

BIFOREN – Bachelor i ingeniørfag, fornybar energi

---

# Ammoniakk som fremtidens maritime drivstoff

*FENA2900 - Bacheloroppgave Fornybar energi*

---

Thomas Remø Nesseth, Håkon Thomassen Koteng og Carina Sophie Opstad

20/05/2024

---



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for havromsoperasjoner og byggingsteknikk

## Forord

Denne bacheloroppgaven undersøker bruken av ammoniakk som et potensielt maritimt drivstoff for å redusere klimagassutslipp i den maritime sektoren. Arbeidet er bacheloroppgaven i Fornybar energi ved instituttet for havromsoperasjoner og byggteknikk ved NTNU Ålesund.

Vi takker våre hovedveiledere, førsteamanuensis Ann Rigmor Nerheim for viktig veiledning, bidrag til litteraturinnhenting, og konstruktive tilbakemeldinger under skriving av denne oppgaven. Vi takker professor Vilmar Æsøy, som har bidratt med faglig kompetanse og konstruktive innspill.

Til slutt en stor takk til alle som direkte eller indirekte har bidratt til at dette arbeidet har kunnet gjennomføres. Utarbeidingen av denne oppgaven har vært en lærerik prosess som har forberedt oss på fremtidige utfordringer innen bærekraftige energiløsninger og ingeniørfag.

NTNU, Ålesund 20/05/2024

		
Thomas Remø Nesseth	Carina Sophie Opseth	Håkon Thomassen Koteng

## Sammendrag

I sammenheng med de internasjonale miljølovene og den økende etterspørselen av bærekraftige energiløsninger i den maritime sektoren, evaluerer rapporten bruken av ammoniakk i brenselceller og forbrenningsmotorer på en tråler. Ved en omfattende gjennomgang av eksisterende teknologiske forskninger og litteratur, avklares egenskapene til ammoniakk som et drivstoff. Dette inkluderer produksjonsprosesser, spesielt miljøvennlige produksjonsmetoder som bruk av elektrolyse drevet av fornybar energi.

Rapporten undersøker også sikkerhetsmessige, tekniske og infrastrukturelle utfordringer tilknyttet bruken av ammoniakk. Den tekniske evalueringen viser at ammoniakk i brenselcelle gir en potensielt større energieffektivitet samt lavere klimagassutslipp sammenlignet med forbrenningsmotorer. Dette bekrefter påstanden om at ammoniakk er mer egnet ved bruk av brenselceller fremfor forbrenningsmotorer. Da det gir bedre utnyttelse av kjemisk energi til elektrisitet, samt lavere klimagasspåvirkning.

I tillegg anbefaler rapporten forskjellige strategiske tiltak for fremtidig utvikling og forskning, som nødvendige politiske støtter og regelverksendringer for å kunne fremme adopsjonen av ammoniakk som et alternativt drivstoff i den maritime sektoren. Det legges i tillegg vekt på behovet for et internasjonalt samarbeid for å kunne utarbeide løsninger av de operasjonelle og tekniske barrierene.

Rapporten gir en helhetlig vurdering av ammoniakk som et bærekraftig alternativt fremtidig marint drivstoff. Samtidig som den fremhever trinnene som er nødvendige for å realisere dens fulle potensial for å være en del av reduksjonen av det globale klimagassutslippet i den maritime sektoren.

## **Abstract**

In the context of international environmental laws and the increasing demand for sustainable energy solutions in the maritime sector, the report evaluates the use of ammonia in fuel cells and combustion engines on a trawler. Through a comprehensive review of existing technological research and literature, the report clarifies the characteristics of ammonia as a fuel. This includes production processes, especially environmentally friendly methods such as electrolysis powered by renewable energy.

The report also examines safety, technical, and infrastructural challenges associated with the use of ammonia. The technical evaluation shows that ammonia in fuel cells offers potentially greater energy efficiency and lower greenhouse gas emissions compared to combustion engines. This confirms the assertion that ammonia is more suitable for use in fuel cells than in combustion engines, as it allows for better utilization of chemical energy into electricity, along with a lower impact on greenhouse gas emissions.

Additionally, the report recommends various strategic measures for future development and research, such as necessary political support and regulatory changes to promote the adoption of ammonia as an alternative fuel in the maritime sector. It also emphasizes the need for international collaboration to develop solutions to operational and technical barriers.

Overall, the report provides a comprehensive assessment of ammonia as a sustainable alternative for future marine fuel while highlighting the steps necessary to realize its full potential in reducing global greenhouse gas emissions in the maritime sector.

## Symbol og forkortelser

Symbol	Beskrivelse
AC	Accelerating current (Vekselstrøm)
AFC	Alkaline fuel cell (Alkalisk brenselcelle)
AMFC	Alkaline membrane fuel cell (Alkalisk membran brenselcelle)
ATR	Auto-termisk reformering
BC	Brenselcelle
CCS	Carbon capture and storage (Karbonfangst og lagring)
CCUS	Carbon capture utilization and storage (Karbonfangst utnyttelse og lagring)
DC	Direct current (Likestrøm)
DP	Dynamisk posisjonering (Dynamic positioning)
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
ECA	Emission control area (Utslippskontrållområde)
FM	Forbrenningsmotor
GWP100	Global warming potential (Globalt oppvarmingspotensiale)
HBP	Haber-bosch prosessen
HFO	Heavy fuel oil (Tungolje)
KOH	Kaliumhydroksid
LNG	Liquefied natural gas (Flytende naturgass)
LPG	Liquefied petroleum gas (Flytende petroleumsgass)
MGO	Marin gassolje
NG	Naturgass
NH <sub>3</sub>	Ammoniakk
ORC	Organic rankine cycle (Organisk Rankine-syklus)
PEM	Proton exchange membrane (Protonutvekslingsmembran)
PPM	Parts per million (Deler per million)
PSA	Pressure swing adsorption (Trykksvingadsorpsjon)
SOFC	Solid oxid fuel cell (Fastoksidbrenselcelle)
SRC	Steam rankine cycle (Damp-Rankine-syklus)
SFOC	Specific fuel oil consumption (Spesifikt drivstofforbruk)
VFD	Variable frequency drive (Frekvensomformer)

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Symbol</b>	<b>iv</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Bakgrunn</b>	<b>2</b>
2.1 Miljøpåvirkninger . . . . .	2
2.2 Markedspotensial . . . . .	2
2.3 Ammoniakkproduksjon i verden og Norge . . . . .	3
2.4 Satsing på grønn ammoniakk . . . . .	4
2.5 Ammoniakks sikkerhetsutfordringer . . . . .	5
2.6 Regulatoriske rammer . . . . .	6
<b>3 Teori</b>	<b>7</b>
3.1 Tråler . . . . .	7
3.2 MGO . . . . .	7
3.3 Hydrogen . . . . .	8
3.4 Metanol . . . . .	9
3.5 LNG . . . . .	10
3.6 LPG . . . . .	10
3.7 Ammoniakk . . . . .	11
3.7.1 Produksjon av ammoniakk . . . . .	12
3.7.2 Kategorisering av ammoniakk . . . . .	14
3.7.3 Ammoniakk som maritimt drivstoff . . . . .	15
3.8 Lagring og håndtering av ammoniakk . . . . .	16
3.8.1 Atmosfærisk lagringstank . . . . .	16
3.8.2 Kjølelagringstank . . . . .	17
3.8.3 C-type lagringstank . . . . .	17
3.9 Sammenlikning av drivstoffene . . . . .	17
3.10 Hybrid energisystem . . . . .	18
3.11 Batteri på skip . . . . .	18
3.12 Brenselcelle . . . . .	19
3.12.1 Fast oksid brenselcelle - SOFC . . . . .	19

3.12.2	Alkalisk, og alkalisk membran brenselcelle - AFC/AEMFC . . . . .	21
3.12.3	PEM-celle . . . . .	22
3.13	Frekvensomformer . . . . .	23
3.14	AC-DC nettverk . . . . .	23
3.15	Forbrenningsmotor . . . . .	24
3.15.1	Totaktsmotorer . . . . .	25
3.15.2	Firetaktsmotorer . . . . .	26
3.15.3	SFOC - Specific fuel oil consumption . . . . .	26
3.16	Karbonfangst . . . . .	27
3.17	Varmegjenvinning . . . . .	28
3.17.1	Varmeveksler . . . . .	29
3.17.2	Termisk energigjenvinning . . . . .	29
3.18	NO <sub>x</sub> -utslipp . . . . .	30
3.19	SO <sub>x</sub> -utslipp . . . . .	30
3.20	Klimagassavgifter på skip . . . . .	31
3.21	Bærekraftig utvikling . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Metode</b>	<b>34</b>
4.1	Målet med oppgaven . . . . .	34
4.2	Datainnsamling og vurdering . . . . .	34
4.3	Metodikk . . . . .	35
4.4	Systembeskrivelse og driftsprofil . . . . .	35
4.4.1	Forbrenningsmotorsystem . . . . .	38
4.4.2	Brenselcellesystem . . . . .	39
4.5	Systemsammenlikning . . . . .	40
4.5.1	Termisk . . . . .	40
4.5.2	Energitetthet . . . . .	40
4.6	Totalt energibehov . . . . .	40
4.7	Klimagassutslipp . . . . .	41
4.8	Vurdering av bærekraft . . . . .	41
4.9	Datainnsamling og vurdering . . . . .	41
4.9.1	Brenselkostnader og avgifter . . . . .	42
4.10	Sammenlikning av økonomisk bærekraft for systemene . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Resultat og diskusjon</b>	<b>44</b>
5.1	Effektiviteten til systemene . . . . .	44
5.1.1	Systemsammenlikning . . . . .	44

5.1.2	Diskusjon av systemvirkningsgrad . . . . .	45
5.2	Totalt energibehov . . . . .	46
5.2.1	Diskusjon av totalt energibehov . . . . .	46
5.3	Energitetthet og drivstofforbruk for en arbeidssyklus . . . . .	47
5.3.1	Diskusjon om energitetthet og drivstofforbruk for en arbeidssyklus . . . . .	48
5.4	Utslippsberegninger . . . . .	48
5.4.1	Diskusjon av utslippsberegninger . . . . .	49
5.5	Produksjon og anvendelse av ammoniakk som et bærekraftig drivstoff . . . . .	51
5.5.1	Diskusjon av de forskjellige produksjonsprosessene . . . . .	51
5.6	Teknologisk modenhet . . . . .	52
5.6.1	Forbrenningsmotor . . . . .	53
5.6.2	Brenselcelle . . . . .	53
5.7	Lagring og distribusjon . . . . .	54
5.7.1	Bunkring av ammoniakk . . . . .	55
5.7.2	Valg av tank til lagring og distribusjon . . . . .	55
5.7.3	Diskusjon om logistikk og infrastruktur for drivstoff . . . . .	56
5.8	Totalkostnader for systemene . . . . .	56
5.8.1	Drivstoffkostander og avgifter . . . . .	56
5.9	Diskusjon av totalkostnader for de ulike systemene . . . . .	58
5.10	Sikkerhetsfaktorer . . . . .	59
5.11	Insentiver som fremmer alternative drivstoff . . . . .	60
5.11.1	Vurdering av insentiver og deres effekt på systemvalg . . . . .	60
5.11.2	Diskusjon om politiske faktorer og deres innflytelse på systemvalg . . . . .	61
5.12	Drivstoffvurdering . . . . .	62
5.13	Feilkilder . . . . .	62
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>Forslag til videre arbeid</b>	<b>65</b>
	<b>Litteraturliste</b>	<b>66</b>



## Figurer

2.1	Verdikjeden til grønn ammoniakk. Generering, ammoniakksyntese og anvendelse . . .	3
2.2	Ammoniakkproduksjon i 2023, i 1000 metriske tonn . . . . .	4
2.3	Ammoniakklekkasje fra fryseanlegget på skipet Gadus Njord til Lerøy . . . . .	5
3.1	Tråleren MS Breitind . . . . .	7
3.2	Oppsett av en dobbeltrål . . . . .	7
3.3	Fartøyet MS Hydra, verdens første hydrogen-drevne skip . . . . .	8
3.4	Fartøyet Stena Germanica, verdens første metanol-drevne skip . . . . .	9
3.5	Fartøyet MS Høydal, verdens første LNG-drevne skip . . . . .	10
3.6	Fartøyet BW Gemini, verdens første LPG-drevne skip . . . . .	11
3.7	Molekylet til ammoniakk bestående av tre hydrogenatom og ett nitrogenatom . . .	11
3.8	Grunnleggende flytskjema for Haber-Bosch-prosessen . . . . .	13
3.9	Illustrerer kategoriseringen av ammoniakk . . . . .	14
3.10	Sammenligning av energitettheten til seks ulike brensel . . . . .	18
3.11	Forenklet illustrasjon av en fast oksid brenselcelle . . . . .	20
3.12	Forenklet illustrasjon av en alkalie brenselcelle . . . . .	21
3.13	Forenklet illustrasjon av en protonuvelslingsmembran-celle . . . . .	22
3.14	Spenning som en funksjon av tid for vekselstrøm. Vist ved den sinusformede spenningsvariasjonen . . . . .	23
3.15	Spenning som funksjon av tid for likestrøm. Vist ved spenning som er konstant uten å endre seg over tid . . . . .	23
3.16	Illustrasjon av arbeidssyklusen til en totaktsmotor . . . . .	25
3.17	Illustrasjon av de fire primære trinnene i en forbrenningsmotors syklus bestående av inntak, kompresjon, kraftslag og eksosfase . . . . .	26
3.18	Kurve som illustrerer hvordan SFOC blir påvirket av belastning på motor . . . . .	27
3.19	Illustrasjon av et skipsbasert karbonfangst- og lagringssystem (CCS/CCUS), som viser lagring av CO <sub>2</sub> i en geologisk struktur under havbunnen . . . . .	28
3.20	De tre hovedområdene av bærekraftig utvikling . . . . .	32
3.21	FNs 17 bærekraftsmål . . . . .	33
4.1	Tråleren MS Kongsfjord . . . . .	36
4.2	Driftsprofilen til tråleren som viser motorbruken under transitt og tråling, over en 46-timers periode . . . . .	36
4.3	Forbrenningsmotorsystem med NH <sub>3</sub> supplementert med MGO som pilotdrivstoff .	38
4.4	Brenselcellesystem som benytter NH <sub>3</sub> . . . . .	39
5.1	Sammenligning av termisk og elektrisk effekt for systemene i de ulike operasjonene	45
5.2	Fordeling av energibehov i operasjonene i en arbeidssyklus . . . . .	46

5.3	Sammenligning av energitetthet og tetthet for: MGO, NH <sub>3</sub> supplementert med MGO, og ren NH <sub>3</sub> . . . . .	47
5.4	Resulterende utslippsmengder etter en syklus for de ulike drivstoff- og systemtypene	49
5.5	Sammenlikning av totalkostnadene til systemene med ulike markedsscenarioer. Her markerer komma ”,” tusener . . . . .	59

## Tabeller

3.1	Egenskaper til MGO . . . . .	8
3.2	Egenskaper til ammoniakk . . . . .	12
3.3	Egenskapene til ulike typer drivstoff rangert etter energitetthet . . . . .	17
4.1	Oversikt over trålerens driftsoperasjoner, inkludert detaljer om motorutnyttelse og varighet for hver operasjon, målt i prosentandel og timer . . . . .	37
4.2	Antatte virkningsgrader til de elementære komponentene i begge systemene . . . . .	37
4.3	Energifordelinger for fiske med dobbeltrål og transitt fordelt på de forskjellige operasjonelle komponentene til tråleren, gitt i prosent . . . . .	38
4.4	Presenterer det totale effektbehovet ved operasjonene transitt og tråling . . . . .	40
4.5	Oversikt over klimagassutslipp etter forbrenning av NH <sub>3</sub> og MGO . . . . .	41
4.6	Prisoversikt for drivstofftype per tonn . . . . .	42
4.7	Avgiftssats for utslipp av klimagasser . . . . .	43
5.1	Systemvirkningsgrad og termisk energitap for FM-system og BC-system . . . . .	44
5.2	Systemvirkningsgrad og termisk energitap for FM-system og BC-system, inkludert differansen gitt i prosent . . . . .	44
5.3	Totalt energibehov i MWh for transitt og tråling . . . . .	46
5.4	Energitettheten til de ulike drivstoffene . . . . .	47
5.5	Samlet resultat for vekt og volum av drivstoff som kreves for å drive systemene gjennom en arbeidssyklus . . . . .	48
5.6	Resulterende utslippsmengder etter en syklus for ulike systemer og drivstofftyper .	49
5.7	Presenterer status for FM og BC som er brukt ombord maritime fartøy og hvilke brensel de utnytter . . . . .	52
5.8	Prisestimat for drivstofforbruk i de ulike systemene og drivstofftyper . . . . .	57
5.9	Kostnader for utslippsrelaterte avgifter for de ulike energisystemene og drivstofftyper	58

## 1 Innledning

Norge har gjennom Parisavtalen og COP27 forpliktet seg til å redusere det totale utslippet av klimagasser med 55% innen 2030, sammenlignet med nivået på 1990-tallet [1,2]. Denne forpliktelsen vil for norsk skipsfart innebære en reduksjon på 50% innen 2030, og en ytterligere reduksjon på 70% innen 2050 [3]. Dette krever en endring som kommer til å påvirke eksisterende og fremtidige skip, slik at de konverterer til lavkarbon- eller nullutslipps-drivstoff. For å muliggjøre bruken av karbonfrie drivstoff samt lade opp batterier ved behov er det nødvendig med endringer i den nåværende infrastrukturen.

Det finnes flere ulike energibærere som kan være aktuelle for skip, et eksempel på dette er hydrogenrike energibærere som ammoniakk. Fordelene med ammoniakk er at den har en høyere volumetrisk energitetthet sammenlignet med ren hydrogen, og er mindre brannfarlig. En av utfordringene med ammoniakk er giftigheten, og behovet for et pilot-drivstoff dersom det skal benyttes i en forbrenningsmotor. Ammoniakk har en fordel i et allerede utbredt nettverk for produksjon og distribusjon, ettersom det er en av de mest produserte kjemikalene i verden. Ammoniakk er blant annet mye brukt som kjølemiddel, i gjødselproduksjon og i annen industri. Derfor kan det potensielt være et alternativ drivstoff som kan realiseres tidligere sammenlignet med andre brenslere innenfor skipsfarten.

Målet med oppgaven er å sammenligne to systemer som benytter ammoniakk som energibærer, på en tråler. Arbeidet vil gi en oversikt over status for ammoniakkproduksjon og teknologi for utnyttelse av ammoniakk i Norge og resten av verden. Bærekraftsvurderingen belyser teknologisk modenhet, samt fordeler og utfordringer relatert til anvendelsen av ammoniakk som energibærer.

Rapporten er utformet for å gi en oversikt over sentrale problemstillinger for å forstå samt evaluere ammoniakk som et alternativt drivstoff. I Kapittel 2 presenteres de generelle målene for oppgaven og bakgrunnen for valg av ammoniakk som forskningsfokus. Etter denne innledende oversikten presenteres det i Kapittel 3 det teoretiske grunnlaget for innholdet i oppgaven. Dette rammeverket gir en bedre innsikt i teknologien som anvendes og diskuteres. I Kapittel 4 presenteres metoden, og fremgangsmåten i rapporten. Kapitlet beskriver systemene som sammenlignes og grunnlaget for bærekraftsvurderingen. Kapittel 5 presenterer og diskuterer resultatene for systemsammenligningen og bærekraftsvurderingen, samt potensielle feilkilder i rapporten. Kapittel 6, presenteres oppgavens konklusjon, basert på resultatene fra Kapittel 5. I tillegg presenteres det i Kapittel 7 en rekke anbefalinger til potensielt videre arbeid.

## 2 Bakgrunn

Dagens klima utfordrer samfunnet til å utforske bærekraftige energiløsninger i møte med globale mål om klimagassreduksjon. Et alternativ i denne sammenhengen er anvendelsen av ammoniakk som energibærer. Ammoniakk har potensialet til å bli utnyttet som en energibærer på skip, noe som kan bidra til å redusere det totale utslippet av klimagasser som kommer fra den maritime næringen.

### 2.1 Miljøpåvirkninger

Det meste av klimagassutslippet, til ammoniakk, kommer fra produksjonsfasen [4]. Først blir hydrogen produsert ved hjelp av naturgassreforming. Deretter blir nitrogen bundet til hydrogen gjennom Harber-Bosch-prosessen. Dette er en energikrevende prosess som slipper ut både lystgass og karbondioksid grunnet bruken av naturgass. Som et resultat av dette er det forbedringspotensialer i energieffektivitet som er viktig for å redusere karbonavtrykket ved ammoniakkproduksjon.

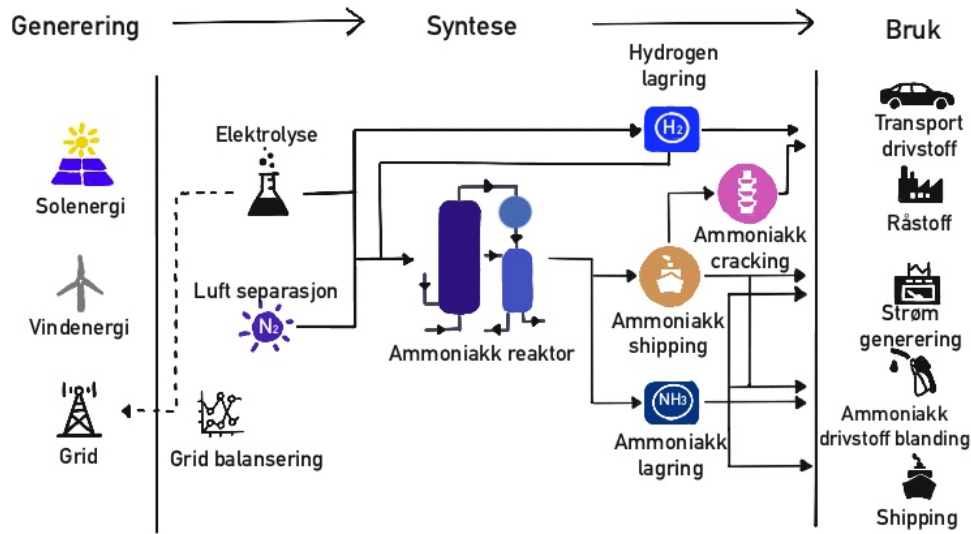
Når primærforurensere som nitrogenoksid og svoveldioksid, og deres reaksjons-produkter deponeres, endres den kjemiske konstruksjonen i jordbunnen og på jordoverflaten [5]. Denne prosessen er kjent som nitrogenforsuring, og medfører skader i økosystemene. Dette kan videre føre til jordforsuring gjennom sur nedbør, som inneholder svovelsyrer og salpetersyre. Ammoniakkproduksjon på industrielt nivå kan resultere i betydelige mengder nitrogenforsuring. Dette skaper en kompleks sammenheng med store konsekvenser for både miljøet og næringslivet. Denne kompleksiteten gir rom for betydelige utviklingsmuligheter og krever nyskapende ideer for å imøtekomme utfordringene.

### 2.2 Markedspotensial

For å evaluere markedspotensialet for ammoniakk som drivstoff, er transport og produksjonsprosessene avgjørende [6]. Tradisjonell grå ammoniakkproduksjon krever mye energi og baserer seg stort sett på naturgassreforming [7]. Grønn ammoniakk produsert av fornybar energi, gir en mulighet til å redusere produksjonskostnadene og øke drivstoffets tiltrekningskraft på markedet. I tillegg påvirker valget mellom brenselceller for anvendelse av ammoniakk og forbrenningsmotorer markedspotensialet.

For å vurdere ammoniakk sitt markedspotensial er økonomisk bærekraft også avgjørende. Det inkluderer en total vurdering av både direkte og indirekte kostnader knyttet til ammoniakkproduksjon og transport, samt investeringer i infrastruktur og vedlikehold som er nødvendig. Kostnadene knyttet til miljøpåvirkning er også betydelig. Totalt sett kan ammoniakk

fremstå som en fremtidig levedyktig og bærekraftig energiløsning med strategiske investeringer og fokus på innovasjon. Figur 2.1 illustrer verdikjeden til ammoniakk fra produksjon til bruk.

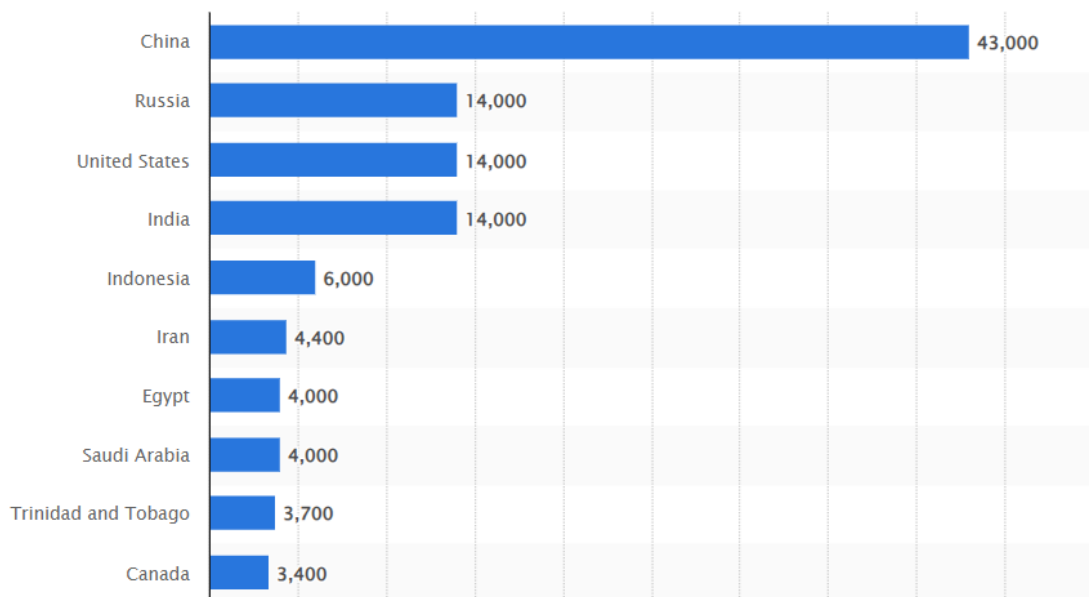


*Figur 2.1: Verdikjeden til grønn ammoniakk. Generering, ammoniakksyntese og anvendelse illustrasjon basert på [8]*

Det grønne ammoniakk-markedet hadde i 2021 en verdi på 16,8 millioner dollar [4]. Det er forventet at markedet de neste 10 årene vil ekspandere med en årlig vekst på omtrent 90,4% og vil nå nærmere 5 milliarder dollar innen 2030. I 2021 var fastdioksid elektrolyse, og Haber-Bosch-prosessen, de viktigste teknologiene for produksjon av grønn ammoniakk, med global inntekt på 7,1 millioner dollar. Det forventes at alkanisk vannelektrolyse vil bli den største omsetningssektoren innen 2025, med en forventet omsetning på over 65,4 millioner dollar.

## 2.3 Ammoniakkproduksjon i verden og Norge

Kina er verdensledende innenfor ammoniakkproduksjon med en antatt produksjon på omtrent 43 millioner metriske tonn i 2023 [4]. Dette er 30% av verdensproduksjonen og står for 45% av CO<sub>2</sub>-utslippet som kommer fra ammoniakkbransjen. USA, EU, India og Russland har en etterfulgt estimert produksjon på omtrent 14 millioner tonn hvert år. Den mest utbredte derivaten, urea, står for i underkant av 30% av produksjonen. Tilgjengeligheten av energi og råstoff for prosessen er avgjørende for lokasjon og produksjonsmetode av ammoniakk. Figur 2.2 illustrer de ti landene i verden med størst ammoniakkproduksjon per 2023 [4,9].



*Figur 2.2: Ammoniakkproduksjon i 2023, i 1000 metriske tonn  
tabell hentet fra [4]*

En av de største produsentene av ammoniakk i Norge er Yara International [10]. Innen 2027 har de et ønske om å starte et fullskala produksjonsanlegg til grønn ammoniakk i Porsgrunn. Det første bunkringsanlegget vil hovedsakelig ikke betjene mer enn ett skip, men kan utvides for betjening av flere skip og havner dersom det blir brukt som drivstoff. Det er utviklet forskjellige løsninger, en flytende lekter og en landbasert løsning [11].

Det er flere skip som skal ta ammoniakk i bruk som drivstoff. Ecmar LPG, et Belgisk rederi, har bestilt to tanksskip som skal bruke ammoniakk som drivstoff fra Hyundai Mipo Dockyard og skal leveres innen 2026 [12]. Equinor har også bedt forskjellige offshore rederier om å lage tilbud på ammoniakk forsyningsskip [13]. Grieg Maritime Grup undersøker også mulighetene for bruk av ammoniakk innenfor deres *deep-sea* skipsfartøy. De arbeider også med flere initiativ innenfor distribusjon og produksjon av grønn ammoniakk [14].

## 2.4 Satsing på grønn ammoniakk

Den første fabrikken i Europa som skal produsere grønn ammoniakk viser et skritt mot et mer utslippsfritt og bærekraftig samfunn [15]. Denne industriutviklingen er i gang i Skipavika i Norge, og viser til Norges satsning innenfor grønnere energi og klimabekjempelse. Prosjektet har en kostnadsramme på 4 milliarder norske kroner og har et produksjonsmål på 100 000 tonn utslippsfri ammoniakk. Fabrikken skal være ferdigstilt i 2026. Skipavika Næringspark og selskapet Fuella samarbeider om utviklingen av prosjektet.

Sammen med Equinor og Vår Energi bygger Horizon Energi det første storskala-anlegget for lavutslippsproduksjon av ammoniakk i Europa [16]. Det er planlagt å bygge *Barents Blue Ammonia Plant* i Finnmark. Anlegget vil ta i bruk auto-termisk reformering (ATR), og det endelige produktet vil være ren ammoniakk. Anleggets antatte karbonfangstrate vil være mer enn 99 % [17].

## 2.5 Ammoniaks sikkerhetsutfordringer

Ammoniakk har en rekke sikkerhetsutfordringer da det er et giftig kjemikalie [18]. Gassen er kjent for sin stikkende lukt, og ved en konsentrasjon mellom tre til fem prosent er gassen skadelig. En lekkasje av ammoniakk på et fartøy kan potensielt utsette besetningen for fare. Dette skjedde på den norske tråleren *Gadus Njord* i 2021 [19], da det oppsto en lekkasje av ammoniakk fra fryseanlegget når fartøyet var ved Bjørnøya. Denne hendelsen førte til at hele besetningen kunne blitt forgiftet.



### Gasslekkasje fra «Gadus Njord» ble stoppet etter flere forsøk

*Figur 2.3: Ammoniakklekkasje fra fryseanlegget på skipet Gadus Njord til Lerøy bilde hentet fra [19]*

DNV gjennomførte en undersøkelse der de kontaktet flere nordiske havner angående hvilke problemer som må løses for å kunne levere null-utslippsdrivstoff ved deres terminaler. Sikkerhet og regulatoriske problemer var hovedutfordringen ettersom det mangler et tydelig lovverk knyttet til anvendelse av ammoniakk som drivstoff [20]. Det er kritisk grunnet ammoniakkens giftige egenskaper, sammenlignet med andre brenslere som metanol og hydrogen. Studier av ammoniakklekkasjer indikerer at parameterer som fyllerhastighet, lagringforhold og varigheten av en lekkasje kan påvirke omfanget til en potensiell ulykke [20].

## 2.6 Regulatoriske rammer

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) er i Norge ansvarlig for regulering og overvåkning av ammoniakkhåndtering, samt bruken av det som drivstoff [21]. Disse retningslinjene og forskriftene er utformet i henhold til sikkerhet og håndtering av stoffet og andre farlige stoffer. Storulykkesforskriften er blant de mest relevante forskriftene ettersom den regulerer håndtering av farlige stoffer for å sikre at all håndtering skjer på en forsvarlig måte. Dette omfatter bruk, oppbevaring, om-tapping og produksjonen av ammoniakk. Med en funksjonell tilnærming og vektlegging på sikkerhetsstandarder i stedet for detaljerte design- og driftsspesifikasjoner.

Forskriften om landtransport av farlig gods er også relevant da den stiller krav til transportsikkerhet, merking og håndtering av farlige gods, dette inkluderer ammoniakk under transport [22,23]. Forskrift om håndtering av farlig stoff forklarer grundigere reglene for bruk, oppbevaring, og produksjon, og øker teknisk sikkerhet gjennom anerkjente normer og krav til kontroll og vedlikehold av utstyr og anlegg [24,25]. Videre er Norge medlem av EUs Seveso III-direktiv tilknyttet Storulykkesforskriften, som tidligere forklart har som mål å forhindre og begrense virkningene av større ulykker med farlige stoffer [26,27]. Grunnlaget for risikovurderinger av anlegg som håndterer farlige stoffer er DSBs kvantitative risikovurderingsretningslinjer. For å sikre en tilpasset og omfattende tilnærming til sikkerhet, bør disse vurderingene ta hensyn til anleggets kompleksitet, størrelse og beliggenhet. Sammenlagt legger disse retningslinjene og forskriftene til rette for sikker håndtering av ammoniakk og andre farlige stoffer i Norge.

Fra 1. januar 2020 innførte IMO 2020-regelen, som fører til betydelige endringer i de maritime drivstoffstandardene. Regelen setter en strengere grense i henhold til nivået av svovel i drivstoff som brukes på skip [28]. Denne regelen begrenser svovelinholdet på fartøy utenfor spesifiserte utvalgte utslippskontrollområder (ECA) til en maksimal på 0,50% m/m (masse per masse). IMO 2020 har gitt miljø-og helsefordeler ved å redusere svoveldioksidutslippene fra skipsflåter over hele verden. Som et resultat er det avgjørende å forske på alternative drivstoffalternativer for å fortsette og redusere effektene maritim sektor har på miljø og helse.



### 3 Teori

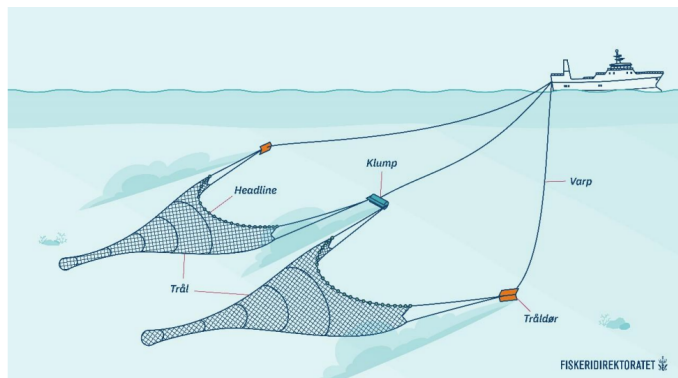
Teorien tar utgangspunkt i en spesifikk tråler for å vurdere miljøpåvirkninger og driftseffektivitet ved bruk av tre forskjellige drivstoffer. Det er viktig å merke seg at å velge en annen tråler kan gi forskjellige resultater fordi trålere kan variere mye i alder, størrelse, teknologi og operasjonsparametere.

#### 3.1 Tråler

En tråler er et fiskefartøy som benytter en trål. En trål er en avlang pose som skipet sleper langs havbunnen i en hastighet mellom 2,5 - 5 knop [29]. Det finnes flere ulike metoder for å tråle. Eksempler på dette er flytetral, bomtrål og bunntral. Den mest utbredte i Norge er bunntral. De som benytter bunntral kan bruke dobbeltrål eller trippeltrål, som betyr at det benyttes flere tråler samtidig. Ved tråling benyttes tråldører der funksjonen til dørene er å gi en horisontal åpning.



*Figur 3.1: Tråleren MS Breitind  
bilde hentet fra [30]*



*Figur 3.2: Oppsett av en dobbeltrål  
bilde hentet fra [31]*

#### 3.2 MGO

Marin gassolje, også kalt MGO, er en type drivstoff spesifikt laget for å brukes i maritime fartøy [32]. Det er et raffinert drivstoff, det vil si at det produseres av råolje gjennom destillering. I denne prosessen skilles de ulike komponentene fra råolje som diesel, bensin og jetdrivstoff. MGO er ansett som et renere drivstoff enn tung fyringsolje (HFO), da det har et lavere utslipp av svoveloksid ( $\text{SO}_x$ ) og nitrogenoksid ( $\text{NO}_x$ ). Det er også et renere brennstoff sammenlignet med tyngre bunkeroljer grunnet dette. Vanligvis inneholder MGO mindre enn 0,1 % svovel. Sammenlignet med tungolje har MGO en stor reduksjon ved utslipp av skadelige gasser og partikler. Til tross for at MGO har et lavere svovelinnhold enn tungolje, forårsaker fortsatt bruken av drivstoffet store utslipp av karbondioksid, ( $\text{CO}_2$ ). De forskjellige egenskapene for MGO er presentert i Tabell 3.1.

*Tabell 3.1: Egenskaper til MGO*

Egenskap	Verdi	Enhet	Kilde
Tetthet	860	kg/m <sup>3</sup> ved 15°C	[32]
Svovelinhold	0,10 til 1,50	%	[32]
CO <sub>2</sub> -utslipp	3,17	CO <sub>2</sub> /kg	[33]

### 3.3 Hydrogen

Hydrogen er det vanligste grunnstoffet som eksisterer og det utgjør 90% av universets atomer [34]. Mesteparten av hydrogenet som eksisterer på jorden er bundet i vannmolekyler og har den kjemiske formelen H<sub>2</sub>O, som består av to hydrogenatomer og et oksygenatom. Hydrogendrivstoff inneholder hydrogen enten i gassform eller i væskeform [35]. Grunnet hydrogenets evne til å binde seg til oksygen, blir det eneste utslippet fra hydrogenforbrenning vanndamp. Hydrogen forbrennes for å produsere varmeenergi, og kan også brukes i brenselceller gjennom en elektrokjemisk prosess. I brenselcellen omformes energien til både varmeenergi og elektrisk energi.

Hydrogen er ikke en primær energikilde i seg selv, da det hovedsakelig forekommer som en kjemisk bundet form, for eksempel i vann [35]. Energi er en nødvendig kilde for å kunne produsere ren hydrogen, som ved å bruke vann gjennom en elektrolyse. I motsetning til petroleum, som fungerer både som en primær energikilde og en energibærer, frigjøres energi når hydrogenbrensel brukes. Hydrogen er dermed kun ansett som en energibærer. Som en energibærer anses hydrogen å være en uendelig ressurskilde da det blir omdannet tilbake til vann etter bruk, og kan deretter gjenvinnes for å produsere hydrogen på nytt.



*Figur 3.3: Fartøyet MS Hydra, verdens første hydrogen-drevne skip  
bilde hentet fra [36]*

Verdens første hydrogendrevne skip, fergen MS Hydra som er presentert i Figur 3.3, ble lansert i 2021. Opprinnelig gikk fergen på ren elektrisk kraft fra batterier fram til mars 2023, da den gjennomførte sin første kommersielle tur på hydrogen [37]. I følge [38] er det per i dag fem skip som opererer med hydrogen som drivstoff. Tre av skipene anvender hydrogen gjennom en forbrenningsmotor, og de resterende to skipene benytter brenselceller. Det er seks hydrogen-drevne skip under bestilling som forventes levert i 2024.

### 3.4 Metanol

Metanol med den kjemiske formelen  $\text{CH}_3\text{OH}$ , også kjent som tresprit, ble i 1992 godkjent som et alternativt drivstoff [39].  $\text{CH}_3\text{OH}$  produseres vanligvis fra naturgass, men kan også produseres fra biomasse eller med hjelp av karbonfangst og grønt hydrogen. [40]. Metanol har kokepunkt på  $64,8^\circ\text{C}$  og smeltepunkt på  $-97,6^\circ\text{C}$ , som betyr at det er i flytende tilstand ved normaltrykk og normaltemperatur [41]. Fornybar metanol, eller e-metanol, har potensialet til å redusere karbondioksidutslippet med opptil 95% sammenlignet med tradisjonelle drivstoff som MGO[42]. E-metanol er metanol som er produsert ved hjelp av fornybare energikilder.

Som drivstoff har metanol fått en stor interesse, spesielt i den maritime industrien, grunnet besparelsene den kan ha på karbondioksidutslippet. Med målsetning om nullutslipp for turist og fergetransport i verdensarvfjordene fra år 2026 , er alternative drivstoff som metanol svært aktuelle [40].



*Figur 3.4: Fartøyet Stena Germanica, verdens første metanol-drevne skip  
bilde hentet fra [43]*

Figur 3.4 illustrer skipet Stena Germanica som i 2015 var verdens første metanoldrevende skip [44]. Fartøyet er eid og drevet av Stena line. Siden skipet kom i 2015, er det i dag 33 skip som opererer med metanol som drivstoff [38]. Majoriteten av skipene som benytter metanol er olje- og kjemikalietankere. I 2024 er det 29 metanoldrevne skip under bestilling, og fram mot 2028 er det bestilt mer enn 240 skip [38]. Hovedårsaken til at det er såpass mange skip i bestilling, kommer

av den teknologiske modenheten til anvendelse av metanol på skip [45].

### 3.5 LNG

Liquefied natural gas (LNG) eller flytende naturgass, lages av tørrgass og består hovedsaklig av gassen metan [46]. For å holde gassen flytende kjøles den ned til temperaturer under  $-162^{\circ}\text{C}$  og atmosfærisk trykk. I væskeform tar gassen rundt 600 ganger mindre plass enn gasstilstanden [47]. LNG blir hovedsaklig brukt til å transportere naturgass over lengre distanser [48]. LNG blir brukt som en erstatning for fossile drivstoff med høy karboninnhold, og er mye brukt på skip og tyngre kjøretøy [49].



*Figur 3.5: Fartøyet MS Høydal, verdens første LNG-drevne skip  
bilde hentet fra [50]*

Skipet MS Høydal illustrert i Figur 3.5 var verdens første kommersielle skip til å utnytte LNG som drivstoff [50]. Fartøyet er eid av Nord-Norsk shipping og kom i 2012. Siden skipet kom i 2012 har LNG blitt en modent alternativ [51]. I 2024 er det 535 skip som operer med LNG som drivstoff, og 182 i bestilling [38]. Frem mot 2028 er det over 500 skip i bestilling. En mulig årsak til den økende satsingen på LNG-skip kan være den stadig forbedrede LNG-infrastrukturen, som gir betydelige fordeler både med hensyn til miljø og regulatoriske krav som rederier må ta hensyn til [52].

### 3.6 LPG

Liquified petroleum gas (LPG) også kjent som petroleumsgass er en flytende gassblanding hovedsaklig bestående av metan [53]. LPG blir vanligvis omsatt til enten propan eller butan og holdes flytende ved hjelp av trykktanker. Propan har et kokepunkt på  $-42^{\circ}\text{C}$ , og holdes flytende med ett trykk på rundt 800 kPa og normaltemperatur ( $20^{\circ}\text{C}$ ) [53]. Butan har et kokepunkt på  $-0,5^{\circ}\text{C}$  og holdes flytende ved et trykk på 200 kPa, eventuelt ved atmosfærisk trykk i en nedkjølt



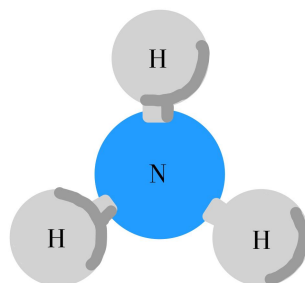
*Figur 3.6: Fartøyet BW Gemini, verdens første LPG-drevne skip  
bilde hentet fra [55]*

tank til normalkokepunktet [53]. Ved å lagre gassen i væskeform er det mulig å lagre 250 ganger mer enn hvis det var gassform [54]. LPG blir utnyttet i flere områder som omfatter industri, bygg og anleggsindustri, landbruk og transport.

I 2020 kom verdens første LPG-drevne skip kalt BW Gemini fra BW LPG [56]. Skipet er drevet av en totakts dual-fuel forbrenningsmotor kapabel til å benytte både MGO og LPG. Per 2024 er det 114 LPG-drevne skip i operasjon og 14 i bestilling. Fram mot 2028 er det over 78 skip som ligger i bestilling [38].

### 3.7 Ammoniakk

Ammoniakk har den kjemiske formelen  $\text{NH}_3$  og er en forbindelse bestående av ett nitrogenatom og tre hydrogenatomer [57]. Ammoniakkmolekylet er presentert i Figur 3.7.  $\text{NH}_3$  blir i dag mest bruk i kunstgjødselproduksjon, kjemiske prosesser og i kjøleanlegg. Forbrenning av  $\text{NH}_3$  fører ikke direkte til  $\text{CO}_2$ -utslipp, men det er derimot utslipp knyttet til produksjonen [7]. Ved forbrenning av ammoniakk på temperaturer mellom  $1200\text{-}1500^\circ\text{C}$  vil det oppstå utslipp av nitrogenoksider ettersom nitrogenet binder seg til oksygen rundt disse temperaturene [58].



*Figur 3.7: Molekylet til ammoniakk bestående av tre hydrogenatom og ett nitrogenatom*



$\text{NH}_3$  er egnet til å lagres i flytende tilstand da det kun er behov for en lagringstemperatur på under  $-33^\circ\text{C}$  med omgivelsestrykk. Eventuelt kan det lagres på et trykk lik 10 bar og omgivelsestemperatur [8]. Egenskapene til  $\text{NH}_3$  er presentert i Tabell 3.2.

**Tabell 3.2:** Egenskaper til ammoniakk

Egenskap	Verdi	Enhet	Kilde
Tetthet [Flytende - ved $-33^\circ\text{C}$ ]	696	$\text{kg}/\text{m}^3$	[59]
Tetthet [Flytende - ved $15^\circ\text{C}$ og 10 bar]	696	$\text{kg}/\text{m}^3$	[8]
Nitrogeninnhold	82	%	[60]
$\text{CO}_2$ -utslipp [NG-reformering]	1,6	$\text{CO}_2/\text{kg}$	[7]

### 3.7.1 Produksjon av ammoniakk

Haber-Boch prosessen, også kalt HBP, er en av de vanligste metodene for å produsere  $\text{NH}_3$  [61]. For at reaksjonen skal utføres korrekt, krever prosessen en temperatur på  $400^\circ\text{C}$  og et trykk på omtrent 150 bar. Dersom prosessen er riktig integrert, kan varmen produsert av reaksjonen utnyttes videre. Formel 3.1 viser den reverserbare reaksjonen:

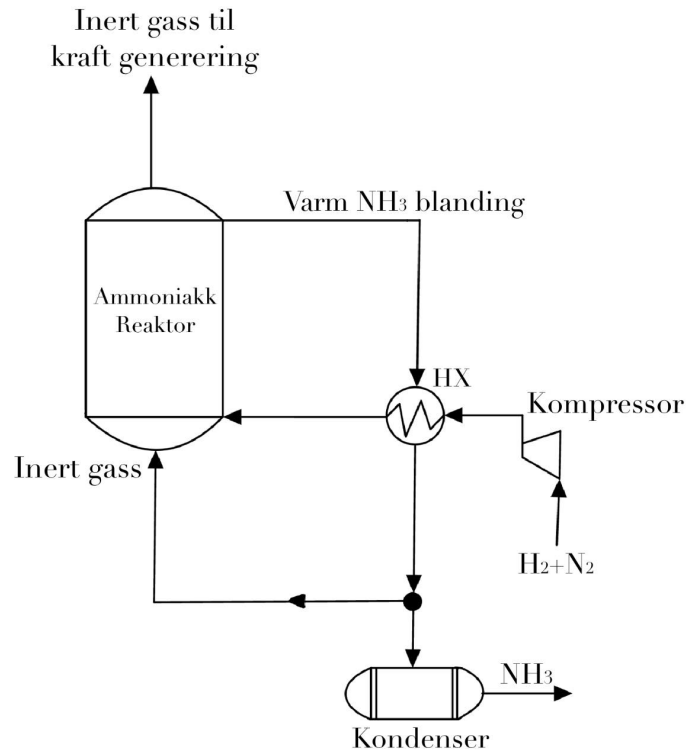


Hoveddelen av arbeidet, i  $\text{NH}_3$ -produksjonsprosessen, skjer før selve ammoniakken produseres. Dette omfatter framstilling av hydrogen og nitrogen [62]. Nitrogenframstilling kan gjøres ved å benytte prosessen *Pressure swing adsorption (PSA)* [63]. Dette er en prosess som benytter komprimert luft til å utvinne nitrogen, ved å benytte en karbonmolekylært sil vil oksygenet bli fanget og nitrogenet vil passere videre til en trykksatt tank [64]. Som nevnt i Kapittel 3.3 blir hydrogen hovedsaklig framstilt fra naturgassreformering, men kan også bli utvinnet ved bruk av elektrolyse.

Produksjonen av  $\text{NH}_3$  foregår i flere steg. Først produseres og renses syntesegass som er en elementær del for å kunne lage  $\text{NH}_3$  [65]. Selve produksjonen av  $\text{NH}_3$  skjer i slutten av prosessen. I den siste fasen blir syntesegassen håndtert av en sentrifugalkompressor som blir drevet av en damp turbin. Gassen økes til et trykk på over 150bar, deretter varmes den opp til den nødvendige temperaturen for å begynne ammoniakksyntesen.

Omformerens effektivitet bestemmer hvor raskt reaksjonene skjer. Både trykket og temperaturen er avgjørende for reaksjonshastigheten, samt forholdet mellom nitrogen og hydrogenet som tilføres [66,67]. Det er nødvendig å skille ammoniakken som er produsert fra gassen som ikke har reagert før det sendes tilbake i anlegget for reproduksjon. Dette gjøres ved å kjøle ned gassen til væske, slik at disse kan separeres [57]. Produksjonen av syntesegass og ren  $\text{NH}_3$  krever flere trinn [68].

Hvordan masse og energiflyten håndteres gjennom disse trinnene har en betydelig innvirkning på produksjonskostnader samt prosessens miljøvennlighet. Figur 3.8 presenterer et flyt diagram av den grunnleggende Haber-Bosch-prosessen.



**Figur 3.8:** Grunnleggende flytskjema for Haber-Bosch-prosessen basert på [61]

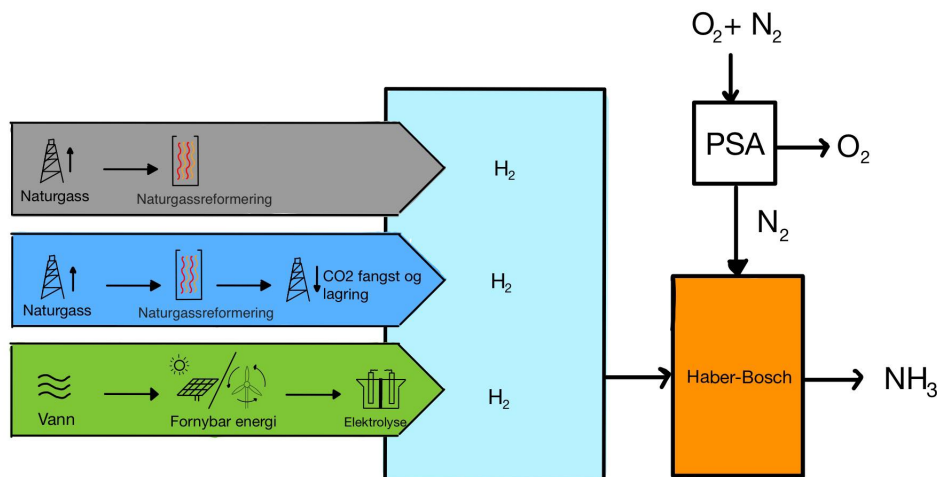
Den ureagerte gassen, som fortsatt inneholder H<sub>2</sub> og N<sub>2</sub>, brukes til å produsere rensiggass og gjenvunnet gass [61]. Førstnevnte renser reaktoren, og den andre resirkuleres inne i NH<sub>3</sub> reaktoren. Etter spyleprosessen brukes rensiggassen til forbrenning for å produsere varme og kraft. Dette systemet bruker rensiggass som består av 90 % av den ureagerte gassen. Denne mengden er nødvendig for å generere nok varme for å støtte tidligere prosesser.

Ved bruk av energi fra fornybare kilder kan det produseres grønn NH<sub>3</sub> [62]. Denne metoden eliminerer karbonutslipp helt. Fornybar strøm brukes til å spalte vann til hydrogen og oksygen gjennom en elektrolyseprosess. Deretter brukes Haber-Bosch-prosessen ved å innhente nitrogen fra luften og binde det sammen med hydrogenet for å produsere grønn NH<sub>3</sub>. Den mest brukte typen for å lage NH<sub>3</sub> er sammensmeltede jernkatalysatorer [69]. Disse katalysatorne bruker en rekke tilsetningsstoffer for å holdes stabile og effektive [70]. Aluminiumsoksid, Canna Mono kalium, kalsiumoksid og silisiumdioksid er de vanligste tilsetningsstoffene. I hvert trinn av prosessen, ved omtrent 450°C og 20 MPa, har disse evnen til å transformere mellom 15-20% av materialene til NH<sub>3</sub>.

Vanligvis mister de kommersielle jernkatalysatorne effekten i løpet av 10 år [71]. Dette har medført en stor etterspørsel for mulighet til gjenvinning samt gjenbruk, spesielt grunnet de verdifulle tilsetningsstoffene som brukes. I Kellogg-prosessen brukes rutenium, dette er det nest mest brukte stoffet for ammoniakksyntese etter jern [72]. Rutenium brukes i mindre mengder grunnet den dyre prisen og brukes som et støttemateriale for andre stoffer brukt for å øke driftigheten [73]. Det har vært mye fremgang i henhold til utviklingen av bedre katalysatorer for ammoniakksyntese. Ved videre utvikling vil det resultere i høyere produksjon av grønn  $\text{NH}_3$  fra lokale fornybare kilder.

### 3.7.2 Kategorisering av ammoniakk

$\text{NH}_3$  er kategorisert i fargene: grå, blå og grønn, som illustrert i Figur 3.9. Disse variantene består av en rekke forskjellige metoder for produksjon av ammoniakk, samt hver sin grad av bærekraft og  $\text{CO}_2$ -utslipp [7].



Figur 3.9: Illustrerer kategoriseringen av ammoniakk

Grå  $\text{NH}_3$  er den mest utbredte formen, og produseres med bruk av fossile energikilder som kull, nafta og fyringsolje gjennom Haber-Bosch-prosessen [7]. I prosessen blir først hydrogen fremstilt ved at naturgass reformeres til hydrogen og karbondioksid. Nitrogenet som trengs til Haber-Bosch-prosessen blir direkte separert fra luften.

Blå  $\text{NH}_3$  er en form som kombinerer naturgassreforming, eller produksjon ved hjelp av annet fossilt materie til å framstille hydrogen, med karbonfangst [7]. Denne metoden gjør det mulig å redusere klimagassutslippet fra produksjonen. Dette bidrar til å redusere det totale klimagassutslippet ved utvinning, sammenliknet med grå ammoniakk.

Grønn  $\text{NH}_3$  er produsert ved hjelp av energi utelukkende fra fornybare kilder som sol, vind og vannkraft [8]. Denne metoden bruker grønt hydrogen, som er framstilt gjennom elektrolyse hvor



elektrisitet fra fornybare kilder brukes til å splitte vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ) i hydrogen ( $\text{H}_2$ ) og oksygen ( $\text{O}_2$ ). Denne prosessen fører til et redusert karbonavtrykk sammenlignet med grå og blå  $\text{NH}_3$ , da det ikke medfører direkte  $\text{CO}_2$ -utslipp.

### 3.7.3 Ammoniakk som maritimt drivstoff

Den maritime sektoren står i dag overfor både utfordringer og muligheter i møte med å nå de globale målene om reduksjon av klimagassutslipp og overgang til renere energikilder [8]. Selv om det foreløpig ikke er brukt i stor skala har ammoniakk, som er kjent for sitt potensial som et nullutslippsdrivstoff, fått stor oppmerksomhet i den maritime sektoren [74]. Det er flere forskningsprosjekter som ser på forskjellige muligheter for bruk av  $\text{NH}_3$  som maritimt drivstoff. En av dem er Maritime  $\text{NH}_3$ , som er en del av det grønne plattform initiativet kalt "*Ammonia fuel bunkering network for the marine sector.*" [75]. Dette initiativet tar for seg utforskningen og muliggjøringen av å bruke  $\text{NH}_3$  som et maritimt drivstoff. Målet deres er å bygge et  $\text{NH}_3$  bunkrings-nettverk bestående av et skalerbart bunkringshub samt en forsyningskjede av  $\text{NH}_3$ .

Maritime $\text{NH}_3$  har hovedfokus på forbedring av teknisk-økonomiske analyser, sikkerhetsvurderingsmodeller samt vurdering av klimagassutslipp gjennom hele  $\text{NH}_3$  verdikjeden [76]. De har også et fokus på teknologiske fremskritt av ammoniakkdrevne brenselceller og motorer. Gjennom modellering og eksperimentering er prosjektet med på å forbedre forbrenning i motorer samt levetiden til benselceller.

I tråd med målene satt av IMO og Norges ambisjon om å bli en klimanøytral flåte innen 2050, er dette prosjektet et velegnet bidrag til å nå målet [77]. Samtidig bidrar det til å skape arbeidsplasser og inntekter fra eksportnæringen.

En av Norges ledende trålerederi, Lerøy Havfiske AS, startet i januar 2022 et prosjekt for å undersøke muligheten til å bruke  $\text{NH}_3$  som et miljøvennlig drivstoff på en av deres trålere [78]. Lerøy Seafood Group har forpliktet seg til å bidra med innovasjon og bærekraft i den maritime sektoren med utgangspunkt i målet om  $\text{CO}_2$  utslipps reduksjon på 46% innen 2030. Et av prosjektets hovedmål er å bruke  $\text{NH}_3$  som drivstoff, med hensyn til trålerens kompliserte funksjoner og begrensede plass. Prosjektet har imidlertid klart å finne løsninger for ammoniakklagring som er tilpasset trålerens operative systembehov.

Ifølge [38] er det i 2024 ett offshore skip som opererer med ammoniakk som drivstoff, og to ytterligere fartøy i bestilling. Frem mot 2027 forventes det en økning i antall ammoniakkdrevne skip, med totalt 19 fartøy allerede i bestilling.

### 3.8 Lagring og håndtering av ammoniakk

For at  $\text{NH}_3$  skal forbli flytende må det lagres ved lav temperatur [57]. Med tanke på forhindring av korrosjon, og motstå trykk, må infrastrukturen ombord følge spesifikasjoner for materialvalg og konstruksjon. Materialer som sink, kobber og legeringen deres er spesielt utsatt for korrosjon. Som et resultat av dette må alle komponenter som er i kontakt med  $\text{NH}_3$  være konstruert av materialer som er resistente [79]. Ettersom  $\text{NH}_3$  er giftig kreves det sikre laste- og losseprosedyrer, dette inkluderer bruk av verneutstyr, tilstrekkelig ventilasjon og nødprosedyrer dersom det skulle oppstå lekkasjer.

Ved sikkerhetskåndtering av  $\text{NH}_3$  kreves det en grundig opplæring av bemanningen, dette inkluderer førstehjelpsbehandling ved eksponering og nødprosedyrer [80]. For å kunne tidligst varsle om lekkasje av  $\text{NH}_3$  er effektive gassdeteksjonssystemer avgjørende. Det er også avgjørende med effektive ventilasjonssystemer som er istand til å ventilere ammoniakk-gassen bort fra området. Dette er avgjørende for å kunne forebygge risikoen for at mannskap utsettes for eksponering og forhindre at det utvikler konsentrater som er giftige eller eksplosive.

*The International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk* (IGC-regelverket) gir detaljerte retningslinjer i henhold til design, konstruksjon og inspeksjon av skip som benytter  $\text{NH}_3$  som drivstoff [59]. Dette inkluderer de nødvendige arrangementene og systemene for bruk av  $\text{NH}_3$  til både fremdrift og hjelpesystemer samt sikker lagring, distribuering og håndtering om bord. For sikker overholdelse, må skip som bruker  $\text{NH}_3$  som drivstoff oppfylle visse klassenotasjoner og sertifiseringskrav, samt oppnå godkjenning fra flaggstatens administrasjon. Regelverket understreker også betydningen av risikovurdering og tiltak for å redusere eksplosjonsrisikoen, for å sikre trygg håndtering av  $\text{NH}_3$  på fartøy.

#### 3.8.1 Atmosfærisk lagringstank

En metode for å oppbevare store mengder  $\text{NH}_3$  er atmosfæriske lagertanker. Disse er enten store sylindereformede beholdere eller i kuleformet design, som bruker atmosfærisk trykk, og lav temperatur [81]. Dette gjør at tankene kan håndtere  $\text{NH}_3$  uten å ha et trykk internt i tanken høyere enn det atmosfæriske trykket. For best holdbarhet og evne til å motstå de korrosive egenskapene til ammoniakk, blir det brukt stål og glassfiber i tankene. For en sikker lagring har disse tankene tett konstruksjon og et effektivt ventilasjonssystem. Atmosfæriske lagertanker er spesielt nyttige i situasjoner der store mengder  $\text{NH}_3$  må lagres da de kan brukes som et lagringsmedium før det transporteres eller brukes.

### 3.8.2 Kjølelagringstank

Kjølelagertankene fungerer ved at de har et kjølesystem som sirkulerer kontinuerlig [82]. Dette holder ammoniakken på en lav temperatur, under kokepunktet på  $-33^{\circ}\text{C}$ . Denne lagringsmetoden hindrer fordampning og varmeintregning som potensielt kan øke tankens trykk til farlige nivåer. Ved å holde en lav temperatur sikrer tankene at ammoniakken lagres trygt og reduserer sannsynligheten for utslipp. Likt som i atmosfæriske lagringstanker blir det brukt glassfiber og stål i tankene.

### 3.8.3 C-type lagringstank

C-type trykklagertanker er sylindrerformede og spesialbygde for å håndtere og lagre  $\text{NH}_3$  under høyt trykk, slik at det kan oppbevares i flytende form uten kjøling [83,84]. Dette gjør dem svært fordelaktige for både lagring og transport av  $\text{NH}_3$ , enten det er på land eller til sjøs. De er populære grunnet deres sikkerhet, kostnadseffektivitet og allsidighet, som gjør dem ideelle for mange industrielle applikasjoner. C-type tanker er ideelle for en rekke brukssituasjoner da de kan lagre  $\text{NH}_3$  under, eller ved relativt lave temperaturer. I motsetning til de andre lagringstankene består C-type tank av austenittisk stål [85]. I henhold til IMOs sikkerhetskoder (IGC/IGF-kodene), er austenittisk stål anerkjent som et *alternativt stål materiale* og ble i juni 2022 godkjent av Bureau Veritas, et ledende klassifiseringsbyrå som fokuserer på kvalitetsstandarder og maritim sikkerhet [83,84]. Et annet materiale som ofte brukes når man bygger disse tankene, er glassfiberforsterket plast.

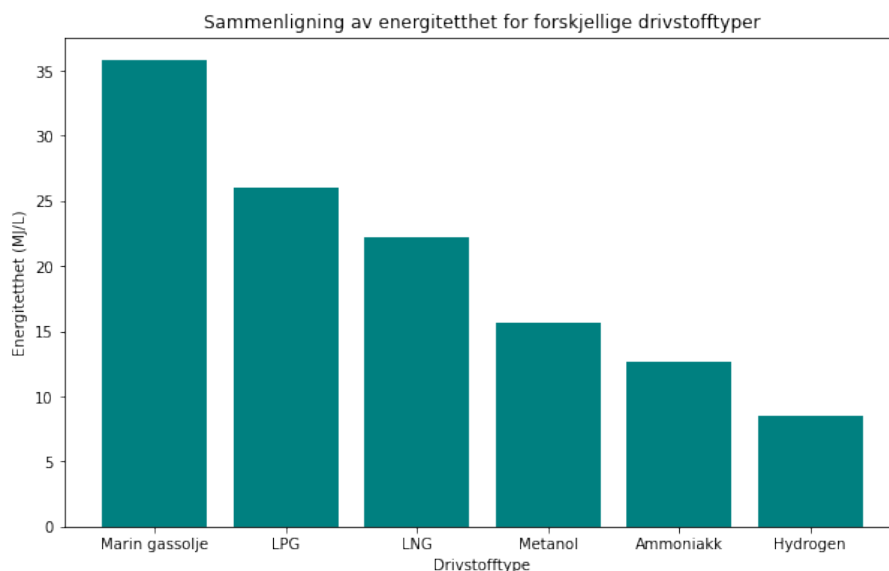
## 3.9 Sammenlikning av drivstoffene

Det eksisterer flere brensel som betraktes som et potensielt alternativt drivstoff til MGO. De varierende egenskapene til brenselene vil ha en innvirkning på hvor de kan være anvendt [86]. En egenskap som er viktig for anvendelse på skip er brenselets energitetthet. Dette indikerer hvor mye energi et brensel har ved en gitt mengde.

*Tabell 3.3: Egenskapene til ulike typer drivstoff rangert etter energitetthet*

Drivstoff [Flytende tilstand]	Temp 1 atm [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Energitetthet [MJ/liter]	Spesifikk energi [MJ/kg]	Tetthet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Kilde
MGO	20	36,2	43,1	860	[57,87]
LNG	-162	21,6	48	400-500	[46,88]
LPG	-42	23,2	46,3	493	[57,87,88]
Metanol	-98	15,7	19,9	797	[41,88]
Ammoniakk	-33	12,7	18,6	696	[57,87,88]
Hydrogen	-253	8,5	119,9	70	[34,57,89]

Tabell 3.3 presenterer egenskapene til seks ulike drivstoff. Alle de ulike brenslene er oppgitt i samme tilstand og legger til rette for direkte sammenligning av egenskapene. Figur 3.10 illustrerer forholdene mellom energitettheten til de seks brenslene fra Tabell 3.3.



*Figur 3.10: Sammenligning av energitettheten til seks ulike brensel*

I motsetning til hydrogen kan  $\text{NH}_3$  enklere omgjøres til væskeform gjennom kjøling. Dette gjør at  $\text{NH}_3$  er enklere å lagre, håndtere samt transportere. For oppbevaring av  $\text{NH}_3$  i væskeform i tanker ved romtemperatur er det kun nødvendig med trykk på omtrent 10 bar [8]. Dette gjør at stoffet kan lagres og transporteres på en måte som likner propan og butan, som også er kjent for å kunne oppbevares flytende under et moderat trykk. Sammenliknet med hydrogen har  $\text{NH}_3$  en høyere energitetthet og et lavere kokepunkt. Selv om LPG, metanol og LNG har en høyere energitetthet og spesifikk energi sammenliket med  $\text{NH}_3$ , er det ikke helt karbonfritt.

### 3.10 Hybrid energisystem

Et hybrid energisystem er en teknologi som kombinerer flere forskjellige strømkilder [90]. Målet er å oppnå maksimal effektivitet samtidig som utslippene reduseres. Dette betyr at hybridssystemer bruker flere kraftkilder og energilagringssystemer som for eksempel batterier. I tillegg til konvensjonelle dieselgeneratorer og gassturbiner, kan alternative energiprodusenter som brenselceller inkluderes i et hybridssystem.

### 3.11 Batteri på skip

De fleste skip som konstrueres i dag benytter en eller annen form for batteri [91]. Formålet med et batterisystem er å kunne optimalisere kraftsystemet til skipet ved å avlaste motorene [92]. Avhengig av skipstypen og operasjonsbehov kan et batterisystem bidra til å glatte de største

energitoppene ved å levere lagret energi fra batteriene. Systemet er i stand til å levere momentan kraft i situasjoner der det er et akutt kraftbehov, som i DP-situasjoner [93]. Dette bidrar til å redusere den akutte belastningen på motorene, noe som resulterer i mindre drivstoffbehov, og motorvedlikehold. [94]

En av de batteritypene som benyttes mest innenfor maritim sektor er litium-ion-batterier [95]. Fordelene med litium-ion-batteri er blant annet høy energitetthet, lang levetid, lav selvutlading og hurtig ladningsevne. Et batterisystem tillater også skipet å operere på ren el-kraft ved kai og i havner uten påfølgende klimagassutslipp. Regjeringen har stilt et krav at innen 2026 skal det være nullutslipp på servicefartøy i havbruksnæringen [96]. Dette betyr at stadig flere skip kommer til å måtte anskaffe batterisystem, og/eller anvende utslippsfritt drivstoff.

### 3.12 Brenselcelle

En brenselcelle er en elektrokjemisk enhet som konverterer kjemisk energi til elektrisk energi [97]. Brenselcellen benytter et bresel som reagerer med oksygen, som for eksempel hydrogen. Inne i brenselcellen foregår den kjemise reaksjonen ved hjelp av to elektroder, anode og katode, som er nedsenket i en elektrolytt. I brenselcellen blir elektroner tvungt på utsiden av elektrolytten, fra anoden til katoden. Dette genererer en flyt av elektroner som genererer strøm [97]. Det eneste biproduktet til en slik reaksjon mellom hydrogen og oksygen er vann [98].

Batterier er avgjørende for brenselcellesystemer om bord på skip, i hovedsak for å håndtere dynamiske energibehov og garantere en kontinuerlig drift [91]. Energibehovet til et skip vil variere etter ulike operasjonelle aktiviteter, som manøvrering, dynamisk posisjonering eller hastighetsendringer. Batteriene balanserer disse forskjellene ved å tilføre ekstra strøm ved behov, og lagre strøm når produksjonen overgår behovet.

Batteriene hjelper systemet med redundans og sikkerhet [99]. De gir en pålitelig strømkilde som er i stand til å ta over umiddelbart hvis brenselcellen svikter eller det er avbrudd i brenselforsyningen. Dette er avgjørende for å opprettholde sikker drift og viktige funksjoner. De kan også øke systemeffektiviteten generelt da brenselceller fungerer best når de kjører med en konstant belastning. Når de brukes sammen med batterier, kan de opprettholde deres optimale ytelsesnivå.

#### 3.12.1 Fast oksid brenselcelle - SOFC

*Solid oxid fuel cells* eller SOFC, er en høy-temperatur brenselcelle, som operer på temperaturer mellom 650°C-850°C [100]. SOFC er en av de få brenselcellene som kan anvende NH<sub>3</sub> direkte inn i cellen [101]. For fast oksidbrenselceller er NH<sub>3</sub> ansett som et mer effektivt bresel enn hydrogen, grunnet interne reaksjoner som reduserer energibehovet til varmetilførsel [101]. Reaksjonen er

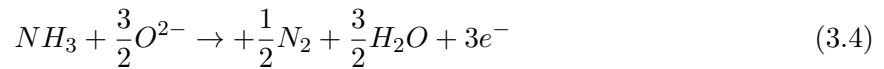
delt opp i to steg. Den første reaksjonen frigir varme, og den andre reaksjonen har behov for tilført varme. Dermed kan den genererte varmen i steg 1, benyttes til å bryte ned  $\text{NH}_3$  i steg 2 [102]. Reaksjonslikningene for  $\text{NH}_3$  i en SOFC er som følger:



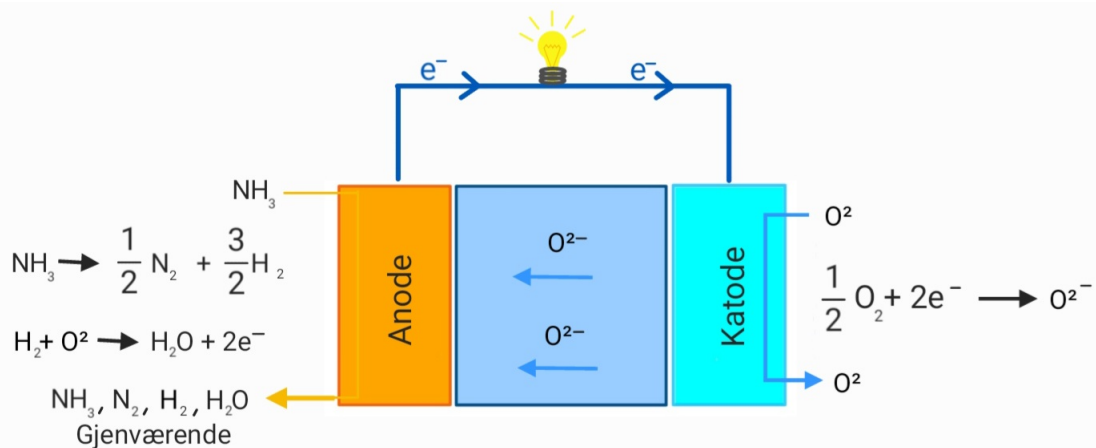
I Reaksjon 3.2 blir ammoniakken nedbrutt til dinitrogen [ $\text{N}_2$ ] og hydrogen [ $\text{H}_2$ ] i anoden.



I Reaksjon 3.3, genererer det produserte hydrogenet elektrisitet og vann.



Reaksjon 3.4 er direkte oksidasjon av  $\text{NH}_3$ . Denne reaksjonen fremtrer i mindre grad dersom Reaksjon 3.2 og Reaksjon 3.3 produserer tilstrekkelig med hydrogen. Figur 3.11 er en forenklet representasjon av hvordan reaksjonene foregår i en SOFC.



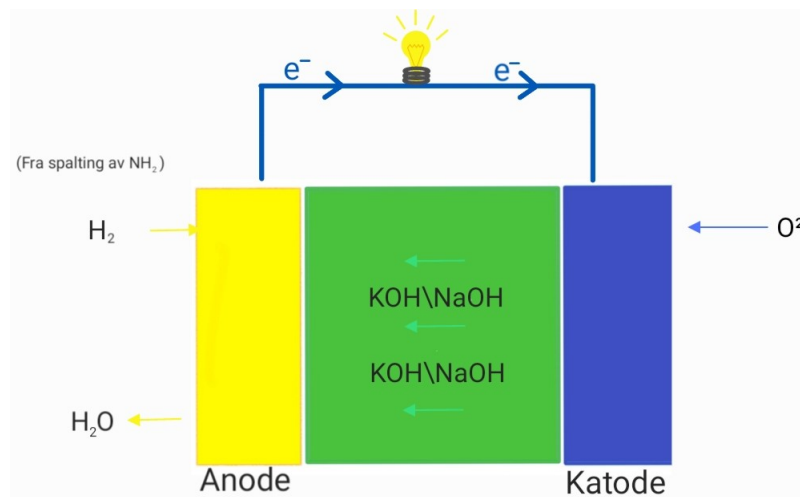
**Figur 3.11:** Forenklet illustrasjon av en fast oksid brenselcelle  
inspirert og hentet fra [103]

En av fordelene med SOFC er skalerbarheten til systemet. Den kan levere mellom 1 kW-2 MW. Brenselcellen justeres dermed etter effektbehovet til systemet den skal anvendes i [104]. En annen fordel med SOFC er en virkningsgrad oppmot 60%. Denne typen system har en utfordring med høy operasjonstemperatur, noe som blant annet resulterer i raskere nedbrytning av komponentene internt i brenselcellen [104]. En annen ulempe er lang oppstartsfase som et

resultat av operasjonstemperaturen. SOFC kan brukes i stort sett alle systemer, eller settinger, der det er høyt effektbehov.

### 3.12.2 Alkalisk, og alkalisk membran brenselcelle - AFC/AEMFC

*Alkaline fuel cell* eller AFC, er en type brenselcelle som kan anvende ammoniakk som brensel. En alkalisk brenselcelle omtales ofte som en lavtemperaturcelle og opererer med arbeidstemperatur mellom 100-250° [88,105]. Disse brenselcellene benytter tradisjonelt sett kaliumhydroksid (KOH) og ved høyere temperaturer anvendes en smeltet hydroksid (NaOH/KOH) som elektrolytt. Alkalisk membran brenselcelle fungerer på samme måte som en alkalisk brenselcelle, men benytter en membran under operasjonen og ikke en flytende elektrolytt. Figur 3.12 er en forenklet illustrasjon av hvordan en AFC/AMFC kan se ut.



**Figur 3.12:** Forenklet illustrasjon av en alkalie brenselcelle  
inspirert og hentet fra [103]

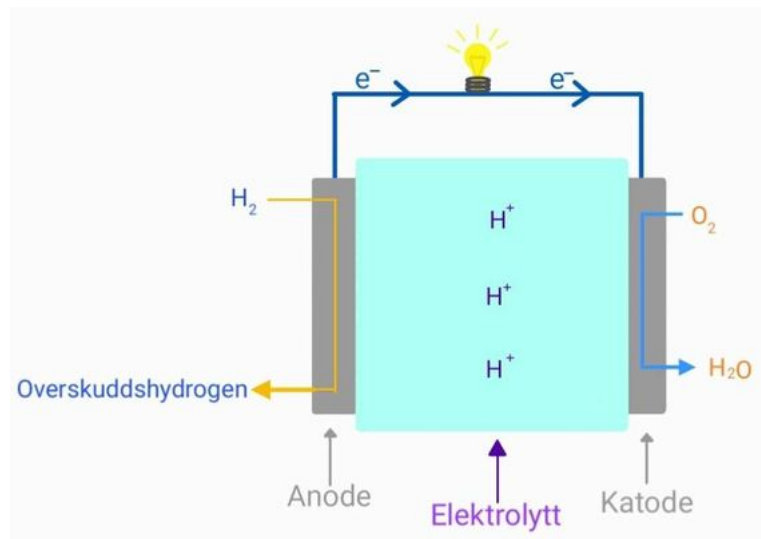
Fordelen med AFC, og AMFC er relativt lav operasjonstemperatur, rimeligere materialkostnader og rask oppstart sammenlignet med andre typer brenselceller [88,104]. Ulempen med denne typen brenselcelle er relativt lav effekt, mellom 1-100 kW. Dette gjør den lite egnet til store konstruksjoner som har høyt effektbehov [104]. For å kunne benytte  $\text{NH}_3$  til denne brenselcelletypen må det først spaltes til hydrogen før det kan anvendes i cellen. Denne formen for brenselceller blir dermed mest brukt i operasjoner som har moderat kraftbehov, og blir blant annet brukt til behandling av vann på romstasjoner [104]. AFC/AMFC kan også bli brukt som nødstrøm.

### 3.12.3 PEM-celle

Forkortelsen PEM står for *Proton exchange membrane* og består av en anode der hydrogenet deles i protoner og elektroder gjennom en membran, der protonene beveger seg gjennom membranet, og elektrodene tvinges på utsiden. Når elektronene beveger seg på utsiden av membranet til katoden, vil det skapes en strømning av elektroner som benyttes til å produsere elektrisk energi [106]. En PEM-celle opererer vanligvis på temperaturer mellom 30-120 °C [88]. Den kjemiske reaksjonen som foregår i en PEM-celle er gitt ved:



Her reagerer  $H_2$  med  $O_2$  som resulterer i et utslipp av  $H_2O$  og energi. En forenklet illustrasjon av hvordan en PEM-celle ser ut er presentert i Figur 3.13.



**Figur 3.13:** Forenklet illustrasjon av en protonvekslingsmembran-celle inspirert og hentet fra [106]

Den høye energitettheten og muligheten til å skalere opp fra små til store strømsystemer er to av fordelene med PEM-brenselceller [104]. De er også i stand til å reagere ved endringer i belastning, noe som gjør dem ideelle for applikasjoner som krever forskjellige nivåer av kraft [98]. En annen fordel med PEM-celler er den lave operasjonstemperaturen. Etersom denne brenselcellen benytter membran som elektrolytt er den også mer korrosjonsbestandig i forhold til brenselceller med flytende elektrolytt [104].

Utfordringen med denne formen for brenselcelle er blant annet dyre komponenter, og sensitivitet til urenheter grunnet membranen [104]. PEM-celler kan heller ikke anvende  $NH_3$  direkte i



brenselcellen. Først må ammoniakken omdannes til hydrogen, før den kan benyttes [8]. Dette betyr at systemet krever flere steg før det leverer effekt.

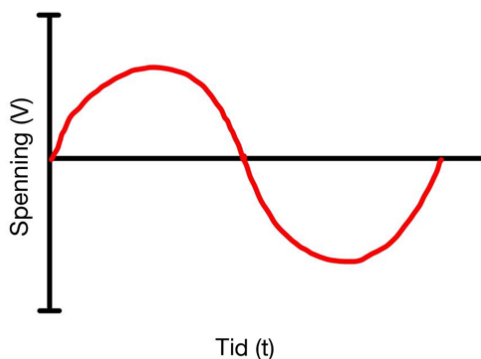
### 3.13 Frekvensomformer

En frekvensomformer eller *Variable frequency drive (VFD)*, er en elektrisk enhet som benyttes til å kontrollere strømforsyningens frekvens og spenning til motoren [107]. Dette gjør det mulig å justere drifhastigheten på motoren i forhold til behovet. Ved å justere hastighet etter belastning kan frekvensomformeren gi betydelige energibesparelser. Dette er gunstig på skip der energieffektivitet er viktig. Frekvensomformeren fungerer på alle elektriske komponenter, og kan dermed anvendes på framdriftssystem, thrustersystem, pumper og vifter. Enheten bidrar dermed til økt effektivitet og bedre kontroll over belastninger som videre bidrar til økt levetid på systemet.

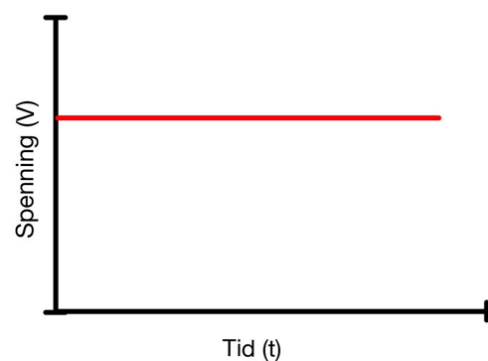
### 3.14 AC-DC nettverk

Vekselstrøm (AC) er en strøm som periodisk endrer retning med en frekvens på 50-60 HZ, avhengig av lokalnettet [108]. I gjennomsnitt veksler strømmen like mye i begge retninger langs en strømleder. Figur 3.14 illustrerer hvordan AC-strømmen beveger seg langs lederen. I strømnettet er det stort sett AC-strøm som blir benyttet da det har muligheten til å overføre høye spenninger ved hjelp av en relativt lav strøm [108]. AC blir generert ved å benytte en generator. Generatoren utnytter den mekaniske energien fra en forbrenningsmotor til å produsere elektrisk energi.

Likestrøm (DC) er en strøm som har en konstant retning, som illustrert i Figur 3.15. Noen energikilder, og enheter som produserer likestrøm er solceller, batterier og brenselceller [109]. Likestrøm blir brukt i det meste av elektroniske utstyr, til elbillading og til en viss grad i langdistanse kraftoverføringslinjer [109]. Det er en økende interesse for å bruke DC-systemer ombord på skip, og det er allerede fartøy som foretrekker DC framfor AC [110].



**Figur 3.14:** Spenning som en funksjon av tid for vekselstrøm. Vist ved den sinusformede spenningsvariasjonen



**Figur 3.15:** Spenning som funksjon av tid for likestrøm. Vist ved spenning som er konstant uten å endre seg over tid

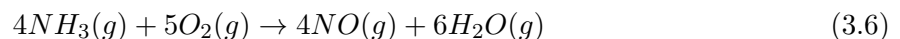
En av fordelene ved å benytte et AC-nettverk er at om det oppstår en feil, kan strømmen enkelt brytes og forhindre feil videre i systemet [111]. Det er også enklere å justere spenningsnivået med en transformator. Ulempen med AC-nettverk, er at generatorsett må operere på en fast frekvens på 50 - 60 Hz. På denne måten blir generatoren låst til en gitt hastighet. Et DC-nett kan i dette tilfellet tillate generatorsettet å operere med variabel hastighet, ettersom frekvensen kan justeres etter behov [112]. Dette gir DC-nettet en fordel når det kommer til å optimalisere motorytelsen, og drivstofforbruket. Å operere et system med AC-nettverk i operasjoner med lav belastning på generatorsettene kan dermed medføre høyere kostnader.

Fordeler med DC er at de har ingen reaktiv kraft, og dermed er systemkontrollen kun rettet mot spenning. Dette gjør at et DC-nettverk klarer å holde bedre kraftstabilitet sammenlignet med et AC-nettverk [112]. Det er også enklere å synkronisere generatorsettet ettersom det i et DC-nettverk kun trengs å ta hensyn til spenning. I et AC-nettverk må det bli tatt hensyn til spenning, frekvens og fasevinkel ved synkronisering av flere generatorsett. DC har en utfordring for å bli implementert på større hybride fartøy eller fartøy som har et høyt energibehov, ettersom det ikke er like optimalt til å ta i mot svingninger som AC [113].

### 3.15 Forbrenningsmotor

En intern forbrenningsmotor er en type motor som omdanner kjemisk energi fra drivstoff til mekanisk arbeid gjennom intern forbrenning [114]. Dette er det mest brukte motortypen i dag, og den eksisterer allerede i alt fra skip til motorsykler. I en forbrenningsmotor kan antennesen skje ved hjelp av en tennplugg, eller ved kompresjon. For enkelte brensler kan det også være behov for et *pilot-brensel* som antennes for å få i gang forbrenningsprosessen. Når drivstoff er antent oppstår en ekspansjon som driver stempelet internt nedover. Denne bevegelsen skaper en roterende mekanisk kraft som kan benyttes i energiproduksjonen.

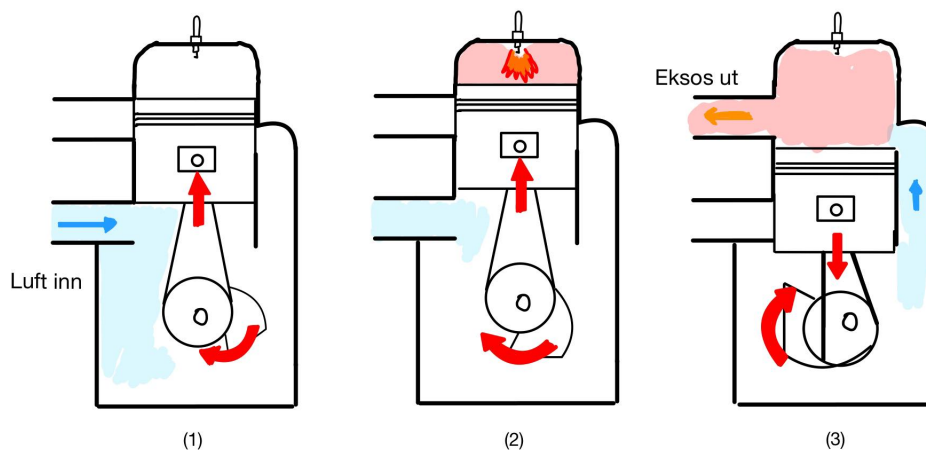
Den kjemiske Formelen 3.6 viser reaksjonslikningen for forbrenning av ammoniakk. Der  $\text{NH}_3$  reagerer med  $\text{O}_2$  for å danne  $\text{NO}$  og  $\text{H}_2\text{O}$  i gassform.



En alternativ tilnærming kan være å anvende en blanding av  $\text{NH}_3$  med en liten mengde hydrogen, denne metoden kalles for krakking. [8]. Dette gjøres fordi hydrogen forbrenner mer effektivt og er lettere antennbart. Ved å spalte ammoniakken til nitrogen og hydrogen rett før det føres inn i motoren oppnås en slik form for blanding. Ved å produsere en slik blanding kan det oppnås forbrenningsegenskaper liknende tradisjonelle drivstoff, samt forhindre omfattende rekonstruksjoner av de allerede eksisterende motorteknologiene.

### 3.15.1 Totaktsmotorer

Totaktsmotorer er en motor som følger en arbeidssyklus på to takter av stempelet for hver rotasjon av veiaksling [114]. Arbeidssyklusen består av en kompresjon og et kraftuttak.



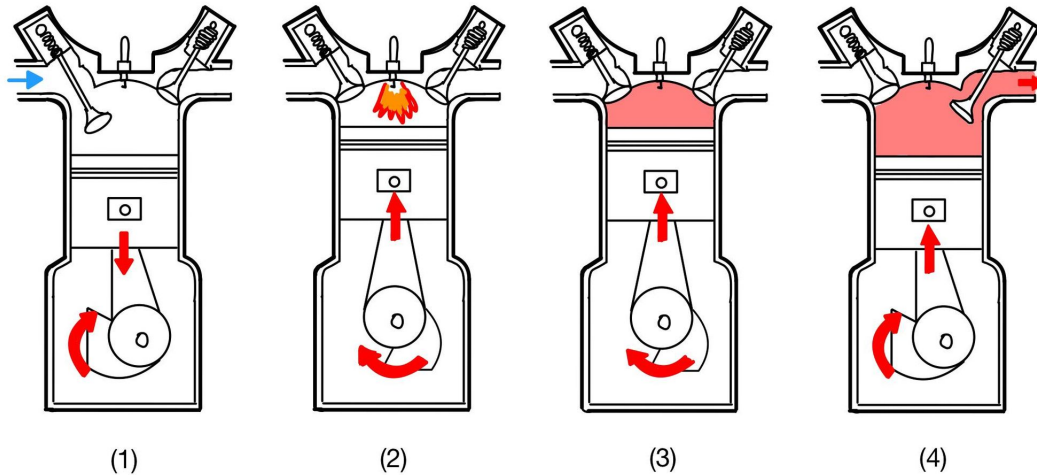
*Figur 3.16: Illustrasjon av arbeidssyklusen til en totaktsmotor  
inspirert og hentet fra [114]*

Figur 3.16 illustrerer arbeidssyklusen til en totaktsmotor. Arbeidssyklusen starter ved at en blanding av brensel og luft blir komprimert (1) [114]. Den komprimerte blandingen blir dermed antent og stempelet beveger seg nedover (2). Når stempelet beveger seg nedover vil en ny blanding av luft og brensel presse eksosen ut og sylindere blir så forberedt på en ny syklus (3).

Fordelen med en totaktsmotor er at den har et enkelt design uten noen kompliserte ventiler. Dette gir den en kompakt struktur som er stand til å levere mye energi momentant [115]. Ulempen med en totaktsmotor er lav drivstoffeffektivitet som gir et høyt utslipp av klimagasser grunnet ufullstendig forbrenning. En annen ulempe er mye støy og mer utsatt for slitasje ved bruk.

### 3.15.2 Firetaktsmotorer

De fleste motorer i dag følger firetaktsprinsippet [114]. Dette betyr at en motor har fire slag for å fullføre en syklus som presentert i 3.17.



**Figur 3.17:** Illustrasjon av de fire primære trinnene i en forbrenningsmotors syklus bestående av inntak, kompresjon, kraftslag og eksosfase

*inspirert og hentet fra [114]*

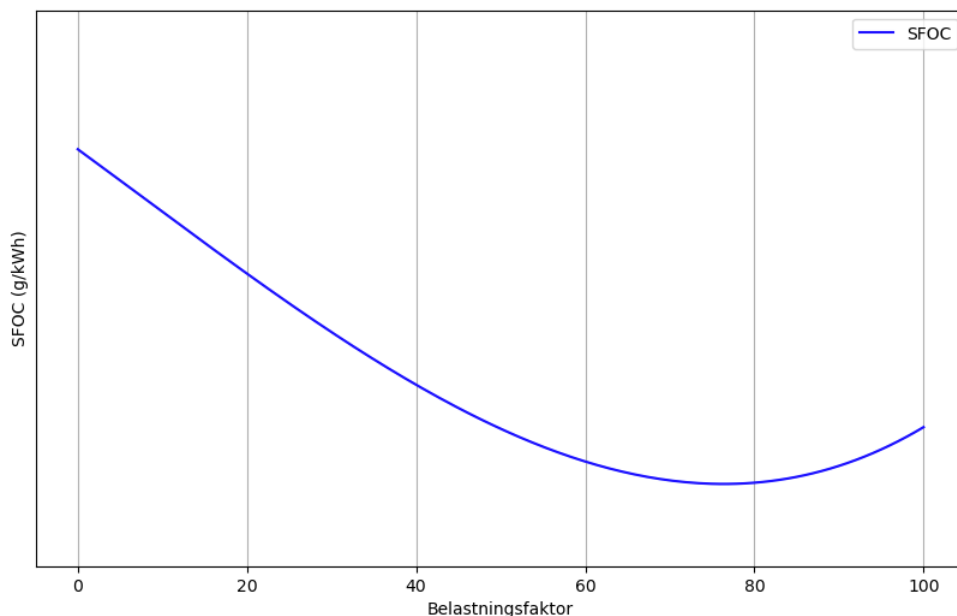
En syklus for en firetaktsmotor starter ved at stempelet trekker nedover i sylindern [114]. Dette åpner en ventil, som lar en blanding av drivstoff og luft strømme inn (1). I det andre taket skyves stempelet oppover, og blandingen av drivstoff og luft komprimeres i en prosess som kalles kompresjonstakten (2). Den tredje fasen starter med en gnist fra tennpluggen når stempelet nærmer seg toppunktet og brenselet ekspanderer (3). I det fjerde og siste trinnet i syklusen, eksostakten, åpner en ventil seg når stempelet beveger seg nedover (4). Dette lar forbrenningsgassene slippe ut av sylindern.

Fordelen med firetaktsmotoren er at den er mer drivstoffeffektiv, gir mindre utslipp av klimagasser, og genererer mindre støy [115]. Dette gjør motoren mer robust og anvendbar sammenlignet med totaktsmotoren. Utfordringer med firetaktsmotoren er et mer kompleks design og mindre momentan kraftproduksjon sammenlignet med en totaktsmotor [115]. Det mer komplekse designet fører også til at motorene er større og tyngre sammenlignet med en totaktsmotor.

### 3.15.3 SFOC - Specific fuel oil consumption

For å optimalisere motorene til et skip, er *specific fuel oil consumption (SFOC)* et signifikant parameter [116]. SFOC er volumet av drivstoffet en motor forbrenner per kilowatt time (kWh) og er gitt som g/kWh. Dette parameteret er ikke fast for alle motorer, ettersom det avhenger av

motortype og hvilken last motorene påkjennes. De fleste motorer er konstruert til å være mest effektive på en belastning rundt 80 %. Figur 3.18 er et eksempel på hvordan SFOC blir påvirket av belastningen på motor.

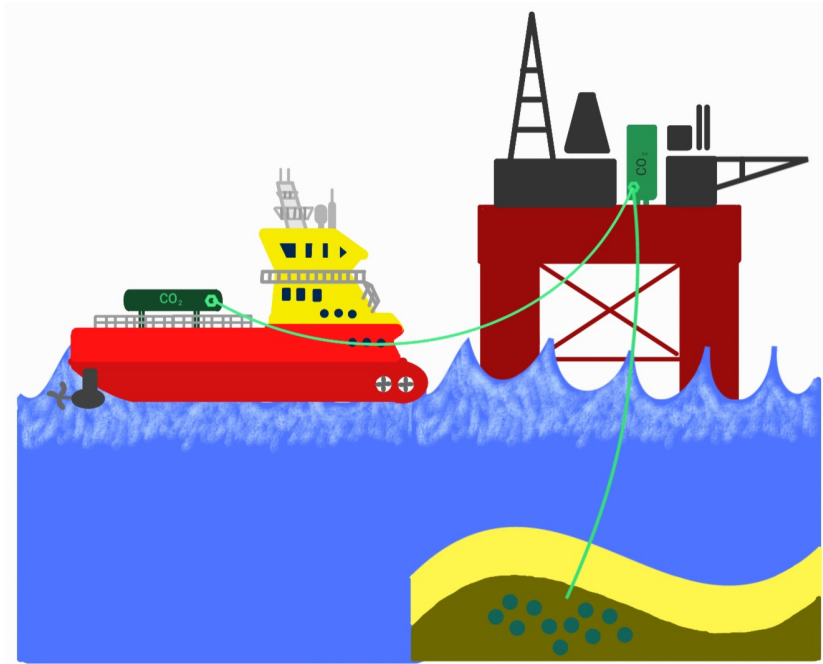


*Figur 3.18: Kurve som illustrerer hvordan SFOC blir påvirket av belastning på motor*

### 3.16 Karbonfangst

CCS står for *Carbon Capture and Storage* og refererer til teknologi som brukes for å fange og lagre klimagasser. Målet med teknologien er å fange karbonet før det slipper ut i atmosfæren [117]. Etter karbonet er fanget kan det lagres under jorden i tomme oljebrønner eller saline akvifer [118]. En salin akvifer er en underjordisk formasjon som inneholder saltvann. Ofte er det et lag av porøse og permeable bergarter som tillater lagring.

CCUS står for *Carbon Capture, Utilization and Storage* og er en annen form for karbonfangsteknologi [119]. Forskjellen mellom CCS og CCUS ligger i at CCUS ikke bare ser på lagring av karbon, men også utnyttelse av den fangede karbonen. Dette kan inkludere omforming av CO<sub>2</sub> til kjemikalier andre materialer. [120].



*Figur 3.19: Illustrasjon av et skipsbasert karbonfangst- og lagringssystem (CCS/CCUS), som viser lagring av CO<sub>2</sub> i en geologisk struktur under havbunnen*

Figur 3.19 illustrerer en prinsippskisse hvordan et skip utstyrt med CCS-teknologi kan deponere CO<sub>2</sub> til maritime innretninger som er i stand til å overføre det til permanente lagringssteder under jorden. CCS på skip fungerer på samme måte som landbasert CCS. Målet er å fange CO<sub>2</sub>-utslipp direkte fra skipet for å redusere klimagassutslippet i maritim sektor. Foreløpig er CCS ombord på skip begrenset, men teknologien anses å være en aktuell løsning innen reduksjon av klimagassutslipp [121].

### 3.17 Varmegjenvinning

Varmegjenvinning vil si at termisk energi fra en prosess blir utnyttet i en annen prosess [122]. For skip kan dette være anvendelse av den termiske energien fra eksos til varme, strøm og kulde. Varmegjenvinning er en måte å effektivisere energiforbruket til et systemet, og kan bidra til besparelse av drivstoff .

For brenselceller er det ofte moderat til høy temperatur på brenselet som skal tilføres cellen [103]. Varmen som avgis kan dermed resirkuleres og benyttes i andre prosesser på skipet. Dette inkluderer oppvarming av ferskvann, lugarer, og andre formål der det er behov for termisk energi. Varme generert mellom de ulike stegene i brenselcellen kan gjenvinnes og utnyttes til å varme opp brenselet i startfasen. Samme prinsipp gjelder for forbrenningsmotorer. Her kan i tillegg eksosen og kjølevannet, fra forbrenningen, utnyttes til varmegjenvinning [122].

### 3.17.1 Varveksler

En av primærkildene til varmegjenvinning er eksosgasser som produseres av forbrennings-motorer [123]. En varmeveksler kan anvendes for å utnytte disse varme gassene og produsere damp eller varmt vann. Den overfører termisk energi mellom to medier med ulik temperatur, for å transportere varme fra en plass til en annen [124]. På skip er det mest aktuelt å benytte platevarmeveksler da de har høy effekt i forhold til størrelsen [125].

I det maritime miljøet er platevarmevekslernes evne til å enkelt rengjøres og vedlikeholdes en avgjørende faktor [126]. Vedlikeholdsfrihet er viktig for å kunne sikre en kontinuerlig drift, samt redusere eventuell nedetid. En annen type varmeveksler som ofte brukes på skip er rør-i-rør varmevekslere [127]. Disse er ideelle for oppgaver som krever mer aggressive medier da de håndterer høyere trykk og temperaturer på en effektiv måte. Skall-og-rør varmevekslere er ofte foretrukket for større systemer for kjøling av hovedmotorer [128]. Disse varmevekslerne er et godt alternativ for mer krevende applikasjoner om bord grunnet deres robusthet og evne til å håndtere store varmeoverføringsmengder.

### 3.17.2 Termisk energigjenvinning

Termisk energigjenvinning er prosessen hvor det samles opp og gjenbrukes varme som normalt ville blitt ansett som tapt [129]. Denne prosessen kan redusere både energibruken og utslippene samtidig som den forbedrer energieffektiviteten. Forskjellige teknologiske løsninger innenfor dette området er *Organic Rankine Cycle* (ORC) og *Steam Rankine Cycle* (SRC), disse har begge som mål å omdanne termisk energi til elektrisitet.

Ved å benytte organiske væsker med lavt kokepunkt, konverterer ORC kretsen termisk energi til elektrisk energi [130]. I denne prosessen varmes den organiske væsken opp til det omdannes til damp. Prosessen i en SRC er veldig lik ut, men i denne kretsen konverteres varme til elektrisk energi ved å varme vann til det blir damp [131]. I begge syklusene brukes dampen til å drive en turbin som er tilkoblet en generator for å generere strøm. Etter at turbinen i en SRC har fullført sitt arbeid, kondenseres dampen tilbake til vann igjen, slik at syklusen kan begynne på nytt.

Begge teknologiene kan forbedre systemenes generelle effektivitet ved å utnytte varme som normalt ville gått tapt fra forbrenningsprosessen [132]. Dette kan redusere både miljøutslipp og energibruk, samt generere mer elektrisk kraft.

### 3.18 NO<sub>x</sub>-utslipp

NO<sub>x</sub> er en samlebetegnelse for forbindelser av nitrogenoksider [133]. Disse forbindelsene oppstår som et resultat av forbrenningsprosesser av nitrogenholdige og fossile brensler. De viktigste komponentene i NO<sub>x</sub> er nitrogenmonoksid (NO) og nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>). Nitrogendioksid dannes når nitrogenmonoksid reagerer med oksygen i luften. NO<sub>x</sub> produseres ved temperaturer mellom 1500-1800K (1200-1500°C) da nitrogenet binder seg til oksygen [58]. Den er synlig som en brun gass, som ofte kan ses på trafikkerte veier og områder. NO<sub>2</sub> er en stor bidragsyter ved luftforurensning og er skadelig for mennesker da det kan forårsake irritasjon i luftveiene og medføre helseproblemer. NO derimot er en fargeløs gass og er en av komponentene som er med på å danne smog og ozon på bakkenivå [133].

Som et resultat av dette er NO<sub>x</sub>-utslipp en stor miljøutfordringer spesielt i den maritime industrien. Sett i et hunderårsperspektiv er utslipp av NO<sub>x</sub> ansett å være 300 ganger verre enn CO<sub>2</sub> [134]. Det er dermed avgjørende å implementere effektive tiltak for å redusere NO<sub>x</sub>-utslipp for å minimere de negative helseeffektene og forbedre luftkvaliteten samt skape et renere miljø.

### 3.19 SO<sub>x</sub>-utslipp

SO<sub>x</sub> er en samlebetegnelse på svoveloksidene svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) og svoveltrioksid (SO<sub>3</sub>) [135]. SO<sub>x</sub>-utslipp forekommer som en fargeløs og giftig gass med en markant lukt. Disse gassene dannes som et resultat av forbrenning av svovelholdig brensel, som for eksempel MGO, råolje og kull.

SO<sub>x</sub>-utslipp har betydelig negativ miljøpåvirkning [135]. Når SO<sub>2</sub> og SO<sub>3</sub> slippes ut i atmosfæren, kan de reagere med vann og oksygen for å danne svovelsyre (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), som bidrar til sur nedbør [136]. Sur nedbør oppstår når både SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> reagerer med vann og oksygen i atmosfæren [137]. Denne nedbøren legger seg på jorden gjennom gass, regn, snø og tåke, og bidrar til forsurening i naturen. Sur nedbør kan skade vegetasjon, forsure jord og vannkilder, og forårsake korrosjon av bygninger. En høy konsentrasjon av SO<sub>2</sub> i luften er også skadelig for menneskers helse [137]. Det kan irritere luftveiene og skade lungevevet. Slike konsentrasjoner oppstår som oftest i urbane områder der det er flere utslippsbidrag på et mer begrenset område.

Utslipp av SO<sub>x</sub> fra skipsfart er regulert gjennom MARPOL-Annex VI, som setter grenser for utslipp av SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> [137]. Denne konvensjonen er administrert av Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO), og ble introdusert i 2005. Konvensjonen forbyr også utslipp av stoffer som virker ozonnedbrytende som nitrogenmonoksid (NO).

EU-direktiv 2005/33/EC utvider MARPOLs krav med svovelgrenser for marint drivstoff [137]. Dette inkluderer en 0,1% svovelgrense for drivstoff brukt av skip ved kai i EU/EØS-havner, og en 1,5% svovelgrense for passasjerskip i faste ruter mellom EU/EØS-havner. Dette direktivet gjelder



også i Norge gjennom EØS-avtalen. Den setter også en begrensning på salg av svovelinnholdig drivstoff i EU tilsvarende de tillatte svovelgrensene.

Gøteborgprotokollen fra 1999, revidert i 2012, ser på forurensning som fører til forsuring og ozondannelse [137]. Protokollen setter en begrensning for årlige utslipp av svovel, NO<sub>x</sub> og andre forurensende stoffer. Norge har forpliktet seg til å redusere svovelutslippene med 10% innen 2020 i forhold til 2005-nivåene. Det maksimale tillate utslippet per år er på 22 000 tonn, men utslippene har holdt seg under denne mengden siden 2006 [137].

### 3.20 Klimagassavgifter på skip

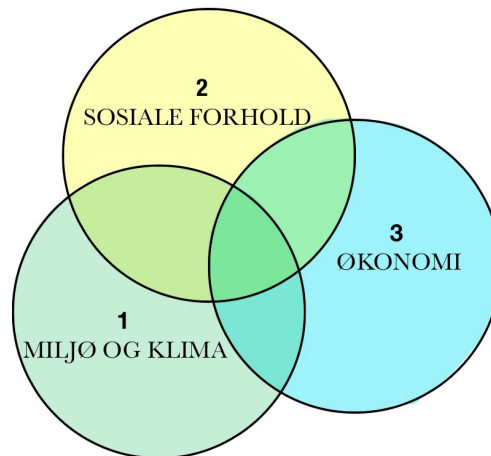
CO<sub>2</sub>-avgiften kom først til Norge i 1991 og er ulik etter hvilken type brensel som anvendes [138]. Formålet med avgiften er å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp ved forbrenning av fossile energibærere som gass, olje og diesel. I 2007 innførte regjeringen en avgift på NO<sub>x</sub>-utslipp, som omhandler alle skip med en samlet installert effekt på mer enn 750 kW [3]. Målet med loven er å minke NO<sub>x</sub>-utslippet fra maritim sektor. Tiltak som økt elektrifisering, og anvendelse av alternative drivstoff innenfor maritim sektor, har foreløpig bidratt med å redusere det totale NO<sub>x</sub>-utslippet med ca. 60% [3].

Innenfor maritim sektor er det ulike satser avhengig av skipstype og hvilken type brensel som blir benyttet [139]. MGO har for eksempel en høyere sats enn LNG [140]. Samtidig er det unntak for fartøy som skip i utenriksfart, fiske og fangst i fjerne farvann. Skip innenfor disse kategoriene skal ikke betale CO<sub>2</sub>-avgift eller SO<sub>x</sub>-avgift [139]. Det ble i 2022 sendt inn et forslag om at alle mineralske produkter, der det anvendes en form for karbonfangst, skal fritas fra CO<sub>2</sub>-avgiften [141]. Foreløpig er det ingen endring knyttet til forslaget.

### 3.21 Bærekraftig utvikling

Bærekraftig utvikling handler om å finne måter å ta vare på både menneskene som bor på planeten men også planeten i seg selv [142]. Det omhandler å oppfylle dagens krav uten å ødelegge mulighetene for kommende generasjoner. Det legges særlig vekt på hvor viktig det er at de fattige skal få oppfylt deres grunnleggende rettigheter samt få muligheten til å leve et bedre liv. Det erkjennes imidlertid også at dagens nåværende utnyttelse av naturressurser ikke kan overstige det den kan tilby i fremtiden. I 1987 ble det introdusert begrepet bærekraftig utvikling i en rapport kalt Brundtland-rapporten som var en del av verdenskommisjonen for miljø og utvikling sin rapport kalt *Vår felles fremtid*. Denne ble brukt som utgangspunkt for hvordan FNs medlemsland i dag jobber med miljø- og utviklingsspørsmål. Og er en viktig del for å oppnå målene i Parisavtalen.

Det er tre områder som verden må jobbe med for å oppnå bærekraftig utvikling, disse er presentert i figur 3.20:



*Figur 3.20: De tre hovedområdene av bærekraftig utvikling basert på [142]*

- Miljø og klima:** Klimagassutslipp fra kull, olje og gass har medført ekstremvær og global oppvarming [142]. Dette medfører et sårbart samfunn som står i fare for naturkatastrofer og sult. Det er dermed nødvendig med omfattende tiltak som et svar på klimakrisen som er et globalt problem. FNs naturpanel har rapportert at menneskelig aktivitet som fiske, skogbruk og landbruk setter verdens naturmangfold i fare.
- Sosiale forhold:** Det sosiale aspektet av bærekraftig utvikling omhandler sikring av et rettferdig og godt grunnlag til et rettferdig liv [142]. Dette inkluderer utdanning, likestilling, anstendig arbeid, et kulturelt mangfold og tilgang på et godt helsevesen. For å kunne bekjempe fattigdom og redusere befolkningsveksten er en viktig faktor utdanning, spesielt for kvinner. Ved å øke veksten av kvinner med utdanning og egen inntekt, vil dette medføre en reduksjon av fattigdom samt bremse befolkningsveksten. Dette er avgjørende for å løse utfordringene sosialt og samtidig ha positive økonomiske effekter ved å få flere kvinner i arbeidslivet.
- Økonomi:** Den økonomiske tryggheten for både samfunnet og enkeltpersoner er en stor del av den bærekraftige utviklingen [142]. Fattigdom og økonomisk ulikhet truer den bærekraftige utviklingen ved å forårsake sosial uro samt konflikter. For å kunne oppå en mer bærekraftig økonomi må ressursbruken og ressursfordelingen endres og gjøres mer rettferdig. Den økonomiske veksten er avgjørende for fremskritt, spesielt i land preget av stor fattigdom, da det kan skape flere arbeidsplasser og inntekter for velferdstjenester. Å kunne sikre at den økonomiske veksten blir bærekraftig er med på å tilfredstille de menneskelige behovene. Det er mange diskusjoner i henhold til om økonomisk vekst er gunstig eller ikke for en bærekraftig utvikling, noen hevder at en grønn vekst i seg selv er skadelig for miljøet. Det er dog en enighet om at produksjon og forbruk må bli mer miljøvennlig, spesielt i de rikeste nasjonene. Det er i tillegg en økende bevissthet om naturens verdi og betydningen av å bevare økosystemer samt ville dyr som en del av den bærekraftige utviklingen.

FNs bærekraftsmål ble vedtatt i 2015 og har ført til en ny forståelse av hvordan ulikhet, miljø og økonomi påvirker hverandre [142]. Bærekraftsmålene består av 169 delmål og 17 hovedmål [143]. Disse skal fungere som felles retningslinjer globalt både for nasjoner, bedrifter og sivilsamfunn. Målene er presentert i Figur 3.21.



**Figur 3.21:** FNs 17 bærekraftsmål

bilde hentet fra [143]

## 4 Metode

Oppgaven er hovedsaklig delt opp i to deler, systemsammenligning og bærekraftsvurdering. Programmet som ble benyttet til tekniske tegninger er Autocad og utregninger av systemvirkningsgrad, energitetthet, total energibehov, samt utslipp av klimagassutslipp ble beregnet ved hjelp av programmene Python og Excel. Alle beregninger og antagelser i systemsammenligningen baserer seg på data fra aktuell faglitteratur. Bærekraftsvurderingen består av innsamlet litteratur fra relevante kilder. Hensikten var å skape et grunnlag for en helhetlig vurdering av anvendelse av ammoniakk som et alternativt drivstoff. På bakgrunn av dette ble det utviklet en hypotese som videre testes gjennom kvalitative og kvantitative metoder.

### 4.1 Målet med oppgaven

Det er hovedsakelig to teknologier som gjør det mulig å bruke ammoniakk som et maritimt drivstoff [144]. Den ene er å benytte kjemikalet som brensel i en forbrenningsmotor, og den andre går ut på å gjøre brenselet om til elektrisitet gjennom en brenselcelle.

I oppgaven har to system blitt sammenlignet til å drifte en tråler. Her ble både systemvirkningsgrad, energibehov, lagringskapasitet og utslipp vurdert for å avgjøre hvilket system som potensielt ga minst negativt miljøavtrykk. Systemene som ble sammenlignet var et system bestående av forbrenningsmotorer og et som benytter brenselceller, begge med ammoniakk som brensel.

For å oppnå forståelse i systemets miljømessige og økonomiske påvirkning, ble det gjennomført en bærekraftsvurdering. Formålet med vurderingen var å danne et helhetlig bilde av faktorerene som påvirker bærekraften. Deretter identifisere fordeler og ulemper med systemene. Målet med oppgaven var å undersøke følgende påstand:

**Ammoniakk er et mer egnet drivstoff for brenselceller og vil gi et redusert utslipp av klimagasser sammenlignet med forbrenningsmotorer**

### 4.2 Datainnsamling og vurdering

Litteraturen som ble brukt til å innhente data for å sammenlikne effektiviteten og miljøeffekten av forbrenningsmotorer ble først gjennomgått. Deretter ble litteraturen om brenselceller som bruker ammoniakk som drivstoff vurdert. Målet for litteraturgjennomgangen var å finne eksisterende informasjon og tidligere teorier, forskning og funn tilknyttet bruken av ammoniakk i maritime systemer.

Etter gjennomgang av relevant litteratur ble det utført en sammenlikningsvurdering med hensyn på systemeffektivitet, økonomisk levedyktighet og utslippsnivåer. Virkningsgrader, effekt, energitetthet, og systemeffektivitet ble inkludert i den kvalitative dataen, samt vurdering av systemenes pålitelighet og levetid. Ved å bruke denne metodiske tilnærmingen for vurdering ble det mulig å finne likhetstrekk, og gjennomsnittlige verdier, som kunne bidra til et mer reflektert resultat. På denne måten reduseres feilmarginen til beregningene.

### 4.3 Metodikk

Metodikken for bærekraftsvurdering ble utviklet i dette prosjektet for å undersøke de økonomiske og miljømessige aspektene ved å anvende ammoniakk som maritimt drivstoff. Denne metoden ble valgt for å få en dyptgående forståelse av muligheten for bærekraftige fordeler og ulemper ved bruk av ammoniakksystemer. Beregningene ble gjennomført ved hjelp av verktøy som Python og Excel. Data som ble brukt i beregningene ble innhentet fra relevant litteratur og har lagt til rette for sammenligning og vurdering av de ulike systemene.

Ved å kombinere kvantitative data og kvalitative betraktninger, sikrer metoden en grundig og balansert bærekraftsvurdering. Dette omfatter evalueringer av økonomisk levedyktighet og effektivitet. Som et resultat av dette bidro metodikken til å forme anbefalinger for den mest bærekraftige praksisen i den maritime sektoren.

### 4.4 Systembeskrivelse og driftsprofil

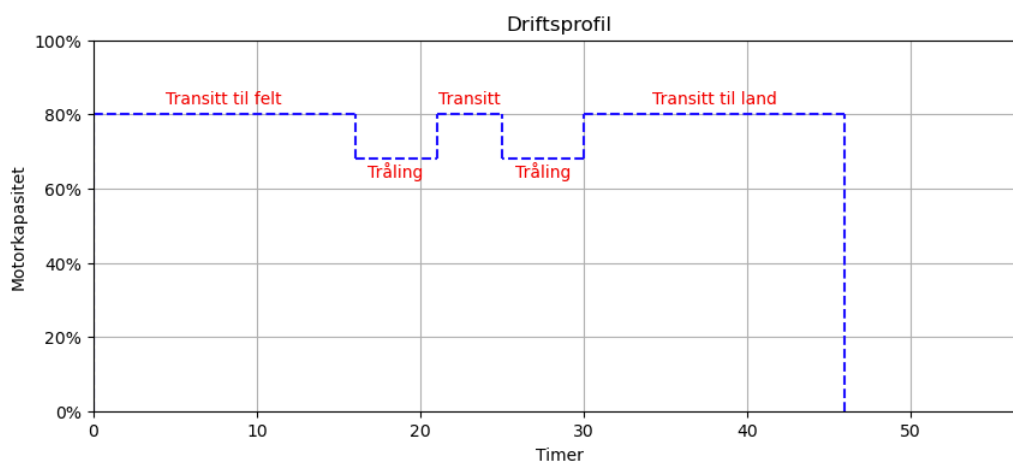
Systemene skulle drifte en tråler i en bestemt syklus. Tråleren det ses på i denne rapporten ble inspirert av tråleren *MS Kongsfjord*, illustrert i Figur 4.1. Fartøyet er 80 meter langt og 16 meter bredt, med en tonnasje på 4171 tonn. Skipet er i dag utstyrt med tre hovedmotorer, en hjelpemotor og en havnegenerator med en total effekt på omtrent 4780kW.

Valget av MS Kongsgjord som referansefartøy ble gjort grunnet tilgjengelig informasjon fra [145]. Informasjon om skipets energifordeling ved fiskeri og transitt gjorde det mulig å utarbeide en driftsprofil, som ble utgangspunkt for beregningene. En annen faktor som påvirket valget av fartøystype er mangelen på alternative drivstoff innenfor fiskerinæringen [146]. Utfordringen er at næringen ikke finner noen gode alternativ til diesel.



*Figur 4.1: Tråleren MS Kongsfjord  
hentet fra [147]*

Figur 4.2 illustrerer syklusen som ble brukt for systemsammenlikningen. Normalt varer syklusen for en tråler på rundt fire til fem uker; i dette eksempelet ble det gjort en forenkling av arbeidssyklusen for å prøve å minimere mulige feilkilder.



*Figur 4.2: Driftsprofilen til tråleren som viser motorbruken under transitt og tråling, over en 46-timers periode*

Tabell 4.1 presenterer motorkapasitet som ble brukt i de ulike operasjonene. Dette er noe som vil variere etter operatør, værforhold osv. Noen av antagelsene ble basert på informasjon fra [148], en erfaren fisker som har inngående kjennskap til trålingsoperasjoner. Den gjenværende delen av antagelsene stammer fra informasjonen gitt i [78]. Dette dannet grunnlaget for å utføre beregninger relatert til drivstofforbruk, effektivitet og utslipp.

**Tabell 4.1:** Oversikt over trålerens driftsoperasjoner, inkludert detaljer om motorutnyttelse og varighet for hver operasjon, målt i prosentandel og timer

Operasjon	Motorkapasitet [%]	Antall timer [h]
Transitt til felt	80	16
Tråling	68	5
Transitt	80	4
Tråling	68	5
Transitt til Land	80	16

Rapporten evaluerte to ulike systemer som benytter  $NH_3$  som drivstoff: ett basert på forbrenningsmotorer (FM) og ett basert på brenselceller (BC). Systemene som ble sammenlignet benytter et AC-nettverk, ettersom dette er et fartøy med variabelt kraftbehov. Alle komponenter utenom forbrenningsmotor og brenselcelle ble antatt å være de samme, og har derfor samme virkningsgrad. Dette bidro til å forenkle sammenlikningen og unngå unødige feilkilder.

For å evaluere systemene ble det også utført beregninger for normaldrift på MGO. Bakgrunnen for denne beregningen baserte seg på fartøyets opprinnelige driftssystem. Dette bidro til å gi FM-systemet, og BC-systemet et realistisk sammenligningsgrunnlag som resulterte i bedre oversikt. Tabell 4.2 presenterer antatte virkningsgrader for komponentene i systemene.

**Tabell 4.2:** Antatte virkningsgrader til de elementære komponentene i begge systemene

Komponent	Virkningsgrad [%]	Kilde
Brenselcelle	60	[149]
Forbrenningsmotor	35	[150–153]
Generator	95	[154–156]
Frekvensomformer	99	[156]
Tavle	99	[155,156]
Elektrisk motor	95	[155]
Gir	97	[155,157]
Aksling	99	[158]

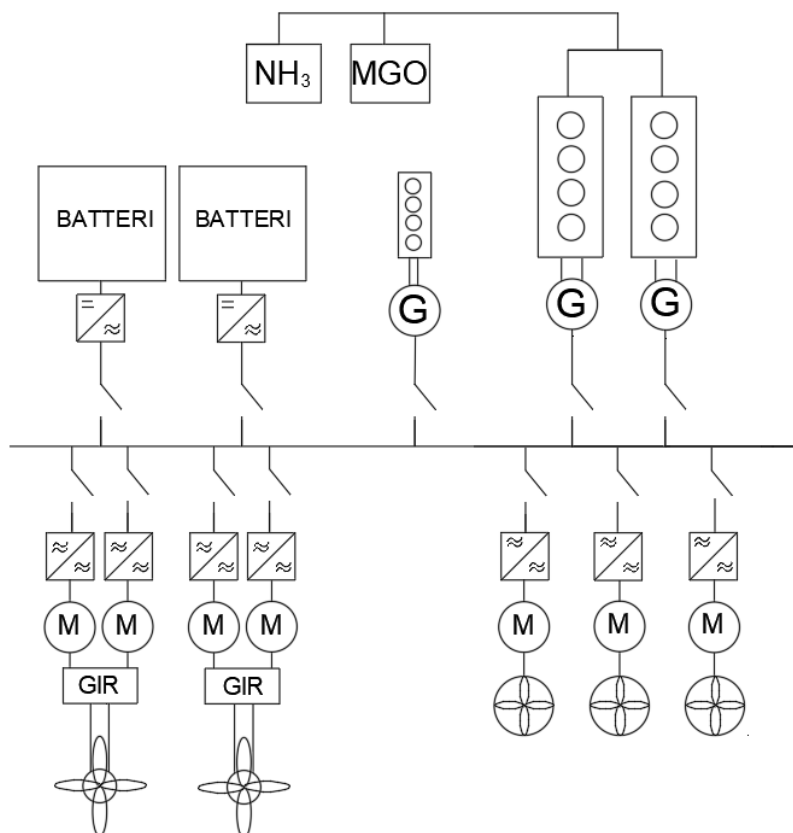
Tabell 4.3 presenterer dimensjonerende parametere for energifordeling til tråleren. Data-grunnlaget for dette kommer fra rapporten [145]. Det ble antatt at ved tråling ville skipet ha et effektbehov på 3,25 MW, og 4 MW ved transitt. Effektbehovet vil i realiteten variere etter værforhold, men for dette eksempelet ble det gjort en forenkling.

**Tabell 4.3:** Energifordelinger for fiske med dobbeltrål og transitt fordelt på de forskjellige operasjonelle komponentene til tråleren, gitt i prosent

Energifordeling	Fiske med dobbeltrål [%]	Transitt [%]
Fremdrift	68	80
Kulde	10	6
Hydraulikk	9	4
Varme	2	2
Lys	1	0,6
Pumper	4	4,4
Annet	4,2	0
Tap	1,8	3
Sum	100	100

### 4.4.1 Forbrenningsmotorsystem

Systemet som benytter forbrenningsmotor er et hybridsystem som anvender en energiblanding bestående av NH<sub>3</sub> og MGO, der MGO fungerer som et pilotdrivstoff. Blandingsforholdet baserer seg på en blanding der energimengden ut består av 40% MGO og 60% NH<sub>3</sub>.



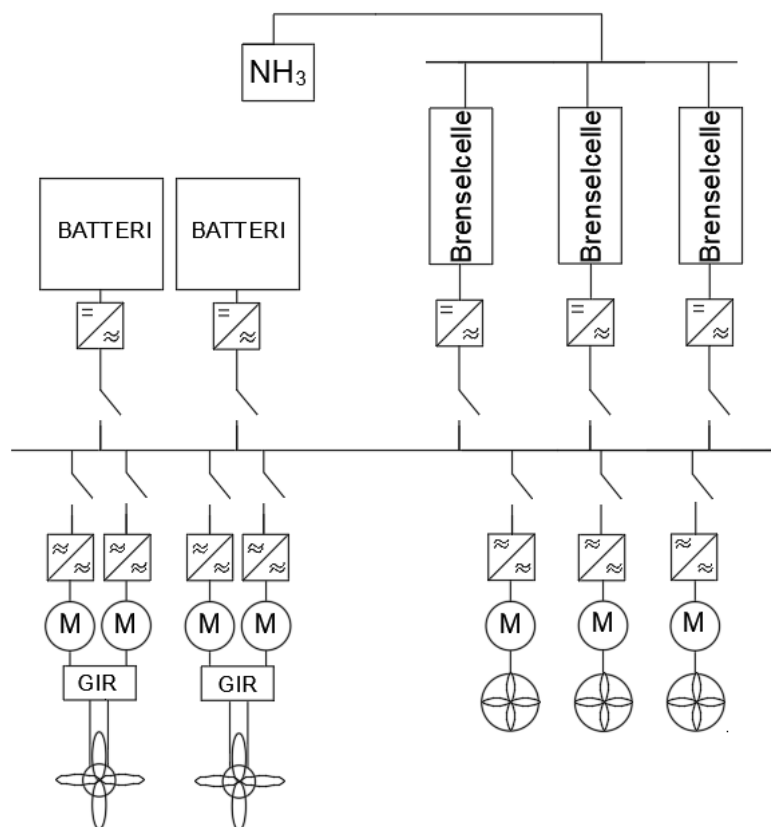
**Figur 4.3:** Forbrenningsmotorsystem med NH<sub>3</sub> supplementert med MGO som pilotdrivstoff



Figur 4.3 illustrerer enlinjediagrammet for FM-systemet. Systemets oppbygging består av to hovedmotorer på 2,5 MW og en havnegenerator på 500 kW, dette gir en samlet motoreffekt på 5,5 MW. Motorene driver hver sin generator som genererer energi til skipet. Tavelen fordeler energi til hoved propulsjonsystemet, bestående av elmotorer koblet til et gir som drifter to propellakslinger. For manøvrering til kai har skipet tre thrustere. Batteriene som er med i systemene ble ikke tatt med i beregningene. Grunnen til dette kommer av at de ikke var relevante for dette spesifikke scenariet.

#### 4.4.2 Brenselcellesystem

Enlinjediagrammet presentert i Figur 4.4, illustrerer BC-systemet. I kjernen av systemet er tre brenselceller på 2 MW av typen SOFC som er basert på [159]. Dette gir en samlet effekt på 6 MW sammen med to batteri. Energien til batteriene kan videre brukes i tilfeller der rask respons er nødvendig eller når brenselcellenes energiproduksjon ikke er tilstrekkelig. Samspillet mellom brenselcellene og batteriene sikrer at fartøyets fremdriftssystemer får tilført nok energi. Brenselcellen produserer DC strøm som krever en frekvensomformer for å konverteres til AC.



*Figur 4.4: Brenselcellesystem som benytter NH<sub>3</sub>*

## 4.5 Systemsammenlikning

Systemets totale virkningsgrad indikerer hvor mye energi som ble bevart fra innførsel til utførsel. Ved å utarbeide totalvirkningsgraden til de to systemene, ble det mulig å vurdere hvilket av systemene som var mest energieffektivt. For å finne den totale virkningsgraden til FM- og BC-systemet ble data, presentert i Tabell 4.2, benyttet.

### 4.5.1 Termisk

Tapene i de ulike systemene ble antatt å primært være i form av termisk energi. Selv om det også kan være potensielle mekaniske tap i systemene, ble disse betraktet som ubetydelige sammenlignet med de termiske energitapene. Termisk energi genereres som et biprodukt fra forbrenningsprosessen i systemet som benytter forbrenningsmotor. BC-systemet benytter høye operasjonstemperaturer som fører til termiske tap senere i systemet. Denne energien betraktes som tapt hvis den ikke benyttes videre i andre prosesser som for eksempel til oppvarming eller andre formål.

### 4.5.2 Energitetthet

Systemene som ble sammenlignet benyttet  $\text{NH}_3$  på to ulike måter. Systemet med forbrenningsmotorer benyttet  $\text{NH}_3$  sammen med et pilotdrivstoff bestående av MGO, og BC-systemet benyttet  $\text{NH}_3$  direkte i en brenselcelle.

Energitettheten til  $\text{NH}_3$  ble vurdert ved å se på kWh per kg brensel. Resultatene for energitettheten ble så brukt til å finne den nødvendige brenselmengden for en full driftssyklus. Ved å benytte spesifikk energi fra Tabell 3.3 kan energien et system produserer med en kilo brensel finnes.

## 4.6 Totalt energibehov

For å utarbeide det totale energibehovet for en syklus ble verdier fra Tabell 4.1 og 4.4 benyttet.

**Tabell 4.4:** Presenterer det totale effektbehovet ved operasjonene transitt og tråling

Operasjon	Effektbehov [kW]
Transitt	4 000
Tråling	3 250

Energibehovet for en driftsyklus ble benyttet til å bestemme hva som var tilstrekkelig drivstoffkapasitet. For å finne denne kapasiteten ble det gjennomført beregninger av drivstoffmengden i kg, og  $\text{m}^3$  for å bestemme tankkapasitet.

Først ble den totale mengden drivstoff som kreves i kg beregnet. Dette ble gjort ved å bruke totalt energibehov for en driftsyklus og spesifikk energi til gitt drivstoff fra Tabell 3.3

Ved beregning av nødvendig drivstoffmengde ble det mulig å finne volumet tankene måtte være for en driftsyklus. Med volumet til tankene ble det mulig å sammenligne hvilket av systemene som er mest arealeffektiv. For å beregne volumet til tankene ble data fra Tabell 3.3 benyttet.

## 4.7 Klimagassutslipp

Utslippsdelen av oppgaven så kun på utslipp knyttet til forbrenning og anvendelse av drivstoff. Ved å benytte total energibehov, beregnet drivstoffbehov for en syklus, og data fra Tabell 4.5, kunne utslippet av klimagasser beregnes.

*Tabell 4.5: Oversikt over klimagassutslipp etter forbrenning av NH<sub>3</sub> og MGO*

Klimagass	NH <sub>3</sub>	MGO	Enhet	Kilde
CO <sub>2</sub>	0	2 600	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	[14]
NO <sub>x</sub>	13,7	8,4	g NO <sub>x</sub> /kWh	[160,161]
SO <sub>2</sub>	0	1,158	kg SO <sub>2</sub> /tonn MGO	[162]

NO<sub>x</sub>-utslippet for MGO baserte seg på [161] og var et estimat av utslipp i en firetaktsmotor med belastning på 57%. For NH<sub>3</sub> var det gjort en omregning fra et lavutslippsscenario med et NO<sub>x</sub>-utslipp på 400 ppm. For å finne mengden g/kWh for NH<sub>3</sub> var det to beregninger som måtte gjennomføres. Først ble mengden NO<sub>x</sub> per kg med NH<sub>3</sub> beregnet. Deretter ble informasjon fra Tabell 3.3 benyttet for å finne mengden kWh/kg med NH<sub>3</sub>. Til slutt ble mengden NO<sub>x</sub> per kg med NH<sub>3</sub> delt på mengden kWh/kg med NH<sub>3</sub>. Dette ga resultatet presentert i Tabell 4.5.

## 4.8 Vurdering av bærekraft

For å gjennomføre en bærekraftvurdering av NH<sub>3</sub> som et maritimt alternativt drivstoff, ble det gjennomført en evaluering av flere ulike aspekter. En del av vurderingene baserer seg på miljøpåvirkningen knyttet til produksjon av NH<sub>3</sub>. Dette ble gjennomført ved å benytte relevante livsløpsanalyser og studier. Denne vurderingen inkluderer også de politiske insentivene, den teknologiske modenheten av brenselceller og forbrenningsmotorer som er i stand til å bruke NH<sub>3</sub> som et maritimt drivstoff. Samt utvikling av distribusjonssystemer og lagringstanker. Det inkluderer også en vurdering av fremtidige teknologiske forbedringene som innovasjoner innen produksjonsteknologier.

## 4.9 Datainnsamling og vurdering

Metoden for datainnsamling og vurdering i denne studien ble basert på en litteraturstudie. Formålet var å samle inn relevant informasjon og data knyttet til tematikken fra ulike kilder

med hovedvekt på rapporter og vitenskapelige artikler. Data som ble samlet inn, inkluderte tall og statistikk knyttet til variabler som virkningsgrad, operasjonstemperatur og andre relevante parametere for de ulike systemene. Disse dataene ble gjennomgått og vurdert for å sikre deres relevans og pålitelighet.

En del av datainnsamlingen var å identifisere likheter og sammenfall mellom tall og resultater fra ulike rapporter og kilder. Dette innebar en sammenligning av data fra flere kilder for å vurdere påliteligheten av tallene som presenteres. En vurdering av kildenes opprinnelse og kontekst ble også gjennomført. Dette involverte å vurdere hvilken type institusjon eller organisasjon som sto bak publikasjonen av rapportene og artiklene som ble gjennomgått. Det ble også diskutert hvor energikrevende det er å produsere  $\text{NH}_3$ , hvilke klimagassutslipp som var knyttet til produksjon og kjøp av  $\text{NH}_3$ .

#### 4.9.1 Brenselkostnader og avgifter

En sentral del av den økonomiske vurderingen baserte seg på dagens markedspriser for MGO og  $\text{NH}_3$ . En beregning ble gjennomført for å bestemme mengden drivstoff som var nødvendig for å gjennomføre en standard driftssyklus, samt den resulterende kostnaden dette medførte. I tillegg til drivstoffkostnader, skulle kostnader relatert til utslipp av  $\text{CO}_2$  og  $\text{NO}_x$  tas med i vurderingen, da disse utslippene pålegges en avgift. Disse avgiftene utgjorde en økonomisk faktor som måtte vurderes for å få en helhetlig forståelse av kostnadene.

Klimagassutslipp av  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_x$  ville ha påfølgende avgifter: Tabell 4.7 presenterer avgiftssatser for  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  og  $\text{SO}_x$  [140,163]. Drivstoffprisene var hentet fra [164,165] og er gitt i Tabell 4.6. Drivstoffpriser og avgifter vil kontinuerlig variere etter marked, kontrakt og årstid, men i denne vurderingen ble de satt som konstant. Data i Tabell 4.6 og 4.7 ble brukt i beregningene av drivstoffkostnader.

**Tabell 4.6:** Prisoversikt for drivstofftype per tonn

Drivstoff	Pris [kr/tonn]	Kilde
MGO	10 148	[164]
Grå $\text{NH}_3$	12 128	[165]
Grønn $\text{NH}_3$ lav	10 364	[165]
Grønn $\text{NH}_3$ høy	19 294	[165]

I Tabell 4.6 ble prisen for MGO omgjort fra kr/liter til kr/tonn. Dette var for å simplifisere sammenlikningen mellom de ulike brenseltypene. Prisene for grå og grønn  $\text{NH}_3$  var opprinnelig i enheten USD/toe, men ble omgjort ved hjelp av valutakalkulatoren til DNB [166] med kursene til datoen 22.04.2024. Grønn  $\text{NH}_3$  har to ulike priser ut fra lav- og høyprisscenarier.

I Tabell 4.7 er prisene oppgitt i kr/kg. Den opprinnelige enheten for MGO var kg/l, men ble omgjort for å forenkle beregningene. Det endelige resultatet ble oppgitt i kroner. Prisen for utslipp av  $\text{SO}_x$  ble hentet fra [139] og var opprinnelig oppgitt i øre/liter for påbegynt 0,1 prosent andel svovel for en brensel blanding. Ved å benytte egenskapene til MGO fra [167] ble det regnet om til kr/kg MGO.

*Tabell 4.7: Avgiftssats for utslipp av klimagasser*

Klimagass	Pris [kr]	Kilde
$\text{CO}_2$	2,94 kr/kg MGO	[140]
$\text{NO}_x$	25,59 kr/kg $\text{NO}_x$	[163]
$\text{SO}_x$	0,17 kr/kg MGO	[139,167]

#### 4.10 Sammenlikning av økonomisk bærekraft for systemene

Den økonomiske bærekraften til de ulike systemene ble vurdert basert på kostnadene knyttet til både avgifter og innkjøp av drivstoff. Dette valget ble gjort for å isolere systemet fra andre potensielle økonomiske variabler som kunne bidra til økt usikkerhet på sluttresultatet. Det er også andre økonomiske faktorer som vil påvirke totalkostnaden av å implementere og operere et bestemt system. Dette kan inkludere utgifter knyttet til vedlikehold, innkjøp av utstyr, retrofitting og utskifting av komponenter. Slike utgifter var uforutsigbare og ble dermed avgrenset fra oppgaven.

## 5 Resultat og diskusjon

Alle beregninger utført i denne oppgaven presenteres i følgende kapittel. Resultatene for systemsammenligningen og bærekraftsvurderingen blir presentert og diskutert. Dette inkluderer en vurdering av de ulike systemenes effektivitet, drivstofforbruk, og utslipp. Videre blir de driftsøkonomiske kostnadene knyttet til drivstoff og avgifter vurdert for å sammenligne utgiftene i en driftssyklus. Kapitlet tar også for seg de teknologiske utfordringene, og mulighetene knyttet til implementeringen av de ulike drivstoffalternativene i den maritime sektoren.

### 5.1 Effektiviteten til systemene

For å evaluere de forskjellige systemvirkningsgradene og termiske energitapene til FM-systemet og BC-systemet, fokuseres det på den effektive energiutnyttelsen. Tabell 5.1 presenterer systemvirkningsgrad og termisk energitap for FM- og BC-systemene.

**Tabell 5.1:** Systemvirkningsgrad og termisk energitap for FM-system og BC-system

System	FM-system [%]	BC-system [%]
Systemvirkningsgrad	30	53
Termisk energitap	70	47

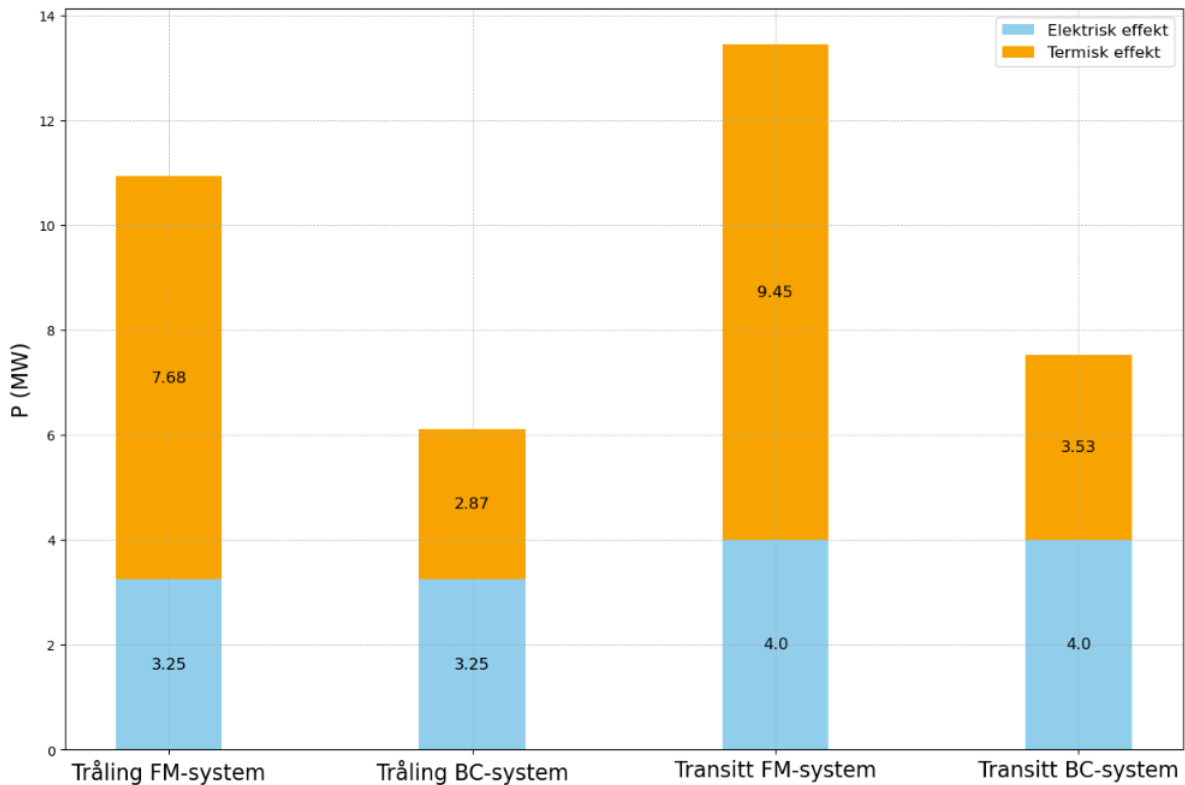
Resultatet viser at BC-systemet har en systemvirkningsgrad på 53% sammenlignet med FM-systemet som har en systemvirkningsgrad på 30%. Dette indikerer at BC-systemet er mer effektivt. Videre viser tabellen at FM-systemet har et høyere termisk energitap på 70%, sammenliknet med BC-systemets tap på 47%.

#### 5.1.1 Systemsammenlikning

Ved å sammenlikne FM- og BC-systemene er det mulig å se at systemvirkningsgraden til BC-systemet er 23% høyere. Dette skyldes hovedsaklig effektiviteten til brenselcellene på 60%, sammenliknet med forbrenningsmotorenes virkningsgrad på 35%. De øvrige komponentene i systemene har samme virkningsgrad uavhengig av systemsammensetning, og utgjør dermed ingen forskjell. Tabell 5.2 presenterer systemsammenlikningsresultatene.

**Tabell 5.2:** Systemvirkningsgrad og termisk energitap for FM-system og BC-system, inkludert differansen gitt i prosent

System	FM-system [%]	BC-system [%]	Differanse [%]
Systemvirkningsgrad	30	53	23
Termisk energitap	70	47	23



*Figur 5.1: Sammenligning av termisk og elektrisk effekt for systemene i de ulike operasjonene*

Figur 5.1 illustrerer hvor mye elektrisk og termisk effekt systemene genererer i de ulike operasjonene. Her kommer det tydelig frem at FM-systemet genererer mer effekt i form av varme, sammenliknet med BC-systemet.

### 5.1.2 Diskusjon av systemvirkningsgrad

Virkningsgradene for systemkomponentene er innhentet fra relevant litteratur. Dette kan påvirke hva den faktiske systemeffektiviteten til et gitt system er. Selv om dette kan påvirke det endelige resultatet, gir beregningene et grunnlag for sammenlikning av systemene.

En av årsakene til at BC-systemet har en høyere virkningsgrad enn FM-systemet er de interne prosessene som foregår i brenselcellen. Som nevnt i Kapittel 3.12.1 vil det i en brenselcelle av typen SOFC frigjøres energi gjennom to reaksjoner. Den første reaksjonen avgir varme, mens den andre har behov for tilført varme. Dette tillater brenselcellene å operere mer effektivt, da de interne prosessene i cellene samhandler.

Ved antenning av brenselet i forbrenningsmotoren oppstår det en ekspansjon. Energien som blir frigjort under denne ekspansjonen fordeler seg i hele sylinderkammeret. Stempelet som driver vevakslingen har det minste arealet i kammeret, som medfører at majoriteten av energien går tapt i denne prosessen. Dette begrenser hvor mye av den kjemiske energien stemplene kan omgjøre til

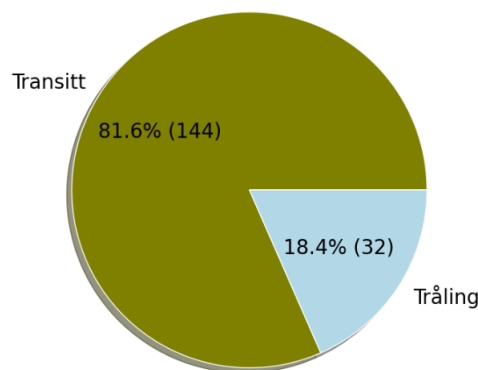
mekanisk energi. Resten av energien ender opp som tapt, i form av varme. Resultatene indikerer at BC-systemet oppnår en høyere systemvirkningsgrad grunnet dens evne til å utnytte den termiske varmen i prosessen, på en mer effektiv måte enn FM-systemet.

## 5.2 Totalt energibehov

Tabell 5.3 og Figur 5.2 presenterer resultatet for energibehovet i de ulike operasjonene for en arbeidssyklus. Resultatene viser at skipets totale energibehov er på 176,5 MWh. I en arbeidssyklus går hovedandelen av energibehovet til transitt.

*Tabell 5.3: Totalt energibehov i MWh for transitt og tråling*

Operasjon	Energibehov [MWh]
Transitt	144
Tråling	32,5
<b>Sum</b>	<b>176,5</b>



*Figur 5.2: Fordeling av energibehov i operasjonene i en arbeidssyklus*

### 5.2.1 Diskusjon av totalt energibehov

Energibehovet ble beregnet med et konstant effektbehov på 3,25 MW for tråling, og 4 MW for transitt ved servicefart. For en faktisk operasjonssyklus vil ikke dette være reelt. Effektbehovet kan variere med 1 MW etter værforhold, operatør, skipsdesign og skipsvekt [145]. Dette er noe beregningene ikke har tatt hensyn til og kan gjøre energibehovet større eller mindre enn en faktisk operasjonssyklus. Transittfasen står for den største andelen av energibruket, dette er av flere grunner. Denne delen innebærer i utgangspunktet transportdelen for fartøyet til og fra fiskefeltene, men krever i tillegg en kontinuerlig fremdrift ved lange avstander. Dette er med på å øke drivstofforbruket, spesielt dersom tråleren opererer i et fjerntliggende eller krevende område.

Arbeidssyklusen energibehovet baseres på er kun satt sammen for å gi et grunnlag til sammenlikning. I realiteten vil en operasjonssyklus strekke seg over 4-5 uker, og det kan være flere



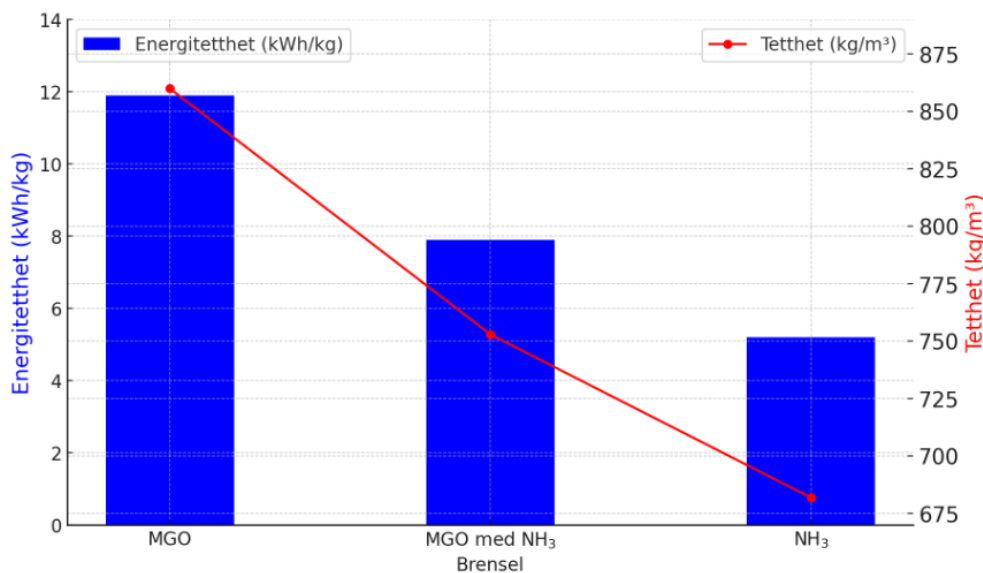
andre aspekter som påvirker det totale effektbehovet [145]. Trålere som fisker med dobbeltrål vil normalt tilbringe 70% av den totale operasjonstiden, av et år, til å trekke trål. I denne operasjonen kan energiforbruket variere fra 70% til 80% av den totale energiomsetningen ombord. Dette gjør at den dimensjonerte arbeidssyklusen for denne sammenligningen er upresis, sammenlignet med en reel arbeidssyklus til en tradisjonell tråler.

### 5.3 Energitetthet og drivstofforbruk for en arbeidssyklus

Tabell 5.4 og Figur 5.3 presenterer energitettheten til de ulike drivstoffønsningene. Tabellen inneholder data for normaldrift med MGO i forbrenningsmotor,  $\text{NH}_3$  supplementert med MGO i forbrenningsmotor, samt drift på  $\text{NH}_3$  i brenselcelle. Energitettheten til  $\text{NH}_3$  og MGO er hentet fra Tabell 3.3, mens energitettheten for de ulike drivstoffene er beregnet. Normaldrift med MGO som brensel er tatt med i resultatet for å gi grunnlag til sammenlikning. Av de systemløsningene som undersøkes i denne rapporten er det  $\text{NH}_3$  supplementert med MGO som har den største energitettheten.

**Tabell 5.4:** Energitettheten til de ulike drivstoffene

Brensel	MGO	$\text{NH}_3$ supplementert MGO	$\text{NH}_3$	Enhet
Energitetthet	11,9	7,9	5,2	kWh/kg
Tetthet	860	753	682	kg/m <sup>3</sup>



**Figur 5.3:** Sammenligning av energitetthet og tetthet for: MGO,  $\text{NH}_3$  supplementert med MGO, og ren  $\text{NH}_3$

Tabell 5.5 presenterer resultatene for drivstoffbehovet til de ulike systemene over en arbeidssyklus. Resultatene viser at systemet som benytter brenselceller har et redusert drivstoffbehov

sammenlignet med FM-systemet som benytter  $\text{NH}_3$  supplementert med MGO. FM- og BC-systemene er fortsatt ikke like effektive som systemet med normaldrift som kun benytter MGO.

**Tabell 5.5:** Samlet resultat for vekt og volum av drivstoff som kreves for å drive systemene gjennom en arbeidssyklus

System	Drivstoff	Mengde [tonn]	Volum [ $\text{m}^3$ ]
Normaldrift	MGO	42,4	49,3
FM (Mix)	MGO	16,9	19,7
	$\text{NH}_3$	58,1	85,3
BC	$\text{NH}_3$	56,6	82,9

### 5.3.1 Diskusjon om energitetthet og drivstofforbruk for en arbeidssyklus

Tabell 5.5 og Figur 5.3 presenterer drivstofforbruket for de ulike systemene i en arbeidssyklus. De fremhever en rekke betydelige momenter knyttet til valg av drivstoff som vil påvirke design av de forskjellige energisystemene. Resultatene i tabellen viser at BC-systemet har et redusert drivstoffbehov sammenlignet med FM-systemet som benytter  $\text{NH}_3$  med MGO. Dette kan indikere at BC-systemet er mer effektivt og vil ha et redusert drivstoffbehov, sammenlignet med et system som benytter forbrenningsmotor. Dette stemmer overens med de beregnede virkningsgradene til de ulike systemene.

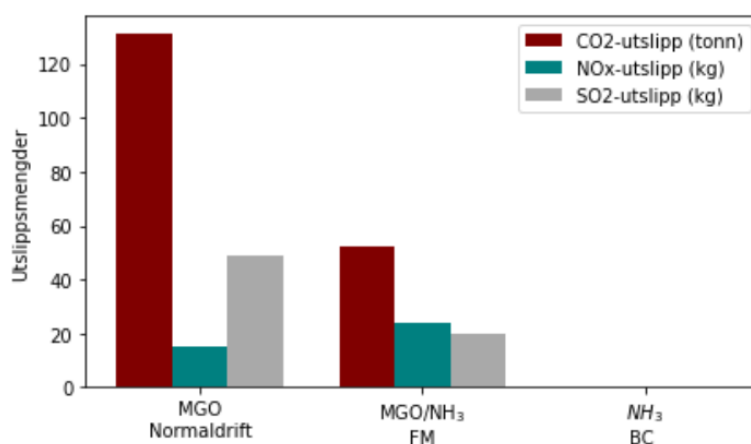
Selv om BC-systemet er mer effektivt enn FM-systemet med  $\text{NH}_3$  og MGO, er det ikke like effektivt som normaldrift, ettersom det er systemet med lavest drivstoffbehov. Årsaken til dette kommer av at MGO har en høyere energitetthet sammenlignet med  $\text{NH}_3$ . Ved å implementere  $\text{NH}_3$  i FM-systemet kan skipet redusere forbruket av MGO med  $29,6 \text{ m}^3$ , men det totale drivstoffbehovet vil øke betydelig. Høyere volumbehov for  $\text{NH}_3$  vil bety mer plass til tanksystemer, noe som kan påvirke fartøyets stabilitet, fabrikk og lastekapasitet. Implementering av  $\text{NH}_3$  kan likevel bidra til å redusere skipets avhengighet av MGO, og kan være fordelaktiv ved miljømessige betraktninger.

## 5.4 Utslippsberegninger

Tabell 5.6 og Figur 5.4 presenterer resultatet fra utslippsberegningene. Resultatene inneholder data for normaldrift med MGO, FM-systemet som benytter  $\text{NH}_3$  supplementert med MGO, og BC-systemet som benytter ren  $\text{NH}_3$ .

**Tabell 5.6:** Resulterende utslippsmengder etter en syklus for ulike systemer og drivstofftyper

System	Drivstoff	CO <sub>2</sub> -utslipp [tonn]	NO <sub>x</sub> -utslipp [kg]	SO <sub>2</sub> -utslipp [kg]
Normaldrift	MGO	131,2	15,13	49,1
FM	MGO/NH <sub>3</sub>	52,5	24,2	19,6
BC	NH <sub>3</sub>	0	0	0

**Figur 5.4:** Resulterende utslippsmengder etter en syklus for de ulike drivstoff- og systemtypene

Ved å sammenligne resultatene for utslipp fra normaldrift med FM-systemet, som benytter NH<sub>3</sub> supplementert med MGO. Er det mulig å se at det vil være et redusert utslipp på 79 tonn med CO<sub>2</sub> og 30 kg SO<sub>x</sub>, men et økt utslipp av NO<sub>x</sub> på 9 kg. I BC-systemet vil det ikke være noe utslipp av hverken CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> eller NO<sub>x</sub>.

#### 5.4.1 Diskusjon av utslippsberegninger

Beregningene for utslipp gir en indikasjon på hvilken systemsammensetning som har størst utslipp av klimagasser etter endt arbeidssyklus. Som illustrert i Figur 5.4 er det størst klimagassutslipp for normaldriften på MGO. FM-systemet har et lavere CO<sub>2</sub>-utslipp enn normaldriften, men et økt utslipp av NO<sub>x</sub>. Samtidig er det et større utslipp av SO<sub>x</sub> på normaldrift. Dette skyldes at forbrenning av MGO resulterer i CO<sub>2</sub>- og SO<sub>x</sub>-utslipp. Når NH<sub>3</sub> tilsettes MGO i et FM-system, reduseres utslippet av CO<sub>2</sub>- og SO<sub>x</sub> fordi en del av drivstoffet erstattes av NH<sub>3</sub>, som ikke produserer CO<sub>2</sub> eller SO<sub>x</sub> ved forbrenning. I FM-systemet øker derimot NO<sub>x</sub>-utslippene fordi ammoniakkforbrenning ved høye temperaturer fremmer dannelsen av NO<sub>x</sub> [58].

En økt mengde NO<sub>x</sub>-utslipp er derimot ikke spesielt gunstig. Som nevnt i Kapittel 3.18 er NO<sub>x</sub> ansett å være 300 ganger verre enn CO<sub>2</sub> sett i et hundreårs perspektiv. Det er derimot såpass høyt utslipp av CO<sub>2</sub> på normaldrift, sammenlignet med det 9 kg større NO<sub>x</sub>-utslippet i FM-systemet at det i dette tilfellet ikke utgjør en markant forskjell.

BC-systemet har ingen resulterende klimagassutslipp etter endt anvendelse av  $\text{NH}_3$ . Dette skyldes omstendighetene i en brenselcelle av typen SOFC. For denne brenselcellen vil det i teorien ikke oppstå noe  $\text{NO}_x$ -utslipp. Årsaken er at utgangstemperaturen fra brenselcellesystemet ikke overstiger  $1200^\circ\text{C}$ , og nitrogenet binder seg ikke til oksygen. Det resulterende utslippet vil dermed kun være vann og nitrogen. Dette medfører at BC-systemet blir et attraktivt alternativ ved minimering av miljøpåvirkning, siden det effektivt eliminerer både  $\text{NO}_x$ - og  $\text{CO}_2$ - utslipp.

## Bærekraftsvurdering

### 5.5 Produksjon og anvendelse av ammoniakk som et bærekraftig drivstoff

Som nevnt i Kapittel 3.7.1, er Haber-Bosch-prosessen den vanligste måten å produsere  $\text{NH}_3$  i dag. Dette er en energikrevende prosess som krever omtrent 7,22 MWh for å produsere ett tonn  $\text{NH}_3$  [168,169]. Til sammenlikning forbruker en gjennomsnittlig husstand 15 MWh i året [170]. Grunnet Harber-Bosch-prosessens høye energibehov er prosessen ofte avhengig av fossilt brensel som energikilde, noe som resulterer i høye utslipp av klimagasser. Tiltak som kan bidra til å redusere utslippet inkluderer implementering av elektrolyse og bruk av fornybar energi, CCS på produksjonsanlegg og skip. På denne måten er det mulig å utvinne karbonnøytral  $\text{NH}_3$ .

I en livsløpsanalyse [171] ble  $\text{NH}_3$  og MGO sammenlignet som alternative drivstoff for et skip som skulle seile fra Rotterdam til Singapore. Studiet viste at både grønn  $\text{NH}_3$  og MGO hadde lavest miljøpåvirkning sammenlignet med andre drivstoffalternativer. Imidlertid kunne bruken av grå og blå  $\text{NH}_3$  potensielt medføre større miljøpåvirkning på grunn av utvinning gjennom gassreforming. Grønn  $\text{NH}_3$  viste seg å være det mest miljøvennlige alternativet på lang sikt, mens grå  $\text{NH}_3$ , utvunnet ved bruk av kull, kunne ha en betydelig negativ miljøpåvirkning sammenlignet med tradisjonell MGO. Videre konkluderte analysen med at bruk av  $\text{NH}_3$  kunne føre til  $\text{NO}_x$ -utslipp som oversteg IMO's tillatte grenser for operasjoner i internasjonale farvann.

I livsløpsanalysen [172] ble MGO sammenlignet med alternative maritime drivstoff. Analysen indikerte at  $\text{NH}_3$  er et interessant alternativ som drivstoff. I analysen ses det på grå  $\text{NH}_3$ , og resultatene indikerte at det var lite forsuring sammenlignet med andre drivstofftyper. Resultatene indikerer også at bruken av grå  $\text{NH}_3$  vil føre til utslipp av nitrogen som er relativt likt det som oppstår ved bruk av LNG.

For å kunne sikre en miljøvennlig og effektiv produksjonsprosess, er det også nødvendig å investere i ny infrastruktur og teknologi. Som nevnt i Kapittel 3.7.1 er standardkatalysatorene brukt i Haber-Bosch-prosessen jernbasert. Ved å utvikle en ny bærekraftig katalysator som kan fungere effektivt under nødvendig trykk og lave temperaturer, kan dette redusere utslippene til prosessen ytteligere.

#### 5.5.1 Diskusjon av de forskjellige produksjonsprosessene

Den mest utbredte typen  $\text{NH}_3$  i dag er grå  $\text{NH}_3$ . Hovedårsaken til dette er tilgjengeligheten av store mengder fossilt brensel. Selv om denne produksjonsprosessen er kostnadseffektiv på kort sikt, står den overfor flere utfordringer, inkludert miljømessige og regulatoriske aspekter [139,173,174]. Resultatene fra 5.4 antyder at bruken av grå  $\text{NH}_3$ , fra fossile kilder, vil ha mindre miljøpåvirkning sammenlignet med bruk av MGO. Dette er hovedsaklig grunnet de høye  $\text{CO}_2$ -utslippene ved bruk

av MGO.

Som nevnt i 3.7.2 inneholder produksjonsprosessen av blå NH<sub>3</sub> CCS- og CCUS-systemer som er med på å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet. Selv om denne metoden kan effektivt halvere utslippet, sammenliknet med grå NH<sub>3</sub>, er det fortsatt nødvendig med betydelige investeringer i ny infrastruktur og teknologi. CCS- og CCUS er teknologier som baseres på langsiktig lagring av det oppfangende karbonutslippet.

Grønn NH<sub>3</sub> er den mest bærekraftige løsningen, men har imidlertid flere utfordringer. En av utfordringene er de tekniske og økonomiske aspektene, da det krever betydelige investeringer. En annen utfordring er kraftfordelingen. I et samfunn der det allerede er utfordringer med kraftforsyningen, reises spørsmålet om det er mer hensiktsmessig å fokusere på produksjon av grønn energibærere, eller om denne energien kunne blitt brukt til andre formål i stedet [168,170].

I tillegg fører de høye kostnadene ved produksjon av grønn NH<sub>3</sub>, sammenliknet med de fossilbaserte alternativene, til at det er økonomisk vanskeligere å konkurrere uten politisk støtte og insentiver [175,176]. Å innføre subsidier til fornybar energiproduksjon, samt øke karbonavgiften på fossile brensler, kan bidra til å gjøre grønn NH<sub>3</sub> mer konkurransedyktig [168].

En annen faktor å vurdere er forsyningskjeden til NH<sub>3</sub>. Fra produksjon til distribusjon og lagring krever det som nevnt i Kapittel 3.20 spesialisert infrastruktur for å sikre effektiviteten og sikkerheten. For grønn NH<sub>3</sub> vil dette kreve en betydelig investering i nye anlegg og transportutstyr som kan behandle flytende NH<sub>3</sub> under lavt trykk og temperaturer [177].

## 5.6 Teknologisk modenhet

Tabell 5.7 presenterer statusen til forbrenningsmotorer og brenselceller i maritimt bruk. Litteraturen som er brukt fremhever hvilke av teknologiene som er mest nærliggende for fremtidig maritimt bruk. Selv om flere av teknologiene fortsatt er lite utbredt er det flere studier, og forskningsprosjekt som ser på anvendelse av NH<sub>3</sub> som drivstoff.

**Tabell 5.7:** Presenterer status for FM og BC som er brukt ombord maritime fartøy og hvilke brensel de utnytter

Teknologi	Status	Brensel	Kilde
To-takt FM	Test	NH <sub>3</sub> & Pilot fuel	[178]
Firetakt FM	Kommersielt tilgjengelig	NH <sub>3</sub> & Pilot fuel	[179]
SOFC	Test	NH <sub>3</sub>	[180,181]
PEM	Kommersielt tilgjengelig	Hydrogen	[182,183]
AFC	Ikke i bruk	Hydrogen	[184]

### 5.6.1 Forbrenningsmotor

I 2023 ble den første kommersielt tilgjengelige forbrenningsmotoren, til anvendelse av  $\text{NH}_3$ , lansert. Dette er en firetaktsmotor utviklet av Wartsila [179]. Motoren er planlagt å bli implementert i flåten til selskapet *Virdis Bulk Carriers*. Til tross for tilgjengeligheten av denne kommersielle motoren, er det fortsatt noen utfordringer knyttet til bruk av  $\text{NH}_3$  som brensel.  $\text{NH}_3$ 's egenskaper gjør det vanskelig å antenne alene, og det vil kreve et pilotbrensel til antenning [8]. Dette betyr at selv om et rederi velger å investere i en forbrenningsmotor som bruker  $\text{NH}_3$ , vil det fortsatt være utslipp av  $\text{CO}_2$  og  $\text{SO}_2$ , dersom de benytter MGO som pilotdrivstoff. Som vist i Tabell 5.6, er  $\text{CO}_2$ -utslippet fra FM-systemet som bruker en MGO/ $\text{NH}_3$ -blanding omtrent halvparten av utslippet fra normaldriften som kun bruker MGO. Å velge denne løsningen kan derfor være gunstig for rederiene, da det potensielt kan halvere det totale utslippet fra fartøyet.

Tabell 5.7 viser at den teknologiske modenheten for forbrenningsmotorer som utnytter  $\text{NH}_3$  sammen med et pilotdrivstoff, er mer modent sammenliknet med brenselcelleteknologien [168]. En årsak til dette kan være at motor-teknologien har vært i bruk i over 100 år, sammenliknet med brenselcelleteknologien som er en nyere teknologisk løsning. Det er imidlertid fortsatt nødvendig med spesifikke tilpasninger og optimaliseringer for å bruke  $\text{NH}_3$  på en effektiv måte. Dette inkluderer endringer for å håndtere en lavere forbrenningshastighet samt garantere full forbrenning for å redusere utslipp av  $\text{NO}_x$  [185,186].

Det er nødvendig å utvikle nye komponenter som enkelt kan implementeres i de konvensjonelle forbrenningsmotorene som eksisterer i dag [187]. Dette sikrer kompatibilitet med alternative drivstoff, som  $\text{NH}_3$ . Slike teknologiske løsninger har potensialet til å bidra med lavere økonomiske investeringer samt redusere klimagassutslipp.

### 5.6.2 Brenselcelle

Som nevnt i Kapittel 3.12 er det flere ulike brenselcelletyper som kan være aktuelle for maritime installasjoner. Ved anvendelse av  $\text{NH}_3$  er imidlertid SOFC ansett som den mest egnede typen. Dette skyldes brenselcellens skalerbarhet i forhold til effekt, 1 kW-200 MW, og evne til å kunne benytte  $\text{NH}_3$  direkte i cellen uten noen mellomtrinn. SOFC har dermed større potensial til storskala energiproduksjon sammenliknet med både PEM-celler og AFC, som har et effektområde på 1 kW-100 kW. Utfordringen til SOFC er derimot den høye operasjonstemperaturen, lange oppstartfase og korrosjon på komponentene. Alle utfordringene er et resultat av den høye temperaturen som cellene opererer på. Likevel er temperaturen til reaksjonen lav nok til at nitrogenet som kommer ut av cellen ikke binder seg til oksygen og danner  $\text{NO}_x$ .

I livsløpsanalysen [188] sammenlignes et SOFC-system med et gassturbinssystem. Hovedfunnene fra analysen viser at majoriteten av miljøpåvirkningen fra et SOFC-system kommer fra

suppleringsfasen av et gitt drivstoff. Videre påpeker analysen at de høye investeringskostnader bidrar til at et SOFC-system ikke er kommersielt konkurransedyktig så lenge det er i et utviklingsstadium. Selv om analysen ikke spesifikt ser på SOFC system som benyttet  $\text{NH}_3$  som drivstoff, identifiserer analysen utfordringer som vil være relevante uavhengig av brenselstype.

Studiet [189] sammenligner bruken av PEMFC og SOFC på et skip. Hovedfunnene i sammenligningen viser at et system som benytter SOFC har en høyere systemvirkningsgrad, som fører til redusert drivstofforbruk. Da studiet vurderte systemenes plassbehov og vekt, indikerte resultatene at et SOFC-system har større vekt og plasskrav sammenlignet med et PEMFC-system. Selv om SOFC-systemet har høyere systemvirkningsgrad, og lavere drivstofforbruk sammenlignet med PEMFC-systemet, viser resultatene fra studien at plassbehovet og vekten, til et SOFC-system, går ut over lastekapasiteten til skipet. Dette går så videre ut over skipets inntektsgrunnlag.

Et forskningsprosjekt som spesifikt ser på anvendelsen av  $\text{NH}_3$  i en brenselcelle er *SHIP-FC* [180]. Prosjektet involverer flere aktører som samarbeider om å utvikle en SOFC som skal installeres på skipet *Viking Energy*. Brenselcelleeffekten vil i første omgang være på 100 kW og senere skaleres opp til 2 MW. Sommeren 2023 oppnådde prosjektet sitt første gjennombrudd med en modulær SOFC på 6 kW [190]. Dette viser fremskritt og praktisk anvendelse innen bruk av  $\text{NH}_3$  i BC. *SHIP-FC*-prosjektet viser potensialet for å utvide BC-teknologien i den maritime sektoren og støtter antagelsen om at SOFC kan være en bærekraftig løsning for fremtidig skipsfart.

## 5.7 Lagring og distribusjon

$\text{NH}_3$  blir som nevnt i Kapittel 3.8 transportert i flytende tilstand, og væsken må holdes kjølig, komprimert eller i en kombinert tilstand av trykk og temperatur. Vurderingen undersøker lagring av  $\text{NH}_3$  i flytende tilstand for å maksimere lagringskapasiteten. For å oppnå dette vil det være avgjørende at lagringstanken er godt isolert for å forhindre varmeinntrengning, ettersom  $\text{NH}_3$  naturlig vil forsøke å gå tilbake til sin opprinnelige gassform. Som nevnt i Kapittel 3.8 er C-type lagringstank fordelaktig ved lagring og transport til sjøs. Dette stiller krav til utformingen av C-type lagringstankene. Designet må være konstruert med effektive tiltak for å redusere risiko for lekkasjer av  $\text{NH}_3$ . I tillegg må lagringstankene være konstruert for å motstå sprekkdannelse forårsaket av den lave temperaturen  $\text{NH}_3$  er i flytende form.

$\text{NH}_3$  transporteres fra lagringstankene ved hjelp av et pumpesystem. Disse pumpene er konstruert for å sikre jevn flyt og unngå lekkasjer. I systemet blir det brukt et dobbelt rørsystem, det ytre røret beskytter mot eventuelle lekkasjer og fungerer som en sikkerhetsbarriere. Mens det indre røret transporterer ammoniakken. Rørsystemet er også utstyrt med spesielle ventiler og sikkerhetssystemer for å kontrollere ammoniakstrømmen og sikre sikker drift. Dette inkluderer



deteksjonssystemer for lekkasjer, trykkavlastingsventiler og tilbakeslagsventiler for å hindre revers strømning.

Før ammoniakken når brenselcellene eller motorene, må den varmes opp og fordampes til gassform [103,191]. For dette formålet anvendes varmevekslere og forvarmere. Til slutt blir den fordampede ammoniakkgassen sendt til brenselcellene eller motorene, der den brukes som brensel. I tillegg må systemene være spesielt designet for å håndtere  $\text{NH}_3$  og inkludere spesielle tiltak for å forhindre eventuelle lekkasjer eller utslipp.

### 5.7.1 Bunkring av ammoniakk

Som nevnt i Kapittel 2.3 har Yara International et ønske om å starte et fullskala produksjonsanlegg av grønn  $\text{NH}_3$  hvor det første bunkringsanlegget skal betjene ett skip. Det vurderes også flere løsninger for bunkring i form av en flytende leker. I Kapittel 3.7.3 ble det nevnt at det er flere forskjellige forskningsprosjekter som undersøker muligheten for bruk av  $\text{NH}_3$  som et maritimt drivstoff. Et av initiativene er det Maritime  $\text{NH}_3$ -prosjektet som tar sikte på å utvikle et skalerbart bunkringsnettverk sammen med en forsyningskjede.

Grieg Edge utvikler et av verdens første ammoniakktankere kalt *MS Green Ammonia* [192]. Dette skipet er designet for å distribuere grønn  $\text{NH}_3$  langs Norgeskysten og transportere  $\text{NH}_3$  til andre skip via skip-til-skip bunkring samt til terminaler. Konseptet for dette fartøyet er forventet å være i drift fra 2026/2027.

### 5.7.2 Valg av tank til lagring og distribusjon

C-type lagringstanker er det mest ideelle valget for distribusjon og lagring av flytende  $\text{NH}_3$ . Dette er hovedsakelig grunnet deres evne til å håndtere utfordringer tilknyttet  $\text{NH}_3$ . Som nevnt i Kapittel 3.8 og Kapittel 5.7, er deres robuste konstruksjoner samt sofistikerte isolasjonsteknologier avgjørende ved lagring og distribusjon. C-type tanker legger også stor vekt på sikkerhet, og inkluderer funksjoner slik som doble vegger samt lekkasjedeteksjon for å redusere både person- og miljø skader. I tillegg er C-type tanker laget av materialer som ikke korroderer, noe som garanterer minimale vedlikeholdsbehov og en lang levetid.

I industrielle og maritime operasjoner er dette avgjørende fordi vedlikehold kan være både vanskelig og kostbart. Denne typen tank er også ideell for prosjekter som krever retrofitting eller utvidelser da de enkelt kan integreres i en eksisterende infrastruktur. Dette er en fordel ved installasjoner av systemer som utnytter  $\text{NH}_3$  da det kan implementeres uten betydelige eller dyre endringer i infrastrukturen. I tillegg hjelper integrering av disse tankene bærekraftige operasjoner ved å redusere miljøpåvirkningen og forbedre energieffektiviteten.

### 5.7.3 Diskusjon om logistikk og infrastruktur for drivstoff

I diskusjonen om logistikk og infrastruktur for drivstoff er det flere kritiske aspekter som må vurderes for å sikre en effektiv drift samt implementering. Dette gjelder spesielt for alternative drivstoffer slik som  $\text{NH}_3$ , og omfatter både produksjon, lagring og transport.

For å kunne produsere  $\text{NH}_3$  er det som nevnt i Kapittel 3.7.1, nødvendig med industrielle anlegg og tilgang til de nødvendige råmaterialene. For å sikre en miljøvennlig og effektiv produksjonsprosess, er det nødvendig å investere i nye infrastrukturer og teknologier.

Som nevnt i Kapittel 3.8, krever lagring og transport av  $\text{NH}_3$  spesifikke logistikksystemer da flytende  $\text{NH}_3$  må lagres og transporteres ved lave temperaturer eller under trykk. For dette formålet er det nødvendig med spesifikke transportmidler og tanker. For å håndtere nye drivstoff som  $\text{NH}_3$  må infrastrukturen utvikles eller oppgraderes. For å sikre sikker håndtering og distribusjon av  $\text{NH}_3$ , må nye lagringssteder utbygges og laste- og havneanlegg endres. Det er også nødvendig å oppgradere eller bygge om fyllingsstasjoner slik at de kan tilby  $\text{NH}_3$  som en alternativ drivstoffkilder.

Som nevnt i Kapittel 3.8.1, er de korrosive samt giftige egenskapene til  $\text{NH}_3$  et viktig aspekt å ta hensyn til. Det er derfor nødvendig med implementering av sikkerhetsprotokoller samt strenge reguleringer for å beskytte både de ansatte og miljøet.

Logistikken tilknyttet til implementering av  $\text{NH}_3$  som drivstoff er kompleks og krever en omfattende tilrettelegging og planlegging. For å tilpasse infrastrukturen er det nødvendig å oppgradere og utvikle forskjellige aspekter for å sikre effektiv tilgjengelighet og distribusjon for sluttforbrukerne.

## 5.8 Totalkostnader for systemene

Kostnadene for systemene er delt opp i to hovedkategorier: drivstoffkostnader og utslippskostnader. Drivstoffkostnadene tar kun hensyn til utgifter knyttet til innkjøp av drivstoff, basert på forbruket til en driftssyklus. Utslippskostnadene er et resultat av avgifter på utslipp i forhold til hvilken klimagass det er som slippes ut i prosessen. Summen av disse gir totalkostnadene for de ulike systemene.

### 5.8.1 Drivstoffkostnader og avgifter

Tabell 5.8 presenterer en samlet oversikt over drivstoffpriser, drivstoffbehovet og den resulterende summen for én enkelt driftssyklus, mens Tabell 5.9 presenterer avgiftene for de ulike klimagassutslippene.

Når det refereres til en drivstofftype med betegnelsen *lav*, henvises det til perioder med lav markedspris, noe som gir lavere kostnad per tonn, og dermed en lavere totalsum. Det samme gjelder for drivstoff merket med *høy*, men her refereres det til perioder med høyere markedspriser, som resulterer i høyere priser per tonn og høyere samlede kostnader. Dette skillet er avgjørende for å forstå hvordan svingninger i markedsprisene påvirker totalkostnadene for både FM- og BC-systemet.

**Tabell 5.8:** Prisestimat for drivstofforbruk i de ulike systemene og drivstofftyper

System	Drivstoff	Pris [kr/tonn]	Mengde [tonn]	Sum [kr]
FM (MGO)	MGO	10 148	42,4	430 275
FM (Mix)	MGO	10 148	16,9	171 501
	Grå NH <sub>3</sub>	12 128	58,2	705 850
	Grønn NH <sub>3</sub> (lav)	10 364	58,2	603 185
	Grønn NH <sub>3</sub> (høy)	19 294	58,2	1 122 911
	<b>Kombinerte Drivstoffkostnader</b>			
	Grå NH <sub>3</sub> /MGO			877 351
	Grønn NH <sub>3</sub> /MGO (lav)			774 686
Grønn NH <sub>3</sub> /MGO (høy)			1 294 412	
BC	Grå NH <sub>3</sub>	12 128	56,6	686 445
	Grønn NH <sub>3</sub> (lav)	10 364	56,6	586 602
	Grønn NH <sub>3</sub> (høy)	19 294	56,6	1 092 040

Estimatene for ammoniakkprisene baserer seg på informasjon fra [165], oppdatert i April 2021. MGO-prisen kommer fra [164] og ble sist oppdatert 04.04.2024.

Tabell 5.9 presenterer kostnadene for utslippsavgifter pålagt de gitte systemene. Kostnadene varierer basert på spesifikke klimagassutslipp og fartøyets drift. Tabellen viser tydelig de økonomiske fordelene ved å bruke BC fremfor FM, både i normaldrift og i blandet drift med NH<sub>3</sub>.

**Tabell 5.9:** Kostnader for utslippsrelaterte avgifter for de ulike energisystemene og drivstofftyper

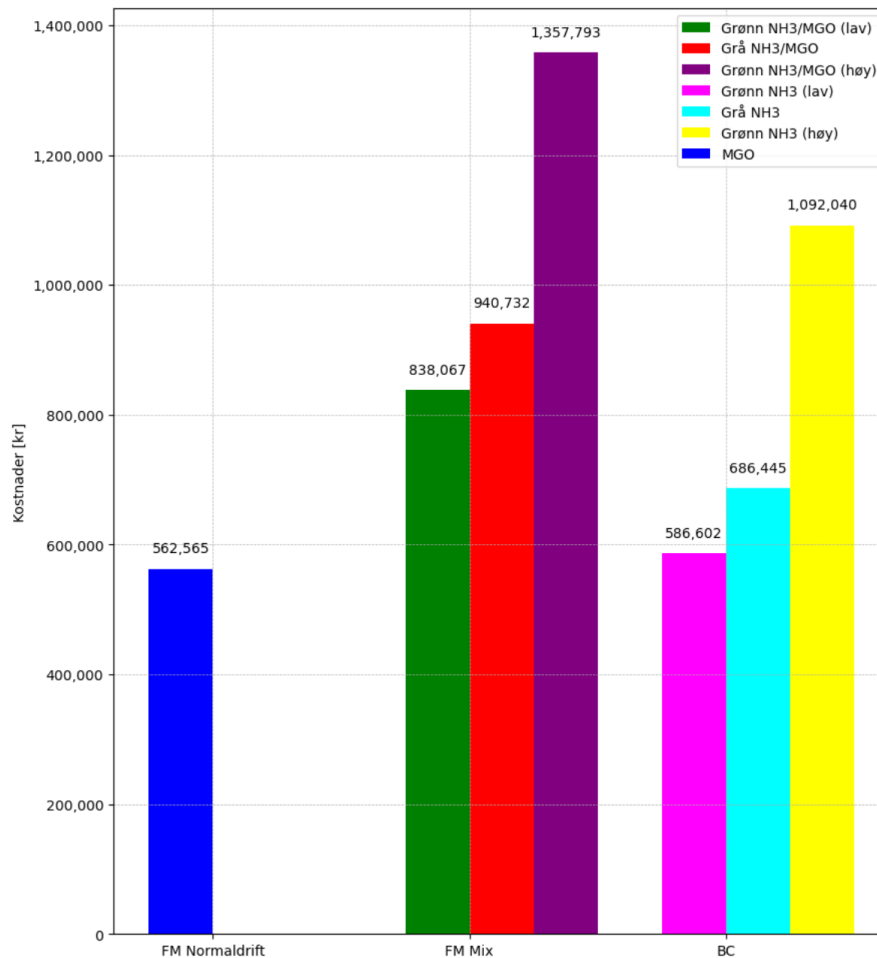
System	Klimagass	Pris	Mengde [kg]	Sum [kr]
Normaldrift	CO <sub>2</sub>	2,94 kr/kg MGO	131 183	124 693
	NO <sub>x</sub>	25,59 kr/kg Nox	15,1	387
	SO <sub>x</sub>	0,17 kr/kg MGO	49,1	7 210
	<b>Sum</b>	-	-	132 290
FM (Mix)	CO <sub>2</sub>	2,94 kr/kg MGO	52 473	49 877
	NO <sub>x</sub>	25,59 kr/kg Nox	24,2	619
	SO <sub>x</sub>	0,17 kr/kg MGO	19,6	2 884
	<b>Sum</b>	-	-	63 381
BC	CO <sub>2</sub>	2,94 kr/kg MGO	0	0
	NO <sub>x</sub>	25,59 kr/kg Nox	0	0
	SO <sub>x</sub>	0,17 kr/kg MGO	0	0
	<b>Sum</b>	-	-	0

## 5.9 Diskusjon av total kostnader for de ulike systemene

Total summen for en enkelt driftssyklus til de ulike systemene er presentert i Figur 5.5. Denne figuren tar også med de ulike markedsscenariene for høy- og lav-pris på grønn NH<sub>3</sub>. Summen er et resultat av driftskostnadene knyttet til drivstoff og resulterende avgift for systemene.

Resultatene indikerer at det systemet som totalt sett har lavest kostnader er normaldrift på MGO. Dette til tross for at klimagassavgiften, som medfølger dette systemet, er størst. Generelt sett utgjør avgiftene for utslipp en såpass marginal andel av drivstoffkostnadene at det er drivstofftypen og sammensetningen som avgjør hvilket system som har størst total kostnad. Grønn NH<sub>3</sub> har stor differanse mellom høy- og lav-pris. I lavprisperioder vil det være relativt liten forskjell på BC-systemet og normaldrift på MGO. utfordringen med drift på grønn NH<sub>3</sub> er generelt den store variansen i prisene.

Med økte CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- og SO<sub>x</sub>-utslippsavgifter kan det bli dyrere å anvende MGO, slik at det ikke lenger er like økonomisk å benytte. Regjeringens klimamelding prøver blant annet å presse opp prisen på CO<sub>2</sub>-avgiftene til 2000 kr/per tonn CO<sub>2</sub> innen 2030 [173]. Dette tilsvarer en økning på 15%, i CO<sub>2</sub>-avgift, hvert år fram mot 2030. NO<sub>x</sub>-avgiften er også antatt å øke, og vil ligge på omtrent 30 kr innen 2027 [174]. Avgiftsatsene for SO<sub>x</sub> gjennom årene indikerer at den også er økende. Tall fra skatteetaten [139] viser at SO<sub>x</sub>-avgiften, knyttet til bruken av svovelholdig MGO, øker litt hvert år. Alle disse økningene vil isåfall bidra til å øke total kostnadene på å drifte skip med konvensjonelle fossile drivstoff, og kan bidra til å fremme konkurransedyktigheten til alternative drivstoff.



*Figur 5.5: Sammenlikning av totalkostnadene til systemene med ulike markedsscenarier. Her markerer komma ”,” tusener*

Dette fremhever også viktigheten av politiske insentiver og reguleringer som nevnt i Kapittel 2.6, for å fremme bruken av et mer bærekraftig drivstoff som  $\text{NH}_3$ . Uten slike tiltak forblir de økonomiske barrierene, i overgangen til grønnere alternativer, for høye til tross for deres miljømessige fordeler. Utvikling av teknologien for fremstilling av grønn  $\text{NH}_3$  kan, som nevnt i Kapittel 3.7.1, bidra til kostnadsreduksjon og et mer konkurransedyktig valg i det maritime markedet.

## 5.10 Sikkerhetsfaktorer

Som nevnt i Kapittel 3.8 er det avgjørende å vurdere utslippsstoffer som  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , samt partikulærmaterialene når det gjelder sikkerhetsaspektene ved bruk av  $\text{NH}_3$ . Dette er et resultat av de forskjellige måtene de to systemtypene håndterer og bruker  $\text{NH}_3$  på. For å håndtere de høye temperaturene og de potensielt eksplosive gassene som er involvert i denne spaltingsprosessen, er det nødvendig med ytterligere sikkerhetstiltak [193]. Systemet må håndtere brennbart hydrogen etter spalting av ammoniakken, og det er nødvendig med

spesielle sikkerhetstiltak for å håndtere hydrogen trygt [194,195]. Disse inkluderer rørsystemer og eksplosjonssikker lagring, samt ventilasjonssystemer som er bygget for å håndtere hydrogen. Ved direkte forbrenning av  $\text{NH}_3$  i en forbrenningsmotor er det nødvendig med teknologi spesielt designet for å motstå korrosjon og redusere  $\text{NO}_x$ -utslippene.

Samtidig er det viktig med deteksjonssystemer som registrerer lekkasjer av  $\text{NH}_3$  grunnet dens giftighet ovenfor mennesker. Det er derfor avgjørende med tilstrekkelig sikkerhetsystem. Mangel på dette kan potensielt medføre at  $\text{NH}_3$  blir bortvalgt fremfor et annet drivstoff.

## 5.11 Insentiver som fremmer alternative drivstoff

Ved diskusjon av insentiver for bruken av  $\text{NH}_3$  som et maritimt drivstoff, er det avgjørende å vurdere forskjellige faktorer som kan påvirke valg av system, enten det er BC-systemet eller FM-systemet. Insentiver gitt av politiske, miljømessige og økonomiske faktorer kan indirekte og direkte påvirke teknologivalget.

DNV har utviklet klassenotasjoner som har i hensikt å informere skipseiere om hvilke tiltak som kan implementeres i nye maritime fartøy [196]. Klassenotasjonene er med på å utvikle og sette krav ved implementering av systemer som tar i bruk for eksempel  $\text{NH}_3$ . Disse klassenotasjonene omfatter ikke bare skipets design og konstruksjon, men også integreringen av systemene som skal håndtere og bruke alternative drivstoff. DNVs klassenotasjoner legger ikke bare grunnlaget for sikker bruk av  $\text{NH}_3$ , men reflekterer også det bredere regelverket.

### 5.11.1 Vurdering av insentiver og deres effekt på systemvalg

Ved vurdering av insentiver og deres effekt på systemvalg er det flere aspekter som må vurderes. Noen av disse er tilgjengelighet og den teknologiske modenheten. Det er avgjørende å vurdere hvor avansert denne teknologien faktisk er og hvor enkel den er å implementere i maritim sektor. Dette inkluderer vurdering av infrastrukturen som trengs for å støtte den nye teknologien, inkludert  $\text{NH}_3$ -forsyningskjeden, samt trygge håndterings- og lagringsfasiliteter.

Økonomiske insentiver som skattelettelser og subsidier for nye grønne teknologier er et aspekt som spiller en sentral rolle [197]. Disse kan påvirke valg om investering i alternative drivstoff som  $\text{NH}_3$ , sammenliknet med dagens tradisjonelle marine drivstoff. Som tidligere nevnt utgjør avgiftene foreløpig en liten andel av totalkostnaden. Med økte avgifter pålagt av regjeringen vil det bidra til å fremme alternative grønne løsninger.

Ved det miljømessige aspektet blir miljøinsentiver stadig viktigere grunnet det økende globale fokuset på bærekraftig utvikling og klimaendringer [195,198]. Som nevnt i Kapittel 3.21 og 2.6 er reduksjon av klimagasser og andre skadelige utslipp nå en del av mange lands miljøpolitikk.

Dette bidrar til flere investeringer i renere teknologiske løsninger som NH<sub>3</sub>-brenselceller.

Som nevnt i Kapittel 2.6 er sikkerhetskrav og relevante EU-direktiver også viktige insentiver som påvirker teknologivalg. Disse kravene er med på å sikre at nye teknologier ikke bare er effektive, men også trygge ved arbeid med farlige stoffer, slik som NH<sub>3</sub>. Overholdelse av disse sikkerhetsstandardene kan legge en ytteligere belastning på drift og teknologiskutviklinger.

Å skulle ta en informativ beslutning om systemvalg krever en dyp forståelse av de korte og langsiktige virkningene av de nevnte insentivene. Dette krever både en balansert tilnærming til teknologiske innovasjoner i henhold til økonomisk bærekraft og sikkerhet for å kunne effektivt navigere i de skiftende regulatoriske rammene.

### **5.11.2 Diskusjon om politiske faktorer og deres innflytelse på systemvalg**

Ved valg av tekniske løsninger spiller de politiske insentivene en betydelig rolle, spesielt i henhold til regulatoriske krav og det miljømessige aspektet. Politiske insentiver med fokus på reduksjon av klimagasser og lokale forurensninger støtter utvikling og bruk av for eksempel BC-systemer. Som nevnt i Kapittel 2.6, er det under IMO 2020- og de fremtidige IMO 2050-forskriftene et økende press for å redusere CO<sub>2</sub>-avtrykket i den maritime sektoren [199,200].

Regulatoriske krav er viktige aspekter for innovasjon, da de legger til rette for implementering av mer avanserte systemer som må oppfylle strenge miljøstandarder [201]. I tillegg oppmuntre de økonomiske insentivene, som skattelettelser og subsidier av grønne teknologier til å ta i bruk slike løsninger [202]. Det må dog sees på behovet for å balansere de tekniske utfordringene og umiddelbare kostnadene ved å implementere de nye systemene. De langsiktige potensielle regulatoriske endringene samt langsiktige fordelene må også vurderes.

Ved å investere i mer effektive og avanserte teknologier kan den maritime industrien ikke bare møte dagens behov for grønnere løsninger, men også forberede seg på de fremtidige reguleringene, slik som IMO 2050-forskriftene. Dette kan gjøre skip mer økonomisk bærekraftige over tid, redusere driftskostnader samt redusere vedlikeholdsbehovet ved å implementere nye teknologier som kan være mer pålitelige og krever mindre vedlikehold [203].

Skipsbyggere og rederi må vurdere tidspunktet for teknologiinvesteringer i henhold til forventede reguleringsendringer. Dette krever en omfattende strategisk planlegging. Ved å kunne forutse og tilpasse seg de fremtidige endringene i reguleringslandskapet, kan de sikre at deres investeringer ikke bare er økonomisk givende i det lange løp, men også bærekraftig.

## 5.12 Drivstoffvurdering

Til tross for sine forurensende egenskaper, forventes MGO å fortsette å spille en viktig rolle i den maritime sektoren [204,205]. Dette er grunnet flere faktorer, som de økonomiske og praktiske aspektene. MGO er lett tilgjengelig og har en veletablert infrastruktur for bunkring og distribusjon, som gjør det til et trygt valg for mange rederier, spesielt i områder hvor alternativt drivstoff er mindre tilgjengelig.

Selv om  $\text{NH}_3$  krever omtrent dobbelt så mye lagringsplass som diesel, har den en volumetrisk energitetthet høyere enn flere andre nullkarbon-drivstoff [8]. Dette gjør den godt egnet for maritime fartøy på langdistanse som krever lagring av betydelige mengder drivstoff. Selv om  $\text{NH}_3$  brukes i gassform, lagres maritime drivstoff som oftest i flytende form da det krever mindre lagringsplass enn i gassform.

I forhold til hydrogen og LNG som henholdsvis må lagres på  $-253^\circ\text{C}$  og  $-160^\circ\text{C}$ , kan  $\text{NH}_3$  lagres i en trykktank ved 10 bar eller ved omgivelsestrykk og  $-33^\circ\text{C}$  [8]. Selv om en kubikkmeter med  $\text{NH}_3$  veier mer enn hydrogen, lagrer  $\text{NH}_3$  hydrogenet mer effektivt. En kubikkmeter flytende  $\text{NH}_3$  inneholder også 50 prosent mer energi enn samme volum flytende hydrogen.

Om ammoniakken er grå eller grønn er et viktig aspekt som må vurderes. Som nevnt i Kapittel 3.7.2 er den mest produserte formen for  $\text{NH}_3$  grå, og blir produsert med fossile brensler uten  $\text{CO}_2$ -fangst. Dette resulterer i et  $\text{CO}_2$ -utslipp fra reformeringsprosessen. Sammenliknes dette med produksjonen og bruken av MGO, gir det et utslipp av drivhusgasser som er 40 - 66 % høyere [165]. For grønn  $\text{NH}_3$ , som produseres med fornybare energikilder, er det som nevnt i Kapittel 3.7.2 ingen direkte  $\text{CO}_2$ -utslipp.

## 5.13 Feilkilder

Det er flere feilkilder knyttet til denne rapporten. Alle beregninger er basert på litteratur og allerede eksisterende studier. Tall hentet fra ulike rapporter har tidvis vært ulike og det ble brukt verdier fra rapporter som hadde en viss samstemmighet. Dette kan potensielt påvirke påliteligheten til de beregnede resultatene. Driftsyklusen til tråleren som det er sett på, er en del av fundamentet til beregningene. Denne syklusen er satt sammen basert på informasjon fra andre rapporter, og er forenklet og forkortet, for å simplificere beregningene. Dette kan resultere i at drivstoffbehov og utslippsmengder er upresise for et reelt system.

Kostnadene ble beregnet gjennom datainnsamling av drivstoffpriser og avgifter knyttet til ulike klimagassutslipp. Her kan det være forskjeller avhengig av hvor drivstoffet kommer fra, og hvorvidt det er aktuelt på dagens marked. Det ble tatt hensyn til høy- og lavprisscenarier, men det er flere andre faktorer som også kan påvirke resultatet. Markedsandel, markedsetterspørsel og



om  $\text{NH}_3$  faktisk skal benyttes som drivstoff, er flere eksempler på faktorer som kan endre utfallet på resultatet.  $\text{CO}_2$ -avgiften er basert på hvor utslippet kommer fra. Den avhenger dermed av om det er transport, produksjon eller utslipp knyttet til ett skip. For  $\text{NO}_x$ -avgiftene er det ingen spesifikk kategorisering som tydeliggjør forskjeller på hvor utslippet kommer fra. Grunnet dette var det ingen måte å fastslå hvorvidt denne avgiften ville gjelde for det valgte skip.

Ved de teknologiske fremgangene er  $\text{NH}_3$ -drevne drivstoffmotorer og brenselceller fortsatt under utvikling, og det kan dermed være usikkerhet knyttet til ytelsen og kostnadene ved full drift. De teknologiske dataene som er brukt i beregningene er basert på tilgjengelig litteratur, men faktiske driftsforhold kan avvike fra disse dataene. Som nevnt i Kapittel 5.6, kan nivået på den teknologiske modenheten påvirke både økonomiske og miljømessige aspekter. Usikkerhet knyttet til kostnadene ved modernisering av eksisterende anlegg, og bygging av nye lagring- og bunkringsanlegg, kan også påvirke den økonomiske vurderingen. Håndtering av  $\text{NH}_3$  skaper også spesielle sikkerhetsproblemer grunnet dets giftige og etsende egenskaper. Uventede hendelser eller feil i sikkerhetssystemer kan også påvirke både kostnader og driftssikkerhet.

Bærekraftsvurderingen er utelukkende basert på et litteraturstudie. Vurderingene er basert på informasjon fra relevant litteratur, noe som kan medføre usikkerheter til påliteligheten av kildene. I tillegg kan regionale forskjeller i energimiksen som brukes til produksjon av  $\text{NH}_3$  påvirke de totale klimagassutslippene.

## 6 Konklusjon

Basert på resultatene, og vurderingene gjennomført som en del av oppgaven, viser  $\text{NH}_3$  potensialet som et alternativt drivstoff for den maritime sektoren. Bærekraftsvurderingen fremhever at overgangen til  $\text{NH}_3$  som drivstoff medfører både tekniske og sikkerhetsmessige utfordringer. Til tross for disse utfordringene kan  $\text{NH}_3$  bidra til betydelige reduksjoner av klimagasser forutsatt at det produseres på en bærekraftig måte.

Målet for oppgaven undersøker om  $\text{NH}_3$  brukt i brenselceller vil være mer miljøvennlig og effektiv sammenlignet med bruk i forbrenningsmotor. Systemsammenligningen og samlet litteratur for denne oppgaven, indikerer at et BC-system potensielt kan generere betydelig mindre klimagasser enn et FM-system, når det kommer til anvendelsen av  $\text{NH}_3$ . Dette skyldes hovedsakelig brenselcellens evne til å operere på en temperaturer lavere enn  $1200^\circ\text{C}$ , noe som fører til fravær av  $\text{NO}_x$ -dannelse. I motsetning til forbrenningsmotorer kan brenselceller, som bruker  $\text{NH}_3$ , konvertere kjemisk energi direkte til elektrisitet uten mellomtrinn. Dette reduserer energitap og øker den totale systemeffektiviteten.

Selv om brenselcelleteknologien fortsatt er i et utviklingsstadium og ikke kommersielt tilgjengelig, har forbrenningsmotorer gjennomgått betydelige utviklinger og er nylig blitt kommersielt tilgjengelig. Dette innebærer at forbrenningsmotoren sannsynligvis vil bli et mer dominerende alternativ i nær fremtid.

Med utgangspunkt i valgt fartøy, viser bærekraftsvurderingen at bruk av  $\text{NH}_3$ , som drivstoff i et BC-system, ikke er en optimal løsning for propulsjon. Dette skyldes hovedsakelig fartøyets høye drivstofforbruk over en arbeidssyklus. For at et SOFC-system skal kunne dekke effektbehovet til fartøyet, vil det kreve en så stor systemstørrelse at det overgår den tilgjengelige plassen ombord.

Konklusjonen av studiet er at  $\text{NH}_3$  er mer egnet som maritimt drivstoff i brenselceller enn i forbrenningsmotorer, sett fra et miljø- og effektivitetsperspektiv. For å kunne maksimere potensialet til  $\text{NH}_3$  som et grønt drivstoff, anbefales det at brenselcelleteknologien videreutvikles for bedre optimalisering og skalering.

## 7 Forslag til videre arbeid

Videre arbeid på denne oppgaven vil være en større økonomisk vurdering. For å forenkle rapporten er det ikke sett på hvor store totalkostnadene for en slik ombygging vil være. Det vil dermed være relevant å inkludere en vurdering av de totale økonomiske kostnadene tilknyttet ombygging av eksisterende skip for å kunne benytte  $\text{NH}_3$  som drivstoff. Dette inkluderer en analyse av hvordan en slik konstruksjon ville ha sett ut, hvor stor plass det hadde vært behov for samt kostnader for dette. Levetiden og prisen for de ulike komponentene er heller ikke vurdert. For en brenselcelle er det mange komponenter som blir påvirket under drift, og en mer detaljert vurdering kunne bidratt til å belyse potensielle utfordringer med systemet. Det er dermed nødvendig å analysere levetiden til brenselceller og andre kritiske komponenter, samt de langsiktige vedlikeholdskostnadene. Dette vil kunne bidra til en bedre forståelse av de potensielle tekniske utfordringene og totale kostnadene ved bruk av  $\text{NH}_3$  som drivstoff.

En mer detaljert og lengre operasjonssyklus ville også vært nyttig for å bedre belyse hvor relevant det er med alternative drivstoff til MGO. Et mer omfattende studie av driftssykluser i ulike årstider og driftsforhold kan også gi en mer nøyaktig representasjon av drivstoffbehov og drivstoffeffektivitet. Det kunne også vært hensiktsmessig å utvide studieomfanget og sammenligne flere typer fartøy for å undersøke om det finnes andre fartøystyper som er bedre egnet til å bruke  $\text{NH}_3$  som drivstoff. Dette inkluderer å evaluere forskjellige typer fartøy, deres energibehov og driftsprofiler for å identifisere de best egnede kandidatene for ammoniakksystemer.

Videre vil det være viktig å vurdere størrelsen på driftssystemene og om de kan tilpasses ulike typer fartøy. En dypere analyse av skalerbarheten til brenselcellesystemer og deres integrering i forskjellige skipsdesign er også avgjørende. En grundigere bærekraftsvurdering ville også bidratt til å bedre forstå hvor hensiktsmessig det er å benytte  $\text{NH}_3$  som drivstoff. Dette bør inkludere en livssyklusanalyse for å vurdere miljøpåvirkningen av  $\text{NH}_3$  fra produksjon til sluttbruk, samt en vurdering av samfunnsøkonomiske fordeler og ulemper.

## Litteraturliste

- [1] FN. *Parisavtalen*. URL: <https://fn.no/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (sjekket 16.05.2024).
- [2] Regjeringen.no. *Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent*. Publisher: regjeringen.no. 3. nov. 2022. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/> (sjekket 16.05.2024).
- [3] Regjeringen. «*Handlingsplan - Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart*». I: (). URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/2ccd2f4e14d44bc88c93ac4effe78b2f/handlingsplan-for-gronn-skipsfart.pdf>.
- [4] Statista. *Ammonia production by country 2023*. URL: <https://www.statista.com/statistics/1266244/global-ammonia-production-by-country/> (sjekket 07.02.2024).
- [5] European Environment Agency. *31. Acidification*. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/92-826-5409-5/page031new.html> (sjekket 07.02.2024).
- [6] SINTEF. *Ammoniakk*. URL: <https://www.sintef.no/fagomrader/hydrogen/ammoniakk/> (sjekket 22.02.2024).
- [7] Klimastiftelsen. *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*. 10. jun. 2020. URL: <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/ammoniakk-kan-kutte-store-utslipp-i-skipsfart/> (sjekket 23.02.2024).
- [8] Cecilia Gabriell. *Ammoniakk: Fra rengjøringsmiddel til maritimt drivstoff*. 29. jun. 2023. URL: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/ammoniakk-fra-rengjoringsmiddel-til-maritimt-drivstoff/> (sjekket 22.02.2024).
- [9] IEA. *Executive Summary – Ammonia Technology Roadmap – Analysis*. URL: <https://www.iea.org/reports/ammonia-technology-roadmap/executive-summary> (sjekket 07.02.2024).
- [10] Yara Norge. *Ammoniakk*. 28. mar. 2018. URL: <https://www.yara.no/kjemiske-og-miljomessige-losninger/prosesskjemikalier/ammoniakk/> (sjekket 07.02.2024).
- [11] Andrea Bærland. *Vil bygge verdens første ammoniakk-anlegg i Norge*. Section: Nyheter. 15. jul. 2021. URL: <https://www.finansavisen.no/nyheter/industri/2021/07/15/7705618/vil-bygge-verdens-forste-ammoniakk-anlegg-i-norge> (sjekket 07.02.2024).
- [12] Tore Stensvold. *Bestiller verdens første ammoniakkskip med ammoniakkmotor*. 20. okt. 2023. URL: <https://www.tu.no/artikler/bestiller-verdens-forste-ammoniakkskip-med-ammoniakkmotor/538479> (sjekket 07.02.2024).
- [13] Helgelands Blad Redaksjonen. *Vil ha forsyningsskip som går på ammoniakk*. Havpuls. 7. feb. 2024. URL: <https://havpuls.no/2024/nyheter/vil-ha-forsyningsskip-som-gar-pa-ammoniakk/> (sjekket 07.02.2024).
- [14] Per Wiggo Richardsen. *Ammoniakk drevet bulk skip*. Grønt Skipsfartsprogram. 8. feb. 2022. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/pilotprosjekt/ammoniakk-drevet-bulk-skip/> (sjekket 07.02.2024).

- [15] Håvard Nyhus. *Her kjem Europas første fabrikk for grøn ammoniakk*. NRK. Section: dk. 13. mar. 2023. URL: <https://www.nrk.no/vestland/her-kjem-europas-forste-fabrikk-for-gron-ammoniakk-1.16334234> (sjekket 07.02.2024).
- [16] Miljødepartementet. *Milliardstøtte til hydrogenprosjekter*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 17. des. 2021. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/milliardstotte-til-hydrogenprosjekter/id2892615/> (sjekket 29.04.2024).
- [17] Enova. *Barents Blue – Ammoniakkfabrikk nesten uten utslipp av klimagasser*. Enova. URL: <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/barents-blue/> (sjekket 16.05.2024).
- [18] Barbro Johanne Spillum. *Ammoniakkforgiftning*. I: *Store medisinske leksikon*. 6. jun. 2023. URL: <https://sml.snl.no/ammoniakkforgiftning> (sjekket 07.02.2024).
- [19] Karianne Laagstein (k\laagstein). *Gasslekkasje fra «Gadus Njord» ble stoppet etter flere forsøk*. Fiskeribladet — Nyheter om fiskeri og havbruk. Section: hendelser. 22. mar. 2022. URL: <https://www.fiskeribladet.no/hendelser/gasslekkasje-fra-gadus-njord-ble-stoppet-etter-flere-forsok/2-1-1188926> (sjekket 22.04.2024).
- [20] DNV. *Maritime Forecast to 2050 - DNV*. URL: <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-2023/> (sjekket 23.02.2024).
- [21] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. *Hydrogen og ammoniakk – hvilke krav gjelder?* URL: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/farlige-stoffer/informasjon/hydrogen-og-ammoniakk--hvilke-krav-gjelder/> (sjekket 18.03.2024).
- [22] DSB. *Viktig informasjon om storulykkeforskriften*. 2024. URL: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/andre-publikasjoner/viktig-informasjon-om-storulykkeforskriften/seveso-iii-direktivet/> (sjekket 21.04.2024).
- [23] Regjeringen. *Seveso III-direktivet, 2012*. 2024. URL: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2012/nov/seveso-iii-direktivet/id2432829/> (sjekket 21.04.2024).
- [24] Regjeringen. *Seveso III-direktivet, 2011*. 2024. URL: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2011/apr/seveso-iii-direktivet/id2431876/> (sjekket 21.04.2024).
- [25] Lovdata. *Forskrift om håndtering av farlig stoff*. 2024. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-06-08-602> (sjekket 21.04.2024).
- [26] DSB. *Veiledning til forskrift om håndtering av farlig stoff*. 2024. URL: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/farlige-stoffer/veiledning-til-forskriftene/veiledning-til-forskrift-om-handtering-av-brannfarlig-reaksjonsfarlig-og-trykksatt-stoff-samt-utstyr-og-anlegg-som-benyttes-ved-handteringen/alminnelige-bestemmelser/> (sjekket 21.04.2024).
- [27] Lovdata. *Forskrift om landtransport av farlig gods*. 2024. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-04-01-384> (sjekket 21.04.2024).
- [28] IMO. *Cutting sulphur oxide emissions*. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx> (sjekket 19.03.2024).

- [29] Jahn Petter Johnsen og Roger B. Larsen. *Trål*. I: *Store norske leksikon*. 8. apr. 2024. URL: <https://snl.no/tr%C3%A5l> (sjekket 10.04.2024).
- [30] Redaksjon Skipsrevyen. *Nergårds nyeste tråler er levert*. Section: nyheter. 31. jan. 2022. URL: <https://www.skipsrevyen.no/nergards-nyeste-traler-er-levert/361254> (sjekket 10.04.2024).
- [31] Fiskeri Direktoratet. *Seleksjonsinnretninger i fiskeredskaper Redskapstyper*. URL: <https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Tema/redskapshefte/Redskapshefte.pdf> (sjekket 10.04.2024).
- [32] Marine Insight. *A Guide To Marine Gas Oil and LSFO Used On Ships*. Marine Insight. 8. des. 2020. URL: <https://www.marineinsight.com/guidelines/a-guide-to-marine-gas-oil-and-lsfo-used-on-ships/> (sjekket 19.03.2024).
- [33] Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency. *Utslippsfaktorer i klimagassregnskap for Norge - Miljødirektoratet*. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimagasser-utslippstall-regnskap/utslippsfaktorer-klimagassregnskap/> (sjekket 19.03.2024).
- [34] Per K. Kofstad mfl. *Hydrogen*. I: *Store norske leksikon*. 4. jan. 2024. URL: <https://snl.no/hydrogen> (sjekket 15.02.2024).
- [35] Knut Hofstad. *Hydrogendrivstoff*. I: *Store norske leksikon*. 4. jan. 2024. URL: <https://snl.no/hydrogendrivstoff> (sjekket 15.02.2024).
- [36] MF «Hydra». Section: båtomtaler. 4. okt. 2021. URL: <https://www.skipsrevyen.no/mf-hydra/1094069> (sjekket 18.05.2024).
- [37] Sjøfartsdirektoratet. *Banebrytende og utslippsfri ferjetur*. URL: <https://www.sdir.no/aktuelt/nyheter/utslippsfri-og-historisk-ferjetur/> (sjekket 18.05.2024).
- [38] DNV. *Alternative Fuels Insight*. URL: <https://afi.dnv.com/statistics/16486173-4f14-4cc5-b9f6-f2f4b4c47a15> (sjekket 18.05.2024).
- [39] Alternative Fuels Data Center. *Methanol*. URL: [https://afdc.energy.gov/fuels/emerging\\_methanol.html](https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_methanol.html) (sjekket 15.02.2024).
- [40] Kirsten Å Øystese. *Grønnskipsfart: Fire grunner til at ammoniakk og metanol kan bli fremtidens drivstoff*. 25. feb. 2021. URL: <https://energiogklima.no/nyhet/gronn-skipsfart/gronnskipsfart-fire-grunner-til-at-ammoniakk-og-metanol-kan-bli-fremtidens-drivstoff> (sjekket 15.02.2024).
- [41] Erling Reinholdt Bernatek. *Metanol*. I: *Store norske leksikon*. 8. feb. 2024. URL: <https://snl.no/metanol> (sjekket 24.04.2024).
- [42] Seyed Shayan Tabibian og Mahdi Sharifzadeh. «Statistical and analytical investigation of methanol applications, production technologies, value-chain and economy with a special focus on renewable methanol». I: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 179 (1. jun. 2023), s. 113281. ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113281. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123001375> (sjekket 18.05.2024).
- [43] *MS «Stena Germanica»*. I: *Wikipedia*. Page Version ID: 24028749. 23. nov. 2023. URL: [https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=MS\\_%C2%ABStena\\_Germanica%C2%BB&oldid=24028749](https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=MS_%C2%ABStena_Germanica%C2%BB&oldid=24028749) (sjekket 18.05.2024).

- [44] Skipsrevyen. *Stena Line med verdens første metanolfartøy*. Section: nyheter. 31. mar. 2015. URL: <https://www.skipsrevyen.no/aktuelt-carl-johan-hagman-dual-fuel/stena-line-med-verdens-forste-metanolfartoy/679541> (sjekket 18.05.2024).
- [45] Bureau Veritas. *Methanol as fuel — Bureau Veritas Marine & Offshore*. URL: <https://marine-offshore.bureauveritas.com/inside-look-methanol-fuel> (sjekket 18.05.2024).
- [46] Knut Hofstad og Inga Baadshaug Eide. *LNG*. I: *Store norske leksikon*. 12. feb. 2024. URL: <https://snl.no/LNG> (sjekket 24.04.2024).
- [47] Barents Naturgass. *Fakta om Naturgass og LNG fra Barents NaturGass*. 6. apr. 2017. URL: <https://barentsnaturgass.no/naturgass/> (sjekket 25.04.2024).
- [48] SINTEF. *LNG flytendegjort naturgass*. URL: <https://www.sintef.no/ekspertise/sintef-energi/lng-flytendegjort-naturgass/> (sjekket 26.04.2024).
- [49] Energy - European Commission. *Liquefied natural gas*. URL: [https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/liquefied-natural-gas\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/carbon-management-and-fossil-fuels/liquefied-natural-gas_en) (sjekket 26.04.2024).
- [50] Skipsrevyen. *M/S «HØYDAL»*. Section: båtomtaler. 23. nov. 2012. URL: <https://www.skipsrevyen.no/ms-hoydal/1106421> (sjekket 18.05.2024).
- [51] *Technologies*. URL: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/technologies/> (sjekket 18.05.2024).
- [52] DNV. *Why LNG as fuel*. URL: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/lng-as-marine-fuel/> (sjekket 18.05.2024).
- [53] Knut Hofstad. *LPG*. I: *Store norske leksikon*. 12. feb. 2024. URL: <https://snl.no/LPG> (sjekket 26.04.2024).
- [54] Drivkraft Norge. *Liquified Petroleum Gas Liquified Petroleum Gas*. URL: <https://www.drivkraftnorge.no/Drivstoff-og-energi/gass/> (sjekket 26.04.2024).
- [55] *Dual fuel conversions for two-stroke engines*. MAN Energy Solutions. URL: <https://www.man-es.com/services/new-service-solutions/retrofit-upgrade/dual-fuel-conversion-for-marine/two-stroke-engines> (sjekket 18.05.2024).
- [56] *World's first two-stroke, LPG-powered vessel converted for BW LPG*. Riviera. URL: <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/worlds-first-two-stroke-lpg-powered-vessel-converted-for-bw-lpg-61459> (sjekket 18.05.2024).
- [57] Knut Hofstad. *Ammoniakk – energibærer*. I: *Store norske leksikon*. 4. jan. 2024. URL: [https://snl.no/ammoniakk\\_-\\_energib%C3%A6rer](https://snl.no/ammoniakk_-_energib%C3%A6rer) (sjekket 08.02.2024).
- [58] Borghild Vårli Håland. «NOx-dannelse nær varme flater». Accepted: 2017-09-15T14:00:43Z. Master thesis. NTNU, 2017. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2454910> (sjekket 15.04.2024).
- [59] European Maritime Safety Agency. *Potential of Ammonia as Fuel in Shipping*. URL: <https://ema.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4833-potential-of-ammonia-as-fuel-in-shipping.html> (sjekket 19.03.2024).

- [60] CF industries. *Ammonia*. URL: <https://www.cfindustries.com/products/ammonia> (sjekket 23.04.2024).
- [61] Arif Darmawan mfl. «Chapter 5 - Integrated ammonia production from the empty fruit bunch». I: *Innovative Energy Conversion from Biomass Waste*. Red. av Arif Darmawan og Muhammad Aziz. Elsevier, 2022, s. 149–185. ISBN: 978-0-323-85477-1. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85477-1.00006-3>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323854771000063> (sjekket 09.02.2024).
- [62] Ghassan Chehade og Ibrahim Dincer. «Progress in green ammonia production as potential carbon-free fuel». I: *Fuel* 299 (1. sep. 2021), s. 120845. ISSN: 0016-2361. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120845. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236121007225> (sjekket 09.02.2024).
- [63] Linde Engineering. *Nitrogen Generation by PSA*. URL: <https://www.linde-engineering.com/en/process-plants/adsorption-and-membrane-plants/nitrogen-generation-by-pressure-swing-adsorption/index.html> (sjekket 23.04.2024).
- [64] Atlas Copco. *Generating Nitrogen with Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology - Atlas Copco Norway*. URL: <https://www.atlascopco.com/nb-no/compressors/wiki/compressed-air-articles/pressure-swing-adsorption-generator> (sjekket 23.04.2024).
- [65] Ammonia Energy Association. *Lower Pressure Ammonia Synthesis*. 1. nov. 2017. URL: <https://ammoniaenergy.org/presentations/lower-pressure-ammonia-synthesis/> (sjekket 19.05.2024).
- [66] Carina Nilstun. *Effektivitet*. I: *Store norske leksikon*. 22. aug. 2023. URL: <https://snl.no/effektivitet> (sjekket 19.05.2024).
- [67] Bjørn Pedersen og Einar Uggerud. *Reaksjonsfart*. I: *Store norske leksikon*. 29. feb. 2024. URL: <https://snl.no/reaksjonsfart> (sjekket 19.05.2024).
- [68] Knut Hofstad og Ulf Blindheim. *Syntesegass*. I: *Store norske leksikon*. 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/syntesegass> (sjekket 19.05.2024).
- [69] Collin Smith, Alfred K.Hill og Laura Torrente-Murciano. «Current and future role of Haber–Bosch ammonia in a carbon-free energy landscape». I: *Energy & Environmental Science* 13.2 (2020). Publisher: Royal Society of Chemistry, s. 331–344. DOI: 10.1039/C9EE02873K. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ee/c9ee02873k> (sjekket 19.05.2024).
- [70] Xingzhu Chen mfl. «Photocatalytic fixation of nitrogen to ammonia: state-of-the-art advancements and future prospects». I: *Materials Horizons* 5.1 (2018). Publisher: Royal Society of Chemistry, s. 9–27. DOI: 10.1039/C7MH00557A. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/mh/c7mh00557a> (sjekket 19.05.2024).
- [71] NH3 Fuel Association. *Design of Iron-Nickel Nanocatalysts for Low-Temperature Electrochemical Ammonia Generation*. NH3 Fuel Association. Section: Conference Paper. 2. okt. 2017. URL: <https://nh3fuelassociation.org/2017/10/01/design-of-iron-nickel-nanocatalysts-for-low-temperature-electrochemical-ammonia-generation/> (sjekket 19.05.2024).



- [72] John Humphreys og Shanwen Tao. *Advancements in Green Ammonia Production and Utilisation Technologies*. Publisher: Johnson Matthey. 1. jan. 2024. DOI: 10.1595/205651324X16946999404542. URL: [https://www.ingentaconnect.com/content/matthey/jmtr/pre-prints/content-jm\\_jmtr\\_taoshapr24#](https://www.ingentaconnect.com/content/matthey/jmtr/pre-prints/content-jm_jmtr_taoshapr24#) (sjekket 14.02.2024).
- [73] Energy Environmental Science. «The Haber-Bosch process and the development of new catalysts». I: (2024). URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/ee/c3ee43099e> (sjekket 19.05.2024).
- [74] Global Maritime Forum. *Ammonia as a shipping fuel*. URL: <https://www.globalmaritimeforum.org/news/ammonia-as-a-shipping-fuel> (sjekket 19.05.2024).
- [75] Prosjektbanken - Forskningsrådet. *MaritimeNH3 - Enabling implementation of ammonia as maritime fuel*. URL: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/328679> (sjekket 01.03.2024).
- [76] SINTEF. *MaritimeNH3 - Enabling implementation of ammonia as a maritime fuel*. 24. mar. 2022. URL: <https://www.sintef.no/en/projects/2021/maritimenh3-enabling-implementation-of-ammonia-as-a-maritime-fuel/> (sjekket 19.05.2024).
- [77] IMO. *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx> (sjekket 19.05.2024).
- [78] Per Wiggo Richardsen. *Havgående tråler med ammoniakk som drivstoff*. Grønt Skipsfartsprogram. 10. feb. 2022. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/pilotprosjekt/havgaaende-traler-med-ammoniakk-som-drivstoff/> (sjekket 01.03.2024).
- [79] Health and Safety Executive. *Corrosion / selection of materials*. URL: <https://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeasmaterial.htm> (sjekket 19.05.2024).
- [80] Per Wiggo Richardsen. *6. februar 2024: Sikkerhet ved bruk av ammoniakk som drivstoff*. Grønt Skipsfartsprogram. 19. jan. 2024. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/nyhet/6-februar-sikkerhet-ved-bruk-av-ammoniakk-som-drivstoff/> (sjekket 18.05.2024).
- [81] American Petroleum Institute (API). *Tank Systems for Refrigerated Liquefied Gas Storage*. API Standard 625. Available at: [https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2024/01/International-PtX-Hub\\_202401\\_Ammonia-transport-and-storage.pdf](https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2024/01/International-PtX-Hub_202401_Ammonia-transport-and-storage.pdf). Year of Publication.
- [82] Rutger Botermans og Peter Smith. «CHAPTER 6 - Tanks». I: *Advanced Piping Design*. Red. av Rutger Botermans og Peter Smith. Gulf Publishing Company, 1. jan. 2008, s. 135–163. ISBN: 978-1-933762-18-0. DOI: 10.1016/B978-1-933762-18-0.50014-3. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781933762180500143> (sjekket 19.05.2024).
- [83] Young-IL Park, Jin-Seong Cho og Jeong-Hwan Kim. «Structural Integrity Assessment of Independent Type-C Cylindrical Tanks Using Finite Element Analysis: Comparative Study Using Stainless Steel and Aluminum Alloy». I: *Metals* 11.10 (okt. 2021). Number: 10 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, s. 1632. ISSN: 2075-4701. DOI: 10.3390/met11101632. URL: <https://www.mdpi.com/2075-4701/11/10/1632> (sjekket 09.04.2024).

- [84] Saeid Mokhatab mfl. «Chapter 1 - LNG Fundamentals». I: *Handbook of Liquefied Natural Gas*. Boston: Gulf Professional Publishing, 1. jan. 2014, s. 1–106. ISBN: 978-0-12-404585-9. DOI: 10.1016/B978-0-12-404585-9.00001-5. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124045859000015> (sjekket 09.04.2024).
- [85] Raghava Nayak Venkat Pattabathula og Don Timbres. *Ammonia Storage Tanks – AmmoniaKnowHow*. URL: <https://ammoniaknowhow.com/ammonia-storage-tanks/> (sjekket 19.05.2024).
- [86] DNV. *Comparison of Alternative Marine Fuels*. 2019. URL: [https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/09/SEA-LNG-DNV-GL-Comparison-of-Alternative-Marine-Fuels-2019\\_09.pdf](https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/09/SEA-LNG-DNV-GL-Comparison-of-Alternative-Marine-Fuels-2019_09.pdf) (sjekket 19.05.2024).
- [87] Knut Hofstad. *Flytende drivstoff*. I: *Store norske leksikon*. 12. feb. 2024. URL: [https://snl.no/flytende\\_drivstoff](https://snl.no/flytende_drivstoff) (sjekket 09.04.2024).
- [88] European Maritime Safety Agency. *Potential of Ammonia as Fuel in Shipping*. URL: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4833-potential-of-ammonia-as-fuel-in-shipping.html> (sjekket 15.02.2024).
- [89] SINTEF. *Hydrogen som energilager*. URL: <https://www.sintef.no/fagomrader/hydrogen/hydrogen-som-energilager/> (sjekket 29.04.2024).
- [90] SINTEF. *Elektriske og hybride kraftsystemer for skip*. URL: <https://www.sintef.no/ekspertise/sintef-energi/elektriske-og-hybride-kraftsystemer-for-skip/> (sjekket 30.04.2024).
- [91] Olve Mo. *Hvorfor installere batterier på skip?* SINTEFblogg. 12. mar. 2019. URL: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/hvorfor-installere-batterier-pa-skip/> (sjekket 15.04.2024).
- [92] Corvus Energy. *Why Energy Storage*. URL: <https://corvusenergy.com/experience/why-battery/> (sjekket 13.05.2024).
- [93] Ingri Marie Saure og Mari Wolff Nedberge. «Batteri i offshoreskip : en investeringsanalyse av batteriinstallasjon i offshoreskip». Accepted: 2020-09-22T08:51:55Z. Master thesis. 2020. URL: <https://openaccess.nhh.no/nhh-xmlui/handle/11250/2678950> (sjekket 15.02.2024).
- [94] Olve Mo. *What's the point of installing batteries on marine vessels if the batteries are charged by electricity from their diesel generators?* SINTEF. 12. mar. 2019. URL: <https://blog.sintef.com/sintefenergy/why-install-batteries-on-ships/> (sjekket 13.05.2024).
- [95] Maritime Clean Tech. *Mulighetsstudie, Sirkulærøkonomi for batterier i maritim næring*. I: 6. jan. 2022. URL: <https://maritimecleantech.no/wp-content/uploads/2022/06/Mulighetsstudie-Sirkulaer-okonomi-for-batterier-i-maritim-naering.pdf> (sjekket 15.02.2024).
- [96] Sjøfartsdirektoratet. *Nullutslipp i verdensarvfjordene fra 2026*. URL: <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/utslipp-fra-skip/nullutslipp-i-verdensarvfjordene-fra-2026/> (sjekket 22.02.2024).
- [97] Trygve Holtebekk, Bjørn Pedersen og Geir Martin Haarberg. *Brenselcelle*. I: *Store norske leksikon*. 8. feb. 2024. URL: <https://snl.no/brenselcelle> (sjekket 23.02.2024).

- [98] Petronilla Fragiaco og Matteo Genovese. «Modeling and energy demand analysis of a scalable green hydrogen production system». I: *International Journal of Hydrogen Energy* 44.57 (15. nov. 2019), s. 30237–30255. ISSN: 0360-3199. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.09.186. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919336341> (sjekket 14.11.2023).
- [99] Inge Madshaven. *Batterier er mer enn kun energilagring*. 20. des. 2023. URL: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/batterier-er-mer-enn-kun-energilagring/> (sjekket 15.05.2024).
- [100] Shanglong Huang mfl. «Coupling impacts of SOFC operating temperature and fuel utilization on system net efficiency in natural gas hybrid SOFC/GT system». I: *Case Studies in Thermal Engineering* 31 (1. mar. 2022), s. 101868. ISSN: 2214-157X. DOI: 10.1016/j.csite.2022.101868. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X22001149> (sjekket 15.04.2024).
- [101] Ammonia Energy. *Ammonia Fuel Cells: SOFC stack test and system analysis – Ammonia Energy Association*. URL: <https://www.ammoniaenergy.org/articles/ammonia-fuel-cells-sofc-stack-test-and-system-analysis/> (sjekket 14.02.2024).
- [102] Seongkook Oh mfl. «A comprehensive investigation of direct ammonia-fueled thin-film solid-oxide fuel cells: Performance, limitation, and prospects». I: *iScience* 25.9 (24. aug. 2022), s. 105009. ISSN: 2589-0042. DOI: 10.1016/j.isci.2022.105009. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9464968/> (sjekket 07.02.2024).
- [103] Georgina Jeerh, Mengfei Zhang og Shanwen Tao. «Recent progress in ammonia fuel cells and their potential applications». I: *Journal of Materials Chemistry A* 9 (14. jan. 2021). DOI: 10.1039/D0TA08810B. (Sjekket 02.03.2024).
- [104] Energy.gov. *Comparison of Fuel Cell Technologies*. URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies> (sjekket 24.04.2024).
- [105] Ammonia Energy Association. *Ammonia for Fuel Cells: a literature review*. URL: <https://www.ammoniaenergy.org/articles/ammonia-for-fuel-cells-a-literature-review/> (sjekket 07.02.2024).
- [106] *PEM-brenselcelle*. I: *Wikipedia*. Page Version ID: 21468487. 28. apr. 2021. URL: <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=PEM-brenselcelle&oldid=21468487> (sjekket 07.11.2023).
- [107] Danfoss. *Hva er en frekvensomformer?* URL: <https://www.danfoss.com/nb-no/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/> (sjekket 23.02.2024).
- [108] Jakob Sandstad og Øyvind Grøn. *Vekselstrøm*. I: *Store norske leksikon*. 4. jan. 2024. URL: <https://snl.no/vekselstr%C3%B8m> (sjekket 15.04.2024).
- [109] Johannes Skaar. *Likestrøm*. I: *Store norske leksikon*. 23. aug. 2023. URL: <https://snl.no/likestr%C3%B8m> (sjekket 15.04.2024).
- [110] Tore Stensvold. *Så mye drivstoff kan skip spare på å sette inn batterier*. Tu.no. 7. mai 2015. URL: <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-drivstoff-kan-skip-spare-pa-a-sette-inn-batterier/223379> (sjekket 15.04.2024).

- [111] Øystein Hestad. *Hybridkabel enkelt forklart*. 27. apr. 2022. URL: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/hybridkabel-enkelt-forklart/> (sjekket 17.04.2024).
- [112] Kyunghwa Kim mfl. «DC-grid system for ships: a study of benefits and technical considerations». I: *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping* 2.1 (14. nov. 2018). Publisher: Taylor & Francis \_eprint: <https://doi.org/10.1080/25725084.2018.1490239>, s. 1–12. ISSN: null. DOI: 10.1080/25725084.2018.1490239. URL: <https://doi.org/10.1080/25725084.2018.1490239> (sjekket 17.04.2024).
- [113] Wartsila.com. *DC or not DC, that is the question*. URL: <https://www.wartsila.com/insights/article/dc-or-not-dc-that-is-the-question> (sjekket 17.04.2024).
- [114] Arthur Sarsten og Geir O. Fiskaa. *Forbrenningsmotor*. I: *Store norske leksikon*. 4. jan. 2024. URL: <https://snl.no/forbrenningsmotor> (sjekket 14.02.2024).
- [115] StudySmarter UK. *Two Stroke Diesel Engine: Advantages & Cycle Differences*. URL: <https://www.studysmarter.co.uk/explanations/engineering/engineering-thermodynamics/two-stroke-diesel-engine/> (sjekket 25.04.2024).
- [116] European Commission. *Chapter 5 - Engines and Machinery Load and Utilisation Management*. URL: <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/779e2aa3-48d0-4817-bff8-9f0bf2e8f294/Chapter%205%20-%20Engines%20and%20Machinery%20Load%20and%20Utilisation%20Management.pdf> (sjekket 22.02.2024).
- [117] Equinor. *CCS: Karbonfangst og -lagring — Slik kan vi oppnå netto null*. URL: <https://www.equinor.com/no/energi/karbonfangst-utnyttelse-og-lagring> (sjekket 14.02.2024).
- [118] *Sikker lagring av CO<sub>2</sub>*. Gassnova. 23. jan. 2023. URL: <https://gassnova.no/nyheter/sikker-lagring-av-co2> (sjekket 14.02.2024).
- [119] IEA. *Carbon Capture, Utilisation and Storage - Energy System*. URL: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage> (sjekket 16.05.2024).
- [120] Offshore Norge. *Hybrid Power Systems for Ships*. 2021. URL: <https://www.offshorenorge.no/contentassets/0e45c45e5e72401b92c6d05d389650fb/systemvirkninger-og-naringsperspektiver-ved-hydrogen-thema-consulting-group-2019.pdf> (sjekket 21.04.2024).
- [121] SINTEF. *CCShip - Implementering av karbonfangst og lagring for skip for å muliggjøre maritim CO<sub>2</sub>-utslippsreduksjon*. 7. mai 2021. URL: <https://www.sintef.no/prosjekter/2021/ccship-implementering-av-karbonfangst-og-lagring-for-skip-for-a-muliggjore-maritim-co2-utslippsreduksjon/> (sjekket 15.02.2024).
- [122] Sustainable Ships. *Marine Exhaust Gas Heat Recovery Systems*. URL: <https://www.sustainable-ships.org/stories/2023/exhaust-gas-heat-recovery> (sjekket 25.04.2024).
- [123] Olga Nekhamkina Moshe Sheintuch og Leonid Tartakovsky. *Estimation of the Feasibility of Heat Recuperation from an Internal Combustion Engine by Steam Reforming or by Decomposition of the Fuel*. 1. aug. 2023. URL: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acseengineeringau.3c00007> (sjekket 21.04.2024).

- [124] Bjørn Pedersen. *Varmeveksler*. I: *Store norske leksikon*. 25. jan. 2023. URL: <https://snl.no/varm-eveksler> (sjekket 01.03.2024).
- [125] Anish Wankhede. *Types of Heat Exchangers Used on Ship*. Marine Insight. 3. jul. 2021. URL: <https://www.marineinsight.com/refrigeration-air-conditioning/types-of-heat-exchangers-on-a-ship/> (sjekket 01.03.2024).
- [126] KaranC. *How to do Maintenance of Marine Heat Exchangers on Ships?* Marine Insight. 23. apr. 2021. URL: <https://www.marineinsight.com/guidelines/how-to-do-maintenance-of-marine-heat-exchangers-on-ships/> (sjekket 19.05.2024).
- [127] Marine Insight. *Types of Heat Exchangers on a Ship*. 3. jul. 2021. URL: <https://www.marineinsight.com/refrigeration-air-conditioning/types-of-heat-exchangers-on-a-ship/> (sjekket 16.05.2024).
- [128] Kinetic Engineering Corporation. *Shell and Tube Heat Exchangers: Best Choice For Liquid-Cooled Oil Coolers*. Medium. 15. nov. 2022. URL: <https://medium.com/@kineticengineeringcorporation/shell-and-tube-heat-exchangers-best-choice-for-liquid-cooled-oil-coolers-43c48c7c07c0> (sjekket 19.05.2024).
- [129] Ali Ebadi mfl. «Thermoeconomic analysis of combined steam and organic Rankine cycle with primary mover of Allam cycle». I: *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 13.1 (1. mar. 2022), s. 231–239. ISSN: 2251-6832. DOI: 10.1007/s40095-021-00434-9. URL: <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00434-9> (sjekket 19.03.2024).
- [130] P Colonna di Paliano mfl. «Organic Rankine Cycle Power Systems: From the Concept to Current Technology, Applications, and an Outlook to the Future». I: *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* (2015). DOI: 10.1115/1.4029884. URL: [https://pure.tudelft.nl/ws/files/45279342/ORC\\_PowerSystems\\_past\\_and\\_future.pdf](https://pure.tudelft.nl/ws/files/45279342/ORC_PowerSystems_past_and_future.pdf) (sjekket 15.05.2024).
- [131] Physicspages. *Steam engines - The rankine cycle*. 2021. URL: <https://physicspages.com/pdf/Thermal%20physics/Steam%20engines%20-%20the%20Rankine%20cycle.pdf> (sjekket 15.05.2024).
- [132] Exergy. *ORC System: Organic Rankine Cycle — Exergy ORC*. URL: <https://www.exergy-orc.com/technology/orc/> (sjekket 19.05.2024).
- [133] NOx Fondet. *Hva er NOx?* URL: <https://www.noxfondet.no/artikler/hva-er-nox/> (sjekket 01.03.2024).
- [134] Christine Forsetlund Solbakken og NILU-Norsk institutt for luftforskning. *Økende lystgassutslipp setter klimamålene i fare*. Section: miljø. 7. okt. 2020. URL: <https://www.forskning.no/co2-gass-klimate/okende-lystgassutslipp-setter-klimate-malene-i-fare/1752824> (sjekket 29.02.2024).
- [135] Bjørn Pedersen, Einar Uggerud og Einar Skarstad Egeland. *Svoveldioksid*. I: *Store norske leksikon*. 21. jul. 2023. URL: <https://snl.no/svoveldioksid> (sjekket 18.05.2024).
- [136] Bjørn Pedersen og Einar Skarstad Egeland. *svovelsyre*. I: *Store norske leksikon*. 13. jul. 2023. URL: <https://snl.no/svovelsyre> (sjekket 18.05.2024).
- [137] Sjøfartsdirektoratet. *SOx - svoveloksider*. URL: <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/utslipp-fra-skip/utslipp-til-luft2/sox---svoveloksider/> (sjekket 18.05.2024).

- [138] Sodir. *CO<sub>2</sub>-avgift*. URL: <https://www.sodir.no/regelverk/rapportering/co2-avgift/> (sjekket 01.05.2024).
- [139] Skatteetaten. *Avgift på mineralske produkter*. URL: <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/mineralske-produkter/> (sjekket 01.05.2024).
- [140] Finansdepartementet. *Avgiftssatser 2024*. Publisher: regjeringen.no. 20. des. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/avgiftssatser-2024/id2997383/> (sjekket 18.04.2024).
- [141] Finansdepartementet. *Forslag om avgiftsfritak for karbonfangst og lagring (CCS) sendes på høring*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 8. jun. 2022. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/forslag-om-avgiftsfritak-for-karbonfangst-og-lagring-ccs-sendes-pa-horing/id2917901/> (sjekket 19.05.2024).
- [142] FN. *Bærekraftig utvikling*. URL: <https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling> (sjekket 07.03.2024).
- [143] FN. *FNs bærekraftsmål*. URL: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (sjekket 01.05.2024).
- [144] Ammonia Energy Association. *Ammonia as a Renewable Fuel for the Maritime Industry*. 19. jul. 2018. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/ammonia-as-a-renewable-fuel-for-the-maritime-industry/> (sjekket 19.05.2024).
- [145] Grøntskipsfartsprogram. *Ammoniakkdrevet-traler-Leroy.pdf*. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2023/06/Ammoniakkdrevet-traler-Leroy.pdf> (sjekket 07.02.2024).
- [146] Eirik Tjørstad Isabell Haug Johannes Sunde. (+) *Finner ikke løsning på dilemma: – Har ingen gode alternativer*. 1. jan. 2024. URL: <https://www.smp.no/naeringsliv/i/Xb0Adm/fiskebaater-i-utslippsklemme> (sjekket 16.05.2024).
- [147] Lerøy Havfisk. *Kongsfjord*. URL: <https://www.havfisk.no/finnmark-havfisk-as/kongsfjord> (sjekket 23.04.2024).
- [148] Tobias Myklebust. Personlig kommunikasjon. Basert på informasjon gitt fra kontakt fra mannskap. Apr. 2024.
- [149] Hongpu Xia Chalermkiat Nuchturee Tie Li. *Energy efficiency of integrated electric propulsion for ships – A review - ScienceDirect*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120304366> (sjekket 23.02.2024).
- [150] Cinzia Tornatore mfl. «Ammonia as Green Fuel in Internal Combustion Engines: State-of-the-Art and Future Perspectives». I: *Frontiers in Mechanical Engineering* 8 (2022). ISSN: 2297-3079. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmech.2022.944201> (sjekket 22.02.2024).
- [151] Charles Lhuillier mfl. «Performance and Emissions of an Ammonia-Fueled SI Engine with Hydrogen Enrichment». I: *14th International Conference on Engines & Vehicles*. Capri, Italy, sep. 2019. DOI: 10.4271/2019-24-0137. URL: <https://hal.science/hal-02322439> (sjekket 22.02.2024).

- [152] C. Zamfirescu og I. Dincer. «Using ammonia as a sustainable fuel». I: *Journal of Power Sources* 185.1 (15. okt. 2008), s. 459–465. ISSN: 0378-7753. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2008.02.097. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775308004461> (sjekket 22.02.2024).
- [153] Science Direct. *Performance assesment of hydrogen and ammonia combustion with various fuels for power generators*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319918327915/#sec4> (sjekket 22.02.2024).
- [154] Hiroyasu Kifune, Mehdi Karbalaye Zadhe og Hidetsugu Sasaki. «Efficiency Estimation of Synchronous Generators for Marine Applications and Verification With Shop Trial Data and Real Ship Operation Data». I: *IEEE Access* 8 (2020). Conference Name: IEEE Access, s. 195541–195550. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3033404. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9237928> (sjekket 22.02.2024).
- [155] Wilfredo Yutuc. «An Investigation on the Overall Efficiency of a Ship with Shaft Generator Using an Engine Room Simulator». I: *Advancement in Emerging Technologies and Engineering Applications*. Red. av Chun Lin Saw mfl. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Singapore: Springer, 2020, s. 255–265. ISBN: 9789811500022. DOI: 10.1007/978-981-15-0002-2\_26. (Sjekket 22.02.2024).
- [156] Ricardo Fagundes Bastos, David Alves Castelo Branco og Maurício Cardoso Arouca. «Potential of diesel electric system for fuel saving in fishing vessels: a case study on a bottom longline fleet of Brazil». I: *Journal of Marine Engineering & Technology* 20.1 (1. jan. 2021). Publisher: Taylor & Francis. eprint: <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1507445>, s. 1–16. ISSN: 2046-4177. DOI: 10.1080/20464177.2018.1507445. URL: <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1507445> (sjekket 23.02.2024).
- [157] Science Direct. *Relative Rotative Efficiency - an overview*. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/relative-rotative-efficiency> (sjekket 04.04.2024).
- [158] Apostolos Papanikolaou. «Selection of Main Dimensions and Calculation of Basic Ship Design Values». I: *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Red. av Apostolos Papanikolaou. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014, s. 69–292. ISBN: 978-94-017-8751-2. DOI: 10.1007/978-94-017-8751-2\_2. URL: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8751-2_2) (sjekket 23.02.2024).
- [159] IDTechEx. *Fuel Cell Boats & Ships 2023-2033: PEMFC, SOFC, Hydrogen, Ammonia, LNG*. 25. nov. 2022. ISBN: 978-1-915514-35-6. URL: <https://www.idtechex.com/en/research-report/fuel-cell-boats-and-ships-2023-2033-pemfc-sofc-hydrogen-ammonia-lng/907> (sjekket 01.03.2024).
- [160] Srujan Gubbi mfl. «Evaluation of Minimum NO<sub>x</sub> Emission From Ammonia Combustion». I: *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 146.31023 (3. jan. 2024). ISSN: 0742-4795. DOI: 10.1115/1.4064219. URL: <https://doi.org/10.1115/1.4064219> (sjekket 30.04.2024).
- [161] Erik Fridell, Hulda Winnes og Veronica Eklund. *Emission factors for shipping in scenarios*. 2020. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-9020> (sjekket 30.04.2024).

- [162] SSB. *Emission factors used in the estimations of emissions from combustion*. URL: [https://www.ssb.no/\\_attachment/288060/?fbclid=IwZXh0bgNhZWQCMTAAR0Q8aveuqxZ\\_ZG80aHS17egbMquOGSDtreB6al3pgdJTg4bkhUM4GsotM4\\_aem\\_ARACXWUthiuWjvmu5FHq9ruRvB84iE94Kw1fKxu1XZ7J4rRR4-9T6tCYQaf3oD-BS36byv\\_kzZtx0NGa9Qna70d](https://www.ssb.no/_attachment/288060/?fbclid=IwZXh0bgNhZWQCMTAAR0Q8aveuqxZ_ZG80aHS17egbMquOGSDtreB6al3pgdJTg4bkhUM4GsotM4_aem_ARACXWUthiuWjvmu5FHq9ruRvB84iE94Kw1fKxu1XZ7J4rRR4-9T6tCYQaf3oD-BS36byv_kzZtx0NGa9Qna70d) (sjekket 30.04.2024).
- [163] The Norwegian Tax Administration. *NOx tax*. URL: <https://www.skatteetaten.no/en/business-and-organisation/vat-and-duties/excise-duties/about-the-excise-duties/nox/> (sjekket 04.04.2024).
- [164] Enova. *Prisforutsetninger*. URL: <https://www.enova.no/om-enova/drift/prisforutsetninger-for-soknader/> (sjekket 07.03.2024).
- [165] Elizabeth Lindstad mfl. «Reduction of maritime GHG emissions and the potential role of E-fuels». I: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 101 (1. des. 2021), s. 103075. ISSN: 1361-9209. DOI: 10.1016/j.trd.2021.103075. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921003722> (sjekket 07.03.2024).
- [166] DNB. *Valutakalkulator*. URL: <https://www.dnb.no/markets/valuta-og-renter/valutakalkulator> (sjekket 25.04.2024).
- [167] Bunker Oil. *MGO*. URL: <https://www.bunkeroil.no/no/kategori/mgo> (sjekket 01.05.2024).
- [168] Cinzia Tornatore mfl. «Ammonia as Green Fuel in Internal Combustion Engines: State-of-the-Art and Future Perspectives». I: *Frontiers in Mechanical Engineering* 8 (22. jul. 2022). Publisher: Frontiers. ISSN: 2297-3079. DOI: 10.3389/fmech.2022.944201. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmech.2022.944201> (sjekket 03.04.2024).
- [169] DNV. *Ammonia as a marine fuel*. URL: <https://www.dnv.com/publications/ammonia-as-a-marine-fuel-191385/> (sjekket 09.05.2024).
- [170] *Hva er gjennomsnittlig strømforbruk i husholdningene?* SSB. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/artikler/hva-er-gjennomsnittlig-stromforbruk-i-husholdningene> (sjekket 14.05.2024).
- [171] Christian Baekmark Schiolborg. *Life Cycle Assessment (LCA) of Ammonia as an alternative marine fuel*. URL: <https://www.bimco.org/insights-and-information/safety-security-environment/20231219-ammonia> (sjekket 13.05.2024).
- [172] Bugra Arda Zincir og Yasin Arslanoglu. «Comparative Life Cycle Assessment of Alternative Marine Fuels». I: *Fuel* 358 (15. feb. 2024), s. 129995. ISSN: 0016-2361. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129995. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236123026091> (sjekket 13.05.2024).
- [173] E24. *Regjeringen vil øke CO2-avgiften kraftig*. 12. okt. 2021. URL: <https://e24.no/i/dnkVyJ> (sjekket 07.03.2024).
- [174] NOx Fondet. *Forventet kraftig økning i innbetalingsattsene*. 23. okt. 2023. URL: <https://www.noxfondet.no/nyheter/forventet-kraftig-okning-i-innbetalingsattsene/> (sjekket 06.05.2024).



- [175] Guillermo de la Hera mfl. «Flexible Green Ammonia Production Plants: Small-Scale Simulations Based on Energy Aspects». I: *Environments* 11.4 (2024). ISSN: 2076-3298. DOI: 10.3390/environments11040071. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3298/11/4/71>.
- [176] Office of the Prime Minister. *A greener industrial initiative for Norway*. Government.no. Publisher: regjeringen.no. 28. sep. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/a-greener-industrial-initiative-for-norway/id2996148/> (sjekket 20.05.2024).
- [177] Boreum Lee mfl. «Pathways to a Green Ammonia Future». I: *ACS Energy Letters* 7.9 (2022). .eprint: <https://doi.org/10.1021/acsendergylett.2c01615>, s. 3032–3038. DOI: 10.1021/acsendergylett.2c01615. URL: <https://doi.org/10.1021/acsendergylett.2c01615>.
- [178] MAN Energy Solutions. *Shipbuilding Projects with Ammonia Engines Firm Up*. URL: <https://www.man-es.com/company/press-releases/press-details/2024/04/11/shipbuilding-projects-with-ammonia-engines-firm-up> (sjekket 07.05.2024).
- [179] Wartsila. *Wärtsilä continues to set the pace for marine decarbonisation with launch of world-first 4-stroke engine-based ammonia solution*. URL: <https://www.wartsila.com/media/news/15-11-2023-wartsila-continues-to-set-the-pace-for-marine-decarbonisation-with-launch-of-world-first-4-stroke-engine-based-ammonia-solution-3357985> (sjekket 07.05.2024).
- [180] ShipFC. *The ShipFC project*. URL: <https://shipfc.eu/about/> (sjekket 22.04.2024).
- [181] Redaksjon Skipsrevyen. *Gjennombrudd innen ammoniakk brenselceller*. Section: nyheter. 3. jul. 2023. URL: <https://www.skipsrevyen.no/alma-clean-power-ammoniakk-brenselcelle/gjennombrudd-innen-ammoniakk-brenselceller-veldig-stolt/1540515> (sjekket 07.05.2024).
- [182] ABB. *Fuel Cell*. URL: <https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-solutions/fuel-cell> (sjekket 07.05.2024).
- [183] Ammonia Energy Association. *Ammonia cracking: demonstration onboard an operating vessel, test plant opens in the UK*. 22. des. 2023. URL: <https://ammoniaenergy.org/articles/ammonia-cracking-demonstration-onboard-an-operating-vessel-test-plant-opens-in-the-uk/> (sjekket 07.05.2024).
- [184] Energy.gov. *Comparison of Fuel Cell Technologies*. URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies> (sjekket 07.05.2024).
- [185] Leilei Xu og Xue-Song Bai. «Numerical Investigation of Engine Performance and Emission Characteristics of an Ammonia/Hydrogen/n-Heptane Engine Under RCCI Operating Conditions». I: *Flow, Turbulence and Combustion* 112.3 (1. mar. 2024), s. 957–974. ISSN: 1573-1987. DOI: 10.1007/s10494-023-00453-y. URL: <https://doi.org/10.1007/s10494-023-00453-y> (sjekket 20.05.2024).
- [186] Anand Shankar Singh mfl. «Review on NO<sub>x</sub> Mitigation Techniques for Ammonia Combustion». I: *Ammonia and Hydrogen for Green Energy Transition*. Red. av Sudarshan Kumar mfl. Singapore: Springer Nature, 2024, s. 329–370. ISBN: 978-981-9705-07-8. DOI: 10.1007/978-981-97-0507-8\_14. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-97-0507-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-97-0507-8_14) (sjekket 20.05.2024).
- [187] Enova Sf. «Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip». I: (). (Sjekket 09.05.2024).

- [188] Carlo Strazza mfl. «Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of a SOFC system for distributed power generation». I: *Energy Conversion and Management* 100 (1. aug. 2015), s. 64–77. ISSN: 0196-8904. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.04.068. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041500432X> (sjekket 14.05.2024).
- [189] S. Di Micco mfl. «Ammonia-powered ships: Concept design and feasibility assessment of powertrain systems for a sustainable approach in maritime industry». I: *Energy Conversion and Management: X* 22 (1. apr. 2024), s. 100539. ISSN: 2590-1745. DOI: 10.1016/j.ecmx.2024.100539. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174524000175> (sjekket 14.05.2024).
- [190] Redaksjon Skipsrevyen. *Gjennombrudd innen ammoniakk brenselceller: - Veldig stolt*. Section: nyheter. 3. jul. 2023. URL: <https://www.skipsrevyen.no/alma-clean-power-ammoniakk-brenselcelle/gjennombrudd-innen-ammoniakk-brenselceller-veldig-stolt/1540515> (sjekket 07.02.2024).
- [191] Helmut Ormestad og Bjørn Pedersen. *Fordamping*. I: *Store norske leksikon*. 24. apr. 2024. URL: <https://snl.no/fordamping> (sjekket 01.05.2024).
- [192] Grøntskipsfartprogram. *Ammoniakkdrevet tråler Lerøy*. 2023. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2023/06/Ammoniakkdrevet-traler-Leroy.pdf?fbclid=IwAR24A0EClyGJrtVHa2HBvIBDmlp5qMgE2pFgAwhKyv4UWQTbk1Gxy-yLf7E> (sjekket 07.05.2024).
- [193] NSM. *Krav om sikkerhetstiltak - Nasjonal sikkerhetsmyndighet*. 4. jun. 2020. URL: <https://nsm.no/regelverk-og-hjelp/veiledere-og-handboker-til-sikkerhetsloven/sikkerhetstiltak/krav-om-sikkerhetstiltak/> (sjekket 07.05.2024).
- [194] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. *Hydrogen og ammoniakk – hvilke krav gjelder?* URL: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/farlige-stoffer/informasjon/hydrogen-og-ammoniakk--hvilke-krav-gjelder/> (sjekket 07.05.2024).
- [195] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. *Temaveiledning om bruk av farlig stoff del 2*. 13. mai 2020. URL: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/farlige-stoffer/veiledning-til-forskriftene/temaveiledning-om-bruk-av-farlig-stoff-del-2/> (sjekket 07.05.2024).
- [196] DNV. *Maritime*. URL: <https://www.dnv.com/maritime/> (sjekket 13.05.2024).
- [197] Fiskeridepartementet. *Nye tiltak for raskere omstilling til grønn industri*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 30. jun. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nye-tiltak-for-raskere-omstilling-til-gronn-industri/id2987527/> (sjekket 07.05.2024).
- [198] FN. *Klimaendringer*. URL: <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer> (sjekket 07.05.2024).
- [199] IMO. *Initial IMO GHG Strategy*. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx> (sjekket 07.05.2024).
- [200] Fiskeridepartementet. *Nye tiltak for raskere omstilling til grønn industri*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 30. jun. 2023. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nye-tiltak-for-raskere-omstilling-til-gronn-industri/id2987527/> (sjekket 07.05.2024).

- 
- [201] Innovasjon Norge. *Regelverk og forskrifter for oppdragene*. 15. aug. 2023. URL: <https://www.innovasjon Norge.no/artikkel/regelverk-og-forskrifter-for-oppdragene> (sjekket 07.05.2024).
- [202] Fiskeridepartementet. *Rapport fra ekspertutvalget for klimavennlige investeringer*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 30. jun. 2022. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/rapport-fra-ekspertutvalget-for-klimavennlige-investeringer/id2921706/> (sjekket 07.05.2024).
- [203] Moderniseringsdepartementet. *Meld.St.30(2019-2020)*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 23. jun. 2020. URL: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-30-20192020/id2715113/> (sjekket 07.05.2024).
- [204] Compass Fuels. *Understanding Marine Gas Oil: A Comprehensive Guide*. Compass Fuel Oils Ltd. 19. des. 2023. URL: <https://www.compassfuels.co.uk/understanding-marine-gas-oil-a-comprehensive-guide/> (sjekket 18.04.2024).
- [205] DNV. *Collaboration is key to scale up fuel availability in time*. URL: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Collaboration-is-key-to-scale-up-fuel-availability-in-time/> (sjekket 18.04.2024).