktelig under spalting av ammoniakk. Brenselcellen vil dermed bruke ekstra brensel for å oppnå temperaturen som kreves for å spalte, noe som igjen er mye høyere enn driftstemperaturen [11, 18].

### 3.7 Alkaline fuel cell (AFC)

Alkaliske brenselceller (AFC) kan være både indirekte eller direkte.

Indirekte AFC bruker ammoniakk som et hydrogenlager og spaltes ammoniakken i likhet med PEMFC i en egen enhet før cellen. Direkte alkalisk brenselcelle bruker ammoniakk direkte uten å spalte den først [34].

AFC opererer med lav temperatur på rundt 50 til 200°C [33]. I forhold til PEMFC håndterer AFC ammoniakkrester og det stilles derfor ikke like strenge krav til rensing. Dette gjør AFC mer egnet til bruk av ammoniakk som brensel [2]. Brenselcellen vil også være rimeligere enn PEMFC teknologien [18]. Virkningsgraden til AFC anslås til å være 40 til 45% [33].

### 3.8 Solid Oxide fuel cell (SOFC)

Solid oksid brenselcelle (SOFC) bruker ammoniakk direkte, uten spalting og rensing av ammoniakken. Driftstemperaturen varierer mellom 700 til 1000°C. Sammenlignet med PEMFC og AFC har en SOFC høy virkningsgrad (50-55%) [2, 33], noe som viser at ammoniakk har et stort potensiale som kilde til kraftproduksjon [2].



### 3.9 Forbrenningsmotor

En forbrenningsmotor omdanner drivstoffets varmeenergi fra forbrenningen inne i motorsylinderen til mekanisk energi ved å bevege et stempel, som igjen driver rundt en aksling. Akslingen kan drive rundt en propell eller produserer elektrisk energi med en generator. Den elektriske energien dannet i generatoren driver så en elektromotor som gir fremdrift til propeller på fartøyet. Drift som dette kalles for diesel elektrisk, prinsippet vil være det samme ved bruk av andre energibærere som LNG og ammoniakk. På fartøyer brukes både to-taks og fire-takts forbrenningsmotorer [35, 36].

Forbrenningen foregår ved at ren luft kommer inn i sylinderen, for å så komprimeres av stempelet. Det høye kompresjonstrykket fører til at drivstoffet selvantennes når det blir innsprøytet i sylinder. Forbrenningen i sylinderen skyver så ned stempelet og danner mekanisk energi. Avgassene fra forbrenningen blir ventilert ut av sylinderen, så gjentas stegene på ny. For drivstoff med lav selvanntenningsgrad kreves det en ekstern antenne kilde som tennplugg eller pilotinnsprøytning av et drivstoff med høyere selvanntenningsgrad. Forskjellen mellom to-takts og fire-takts forbrenningsmotor er taktene. En takt eller et stempelslag er når stempelet går fra øvre til nedre dødpunkt [35, 36].

Ammoniakk:

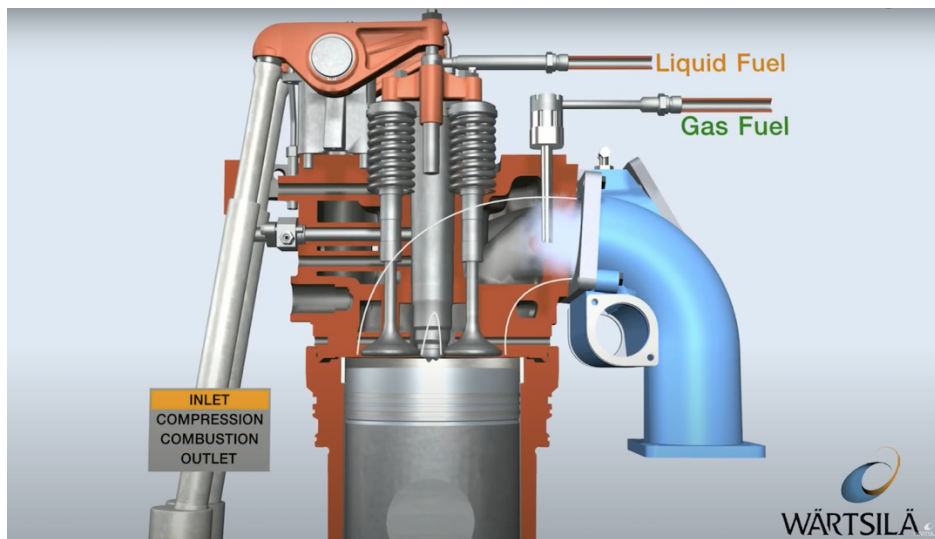
Ammoniakk kan benyttes flytenende eller som gass i en forbrenningsmotor. Det kommer frem i analyser at motoren operer best ved at ammoniakk blandes sammen med andre drivstoffer. Dette er på grunn av ammoniakks lave flammepunkt og dårlige selvanntenneseegenskaper (650°C). Det høye oktan innholdet i ammoniakken ved blanding kan også forbedre forbrenningen. Samtidig viser det seg at ammoniakkmotorer har lite effekttap. I motsetning til først antatt hadde ikke ammoniakk-forbrenningsmotoren mer korrosjon eller et større behov for smørolje enn motorer som går på tradisjonelt drivstoff. Virkningsgraden anslås til å være 50%. På grunn av ammoniakks korrosive natur må komponenter bestående av kobber og messing byttes ut for å unngå driftsproblemer [2, 18, 26].

Fordelen ved å gå over til ammoniakk er dermed at man unngår utfasing av allerede eksisterende flåte, samt reduserer utgiftene ved at forbrenningsmotorene kan ombygges til å bruke ammoniakk [11]. Ammoniakk i forbrenningsmotorer reduserer CO<sub>2</sub> utslippene, men øker utslipp NO<sub>x</sub> og hydrokarboner. Disse utslippene kan håndteres ved å rense eksosen ved hjelp av SCR-teknologi [11, 18].

Motorprodusenten Wärtsilä er i ferd med å utvikle en ammoniakkmotor. Tester utført opererer med en drivstoffblanding på 70% ammoniakk. Målet er fremdeles 100% ammoniakk innen 2023 [37]. På grunn av at ammoniakk har dårlig antenningsegenskaper trengs det en pilotinnsprøytning med diesel for at den skal antennes og forbrennes, med bruk av biodiesel kan forbrenningen fortsatt være utslipps fri [38].

LNG:

LNG kan brukes i dual fuel forbrenningsmotorer (motorer som kan operere med to ulike drivstofftyper) eller i rene gassmotorer. I en dual fuel motor (DF) har en mulighet til å veksle mellom LNG og andre drivstoff som diesel, LFO, HFO og biodrivstoff som vist i Figur 3-3. Motoren kan veksle mellom drivstofftypene uten at det påvirker driften av motoren. Virkningsgraden anslås til å være 47%. Det gjør det fleksibelt for forbruker som kan veksle etter behov med tanke på utslipp, kostnader og tilgjengelighet [39, 40]



Figur 3-3. Dual Fuel gass motor [41]

Rene gassmotorer antenner gassen ved bruk av tennplugger i stedet for pilotinnsprøytning. En ren gassmotor er drivstoffbesparende, har redusert vedlikeholds tid og -kostnad i tillegg til at den har en 15% reduksjon i drivhusgassutslipp sammenlignet med LNG dual fuel motorer. Den egner seg godt til fartøyer som har mulighet til hyppige havneanløp og stabil gassforsyning [42].

LNG-tankere har byttet ut gassturbiner med mer effektive dual fuel motorer. Dette for å kunne ha et mer effektivt fremdriftssystem samtidig som en får brukt boil-off gas (BOG) fra lasten direkte i innsprøytningen til motorene og unngår dermed tap av BOG. Skipet kan så gå over til diesel i perioder uten last [3].

### 3.10 Gassturbin

#### Ammoniakk:

Gassturbiner kan bli drevet av en blanding av ammoniakk og andre drivstofftyper. Teknologien er imidlertid ikke utviklet enda og byr på flere utfordringer. Noen av utfordringene ved bruk av ammoniakk i en gassturbin er den lave forbrenningstemperaturen og den ustabile forbrenningen.

Det er gjort forsøk på en ammoniakkdrevet gassturbin i Iowa, USA. Forsøkene viste at ved bruk av virvler der ammoniakk molekylet dekomponeres sammen med flammeholder og blandingsgass (hydrogen og metan), er det mulig å stabilisere forbrenningen [18].

Et annet problem er den lavere varmeoverføringsevnen som ammoniakk har ved forbrenning. Forbrenning av ammoniakk frigjør ikke CO<sub>2</sub> og dermed vil varmevekslingsevnen som CO<sub>2</sub> har ikke være til stede. Ved bruk av gassturbin kan SCR-teknologi brukes for å redusere NO<sub>x</sub> utslippene [18, 33].

#### LNG:

Gassturbiner drives ved forbrenning av LNG som varmer opp vann til damp i en kjele. Dampens energi konverteres til rotasjonsenergi ved å drive en dampturbin. Vanndampen som produseres holder høyt trykk og en temperatur på over 500°C. Dampen går gjennom en høy- og lavtrykks turbin for produksjon av kraft til fremdrifts- og hjelpesystemene ombord. Virkningsgraden anslås til å være 35%. Dampturbinene er pålitelige med lave vedlikeholdskostnader. Utslipp ved bruk av gassturbiner er CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> [43-45].

### 3.11 LNG offshoreinstallasjoner

Offshoreinstallasjoner tørker og komprimerer naturgassen fra brønnen før de reinjiserer den eller eksporterer til land. Det er også flere som bruker gassen til kraftproduksjon på installasjonen om de ikke allerede er elektrifiserte fra land. Eksempel på offshoreinstallasjon som bruker gass til kraftproduksjon er Statfjord C som vist i Figur 3-4. Dette gjøres ved turbindrevne generatorer. De kan operere direkte på naturgass (samt LNG og diesel) i perioder uten eller ved liten produksjon. Dette er en gunstig utnyttning av naturgassen der alternativet ville vært eksport av olje, raffinering, for så å transportere gassen ut til feltet med et plattformforsyningskip (PSV) [46-48].

Petroleumsvirksomheten i Norge står for om lag 28 % av våre klimautslipp. Gassturbinene på norsk sokkel, sammen med faking, står for cirka 85% av CO<sub>2</sub> utslippene på norsk sokkel [45].



Figur 3-4. Offshoreinstallasjon Statfjord C [49]

## 4 Tilgang og transport

### 4.1 Frakt og lagring av ammoniakk

Etter produksjon er ammoniakk flytende og egner seg godt til å bli transportert. Transport av ammoniakk er utbredt ved bruk av tog, skip, tankbiler og rørledninger rundt om i verden. Transport via rørledninger finner en for det meste i USA og Russland. Det eksisterer derfor god infrastruktur for transport av ammoniakk som gjør det mulig å distribuere og lagre ammoniakk på tanker som energikilde [18].

Ammoniakk transporteres flytende under trykk, nedkjølt eller begge deler. På tankbiler og på tog transporteres den i tanker i henhold til den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO) for å sikre at det er tanker som tåler både trykket og temperaturen den utsettes for. Skipene som frakter ammoniakk, er de samme skipene som transporterer flytende petroleumsgass (LPG). De kategoriseres som full- eller semi-kjøleskip. Skipene er spesialbygd med sylindereformede eller prismeformede tanker for å kunne transportere flytende gasser som er nedkjølt eller under trykk. Transport av ammoniakk har foregått i tiår og har dermed gode globale infrastrukturer med lagring, mottaksterminaler og distribusjonsmuligheter, samt gode prosedyrer og sikkerhetstiltak [2, 33, 50].

Skip som frakter ammoniakk under trykk anses som den enkleste løsningen, der gassen kun skal komprimeres. Gassen komprimeres med et trykk opp til 20 bar. Det behøves ikke isolasjon av tankene eller regassifisering anlegg. Ulempene er at trykktankene blir veldig tunge for å kunne håndtere trykket, noe som gjør at det ofte er små skip med liten lastekapasitet som bruker trykktanker [51].

Semi-kjøleskip bruker trykktanker av lavtemperaturstål som egner seg til å transportere last med trykk på 4-8 bar og temperatur på  $-48^{\circ}\text{C}$ . Fullkjøleskip har lasten avkjølt med atmosfæretrykk, noe som er mye brukt til å transportere store mengder ammoniakk og LPG. De mest brukte tankene er frittstående spesialtanker [51].

Transport av ammoniakk er økende på grunn av bruken innen landbruk, og vil naturligvis fortsette å øke ved bruk av ammoniakk som alternativt drivstoff i skip og på installasjoner. Det vil derfor være nødvendig å oppgradere og utbygge eksisterende transport infrastruktur. På grunn av ammoniakks korrosive egenskaper er det viktig å bruke korrosivt motstandsdyktige materialer som karbonstål eller rustfritt stål, og unngå bruk av kobber, sink og messing. Rustfritt stål er dyrere enn karbonstål og gjør at det ofte blir valgt bort. Det kan tilsettes små mengder vann under transport av flytende ammoniakk for å bremse den korrosive effekten på karbonstål [2].

Ammoniakk har høyere selvantennelsestemperatur ( $650^{\circ}\text{C}$ ) enn diesel ( $210^{\circ}\text{C}$ ) og hydrogen ( $520^{\circ}\text{C}$ ), noe som gjør at den er tryggere å transportere med tanke på selvantenning [33, 52].

Lagring av flytende ammoniakk kan gjøres på to måter. Den ene metoden er ved trykk og jevn temperatur (10 bar og  $25^{\circ}\text{C}$ ). Den andre metoden er å senke temperaturen til ammoniakken blir flytende ( $-33,4^{\circ}\text{C}$ ) med atmosfærisk trykk. Fordelen med denne metoden er at en kan bruke en lettere og rimeligere tank [33].

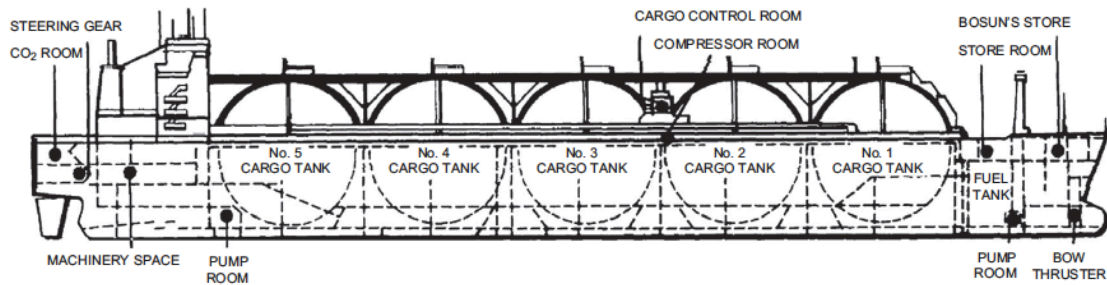
Bunkring av ammoniakk til skip kan foregå med tankbil eller tankbåt til en lagringstank på kai som bruker trykk eller kjøling for å holde ammoniakken flytende, eller ved skip til skip bunkring. Bunkringsslangene til skipet skal være komposittslanger for å håndtere temperatur forskjeller, være fleksible og slitesterke. Det skal være montert tørrbrytende kobling og bruddkobling. Tørrbrytende kobling hindrer lekkasje ved nedkjøling og sørger for en sikker til og fra kobling. Bruddkobling er en kobling med to ventiler som er konstruert for å stenge og et eventuelt slangebrudd skal skje i dette punktet. Bruddkobling forhindrer lekkasje og bryter hvis det blir for store strekkrefter i bunkringslangen på grunn uventede bevegelser på fartøyet under bunkring. Dette vil minske risiko for lekkasje og forhindre overbelastning av slanger og manifold i tilfelle skipet drifter [26, 53, 54]. Inertgass ofte nitrogen brukes for å blåse linene for å fjerne resterende ammoniakk, og hindre luft kommer inn og danner en eksplosive blanding [55]. Etter bunkring, for å eliminere risikoen for lekkasjer, skal linen tappes for ammoniakk ved å blåse linen med inertgass tilbake til bunkringsanordningen [26].

Bunkring av ammoniakk fra trykksatte tanker på kaianlegg får en større sikkerhetssone enn fra skip til skip med nedkjølt ammoniakk. På lik linje med LNG ekspanderer ammoniakk ved overgang fra aggregattilstandene flytende til gass. Volumet vil øke opp til 850 ganger for ammoniakk, mens LNG øker 600 ganger. Ammoniakk under trykk vil dermed ha en større sikkerhetssone enn LNG. Ammoniakkbunkring kan derfor være lite egnet med trykksatte tanker på kaiområder [20, 26, 53].

Bunkringstank for ammoniakk kan være av type trykktank, semi – eller fullkjøletank, ifølge IGC koden. Bunkerstanken skal ha gode ventilasjonsmuligheter og BOG system i tillegg til sikkerhetsbarrierer for forebyggingen av lekkasjer. Herunder stilles det krav til materialer for bunkerstankene og tilhørende systemer, korrosivt motstandsdyktige materialer som karbonstål eller rustfritt stål. Tankene skal plasseres slik at den ikke utgjør en fare ved en potensiell kollisjon eller grunnstøting av fartøyet [2, 26].

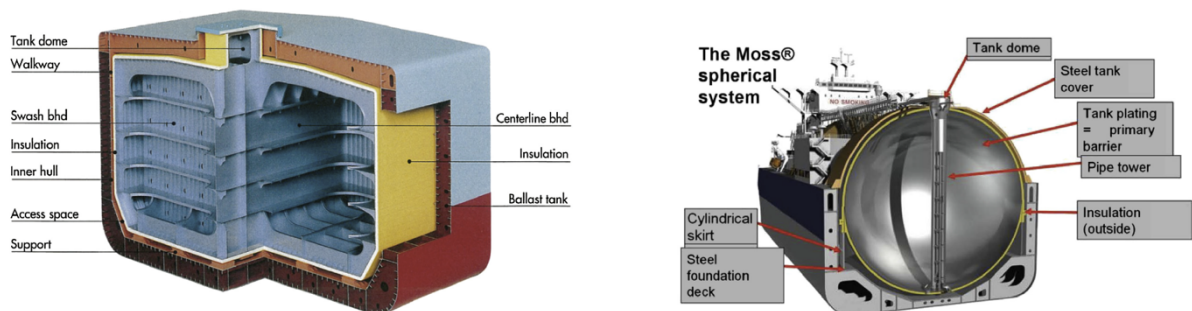
## 4.2 Frakt og lagring av LNG

Det blir transportert LNG over hele verden via rørledninger eller flytende i tankbiler og spesialbygde LNG skip, som vist i Figur 4-1. Transport av LNG er en moden, utprøvd teknologi. LNG kondenseres til  $-163^{\circ}\text{C}$  (flytende aggregattilstand) i en kombinasjon av kjøling og komprimering. Dermed reduseres volumet 600 ganger, men den er avhengig av kontinuerlig kjøling og lagres derfor i tanker med innebygd kjøleanlegg [20, 27, 28, 56].



Figur 4-1. Illustrasjon av LNG tankskip [3]

LNG-tankerne har spesialbygde, frittstående eller intrigerte lastetanker. Frittstående tanker er ikke en del av skrogstrukturen til skipene. Tankene konstrueres av aluminiumlegering eller nikkelstål for lett vekt, korrosjonsbestandighet og for håndtering av kryogene temperaturer. De er isolerte, runde- eller prismeformet dobbelskrogtanker designet for kjøling, trykk og forhindring av BOG (se Figur 4-2). Likevel vil det være fordampning av LNG. BOG ansås å utgjøre fra 0,10% til 0,15% per døgn. Gassen returneres til lastetanken etter kondensering til flytendeform eller brukes til skipets kraftproduksjon [3, 57].



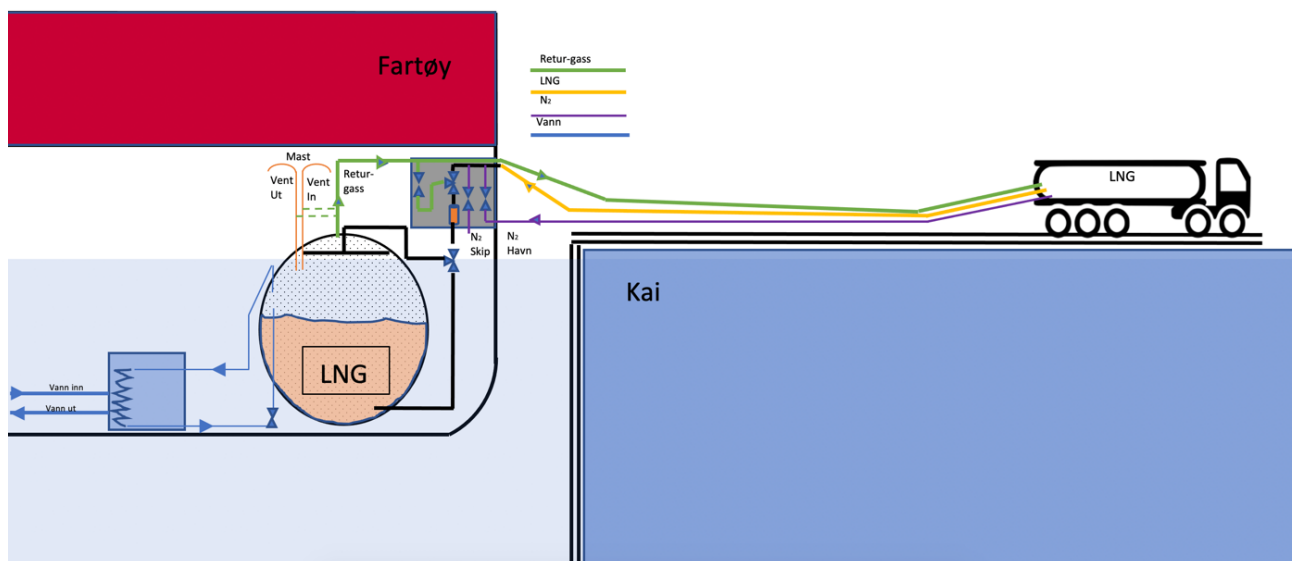
Figur 4-2. Design former av LNG tank, prismeformet (v) og rundformet (h) [3]

Sammenlignet med tradisjonelle drivstoff- og ballasttanker er LNG-tanker konstruert slik at friksjonskoeffisienten er lavest mulig. Dette er for å forhindre varmedannelse ved fartøyets krengetninger. Tanker i fartøyets struktur må avstives med blant annet spant og stringerdekk. Det reduserer fri væskeoverflateeffekten og ivaretar styrken i fartøyets skrog. Tradisjonelle tanker er ofte rektangulære med rettvinklede vegger. I slike tanker er det stor fare for fri væskeoverflate. Det vil si at væsken fritt kan bevege seg inne i tanken, og påvirke stabiliteten til fartøyet. Graden av fri væskeoverflate bestemmes av mengden væske og krengebevegelsene fartøyet utsettes for. Dette medfører stressbelastninger, i form av skjære- og bøyekrefter på fartøyets skrog [3].

Bunkringstanker til LNG er enkelt skall- eller vakuumisolertete tanker. Enkelt skall designet er enklere, noe som reduserer ingeniør- og material kostnader samtidig som det opprettholder sikkerhet og integritet til systemet. I vakuumisolerte tanker blir vakuomet opprettholdt i rommet mellom de indre og ytre tankeneskallene med formål å redusere konvektiv varmeoverføring. Det er i tillegg fylt med et absorberende materiale for å redusere strålevarme. Tank designet gjør at det blir lavere BOG, noe som også gjør det lettere å opprettholde trykket i tanken. På utsiden av tanken er det et isolerende skum lag av Polyurethan-skum (PUR). I tillegg er PUR-laget dekket av en brannsikker kledning som skaper en hard overflate [58].

Klassifikasjonselskapene og IGF koden setter regler for LNG som drivstoff med krav til segregering, dobbeltbarrierer, deteksjonssystemer for lekkasje og automatiske isolasjon av lekkasje. Det stilles også krav til stabilt LNG trykk uten ventilering og forbruk på tank i minimum 15 dager [26, 58, 59].

Bunkring av LNG foregår ved bruk av bunkringslange fra bunkringsbil eller lagringstank på kaianlegget som er tilsvarende mottaksanlegg for industrien, som vist i Figur 4-3. Forskjellen er at det ikke er behov for fordampner eller anlegg for regassifisering, men en kraftig pumpe for rask overføring av LNG til bunkringstanken. Fra anlegget går det vakuumisolerte rør til bunkringspunktet på kaien. Skipet bunkrer med en komposittslange med en tørrbrytende- og bruddkobling. Bunkersslangen skal blåses med inertgass før og etter bunkringen [54].



Figur 4-3. LNG bunkring (inspirert av tilsvarende system på plattform forsyningskip)



## 5 Kostnad

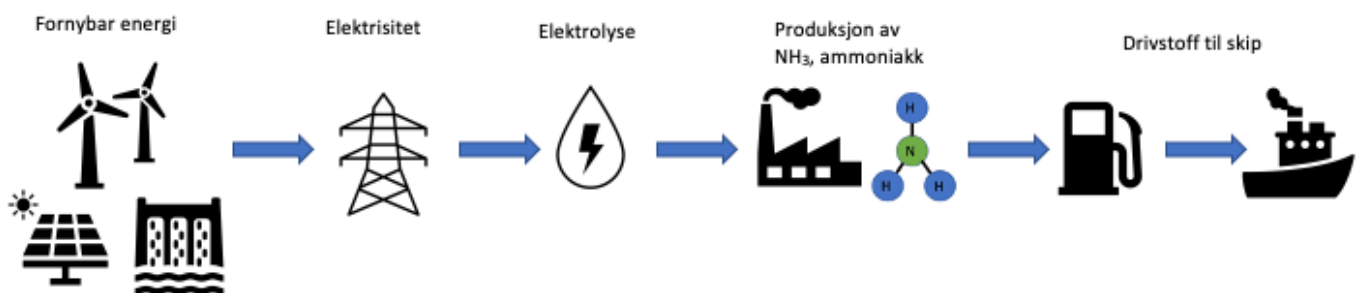
### 5.1 Produksjon og distribusjon

I 2019 ble det produsert 150 millioner tonn ammoniakk globalt [22]. Skal alle fartøyer konverteres til ammoniakk-drift må det produseres 500 til 600 millioner tonn ammoniakk årlig. Det er dermed fire ganger så mye som dagens globale produksjon [60].

Grønn framstilling av ammoniakk er enda ikke i produksjon, og det kan vise seg å være en lang vei å gå. Blå ammoniakk anses også som en kostbar og ulønnsom produksjonsmetode med dagens teknologi. Ammoniakkproduksjon består hovedsakelig av grå ammoniakk. Dette skyldes dens rimelige produksjonskostnad samt rikelig tilgang på naturgass [52].

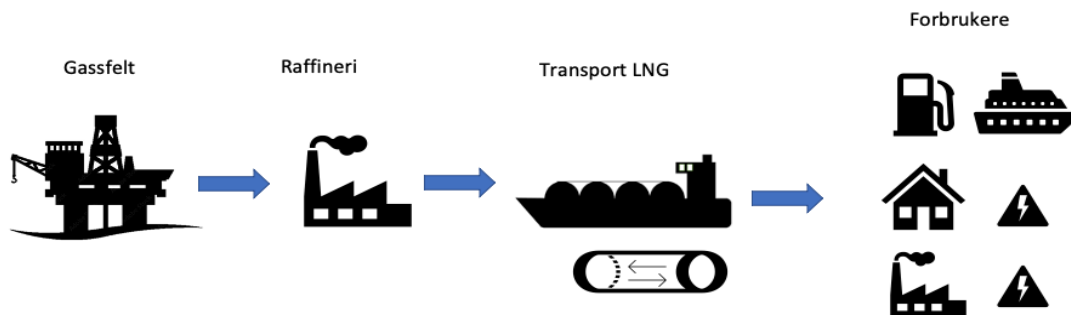
En intensjonsavtale er inngått ved Yaras fabrikk i Porsgrunn om igangsetting av industri med grønn ammoniakk. Målet er fremstilling av grønt hydrogen fra elektrolyse der vannkraft vil fungere som energikilde. Det forventes at framstillingen av grønn ammoniakk kan bli konkurransedyktig med grå ammoniakk forutsatt økte priser innen fossilt drivstoff og økende tilgjengelighet på fornybar energi. Realiseringsperioden er satt til 5-7 år [60].

Overgangen til grønn ammoniakk som drivstoff vil likevel preges av faser fra grå til grønn. Det beskrives i «A roadmap to the Ammonia Economy» at prosessen deles inn i tre hoved faser. Dagens fase er økning i produksjon ved bruk av Haber Bosch metoden og karbonfangst for å dekke det eventuelle kommende behovet. Fase to tar for seg bruk av Haber Bosch metoden der fornybar energi nyttes til produksjon. Fase tre vil bestå av utfasing av Haber Bosch metoden og overgang til elektrolyse (se Figur 5-1). Imidlertid er overgangene avhengig av økende etterspørsel etter ammoniakk [61].



Figur 5-1. Fremstilling av grønn ammoniakk

I 2020 ble det produsert 3853,7 billioner kubikkmeter naturgass, der kun 1,5 millioner tonn ble brukt som marint drivstoff (se Figur 5-2). LNG har blitt anvendt som drivstoff på fartøyer siden begynnelsen av 2000 tallet. Som drivstoff har LNG volumet økt med fremgangen de siste fem årene, noe som gjenspeiler den økende etterspørselen [44, 62, 63].



Figur 5-2. Fremstilling av LNG

På slutten av 2020 var det 175 fartøyer med LNG som drivstoff. I tillegg kommer LNG tankskips flåten på 527 aktive skip, inkludert 37 flytende lagring og regassifisering unit (Floating Storage and Regasification Units, FSRU) [44].

LNG som drivstoff til den maritime næringen forsetter å vokse. Drivstoffmarkedet er størst i Europa, men stadig økende andre steder i verden. I dag finnes det 68 terminaler som tilbyr LNG bunkringsservicer [44].

## 5.2 Avgifter

CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> avgifter er statlige virkemidler for å redusere utslipp av klimagasser [64, 65]. I Norge og på kontinentalsokkelen må skip og offshoreinstallasjoner betale NO<sub>x</sub>-avgift. Det er en avgift på utslipp av nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>). NO<sub>x</sub> avgiften utgjør for 2022 kroner 23,79 per kilo utslipp [66].

## 5.3 Pris

Ifølge DNV sin rapport «Ammonia as fuel» har de estimert prisen for grønn ammoniakk til å ligge mellom 650 til 850 USD/tonn, tilsvarende 5.676 til 7.432 NOK/tonn (12.april 2022). Prisene er basert på nåværende priser av fornybar strøm og vil være stedsspesifikke. Rapporten beskriver at pris for fornybar energi vil synke over tid, noe som vil gjøre at prisen på grønn ammoniakk blir mer konkurransedyktig [17].

LNG priser (12.april 2022) er 1.790 USD/tonn, tilsvarende 15.632 NOK/tonn. Diesel har en gjennomsnittspris på 806 USD/tonn, tilsvarende 7.039 NOK/tonn (12. april 2022) [67].

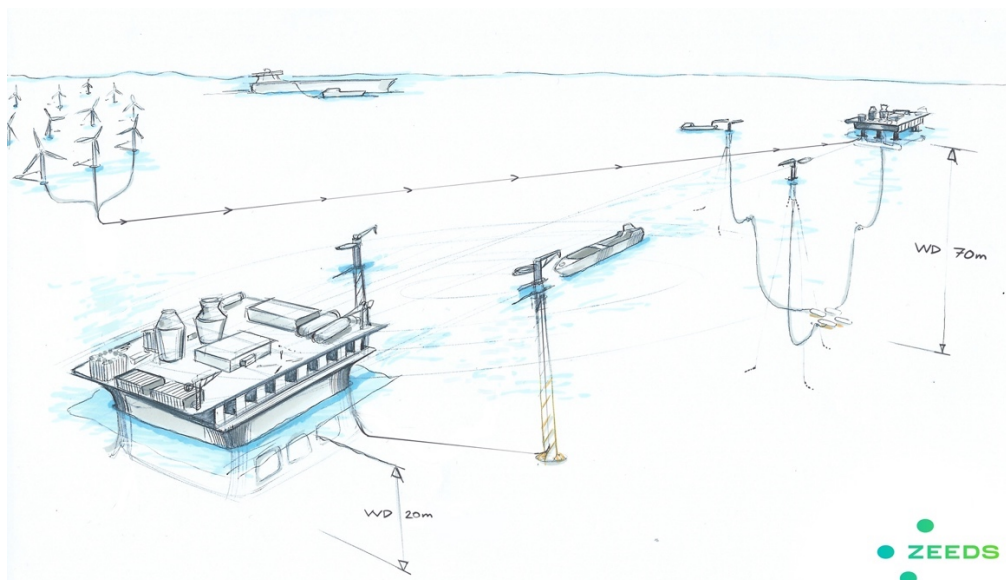
Tabell 2. Pristabell drivstoff.

Produkt	Pris (NOK/tonn)
LNG	15.642
Diesel	7.039
Ammoniakk	5.676 – 7.423

## 5.4 Finansiering og interesse (teknologi)

Motorprodusentene MAN og Wärtsilä utvikler forbrenningsmotorer for ammoniakk. Både fire-takts og to-takts motorer skal etter planen være på markedet i 2023 – 2024. Ifølge DNV sin rapport vil det være sannsynlig at i etableringsfasen vil fartøyer som allerede transporterer ammoniakk få installert ammoniakk-forbrenningsmotorer først. Dette begrunnes med allerede eksisterende prosedyrer og erfaringer med håndteringen av ammoniakk. I dag anslås det å være 200 tankfartøyer som frakter ammoniakk [37, 52].

Zero Emission Distribution at Sea (Zeeds) er et prosjekt som ønsker å lage fem produksjons- og bunkrings lokasjoner til ammoniakk. Offshorevindkraft skal generere energi til produksjon av grønn ammoniakk, som igjen skal lagres i tanker på havbunnen. Fartøyer skal kunne bunkre ammoniakk fra skip til skip eller ved stasjon, som vist i Figur 5-3. Som erfart i oppstartsfasen til LNG, er tilgjengelighet og bunkringsmuligheter en sentral faktor for realisering [63].



Figur 5-3. Zeeds konseptskisse [68]

For at industri og rederier skal kunne være tidlig ute med ny forskning, teknologi og miljøvennlige løsninger er finansiering avgjørende. Finansiering kan eksempelvis komme fra EU, Innovasjon Norge, Enova eller Grønt skipsfartsprogram [69-72].

Dette er tilsvarende bygging av LNG drevne fartøyer, som støttes gjennom NO<sub>x</sub>-fondet [64].

## 6 Miljø og sikkerhet

### 6.1 Sikkerhet, Ammoniakk

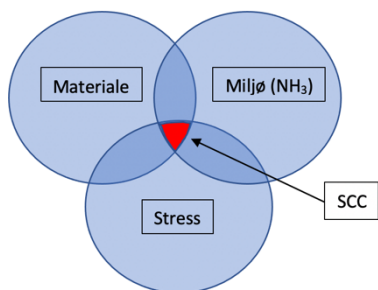
For å implementere et drivstoff på det globale markedet må helse-, miljø- og sikkerhetsaspekter gjennomgås og vurderes.

Ammoniakk er kjent for å være korrosivt, og har en sterk alkalisk reduserende effekt. Dette resulterer i rask korrosjon ved bruk av materialer som kobber, messing, sink og det må unngås blanding med jod, klor og hypokloritt som vist i Tabell 3. Materialene vil få en grønn blåaktig overflate [18].

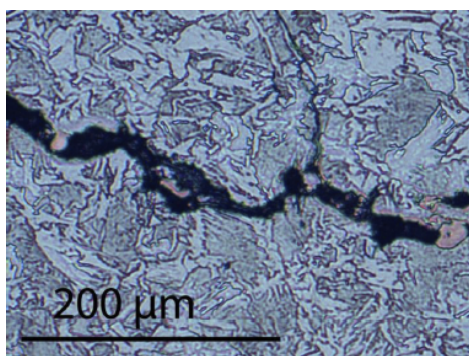
Tabell 3. Konstruksjonsmaterialer ammoniakk (data hentet fra [18])

Material	Kompatibel
Aluminium	Egner seg meget godt
Rustfritt stål (304, 316)	Egner seg meget godt
Karbonstål	Egner seg
PVC-plast	Egner seg meget godt
Støpejern	Egner seg meget godt
Kobber	Egner seg ikke
Messing	Egner seg ikke

Transport og lagring av ammoniakk kan forårsake «stress corrosion cracks» (SCC) på tanker. Det vil si dannelse av sprekker som et resultat av eksponering av oksygen med flytende ammoniakk, sammen med materialstress og korrosjon som vist i Figur 6-1 og Figur 6-2. Fartøyet utsettes for større bøye- og skjærekrefter under seilas, og kan skape materialstress. Lavt oksygeninnhold i tankene anses som særdeles viktig. Inhibitor brukes for å redusere hastigheten til de kjemiske reaksjonene. Ulike inhibitorer er utprøvd, der vann konkluderes som både den beste og rimeligste løsningen. Avhengig av oksygen innholdet i ammoniakken justeres vannkonsentrasjonen for å bremse effekten av den kjemiske reaksjonen. Det er viktig med tanker konstruert med spenningsavlastning sammen med materialer med lav flytspenning. Sprekken vil være perpendikulære til stressretningen [2, 73].



Figur 6-1. Stress Corrosion Cracking (SCC).



Figur 6-2. Stress Corrosion Crack (SCC) fra ammoniakk tank [2]

Sikkerhetsaspektet, herunder prosedyrer og forskrifter for bruk av ammoniakk som drivstoff er ikke på plass. Det beskrives i håndboken for sikker håndtering av ammoniakk. Likheten mellom LNG og ammoniakk anses som så nærliggende at allerede eksisterende rammeverk kan fungere i etableringen av ammoniakk som drivstoff. Eksempler fra sikkerhetstiltak: doble barrierer, segregering, lekkasjedetektorer og automatisk isolasjon av lekkasjer [26].

Risikoen for eksponering av ammoniakk under bunkringsoperasjon kan ikke elimineres helt, selv med god design og rutiner. Derfor understrekes viktigheten av god ventilasjon, sikring av bunkringsområde og sikkerhet rundt lekkasjer for å unngå eksponering og personellskader. Personer som håndterer ammoniakk skal bruke kjemikalieresistente klær, som dekker all synlig hud. Det skal være nøddusj og øyeskyll lett tilgjengelig i området ved bunkerstasjon [26].

## 6.2 Brann, eksplosjon

Ammoniakk sitt høye flammepunkt (650°C) og dens lave reaktivitet reduserer risikoen for selvantennning og eksplosjon sammenlignet med andre drivstofftyper. Ved overgang fra flytende til gass ekspanderer ammoniakk med en faktor på 850 ganger. Ren ammoniakk er ikke brannfarlig, men ammoniakk damp i luft kan være brannfarlig og eksplodere ved antennelse [2, 18].

BLEVE (Boiling Liquid Evaporating Vapour Explosions). Dette er en eksplosjon ved plutselig utslipp av ammoniakk. Væsken kan frigjøres ved for høyt trykk på tanken som leder til materialsvikt og lekkasje. Kommer gassen i kontakt med antennelseskilder øker sjansen for eksplosjon. BLEVE som beskrevet er kun dokumentert i store industrianlegg [2, 18].

## 6.3 Miljø, utslipp

Ammoniakk er lettere enn luft og vil dermed stige. Ved større utslipp vil det kunne dannes synlige gasskyer. Ammoniakkskyene blir kjølt ned ved evaporering, de har høy konsentrasjon ammoniakk og vil kunne slippe kalde dråper ammoniakk til bakken [2, 18].

Ved utslipp av ammoniakk til sjøs, vil mye evaporere før det treffer havoverflaten eller flyte opp og legge seg i vannoverflaten. Ammoniakk er giftig for livet i havet og vil øke pH verdien opp til 11,6 ved høye konsentrasjoner. Omfanget av lekkasjen vil være avgjørende for hvor katastrofal påvirkning den har på dyrelivet i havet. Skadene ammoniakk og petroleumsprodukter vil gi ved forurensing til miljø vil være tilnærmet den samme. Forskjellen er at ammoniakk ikke blir værende i det marine økosystemet på grunn av at den naturlige nitrogensyklusen vil det omdanne ammoniakk til ufarlige forbindelser over tid [2, 18].

En av miljøutfordringen ved bruk av ammoniakk som drivstoff er utslippet av NO<sub>x</sub>, forårsaket av nitrogenet i ammoniakken [2]. Utslipp av NO<sub>x</sub> kan føre til sur nedbør, dannelse av bakkenært ozon (O<sub>3</sub>) og partikler som er skadelig for helsen gjennom matproduksjon [6]. Derfor er det viktig å håndtere NO<sub>x</sub> utslippet fra ammoniakk. Som nevnt tidligere i kapittel 3.1 kan NO<sub>x</sub> reduseres ved å bruke SCR-teknologi.

## 6.4 Helse

Ammoniakk representerer en betydelig helsefare, som vist i Tabell 4. Eksponeringsperiode og konsentrasjon vil være avgjørende for skadeomfanget, og om kan være fatalt. Ammoniakk kan luktes selv i lave konsentrasjoner som vist i Tabell 5, noe som enkelt kan påvise lekkasje. En implementering av ammoniakk ombord på fartøy eller offshoreinstallasjoner krever derfor individuell analyse og kartlegging av risiko. Løsninger for reduksjon av eksponeringsfaren er avsug og ventilering i utsatte områder [2, 18].

Tabell 4. Faremoment ammoniakk (data hentet fra [18])

<b>Eksponering</b>	<b>Resultat</b>
Innånding	Irritasjon av øyne og nese, sår hals, hoste, tetthet i brystet, hodepine og forvirring
Svelging:	Brannskader i munn og svelg
Hud	Dype brannskader/kjemikaliebrannsår som kan ødelegg hudceller
Øyne	Betennelse

Tabell 5. Ammoniakk eksponering (data hentet fra [18])

<b>Ammoniakk eksponerings konsentrasjoner</b>	<b>Effekt</b>
20 – 50 ppm	Luktbar, ikke helseskadelig
50 – 100 ppm	Ikke helseskadelig
400 – 700 ppm	Alvorlig irritasjon på øyne, ører, nese og i svelg. Varige skader ved lengre eksponering
2000 – 3000 ppm	Farlig. Kan være fatalt
5000 – 10 000 ppm	Fatalt

## 6.5 Sikkerhet, LNG

I kontrast til ammoniakk er LNG et vel utprøvd og etablert drivstoff med et godt sikkerhetsrammeverk [3].

Den kryogene temperaturen til LNG gjør at LNG-tanker blir konstruert i to lag for å minimere varmeveksling med det ytterste laget. De kryogene temperaturene kan medføre porøsitet og brudd i metaller, plastikk og gummi. Det kreves derfor spesialkonstruksjon, materialer og egnede beskyttelsesklær. Områder hvor det kan forekomme lekkasjer skal ha konstruksjon og materialer for å motstå kryogene temperaturer for å unngå et eventuelt sprøhetsbrudd [3].

Faremoment med frakt og lagring av LNG er en «Rollover» som oppstår ved ufullstendig blanding. «Rollover» forekommer ved at det øverste laget i tanken fordampes til det blir tyngre enn det nedre laget og synker ned. Det nederste laget stiger så opp, som også er blitt oppvarmet grunnet fordampingen. Dette medfører økt trykk i tanken, og i verste fall skader på tankstrukturen. Dette kan forebygges med god blanding i tanken med flere bunkringsnivåer i tillegg til tankovervåkning, som vist i Figur 4-3 [3].

LNG som last og drivstoff er underlagt IGF og IGC koden. De setter standarder og krav til design og håndtering. Det innebærer krav til segregering, doble barrierer, lekkasje detektorsystemer, ventilasjon og automatisk isolasjon ved lekkasjer [26].

## 6.6 Brann, eksplosjon

LNG sin antennelsestemperatur på 540°C gir behov for eksternkilde for å kunne antenne. På samme måte som ammoniakk er ikke LNG antennelig som væske, kun i gasstilstand. Forskjellen er at fordampet LNG først er tyngre enn luft, før temperaturen øker og den blir lettere og får oppdrift [3].

Slukkemetode av LNG-brann er å stoppe tilførsel eller la den brenne ut. Slukking med vann utgjør en brannfarlig blanding i luften og en fare for dampeksplasjon [74].

En elektrostatisk ladning kan akkumuleres i LNG som kan forårsake utladning og antenne gassen [74].

## 6.7 Miljø, utslipp

En lekkasje av LNG vil koke raskt og forsvinne uten å etterlate noe annet spor enn et kaldt område. I noen tilfeller kan det skapes en synlig gassky av kald LNG damp som vil befinne seg langs bakken før den blir varmere og får oppdrift [3].

Utslipp av LNG til sjø vil føre til en eksplosiv koking og fordamping grunnet temperaturforskjell og den hurtige faseovergangen fra flytende til gass. Den kan også flyte opp og evaporere ved lekkasje under vann [3, 74].

Forbrenning av LNG vil medføre utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og metan. CO<sub>2</sub> og metan er de drivhusgassene som bidrar mest til den globale oppvarmingen [75]. Reduksjon av NO<sub>x</sub> kan oppnås med SCR-teknologi [21].

## 6.8 Helse

LNG er ikke giftig eller kreftfremkallende, men kan forårsake skader ved kontakt og fortrenge oksygen i luften som kan føre til kvelning [74].

Tabell 6. Faremomenter LNG (data hentet fra [3, 74])

<b>Eksponering</b>	<b>Resultat</b>
Innånding	Pusteproblemer, svimmelhet og brekninger
Hud og øyne	Frostskader



## 7 Virkningsgrad og utnyttelse

### Case studie; Diesel sammenlignet med ammoniakk og LNG

Forbruk av drivstoff vil variere fra forskjellige fartøystyper og værforhold. Dette er en case studie for å få perspektiv på hvor mye ammoniakk og LNG som behøves for å få tilsvarende energimengde som diesel på en gitt avstand.

Distansen fra Tananger til oljefeltet Johan Sverdrup er 99 nautiske mil (1 nm= 1852m) tilsvarende en distanse på 183,4 kilometer. Med en hastighet på 10 knop vil reisen ta:

$$\frac{99 \text{ nm}}{10 \text{ knop (nm/t)}} = 9 \text{ timer og } 54 \text{ min} \approx 10 \text{ timer}$$

Et offshoreskip med en servicefart på 10 knop og et drivstofforbruk av diesel på 600 liter/t vil dette ha et total forbruk på:

$$10 \text{ t} \cdot 600 \text{ l/t} = 6.000 \text{ liter} = 6 \text{ m}^3$$

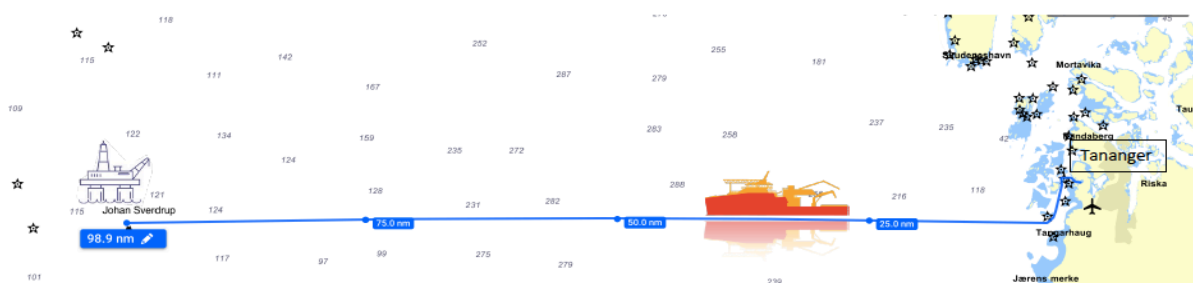
For samme energimengde er 1 liter diesel = 2,85≈ 3 liter ammoniakk. Dermed blir ammoniakk forbruket som følger:

$$\begin{aligned} 600 \text{ l/t} \cdot 3 &= 1.800 \text{ l/t} \\ 10 \text{ t} \cdot 1.800 \text{ l/t} &= 18.000 \text{ liter} = 18 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

På samme måte er 1 liter diesel = 1,65≈ 2 liter LNG og forbruket:

$$\begin{aligned} 600 \text{ l/t} \cdot 2 &= 1.200 \text{ l/t} \\ 10 \text{ t} \cdot 1.200 \text{ l/t} &= 12.000 \text{ liter} = 12 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Utrekningene viser at en må ha større mengder ammoniakk og LNG enn diesel for tilsvarende energimengde. Det vil medføre at fartøy må bunkre oftere ammoniakk og LNG kontra diesel, alternativt ha større bunkringstanker, se Figur 7-1.



Figur 7-1. Illustrasjon av avstanden fra Tananger til Johan Sverdrup

Virkningsgrad og størrelse (utnyttelse av tilgjengelig volum) vil være viktige faktorer for valg av kraftkilde ombord på fartøyer. Tabell 7, viser kraftkilder, virkningsgrad og energibærer den benytter. LNG-tankskip har utfaset gassturbiner til fordel for forbrenningsmotorer. Dette er på grunn av bedre energieffektivisering og dagens tilgjengelige teknologi for bruk av/reduksjon av BOG [44].

Tabell 7. Virkningsgrad av kraftkilder

Kraftkilde	Virkningsgrad	Drivstoff	Kilde
PEMFC	40-48%	H <sub>2</sub>	[33]
AFC	40-45%	H <sub>2</sub>	[33]
SOFC	50-55%	NH <sub>3</sub>	[33]
Forbrenningsmotor ammoniakk	50%	NH <sub>3</sub>	[2]
Forbrenningsmotor LNG	47%	LNG	[40]
Forbrenningsmotor	45-50%	Diesel	[76, 77]
Gassturbin	35%	NH <sub>3</sub> eller LNG	[44]

Når ammoniakk og LNG forbrennes går overskuddsvarmen ut som eksos. Normalt brukes eksosen i eksoskjelen for å gjenvinne og utnytte varmen som produseres. Kjelen kan produseres damp eller varmtvann til oppvarming i stedet for å bruke elektrisitet. Brenselceller bruker energi/varme for å spalte ammoniakken og for å kjøle brenselcellen, og noe av denne overskuddsvarmen kan gjenvinnes ved bruk av varmeveksler.

I en forbrenningsmotor med diesel som energibærer forsvinner mye av den produserte varmen ut med eksosen. Varmen fra eksosen kan på samme måte som for ammoniakk og LNG blant annet gjenvinnes ved å bruke en eksoskjele. Eksoskjelen kan produsere damp og varmtvann til oppvarming. Den gjenvunne varmen kan brukes til oppvarming av varmtvann ombord, aircondition og varmt vaskevann til tankvasking. Dette er energi som ellers ville gått tapt. I tilfeller der varmen ikke gjenvinnes brukes det separate fyrings- eller elektriske kjeler.

Tilsvarende energigjenvinning for en høytemperaturs brenselcelle ville vært aktuelt. Dette kan ses på som et alternativ til andre oppvarmingskilder på for eksempelvis kjemikalietankere og oljetankere samt plattformforsyningsfartøy med konstant behov for oppvarming av last og varmtvann til tankvask.

## 8 Pågående prosjekter med bruk av ammoniakk

### 8.1 Color Fantasy

Det norske fergeselskapet Color Line AS er med i Grønt Skipsfartsprogram's pilotprosjekt med mål om å oppgradere minst et av fartøyene til å gå på ammoniakk. Det skal utføres en teknisk og økonomisk studie, der mulighetene og utfordringene med ammoniakk som energibærer skal utforskes og fremlegges [78].

Prosjektet har til nå utviklet en offentlig tilgjengelig sikkerhetshåndbok for bruk av ammoniakk som drivstoff, samt rapporter om ammoniakk som drivstoff og risikoanalyse ved bunkring av ammoniakk på passasjerfartøyer. Studien har ikke identifisert noen uoverkommelige tekniske eller sikkerhetsmessige barrierer, og er for øyeblikket under vurdering for realisering [78].

Hvert år bruker fartøyet Color Fantasy (som vist i Figur 8-1) 25 000 tonn drivstoff. For å ha den sammen energimengden måtte det bunkres om lag 60 000 tonn ammoniakk. Dette medfører utfordringer med hensyn til bunkerskapasiteten ombord, bunkringshyppighet, holde rutetidene og ikke minst sikkerhet rundt bunkring samtidig som passasjerer og biler skal av og på skipet. Om det er mulig å skifte til ammoniakk har selvsagt også et økonomisk element. Finansierungsordninger, «grønne» lån og drivstoffkostnader er avgjørende for bruk av ammoniakk i stedet for andre alternativer [79].



Figur 8-1. Color Fantasy [80]

## 8.2 Viking Energy

Plattformforsyningskipet til Eidesvik Offshore ASA, Viking Energy var verdens første fartøy i klassen operert med LNG når den ble levert i 2003. I 2016 ble den også verdens første hybride-plattformforsyningskip med batteripakke. Nå er målet at fartøyet skal få installert en brenselcelle driftet av ammoniakk innen 2024, for dermed å bli verdens første utslippsfrie plattformforsyningskipet [72].

Viking Energy skal installere en SOFC med ammoniakk som er estimert til å produsere om lag 2 mega watt (MW). Dette femårig prosjekt, der brenselcellen skal utprøves gjennom ett år samtidig som fartøyet skal gå i normal rutetrafikk fra land og mellom offshoreinstallasjonene. Normalt bruker fartøyet landstrøm ved landligge, men i denne perioden skal det etter planen genereres strøm med brenselcelle og ammoniakk. I testperioden er målet at 60-70 prosent av energiforbruket skal komme fra brenselcellen. Resterende kraftforbruk ombord vil genereres fra LNG og diesel. Et av formålene med prosjektet er å demonstrere at brenselcellen kan stå for opptil 90 prosent av kraftforbruket om bord [72, 81].

100 kvadratmeter av Viking Energy (som vist i Figur 8-2) sitt lastedekk er satt av til ammoniakkbrenselcellen og utstyr. Det er Yara som har fått kontrakt på å levere grønn ammoniakk fremstilt av elektrolyse til Viking Energy. Med den nye brenselcellen kan skipet seile 3.000 timer på rent drivstoff hvert år [81, 82].



Figur 8-2. Viking Energy [83]

### 8.3 MS Green Ammonia

Rederiet Grieg Star AS og motorprodusenten Wärtsilä har inngått et prosjektsamarbeid om bygging av et utslippsfritt tankfartøy. Prosjektet er et resultat av Zeeds og har fått finansiell støtte av Pilot-E [84].

Det utslippsfrie tankfartøyet MS Green Ammonia skal være ferdig i 2024. Det skal både forbruke og transportere grønn ammoniakk. Fartøyet skal distribuere grønn ammoniakk fra den planlagte ammoniakkfabrikken i Berlevåg til forbrukere langs norskekysten og en kraftstasjon på Svalbard [84, 85].

MS Green Ammonia har fått godkjenning (approval in principle, AIP) av DNV, det betyr at prosjektet er gjennomførbart og at de nå kan gå videre med utvikling av fartøyets detaljer og design. Fartøyet som vist i Figur 8-3 skal være 120 meter langt med en lastekapasitet på 7.500 kubikkmeter ammoniakk. Det skal kunne laste 1.000 m<sup>3</sup>/t og vil ha en Wärtsilä W25DF ammoniakkmotor [86].



Figur 8-3. Illustrasjon av fartøyet MS Green Ammonia [87]

#### 8.4 NS Freyja, Viking Lady og Ocean Infinity og andre

I tillegg til ovenfor nevnte prosjekter er det også planlagt at begge plattformforsyningskipene NS Frayja og Viking Lady skal få installert brenselceller for utprøving av ammoniakk som energibærer i 2024 og 2025. Hvis resultatene er tilfredsstillende skal ammoniakk etter planen standardiseres som energibærer for offshorefartøyer i Nordsjøbassenget [88].

Ocean Infinity skal bygge seks flerbruks-offshorefartøyer som skal fjernstyres, altså opereres fra land og etter hvert gå over til grønn ammoniakk som drivstoff. Fartøyene skal overleveres i 2025 [89].

Det japanske rederiet «NYK Line» og partnere har også startet et prosjekt for å kommersialisere et ammoniakk-drevet skip. De skal gjennomføre to prosjekter, en ammoniakk-drevet taubåt ferdigstilt i 2024 og et ammoniakk-drevet ammoniakk gasslastefartøy (AFAGC) ferdig i 2026 som vist i Figur 8-4. Målet er å redusere klimagassutslippene ved å bruke en drivstoffblanding inneholdende opp til 80% ammoniakk eller høyere. AFAGC skal forbruke og transportere ammoniakk, og kan derfor bruke BOG fra lasten som drivstoff. For gasstankeren er målet å ha en blanding med 95% ammoniakk i hovedmotorene og opp til 80% på hjelpemotorene/ generatorene [90].



Figur 8-4. Illustrasjon av NYK Line Ammoniakk drevet taubåt [59] og AFAGC [1]

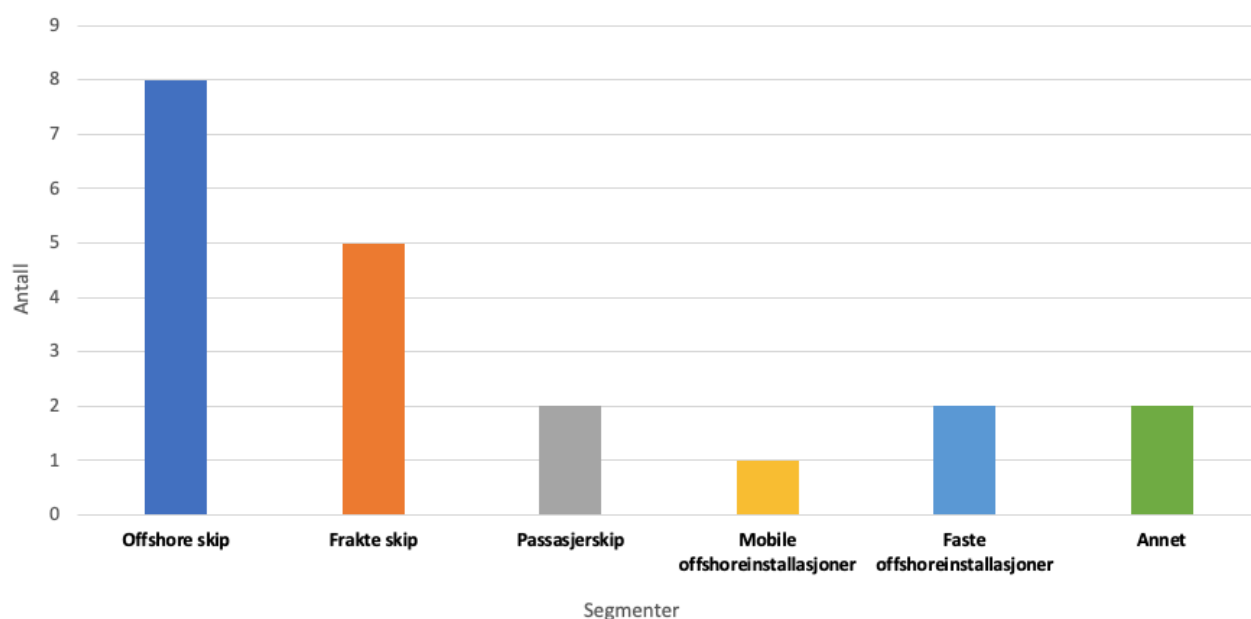
## 9 Resultat fra spørreundersøkelse

Det ble sendt ut en spørreundersøkelse via e-post til 50 norske rederier og 5 norske operatørselskaper, (se vedlegg 1). Alle deltaker fikk samme spørreskjema med avkrysningsalternativer og kommentarmuligheter. Av de utsendte spørreundersøkelsene var det 12 rederier og 2 operatørselskap som deltok. De representerer henholdsvis en 24% og 40% responsrate. Deltakende rederier var fra varierte segmenter.

*\*Det var tillatt å krysse av på et eller flere alternativ som var korrekt for deltakeren. Det er derfor flere svar i figurene enn deltakere.*

### Spørsmål 1: Hvilke segment operer dere inne?

Resultat av spørreundersøkelsens spørsmål 1 viser en klar majoritet i svar fra «offshore skip» som vist i Figur 9-1. Dette kan skyldes fordelingen av utsendte undersøkelser til rederiene, samt stor interesse for alternativt drivstoff med sterk konkurranse innenfor offshore-fartøyesegmentet der det er per dags dato er flere fartøyer enn det er arbeid. Det kan argumenteres at rederiene innenfor segmentet tvinges til kontinuering utvikling av flåten for å skape fortrinn i en anbudsrunde.

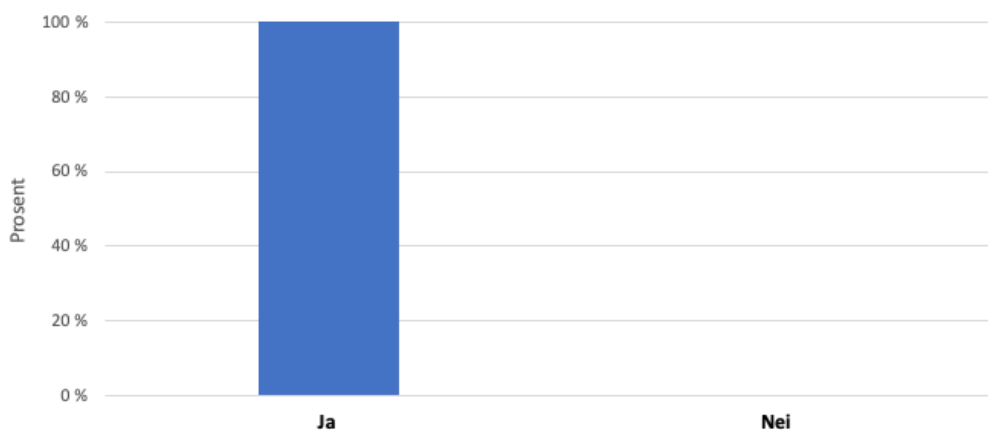


Figur 9-1. Bardiagram for respons spørsmål 1

## Spørsmål 2: Kan det være et alternativ å bytte fra nåværende drivstofftype?

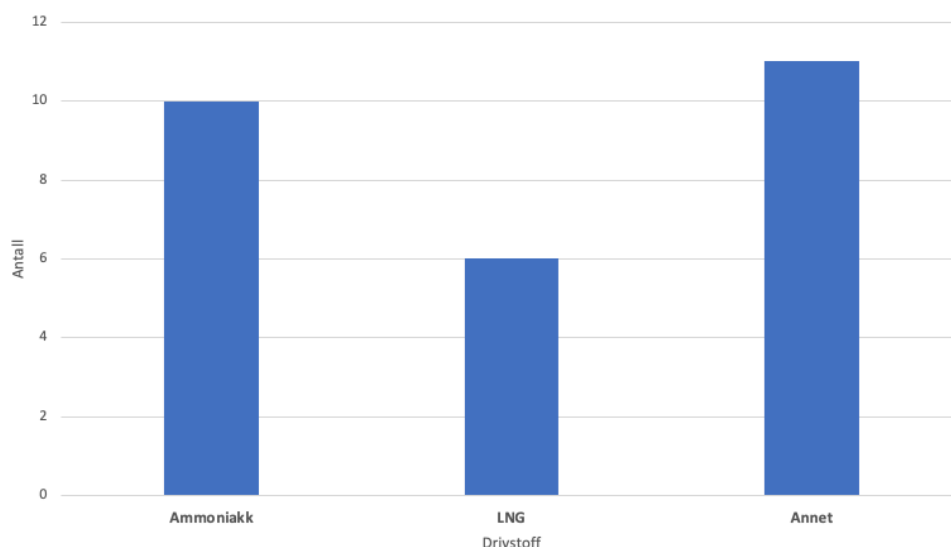
Resultatet av spørsmål 2 understreker hypotesen. «Det er i alle deltakende parters interesse at det utvikles et alternativt drivstoff» (som vist i Figur 9-2). Dette kan begrunnes med innstramning av miljøkrav internasjonalt og nasjonalt. Innstramning i lovverket og tilgjengelighet vil være med på å øke drivstoffpriser samt avgifter, som igjen vil påvirke overskuddet til selskapene.

Produksjon av et nytt drivstoff vil kunne gjøre den maritime næringen mer attraktiv, det vil gi muligheter for utvidelse av varetransport på fartøyer. Eksempelvis prioritering av laks på fartøyer i stedet for dagens transport på trailere.



Figur 9-2. Bardiagram for respons spørsmål 2

Spørsmål 2 hadde i tillegg et underspørsmål der deltakere interessert i et alternativt drivstoff kunne krysse av eller kommentere det foretrukne drivstoffet. Som vist i Figur 9-3 var interessen stor for ammoniakk og LNG. Det var i tillegg flere andre drivstoff som ble foreslått, herunder ble blant annet hydrogen, metanol, biogass, syntetisk diesel og atomkraft. Det kommer frem at deltakerne har god innsikt i de forskjellige drivstoffalternativene som undersøkes i markedet, og det kommer frem at nye løsninger vurderes på nybyggingsprosjekter. Herunder vurderinger om det skal satses eller avventes til infrastruktur og dermed tilgjengelighet er på plass.



Figur 9-3. Bardiagram for respons tilleggs spørsmål til spørsmål 2



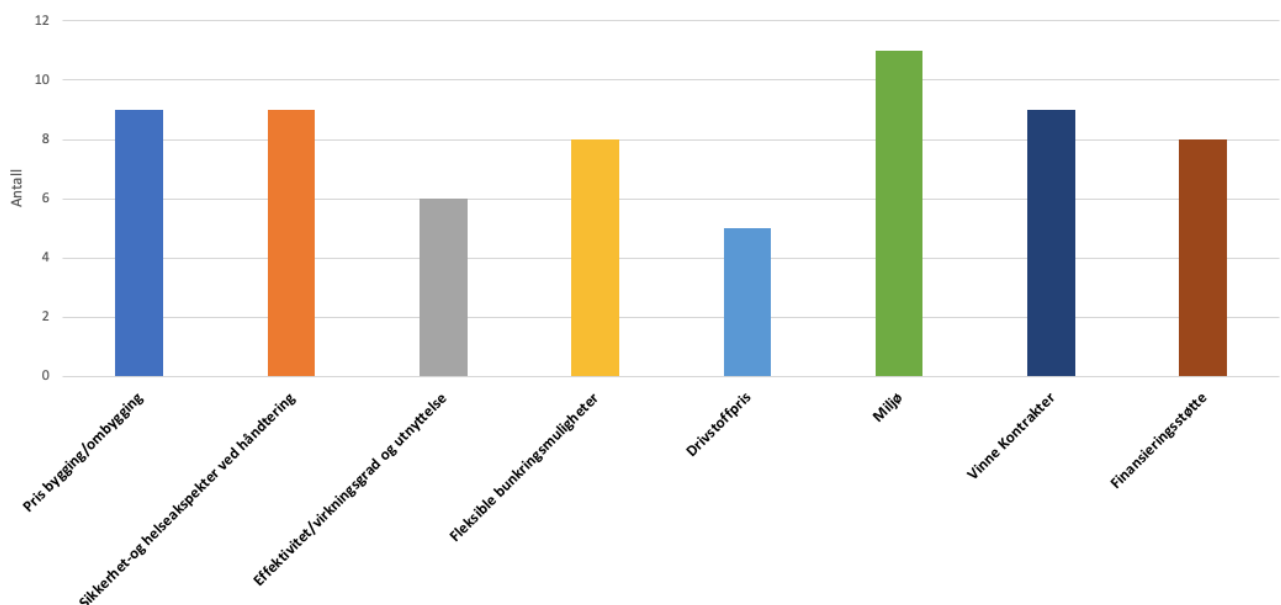
Grunnen til at interessen for «annet» alternativet er høyere enn for ammoniakk og LNG begrunnes med problematisk tilgjengelighet i resten av verden. Fremstilling av ammoniakk med elektrolyse krever enorme mengder fornybar energi, noe som Norge er nesten alene om. Flere kommentarer fra undersøkelsen understreker påstanden der verdensbildet og ikke Norge er avgjørende for valget av energibærer. LNG, en energibærer som har vært tilgjengelig i over 20 år, men fremdeles bare har 68 bunkringsstasjoner rundt i verden og der majoriteten av disse befinner seg i Europa bekrefter denne påstand.

### Spørsmål 3: Hva er avgjørende for å velge ammoniakk eller LNG kontra diesel?

Spørreundersøkelsen konstaterer at miljø, sikkerhet- og helseaspekter ved håndtering av drivstoff er det mest avgjørende for å velge ammoniakk eller LNG fremfor diesel. Andre faktorer er pris ved bygging/ombygging, fleksibilitet, finansieringsstøtte og vinning av kontrakter.

Resultatet viser at det må tas hensyn til flere faktorer, men med et stort fokus på miljø og sikkerhet for å velge et annet alternativt drivstoff fremfor et tradisjonelt drivstoff som vist i Figur 9-4. Svarene gjenspeiler «offshore skip» segmentet, der svarandelen er størst. «Å vinne kontrakter» er en avgjørende faktor mens drivstoffprisen ikke er like viktig. Dette begrunnes med at drivstoffet som oftest inngår i kontrakten med operatørselskapet. For andre segmenter vil drivstoffpris være viktigere med tanke på hva kunden er villig til å betale og derav overskuddet. Effektivitet/ virkningsgrad og utnyttelse er ikke en like høy prioritet som de andre faktorene, dette har trolig en sammenheng med at ikke alle fartøyer betaler drivstoffet selv. Det kan også være en faktor at fartøyene går korte distanser med hyppige havneanløp og muligheten for bunkring.

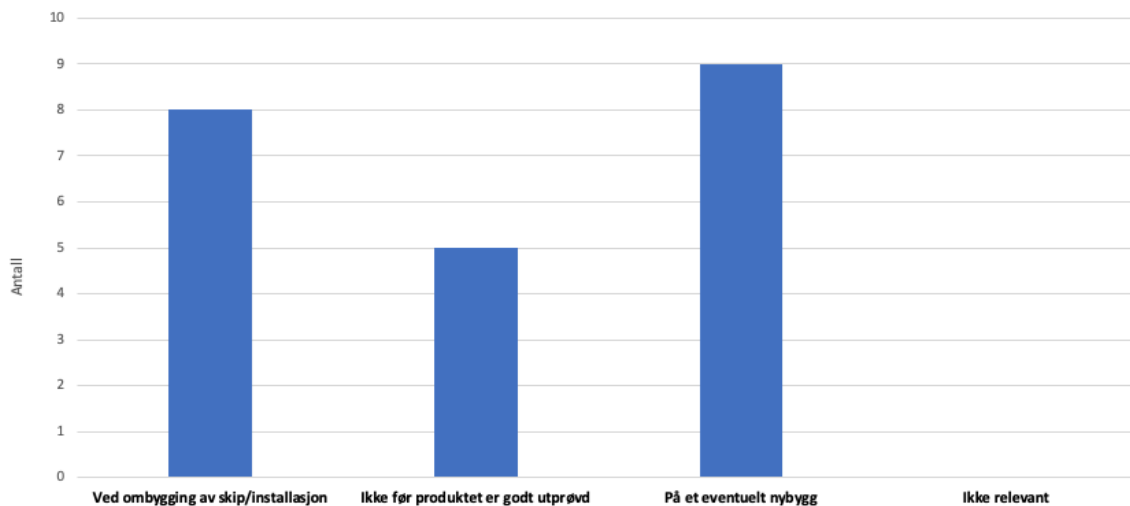
Offshore-fartøyer vil også bli mer konkurransedyktige og ha fordeler i anbudskonkurranser med miljøvennlige drivstoffalternativer. Det vil på den andre siden være en stor kostnad forbundet med ombygging som flere ikke vil ta seg råd til uten finansieringsstøtte og markedsfordeler. Uten fleksible bunkringsmuligheter vil det også være store begrensninger i fartsområdet til fartøyet, resulterende i en konklusjon om at løsningen ikke er attraktiv.



Figur 9-4. Bardigram for respons spørsmål 3

**Spørsmål 4: Med forbehold om at ammoniakk er ett nytt drivstoff på markedet og lite utprøvd i skipsfart og offshore. Når ville det vært sannsynlig at dere ville tatt i bruk ammoniakk?**

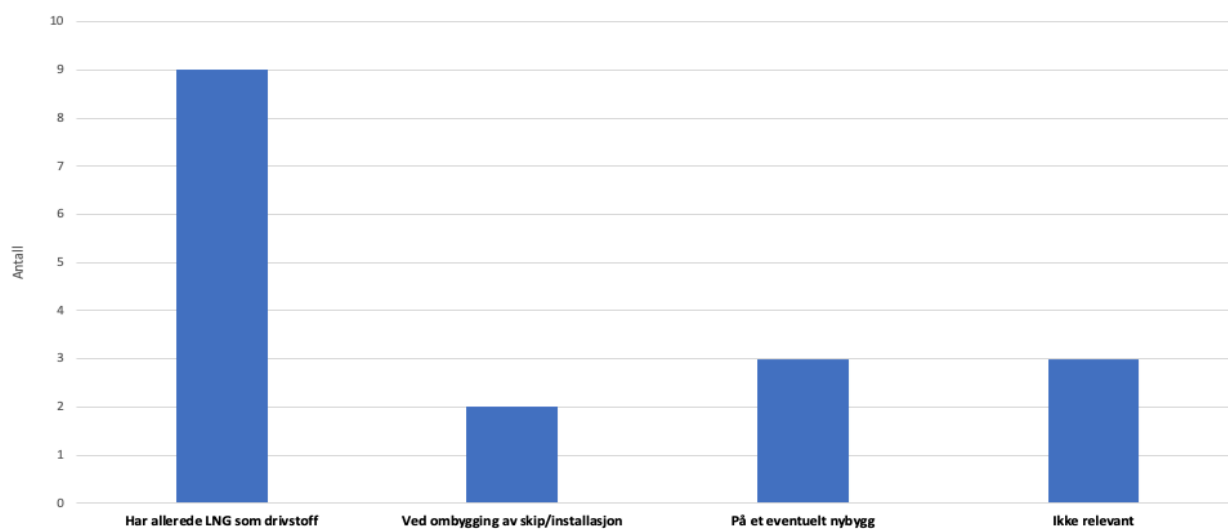
Resultatet til spørsmål 4 bekrefter at ammoniakk vurderes på nybyggingsprosjekter og ombygginger. Samtidig er det tilbakeholdenhet frem til løsningene er godt nok utprøvd. Det vil være enklere å ta i bruk et drivstoff som er utprøvd, avventing kan føre til forbedret teknologi og reduksjon i risiko. Bruk av ammoniakk i nybygg er som vist i Figur 9-5 er litt høyere. Det kan begrunnes med at det muligens ikke vil svare seg å ombygge et fartøy kontra å bygge nytt med tanke på utviklingen i teknologi, verkstedtid og det økonomiske forutsetningene. Samtidig anser mange det som for risikabelt og vil ha muligheten til å variere drivstofftype ut ifra tilgjengelighet og pris på drivstoff. For høy risiko kan også argumenteres i tilfeller der fartøyene ikke har langtidskontrakter og/eller kunder uten ambisjoner rundt alternative drivstofftyper. Om kunden er likegyldig til drivstoff og miljø vil det være en ulempe å redusere lastekapasitet ved å ettermontere containere med brenselcelle, tilhørende utstyr og tanker; eksempelvis kan det være et plattformforsyningsfartøy som konkurrerer med antall kvadratmeter lasteplass på lastedekket som vil tape konkurransekraft.



Figur 9-5. Bardiagram for respons spørsmål 4

### Spørsmål 5: Og når ville det vært sannsynlig å ta i bruk LNG?

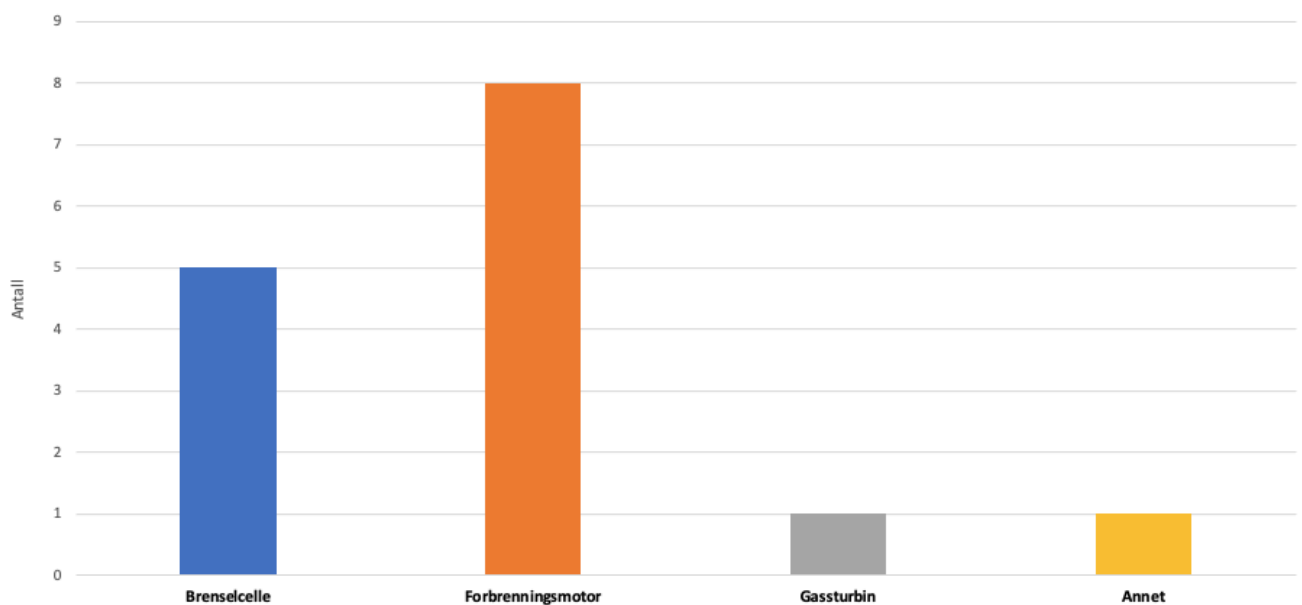
Resultatet som vist på Figur 9-6 viser at majoriteten av respondentene allerede har LNG som drivstoff på noen av sine fartøyer. Dette er trolig begrunnet i at Norge er en stor pådriver innen miljø og alternative drivstofftyper. I kommentarene kommer det likevel frem at deltakerne ikke tror på LNG som løsningen for å nå IMOs klimamål på grunn av tilhørende CO<sub>2</sub> og metan utslipp. Det kan argumenteres for at LNG kan være en midlertidig løsning, en bro, frem til et nullutslipps drivstoff er tilgjengelig.



Figur 9-6. Bardiagram for respons spørsmål 5

### Spørsmål 6: Hvilken kraftgenerering ville dere foretrukket uavhengig av pris og tilgjengelighet?

Tilbakemeldingene som vist i Figur 9-7 er at forbrenningsmotorer og brenselceller er den kraftgenereringen som anses som mest interessant. Forbrenningsmotoren har god virkningsgrad og har vist seg som en moden og stabil kraftkilde i mange tiår. Forbrenningsmotoren vil være attraktiv ved å bruke dual fuel-teknologien som trinnløst bytter mellom drivstofftypene. Brenselceller er tydelig en ettertraktet teknologi som kan gjøre det bra på markedet etter hvert som den utvikles. Dette kan begrunnes med at virkningsgraden er konkurransedyktig sammenlignet med en forbrenningsmotor og gir nullutslipp. Brenselcellene vil også lett kunne monteres på dekk i konteiner på samme måte som allerede eksisterende batteripakker ombord på Viking Energy (som nevnt i 8.2). Det vil spare tid på verksted og kostnader ved ombygginger.



Figur 9-7. Bardiagram for respons spørsmål 6

## 10 Drøfting

Denne delen av oppgaven tar for seg teorien beskrevet i kapitlene 3 til og med 8, og knytter dem sammen for å danne et fullstendig bilde av energibærerene LNG og ammoniakk. For å besvare problemstillingen «*Er ammoniakk fremtidens drivstoff eller er det hensiktsmessig å utvide dagens bruk av LNG for å innfri målet om en grønnere skipsfart?*». Til slutt blir spørreundersøkelsen som ble sendt ut til norske operatørselskaper og rederier brukt for å skape aktualitet til spørsmålet.

Ammoniakk som energibærer har potensial til å bli fremtidens nullutslippsdrivstoff for skipsfarten. Sammenlignet med LNG sin allerede eksisterende plassering i markedet har ammoniakk flere fortrinn. Utfordringene rundt ammoniakkproduksjon, infrastruktur, sikkerhet- og håndtering må løses og være til stede for å anse dette alternativet konkurransedyktig med dagens tilgjengelige produkter.

En av utfordringene med bruken av ammoniakk som energibærer er dens lave energitetthet. Det kreves tre ganger volum for lagring sammenlignet med diesel som vist i eksempel studie kap. 7. Den lave energitettheten vil dermed medføre økt kostnad for drivstoffhåndtering, større lagringstanker eller hyppigere bunkringer, redusert fartøysvolum som kunne vært brukt til innbringende oppdrag.

En kombinasjon av en teknisk og kompliserte konstruksjoner av fartøyets drivstofftanker med tilhørende kjøle- og trykksystemer, stressreduksjon og korrosivt motstandsdyktige materialer, gjør at en overgang til ammoniakk fra diesel anes som omfattende av mange rederier. Derimot kan fartøyer som benytter LNG som drivstoff ha en mer trinnløs overgang til diesel ved bruk av dual fuel løsninger.

Bruken av ammoniakk som energibærer er mulig i form av brenselceller, forbrenningsmotorer og gassturbiner. SOFC, en brenselcelle nevnt i 3.8, som etter planen skal utprøves på plattformforsyningsfartøyet Viking Energy er en variant som kan bruke ammoniakk direkte som energibærer og anses som den eneste med dagens teknologi som kan måles opp mot forbrenningsmotor med tradisjonelt drivstoff.

En IDAFC vil ikke kunne egne seg på samme måte som en SOFC ved bruk av ammoniakk som energibærer. Dette skyldes dens enorme energibehov ved spalting av ammoniakken for fremstilling av hydrogen, i tillegg til å være svært sensitiv i forhold til rester av ammoniakk. På sikt vil det ut fra prediksjoner være hovedsakelig grønn ammoniakk som produseres. Dermed vil brenselcelle-teknologien være helt utslippsfri. Dette i motsetning til ammoniakk i en forbrenningsmotor som danner NO<sub>x</sub> og dagens bruk av LNG med utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og metan.

Ammoniakk og LNG har flere fellestrekk i aggregattilstandene gass og flytende. I følge sikkerhets håndboken for ammoniakk [26] vil klassifikasjons kravene være de samme under implementeringen av ammoniakk som de er for LNG i dag. Det er blant annet krav om segregering, doble barrierer, ventilasjon, håndtering av BOG, lekkasjedetektorer, automatisk isolasjon av lekkasjer, spesialbygde tanker, konstruksjon og materialer.

Til tross for likheten oppfører ammoniakk seg også ulikt fra LNG på viktige områder, deriblant at den er giftig og svært korrosivt. Det gjør det særdeles viktig å tenke på materialvalg ved bruk av ammoniakk for å unngå korrosjon i tanker. Bruk av LNG har ikke de samme materialvalg utfordringene og det fokuseres mer på lett vekt og materialer som håndterer kryogene temperaturer.

En fare ved lagring av ammoniakk er som nevnt i 6.1, sprekke dannelse/ Stress Corrosion Cracks (SCC). En kombinasjon av materialstress, konstruksjonsmateriale og ammoniakk kan være utløsende for sprekke dannelse. Den kjemiske reaksjonen i tanken kan bremses ved å tilsette vann. SCC er ikke en tilsvarende utfordring når det kommer til lagring og oppbevaring av LNG.

Frakt og lagring av ammoniakk kan gjøres ved komprimering, kjøling eller begge deler. Trykktankene uten isolasjon og regassifisering anlegg er den enkleste metoden, men vil bli ganske tunge og redusere lastekapasitet til fartøyet. Det er derfor mer egnet å kjøle ammoniakken slik som det gjøres med LNG. Teknologi, konstruksjon og materialvalg til lagringstanker har hatt en positiv utvikling, noe som reduserer varmeveksling og dermed BOG fra lasten.

Ammoniakk og LNG har begge høy antennelsestemperatur i forhold til diesel, noe som reduserer risiko for selvantennelse, som vist i Tabell 8. Allikevel kan begge fremdeles antennes og eksplodere i gasstilstand om det finnes oksygen og en ekstern antenneskilde.

Den stikkende lukten til ammoniakk gjør det enklere å oppdage lekkasjer i forhold til LNG.

Tabell 8. Egenskaper til ammoniakk og LNG (data hentet fra [26])

<b>Egenskaper</b>	<b>Ammoniakk</b>	<b>LNG</b>
Flytende	-33,4°C	-161.4°C
Antennelsestemperatur	650°C	540°C
Forurensning: <i>Forbrenningsmotor</i> <i>Brenselcelle</i>	NO <sub>x</sub> Ingen	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og metan
Brannfarlig	Ja, ved antennelse	Ja, ved antennelse
Eksplisjonsfarlig	Ja, ved antennelse	Ja, ved antennelse
Giftig	Ja	Nei
Kveldende	Nei	Ja
Korrosivt /etsende	Ja	Nei
Frostskader	Nei	Ja

Ammoniakkproduksjonen slik den skjer i dag, som nevnt i 3.2, består hovedsakelig av typen grå. Frem til det produseres grønn ammoniakk vil fremstilling og forbrenning medføre utslipp av CO<sub>2</sub>. Ammoniakk fremstilles nå hovedsak av naturgass og er langt mer energikrevende og kostbart enn tørking og prosessering av naturgassen LNG.

Et eventuelt utslipp av ammoniakk til sjø vil gjøre tilsvarende skade som ved utslipp av petroleumsprodukter. Ulikheten vil imidlertid være at ammoniakken blandes ut over tid og forsvinner. I motsetning vil LNG evaporere ganske raskt uten å etterlate spor i havområdet, men vil stige til atmosfæren og dermed bidra til drivhuseffekten. Ammoniakk har et akutt skadeomfang, i kontrast til LNG som har et mer permanent skadeomfang.

Bygging og tilpassing av eksisterende industri for produksjon av grønn ammoniakk vil ta tid og være kostbar. For å ta ammoniakk i bruk som drivstoff behøves det også et nettverk av bunkringsstasjoner. Bunkringsprinsippene for LNG og ammoniakk er ganske tilsvarende, men ekspansjonsfaktoren til ammoniakk er høyere og vil dermed kreve en større sikkerhetsone ved bunkring og utlufting. Dette medfører spesialtilpassede områder for bunkring av ammoniakk likt eller større enn det som finnes for LNG. Basert på erfaringen fra LNG er det rettet oppmerksomhet på å ha infrastrukturen på plass for at forbrukere skal ønske å ta i bruk et nytt drivstoff. Bransjesamarbeid som Zeeds har forstått dette og er nok en viktig medspiller på veien mot å tilrettelegge for ammoniakk i markedet. Zeeds ønsker å bygge produksjons- og bunkringsstasjoner til havs for å ta i bruk grønn ammoniakk som nytt drivstoff.

I og med at det ikke finnes utbygget infrastruktur for ammoniakk-bunkring i dag er potensielle kunder få og markedet snevret. Som for LNG skip var fartøyer som gikk korte avstander med hyppige havnearløp egnet til å være forgangsfartøy og det samme vil kunne gjelde med ammoniakk. Våre kystferger og plattformforsyningskip er gode eksempler på dette. Likevel kan skip i langfart dra nytte av ammoniakk som energibærer ved å «spise fra lasten» slik som dagens LNG-transportører nytter BOG fra lasten som drivstoff, og noe tilsvarende vil ammoniakk-lastefartøyer kunne gjøre.

Dagens moderne flåte har allerede mange skip med hybridløsninger som presentert i 1.1.1 startfasen kan ammoniakk fungerer som et supplement til fremdriften på fartøy, noe som vil bidra til en hurtigere utprøving [71]. Dette kan sette fortgang på implementeringen og komme til nytte ved innstramning av NO<sub>x</sub> avgiftssoner og nullutslippskrav ved seiling i norske fjorder [91].

Igangsatte pilotprosjekter som nevnt i 8 vil kunne gi svar på om det er mulig å bruke ammoniakk som drivstoff i fremtiden og gi en kartlegging av fartøysegmenter der dette vil være realistisk. Utprøving som drivstoff i skip og installasjoner er en viktig del for å kunne analysere om det er mulig å opprettholde sikkerhet også ved drivstoffhåndtering sammenlignet med å ha ammoniakk kun som last. Å opprettholde sikkerhet ved drift og vedlikehold for å forhindre eksponering av mannskap og eventuelt passasjerer er selvsagt avgjørende på grunn av ammoniakken er giftig og helseskadelig. Pilotprosjekter og satsing på et nytt drivstoff har store kostnader for rederier og operatører, noe som gir avhengighet av finansieringsstøtte fra eksempelvis EU, Innovasjon Norge og Enova.

Fra spørreundersøkelsen var det flere kommentarer på at en overgang til ammoniakk foreløpig er for risikabelt med tanke på sikkerheten til besetning og passasjerer. Det blir også nevnt av flere at tilgjengelighet er avgjørende for selskaper som vurderer å satse. Løser en disse utfordringene kan en overgang til ammoniakk være aktuelt ved bruk av DF-forbrenningsmotorer. En DF-forbrenningsmotor gir mulighet for sømløs overgang mellom ammoniakk og diesel, og dermed reduserer risikoen av å være avhengig av kun en drivstofftype. Likt med LNG vil det mest sannsynlig ta tid å få infrastruktur på plass, og det vil i lang tid være steder uten tilgjengelighet. Det gjør et skifte risikofyllt.

Spørreundersøkelsen bekreftet tydelig interesse for nye drivstofftyper. Ammoniakk, hydrogen, metanol og atomkraft ble nevnt. Miljø, sikkerhet- og helseaspekter ved håndtering, pris ved ombygging og nybygg samt finansieringsløsninger er rederiene opptatt av. Rederier som tilbyr miljøvennlige løsninger vil ha en fordel i fremtidige anbuds konkurranser.

Flertallet av deltakeren i spørreundersøkelsen hadde allerede fartøyer med LNG som drivstoff. Samtidig som flere kunne tenkt seg å bygge om eller ha det på nybygg. Det kommer også frem i kommentarene i spørreundersøkelsen at utslipp av metan og CO<sub>2</sub> fra LNG gjør at de ikke tror det er løsningen på klimaproblemene. De ville blitt valgt en annen energibærer tilnærmet nullutslipp over LNG.

Offshoreoperatører som benytter naturgass som kraftproduksjon ønsker ifølge svarene på spørreundersøkelsen å se på andre alternativer. En overgang til ammoniakk som ny eller sekundær energibærer vil kreve transport med plattformforsyningsskip eller rør til installasjonen, noe som ikke vil være konkurransedyktig i nær fremtid.



## 11 Konklusjon

Basert på analysert teori kombinert med spørreundersøkelsen som ble utført for å besvare forskningsspørsmålet i denne oppgaven, kan det konkluderes med at ammoniakk ikke bør utelukkes som en av fremtidens energibærere. Fra å være et produkt for husholdninger og jordbruk til energibærer for kraftgenerering på skip og offshoreinstallasjoner har ammoniakk fremdeles en lang vei å gå, med tanke på teknologiutvikling, regelverk, sikkerhetsaspekter, men også grønn fremstilling og omfattende infrastruktur.

Ammoniakk kan gi lave utslipp eller være til helt utslippsfri avhengig av fremstillingsmetode, i motsetning til LNG som gir utslipp av metan, NO<sub>x</sub> og CO<sub>2</sub>.

Imidlertid vil det kunne være hensiktsmessig å bruke LNG frem til ammoniakk er utprøvd og klar for markedet. Fartøyer som allerede har LNG som drivstoff vil kunne ha en mer trinnløs overgang til ammoniakk enn diesel i fremtiden. Det er på grunn av at ammoniakk og LNG har felles prinsipper for teknisk anlegg, bunkring og lagring.

For offshoreinstallasjoner vil det ikke være lønnsomt med ammoniakk som drivstoff per i dag.

Grunnet begrenset respons på spørreundersøkelsen kan datainnsamlingen ikke vurderes å gi et representativt resultat. Likevel kan det konkluderes ut fra spørreundersøkelsen at det er en interesse for ammoniakk som energibærer fra både rederier og operatørselskaper. Dette med forbehold om at sikkerhets- og helseaspekter ved håndtering løses, samt tilgjengelighet av grønn ammoniakk som drivstoff.

## 12 Forslag til videre forskning

For videre forskning og modning foreslås det å igangsette flere prøveprosjekter med ammoniakk som energibærer på fartøy. I tillegg bør en forske mer på brenselcelle-teknologien til SOFC som er den mest lovende både teknisk og kommersielt, og som vil være grunnlag for en utslippsfri maritim næring med bruk av grønn ammoniakk.

## Bibliografi

- [1] N. Line, "Image of afagc," image2\_4, red., utg. NYK.com: NYK, 2020.
- [2] A. Valera-Medina og R. Baáres-Alcántar, *Techno-economic challenges of green ammonia as energy vector*, vol. 1., nr. Issue, s. Pages, E-Pub Date. doi: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01417-3> [Online]. Hentet fra:
- [3] S. Mokhatab, J. Y. Mak, J. Valappil og D. A. Wood, *Handbook of liquefied natural gas*, 1st utg. Saint Louis: Saint Louis: Elsevier Science & Technology, 2013.
- [4] UNCTAD. 2021. *Review of maritime transport 2021* [Online]. Hentet fra: <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021>. Lastet ned: 5. februar.2022.
- [5] V. Næss. 2017. *90 prosent av alle varer transporteres med båt, skipsfarten viktig for å nå fns bærekraftsmål* [Online]. Hentet fra: <https://www.fn.no/nyheter/Skipsfart-kan-bidra-til-aa-naa-FNs-baerekraftsmaal>. Lastet ned: 5.februar.2022.
- [6] Sjøfartsdirektoratet. 2016. *Utslipp til luft* [Online]. Hentet fra: <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/utslipp-fra-skip/utslipp-til-luft/>. Lastet ned: 4.februar.2022.
- [7] IMO. *Initial imo ghg strategy* [Online]. Hentet fra: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>. Lastet ned: 19.januar.2022.
- [8] FN. 2020. *Parisavtalen* [Online]. Hentet fra: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>. Lastet ned: 5.februar.2022.
- [9] H. M. M. Sigbjørn Larsen, "«viking energy» blir første skip på ammoniakk," i *Skipsrevyen*, utg. skipsrevyen.no: Skipsrevyen, 2020.
- [10] Equinor. 2018. *Mitt skip er lastet med... batterier* [Online]. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/magazine/battery-hybrid-supply-ship.html>. Lastet ned: 2.februar.2022.
- [11] K. Øystese, "Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart," i *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*, N. Klimastiftelse, red., Notat 3/2020 utg.: Norsk klimastiftelse, 2020, s. 17.
- [12] K. W. Vadset, "Skal bygge batterielektrisk oppdrettsbåt," i *Maritimt Magasin*, utg. maritimt.com: Maritimt Magasin, 2020.
- [13] K. Hofstad. 2021. *Ammoniakk- energibærer* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/ammoniakk - energibærer>. Lastet ned: 10.januar.2022.
- [14] R. C. Pettersen, *Oppgaveskrivingens abc : Veileder og førstehjelp for bachelorstudenten*, 2. utg. utg. (Veileder og førstehjelp for bachelorstudenter). Oslo: Universitetsforl., 2016.
- [15] O. Hellevik. 2015. *Spørreundersøkelser* [Online]. Hentet fra: <https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/sporreundersokelser/>. Lastet ned: 9.april 2022.
- [16] B. Pedersen. 2021. *Ammoniakk* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/ammoniakk> Lastet ned: 10.januar.2022.
- [17] DNV-GL, Green shipping programme og Sjøfartsdirektoratet, "Report for pilot «ammonia as fuel»," Green shipping programme, grontskipsfartsprogram.no11.08.2021 2021, vol. 2, [Tech Rep.], <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2021/07/Ammonia-as-fuel-final-rev.pdf>, Lastet ned: 15.mars.2022.

- [18] A. Valera-Medina, H. Xiao, M. Owen-Jones, W. I. F. David og P. J. Bowen, "Ammonia for power," *Progress in Energy and Combustion Science*, [Online] vol. 69, s. 63-102, 2018/11/01/ 2018.
- [19] YARA. 2021. *Åpner for historisk satsing på grønt hydrogen og grønn ammoniakk i norge* [Online]. Hentet fra: <https://www.yara.com/corporate-releases/apner-for-historisk-satsing-pa-gront-hydrogen-og-gronn-ammoniakk-i-norge/>. Lastet ned: 31.januar.2022.
- [20] K. Hofstad. 2020. *Lng* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/LNG>. Lastet ned: 28.januar.2022.
- [21] YARA. 2022. *Forbrenningsgassbehandling for nox med selective catalytic reduction* [Online]. Hentet fra: <https://www.yara.no/kjemiske-og-miljomessige-losninger/kontroll-av-nox-utslipp-i-industrien/scr-sncr-system-eller-sncr-scr-hybridsystem/scr-teknologi/>. Lastet ned: 18.januar.2022.
- [22] F. Y. Al-Aboosi, M. M. El-Halwagi, M. Moore og R. B. Nielsen, "Renewable ammonia as an alternative fuel for the shipping industry," *Current Opinion in Chemical Engineering*, vol. 31, s. 100670, 2021/03/01/ 2021.
- [23] B. Pedersen. 2021. *Elektrolyse* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/elektrolyse>. Lastet ned: 31.januar.2022.
- [24] K. Hofstad. 2021. *Karbonfangst og -lagring* [Online]. Hentet fra: [https://snl.no/karbonfangst\\_og\\_-lagring](https://snl.no/karbonfangst_og_-lagring). Lastet ned: 7.februar.2022.
- [25] K. Hofstad. 2019. *Tørrgass* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/tørrgass> Lastet ned: 29.januar.2022.
- [26] DNV-GL, Green shipping programme og Sjøfartsdirektoratet, *Ammonia as a marine fuel safety handbook*, vol. 1., nr. Issue, s. Pages, E-Pub, <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2020/11/Ammonia-as-Marine-Fuel-Safety-Handbook-Rev-01.pdf>[Online]. Hentet fra: <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2020/11/Ammonia-as-Marine-Fuel-Safety-Handbook-Rev-01.pdf>
- [27] Norsk Petroleum. *Eksport av olje og gass* [Online]. Hentet fra: <https://www.norskpetroleum.no/produksjon-og-eksport/eksport-av-olje-og-gass/>. Lastet ned: 29.januar.2022.
- [28] N. H. Lundberg, N. Nesse, J. Hagland og K. Hofstad. 2020. *Naturgass* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/naturgass>. Lastet ned: 30.januar.2022.
- [29] Equinor. 2020. *Shipping equinor* [Online]. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/what-we-do/shipping.html>. Lastet ned: 8.mars.2022.
- [30] Equinor. *Hammerfest lng* [Online]. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/what-we-do/natural-gas/melkoya.html>. Lastet ned: 31.januar.2022.
- [31] N. Chr.Boye, *Kjemi og miljølære*, 4. utg. Oslo: Gyldendal, 2019.
- [32] T. Holtebekk, B. Pedersen og G. M. Haarberg. 2021. *Brenselcelle* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/brenselcelle>. Lastet ned: 13.januar.2022.
- [33] M. Aziz, A. T. Wijayanta og A. B. D. Nandiyanto, "Ammonia as effective hydrogen storage: A review on production, storage and utilization," *Energies*, [Online] vol. 13, nr. 12, s. 3062, 2020.
- [34] İ. Dinçer og O. Siddiqui, *Ammonia fuel cells*, vol. 1., nr. Issue, s. Pages, E-Pub Date. doi: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-02494-6> [Online]. Hentet fra:
- [35] Arthur Sarsten og G. O. Fiskaa. 2019. *Forbrenningsmotor* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/forbrenningsmotor>. Lastet ned: 9.mai 2022.

- [36] B. A. Brudevoll. 2021. *Motorskip* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/motorskip>. Lastet ned: 9.mai.2022.
- [37] W. Corporation. 2021. *Wärtsilä and shi agree to collaborate on ammonia fuelled engine for future newbuilds* [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/media/news/22-09-2021-wartsila-and-shi-agree-to-collaborate-on-ammonia-fuelled-engines-for-future-newbuilds-2978445>. Lastet ned: 11.mars.2022.
- [38] Å. Lunde, "Denne motoren kan forandra global skipsfart," 27.oktober.2021. Lastet ned: 11.mars.2022. [Online]. <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/Eaz9VI/denne-motoren-kan-forandra-global-skipsfart>. Hentet fra: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/Eaz9VI/denne-motoren-kan-forandra-global-skipsfart>
- [39] Wärtsilä. 2019. *Wärtsilä dual fuel engine*. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines>. Lastet ned: 12.mars.2022.
- [40] Wärtsilä. *Dual-fuel engines from wärtsilä* [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/dual-fuel-engines-from-wartsila>. Lastet ned: 12.mars.2022.
- [41] Wärtsilä. 2011. *Dual fuel process- engine on gas /wärtsilä* [Online]. Hentet fra: <https://www.youtube.com/watch?v=6mifHJ3MkfE>. Lastet ned: 2.mai.2022.
- [42] Wärtsilä. 2020. *Wärtsilä 31sg* [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/pure-gas-engines/wartsila-31sg>. Lastet ned: 12.mars.2022.
- [43] F. Rabbevåg. 2020. *Turbinskip* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/turbinskip>. Lastet ned: 31.mars.2022.
- [44] I. G. Union, "World lng report 2021," International Gas Union, igu.org3.juni.2021 2021, vol. 1, [Online], <https://www.igu.org/resources/world-lng-report-2021/>, Lastet ned: 29.mars.2022.
- [45] Equinor. 2022. *Elektrifisering av plattformar* [Online]. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/what-we-do/electrification.html>. Lastet ned: 31.Mars.
- [46] Harald Tønnesen og F. H. Sandberg. 2018. *Gassprosessen* [Online]. Hentet fra: <https://statfjord.industriminne.no/nb/2018/05/29/gassprosessen/>. Lastet ned: 19.april.2022.
- [47] D. G. Johnson. 2019. *Gassturbin* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/gassturbin>. Lastet ned: 31.mars.2022.
- [48] F. H. Sandberg. 2018. *Hjelpesystemer* [Online]. Hentet fra: <https://statfjord.industriminne.no/nb/2018/05/29/hjelpesystemer/>. Lastet ned: 19.april.2022.
- [49] H. Pettersen, "Statfjord c," C.-H. P.-C.-E.-S. C.-. 1165961.jpg, red., utg. equinor.no: Equinor.
- [50] F. Rabbevåg. 2020. *Lpg-skip* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/LPG-skip>. Lastet ned: 1.februar.2022.
- [51] Wärtsilä. 2022. *Gas carrier types* [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/gas-carrier-types>. Lastet ned: 11.april.2022.
- [52] DNV. 2022. *Smells like sustainability: Harnessing ammonia as ship fuel* [Online]. Hentet fra: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Harnessing-ammonia-as-ship->

- [fuel.html?utm\\_campaign=MA\\_22Q1\\_ART\\_Ind\\_351\\_Ammonia%20as%20ship%20fuel&utm\\_medium=email&utm\\_source=Eloqua](#). Lastet ned: 25.mars.2022.
- [53] DNV, "Ammonia bunkering of passenger vessel- concept quantitative risk assesment," grontskipsprogram.no27.04.2021 2021, vol. 1, [Tech Rep.], <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2021/07/Ammonia-bunkering-of-passenger-vessel-Concept-quantitative-risk-assessment.pdf>, Lastet ned: 12.april.2022.
- [54] Barents-Naturgass. 2022. *Lng til skip* [Online]. Hentet fra: <https://barentsnaturgass.no/lng-til-skip/>. Lastet ned: 12.april.2022.
- [55] N. Nesse. 2017. *Inertgass* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/inertgass>. Lastet ned: 12.april.2022.
- [56] F. Rabbevåg. 2021. *Gasstanker* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/gasstanker>. Lastet ned: 19.april.2022.
- [57] UACJ. 2022. *Aluminum alloy plates for moss lng tank* [Online]. Hentet fra: <https://www.uacj.co.jp/english/products/sheeting/aas-lng.htm>. Lastet ned: 11.april.2022.
- [58] Wärtsilä. 2015. *Creating optimal lng storage solutions* [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/insights/article/creating-optimal-lng-storage-solutions>. Lastet ned: 7.april.2022.
- [59] DNV. 2022. *Lng as marine fuel* [Online]. Hentet fra: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/technologies.html>. Lastet ned: 7.april.2022.
- [60] U. Eriksen. 2021. *Grønn ammoniakk: Klimavennlig drivstoff for lange distanser og tunge oppgaver* [Online]. Hentet fra: <https://www.statkraft.no/nyheter/nyheter-og-pressemeldinger/arkiv/2021/gronn-ammoniakk-klimavennlig-drivstoff-for-lange-distanser-og-tunge-oppgaver/>. Lastet ned: 13.mars.2022.
- [61] Douglas R.MacFarlane *et al.*, "A roadmap to the ammonia economy," [Online] vol. 4, nr. 6, s. 1186-1205, 17.June.2020 2020.
- [62] BP, "Statistical review of world energy," i "2021/ 70th edition," bp.noJuly 2021 2021, [Statistical Report], <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>, Lastet ned: 30.Mars.2022.
- [63] T. Stensvold, "Rederier og industri går sammen om nullutslippsløsninger for skip," vol. 1, nr. 1, 27.mai.2019. Lastet ned: 20.mars.2022. [Online]. <https://www.tu.no/artikler/rederier-og-industri-gar-sammen-om-nullutslippslosninger-for-skip/466156>. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/rederier-og-industri-gar-sammen-om-nullutslippslosninger-for-skip/466156>
- [64] Nox-fondet. *Om nox.Fondet* [Online]. Hentet fra: <https://www.noxfondet.no/artikler/om-nox-fondet/>. Lastet ned: 27.mars.2022.
- [65] Regjeringen, "Co2-avgiften," 10.januar.2020. Lastet ned: 28.mars.2022. [Online]. <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/co2-avgiften/id2603484/>. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/co2-avgiften/id2603484/>

- [66] Skatteetaten. 2022. *Nox-avgift* [Online]. Hentet fra: <https://e24.no/olje-og-energi/i/LA8801/Ing-drevet-oljetanker-does-digitalt-fredag-statlig-milliardhjelp-utloeste-teknologiloeft>. Lastet ned: 28.mars.2022.
- [67] Shipandbunker. 2022. *Rotterdam bunker prices* [Online]. Hentet fra: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam#LNG>. Lastet ned: 12.april.2022.
- [68] Zeeds, "Zeeds- berlevåg concept sketches 2020," 22MAY\_2c.jpg, red., utg. zeedsinitiative.com: Zeeds, 2020.
- [69] Å. Lunde, "Yara satser på grønn ammoniakk til skipsfarten," vol. 1,, nr. 1,, 28.oktober.2021. Lastet ned: 26.mars.2022. [Online]. <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/47WzBE/yara-satser-paa-groenn-ammoniakk-til-skipsfarten>. Hentet fra: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/47WzBE/yara-satser-paa-groenn-ammoniakk-til-skipsfarten>
- [70] GrøntSkipsfartsprogram. 2022. *Verdens mest effektive og miljøvennlige skipsfart* [Online]. Hentet fra: <https://grontskipsfartsprogram.no/om-gront-skipfartsprogram/>. Lastet ned: 21.mars.2022.
- [71] Equinor. 2020. *Planlegger verdens første forsyningskip på utslippsfri ammoniakk* [Online]. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/news/2020-01-23-viking-energy.html>. Lastet ned: 26.mars.2022.
- [72] Eidesvik. 2020. *Viking energy with ammonia-driven fuel cell* [Online]. Hentet fra: <https://eidesvik.no/viking-energy-with-ammonia-driven-fuel-cell/>. Lastet ned: 21.mars.2022.
- [73] J. William D. Callister og D. G. Rethwisch, *Callister's material science and engineering*, Global edition utg. (Based on the tenth edition). Asia: John Wiley sons Inc, 2019, s. 834.
- [74] dsb. 2015. *Sikkerhetsdatabald* [Online]. Hentet fra: <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/horinger-og-konsekvensutredninger/mongstadbases-bunkringsanlegg-for-Ing/vedlegg-10-sikkerhetsdatablad-Ing.pdf>. Lastet ned: 18.mars.2022.
- [75] Miljødirektoratet. 2021. *Klimagasser* [Online]. Hentet fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/klimagasser/>. Lastet ned: 23.april.2022.
- [76] Wärtsilä. 2017. *Wärtsilä. 31sg, the world's most efficient 4-stroke engine*. [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/insights/article/wartsila-31sg-the-worlds-most-efficient-4-stroke-engine>. Lastet ned: 9.mai.2022.
- [77] Ø. Grøn. 2022. *Virkningsgrad* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/virkningsgrad>. Lastet ned: 9.mai.2022.
- [78] GrøntSkipsfartprogram. 2020. *Ammoniakk som drivstoff for passasjer skip* [Online]. Hentet fra: <https://grontskipsfartsprogram.no/pilotprosjekt/ammoniakk-som-drivstoff-i-skipsfart/>. Lastet ned: 20.mars.2022.
- [79] T. Stensvold, "Pilotstudie: Color fantasy på ammoniakk," vol. 1, nr. 1, 27.april.2020. Lastet ned: 20.mars.2022. [Online]. <https://www.tu.no/artikler/pilotstudie-color-fantasy-pa-ammoniakk/490392?key=v5X29Sk8>. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/pilotstudie-color-fantasy-pa-ammoniakk/490392?key=v5X29Sk8>
- [80] Color-Line, "Color fantasy," 5080917147\_e75fe5cce3\_o\_d.jpg, red., utg. flickr.com: Flickr, 2018.

- [81] G. Omdal. 2021. *Alma clean power awarded contract to supply 2mw zero-emission ammonia fuel cell module* [Online]. Hentet fra: <https://claraventurelabs.com/news/clara-previously-prototech-awarded-contract-to-supply-2mw-zero-emission-ammonia-fuel-cell-module>. Lastet ned: 21.mars.2022.
- [82] Tore Stensvold og A. B. Jensen, "Eidesvik skal få verdens første utslippsfrie offshorefartøy: Bruker ammoniakk," vol. 1,, nr. 1,, 23.januar.2020. Lastet ned: 21.mars.2022. [Online]. <https://www.tu.no/artikler/verdens-forste-eidesvik-bygger-om-viking-energy-til-ammoniakk-drift/483392?key=IfDI5d9Y>. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/verdens-forste-eidesvik-bygger-om-viking-energy-til-ammoniakk-drift/483392?key=IfDI5d9Y>
- [83] Eidesvik, "Viking energy ( valderhaugfoto, 2015)," Viking-Energy-Valderhaugfoto-2015-11-scaled.jpg, red., utg. eidesvik.no: Eidesvik, 2015.
- [84] GriegStar. 2020. *Grieg and wärtsilä to build groundbreaking green ammonia tanker* [Online]. Hentet fra: <https://griegstar.com/grieg-and-wartsila-to-build-groundbreaking-green-ammonia-tanker/>. Lastet ned: 21.mars.2022.
- [85] Wärtsilä. 2021. *Shaking up shipping with ms green ammonia* [Online]. Hentet fra: <https://www.wartsila.com/insights/article/shaking-up-shipping-with-the-ms-green-ammonia>. Lastet ned: 21.mars.2022.
- [86] G. Edge. 2022. *A major milestone in the transition to sustainable shipping* [Online]. Hentet fra: <https://griegedge.com/a-major-milestone-in-the-transition-to-sustainable-shipping/>. Lastet ned: 9.april.2022.
- [87] G. M. Group, "Ms green ammonia-profile," 51975489843\_585905576d\_o.jpg, red., utg. flickr.com: Flickr, 2022.
- [88] B. Støren, "Aker lanserer milliardatsing i bergen," vol. 1,, nr. 1,, 9.november 2021. Lastet ned: 21.mars.2022. [Online]. <https://e24.no/naeringsliv/i/k6KEpk/aker-lanserer-milliardsatsing-i-bergen>. Hentet fra: <https://e24.no/naeringsliv/i/k6KEpk/aker-lanserer-milliardsatsing-i-bergen>
- [89] OceanInfinity. 2022. *Ocean infinity broadens remote fleet plans with order of 85m robotic vessel from vard* [Online]. Hentet fra: <https://oceaninfinity.com/2022/02/ocean-infinity-broadens-remote-fleet-plans-with-order-of-85m-robotic-vessels-from-ward/>. Lastet ned: 13.april.2022.
- [90] N. H. Prevljak, "Nyk: Project to commercialize ammonia-fueled ships set to begin," vol. 1,, nr. 1,, 26.oktober.2021. Lastet ned: 22.mars.2022. [Online]. <https://www.offshore-energy.biz/nyk-project-to-commercialize-ammonia-fuelled-ships-set-to-begin/>. Hentet fra: <https://www.offshore-energy.biz/nyk-project-to-commercialize-ammonia-fuelled-ships-set-to-begin/>
- [91] Zero. 2018. *Historisk vedtak om utslippsfrie fjorder* [Online]. Hentet fra: <https://zero.no/historisk-vedtak-utslippsfrie-fjorder/>. Lastet ned: 24.april.2022.



## Vedlegg

1. Spørreundersøkelse
2. Forstudierapport

**Spørreundersøkelse tilhørende bacheloroppgaven**  
**«Studie om ammoniakk som energibærer på skip og offshoreinstallasjoner»**

Formålet med denne spørreundersøkelsen er å finne svar på om norske rederier og operatørselskaper har fordel av å bytte drivstofftype fra diesel til ammoniakk eller LNG, og eventuelt hva som skal til for å gjennomføre en slik endring. Undersøkelsen utføres i forbindelse med min bacheloroppgave ved Universitetet i Stavanger.

### **Samtykke**

Det er frivillig å delta i undersøkelsen. Ved å svare på undersøkelsen samtykkes det til at svaret kan brukes i bacheloroppgaven, den 15.mai 2022.

Svarene vil være anonyme og slettes etter undersøkelsen.

Opplysningene som er gitt vil kun brukes til dette formålet og behandles konfidensielt og i samsvar med personvernreglene.

For andre spørsmål kontakt Ane Karine Naaden, e-post: [anekarine.naaden@gmail.com](mailto:anekarine.naaden@gmail.com)

*Kryss av på en eller flere svaralternativer ved å trykke på boksene. Skriv kommentar ved å trykke på den «grå boksen» etter kommentar.*

#### **1. Hvilke segment opererer dere innen?**

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Offshore skip                 | <input type="checkbox"/> Frakteskip    |
| <input type="checkbox"/> Mobile offshoreinstallasjoner | <input type="checkbox"/> Passasjerskip |
| <input type="checkbox"/> Faste offshoreinstallasjoner  | <input type="checkbox"/> Annet         |

Kommentar:

#### **2. Kan det være et alternativ å bytte fra nåværende drivstofftype?**

- Ja, ønsker å se på nye alternativer  
 Nei

Hvis ja, kryss av foreslått alternativ;  Ammoniakk  LNG  Annet

Kommentar:

#### **3. Hva er avgjørende for å velge ammoniakk eller LNG kontra diesel?**

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Pris bygging/ombygging                      | <input type="checkbox"/> Drivstoffpris       |
| <input type="checkbox"/> Sikkerhets- og helseaspekter ved håndtering | <input type="checkbox"/> Miljø               |
| <input type="checkbox"/> Effektivitet/virkningsgrad og utnyttelse    | <input type="checkbox"/> Vinne kontrakter    |
| <input type="checkbox"/> Fleksible bunkringsmuligheter               | <input type="checkbox"/> Finansieringsstøtte |

Kommentar:

**4. Med forbehold om at ammoniakk er et nytt drivstoff på markedet og lite utprøvd i skipsfart og offshore; når ville det vært sannsynlig at dere ville tatt i bruk ammoniakk?**

- Ved ombygging av skip/installasjon
- Ikke før produktet er godt utprøvd
- På et eventuelt nybygg
- Ikke relevant

Kommentar:

**5. Og når ville det vært sannsynlig å ta i bruk LNG?**

- Har allerede LNG som drivstoff
- Ved ombygging av skip/installasjon
- På et eventuelt nybygg
- Ikke relevant

Kommentar:

**6. Hvilken kraftgenerering ville dere foretrukket uavhengig av pris og tilgjengelighet av drivstoff?**

- Brenselcelle
- Forbrenningsmotor
- Gassturbin
- Annet

Kommentar:



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET  
FORSTUDIERAPPORT TIL BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Maskiningeniør	Vår semesteret, 2022 Åpen
Forfatter: Ane Karine Naaden	<i>Ane Karine Naaden</i> ..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: <i>Hirpa G. Lemu</i> , UiS. Veileder(e):	
Tittel på bacheloroppgaven: Studie om ammoniakk som kraftproduksjon i skip og offshore. Engelsk tittel: Study of ammonia as power production for ships and offshore installations.	
Studiepoeng: 20 poeng. Essay i vitenskapsteori/etikk er inkludert.	
Emneord: Ammoniakk LNG Kraftkilde	Sidetall: 6 + vedlegg/annet: 0 Stavanger, 09.02.2022

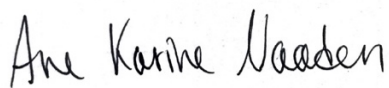
## Forord

Dette er forstudierapport til bacheloroppgaven, vårsemester 2022 ved Universitetet i Stavanger.

Tema for bacheloroppgaven er ammoniakk som kraftkilde ombord skip og offshore installasjoner. Det skal brukes litteraturstudie som forskningsmetode. Problemstillingen skal spisses inn for å besvare spørsmålet om ammoniakk kan være fremtidens drivstoff, eller om det er mer hensiktsmessig å utvide dagens bruk av LNG for å innfri målet om en grønnere skipsfart.

Denne rapporten vil ta for seg tema, oppbygging, holdepunkter og tidsplan for bacheloroppgaven. Forstudierapporten vil også være en veileder gjennom arbeidet med bacheloroppgaven.

Dato 09.02.22



Ane Karine Naaden

## Ordforklaring

<b>Ord</b>	<b>Forklaring</b>
CO <sub>2</sub>	Kjemisk formel til karbondioksid [1, s.198-199].
IMO	International Maritime Organization (Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen)
LNG	Liquefied Natural Gas (flytende naturgass).
NH <sub>3</sub>	Kjemisk formel til ammoniakk[2].

## Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>ORDFORKLARING</b> .....	<b>II</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1    BAKGRUNN .....	1
1.2    PROBLEMSTILLING .....	1
1.3    MÅL .....	2
<b>2. OPPGAVE OVERSIKT</b> .....	<b>2</b>
2.1    AMMONIAKK OG LNG.....	2
2.2    KRAFTPRODUKSJON .....	2
2.3    TILGANG OG TRANSPORT.....	2
2.4    ØKONOMI.....	2
2.5    MILJØ OG SIKKERHET.....	3
2.6    VIRKNINGSGRAD OG UTNYTTELSE.....	3
2.7    PROSJEKTER .....	3
2.8    DRØFTING .....	3
<b>3. PLANLEGGING OG TIDSPLAN</b> .....	<b>4</b>
3.1    ARBEIDSSTRUKTUR .....	4
3.2    GANTTDIAGRAM .....	5
<b>4. BIBLIOGRAFI</b> .....	<b>6</b>

## Figurliste

Figur 3-1 Arbeidsstruktur for bacheloroppgaven.....	4
Figur 3-2 Gantt diagram for bacheloroppgaven.....	5



# 1. Innledning

I dette kapitlet beskrives bakgrunnen og oppgaveomfanget for bacheloroppgaven.

## 1.1 Bakgrunn

Dagens skipsfart og offshore installasjoner nytter i all hovedsak petroleums produkter til produksjon av energi og fremdrift [3]. Dette er produkter med høy energitetthet som egner seg til jevn drift på større maskiner over lengre perioder. Produktene må kunne lagres trygt og effektivt slik at et fartøy eller installasjon kan være selvforsynt, samt at det går raskt å bunkre nye produkt.

Kappløpet etter et klimavennlig og ikke minst billig drivstoff er en langvarig prosess. FNs sjøfartsorgan IMO har som klimamål å kutte 40% av CO<sub>2</sub> utslippene fra internasjonal skipsfart innen 2030, og 70% innen 2050[4]. I dag finnes det klimavennlige ferger, servicebåter til oppdrettsnæringen og offshore forsyningskip som driftes av batteri, hydrogen, biogass og LNG som hybriddrift. De opererer på korte avstander med hyppige muligheter for lading og bunkring. For større fartøyer som går lange avstander er ikke problemet løst [3, 5-7].

IMO er ikke eneste organisasjon som krever forandring for dagens forurensende flåte. Rederiene som kjemper om kontrakter for norske oljeselskap har blitt nødt til å oppgradere tradisjonelle fremdriftssystemer med batteripakker, motorer som kan driftes på LNG og nå i det siste; brenselcelle på ammoniakk for å minske utslippene og derved vinne kontrakter for operatørene [7, 8].

## 1.2 Problemstilling

Bacheloroppgavens metode skal være litteraturstudie. Dette er en metode som tar for seg innsamling av faglige data [9, 10]. Innsamlede data fremlegges så i teoridelen av oppgaven og brukes videre til drøfting av forskningsspørsmålet «Er ammoniakk fremtidens drivstoff eller er det hensiktsmessig å utvide dagens bruk av LNG til å innfri målet om en grønnere skipsfart?».

Ammoniakk beskrives av mange som fremtidens drivstoff med lite til ingen utslipp, men er fremdeles på forskningsstadiet, mens LNG er en utviklet teknologi som allerede brukes i relativt stor utstrekning drivstoff til skip [3]. Problemstillingen vil for det meste ta for seg skipsfarten, men vil også vinkles inn til flyttbare- og faste offshore offshoreinstallasjoner der dette er formålstjenlig.

### 1.3 Mål

Målet med oppgaven er å oppnå mer kunnskap om ammoniakk og LNG som substans og energibærere. Ved å undersøke fordeler og ulemper, tilgang, lagring, miljø og sikkerhet rundt bruken; kan det konkluderes hvilken energibærer som er det best egnede og mest miljøvennlige alternativet for kraftkilde.

## 2. Oppgave oversikt

Dette kapitlet beskriver de ulike oppgavene som skal undersøkes.

### 2.1 Ammoniakk og LNG

Beskrive og undersøke ammoniakk og LNG som energibærere. Hva kan ammoniakk brukes til i dag og hvorfor kan ammoniakk egne seg som en energikilde?

Det finnes tre typer ammoniakk, grå, blå og grønn[11]. De tre typene ammoniakk skal beskrives for å gi mer utvidet innsikt om ammoniakk som energibærer. Det skal også undersøkes og beskrives hvordan ammoniakk og LNG fremstilles og gjøres tilgjengelig for brukere.

### 2.2 Kraftproduksjon

Gjennomgå forskjellige kraftproduksjonsmetoder som kan bruke ammoniakk og LNG som energikilde. Det er planlagt å se nærmere på brenselcelle, forbrenningsmotor og gassturbin for å få innsikt i hvordan de kan anvendes som energikilde ombord skip og offshoreinstallasjoner.

### 2.3 Tilgang og transport

Undersøke hvordan produksjon av ammoniakk og LNG utføres i dag, og hva som kreves for å kunne levere disse energibærerne som drivstoff til den maritime næringen i en større skala. Beskrive hvordan ammoniakk og LNG transporteres, bunkres og lagres ombord for å kunne brukes som drivstoff.

### 2.4 Økonomi

Beskrive økonomiske utfordringer for å kunne gå over fra tradisjonelle drivstoff til ammoniakk, inkludert prisforskjeller og ombyggingskostnader.

Det vil være en kostnad forbundet med å bytte fra en energibærer til en annen. En vil sammenligne total kostnad for en motor og/eller brenselcelle som drives av ammoniakk i motsetning til tradisjonelt fossilt drivstoff og LNG.

## 2.5 Miljø og sikkerhet

For å kunne ta i bruk et drivstoff er det viktig at faremomenter og mulige helseskader forbundet til dette er undersøkt og vurdert, slik at drivstoffet blir håndtert på en sikker måte. Det vil også bli undersøkt eventuelle helse- og miljøkonsekvenser ved utslipp av ammoniakk til motsetning til tradisjonelt drivstoff og LNG. Hvor miljøskadelig det er ved utslipp i luft og vann sett i forhold til tradisjonelt drivstoff og LNG. Hvor miljøskadelig er ammoniakk ved utslipp til miljø og hva som kan gjøres for å unngå eller redusere eventuelle hendelser, da ammoniakk er kjent for å være både korrosivt og giftig[2].

## 2.6 Virkningsgrad og utnyttelse

Det skal fremskaffes forskningsunderlag og rapporter som kan sammenligne virkningsgrad til tradisjonelt drivstoff, LNG og ammoniakk. Det vil også undersøkes hvilke kraftproduksjonsmetoder som har best virkningsgrad (brenselcelle, forbrenningsmotor eller gassturbin).

## 2.7 Prosjekter

Undersøke hvilke prosjekter som er utført og igangsatt med ammoniakk som kraftkilde. Sammenligne resultater og rapporter som kan linkes til bruken av ammoniakk og hvordan dette er løst og kan utvikles videre. Skipene «Color Fantasy» og «Viking Energy» som er deltagere i LNG og/eller ammoniakk pilotprosjekter skal blant annet studeres nærmere [8, 12].

## 2.8 Drøfting

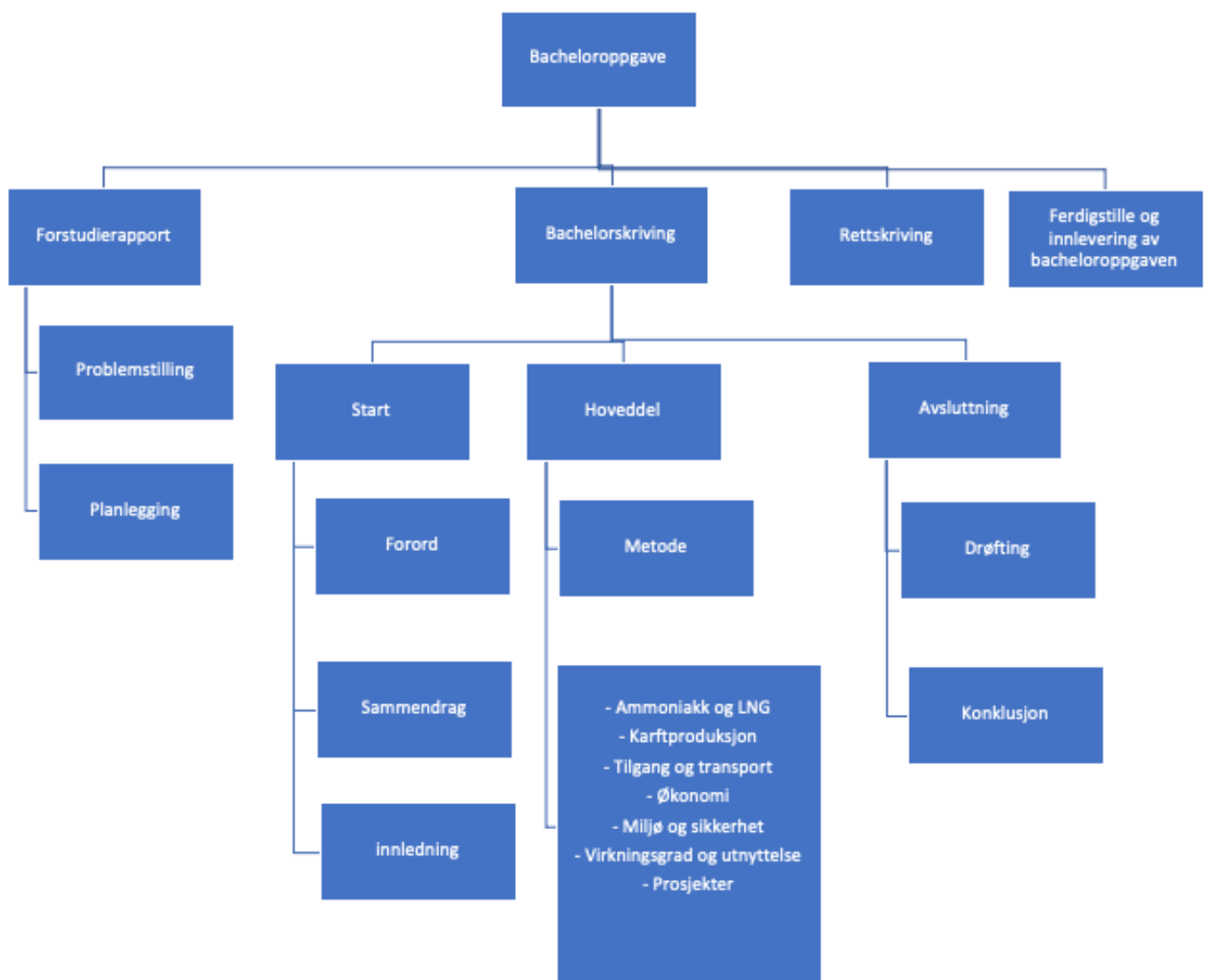
Basert på innsamlede data for ammoniakk og LNG, skal disse sammenlignes for å få oversikt over fordeler og ulemper forbundet med de to brennstoffene, med grunnlag fra de øvrige delkapitlene.

### 3. Planlegging og tidsplan

Dette kapitelet blir planlegging og tidsbruk av bacheloroppgave presentert.

#### 3.1 Arbeidsstruktur

Bacheloroppgavens struktur og plan er definert ved arbeidsstruktur-diagrammet i figur 3-1. Diagrammet viser bacheloroppgaven fra start til slutt, og bruker oppgaveoversikten i kapittel 2 til å vise bachelorens inndeling for bachelorskrivingen. Arbeidsstruktur-diagrammet vil bli brukt som veiledning og fremdriftsplan under arbeidet med oppgaven.



Figur 3-1 Arbeidsstruktur for bacheloroppgaven.

### 3.2 Gantt diagram

Prosjektplanen til bacheloroppgaven er gitt ved gantt diagrammet i figur 3-2. Gantt diagrammet viser planlagt tidsbruk for bacheloroppgaven, og er et utgangspunkt for disponering av delkapitlene ved arbeidet med oppgaven.

Aktivitet	Start	Slutt	januar			Februar				Mars				April				Mai		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Uke																				
<b>Forstudierapport</b>	18.jan	11.feb			■	■	■	■												
<b>Bachelorskriving</b>	11.feb	2.mai					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
<b>Start</b>	11.feb	30.april					■									■	■	■		
<b>Metode</b>	12.feb	17.feb					■	■												
<b>Ammoniakk og LNG</b>	17.feb	27.feb						■	■											
<b>Kraftproduksjon</b>	27.feb	8.mars							■	■	■									
<b>Økonomi</b>	9.mars	19.mars								■	■									
<b>Miljø og sikkerhet</b>	19.mars	27.mars									■	■								
<b>Virkningsgrad og utnyttelse</b>	27.mars	3.april										■	■							
<b>Prosjekter</b>	3.april	10.april											■	■						
<b>Avslutning</b>	10.april	30.apr														■	■	■		
<b>Rettskriving</b>	1.mai	15.mai																	■	■
<b>Ferdigstille og innlevering av bacheloroppgaven</b>	10.mai	15.mai																		■

Figur 3-2 Gantt diagram for bacheloroppgaven.

## 4. Bibliografi

- [1] N. Chr.Boye, *Kjemi og miljølære*, 4. utg. Oslo: Gyldendal, 2019.
- [2] B. Pedersen. 2021. *Ammoniakk* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/ammoniakk>  
Lastet ned: 10.januar.2022.
- [3] K. Øystese, "Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart," i *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*, N. Klimastiftelse, red., Notat 3/2020 utg.: Norsk klimastiftelse, 2020, s. 17.
- [4] IMO. *Initial imo ghg strategy* [Online]. Hentet fra: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>. Lastet ned: 19.januar.2022.
- [5] K. W. Vadset, "Skal bygge batterielektrisk oppdrettsbåt," i *Maritimt Magasin*, utg. maritimt.com: Maritimt Magasin, 2020.
- [6] M. Rosbach, "Lundin valgte Ing-skip fra island offshore," i *Sunnmøreposten*, utg. Smp.no: Sunnmøreposten, 2018.
- [7] Equinor. 2018. *Mitt skip er lastet med... batterier* [Online]. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/magazine/battery-hybrid-supply-ship.html>. Lastet ned: 2.februar.2022.
- [8] H. M. M. Sigbjørn Larsen, "«viking energy» blir første skip på ammoniakk," i *Skipsrevyen*, utg. skipsrevyen.no: Skipsrevyen, 2020.
- [9] C. Forsberg og Y. Wengström, *Att göra systematiska litteraturstudier : Värdering, analys och presentation av omvårdnadsforskning*, 4. utg. utg. Stockholm: Natur & kultur, 2015.
- [10] R. C. Pettersen, *Oppgaveskrivingens abc : Veileder og førstehjelp for bachelorstudenten*, 2. utg. utg. (Veileder og førstehjelp for bachelorstudenter). Oslo: Universitetsforl., 2016.
- [11] K. Hofstad. 2021. *Ammoniakk- energibærer* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/ammoniakk - energibærer>. Lastet ned: 10.januar.2022.
- [12] G. Skipsfartprogram. 2020. *Ammoniakk som drivstoff i skipsfart* [Online]. Hentet fra: <https://grontskipsfartsprogram.no/pilotprosjekt/ammoniakk-som-drivstoff-i-skipsfart/>. Lastet ned: 21.januar.2022.