



# Bacheloroppgave

Kandidatnummer 10017

Totalt antall sider inkludert forsiden: 81

Ålesund, 18/12 - 2020

## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§4-7 og 4-8 og <a href="#">Forskrift om eksamen</a> §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se <a href="#">Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter <a href="#">høgskolens studieforskrift §31</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av <a href="#">kilder og referanser på biblioteket sine nettsider</a>	<input checked="" type="checkbox"/>

# Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Gjerdhal, Harald Godø

## Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja  nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja  nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja  nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja  nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato:

KANDIDATNUMMER(E):		
<b>10017</b>		
DATO:	FAGKODE:	FAGNAVN:
18/12 - 2020	TS301011	BACHELOROPPGAVE
STUDIUM:		ANT SIDER/VEDLEGG:
Shipping Management		45 /37

VEILEDER(E):
<b>Gjerdahl, Harald Godø</b>

TITTEL:
<b>Sjøfartens vei til en klimavennlig sektor</b>

SAMMENDRAG:
<p>Målet med min oppgave er å avdekke hvordan vi skal klare å nå IMO sine mål om en halvering av utslippene fra havtransporten innen 2050, og en videre utvikling til å bli en nullutslipps-sektor innen 2100. Jeg vil se på de mulighetene vi har for å klare dette som ulike logistikk- og designløsninger og alternative drivstoff som ikke bidrar til miljøforurensing.</p> <p>Jeg vil samtidig se nærmere på hvor Norge ligger an for å nå disse målene, og om det er positivt eller negativt.</p> <p>For å gjennomføre dette vil jeg se på ulike logiske løsninger som kan hjelpe til med å få ned forbruket. Jeg vil se nærmere på de alternative drivstoffene og sette de opp mot hverandre basert på produksjon, hvordan det brukes i et skip og risiko. Videre vil jeg se hvor Norge ligger an i utviklingen for å nå IMO sitt krav.</p>

*Denne oppgaven er en bachelorbesvarelse utført av student ved NTNU i Ålesund.*

## Innholdsfortegnelse

<b>Sjøfartens vei til en klimavennlig sektor .....</b>	<b>7</b>
<b>Ordliste .....</b>	<b>8</b>
<b>Hvorfor en satsing på klimavennlig havtransport:.....</b>	<b>9</b>
<i>Reaksjoner på nye kravene .....</i>	<i>10</i>
<b>Logistikk, design og Miljø .....</b>	<b>11</b>
<i>Logistikk og miljø.....</i>	<i>12</i>
<i>Slow Steaming.....</i>	<i>13</i>
<i>Bulbous Bow .....</i>	<i>15</i>
<i>Foiler .....</i>	<i>16</i>
<i>Oppsummering logistikk og design.....</i>	<i>17</i>
<b>Alternative drivstoff:.....</b>	<b>18</b>
<i>Hydrogen .....</i>	<i>19</i>
<i>Naturgass dampreformering:.....</i>	<i>19</i>
<i>Elektrolyse av vann:.....</i>	<i>20</i>
<i>Hvordan hydrogen brukes til å drive et skip .....</i>	<i>21</i>
<i>Oppbevaring og lagring av Hydrogen.....</i>	<i>22</i>
<i>Ammoniakk.....</i>	<i>23</i>
<i>Grå ammoniakk:.....</i>	<i>23</i>
<i>Blå ammoniakk: .....</i>	<i>23</i>
<i>Grønn ammoniakk: .....</i>	<i>23</i>
<i>Hvordan ammoniakk brukes til å drive et skip .....</i>	<i>24</i>
<i>Oppbevaring og lagring av Ammoniakk:.....</i>	<i>25</i>
<i>Litium - batterier.....</i>	<i>27</i>
<i>Oppsummering alternative drivstoff.....</i>	<i>28</i>
<b>Risiko med koblet opp med de forskjellige energikildene.....</b>	<b>29</b>
<i>Hydrogen: .....</i>	<i>29</i>
<i>Ammoniakk.....</i>	<i>30</i>
<i>Litium batterier .....</i>	<i>31</i>
<i>Fossilt drivstoff (MGO) .....</i>	<i>32</i>
<i>Oppsummering risiko: .....</i>	<i>33</i>
<b>Norge sin satsing på miljøvennlig skipsfart.....</b>	<b>34</b>
<i>Fergetransporten .....</i>	<i>35</i>
<i>Støtteordninger .....</i>	<i>36</i>
<i>Enova: .....</i>	<i>36</i>
<i>NOx Fondet:.....</i>	<i>36</i>
<i>Oppsummering Norge sin satsing på miljøvennlig skipsfart .....</i>	<i>37</i>

<b>Metode .....</b>	<b>37</b>
<i>Mål</i> .....	38
<i>Sekundærdata</i> .....	38
<i>Kvalitativ informasjonsinnhenting</i> .....	38
<i>Utvalg</i> .....	39
<i>Gjennomføring av intervju</i> .....	40
<i>Analyse av data</i> .....	41
<i>Validitet og reliabilitet</i> .....	41
<b>Ekspertenes meninger og tanker om klimavennlig sjøtransport .....</b>	<b>42</b>
<i>Kristian Evjen:</i> .....	42
<i>Finn Tore:</i> .....	44
<i>Vilmar Æsøy</i> .....	44
<i>Ann Rigmor Nerheim</i> .....	45
<b>Ekspertenes meninger oppsummert .....</b>	<b>46</b>
<b>Oppsummering sjøfartens vei til en klimavennlig sektor: .....</b>	<b>47</b>
<b>Bibliografi.....</b>	<b>49</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>55</b>
<i>Intervju Kristian Evjen</i> .....	55
<i>Intervju Finn Tore</i> .....	62
<i>Intervju Vilmar Æsøy</i> .....	66
<i>Intervju Ann Rigmor</i> .....	75

## Sjøfartens vei til en klimavennlig sektor

Norge er et land som har vært tidlig ute med å satse på grønn og fornybar energi. Dette kommer tydelig fram når vi ser på Norges utvikling av vannkraftverk, og ulike goder vi får for å være miljøvennlig. (Ung-energi, 2019).

Målet med min oppgave er å avdekke hvordan vi skal klare å nå IMO sine mål om en halvering av utslippene fra havtransporten innen 2050, og en videre utvikling til å bli en nullutslipps-sektor innen 2100. Jeg vil se på de mulighetene vi har for å klare dette som ulike logistikk- og designløsninger og alternative drivstoff som ikke bidrar til miljøforurensing. Jeg vil samtidig se nærmere på hvor Norge ligger an for å nå disse målene, og om det er positivt eller negativt.

For å gjennomføre dette vil jeg se på ulike logiske løsninger som kan hjelpe til med å få ned forbruket. Jeg vil se nærmere på de alternative drivstoffene og sette de opp mot hverandre basert på produksjon, hvordan det brukes i et skip og risiko. Videre vil jeg se hvor Norge ligger an i utviklingen for å nå IMO sitt krav.

## Ordliste

IMO – Forkortelse for «International maritime Organization». Internasjonaliserer regulering av sikkerhet til sjøs.

Slow Steaming – Nedjustering av hastigheten til et skip for å spare drivstoff.

TEU – er en standardisert 20 fots container. Forkortelsen står for twenty foot Equiavalent Unit.

Stampebevegelse – Bevegelsen i retning opp og ned på en båt under seilas.

Alternative drivstoff – Andre typer drivstoff vi kan bruke for å skape fremdrift på et fartøy.

Klimanøytral – Bidrar ikke til en økning av klimagasser/ slipper ikke ut klimagasser ved bruk.

Klimavennlig – Bidrar til en reduksjon av klimagassene.

Dampreforming – metode for å fremstille hydrogen.

Elektrolyse – Bruke elektrisitet for å splitte vannmolekyler og danner oksygen + hydrogen

Blått hydrogen – Co<sub>2</sub> blir dannet under produksjon av hydrogenet og blir fanget så det ikke slippes ut i luften. Denne måten er klimanøytral.

Grønt hydrogen – Hydrogen som ikke har Co<sub>2</sub> som biproduksjon under fremstilling. Denne måten er klimavennlig.

Grått ammoniakk – Co<sub>2</sub> blir dannet under produksjon av ammoniakk som slippes ut i luften.

Blå ammoniakk – Co<sub>2</sub> blir dannet under produksjon og fanget så det ikke slippes ut i luften.

Grønn ammoniakk – Ammoniakken har ikke Co<sub>2</sub> som biproduksjon. Denne måten er klimavennlig.



Virkningsgrad/virkningsprosent – Beskriver hvor effektiv stoffet blir forvandlet til energi.

Energitetthet – Energiinnhold basert på volum

Driftskostnader – Kostnader som tilknyttes driften av skipet.

Hvorfor en satsing på klimavennlig havtransport:

Den 12. Desember 2015 ble en internasjonal avtale kalt Parisavtalen vedtatt som omhandlet at alle land skal bidra til å redusere klimautslippene (Fn-sambandet, 2020). Høye utslipp har vært et problem som startet med den industrielle revolusjonen og har forverret seg til den dag i dag. De store mengdene CO<sub>2</sub> og andre klimagasser som blir frigitt av fossile forbrenningsmotorer fører til at temperaturen på kloden øker. Dette fenomenet kalles global oppvarming, og verdens ledende klimaforskere er 95% sikker på at den oppvarmingen vi har sett er på grunn av menneskelig aktivitet (Schlaupitz, 2019).

I Parisavtalen nevnes derimot ikke sjøfart. De ble enige at ingen land er ansvarlige for å kutte utslipp fra et skip som seiler fra et land til et annet. Den internasjonale skipsfarten er ansvarlig for 2-3% av det globale klimautslippet og det brennes gjennomsnittlig 5,5 millioner fat olje hver dag. Dette frigir mellom 800-900 millioner tonn CO<sub>2</sub> årlig (Bjartnes, 2020). Om dette skal fortsette uten begrensinger om utslippskrav, vil realiseringen til FN sin Parisavtale virke utenkelig.

Tre år etter at Parisavtalen ble vedtatt kom FNs sjøfartsorganisasjon IMO (Internasjonal Maritime Organisasjon) til en enighet at sjøfarten ikke kan forbli urørt når det kommer til utslippskrav og reguleringer. De kom ut med en bestemmelse at utslippene fra internasjonal skipsfart skal halveres innen 2050. De kom også med en ambisjon at nedgangen skulle fortsette mot en 100% utslippsfri sjøfart innen 2100 (IMO, u.d.). Skipsfarten er en av de vanskeligste sektorene å kutte utslipp fra da det er snakk om store distanser internasjonale skip skal seile, noe dagens null-utslipp drivverk har et problem med å gjennomføre. Det derfor utrolig viktig å satse på denne sektoren, og øke ambisjonene for at sjøfarten skal bli en klimanøytral, eller helst klimavennlig sektor.

## Reaksjoner på nye kravene

IMO sikter på å redusere klimautslippene med minst 50% innen 2050. Dette er regnet ut ifra nivåer i 2008. Når avtalen var under forhandlinger, var det forskjellige ønsker ulike land hadde i tankene. Norge hadde ambisiøse 50% som var i tråd med paris-avtalens mål. Dette fikk mye motstand fra land som Japan, India, Russland, Brasil og Panama som ønsket at utslippskravene skulle forbli uberørt, eller et langt mildere utslippskrav. Omsider kom de motstridende landene til enighet om avtalen og dens mål om å halvere utslippene innen 2050 (Ursin, 2018).

Norges rederiforbund roser avtalen, som er lignende deres forslag. Harald Solberg som er administrerende direktør er glad for at de nye kravene ikke vil være konkurransevridende, da de nye reglene gjelder for alle land og det er et felles rammeverk (Solberg, 2018). Om land holder seg utenfor avtalen, vil de ha en stor konkurrerende fordel da fossilt drivstoff per dags dato er langt billigere enn nullutslipp alternativer og de slipper å bruke store ressurser på ny teknologi for å få dette til.

For å senke drivstoffbruken har vi ulike løsninger innenfor skipets design og ulike logistikk-løsninger. Når vi senker drivstoff-forbruket, sparer vi både miljøet og penger. Vi kommer samtidig nærmere IMO sitt mål med å halvere utslippene med 50%. Her teller derfor hver prosent vi kan få ned.

## Logistikk og miljø

Om vi klarer en effektivisering av transporten fra et tradisjonelt økonomisk perspektiv vil dette også i mange tilfeller ha positive konsekvenser for miljøet gjennom en reduisering i ressursbruk og forurensing. Noen eksempler på slike tiltak er (Persson & Virum, 2017):

- Redusere transportavstander for å redusere det totale transportarbeidet
- Samlasting for å utnytte transportkapasiteten best mulig.

En uønsket hendelse for et skip er at det må reise i ballast. Dette betyr at båten trenger ekstra vekt ombord for å ha en tilstrekkelig dypgang og stabilitet. Et eksempel på dette er om en båt får et oppdrag om å frakte store mengder av et spesielt stoff fra Norge til Brasil. Etter det oppdraget har de planlagt å vende tilbake til Norge for å frakte et annet type stoff derifra til Sør-Afrika.

Dersom skipet ikke finner et oppdrag om å frakte noe tilbake til Norge vil de ende opp med å seile i ballast på returveien. Dette er veldig lite lønnsomt, både for miljøet og økonomien.

Å ta inn ballastvann fører også til et annet miljøproblem. Å ta inn vann fra ett sted, f.eks. Brasil og dumpe det i Norge fører til at mange ulike marine organismer blir flyttet store distanser. Der kan de fortrenge eksisterende arter og gjøre stor skade (Erikstad, 2020).

Logiske løsninger for å forhindre seiling i ballast spiller derfor en stor rolle for å få ned klimautslippene på skip.

## Slow Steaming

Hastighet og størrelsen på fartøyet er store faktorer som spiller inn på hvor mye drivstoff som brukes. «Slow Steaming» er en metode der frakteskip opererer på betydelig mindre enn sin maksimale hastighet for å spare drivstoff (Liang, 2014).

Da finanskrisen traff tilbake i 2008-2009 gikk det dårlig for shipping bransjen. Dette førte til at «Slow steaming» metoden ble adaptert for å spare drivstoff. Da markedet begynte å gå opp igjen tok skip tilbake til sin opprinnelige fart, men i senere år på grunn av høyere avgifter på fossile drivstoff har ført til at Slow Steaming har blitt normalen for mange skip (Rodrigue , 2020). Under viser en graf om drivstoff-forbruk knyttet til størrelse og fart.

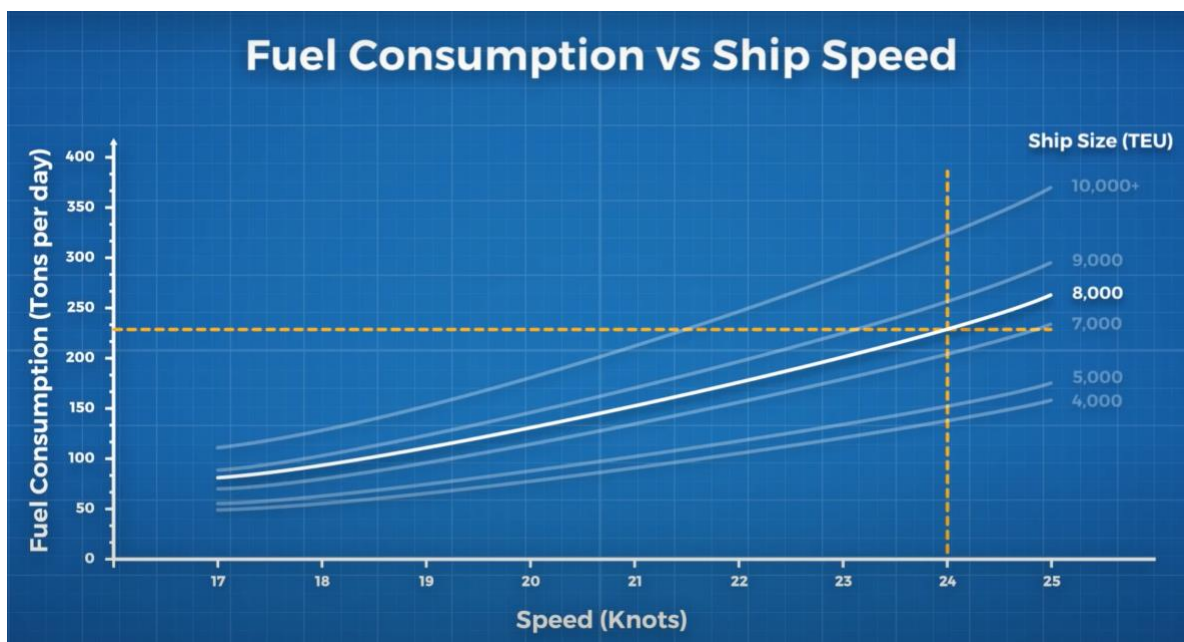


Foto 1: (Rodrigue, 2020)

Her ser vi forbruket øker eksponentielt med hver knop farten økes med. Vi ser også med større skip er økningen mer dramatisk.

Om vi tar for oss et eksempel der vi har for en 8000 TEU. TEU står for «Twenty foot Equivalent Unit» og er en av de vanligste internasjonale målene på en konteiner. De ytre dimensjonene måler ca. 6 meter i lengden (logisticsglossary, u.d.).

En slik type containerskip som seiler med en fart på 24 knop kan vi regne med å brenne ca. 225 tonn med drivstoff per dag. Om vi senker hastigheten med bare litt over 12% ned til 21 knop senkes forbruket ned til 150 tonn med drivstoff brukt per dag. Dette er en nedgang i drivstoff-forbruket på 33% (Notteboom & Cariou, 2009).

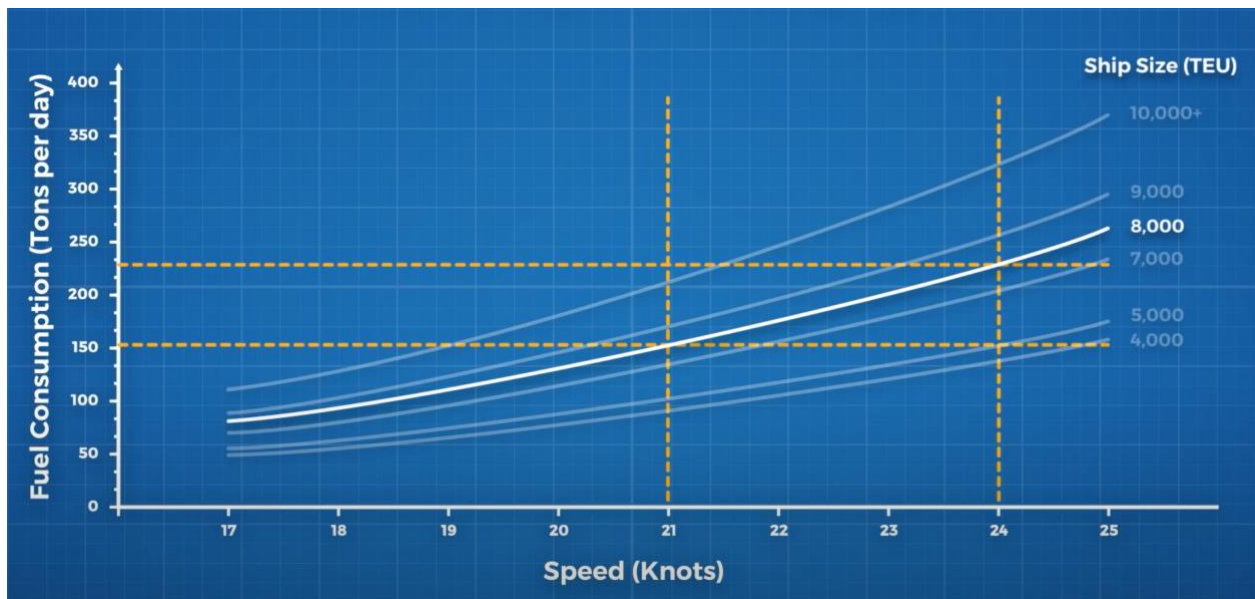


Foto 2: (Rodrigue, transportgeography.org, 2020)

## Bulbous Bow

Bulbous Bow er et viktig design-element på store skip som kan føre til en reduksjon i motstand til opp mot 15%. Den fungerer ved å skape et bølgemønster rundt skipet slik at skipet får mindre motstand. Dette gjør at store skip både kan seile med en høyere hastighet og samtidig reduserer drivstoff-forbruket (Maritime knowledge , 20). Dette er på ingen måte en ny teknologi, og designet ble først tatt i bruk tilbake i 1910 på USS Delaware (Shipwright, u.d.)

En ulempe med dette designet er at det fungerer best under en bestemt hastighet, så når skipstrafikken begynte med Slow Steaming i 2007-2008 fungerte ikke designet optimalt. Det ble derfor senere utformet et nytt design som fungerte bedre under lavere hastigheter (Chrismianto & Adietya, 2018). Bildene under viser den forskjellige utformingen før (til venstre), og etter (til høyre) Slow Steaming ble standarden for sjøtransporten.



Foto 3: (Maritime Knowledge, 2020)



Foto 4: (Container Management , 2014)

## Foiler

Baugfoiler har vært et tema siden 1800 tallet, og det var hvalfangere som først oppdaget mulighetene med å ha foiler på skip da oppdaget at finnene på døde hvaler drev dem fremover i bølger (NTB, 2013).

I røffere forhold med bølger vil et skip møte betydelig motstand. Dette betyr at motoren trenger mer energi og bruker mer drivstoff. Foiler vil kunne hjelpe et skip med fremdrift i røffe forhold med å dempe stampebevegelsen. Dette betyr da at skipet beveger seg mindre vertikalt. Foilene utnytter også bølgeenergien til å skape fremdrift (Skipsrevyen, 2020).

Resultatet med å bruke foils på et skip er da en økonomisk og miljømessig gevinst, samtidig som komforten på skipet blir mer behagelig i røffe forhold på grunn av den reduserte bevegelsen.

Om et skip seiler på stille vann er effekten derimot motsatt, og vinningen man får med å bruke det i bølger går i null. Det har Wavefoil funnet løsningen på med inntrekkbare foiler. Da kan foilene settes ut når de trengs, og ta vekk når det ikke er bruk for dem. Dette er også en fordel når et skip skal legge til kai, eller andre steder der foilene risikerer å bli skadet.

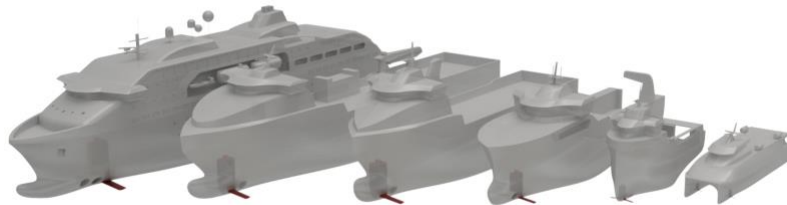


Foto 5: (Wavefoil, 2020)

Wavefoil sier dieselforbruket på skipene de kan montere foils på vil kunne få en drivstoffs besparelse på 5-15% (Wavefoil, 2020). I vedlegget under ser dere antall prosent drivstoffforbruket har gått ned over ulike ruter etter et skip har montert inntrekkbare foils.



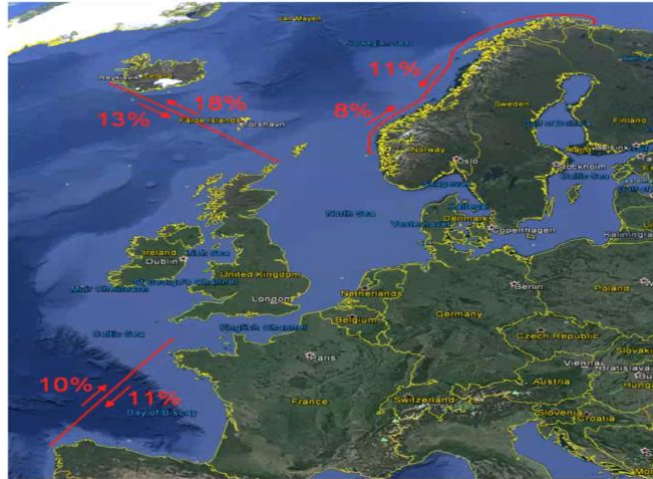


Foto 6: (Bø, 2020)

## Oppsummering logistikk og design

Ulike logiske løsninger og design fungerer bra til å senke klimautslippene for skipsfarten. Enkelte av disse løsningene fører også til en mer behagelig reise for mennesker ombord så vi sitter igjen med en vinn/vinn situasjon. Problemet er at vi vil komme til et punkt der logistikk og design ikke lengre kan være med å senke utslippene. Enkelte av løsningene nevnt over er i tillegg kostbare for de som vil bruke de, og bedrifter har som regel et mål med å tjene penger. Det vi også må ta med i betraktning er at fremover vil det bli en økende etterspørsel på grunn av befolkningsvekst og globalisering. Dette betyr i teorien at det ikke holder med en halvering i utslipp innen 2050 fra de skipene som er i drift, eller blir bygget i dag. Antall skip vil øke fremover mot 2050, og halveringen gjelder ikke per skip, men hele sjøfarten totalt. Det er her sjøfarten møter sitt største problem, å finne et nytt bærekraftig drivstoff. Vi skal ikke si at de ulike logistikk og designløsningene er utviklet forgjeves, vi bør heller tenke på at de kan brukes på skip som drives av klimavennlige drivstoff for å oppnå en lengre rekkevidde, og billigere drift.

## Alternative drivstoff:

De alternative klimavennlige drivstoffene som er i fokus, har forskjellige fordeler og ulemper som skiller dem. Noen energikilder som oppladbare litium-batterier bruker vi en stor grad i samfunnet i dag i alt fra elektriske biler til telefoner. Dette har vi en god erfaring med, men andre alternativer som hydrogen og ammoniakk er vi mindre kjent med. Det er disse tre alternativene (Batterier, Hydrogen og Ammoniakk) jeg vil ta for meg og diskutere i oppgaven. Andre alternativer som LNG og Biodrivstoff slipper ut CO<sub>2</sub> og vil derfor ikke være alternativer når vi satser for en 100% utslippsfri skipsektor innen 2100. Atomkraft er også en energikilde jeg ikke vil ta for meg, da Norge som nasjon har liten erfaring med bruk av atomkraft. Dette er også en veldig kontroversiell energikilde, som mange er imot at vi bruker (Stensrud, 2019).

De grønne drivstoffene kan fremstilles på to ulike måter. En måte er å bruke kilder som fortsatt slipper ut CO<sub>2</sub> for å produsere stoffet/elektrisitet, men i så liten grad at det er bærekraftig for miljøet. Dette kalles å være klimanøytral (Naturvernforbundet, 2016). Den andre måten er å fremstille stoffet slik at det ikke slippes ut noen form for klimagasser. Dette kalles å være klimavennlig. Det er viktig å skille mellom disse to for å vurdere hvilket drivstoff som kommer best ut og er bærekraftig lang tid fremover.

Under vil jeg forklare og sammenlikne de aktuelle stoffene som kan brukes for å oppnå en nullutslipp-sjøfart.

## Hydrogen

Hydrogen er det første grunnstoffet i det periodiske systemet, med atomnummer 1. Dette betyr at hydrogen også er det letteste stoffet. Under normale temperaturer og trykk opptrer hydrogen som gass som består av to hydrogenatomer ( $H^2$ ). Det antas at hydrogen er det elementet i universet det er mest av og antas å utgjøre ca. 75% av universets totale masse (Tomasgard, et al.). På Jordkloden finner vi vanligvis hydrogen i kombinasjon med oksygen, som danner Vann ( $H^2O$ ). Hydrogen er derfor ikke vanskelig å finne, og risikoen for å gå tom er ikke-eksisterende. Fremstillingen av rent hydrogen som kan brukes til å drive større kjøretøy er derimot krevende.

Det er flere måter vi kan utvinne rent hydrogen, men de to vanligste er ved reformering av naturgass og spalting av vann ved elektrolyse (statskraft, u.d.). Hydrogen som stammer fra reformering av naturgass har navnet blått hydrogen da det dannes  $Co_2$ . Hydrogen som stammer fra elektrolyse av vann kalles grønt hydrogen da det ikke slipper ut  $Co_2$  med produksjon.

### Naturgass dampreforming:

Dette er den vanligste formen for å utvinne rent hydrogen. 68% av alt hydrogen produseres med dampreforming av naturgass. Hydrogen dannes med damp og metan under høye temperaturer (mellom 700 til 1100°C) og med en nikkel basert katalysator. Dette danner karbon-monoksid og hydrogen. Videre lar vi karbon-monoksidet reagere med vanndamp og bruker en ny katalysator som består av kobber og jern med en temperatur på rundt 500°C. Da dannes det  $Co_2$  og Hydrogen (Hofstad, 2017).

Ved bruk av denne metoden slippes det ut  $Co_2$ , men ved å fange denne  $Co_2$  en og lagre den, vil det være mulig å produsere karbonfritt hydrogen, og redusere  $Co_2$ -utslippet. Dette krever tilgang til å lagre lagringssystemer for  $Co_2$ , noe som kun er kostnadseffektivt i stor skala (>5 millioner tonn  $Co_2$  per år) (NTNU, u.d.).

## Elektrolyse av vann:

Å spalte vann til oksygen og hydrogen kan gjøres på to måter. Ved vannelektrolyse ved 50-80°C, og termokjemisk splitting av vann ved ca. 900°C, men her er det langt å gå for kommersielle løsninger. Vanlig vannelektrolyse krever mye strøm og energi i forhold til dampreforming av naturgass. Konkurransen til dette avhenger av prisen på alternativene som bruk av naturgass, og avgifter knyttet til Co2 utslipp (NTNU).

Dagens teknologi gjør det vanskelig å utvinne nok hydrogen på en klimavennlig måte uten å slippe ut Co2, spesielt om det skal produseres nok av det til å drive hele skipsfarten. Derfor vil blått hydrogen være det beste alternativet i nær fremtid, og det vil kunne gjøre veien klar for å senere gå over til grønt hydrogen når teknologien er kommet langt nok (Equinor, 2020) Under er to forskjellige illustrasjoner som viser forskjellen på produksjon av blått og grønt hydrogen.

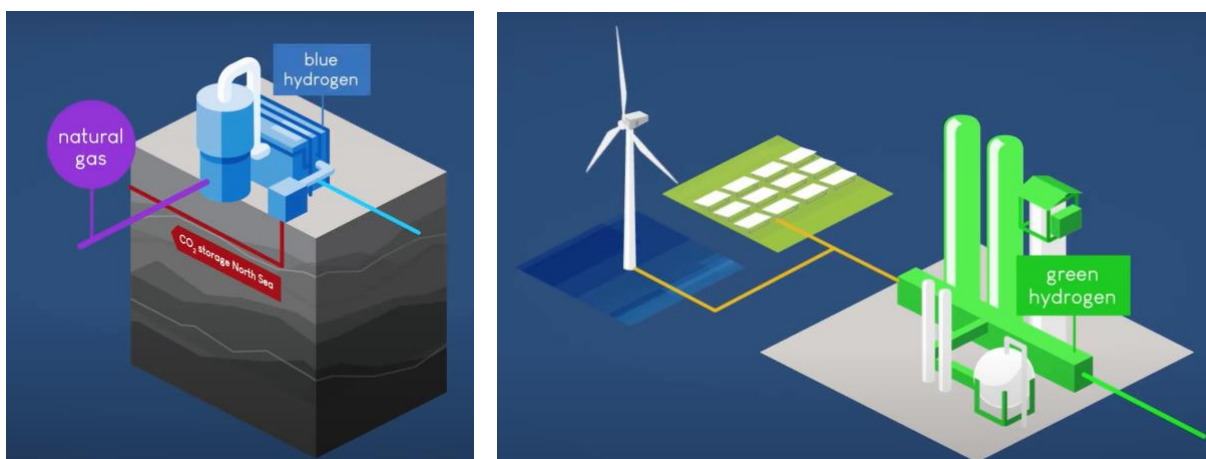


Foto 7 & 8: (Equinor, 2020)

## Hvordan hydrogen brukes til å drive et skip

Hydrogen kan gjøres om til drivkraft til en motor på to måter. Den vanligste måten er å kjøre hydrogen gjennom en brenselcelle. Hydrogen reagerer der med oksygen og produserer elektrisitet til en motor. Avfallet blir da rent vann, som ikke forurensrer miljøet. (Hydrogen.no, 2020). Hydrogen kan brukes direkte i en forbrenningsmotor, men dette er vanskelig å få kontroll på grunn av hydrogen sin ekstreme tenn hastighet. Å bruke brenselceller gir også en høyere virkningsgrad (50-60%) enn hva vi får med å bruke hydrogen direkte i en forbrenningsmotor (40-50%) (DNVGL, 2019).

Virkningsgraden er et mål på hvor effektiv vi klarer å overføre stoffet til utnyttbar energi (Støvang, 2018). Vedlegget under viser energitettheten til hydrogen samt andre typer drivstoff der diesel er midtpunktet.

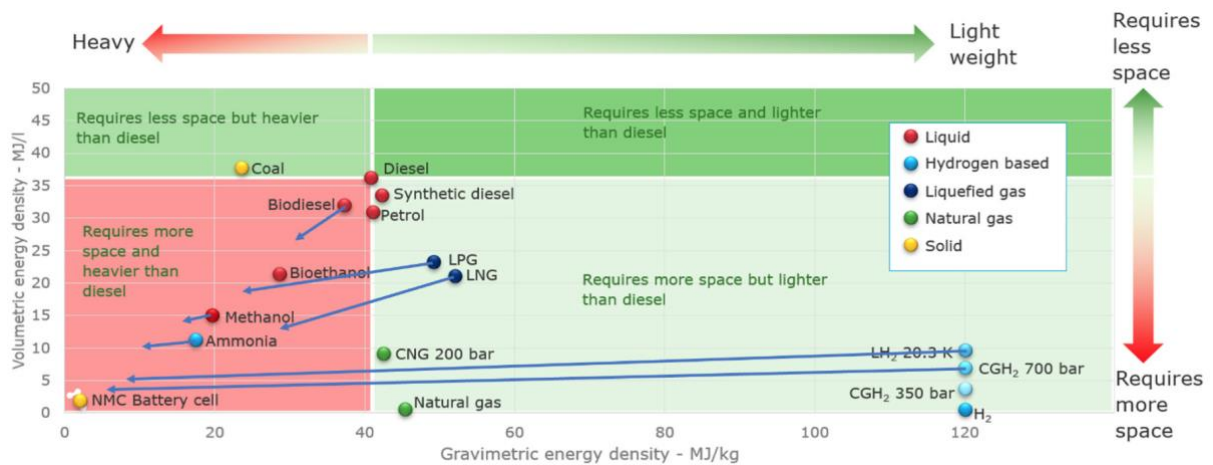


Foto 9: (DNV GL, 2019)

## Oppbevaring og lagring av Hydrogen

Oppbevaring og lagring av hydrogen er enten flytende eller som gass. Problemet med å lagre hydrogen som gass er at molekylene er så små at det kan trenge gjennom metaller og skape lekkasjer. For å lagre det som gass må vi ha et høyt trykk på tanken (normalt 250-700 bar), og molekylene blir da presset utover. Å lagre det som flytende er krevende på en annen måte da vi trenger en temperatur på mindre enn  $-252^{\circ}\text{C}$ , noe som krever store mengder energi for å kjøle ned, og holde denne temperaturen (DNV GL, 2019). Begge alternativene bærer en viss risiko, noe jeg vil utdype lengre nede i teksten.

En annen ulempe med lagring av hydrogen er at lagring, og teknologi krever stor plass. Dette gjør at skip må ofre lagringsplass til fordel for lagring og oppbevaring av drivstoff. Hydrogen er også mindre effektivt enn fossile drivstoff, så vi trenger mer av det for å reise samme distanse (Energy.gov, u.d.). Dette gjør det vanskelig å reise over lange distanser på rent hydrogen. Det vil være et behov for økt hyppighet av bunkring, noe som ikke vil være et problem for skip som reiser kortere distanser som hurtigbåter og ferger, men store tank- og containerskip vil møte store utfordringer.

På lange seilaser som ruten mellom Kina og USA vil være usannsynlig for et hydrogenrevet skip å seile uten ekstra stopp for å bunkre. Et alternativ vil være å stoppe innom f.eks. Alaska for å fylle, men en slik omvei vil kutte i profitten, samtidig som det vil bruke mer energi på grunn av en lengre total distanse. En mulighet vil kunne være å sette opp flytende hydrogen stasjoner, som produserer hydrogen fra vindkraft eller andre former for fornybar energi. Om skip får muligheten til å fylle underveis på ruten vil skipet trenge mindre tanker for lagring av hydrogen, som heller kan brukes til last. Dette vil derimot kreve store investeringer for å kunne bli en realitet (Mao, Rutherford, Osipova, & Comer, 2020).



Illustrasjon av en flytende fyllstasjon som bruker vindkraft til elektrolyse av vann

Foto 10: (McManus, 2020)

## Ammoniakk

Molekylet ammoniakk består av tre hydrogenatomer og ett nitrogen atom ( $\text{NH}_3$ ). Det betyr at stoffet ikke inneholder karbon, og danner ikke  $\text{CO}_2$  når det forbrenner. Derimot under produksjonen av ammoniakk kan det slippes ut  $\text{CO}_2$ . I dag skiller vi mellom tre måter å produsere ammoniakk (Hofstad, 2020). De tre alternativene er grått, blått og grønt ammoniakk.

### Grå ammoniakk:

Dette er den vanligste måten å produsere ammoniakk i dag. Produksjonen er basert på fossilt brennstoff og slipper ut mengder med  $\text{CO}_2$ . Nitrogenet henter vi fra luften, og hydrogenet henter vi fra reformering av naturgass. Reformering av naturgass nevner jeg over i produksjonen av hydrogen der resultatet er  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ . Videre bindes hydrogen og nitrogen med Haber-Bosh prosessen (Aarnes, 2011). Med å bruke denne fremstillingsprosessen vil ett tonn med ammoniakk gi et utslipp på 1,6 tonn med  $\text{CO}_2$  (Øysete, 2020).

### Blå ammoniakk:

Produksjonen av blå ammoniakk er helt likt grå ammoniakk, men her fanges, og lagres karbondioksidet så det ikke slipper ut i atmosfæren. Dagens teknologi klarer å fange 85-95% av  $\text{CO}_2$  med naturgassreformering. Dette betyr at måten ikke er helt utslippsfri, men langt lavere utslipp og bedre for miljøet enn grå ammoniakk (Øystese, 2020).

### Grønn ammoniakk:

Dette er det eneste utslippsfrie alternativet. Da bruker vi fornybar energi til å drive elektrolyse av vann og danner hydrogengass. Grønn ammoniakk krever mye energi, og om all ammoniakk som produseres i dag skal gjøres på grønn måte vil det kreve mer enn 10 ganger Norges totale energibruk (Øystese, Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart, 2020).

## Hvordan ammoniakk brukes til å drive et skip

Når denne oppgaven blir skrevet er det ingen kommersielle skip som drives av ammoniakk, men vi har funnet flere måter vi kan bruke ammoniakk til å drive en motor. De mest optimistiske måtene er å bruke det direkte i en forbrenningsmotor eller å bruke brenselceller. I en forbrenningsmotor kan ammoniakk både brennes flytende ved  $-33^{\circ}\text{C}$  og i gassform. En stor fordel med å bruke det direkte i motoren er at skip slipper å bytte ut store mengder med komponenter, og gjøre kostbare endringer. Ulempen derimot er at denne måten ikke er like energieffektiv som å bruke brenselceller. Når vi brenner ammoniakk, vil også det gi et utslipp av klimagassen  $\text{NO}_x$  (Nitrogenoksid).  $\text{NO}_x$  dannes under høye temperaturer der nitrogen og oksygen binder seg. Stoffet kan føre til alvorlige helseskader hos mennesker blant annet luftveissykdommer. Det bidrar også til sur nedbør, og dannelse av ozon nært bakken som er skadelig for mennesker og økosystemet ( $\text{NO}_x$ -fondet, 2020). Vi kan imidlertid håndtere  $\text{NO}_x$  utslippene med SCR-teknologi som renser eksosen (Øystese K. , 2020).

Det andre alternativet er å bruke brenselceller for å omdanne ammoniakk til energi. Den ene er PEM-brenselceller og disse opererer på lavere temperaturer ( $60\text{--}90^{\circ}\text{C}$ ). Fordelen med denne type brenselcelle er at den har lav vekt og er relativt kompakt. Ulempen er at den får en lavere effektivitet da den først må spalte ammoniakken til hydrogengass og nitrogen. Dette krever en temperatur som er høyere enn hva brenselcellen driver på, så noe av drivstoffet må gå til oppvarming. Den andre typen brenselcelle kalles Solid Oxide Fuel Cell. Dette er en høytemperaturcelle, så overskuddsvarmen kan brukes til spalting av ammoniakk til hydrogen og nitrogen. Dette gjør at denne type brenselcelle får en høyere effektivitet enn en PEM-celle. Dette er derimot en mer umoden og kostbar teknologi (Øystese K. , 2020).

Brenselcellene har en fordel over forbrenningsmotorer da de ikke trenger noen form for håndtering av avgassene da de kun består av vann og nitrogen som ikke skader miljøet (Holtebekk & Pedersen, 2020). I brenselcellene bruker vi derfor ammoniakk som et lagringsmedium til hydrogenet. Sammenlikner vi energi-effektiviteten til ammoniakk med flytende hydrogen, så sitter vi igjen et vesentlig høyere energiutbytte (Yara, 2019). Tabellen under viser energikjeden til de to alternativene.



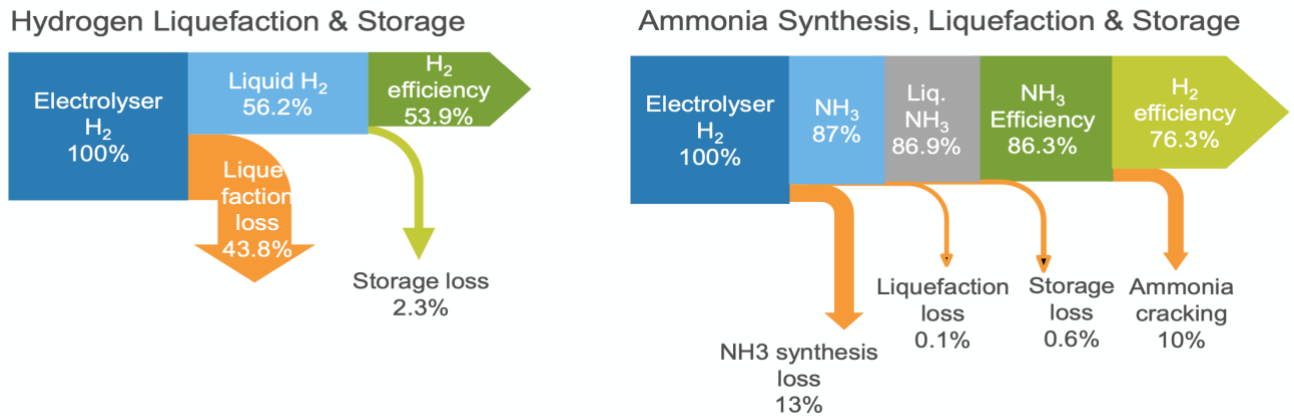


Foto 11: (Yara, 2019)

### Oppbevaring og lagring av Ammoniakk:

Ammoniakk oppbevares flytende i  $-33^{\circ}\text{C}$ , noe som gjør det vesentlig lettere å oppbevare enn f.eks. flytende hydrogen som trenger en temperatur på  $-253^{\circ}\text{C}$ . Ammoniakk har også en høyere energitetthet enn andre miljøvennlige alternativer, noe som illustreres på vedlegget under.

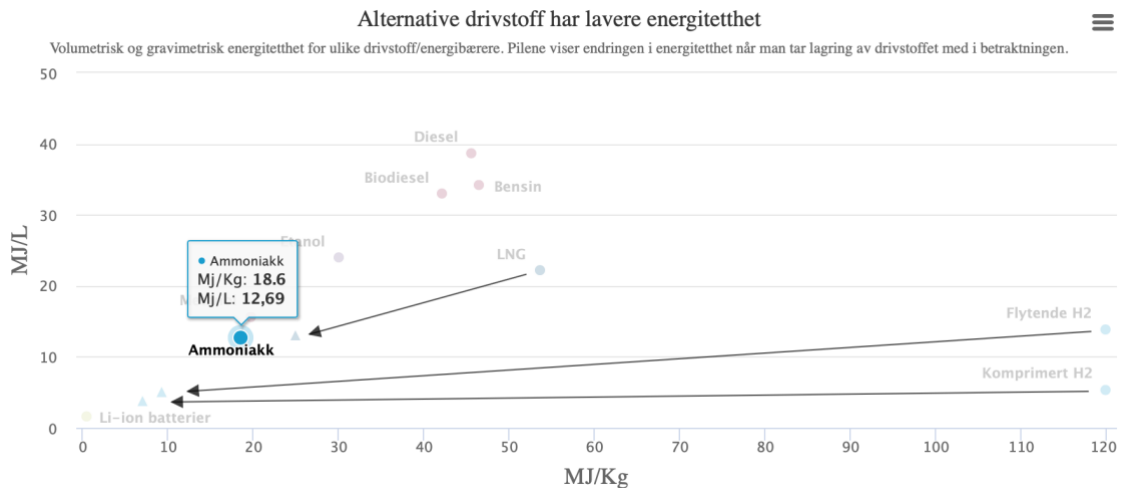


Foto 12: (Østese, 2020)

Dette gjør at større skip som bruker ammoniakk slipper å ofre plass til fordel for drivstoff som på hydrogen. Dette gjør ammoniakk til et bedre alternativ for skip som reiser over lange distanser med mye last (yara, 2019). Grafene under illustrerer hvor mye plass som må gå til oppbevaring av drivstoff, og hvor mye som kan brukes på last på det nevnte skipet. Her ser vi ammoniakk er den som kommer best ut av de miljøvennlige alternativene.

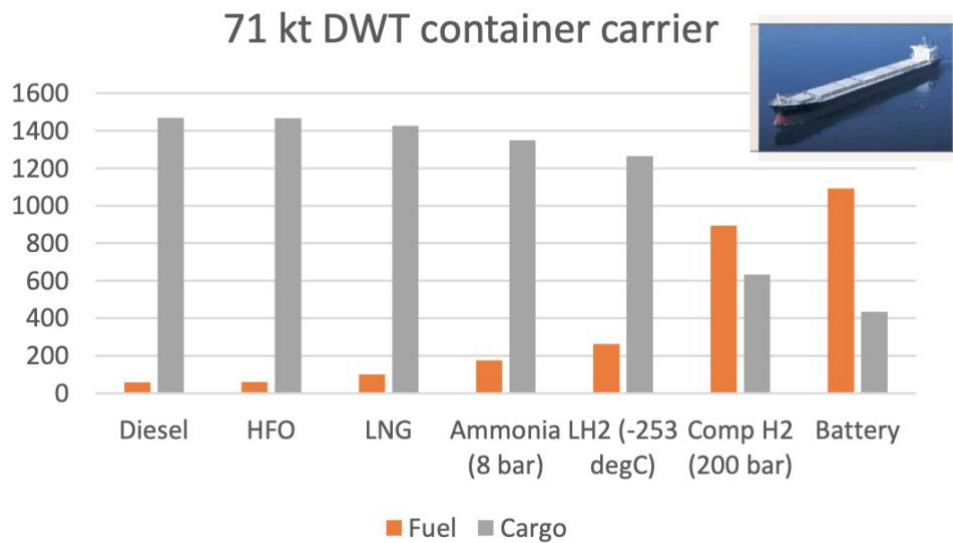


Foto 13: (yara, 2019)

Vi frakter også store mengder med ammoniakk i dag som vare og vi har mye erfaring med stoffet. Dette spiller en vesentlig faktor i risiko med bruk av stoffet, noe jeg vil ta for meg senere i oppgaven.

## Litium - batterier

Litium batterier er ikke direkte en energikilde, men brukes som et lagringsmedium for elektrisitet. Hvor miljøvennlig batterier er kommer i stor grad an på hvor vi henter strømmen vi lader inn i batteriet. Strøm som kommer fra kullkraftverk, slipper ut store mengder med Co<sub>2</sub> under produksjon. Kull er også den energikilden vi i dag bruker mest av for å produsere elektrisitet (Rosvold & Hofstad, 2017). I Norge derimot produseres den aller meste strømmen fra fornybare kilder, hovedsakelig vannkraft. Uansett om strømmen kommer fra fornybare kilder, eller fossile, regner vi batterier som utslippsfri da det ikke gir noen form for utslipp med bruk (Øystese K. Å., 2020). Under ser vi ulike kilder vi henter elektrisitet fra, kullkraftverk til venstre, og vannkraft til høyre.



Foto 14: (Mjønerud, 2019)



Foto 15: (Bakke, 2019)

Batterier er en av de miljøvennlige alternativene vi bruker på skip i dag, enten som helelektrisk, eller med et hybridsystem. Batterier har vist seg å være godt egnet for korte distanser, som på ferger og hurtigbåter, men på større skip som skal reise over lange distanser blir det vanskelig med en ren batteridrift. Der har hybridsystemer der de i dag både har en motor som drives av fossile brensler, og et batteri som kan drive motoren. Dette gjør at slike skip kan utslippsfritt seile til og fra havnen og gjennom områder som er sårbare for forurensing (Vegge, 2019).

Hybridsystemer på miljøvennlige brensler vil også være en fordel. Brenselceller som brukes for å skape energi på skip som drives av ammoniakk og hydrogen har et problem med at de ikke tåler store belastningsvariasjoner. Dette kan føre til at cellene brytes raskere ned, og vil bli kostbart å bytte ofte. En løsning på dette er å bruke batterier, der brenselcellene lader batteriene med en fast belastning, og batteriene tar belastningsvariasjonene som akselerasjon og forskjellig drift av utstyr ombord som kraner og pumper (Andersen, 2003).

Prisen på batterier har hatt en stor nedgang de siste årene, som gjør det mer attraktivt å bruke denne teknologien. Desember 2018 publiserte Bloomberg NEF et resultat som viste prisnedgangen på batterier per kW fra 2010 til 2018 (BloombergNEF, 2018).

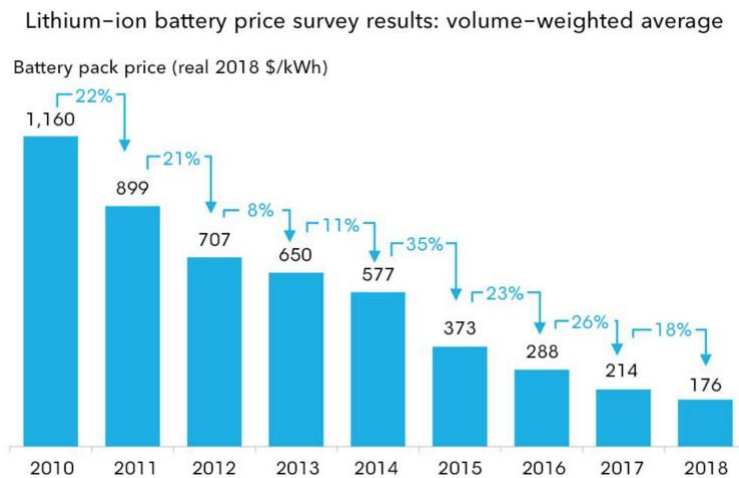


Foto 16: (BloombergNEF, 2018)

Det er mindre som beveger seg, noe som gjør at det er mindre som kan gå gale. Det gjør også at vedlikehold blir mindre og billigere.

## Oppsummering alternative drivstoff

De forskjellige drivstoffene har ulike fordeler og ulemper. Begynner vi med hydrogen har vi erfaring med å produsere dette stoffet, og vet hvordan vi bruker stoffet for å skape fremgang i et skip. Ulempen er den lave energitettheten, og store volumet vi trenger for å seile over lange distanser. Det virker derimot som en god mulighet å reise kortere distanser på hydrogen, som hurtigbåter og ferger da de kan bunkre oftere. Over lange seilaser ser det derimot dårlig ut. For å oppnå en høyere energitetthet kan hydrogen gjøres flytende ved å kjøle det ned til  $-252^{\circ}\text{C}$ . Problemet er at det tapes mye av energien til nedkjølingen (se foto: 11). Alternativet ammoniakk kan du betrakte som et lagringsmedium for hydrogen dersom vi bruker det i en brenselcelle. Dette virker som den beste måten å utnytte drivstoffet med dagens teknologi, da denne metoden har den høyeste energieffektiviteten. Dette blir en lettere og mer effektiv måte å oppbevare hydrogenet siden det er flytende med  $-32^{\circ}\text{C}$ , og slipper stort trykk. Dette gjør at vi trenger mindre avanserte systemer, som resulterer med en lavere pris. Ved å bruke brenselceller oppstår derimot et annet problem. Brenselcellene takler dårlig lastvariasjoner.

Dette er et problem på skip som utfører mange ulike oppgaver som krever forskjellig energimengder. Det kan derfor bli kostbart om de konstant må bli byttet pga. nedbryting. Her ser det ut som batteriene kan spille en viktig rolle. Brenselcellene kan bli brukt til å lade batteriene, og når motoren trenger kraft tappes energien fra batteriet. På denne måten brukes batteriet til å ta lastvariasjonene og brenselcellene brytes ikke like mye ned.

Når det kommer til bruk av batterier som eneste energikilde, ser det ut som det vil være et alternativ for hydrogen på grunn av den korte rekkevidden, og nødvendigheten for en hyppigere bunkring. Om vi ser på vedlegget som illustrerer hvor mye last vi kan ha ombord i forhold til drivstoff (Foto 13), ser vi batterier kommer dårligst ut.

Derfor ser det ut som ammoniakk er det beste alternativet for skip som skal seile over en lengre distanse, men alle de tre forskjellige alternativene spiller en rolle i fremdriften da ammoniakk brukes som en oppbevaring av hydrogenet, som videre produseres strøm til et batteri. Over kortere distanser ser batterier og hydrogen ut til å være et alternativ.

Om vi vurderer de ulike drivstoffene fra et miljø-perspektiv er den «grønne» måten den mest bærekraftige. Dette gjelder både for ammoniakk, hydrogen og batterier da samtlige kan produseres eller hente energi fra fornybare kilder. Problemet er at det krever store mengder energi, og blir kostbart. Det nest beste alternativet blir da å produsere det på en «blå» måte. Dette ser ut som den beste løsningen for dagens teknologi, der vi klarer å fange CO<sub>2</sub> og lagre det under bakken. Om vi klarer dette i stor skala blir det billigere å produsere drivstoffene, samtidig som miljøet blir spart for klimagassene.

Det som ser ut som en god løsning kan være å bruke elektrisitet fra fornybare kilder i båter som reiser over korte distanser. Da kan vi fokusere på å produsere ammoniakk og hydrogen på «Blå» måte, og mengden som produseres kan settes av til skip som trenger å reise over en middels eller lang distanse.

## Risiko med koblet opp med de forskjellige energikildene

Under vil jeg vurdere hvilken risiko de ulike drivstoffene utgjør. Alle typer drivstoff utgjør en viss risiko, men noen utgjør en større grad enn andre. Risikoen vil bli vurdert ut ifra fare for liv, helse og miljø og ikke økonomiske grunner.

### Hydrogen:

Hydrogen som brukes for å drive en brenselcelle lagres under høyt trykk siden under normal temperatur og trykk opptrer det i gassform (Hydrogenforum). Hydrogen fungerer bra som

drivstoff på grunn av den høye energitettheten. Dette gjør også at stoffet er veldig lett antennelig, som vil kunne ha fatale følger dersom det skjer en ulykke. Det er derfor viktig å vite om risikoen med bruk av hydrogen.

En fordel med hydrogen er at gassen under normale forhold er en luktfri, fargeløs ikke giftig for mennesker. Gassen er også lettere enn luft og vil stige oppover og fortynne seg til ikke-antennbare konsentrasjoner (Sundseth & Host, 2019).

En av de meste kjente ulykkene knyttet til bruk av hydrogen er Hindenburg-katastrofen som skjedde i 1937. Hindenburg var et luftskip som brukte Hydrogen som løftekraft. Under en flyvning i New Jersey, USA tok luftskipet fyr. Det tok ikke lang tid før brannen spredde seg til der hydrogenet var lagret og hele skipet stod i flammer. Hindenburg-hendelsen skal ha ført til at vi sluttet å bruke luftskip til transport (Kruse, 1999).

I nyere tid har det også hendt ulykker omhandlende hydrogen. Juni 2019 eksploderte en hydrogentank i Sandvika. Årsaken sies å ha vært en monteringsfeil som ledet til en lekkasje av hydrogen. Dette førte til en eksplosjon da hydrogenet samlet seg til en sky og selv-antente (Jensen, 2019). En positiv egenskap til hydrogen derimot er at dersom vi får til en kontrollert lekkasje vil ikke stoffet skade miljøet da det vil blandes ut i luften. Det vil også bli utblandet til ufarlige konsentrasjoner som ikke vil utgjøre en fare for å antenne (Guddingsmo & Fløttre, 2018).



Foto 17: (NASM, Archives division, 2017)



Foto 18: (Asker & Bærum Brannvesen, 2019)

### Ammoniakk

NH<sub>3</sub> som blir laget til for bruk som drivstoff er ikke like antennelig som Hydrogen, eller andre typer fossilt drivstoff som olje, diesel eller bensin og utgjør mindre risiko for brann. drivstoffet kommer derimot med andre ulemper som gjør det risikabelt å jobbe med. NH<sub>3</sub> i

gassform er svært giftig ved inhalering og kan føre til intense smerter i svelg og nese, kramper og åndenød. Om én befinner seg i et rom der konsentrasjonen av gass er svært høy, kan det føre til kroniske effekter på luftveiene i form av astma liknende symptomer. NH<sub>3</sub> i væskeform er det svært etsende og ved kontakt med huden kan forårsake store skader. Når stoffet lagres i flytende form, er det kjølt ned til mellom -34°C og -72°C. Om hud kommer i kontakt med dette kan det forårsake store frostskafer og i verste fall vevskafer (Sikkerhetsblad, 2020).

Sammenliknet med hydrogen har ikke ammoniakk vært midtpunktet til store og alvorlige ulykker, men det har skjedd hendelser og ulykker omhandlende ammoniakk. I 2013 oppstod det en ammoniakk-lekkasje ombord en tråler. Fartøyet skulle utføre reparasjonsarbeid ombord og en pakkeboks ble byttet ut i kjøleanleggets kompressor. Den nye pakkeboksen fikk en lekkasje kort etter den ble byttet og NH<sub>3</sub> i gassform lakk ut i rommet. Mannskapet forsøkte å stoppe lekkasjen, men de hadde ikke riktig verneutstyr til å håndtere situasjonen. Det førte til at de stengte av rommet og tilkalte brannvesenet (Sjøfartsdirektoratet, 2013).

Noe som minker risikoen med bruk av ammoniakk som drivstoff er at vi har erfaring med å frakte det i skip som vare. Dette betyr at vi kan bruke den informasjonen og erfaringen vi har, og videreutvikler denne for å gjøre det tryggest mulig. En positiv egenskap til ammoniakk er at det er veldig løselig i vann, noe som betyr at det skal foreligge en lekkasje kan en løsning være å dumpe det i havet der ammoniakk blir omgjort til ammonium som er betydelig mindre giftig (Poléo, 2011).  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$



Foto 19: (Giftinformasjonen, 2019)

## Litium batterier

Ombord skip bruker vi Litium-batterier i stor grad til lys, radar og andre elektriske komponenter. Noen få båter har kommet så langt at selve motoren drives av en helelektrisk

motor. Fordelen med å bruke litium-batterier over bly-syre batterier er at de har lettere vekt og kan lagre mer energi. Ulempen er at de er mer brannfarlige. Sikring mot brann er spesielt viktig ombord på grunn av vanskelighetsgraden med å evakuere et skip som er strandet langt ut på havet. En annen ulempe med litium-batterier er at et defekt batteri kan gi utslipp av helsefarlige gasser (Kjærnli, 2020).

Fordelen med batterier som brukes til å drive store motorer som biler viser seg å være veldig vanskelig å ta fyr. I 2017 testet brannvesenet hvor vanskelig det er å sette fyr på en elbil. Det tok hele 2 timer før de fikk fyr på elbilen, ved å sette to propantanker inn mot batteriet (Møller, 2017). Problemet med batteriene oppstod først da de skulle slukke brannen.

Et batteri som brukes til å drive kjøretøy som biler og båter består av mange individuelle celler. Et eksempel er Tesla sitt batteri på modell S som består av 18 650 individuelle celler (Pressman, 2017). Dersom en av cellene i pakken blir komprimert kan det oppstå en kjedereaksjon der det ene batteriet antenner neste, og så videre. Å slukke en slik type brann er krevende da batteriene får en «selvantennelig» tendens og brannen kan vare i flere dager på en batteripakke som brukes i elektriske biler. Denne type reaksjon kalles Termal runaway (Warner, 2019). Om en slik reaksjon skulle skjedd med en batteripakke som gir strøm til en elektrisk motor på et stort skip, kan utfallet bli kritisk. En slik batteripakke vil være mange titalls ganger større enn den i en elektrisk bil, og en eventuell Termal Runaway vil være krevende å slukke. Det er heldigvis en del sikkerhetsmekanismer som kan brukes for å minke risikoen for at denne reaksjonen skal oppstå. Det finnes ulike sikkerhetssystemer som kan overvåke temperaturen til cellene. Vi kan også dekke disse cellene med et materiale som kan oppta varme. Til slutt kan det også brukes separatorer som smelter og isolerer elektrodene fra hverandre så kjedereaksjonen ikke kan fortsette (Valle, 2016).

## Fossilt drivstoff (MGO)

De nye alternative, miljøvennlige drivstoffene bærer en viss risiko med seg. Men det betyr ikke at dagens fossile drivstoff er risikofritt. For å sette risikoen til de miljøvennlige drivstoffene i perspektiv, kan vi sammenlikne dem med MGO.



Tungolje har også den risikoen at stoffet er brannfarlig, men ikke i like stor grad som hydrogen og ammoniakk. Skipsfarten har også mye lengre erfaring med å bruke tungolje som drivstoff, og derfor bedre sikkerhetsrutiner når det kommer til håndtering og bruk av dette. Det fossile drivstoffet kommer derimot med en annen risiko de andre miljøvennlige ikke har, altså forurensing av miljø og natur dersom en ulykke oppstår. Om et skip går på grunn og får et hull i skroget, og olje og drivstoff lekker ut vil dette få en markant, negativ innvirkning på miljøet. Et eksempel på dette er det japanske lasteskipet MV Wakashio som gikk på grunn utenfor øyen Mauritius i det Indiske hav 25. Juli 2020. Skipet lå grunnnet i 12 dager før det ble delt i to og nesten 1200 tonn med tungolje og diesel begynte å lekke ut (bbc.no, 2020). For å rydde opp etter oljesøl finnes det en del stoffer vi kan bruke. Dette kalles dispergeringsmidler og det finfordeler oljen i vannmassene, slik at det blir lettere for organismer å bryte ned oljen (miljødirektoratet). Det har dessverre vist seg at mange av disse kjemikalierne har vært langt mer giftig enn selve oljen. Det har blitt registrert alvorlige og langvarige virkninger i marine dyr og organismer etter det ble brukt dispergeringsmidler når tankskipene Exxon Valdes (1989) og Torrey Canyon (1967) forliste (Olerud , 2020).



Foto 20: (Pledgtimes.com, 2020)



Foto 21: (Unstad, 2020)

### Oppsummering risiko:

Vi ser ingen av alternativene kommer uten noen form for risiko, men det varierer i stor grad fra sikkerheten til liv, helse og miljøet. De klimavennlige stoffene virker som har en mindre risiko for forurensing og skade på miljøet, men større risiko for liv og helse til mannskapet ombord. Teknologien er lite utviklet i forhold til hvordan vi håndterer fossile brensler, men

det er ikke forventet at alle skip skal ha et nullutslipp med det første. Teknologien har derfor tid på å utvikle seg og bli sikrere. Det er også viktig å tenke på at fossile brensler som MGO ikke blir et alternativ i framtiden, så uansett hvor langt det kommer mellom hver bunkring, og hvor sikkert vi gjør det vil det til slutt bli faset ut av skipsfarten.

## Norge sin satsing på miljøvennlig skipsfart

Norge har lenge hatt en ledende rolle i IMO sitt klimaarbeid, og jobbet hardt med å få til klimaavtalen som ble vedtatt i 2018. Norge satser på at vi skal vise vei og ha en klimavennlig sjøfart er mulig og samtidig tjene penger. Det er i tillegg satt ekstra mål om at hvert skip skal bruke energien mer effektivt, og transporteffektiviteten for hele sektorene skal forbedres med minst 70% innen 2050 (Klima- og miljødepartemanget, 2018).

## Fergetransporten

Norge har hatt en stor økning i elektriske ferger langs kysten de siste årene. De norske bilfergene reiser over korte distanser med gode muligheter med en hyppig ladefrekvens. Det gjør de godt egnet for å bruke batterier som fremkomstmiddel (Øystese K. , Grønn skipsfart: Utslippene må i null innen 2050, 2020). Under er et bilde som viser hvor ferger er i drift i dag, og de som er planlagt å komme i 2020-2021.



Foto 22: (Norsk klimastiftelse, 2020)

Verdens første batteridrevne ferge er norsk og ble satt i kommersielt bruk tilbake i 2015 og fikk navnet Ampere. Fergen er over 80 meter lang og kan laste opp til 120 biler (The Explorer, 2018). Når en ferge ligger til kai og skal lade, trenger det mye energi over en kort periode. Problemet med dette er at langs kysten har ikke energinettet evnen til å overføre nok energi. Løsningen til dette er å plassere et batteri på kaien som lades jevnt og konstant når fergen krysser fjorden, og når den legger til kai igjen dumpes strømmen fra batteriet over til fergen. På denne måten vil ikke strømmen merke store variasjoner (UIT, 2019).

Norge har ikke bare hatt en satsing på klimavennlige ferger, men er også ansvarlig for den første hybride fiskebåten (Karoline) og første null-utslipps containerskip (Yara Birkeland) (The Explorer, u.d.).

## Støtteordninger

Noe som har en stor innvirkning på at Norge ligger langt fremme i utviklingen av elektriske, og andre klimavennlige fartøy er gjennom statlige, og private støtteordninger som gir en fordel til de tør å bruke tid og penger på utvikling av klimavennlig teknologi. De to største støtteordningene i Norge er NOx fondet og Enova.

### Enova:

Enova ble etablert i 2001 og har som formål å bidra til en reduksjon i klimautslipp og akselerere miljøvennlig energi- og teknologiutvikling. Støtten bidrar til at fartøy som slipper ut mindre, eller er helt nullutslipp vil være konkurransedyktig. Fra Enova ble etablert til 2020 har 3721 prosjekter fått støtte, og det er gitt ut totalt 3,1 milliarder kroner (Enova, u.d.).

### NOx Fondet:

NOx-avgiften var et politisk virkemiddel som ble satt i bruk tilbake i 2007 for å redusere utslipp av NOx. Virksomheter måtte da betale 15kr per kilo NOx-utslipp, noe som gjorde det økonomisk krevende for mange bedrifter, spesielt de bedriftene som hadde svak økonomi og høye utslippstall. Avgiften var for kostbar for mange bedrifter, slik at de ikke klarte å gjøre ulike tiltak for å senke utslippene. Avgiften bidro derfor lite til reduksjoner av NOx og utvikling av ny teknologi. Det kom da en anbefaling fra ulike næringsorganisasjoner om å danne et NOx-fond til erstatning for avgiften. Fondet ville kutte utslipp med å gi næringslivet støtte for å implementere grønn teknologi. Noen eksempler der fondet har spart store mengder med utslipp er støtte til batteriteknologi på skip, og rensing av NOx med katalysatorer på skip med LNG drift (NHO, u.d.).

I dag er fondet eid av 15 næringslivsorganisasjoner, og en virksomhet kan melde seg inn i fondet og betaler en innbetalingsatts. Ved å gjøre dette slipper de å betale NOx – avgift til staten. Mellom fondet ble opprettet i 2008 til 2019 ble det gitt støtte til over 1330 prosjekter, og det ble utbetalt over 4,4 milliarder kroner. Det er estimert at NOx-fondet har redusert 39 000 tonn med NOx-utslipp i den perioden (NHO, u.d.).

## Oppsummering Norge sin satsing på miljøvennlig skipsfart

Norge jobbet med å få til det internasjonale kravet om å halvere utslippene innen 2050.

Satsingen til Norge kommer tydelig fram når vi ser utviklingen av de elektriske fergene langs kysten vår. Det som er en stor motiverende faktor for de som ønsker å gå for miljøvennlige skip i Norge, er de ulike støtteordningene som NOx fondet og Enova. På grunn av dette har bedrifter mulighet og motivasjon til å utvikle ny teknologi.

IMO sine krav er derfor en stor fordel som Norge, da vi har denne store satsingen på ny og miljøvennlig teknologi.

## Metode

Når jeg skal gjennomføre dette forskningsprosjektet trenger jeg en eller annen form for metode. Denne metoden kan vi tenke på som et redskap eller verktøy for å hjelpe meg å få svar på spørsmålene jeg stiller og få ny kunnskap innenfor et felt. Metoden omhandler hvordan jeg innhenter, organiserer og tolker informasjonen (Larsen, 2017).

Under skal vi se nærmere på hvilken metode jeg har brukt i oppgaven

## Mål

Målet med min oppgave er å avdekke hvordan vi skal klare å nå IMO sine mål om en halvering av utslippene fra havtransporten innen 2050, og en videre utvikling til å bli en nullutslipps-sektor innen 2100. Jeg vil se på de mulighetene vi har for å klare dette som ulike logistikk- og designløsninger og alternative drivstoff som ikke bidrar til miljøforurensing. Jeg vil samtidig se nærmere på hvor Norge ligger an for å nå disse målene, og om det er positivt eller negativt.

## Sekundærdata

Sekundærdata er forskningsdata som andre har samlet inn og jeg ønsker å bruke i min forskning (Larsen A. , 2017). Jeg hentet mye av informasjonen min fra internett, og så på andre publiserte dokumenter angående prosjektet mitt. For å finne forskningsrelatert litteratur brukte jeg Google Scholar. Denne søkemotoren gjør det lettere å finne relevant og troverdig informasjon og øker reliabiliteten til oppgaven. Det er også blitt brukt vanlig søkemotor da annen nyttig informasjon og eksempler kan bli funnet der. Det som er viktig å tenke på med sistnevnte er å være kildekritisk til informasjonen jeg henter.

## Kvalitativ informasjonsinnhenting

Jeg har valgt å bruke kvalitativ metode for å hente den informasjonen jeg trenger til oppgaven. Kvalitative data er data som sier noe om kvalitative egenskaper hos informantene jeg intervjuer. Disse kalles ofte for «myk data» (Larsen A. , 2017). Grunnen til at jeg valgte denne metoden er fordi jeg mener dette er et tema ikke mange kan så mye om, og jeg trenger data av personer som har mye erfaring og utdanning innenfor temaet.

Min datainnhenting har vært formelle intervjuer over forskjellige videomøte-applikasjoner. Fordelen med å møte personene jeg intervjuer «ansikt til ansikt» er at det er mye kunnskap jeg mangler om temaet, som jeg da kan få lært dette av informantene. Jeg får også stilt oppfølgingsspørsmål, slik at svarene jeg får er dypere og jeg kan rydde opp i misforståelser (Larsen A. , 2017). Dette gjør at jeg som forsker på temaet får en bedre forståelse. Noen ulemper med denne type metode er at det kan være vanskelig og mer tidskrevende å bearbeide informasjonen. kalles «kontrolleffekten». Det som menes med dette er at jeg som er

intervjueren kan påvirke hva informanten sier, som igjen påvirker resultatet (Larsen A. , 2017).

## Utvalg

For å velge dem jeg ønsket å intervju brukte jeg snøballmetoden. Jeg tok kontakt med studieveileder ved NTNU i Ålesund som har god oversikt over hvem som er eksperter innenfor dette området. Han opplyste så om andre personer som han tror kan være lurt å intervju. Jeg brukte også skjønnsmessig utvelging der jeg valgte informanten ut ifra hvor mye jeg tror personen kan om temaet.

Første personen jeg tok kontakt med var Kristian Evjen. Han eier logistikkfirmaet VIENDO AS i Bergen. Evjen har jobbet mye med forskjellige logiske, og teknologiske løsninger for å senke forbruket på skip, og har en brei erfaring og kunnskap innenfor temaet.

Jeg tok så kontakt med studieveileder som anbefalte meg å ta kontakt med førsteamanuensis Ann Rigmor Nerheim, senioringeniør Finn Tore og professor Vilmar Æsøy.

Grunnen til at jeg valgte å intervju disse er at jeg de tidligere har jobbet i kommersielle bedrifter, og nå underviser i det aktuelle temaet på NTNU i Ålesund. De har lange utdanninger og spesialisert seg innenfor dette. Dette gjør at jeg både får sett temaet fra et akademisk og kommersielt synspunkt.

Informantene i denne undersøkelsen består av totalt 4 personer. Under nevner jeg de ulike informantene og utdyper utdanningen og bakgrunnen deres.

Kristian Evjen: NTH utdannet på skipslinjen/marinteknisk. Jobbet med drift operasjon og prosjekter i nesten 30 år. I det siste har han jobbet med prosjekter angående batteri installasjoner på skip.

Finn Tore Holmeset: Tok fagbrev i automasjonsmekanikker og utdannet maskinsjef og begynte å jobbe på fiskebåt og har seilt i 13 år. Begynte så i 2014 på høyskolen i Ålesund som senere ble NTNU. Jobber på institutt for havromsoperasjoner og byggeteknikk. Videre tok han en master i krevende maritime operasjoner. Han har også ansvar for gass kurset som holdes på NTNU for sjøfolk som skal seile med båter som bruker gass som drivstoff.

Vilmar Æsøy: Gikk maskinretning og tok videre en doktorgrad i termodynamikk og forbrenning. Han har jobbet med undervisning og forskning på NTNU Ålesund i ca. 20 år, og underviser i ingeniørfag. Det spesifikke område innenfor ingeniørfaget er energiteknikk og alternative drivstoff. Vilmar har også erfaring fra å jobbe i maritim industri og har jobbet en del på skipsverft.

Ann Rigmor Nerheim: Utdannet sivilingeniør fra fysikk og matematikk fra NTH. Arbeidet deretter ved rogalandsforskning i Stavanger, hvor hun tok doktorgrad i gasshydrater. Begynte så å jobbe i Statoil med gass-transport optimalisering og ulike forskningsprosjekt, før hun flyttet tilbake til Møre og Romsdal og begynte i Naturgass Møre AS. Jobbet der med distribusjon av LNG og bygging/drift av LNG-anlegg på land. Fra 2013 jobbet hun i Rolls Royce Marine AS med design av LNG-anlegg for skip og patentering. I 2019 startet hun i stilling som studieprogramkoordinator for bachelorprogrammet i fornybar energi som da var nystartet ved NTNU i Ålesund.

### Gjennomføring av intervju

For å planlegge intervjuet sendte jeg en mail til informantene og spurte om de var interessert i å la seg intervju for min bacheloroppgave. Jeg la også til et vedlegg som inneholdt de ulike spørsmålene jeg ønsket spørre dem. Etter de takket ja til invitasjonen ble vi enige om hvilken videotjeneste vi skulle holde intervjuet på. Jeg spurte også om samtykke til å ta opp samtalen.

Jeg valgte et dybdeintervju for å utvinne informasjon. Dette er langvarige intervjuer hvor jeg er interessert i informantens erfaringer, opplevelser og meninger. Det er viktig i disse intervjuene at informanten får rom og anledning til å snakke fritt (Larsen A. , 2017).

Spørsmålene er stor grad åpne, så informanten får si sin mening på saken. På denne måten vil jeg få svar på spørsmålene jeg finner av interesse, samtidig som informantene kan komme med annen informasjon jeg kan finne nyttig.

Spørsmålene jeg stilte informantene er følgende:

Kan du starte litt med å snakke litt om deg selv, hva du jobber som og tidligere erfaringer?

Hva mener du om kravene til IMO om å halvere utslippene fra skipsfart innen 2050?



Hvilken alternativer tror du skipsfarten har om de skal klare å nå kravene til IMO?

Kan du fortelle dine meninger om de forskjellige drivstoffene:

Hydrogen:

Ammoniakk:

Litium-batterier:

Er det noe jeg kunne spurt om omhandlende dette temaet som jeg ikke har nevnt?

### Analyse av data

Etter dataene var samlet inn transkriberte jeg intervjuene fra opptakene jeg tok. Jeg kodet dataen og tok ut den informasjonen jeg fant nyttig for oppgaven. Jeg vil presentere det jeg fant ut ifra intervjuene under «ekspertens meninger og tanker om en klimavennlig sjøtransport».

### Validitet og reliabilitet

Det er viktig å vurdere validitet og reliabilitet hele veien i forskningsprosessen, og vurderer dette når jeg bestemmer utvalg og hvilke datakategorier jeg vil fokusere på. Validitet i forskning handler om gyldighet og relevans. I kvalitative studier handler det i stor grad om bekreft barhet, overføringsverdi og troverdighet. (Larsen A. , 2017). På starten av intervjuet spurte jeg om samtykke til å bruke navnet til informantene i oppgaven. Ved å bruke navnene vil oppgaven få mer troverdighet og reliabilitet da informantene har lang utdannelse og erfaring innenfor temaet, og har stor kunnskap om hva de svarer på. De fikk valget at jeg ikke skulle brukte navnet i oppgaven, tilfelle de ville komme med kontroversielle meninger. Jeg spurte om dette for å sikre meg så ærlige svar som mulig. De fleste ville svare på dette etter vi var ferdig med intervjuet, så de fikk en bedre oversikt over hva de svarte på. Det endte med at alle samtykket til at jeg kunne bruke navnet deres i oppgaven.

## Ekspertenes meninger og tanker om klimavennlig sjøtransport

Under vil jeg forklare meningene til de ulike informantene innenfor klimavennlige drivstoff og deres syn på IMO sitt krav om en halvering innen 2050, og ambisjon om nullutslipp innen 2100.

### Kristian Evjen:

Tidlig i intervjuet utaler Kristian at han har en klar preferanse for bruk av ammoniakk på skip. Den store mengden vi kan utvinne fra naturgass, og det at vi allerede frakter det i dag ser han på store fordeler. Spesielt om vi klarer å fange Co<sub>2</sub>-et som blir produsert under reformeringen av naturgass. Han fastslår om alle skip skal bruke ammoniakk og hydrogen som drivkraft har ikke verden nok strøm til å drive med elektrolyse av vann for å produsere hydrogen. Eneste måten hadde vært på å bruke atomkraft, men på grunn av at dette er så kontroversielt ser han ikke for seg at vi i Norge vil drive med dette.

Når det kommer til lagringen av Co<sub>2</sub> en melder han om ulike formasjoner som kan ta imot all den Co<sub>2</sub>-en vi produserer de neste 400 årene. Co<sub>2</sub> kan derimot ikke lagres i kalkstein eller sandstein på grunn av den sure naturen til Co<sub>2</sub>.

Selv om han prefererer bruken av ammoniakk, setter han derimot spørsmål til sikkerheten rundt stoffet. Om det skulle oppstå en større kollisjon har han en teori om at løsningen kan være å la stoffet lekke ut kontrollert i havet. Dette er på grunn av ammoniakk sin store løselighet i vann der det blir omgjort til ammonium som er langt mindre giftig. Når han veier ammoniakk mot hydrogen basert på risiko opplyser han om den ekstreme tenn hastigheten til hydrogen, og at det er mer som en eksplosjon. Lagringen av hydrogen skjer også under stort trykk på 800-bar. Han liker derfor ikke tanken om store mengder hydrogen ombord et skip. Han sier derimot at skip som reiser korte distanser, og kan bunkre ofte så de slipper store mengder med hydrogen ombord kan det være en løsning.

Videre presenterer Kristian de ulike måtene vi kan bruke ammoniakk som energibærer. Den første er å bruke det direkte i en skipsmotor, men på grunn av den lave virkningsprosenten har han lite tro på denne metoden. Den andre måten er å bruke det direkte i brenselcellen.

Problemet med det er at vi får en høy brenntemperatur mellom 800-900°C. Dette kunne føre til at cellene fortere blir ødelagt og må byttes ut. Driftskostnadene blir derfor høye, og er en ugunstig måte. Virkningsgraden er derimot veldig høy, så om vi finner en løsning slik at det

blir en stabil drift kan dette være en god måte. Det siste alternativet er å bruke en PEM-celle. Problemet der er at vi må konvertere ammoniakk til hydrogen, vi kan altså ikke bruke det direkte. For å konvertere bruker vi varme, men dette krever en del energi, så vi ender da opp med en middels virkningsgrad. Det gjøres mye forskning på hvordan vi skal få ammoniakken tilbake til hydrogen, og sier Japan leder utviklingen der de bruker en «solid katalysator» for å konvertere ammoniakk til hydrogen. Om denne teknologien viser seg å fungere vil dette være en klar måte å gjøre det på da det gir en høy virkningsprosent. PEM-cellene har også vist seg til å garantere en høy driftstid på mellom 25-30 000 timer. Han viser til et eksempel om vi bruker cellen 5000 timer i året vil det gi en levetid på 5-6 år. Grunnen til at den ikke har lengre levetid er fordi de ikke har hatt sjansen til å teste den lengre.

Et problem med brenselcellene er at det har vist seg at de ikke tåler store last-variasjoner. Det kan degradere brenselcellen, og blir kostbart med hyppig bytting. Løsningen kan være å bruke en batteripakke der brenselcellen ligger og produserer konstant strøm til batteriet. Da kan batteriet ta lastvariasjonene.

Han tror personlig dette oppsettet, der ammoniakk brukes som et lagringsmedium av hydrogen som kjøres igjennom en brenselcelle for å lade et batteri vil være rette måten til en klimavennlig sjøtransport. Angående økonomien til omvendingen tror han dette vil være fullt mulig, da han sier ammoniakk koster halvparten av MGO for samme energimengde. Ulike støtteordninger vil også hjelpe mye ved å utvikle teknologien, så han tror også denne utviklingen vil gå fort og ser for seg ammoniakk baserte skip på sjøen om 4-5 år.

Andre punkter Kristian mener er viktige for å sørge for at utviklingen går riktig vei er en kraftigere skattelegging av Co<sub>2</sub>-utslipp. Han viser til at mye har skjedd på grunn av høye NO<sub>x</sub> avgifter, og tror det samme må skje med Co<sub>2</sub>. Sluttbrukeren har også rom for å betale mer for sjøfrakten.

Når det kommer til nødvendigheten til IMO sine krav er han fast bestemt på at dette er noe de må gjøre. Dersom de ikke begynner å slakke på kravene vil folk prøve å utsette det da det krever store investeringer og teknologiutvikling. Tar de vekk kravene vil lav-kostnad shipping nasjoner få en stor fordel, og gjøre det vanskelig for teknologibaserte nasjoner å konkurrere på pris. Dersom de klarer å holde på kravene vil det derimot være en stor fordel for shipping nasjoner som Norge, da vi som regel er i forkant av teknologiutviklingen.

## Finn Tore:

Hvilket drivstoff Finn Tore tror kommer til å bli brukt mest av i sjøfarten er delt. Batterier er veldig kurant for korte distanser som fergekryssinger, men energitettheten til batterier er for lav til å reise store distanser etter dagens teknologi. Hydrogen syntes han er spennende, men setter spørsmål til hvordan vi skal håndtere dette på en sikker måte. Han mener også virkningsgraden til hydrogen er dårlig, og vil ikke være egnet til mer enn små trafikk og kortere distanser med en maks lengde fra Norge til England. Om båter skulle reist lengre, som over Stillehavet vil last mengden vi få med oss være så liten, at vi ville hatt et behov for flere skip som seiler samme rute. Han stiller også spørsmål til sikkerheten med bruk av hydrogen, og de systemene vi skal bruke.

Finn Tore sine tanker om Ammoniakk som drivstoff er at det er en bedre måte å lagre hydrogen på, da det er flytende på rundt  $-34^{\circ}\text{C}$ , og ikke på  $-252^{\circ}\text{C}$  som hydrogen, men han har ikke sett mye på denne teknologien og melder fra om et de forskjellige stoffene forskes mye på, og det er vanskelig å si noe om fremtiden enda.

Når det kommer til Finn Tore sine meninger om IMO kravet sier han dette er vanskelige mål, men også nødvendige mål. Ser vi på all den forskningen som viser sammenhengen mellom global oppvarming og utslipp, så er dette noe som må bli tatt tak i. Han mener vi trenger å tenke over hva vi gjør som forårsaker disse høye utslippene, som hvor lett det er å sitte på nett og handle ting og frakte det verden over. Vi må tenke over det energiforbruket som kreves.

## Vilmar Æsøy

Han har troen på at de ulike energikildene blir brukt til sitt formål. Hydrogen og batterier vil bli brukt der skipene har mulighet til en hyppig bunkring som ferger og hurtigbåter. Det er på grunn av den korte rekkevidden disse båtene vil ha. Skal vi over lengre distanser trenger vi stor plass til hydrogentanker, og han ser ikke på dette som en mulighet på større skip. Eneste måten han tenker vi kan bruke stoffer som hydrogen over lange distanser er dersom vi finner en ny løsning på designet til skipet, slik at det er plass til tankene vi lagrer hydrogen i. Vilmar ser for seg at mange sitter og venter på å se hva som blir det neste, som f.eks. dette nye designet. Skipene som bygges i dag skal gjerne brukes i 30-40 år fremover, og det er derfor viktig at skipene bygges slik at de er tilpasset fremtiden.

Risikosekt, så har Vilmar jobbet lenge med naturgass som er en veldig snill gass. Det er likevel strenge regimer angående sikkerhet for de båtene som drives av LNG. Når det

kommer til Hydrogen baserte fartøy tror han sikkerheten må ganges med 2, 3 eller 4. Han vil heller ikke anbefale hydrogen på skip før han ser veldig sikre løsninger. Problemet med disse sikre løsningene er at de blir kostbare og avanserte.

Angående ammoniakk betrakter han det som en lettere måte å oppbevare hydrogen da det er flytende med  $-34^{\circ}\text{C}$  og ikke  $-252^{\circ}\text{C}$  som hydrogen. Vi har også erfaring med ammoniakk om bord, så problematikk som giftigheten er godt kjent. Måtene vi kan bruke stoffet som drivstoff er gjennom en brenselcelle, eller bruke det direkte i en motor.

Batterier som energikilde til å drive en motor på et stort skip mener han ikke er mulig. Vekten og volumet gjør det alt for vanskelig å bruke ombord et skip. Han nevner også at batterier er en begrenset ressurs, vi har nok til batterier til f.eks. mobiler og datamaskiner, men den store mengden som kreves ombord for å drifte et skip vil møte på en ressursmangel.

Når jeg spurte om Vilmar sitt syn på kravene til IMO om å halvere utslippene svarte han dette var gode, og oppnåelige mål. Vi trenger dette internasjonale regelverket, for om ikke vil den som klarer å lure seg unna og gjøre det på en billigere måte være den som overlever. Vi trenger like og rettferdige konkurransevilkår Det han derimot mener er mindre oppnåelig er nullutslippskravet etter 2100. Dette mener han er urealistisk siden vi vil møte fysiske og økonomiske begrensinger og det vil bli for dyrt og komplisert. Eneste måten han kunne tenke seg null-utslipp ville fungert er dersom vi går over til kjernekraft for å produseres strøm til å drive elektrolyse.

### [Ann Rigmor Nerheim](#)

Et problem Ann Rigmor er bekymret for er at drivstoffet som er i fokus plutselig ikke er rent nok lengre. Hennes erfaring fra LNG på skip er at det var en stor satsing og de har utviklet teknologien og kommet fram til en løsning. Videre selger vi teknologien til utlandet, men i Norge er plutselig ikke dette rent nok lengre. Det kom ulike regelverk på plass som Co2 avgifter, retningslinjer og forskrifter. Hun så på dette som «å rykke teppet vekk under føttene på LNG selskapene». Hun er derfor redd det samme kan skje med stoffer som hydrogen. At vi i Norge ikke ser på blått hydrogen som rent lengre og prøver å få oss over på grønt, uten å tenke over konsekvenser som en høyere pris på grønt hydrogen.

En annen bekymring Ann Rigmor har er sikkerheten til de ulike drivstoffene. Hun har mye erfaring fra LNG systemer, men sier hydrogen er en klasse for seg selv. LNG systemer er

kostbare og avanserte, men skal vi gå over til hydrogen vil det bli enda dyrere. Det er så reaktivt at vi trenger en helt annen kvalitet på rørene og andre sikkerhetssystemer.

Det hun syntes er direkte skremmende og vi bør være på vakt om er aktørene som presser fram for å skape et hydrogensamfunn. Ulike aktører utaler gjerne at «det gikk greit med LNG, dette ordner ingeniørene». Hun er redd for at dette bli bestemt før vi har teknologien, og selv om det ordnet seg for LNG er ikke det sikkert det vil gå samme vei for hydrogen. Hydrogen er mer krevende og krever mer sikkerhet og teknologi. I mange tilfeller mener hun at batterier er et like så godt eller bedre alternativ til hydrogen da den har lavere risiko, og lignende rekkevidde.

Ammoniakk ser hun på som et godt alternativ, men nevner ulempen med den høye giftigheten. Hun setter spørsmål til situasjoner dersom det oppstår en lekkasje langt til sjøs på en cruisebåt eller et annet passasjerfartøy. Avanserte sikkerhetssystemer vil være nødvendig også på skip drevet av ammoniakk.

Selv om hydrogen og ammoniakk ser delvis lovende ut, mener hun at vi ikke må ha det for travelt slik at vi ikke utforsker andre alternativer. Sånn det ser ut i dag tror hun fremtiden vil bestå av mange ulike kombinasjoner etter behov og tror ikke det er et drivstoff som vil ta over markedet.

Angående IMO sine krav mener hun dette er veldig positivt, og på plass. Hun er derimot redd for at Norge setter strengere krav til sine bedrifter. Hun melder at hun selvfølgelig er veldig for miljøvennlige løsninger, men at det er viktig å ikke redusere norske bedrifters konkurransekraft ved å pålegge strengere krav enn de internasjonale (IMO)

## Ekspertenes meninger oppsummert

Mye av den teknologien som er nevnt gjennom denne oppgaven er ny, så kunnskapen de forskjellige informantene har til ulike temaer er forventet. Likevel hadde informantene felles meninger om mye av temaet.

Noe alle var enige om er sikkerheten med bruk av hydrogen. Risikoen for å bruke dette mente de var veldig høye, og vi trenger å utvikle avanserte systemer. Utviklingen av dette vil derimot være kostbart utaler Vilmar.

Alle informantene nevner også rekkeviddeproblemet til hydrogen, og at det vil være egnet til kortere ruter der båtene har mulighet til en hyppigere bunkring. Å kunne bunkre oftere mener Kristian hjelper på sikkerheten, da vi trenger mindre mengde hydrogen ombord. Ann Rigmor Nerheim sin bekymring for sikkerheten er at det blir lite snakket om fra aktørene og sammenlikner det med at LNG på skip ordnet seg. Vilmar utaler seg at sikkerheten med bruk av hydrogen må gange seg med 2, 3 eller 4 i forhold til LNG. Det er derfor bekymringsfullt hvordan aktørene utaler seg om dette.

Angående batterier er det også en felles mening at dette vil bli brukt over kortere distanser der det er muligheter for å lade oftere. Ann Rigmor utaler at i mange tilfeller vil batterier være et bedre alternativ enn hydrogen på grunn av den reduserte sikkerheten.

Ammoniakk har Kristian store meninger om og går i dybden på dette drivstoffet. Han mener dette er det beste alternativet for lengre seilaser da det slipper ekstreme nedkjølingstemperaturer for å få det flytende. Han sier også at stoffete er lite kostbart og brukes kommersielt i dag. De andre informantene nevner bare drivstoffet litt. Vilmar og Finn Tore ser på ammoniakk som en lettere måte å håndtere hydrogen på. De nevner den reduserte risikoen, og hvordan det er lettere å håndtere. Ann Rigmor nevner problemet med giftigheten til ammoniakk og at vi trenger ulike sikkerhetssystemer. Kristian har derimot en teori at dersom en hendelse oppstår kan vi dumpe ammoniakken i havet, da stoffet er høyt løselighet i vann.

Informantene sine meninger om IMO sine krav er samsvarende. De syntes dette er gode og nødvendige mål. Kristian utaler at målene er viktige for avanserte sjøfartsnasjoner som Norge. Vilmar samsvarer med dette og sier vi trenger felles mål, ellers vil den som lurer seg unna og gjør det billig være den som overlever. Det er derfor vitalt for Norge at IMO klarer å holde på kravene. En annen problemvinkel som kan oppstå er at Norge setter strengere krav til sine bedrifter og reduserer konkurransedyktigheten.

## Oppsummering sjøfartens vei til en klimavennlig sektor:

Design og logistikk på et skip vil aldri utvikle seg til at drivstofforbruket går i null. Det vil derfor være nødvendig å finne nye type drivstoff vi kan bruke for å nå de langsiktige kravene til IMO. Dårlige logistikk- og designløsninger vil derimot føre til at forbruket til et skip øker. Rekkevidde er et problem som går igjen når det er snakk om miljøvennlige drivstoff. Ved å

reise mer effektivt gjennom vannet spares drivstoff som gjør at vi kan reise lengre. Dette er spesielt viktig i startfasen av omvendingen til en klimavennlig sjøfart som vi befinner oss i nå. En annen viktig grunn til å ha gode design og logistikk-løsninger er at alternativene som er i fokus blir produsert på en slik måte at Co2 forekommer. Om vi klarer å bruke mindre av stoffet gjennom en reise, vil resultatet være et lavere forbruk og vi trenger mindre av stoffet. Å produsere det på en klimavennlig måte blir for dyrt med dagens teknologi. Løsningen vi har utarbeidet med å lagre Co2 under bakken vil hjelpe oss å bruke drivstoffene, og få erfaring med å bruke det. Dette vil rydde vei for at vi senere kan bruke stoffer som er produsert fra fornybare kilder.

Gjennom dette forskningsprosjektet har jeg prøvd å vurdere hvilket drivstoff som vil hjelpe oss å omgjøre sjøfarten til en klimavennlig sektor. Basert på teorien, og intervjuene med informantene ser det ut som fremtiden ser ut som en blanding av ulike drivstoffer til forskjellige situasjoner.

Hydrogen vil kunne bli brukt over kortere distanser, der båten har tilgang til en hyppig bunkring. Dette er fordi risikoen om å ha store tanker med hydrogen ombord er høy.

Ekspertene og teorien presentert over viser til at denne type teknologi må utvikles for å kunne sikkert brukes ombord i et skip.

Batterier er det eneste av alternativene som i dag er i bruk i båter og skip. Det har vist seg at det ikke kan brukes over lengre distanser, der batteriene er det eneste som produserer drivkraft. Energimengde og plass er ikke det eneste problemet. Siden batterier er en begrenset ressurs, har vi ikke nok dersom alle skip skulle bytte over til dette.

Det siste alternativet Ammoniakk er det eneste drivstoffet som kan brukes over lengre distanser. Siden mye av skipsfarten foregår over lange distanser, virker ammoniakk som det viktigste drivstoffet. Ved å få mest ut av ammoniakken brukes det som et lagringsmedium for hydrogenet, der det kjøres gjennom en PEM-celle og driver et batteri. Informasjonen fra intervjuene og teorien støtter at bruken av ammoniakk er det eneste foreløpige drivstoffet som er nullutslipp, og kan drive skip over lengre distanser.

IMO sine krav virker som er positive for Norge, da vi er en avansert skipsfartsnasjon. De ulike støtteordningene gjør at norske bedrifter ønsker å utvikle ny teknologi. Dette fører til at Norge ligger langt fremme i utviklingen. Om IMO skulle fjerne, eller redusere kravet vil alle



ressursene Norge har investert i teknologien være uten nytte, og skipene vi har konstruert vil ikke være konkurransedyktig. Det er derfor utrolig viktig at IMO holder på kravene.

## Bibliografi

Andersen, O. (2003). *Bruk av hydrogen i transport. Teknologiske barrierer ved brenselceller.*

Boks 163, 6851 Sogndal: Vestlandsforskning.

Aarnes, H. (2011, 02 03). *uio.no*. Hentet fra

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

Asker & Bærum Brannvesen. (2019). *Tu.no*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/uno-x-dropper-hydrogensatsing-etter-eksplosjonen-i-sandvika/496072>

Bakke, E. (2019, 08 29). *dn.no*. Hentet fra <https://www.dn.no/teknologi/energi/fornybar-energi/vannkraft/vi-kan-utnytte-vannkraften-bedre/2-1-655794>

Bø, T. S. (2020). *Wavefoil.com*. Hentet fra <https://wavefoil.com>

bbc.no. (2020, 08 16). *bbc.no*. Hentet fra <https://www.bbc.com/news/world-africa-53797009>

Bjartnes, A. (2020, 01 27). *Klimastiftelsen.no*. Hentet fra <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/gronn-skipsfart-utslippene-ma-i-null-i-2050/>

BloombergNEF. (2018). *about.bnef.com*. Hentet fra <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

BloombergNEF. (2018). *about.bnef.com*. Hentet fra <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

Chrismiando, D., & Adietya, B. A. (2018). *Analysis of Effect of Bulbous Bow Shape to Ship Resistance in Catamaran Boat*. Department of Naval Architecture, Faculty of Engineering, Diponegoro University, Indonesia. Hentet fra [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/18/mateconf\\_ijcaet-isampe2018\\_02058.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/18/mateconf_ijcaet-isampe2018_02058.pdf)

Container Management . (2014, 11 03). *container-mag.com*. Hentet fra <https://container-mag.com/2014/11/03/cma-cgm-retrofit-bulbous-bows/>

DNV GL. (2019). *Comparison of Alternative Marine Fuels*. DNV GL. Hentet fra [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)

DNV GL. (2019). *Comparison of Alternative Marine Fuels*. Hentet fra [safety4sea.com: 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)

DNVGL. (2019). *Comparison of Alternative Marine Fuels*. DNV GL.

Energy.gov. (u.d.). *www.energy.gov*. Hentet fra <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

Enova. (u.d.). *enova.no*. Hentet fra <https://www.enova.no/bedrift/maritim-transport/elektrifisering-av-sjotransport/>

Equinor. (2020). *equinor.com*. Hentet fra [https://www.equinor.com/no/what-we-do/hydrogen.html?gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2IkuK9JzxKg\\_0l2qJYqgoHlXrkYLtYO5AgNvpM1xROBs7HLn\\_FsL0GlRoCPeAQAvD\\_BwE](https://www.equinor.com/no/what-we-do/hydrogen.html?gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2IkuK9JzxKg_0l2qJYqgoHlXrkYLtYO5AgNvpM1xROBs7HLn_FsL0GlRoCPeAQAvD_BwE)

Equinor. (2020). *equinor.com*. Hentet fra [https://www.equinor.com/no/what-we-do/hydrogen.html?gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2IkuK9JzxKg\\_0l2qJYqgoHlXrkYLtYO5AgNvpM1xROBs7HLn\\_FsL0GlRoCPeAQAvD\\_BwE](https://www.equinor.com/no/what-we-do/hydrogen.html?gclid=CjwKCAiA2O39BRBjEiwApB2IkuK9JzxKg_0l2qJYqgoHlXrkYLtYO5AgNvpM1xROBs7HLn_FsL0GlRoCPeAQAvD_BwE)

Erikstad, S. O. (2020, 08 14). *Snl.no*. Hentet fra [https://snl.no/ballast\\_-\\_skipsfart](https://snl.no/ballast_-_skipsfart)

Fn-sambandet. (2020, 02 20). *Fn.no*. Hentet fra <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>

- Giftinformasjonen. (2019). *helsebiblioteket.no*. Hentet fra <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/aktuelt-arkiv/ammoniakk-fra-uhell-med-vaskemiddel-til-alvorlige-ulykker-med-potensielt-dodelig-utgang>
- Guddingsmo, Å., & Fløttre, N. H. (2018, 10 31). *ndla.no*. Hentet fra <https://ndla.no/nb/subjects/subject:21/topic:1:183351/topic:1:191074/resource:1:4791?filters=urn:filter:671bd263-eee6-4c56-9e23-a6bbd3130f33>
- Hofstad, K. (2017, 01 27). *snl.no*. Hentet fra <https://snl.no/dampreforming>
- Hofstad, K. (2020, 06 15). *Snl.no*. Hentet fra [https://snl.no/ammoniakk\\_-\\_energibærer](https://snl.no/ammoniakk_-_energibærer)
- Holte-bekk, T., & Pedersen, B. (2020, 05 11). *snl.no*. Hentet fra <https://snl.no/brenselcelle>
- Hydrogen.no. (2020). *hydrogenbil.net*. Hentet fra <https://www.hydrogenbil.net/artikkel/hvordan-fungerer-en-hydrogenbil/>
- Hydrogenforum, N. (u.d.). *Hydrogen.no*. Hentet fra <https://www.hydrogen.no/ressurser/hydrogen-og-sikkerhet>
- IMO. (u.d.). *imo.org*. Hentet fra <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>
- Jensen, A. B. (2019, 06 28). *Tu.no*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/slik-startet-lekkasjen-som-forte-til-hydrogen-eksplosjonen-i-sandvika/468765>
- Kjærnli, A. (2020, 01 10). *Nek.no*. Hentet fra <https://www.nek.no/er-batterier-brannfarlige/>
- Klima- og miljødepartementet. (2018, 04 13). *regjeringen.no*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/imo/id2597993/>
- Kruse, B. (1999, 02 03). *bellona.no*. Hentet fra <https://bellona.no/nyheter/energi/1999-02-hindenburg-ulykken>
- Larsen, A. (2017). En enklere metode. I *En enklere metode* (s. 25). kanalveien 51, 5068, Bergen: Fagbokforlaget.
- Larsen, A. (2017). En enklere metode. 5068, Bergen: Fagbokforlaget .
- Larsen, A. (2017). En enklere metode. 5068 Bergen: Fagbokforlaget .
- Larsen, A. (2017). En enklere metode. 5068, Bergen: Fagbokforlaget.
- Larsen, A. (2017). En Enklere Metode. 5068 Bergen: Fagbokforlaget.
- Larsen, A. K. (2017). En enklere metode. I A. Larsen, *En Enklere Metode* (ss. 16-17). Kanalveien 51, 5068, Bergen: Fagbokforlaget .
- Liang, L. H. (2014, 10 07). *www.seatrade-maritime.com*. Hentet fra <https://www.seatrade-maritime.com/americas/economics-slow-steaming>

- logisticsglossary. (u.d.). *logisticsglossary.com*. Hentet fra <https://www.logisticsglossary.com/term/teu/>
- Mao, X., Rutherford, D., Osipova, L., & Comer, B. (2020). *Refueling assessment of a zero-emission container corridor between China and the United States: Could hydrogen replace fossil fuels?* INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION.
- Maritime knowledge . (20, 06 02). *safety4sea.com*. Hentet fra <https://safety4sea.com/cm-do-you-know-what-the-bulbous-bow-is-for/>
- Maritime Knowledge. (2020, 06 02). Hentet fra <https://safety4sea.com/cm-do-you-know-what-the-bulbous-bow-is-for/>
- Møller, V. (2017, 03 15). *Tv2.no*. Hentet fra <https://www.tv2.no/a/8971337/>
- Måløy-verft.no*. (u.d.). Hentet fra <http://www.maloy-verft.no>
- McManus, B. (Regissør). (2020). *Are Renewable Powered Ships Possible?* [Film]. miljødirektoratet. (u.d.). Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/regelverk/forskrifter/forurensningsforskriften/dispergeringsmidler-kommentarer/>
- Mjønerud, I. (2019, 11 20). *strøm.no*. Hentet fra <https://strom.no/kullkraft-strøm>
- NASM, Archives division. (2017). Hentet fra <https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/80th-anniversary-hindenburg-disaster-mysteries-remain-180963107/>
- Naturvernforbundet. (2016, 02 24). *naturvernforbundet.no*. Hentet fra <https://naturvernforbundet.no/paris-desember-2015/klimaforhandlingene-forklart-klimanoytralitet-article34447-3835.html>
- NHO. (u.d.). *nho.no*. Hentet fra <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/artikler/om-nox-fondet/>
- NHO. (u.d.). *nho.no*. Hentet fra <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/artikler/om-nox-fondet/>
- Norsk klimastiftelse. (2020). *klimastiftelsen.no*. Hentet fra [https://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/01/NK1\\_2020\\_gronn\\_skipsfart.pdf](https://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2020/01/NK1_2020_gronn_skipsfart.pdf)
- Notteboom, T., & Cariou, P. (2009). *Fuel surcharge practices of container shipping lines*. University of Antwerp, World Maritime University. Hentet fra [https://www.researchgate.net/publication/229050596\\_Fuel\\_surcharge\\_practices\\_of\\_container\\_shipping\\_lines\\_Is\\_it\\_about\\_cost\\_recovery\\_or\\_revenue-making](https://www.researchgate.net/publication/229050596_Fuel_surcharge_practices_of_container_shipping_lines_Is_it_about_cost_recovery_or_revenue-making)
- NOx-fondet. (2020). *Nho.no*. Hentet fra <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/artikler/hva-er-nox/>

NTB. (2013, 10 31). *tu.no*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/dette-har-folk-provd-a-fa-til-i-150-ar/235259>

NTNU. (u.d.). *ntnu.no*. Hentet fra [https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden\\_rapport\\_A4\\_web\\_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c](https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden_rapport_A4_web_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c)

NTNU. (u.d.). *ntnu.no*. Hentet fra [https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden\\_rapport\\_A4\\_web\\_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c](https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden_rapport_A4_web_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c)

Olerud , K. (2020, 01 07). *snl.no*. Hentet fra <https://snl.no/oljeforurensning>

Persson, G., & Virum, H. (2017). Miljø i transport. I *Logistikk og ledelse av forsyningskjeder* (ss. 431-432). 0130 Oslo: Gyldendal Akademisk.

Pledgtimes.com. (2020). *shipwrecklog.com*. Hentet fra <https://shipwrecklog.com/log/tag/mauritius/>

Poléo, A. B. (2011, 05 30). *okokrim.no*. Hentet fra <https://www.okokrim.no/utslipp-av-ammoniakk-ammonium-salmiak-eller-gjoedsel.416147.no.html>

Pressman, M. (2017, 08 06). *evannex.com*. Hentet fra <https://evannex.com/blogs/news/understanding-teslas-lithium-ion-batteries>

Rodrigue , J. (2020, 05 28). *transportgeography.org*. Hentet fra [https://transportgeography.org/?page\\_id=5955](https://transportgeography.org/?page_id=5955)

Rodrigue, J. (2020, 05 28). Hentet fra [https://transportgeography.org/?page\\_id=5955](https://transportgeography.org/?page_id=5955)

Rodrigue, J. (2020, 05 28). *transportgeography.org*. Hentet fra [https://transportgeography.org/?page\\_id=5955](https://transportgeography.org/?page_id=5955)

Rosvold, K. A., & Hofstad, K. (2017, 11 10). *snl.no*. Hentet fra kullkraftverk: <https://snl.no/kullkraftverk>

Schlaupitz, H. (2019, 06 17). *naturvernforbundet.no*. Hentet fra <https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html>

Shipwright. (u.d.). *www.shipwright.biz*. Hentet fra <http://www.shipwright.biz/bulbous-bow>

Sikkerhetsblad. (2020, 07 15). *alsafetydatasheets.com*. Hentet fra [http://alsafetydatasheets.com/download/no/Ammonia\\_NOAL\\_0002\\_NO\\_NO.pdf](http://alsafetydatasheets.com/download/no/Ammonia_NOAL_0002_NO_NO.pdf)

Sjøfartsdirektoratet. (2013, 20 06). *sdir.no*. Hentet fra <https://www.sdir.no/sjofart/ulykker-og-sikkerhet/undersokelse-av-ulykker/laring-av-hendelser/laring-av-hendelser-ammoniakklekkasje-om-bord/>

Skipsrevyen. (2020, 04 03). *skipsrevyen.no*. Hentet fra <https://www.skipsrevyen.no/article/nye-foiler-sparer-9-prosent-drivstoff/>

Solberg, H. (2018, 04 13). *rederi.no*. Hentet fra <https://rederi.no/aktuelt/2018/historisk-klimaavtale-for-skipsfarten/>

statskraft. (u.d.). *statskraft.no*. Hentet fra <https://www.statkraft.no/produkter-og-tjenester/gronn-hydrogen/>

Støveng, J. (2018, 10 25). *snl.no*. Hentet fra <https://snl.no/virkningsgrad>

Stensrud, G. (2019, 11 20). *strøm.no*. Hentet fra <https://strøm.no/kjernekraft>

Sundseth, K., & Host, S. (2019, 06 26). *Forskning.no*. Hentet fra <https://forskning.no/energi-fornybar-energi-klima/dette-ma-du-vite-om-hydrogen/1359513>

The Explorer. (2018). *theexplorer.no*. Hentet fra <https://www.theexplorer.no/solutions/ampere--the-worlds-first-electric-car-and-passenger-ferry/>

The Explorer. (u.d.). *theexplorer.no*. Hentet fra <https://www.theexplorer.no/norge-viser-vei-for-elektrifisering-av-skipsfart/>

Tomasgard, A., Blekkan, E. A., Karstad, P., Holst, S. M., Størset, S., & Ulleberg, Ø. (u.d.). *ntnu.no*. Hentet fra [https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden\\_rapport\\_A4\\_web\\_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c](https://www.ntnu.no/documents/7414984/0/Hydrogen+i+framtiden_rapport_A4_web_LR+28-03-2019.pdf/cbcf5251-7a61-41ac-88ea-faef5daf558c)

UIT. (2019). *site.uit.no*. Hentet fra <https://site.uit.no/ladeteknologi/2019/11/06/ladelosninger-for-elektriske-ferger/>

Ung-energi. (2019, 7 24). *ungenergi.no*. Hentet fra <https://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/otec/>

Unstad. (2020, 08 19). *unctad.org*. Hentet fra <https://unctad.org/news/mauritius-oil-spill-puts-spotlight-on-ship-pollution>

Ursin, L. (2018, 04 17). *energiogklima.no*. Hentet fra <https://energiogklima.no/nyhet/historisk-klimaavtale-for-sjofarten/>

Valle, M. (2016, 01 16). *tu.no*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/dette-bor-du-vite-om-brann-i-elbiler/276372>

Vegge, T. F. (2019, 4 10). *e24.no*. Hentet fra <https://e24.no/hav-og-sjoemat/i/naj3zx/color-lines-nye-ladbare-skip-tar-form>

Warner, J. T. (2019). *sciencedirect.com*. Hentet fra Thermal Runaway: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/thermal-runaway>

Wavefoil. (2020). Hentet fra Wavefoil.com: <https://wavefoil.com>

Wavefoil. (2020). *wavefoil.com*. Hentet fra <https://wavefoil.com>

wbdsw. (u.d.).

yara. (2019). *Ammonia - Zero carbon shipping fuel?* Yara.

yara. (2019). *Ammonia - Zero carbon shipping fuel?* Yara.

Yara. (2019). *Amonia - zero carbon shipping fuel?* Yara.

Yara. (2019). *Amonia - Zero carbon shipping fuel?* Yara.

Østese, K. (2020). *Klimastiftelsen.no*. Hentet fra

<https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/ammoniakk-kan-kutte-store-utslipp-i-skipsfart/>

Øysete, K. (2020). *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfart*. Norsk Klimastiftelse.

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

Øystese, K. Å. (2020). *Grønn skipsfart: Utslippene må i null i 2050*. Norsk klimastiftelse.

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

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

Øystese, K. (2020). *Ammoniakk kan kutte store utslipp i skipsfarten*. Norsk klimastiftelse.

Øystese, K. (2020). *Grønn skipsfart: Utslippene må i null innen 2050*. Norsk Klimastiftelse.

## Vedlegg

### Intervju Kristian Evjen

**Meg:** Kan du begynne med å fortelle litt om deg selv, dine erfaringer og hva du jobber som?

**Kristian:** Jeg er NTH utdannet skipslinjen/marinteknisk og har jobbet med drift, operasjon og prosjekter i snart 30 år. Det siste jeg har gjort er et prosjekt for Halliburton, med et fartøy som går gjennom oljebasene som har et 1-mega-watt-batteripakke. Vi skulle hatt LNG på plass for lenge siden, men det holder vi på med de siste forhandlingene nå med leveransen. Den skal også på land strøm, og har en litt høyere land-strøms-kapasitet enn de fleste fartøyene som går, så vi kan med hele batteripakken ta hele lasting -losse operasjonen på land strøm. Vi tar 600 kilowatt som er kapasiteten på koblingen, men i og med at vi har batteripakken kan vi drive «peak shaving» med batteripakken. Da kjører vi batteripakken ganske lang ned til 30%

til vi kommer på land, slik at vi lader opp batteriene når vi legger til kai. Dette er for å kutte drivstoffet på fartøyene.

Dette fartøyet erstatter 3 fartøy, så vi har en ca. 5000 tonn Co2 reduksjoner og 500 tonn NOx reduksjoner på dette.

**Meg:** Vil dette skipet, med disse reduksjonene å forholde seg til IMO sine krav om å halvere klimautslippene fra skipstransport med 50%?

**Kristian:** På kort sikt klarer vi dette. Vi regner med at dette skipet vil gå til ca. 2030. Vi har en 30% Co2 reduksjon på utslippene, men dette holder ikke for det som skal skje innen 2050. Skal vi kutte mye i utslippene må vi gå over til et hydrogen basert fremdrift. Rent hydrogen basert fremdrift, altså H<sub>2</sub> i tanker seg jeg for meg på ferger og hurtigbåter som kan bunkre ofte, men hydrogen på kommersielle skip seg jeg overhodet ingen mulighet til. Tar vi et raskt eksempel, ca. 100 kubikk med diesel vil krever ca. 200 kubikk med LNG vil kreve ca. 300 kubikk med ammoniakk, og det vil gi 800 kubikk med hydrogen. Hydrogen er flytende med -253°C, LNG er på -143 og ammoniakk er på -32.5. Sammenlikner vi ammoniakk og LNG ser vi det er 50% mer volum i ammoniakk, men ser vi på de omkringliggende systemene på en LNG-løsning er det mer eller mindre samme volum behovet på ammoniakk som LNG i form av plass for å klare å lagre denne energimengden. Plass klarer vi å få til på et skip, men det er en del vi må gjøre. Ser vi f.eks. på short-sea er dette med bunkring mye hyppigere. Hvis vi da går tilbake til LNG mot diesel operasjonene bunkrer vi annenhver uke og mange trenger ikke å bunkre mer enn en gang i måneden. Går vi over til LNG må vi bunkre en gang i uken, på en fast avtale. Det er det samme med ammoniakk, vi må endre operasjonsmønsteret med en hyppigere bunkrings-sekvens. Dette går helt fint med short-sea, men overseilinger blir det litt mer krevende. Så om for eksempel noen skal seile fra Singapore til Rotterdam må man bunkre flere ganger underveis. Om vi får dette til blir ammoniakk en bra energibærer.

**Meg:** Så du har troen på at vi kommer til å bruke ammoniakk for å nå klimamålene?

**Kristian:** Ja jeg har en klar preferanse for ammoniakk. Det er en substans vi kjenner godt og det fraktes 125 millioner tonn ammoniakk rundt omkring i verden i året, sånn at det ikke er noe nytt å bruke ammoniakk. Det er mye hydrogen tilgjengelig i naturgass, og det meste av ammoniakken vi har i dag kommer fra naturgass. Det vi må se på i fremtiden er å fange karbonet når vi utvinner disse stoffene fra naturgassen. Der er det en del teknologi på vei,



blant annet seg-power som holder på med en løsning der de skal bygge en mindre enhet ute på Kolsvik. De utvinner hydrogenet direkte, samtidig som de fanger Co<sub>2</sub>-et. Om de plasserer den i nærheten av landingsområdet for naturgass, kan en eventuelt pumpe co<sub>2</sub> et tilbake i feltet. Det er det de gjøre ute på Kolsvik og returnerer Co<sub>2</sub>. De har fått dette til å virke i mindre skala og de skal nå prøve det i stor skal. Om de får dette til å virke er dette utrolig interessant, fordi om alle i verden skal over til hydrogen er ikke det nok elektrisitet i verden til å drive med elektrolyse for å danne Hydrogen. Det er selvfølgelig mulig å skaffe nok strøm ved å bruke atomkraft, men det er en del grønne som er helt imot dette selv om det ikke slipper ut klimagasser. Ulempen er jo selvfølgelig at avfallet med lagres i titusener av år før det er ufarlig. Men tilbake til hydrogenet, om vi pumper det ned i feltet som vi ser ute ved trollfeltet er dette veldig interessant. Jeg vet det finnes formasjoner i Nordsjøen som kan ta imot all den co<sub>2</sub> vi produserer i de neste 400 år. Co<sub>2</sub> er ganske surt så vi kan ikke ha det ned i kalksteinen eller sandstein, da kan formasjonene bryte sammen. Skifer formasjonene derimot ser ut til å tåle Co<sub>2</sub> en veldig greit.

**Meg:** Kan du fortelle litt om risikoen til de aktuelle energibærerne?

**Kristian:** Begynner vi med ammoniakk så flyter den med -32°C, kjent stoff og giftig. Så vi har en del nød prosedyrer å se på om det skal oppstå skipskollisjoner, grunnstøting osv. En veldig interessant egenskap ammoniakk har er at den er umiddelbar løselig i vann, så ved en større kollisjon tror jeg løsningen kan være å lekke ut stoffet kontrollert. Så sikkerhetsmessig ville jeg heller valgt ammoniakk over hydrogen. Hydrogen har en så stor tenn hastighet, at den tenger jo ikke det blir en eksplosjon, så jeg liker ikke konseptet med store mengder hydrogen på skip. Spesielt ikke når vi må lagre det med 800-bar. Dette betyr at den du bunkrer fra må ha overtrykk, altså høyere trykk en 800-bar. Derfor syntes jeg hydrogen i rent, flytende form er det for mange ulemper med. På korte distanser kan det gå for de som kan bunkre hver natt som ferger og hurtigbåter der det ikke kan lagre altfor mye.

**Meg:** Hvordan brukes ammoniakk som en energibærer?

**Kristian:** Vi har tre løsninger å få ammoniakk over til energi. Den ene løsningen er å bruke en skipsmotor, jeg er ikke dette er løsningen fordi den har en virkningsprosent på 32%, det er den optimaliserte virkningsgraden, i virkeligheten vil dette være på under 30%. Hvis vi kjører dette via batteri vil vi kunne klare å holde dette opp mot 32%, men uansett er denne metoden

ganske ineffektiv. Det andre alternativet er å bruke en sånn solid-oksid brenselcelle. Da kan vi bruke ammoniakken direkte og bruke den direkte i brenselcellen. Men da har vi en brenntemperatur på 800-900°C og ut fra hva jeg har snakket med folk så vil cellene bli ødelagt av den høye brenn temperaturen. Det kjøres forsøk på dette med Eidesvik og Equinox og Proto-tek som skal utvikle et 100 kilowatts brenselcelle som de skal øke opp til 2 megawatts brenselcelle, men som sakt så vidt jeg har forstått så er vil dette føre til ganske høye driftskostnader. Virkningsgraden til dette vil være opp mot 45%, så om vi får til en løsning så det blir en stabil drift hadde dette vært den beste måten, men jeg tror dette ligger litt langt frem. Det siste alternativet er å bruke en PEM-celle, det er et proton ledende membran, men da må vi konvertere ammoniakken. Vi kan ikke bruke den direkte. Vi må konvertere ammoniakken tilbake til Hydrogen. Der er det flere måter å gjøre dette på. En av måtene er å bruke varme, men da bruker vi en del energi og ender opp med en virkningsgrad mellom 38 og 39%. Det gjøres mye forskning på katalysatorer, eller måter å få ammoniakken tilbake til hydrogen. I Japan har vi en del interessante utviklinger hvor de bruker solid katalysator til å konvertere ammoniakken tilbake til hydrogen. Nitrogenet slipper vi tilbake i atmosfæren så det blir en nullsum. Om vi klarer å få den katalysatoren til å fungere, ser det ut til at vi kan få en virkningsgrad sammenliknbart med de so-brenselcellene på 45%. Da er dette en klar måte vi bør gjøre dette på. Allerede nå finner vi PEM-celler som garanterer driftstid på mellom 25-30 000 timer. Om vi sier 5000 timer i året så vil dette ha en levetid på 5-6 år. Grunnet til at de ikke har lengre levetid er faktisk at de ikke har fått sjansen til å teste de lengre. Det som er helt klart et problem med alle typer brenselcelle er, og dette er ikke kommet frem, men de tåler ikke lastvariasjoner. Om vi last varierer de mye degraderer vi brenselcellen ganske mye. Tar vi eksempel på en båt som går gjennom vannet i motgang, og vi har variasjon i fart siden den kanskje skal gå igjennom trange sund og varierer lasten på motoren. På en vanlig forbrenningsmotor gjør ikke dette så mye, men en brenselcelle vil bryte ned ganske fort. Dette må vi løse med å bruke en batteripakke. Det vil si at brenselcellen ligger og produserer konstant til batteripakken på konstant last som en ren ladning, så er det batteripakken som er motoren din og tar alt av lastvariasjonene. Skal vi ha en 3-mega-watts fremdriftsmaskineri så er det en ganske stor batteripakke som må til, og den koster en del. En slik 3 mega-watts vil koste deg opp mot 30 millioner kroner, de går nå ned i pris fremover, men uansett vil det være en dyr pakke.

En ting jeg vil gå tilbake til er brenselcellene, mange sier de har en 200 kilowatts celler og så videre, men i realiteten så får vi ikke mer en 60-70% ut av cellen. Tar vi mer enn det bryter vi ned cellen ganske fort.

Tilbake til batteriene. De batteripakkene som i dag leveres de trives best med en utladning som er mindre enn kapasiteten, det vil si at du henter ut mindre enn det som er størrelsen på pakken. Det vil si at vi tar ut mindre enn 1C. De batteripakkene vi bruker som ren motor de må være i stand til å ta ut høyere C, og da får vi en raskere nedbryting av batteripakken. Det finnes en del løsninger på det, og vi må se på andre kjemier i batteripakkene, som tåler en høyere utladning. Har vi 1,5 mega watt batteripakke for et 3-mega-watt ut tak, det vil si at vi er oppe på 2C. Det må vi klare å gjøre uten at batteripakkene skal degenerere for raskt. Om vi ikke klarer dette vil driftskostnadene bli for høye. Det er en del utfordringer på dette, men nå går utviklingen utrolig raskt og det gjøres mye god forskning. Japanerne er veldig mye på reformering av ammoniakk til hydrogen. Det er de som er lengst fremme når det er snakk om katalysatorer. Jeg personlig tror at dette vil gå utrolig raskt fremover og vil ikke være forundret om vi har ammoniakk baserte skip på sjøen om 4-5 år for short-sea. Vi må nok ha en nød-diesel ombord for å komme oss dit vi skal tilfelle brenselcellene dine stopper å virke. Der jeg tror vi må jobbe en del med er prediktive power management. Vi må være mer i forkant av forbruket, så når vi seiler en rute må vi kombinere værvarselet, bølgevarselet distanse til neste sted vi kan få land strøm og legge dette inn. Dette gjøres for å få en bedre driftsprofil ved at vi produserer akkurat den mengden energi vi trenger og vi lar utstyret gå på mye mer optimale produksjonsnivåer. Dette vil bli mye viktigere fremover enn det er i dag. En skipsmaskin er grovmekanikk og den går nesten uansett. Om vi ikke har shut-down som stenger maskinen så går maskinen nesten uansett. Om vi går over til en annen måte å drifte på, så er ikke det sikkert maskinisten vil være full i olje i fremtiden, de vil se mer ut som steam maskinistene som går i hvite kjeledresser. Det er et helt annet maskinrom vi vil se i fremtiden. Det vil bli store endringer.

**Meg:** vil vi klare å få økonomi til denne omvendingen?

**Kristian:** Dette er det viktigste punktet, og ja det gjør vi. Ammoniakk koster halvparten av MGO for samme energimengde. Ammoniakk er ikke et dyrt produkt, sånn at jeg har veldig tro på at ammoniakk kommer. Det er så mye som skjer på ammoniakk siden om hvordan vi får det tilbake til hydrogen, og i min bok er dette det viktigste spørsmålet. Klarer vi det, vil dette gå ganske fort. Det er mye penger og støtteordninger som er ute og går innenfor dette for øyeblikket. Vi må også regne inn batterikostnadene. Vi må se ammoniakk sammen med batteri og brenselcelle. Ikke brenselcelle alene, for det tror jeg ikke er en løsning som vil la seg gjennomføre på grunn av den nevnte lastvariasjonen vi alltid vil se. I havnen er det kraner

og pumper vi også kjører, kranen for eksempel løfter tunge objekter opp, lav effekt når kranen roterer rundt og så har det negativ effekt når du laster ned igjen. Dette gir en ganske ubehagelig drift for en brenselcelle, men en batteripakke svelger dette uten problemer. Ser vi på de tre alternativene hydrogen, ammoniakk og batterier, så er ammoniakk og hydrogenet drivstoff. Batterier er ikke drivstoff, det er bare et lagringsmedium. Det er egentlig ammoniakk også. Det er et lagringsmedium for hydrogen. Vi kan også bruke ammoniakk direkte, men den mest effektive måten er å bruke ammoniakken for å ha en mer kontrollert håndtering og oppbevaring av hydrogenet.

**Meg:** så i fremtiden vil det å bruke alle tre alternativene sammen være den beste måten å omvende havtransporten til å bli en grønn sektor der vi bruker ammoniakk til å lagre hydrogen som vi igjen bruker til å lade et litium batteri for å skaffe en jevn last-variasjon slik at cellene ikke blir skadet?

**Kristian:** Ja, helt riktig. Batterier som litium batterier er kommet for å bli og det er en god positiv utvikling på det, men det må gjøres en del på batteri kjemien. Bilbatteriene er lengre kommet enn skips batteriene. Det er veitransporten som driver batteri utviklingen. Ser vi på en Tesla som har 100 kilowatt, kan motoren ofte ha 400 kilowatt, det gjør at vi får en ganske høy C. Bare skal vi akselerere ut ifra et veikryss kan vi bruke opp mot 2-3C i en bilmotor. Driftstiden på en bil er derimot mye lavere enn i en skipsmaskin, men det er bil industrien som vil drive dette og folk er redd for degenerering av batteri kapasiteten. Jeg har diskutert en del med Veritas og de har gjort langtidstester og de fant at vi ikke får en stor degenerering de første 12-15 årene, men det kommer an på hvor mye du tar ut av batteriet. Tar vi høy energimengde ut av batteriet hypping, så får vi en varmegang i batteriet som fører til en avsetning til katodene. Det vil redusere effekten av dem. Det gjenstår å se, om prisen på batteriene blir lav nok, og om vi klarer å slutte å bruke sjeldne stoffer i batterier. Batterier vil nok uansett aldri få nok kapasitet til å drive et skip over lengre avstander. Det er ikke mulig å få det til. Fra vi begynte å diskutere batteripakker tilbake i 2014 med Corvus til vi fikk den ombord halverte de størrelsen på den og vi gikk ned 20% i pris på 2 år. Så det vil være en stor forbedring på batteriene, men aldri nok til å drive store fartøy over lengre distanser. Vi må ha en annen energibærer, som jeg mener er hydrogen ombord på skip, men i form av at det er ammoniakk som er lagringsmedium. For å klare dette i nærmeste fremtid vil vi måtte bruke det som kalles blått hydrogen, som er utvunnet av naturgass.

En viktig ting som må sørges for, slik at dette skal gå riktig vei er at Co2 utslipp må skattlegges mye kraftigere. Da vil vi kunne drive dette raskere frem. I dag har vi NOx avgifter som er ganske tøffe, og det har drevet overgangen til LNG baserte fartøy, vi ha fått katalysatorer og mye har skjedd på grunn av høye NOx avgifter, og jeg tror det samme må skje med Co2. Det er helt klart rom for at sluttbrukeren å betale noe mer for sjøfrakten. Vi må også gi de samme avgiftene på land, det er helt håpløst på hvordan vi driver i dag. Det er bring, som er eid av posten, som er igjen eid av staten som presser prisene så langt ned at det ikke er lønnsomt og unaturlig lave. Hadde vi fått en bedre balanse mellom sjø og vann tror jeg mye mer hadde blitt sendt på vann. Det er jo mange som er ansatte som lastebilsjåførere, så dette er lite populær politikk, men jeg tror dette må tas tak i.

**Meg:** Så du mener kravene til IMO om å halvere utslippene er nødvendig og rettferdige?

**Kristian:** De må gjøre dette her. Tar vi et eksempel igjen, jeg er flink på det. I år 2000 skulle alle biler i California ikke drives av forbrenningsmotorer. Det som skjedd på slutten av 90-tallet var at amerikansk bilindustri klarte å lure vekk dette kravet. Ergo så skjedde det ingen ting med batteribiler og hydrogenbiler og det falt dødt. Så begynte noen land i Europa når tesla kom med elektriske biler å tenke at dette her er noe de må ta tak i. Da hadde det gått 12-15 år fra først da California bestemte seg for å ta tak i dette. Og nå i det siste har det vist seg at elektriske biler er faktisk lønnsomt for samfunnet og ikke minst forbrukeren. Det er heller ikke lenge før batterier og den elektriske motoren vil ha en laver pris enn en forbrenningsmotor. Dette er litt det samme som IMO. Om de ikke klarer å holde på kravet, så vil folk prøve å utsette dette da det krever en del investeringer, skip og teknologiutvikling. Det koster penger. Tar de vekk kravet vil det være en fordel for lav-kostnad shipping nasjoner som driver veldig billig. Det vil gjøre det vanskelig for mer teknologibaserte nasjoner å konkurrere på pris. Om de holder på kravet vil det være en stor fordel for avanserte shipping nasjoner sånn som Norge siden vi vil kunne utvikle og være i forkant av utviklingen. For oss er derfor IMO sine krav viktig å holde på og en lettelse på kravet vil være en katastrofe.

Kristian mener en hybrid der alle energibærerne blir brukt sammen er den rette løsningen.

Kravet er lønnsomt for avanserte shipping marked som Norge, og fra et kommersielt synspunkt er IMO kravet utrolig viktig å holde på for å kunne være konkurransedyktig.

## Intervju Finn Tore

**Meg:** Kan du begynne å snakke litt om deg selv, hva du jobber som, utdanning, og tidligere erfaringer?

**Finn Tore:** Ja, altså jeg kan begynne å fortelle om hva jeg jobber som nå. Jeg jobber på HiB, altså samme institutt som du studerer på, men jeg jobber som senior ingeniør og er egentlig en potet, styrer med utrolig mye rart, men er ansvarlig for hybridlabben vår, som er i kjelleren på NMK-bygget og så er jeg litt ansvarlig for dette gass kurset vi kjører gjennom NTNU for sjøfolk som skal seile med båter som gass som drivstoff må innom oss og få en oppgradering og sertifikat, da leverer vi treningen og teorien for at de skal få et slikt sertifikat. Jeg har også en liten rolle som teknisk inspektør for Gunnerus, forskningsfartøyet for NTNU. Vi knytter skipet inn i simulatoren og er ganske involvert der. Jeg studerer også litt på siden og tar fag. Bakgrunnen in er maskinsjef og jeg har seilt til sammen i 13 år. De første 8 årene var på tankbåt på bøyelaster i Nordsjøen og Europa. Vi fraktet råolje rundt omkring i hele Europa. De siste 7 årene var jeg på sien, et offshore firma om dykking og konstruksjon borti Mexicogolfen i 2 år og ankerhåndtering, bygging og drift av det siste delen. Så i 2011 gikk jeg på land og begynte i Rolls Royce og da jeg var innom der som prosjektleder i et hemo-prosjekt, vi skulle installere sensorer og ekstrautstyr på båter og samle inn data for å si noe om tilstanden på utstyret. Så i 2014 begynte jeg på høyskolen i Ålesund som ble til NTNU etter hvert. Før det har jeg også fagbrev i automasjonsmekanikker og jobbet på fiskebåter og litt forskjellig.

**Meg:** De sertifikatene dere er ansvarlig for, hvilken typer gasser gjelder dette?

**Finn Tore:** Det er egentlig kun naturgass, eller LNG som er i vinden.

**Meg:** Så gasser som hydrogen gjelder ikke der?

**Finn Tore:** Nei, det er vel ingen, eller veldig få som går rundt på sjøen og driver med hydrogen som drivstoff. Det er vel noen få tilfeller i Nederland som driver med dette som et forskingsprosjekt, men det er ikke stort utbredt.

**Meg:** Hva mener du om kravene til IMO om å halvere utslippene på sjøtransporten innen 2050?

**Finn Tore:** Det er jo vanskelige mål da, men det er helt sikkert nødvendig, ser vi rundt oss og på all den forskningen som viser ril global oppvarming og utslipp er ikke det positivt for noen, så det må gjøres noe. Så det å få ned utslippene innenfor skipstrafikk er relevant og på tide. Det som jeg ser er at de også skal øke trafikken, og hvordan de skal øke denne trafikken, samtidig som de skal få ned utslippene. Så i teorien må hver båt gå ned mer enn 50% i utslipp da det kommer hele tiden nye skip. Om vi innfører ca. 25% flere skip over en periode og de skipene vi har skal halvere sine utslipp må jo alle nye skip ha nullutslipp for at dette skal gå opp, så jeg vet ikke hvordan dette vil se ut i praksis. Vi får bare vente å se.

**Meg:** Hvilken alternativer tror du vi har for å nå disse målene?

**Finn Tore:** Jeg tenker litt mer modulering og se litt an på hva vi gjør, hva er det vi mennesker som gjør slik at det blir så mye utslipp. For det er jo fryktelig lett å sitte på nettet og handle ting og frakte det verden over, eller vi har lyst å reise dit. Alt det vi har lyst og gjør krever et energiforbruk, og energien må jo komme fra noe. Greit nok om energien kom fra sol, vind eller andre fornybare kilder hadde dette fungert, men slik er det ikke i dag. Vi får sikkert omgjort det vi bruker i dag, eller nivået vi bruker i dag og erstatter det med grønn energi, men skal vi fortsette å øke Det hjelper ikke å lage noe mer energieffektivt så lenge du bare gjør mer av det. For eksempel kjøpet du en elbil og så tenker du at det er så billig å kjøre elbil, så da kjører du bare mer. Det fører jo bare til at vi bruker mer energi. Det er fra egne erfaringer dette her.

**Meg:** så kjører du elbil selv?

**Finn Tore:** Jada, det har jeg gjort i 6 år og det funker fint.

Så jeg syntes det er fint IMO setter de kravene og håper de følger det opp. Det er en del politikk rund dette her, det er det som vil kunne ødelegge mest av alt, og ikke minst økonomi. Etter mitt syn så henger ikke økonomi og miljø sammen. De går ikke parallelt. Gjør du noe med det ene så gjør det noe med det andre.

Det er jo mest politikk, hvem sitter igjen med regningen? Politikkerende legger jo planen om hvor miljøvennlig vi skal være, så pålegger de fylkeskommunene, og de følger jo opp ikke sant, og så får vi en ferge med batteri, men det er jo faktisk mye dyrere å bygge det, for det kommer ukjente kostnader. Og til slutt er det forbrukeren som må betale for det siden regjeringen ikke følger etterpå med penger for å dekke opp. Da er det du og jeg som tar ferge som sitter igjen med regningen.

Men så klart for teknologiutviklingen er det litt spennende, for det er jo på den måten LNG ble et drivstoff på båt. Det var på grunn av fergen Glutra. Det var tilgang på naturgass, og ble satt et krav om at den skulle gå på gassdrift og de fikk det til. Men det er rart at flere skip ikke er ombygd til LNG.

**Meg:** kan du fortelle litt om dine meninger om bruk av hydrogen på skip?

**Finn Tore:** Ja, det er jo litt delt. Det er jo spennende og nytt. Personlig liker jeg nye ting, men jeg ser det er store utfordringer. Hydrogen er så mye mer ekstremt enn naturgass. Naturgass klarer vi å kontrollere, men flytende hydrogen som er på  $-250^{\circ}\text{C}$  og hva som må til for å holde på dette. Hydrogenmolekylet er jo det minste, og det lekker jo igjennom nesten hva som helst, så vi må ha spesielle legeringer for å stoppe en lekkasje. Det er jo så ekstremt lettantennelig. LNG for eksempel kan vi ikke antenne med statisk elektrisitet fra klær, men er det hydrogengass er det nok. Det skal så lite til for å fyre den opp. Så som vi ser er det ganske store utfordringer for å få dette til å fungere som drivstoff.

Det er jo også dette om hvor miljøvennlig det egentlig er med dette hydrogenet, jeg har jo fulgt litt med om det som heter virkningsgrad, og energivirkningsgrad så er jo dette veldig dårlig på hydrogen, og skal du ha det på skip tar det mye mer plass enn hva vi er vant til. Om vi f.eks. bruker diesel. Da på en kubikk diesel kommer du en bestemt lengde. Skal vi ha naturgass eller LNG for å komme den samme lengden må vi ha 1.5 kubikk, altså 50% mer plass til drivstoff. Og til slutt skal vi ha hydrogen må vi ha rundt 50% mer plass enn det LNG har, så det blir omtrent dobbelt så mye plass vi trenger til hydrogen enn hva som trengs på diesel. Disse tallene er ikke helt kvalitetssikret, men viser at vi må ha omtrent dobbelt så stor plass for drivstoff skal vi bruke hydrogen.

Derfor mener jeg at hydrogen ikke vil være egnet til mer enn små-trafikk og kortere seilaser. Kanskje over fra Norge til England, men på lengre seilaser som over Stillehavet vil vi få med oss så lite last skal vi bruke hydrogen på grunn av de store tankene, og da vil det bare ende opp med at vi trenger flere skip som kjører ruten og bruker mer energi.



**Meg:** Om vi går over til ammoniakk, kan du fortelle litt om dine meninger angående det?

**Finn Tore:** Jeg har ikke sett så mye om det, bare hørt litt at kollegaer har snakket om det. Men sånn jeg ser det er det bare en annen form for å lagre hydrogen på. Sånn jeg ser det er det en litt bedre måte å lagre det på, da du kan lagre det i væskeform på mer vanlige tanker i  $-34^{\circ}\text{C}$  og ikke  $-250^{\circ}\text{C}$  som med rent flytende hydrogen.

Jeg har hørt om forskjellig forskning på motorer som drives av ammoniakk, sånn som Wartsila hadde et seminar i sommer der de fortalte om deres tankegang rundt drivstoff og de utvikler motorene sine for å kunne gå på ulike typer form for drivstoff, og da er det gjerne ikke en type, men blanding av flere. Jeg har lest så vidt at de snakker om hydrogeninnblanding i en vanlig forbrenningsmotor, men det som er vanskelig da er at vi ikke kan få en stempelmotor til å gå på hydrogen, direkte enda da tenn hastigheten er så ekstrem at det blir så kraftig trykkøkning inn i motoren. Men blandes det inn og settes sammen av flere så det blir det vi kaller multifuel kan vi bedre kontrollere dette. Dette blir ikke null-utslipp da. Nei så det med ammoniakk og hydrogen er jo at det forskes mye på og det er vanskelig å si noe om fremtiden enda.

**Meg:** Så om vi går over til det siste alternativet å bruke litium-batterier, hva mener du om dette?

**Finn Tore:** Jo, batterier må jo lades opp, og så har det energi som vi kan konvertere til kraft og drive en propell. Batteri er veldig kurant til sånn små-trafikk som f.eks. fergekryssing og steder vi kan lade hyppig. Da trenger vi ikke store mengder med batteri for vi lader ofte. Over lengre reiser vil dagens batterier ha problemer, men det skjer jo ting hele tiden ta med energitettheten. Energitettheten er hvor mye energi vi får per vekt, så om vi har 10 tonn med batteri kan vi få så og så mye energi inn på de 10 tonnene. Om vi etter hvert kan øke denne energitettheten så vi får dobbelt så mye energi på den samme vekten og volumet kan vi jo gå dobbelt så langt med samme fysiske størrelsen på batteriet.

Sårklart om politikerne sier noe, hopper jo næringen og industrien i veien og sier kanskje her kan det være en fremtidig potensial i vekst, men det er ikke alt som blir prøvd som vil ha noe å si i virkeligheten.

**Meg:** Er det noe mer jeg kunne spurt om angående temaet vi ikke har nevnt?

**Finn Tore:** Nei si det. Det er kommet frem mye, og jeg tror ikke det er bra å snakke for mye om det. Det er en konkret problemstilling og jeg tenker dette er formet ut for at du skal kunne klare det. Men kanskje vi kunne nevnt noe med logistikk. Det er jo det som er problemet med LNG for det må jo lagres og fraktes nedkjølt. Det lagres jo på  $-163^{\circ}\text{C}$  og da er det ikke så lett å få tak i det over alt. Så bunkring er ikke lett over alt. Samme problem vil det kunne bli for hydrogen. Skal vi ha det i flytende form er det samme problematikken som for LNG, gassform er det kanskje lettere å lagre det hvor som helst, men det er dette med energi per volum som blir ugunstig. Siste er strøm for å lade batterier. Vi kan jo ikke dra rundt på alle mulige små kaier med batteribåt siden vi får ikke mulighet til å lade opp.

Så hvert av de drivstoffene har egentlig sin nytte på sin plass til sitt formål.

Tar vi et eksempel med bil, siden mange klarer å forholde seg til dette. El-bil er egentlige det beste for sånn småkjøring opp til 20 mil. Da er det ganske raskt å fylle på og det tar ikke all verden med vekt i bilen. Men skal vi kjøre 50-60 mil må vi ha med oss så mye vekt i bilen for å klare å dra så langt, og da er kanskje hydrogen bedre siden vi kan fylle oftere og kommer samme distanse med lavere vekt på bilen. Og skal vi enda lengre enn det er kanskje ikke hydrogen tingen.

Så for skip så er batterier egnet for fjordkryssing og slikt, hydrogenskip kan kanskje dra litt lengre, men skal du krysse Atlanteren med last vil fossile drivstoff være løsningen ganske langt fremover, skal du ha med deg last. Det har med energitettheten å gjøre og energi per vekt og volum og hvilken virkningsgrad vi får ut av energien til propellen.

## Intervju Vilmar Æsøy

**Meg:** Er det greit jeg tar opp samtalen?

**Vilmar:** Ja

**Meg:** og når jeg skal referere til deg i oppgaven, skal jeg bruke professor med NTNU Ålesund, eller kan jeg bruke navnet ditt? Spør om dette tilfelle du har kontroversielle meninger, siden jeg vil helst at du skal si det sånn du mener.

**Vilmar:** Um, kan vi ta det etterpå? Jeg vil gjerne vite litt mer på hva jeg skal utale meg om, så jeg har vel egentlig ikke kontroversielle meninger, men av og til så utaler jeg meg litt fritt.

**Meg:** okay, så kan du begynne med å snakke litt om deg selv, hva du jobber som og tidligere erfaringer?

**Vilmar:** ja, jeg jobber jo med undervisning og forskning på NTNU Ålesund og jeg har jobbet med det i 20 år ca. Og det er ingeniørfaget jeg underviser i, og mitt spesielle område innenfor ingeniørfaget er energiteknikk og alternative drivstoff som jeg har jobbet med i mange år. Det har vært mest LNG og bruk av naturgass. Ellers har jeg en veldig allsidig bakgrunn, jeg har jobbet i maritim industri en del og på skipsverk, så jeg har en ganske bred teknisk bakgrunn. Det er maskin retning jeg gikk og jeg har en doktorgrad for termodynamikk og forbrenning.

**Meg:** Så hva mener du om kravene til IMO om å halvere utslipp som skyldes skipsfart innen 2050?

**Vilmar:** Seg syntes det er gode mål, vi må ha mål og dette er gode mål og oppnåelige mål. Det kan selvfølgelig ikke oppnås med ett tiltak, men det kan vi få til med en kombinasjon av flere tiltak og de har jo allerede redusert veldig mye innenfor internasjonal skipsfart bare gjennom det som heter «Slow Steaming», altså med redusert frakt og flåteoptimalisering og logistikk-optimalisering. Allerede der har de klart å kutte veldig mye i forhold til det de bruker som referanseforhold så muligheten for å kutte mye utslipp innenfor maritim sektor er et oppnåelig. Det som vi ser som bortimot uoppnåelig er null-utslipps kravet, det som etter 2100 er målet å bli helt nullutslipp. Det er jo et flott mål, men jeg ser det som urealistisk. Så du kan knipe utslippene til en viss grense, men da møter du visse fysiske og økonomiske begrensinger som gjør at det blir så kostbart og komplisert at du ikke kommer videre. Som det ser ut i dag må vi nok over til kjernekraft. Det er det eneste alternativet som er realistisk at vi utnytter en eller annen form for sikker kjernekraft.

**Meg:** Tror du folk vil godta det? Det er jo mange som er helt imot det med atom- og kjernekraft

**Vilmar:** Jeg tror det blir bundet mye ut i mangel på kunnskap og informasjon. Det jeg har lest om utviklingen er at disse her nye reaktorene, salt-smelte reaktorene som de kaller det, de er regnet som en veldig sikker og trykk teknologi, fordi der er det en reaktor som nesten ikke produserer avfallsstoffer, den negative siden med kjernekraft er jo at vi stort sett får veldig store mengder med radioaktivt avfall som vi må håndtere etterpå. Så det er jo der det store negative haken henger med kjernekraft. Men jeg har forstått det slik at de nye reaktorene utnytter mye bedre råstoffet og dermed produserer mye mindre avfallsstoffer. Jeg er nokså sikker på at dette er en teknologi som vil komme, men det er en annen hake med kjernekraft, og det er jo at det er ganske knyttet opp til våpenindustrien da, og den kalde krigen og dette med atomvåpen så om de store nasjonene vil tillate at det blir en kommersielt tilgjengelig vare er dette et politisk hinder vi må overkomme i forhold til det som har med våpen og den militære.

Men slik jeg forstår det så produserer den nye metoden så lite, og egentlig ikke materiell som kan brukes i våpen. For en stor del av atomkraften var for å produsere våpen, altså atomkraftverkene har en biproduksjon som rett og slett er militært råstoff, så driveren for å utvikle atomkraft har gjerne vært våpenindustrien og stormaktene som har drevet fram. Men vi skal ikke snakke så mye om det, som sakt er min tro på det om vi skal komme ned på nullutslipp og løse det store problemet innenfor det store energiproblemet er at vi må ta i bruk en eller annen form for kjernekraft.

**Meg:** Så om vi skal bruke kjernekraft, bruker vi den i selve skipet, eller bruker vi det på land for å produsere energi der?

**Vilmar:** Det er to måter å utnytte kjernekraft på. Du kan enten ha kjernekraft på land og produsere i prinsippet bruke kjernekraften til å produsere en energibærer. Hydrogen kan være et eksempel på det, eller produsere det vi kaller et syntetisk drivstoff basert på kjernekraften. Så bruker vi det i båten, eller en bil.

I praksis kan vi si at alle mindre fartøy og biler og kjøretøy er for små til å ha en atomreaktor ombord. En atomreaktor der du produserer det direkte på skipet er kun for store fartøy som bulkskip, container-skip og andre som har plass til det.

Jeg snakker kun om det jeg tror nå da, det er så mange andre ting som har sine begrensinger så det er vanskelig å tru at det vil fungere. I dag er det ingenting som gir tilstrekkelig nok energi for å løse de utfordringene vi har i fremtiden utenom atomkraft. Det er kun den teknologien som allerede finnes. Alternativet er at vi klarer å utvikle en annen måte å hente energi fra. For eksempel fornybar energi møter taket ganske raskt for det er jo begrenset. Vi kan ikke dekke jordkloden med vindmøller eller solceller, det er helt umulig det, så vi kan spe på litt energi fra fornybare kilder, men vi klarer ikke å skaffe nok energi til alt vi trenger. Så det er jo som de sier, fremtiden blir nok mest sannsynlig en blanding av mange forskjellige ting, det vil nok bli en utnyttelse av alle måter fornybare energikilder så langt vi kan, og en kombinasjon av det meste. Men vi ser jo nå hva som skjer med utbyggingen av vindkraft i Norge, de møter jo en vegg der det er motsetningsforhold der det stopper litt seg selv. Det har med at konsekvensene med for eksempel vindkraft i Norge er naturen og inngrep i naturen som bli så store i forhold til hva vi får av energi. Vi må balansere, det er som en vekt dette og om ulempene blir så store og tunge får det så stor motstand mot seg.

Jeg så faktisk et regnestykke i dag i avisen. De vindmøllene som skal opp ut på Haramsøya, de produserer kanskje nok energi til å drive 2 fiskefartøy, så det er ikke veldig mye vi snakker om. Så det er det som er utfordringen.

Den store tingen er jo effektivisering og redusere forbruket. Den maritime sektoren har jo stor potensiale til å effektivisere og redusere forbruke gjennom dette. Men der igjen ligger jo utfordringen i internasjonalt regelverk, og måter å styre på slik at det blir konkurransemessig riktig. Det som er problemet i dag, er det at det hjelper jo ikke at vi bygger miljøvennlige fartøy her i Norge når de ikke klarer å konkurrere ute i den store verden. Shipping er jo en global business. Så vi må ha et internasjonalt regelverk og det er veldig viktig det IMO har gjort og nettopp tar ansvaret og flagger et internasjonalt regelverk og målsetting. Hvis ikke dette hadde skjedd er det veldig vanskelig for de som går først og er miljøvennlig vil bli utkonkurrert av de som kjører på vanlig drivstoff og ikke bryr seg. Det er veldig komplisert dette her, men det er jo så enkelt å si at det er den økonomiske og markedskreftene som styrer stort sett alt. Det hjelper ikke hvor idealistisk du er, da er du den som blir utkonkurrert til syvende sist. Så vi trenger et internasjonalt regelverk.

**Meg:** Så hvordan er troen din på hydrogen, ammoniakk og litium-batterier som energikilder?

**Vilmar:** Jeg har tro på alle de vil bli brukt til sitt formål. Altså batteridrevne ferger og båter som går korte ruter og kan lade. Det som er utfordringen med batterier og hydrogen er

rekkevidden. Så alle de teknologiene på tilpasset rekkevidden. De vil kunne brukes der rekkevidden er passelig og lademulighetene og ladetiden er tilstrekkelig til å drifte de på en fornuftig måte.

**Meg:** så det å kunne bunkre ofte er viktig?

**Vilmar:** Ja det er viktig fordi at om vi ser på den plassen som trengs ombord for f.eks. hydrogentanker er det nesten ti ganger mer enn hva som trengs for vanlige drivstoff. Så om vi tar en båt, og ser på tankene til den må vi gange den med ti, fordi at energitettheten per volum er altfor lav. Selv om vi har flytende hydrogen, som trengs å kjøles ned til  $-250^{\circ}\text{C}$  som bruker mye energi, og likevel er energitettheten veldig lav. Så vi må regne med å ofre plass, eller bygge helt andre type skip som har satt av spesiell plass til tankene. Så det er ikke sikkert vi kan bruke et skip sånn som det er designet i dag. Vi må nok ha spesiallaget fartøy. Det er nok derfor mange sitter og venter for å se hva som blir det neste. For et skip som bygges i dag skal gjerne brukes 30-40 år framover i tid, så da hjelper det å bygge det slik at det er tilpasset framtiden.

**Meg:** Risikosekt, hva mener du om hydrogen da?

**Vilmar:** Jo altså jeg har jobbet lenge med gass, det var naturgass og det er jo en veldig snill gass, og risikoen er veldig lav egentlig, men likevel er det utviklet strenge regimer med sikkerhet ombord o de båtene som bruker LNG, og vi må jo ha tilsvarende system ganger 2, 3 eller 4 på et hydrogenfartøy. Hydrogen er jo ekstremt lett antennelig, så jeg kan ikke si jeg vil anbefale hydrogen ombord i et skip før vi ser veldig sikre løsninger. Disse veldig sikre løsningene betyr også veldig kostbare avanserte løsninger. De båtene de bygger nå, eller er prosjektert for å gå på hydrogen der ser vi at tankene gjerne er på dekk, slik at vi har minst mulig hydrogen i lukket rom. Faren er jo eksplosjonsfaren om det skjer en lekkasje.

**Meg:** Hva er dine meninger om ammoniakk, bruken og sikkerheten til det?

**Vilmar:** Ja ammoniakk det er jo hydrogen bundet til nitrogen. Så ammoniakk kan du egentlig betrakte som hydrogen. De tar jo hydrogenet og kjører det gjennom en kjemisk prosess så det binder seg til nitrogen. Så da får vi et karbonfritt hydrogen drivstoff. Ammoniakk blir jo brukt som kjølemedium og har forskjellige egenskaper og har blitt brukt lenge. Det er to kjente

bruksområder for ammoniakk, de er jo produksjon av kunstgjødse, det er der det meste går, og så blir det brukt som kjølemedium i store kjøleanlegg. Så ammoniakk har vi allerede ombord i mange skip. Så det er jo allerede kjent og problematikken rundt det.

Det er jo ekstremt giftig da, så om vi får en lekkasje av det er jo det direkte dødelig og er etsende på lunge og pusteorgan. Så det kan medføre alvorlige helseskader og død. Så vi må ha det i lukkede og sikre systemer ombord. For å unngå lekkasje. Energitettheten til ammoniakk er litt høyere per volum, så den kan vi lagre nedkjølt til  $-34^{\circ}\text{C}$  er den flytende. Det er ikke som hydrogen som må ned til  $-250^{\circ}\text{C}$ .

Så ammoniakk er jo en av de stoffene de nå ser på som å bruke som drivstoff. Vi kan bruke det i brenselcelle og omforme det til energi, og vi kan bruke det direkte i motor. Wärtsilä har begynt å teste det med å brenne ammoniakk.

**Meg:** Vet du energieffektiviteten til de forskjellige måtene?

**Vilmar:** Jeg tror at om vi skal ha det gjennom en brenselcelle uansett må omformes til hydrogen, og den prosessen krever en del energi. Og brenselcellegraden er jo, eller de som skryter av brenselcelle sier jo at vi kan få en utnyttelse på 60%, men virkeligheten er nok en del lavere. Så jeg tror at virksomhetsmessig tror jeg at vi kommer like godt ut med en vanlig forbrenningsprosess i en motor som vi gjør med en brenselcelle, ombord i fartøyet da. I hvert fall når vi snakker om store skipsdiesel-motorer. De har allerede en virkningsgrad på 50%, og jeg tror det er vanskelig å tenke seg brenselceller som har bedre enn 50% virkningsgrad. Men som sakt så er dette her litt sånn basert på at det er usikkert og det er teknologi vi ikke har testet helt enda. Men sannsynligvis virksomhetsmessig så tror jeg det vil bli cirka det samme. Så er det jo det at brenselceller har en levetid som gjør at virkningsgraden går ned. Det er det samme med batteri, at batteriene blir dårligere og dårligere desto eldre de blir, og vi må jo skifte ut disse elementene etter hvert for å opprettholde virkningsgraden. Dette er bare cirka tall, jeg tror ikke noen har nøyaktige tall.

**Meg:** Men er det med dagens teknologi de sier vi kan få opp til 60% virkningsgrad med å kjøre den gjennom en brenselcelle?

**Vilmar:** Ja

**Meg:** så du tror ikke vi i fremtiden kan gå høyere? Som f.eks. opp mot 80%?

**Vilmar:** Nei, problemet med all sånn teknologi er at det er en teoretisk øvrig grense. Det som er synd med alle sånne prosesser, enten det er brenselcelle eller motorprosesser er det at de går mot en maks teoretisk virkningsgrad. En dieselmotor for eksempel kan du regne på teoretisk, og finne at absolutt maks teoretisk virkningsgrad for dieselmotor der det er perfekt og du kan ikke komme lengre, så er det kanskje en virkningsgrad på 63%. Så det du hele tiden gjør er at du presser deg opp mot den virkningsgraden som er teoretisk mulig. Og på dieselmotor er den praktiske virkningsgraden rundt en 50%.

Over det er umulig å komme for da må du begynne å bryte med naturlover, det samme gjelder for en brenselcelle. Det er en grense du aldri kan komme over.

**Meg:** Jo det var greit og nyttig å vite.

**Vilmar:** Jeg vet dette høres ulogisk ut, men den eneste måten å komme høyere er å utnytte spinnvarme som vi kaller det, siden alle sånne prosesser produserer varme. Det gjør en dieselmotor som går ut gjennom eksosen og opp gjennom kjølevannet. Det samme gjør en brenselcelle, den må ha kjølevann og kjøles. Så det produseres gjerne en stor del varme. Om vi klarer å utnytte den varmen og bruke den, da kan vi øke virkningsgraden. Eller vi øker egentlig totalvirksomhetsgraden, men det er det samme for en dieselmotor og en brenselcelle. Akkurat det samme, vi kan utnytte spinnvarmen. Så om de begynner å snakke om en virkningsgrad over 60% og oppover er det alltid snakk om at de utnytter spinnvarmen. Problemet er at ombord i en båt er dette veldig vanskelig. På land kan du utnytte spinnvarmen og bruke den til å varme opp hus og bygninger og svømmehaller osv. men ombord i en båt er det kun en begrenset del av den varmen vi kan utnytte.

**Meg:** Men bruker vi noe av den spinnvarmen i dag til å varme opp lugarer og deler avskipet?

**Vilmar:** Ja, de bruke jo spinnvarmen til oppvarming, men de gjør det i alt for liten grad fordi at drivstoffet har tradisjonelt vært alt for billig så det lønner seg å bare bruke elektrisk oppvarming. Det vil si at vi tar en dieselmotor og produserer strøm, så tar vi den strømmen til å produsere varme. Så utfordringen der er at løsninger for å utvinne spinnvarmen har blitt sett vekk på, på grunn av drivstoff har vært for billig slik at det ikke lønner seg.

Men på nye miljøfartøy de har bygget i senere år, der utnytter de helt klart spinnvarmen ombord. Om vi ser på f.eks. «Color hybrid» fergen som de bygde på Ulstein har veldig



avanserte varme/igjenvinningsystem og i tillegg har den batteriløsninger så de kan kjøre til og fra havn.

Så spinnvarme er ikke spesielt mye du kan utvinne, men det er en god del. Spesielt på et cruiseskip og passasjerbåter kan vi utvinne mye av varmen, og ikke bare produsere varme, vi kan snu på den til å drive en aircondition, det er litt spesielt, men vi kan utvinne varme til å kjøle med.

**Meg:** Om vi kan snakke litt om det siste alternativet, litium batterier. Hva er dine meninger om bruk, og risiko om det? Vil vi klare å drive store fartøy kun på batterier og land strøm?

**Vilmar:** Nei, nei det er ikke mulig. Når det er snakk om batterier, er det viktigste vekt og volum. Skal vi ha nok batterikapasitet til å drive et stort skip med en lang rekkevidde så blir det lett å regne på. Jeg kan gi deg et tall. Skal vi si vi har 100 kilowatt timer veier et tonn. Altså ett tonn gir deg 100kw timer. Eller kanskje ikke et tonn, vi sier 500kg for å være litt snill. 500kg får vi 100kw timer. Tar vi et skip og gir det 20 mega watt og det skal gå i en time, da må vi ha 20 mega watt timer, så det blir 200 ganger og da må vi ha 100 tonn med batterier, per time, per time! Så om vi skal gå i 10 timer må vi ha 1000 tonn. Dette er bare hoderegning da, og det er lett å regne ut at batteri stopper på vekt.

Dette er den ene begrensingen på et skip, den andre er at vi må være klar over at de batteriene vi har i dag er jo en begrenset ressurs, altså vi har nok til å lage batterier til mobiler og sånne ting, men hvor mange mobilbatterier må vi ha for å drive et skip fremover? Det er også lett å regne ut. Det blir mange batterier for å si det sånn. Så det har sine ressursmessige hindringer, og vekt- og volumbegrensninger.

Men på mindre fartøy og båter som kan lade ofte og regelmessig er dette helt ok og en veldig god løsning. Men det er ikke en løsning som kan dekke alt, det har en begrensning.

**Meg:** er det noe om dette temaet jeg kunne ha spurt om, men som ikke er nevnt?

**Vilmar:** Nei, vi har nå vært innom veldig mye. Jeg kan vel spørre hva som er temaet for din oppgave og hva du skal jobbe med.

**Meg:** Jeg skal se på hvordan sjøfarten kan nå målene til IMO om å halvere sjøfarten innen 2050, og hvordan vi skal utvikle oss fremover så det blir en klimavennlig sektor.

**Vilmar:** Ja, jeg kan nevne at vi har andre alternativer også, men disse er ikke nullutslipp, de har produsert veldig lenge det vi kaller syntetisk diesel-olje. Det har de utviklet for lenge siden som produserer istedenfor å bruke naturgass direkte, eller metan så kan du kjøre det gjennom en prosess og produsere et drivstoff som er flytende og kan bruke rett på dieseltanken og kjøre på. Og så er det selvfølgelig bio-drivstoff, men alle disse drivstoffene har karbon i seg. I tillegg til dette er det en begrenset ressurs og vi kan liksom ikke bruke alt av jordbruksområder i verden til å dyrke drivstoff. Befolkningen skal ha mat også.

En annen ting er at driveren for maritim sektor er gjerne konkurranse. Det er gjerne det at her i dag, og historisk er transport en veldig global konkurransearena og det er egentlig veldig billig å transportere ting i dag. Så om jeg setter meg i en litt sånn miljøverner posisjon for å spare miljøet så vil jo jeg si det at la oss slutte å transportere så mye rundt om i verden og la oss optimalisere logistikken kjeden og transportere minst mulig, men dette er jo litt som å spenne bein på shippingen da. Så det er jo et paradoks som sier vi skal ha vekst i verden, samtidig som vil skal minke utslippene. Det er nesten som det er en umulig oppgave.

Jeg tror vi faktisk må endre ganske dramatisk måten vi lever og organiseres oss på. Vi må transportere mindre rett og slett. Mye mer kortreiste produkter. Vi ser jo nå i Corona tider hvor sårbare vi er blitt.

Vi må også ha et internasjonalt regelverk. Hvis ikke vil den som overlever være den som klarer å lure seg rundt dette og gjøre det på en billigere og lettere måte. Så vi må ha et regelverk så det blir rettferdig og like konkurransevilkår. Det er vi nødt til å ha. Det er kanskje den største utfordringen vi står over, det er jo å få til internasjonale forpliktende rettferdige og riktige lover og regler som kan følges opp og bidrar. Hvi sikke blir alle gode intensjoner vanskelig å gjennomføre.

Det er spennende, og det blir spennende fremover.

**Meg:** Da har vel jeg fått det jeg trenger, tusen takk for samtalen.

**Vilmar:** Jo ingen problem.

**Meg:** Om vi går tilbake til det med å bruke navn, kan jeg bruke navnet ditt i oppgaven?

**Vilmar:** Jada, jeg tror ikke jeg har sakt noe kontroversielt så det kan du bare gjøre.

**Meg:** Jo tusen takk! Du må ha en god jul da.

**Vilmar:** Jo, du får ha en god jul du og, og lykke til med oppgaven.

## Intervju Ann Rigmor

**Meg:** Er det greit jeg tar opp samtalen vår?

**Ann Rigmor:** Ja, for du skal vel bruke den til oppgaven og ikke spille den av for andre?

**Meg:** Nei jeg skal høre på oppdraget og transkribere det og legge teksten som et vedlegg til bacheloroppgaven

**Ann Rigmor:** Ja okay

**Meg:** Og er det greit jeg bruker navnet ditt, eller professor ved NTNU Ålesund?

**Ann Rigmor:** Jeg er ikke professor, jeg er førsteamanuensis

**Meg:** Okay, så kan jeg bruke det, eller navnet ditt?

**Ann Rigmor:** Det er egentlig, hipp som happ. Nevner du andre i oppgaven din?

**Meg:** Ja, jeg har tre andre til nå. Men jeg spør om dette tilfelle du har kontroversielle meninger. Jeg vil at du skal være så ærlig som mulig og si dine meninger.

**Ann Rigmor:** Ja greit.

**Meg:** Skal vi si det sånn at vi begynner med samtalen, så på slutten kan du bestemme om jeg kan bruke navnet ditt eller førsteamanuensis med NTNU?

**Ann Rigmor:** Ja enig, men det spiller egentlig veldig liten rolle siden miljøet er så lite så om du snakker om førsteamanuensis med NTNU og snakker om dette temaet så er det ikke så mange, men vi går i gang med spørsmålene tenker jeg.

**Meg:** Ja, om du kan begynne å snakke litt om deg selv, hva du jobber som, tidligere erfaringer osv.

**Ann Rigmor:** Ja, kan begynne bakfra jeg er sivilingeniør fra fysikk og matematikk fra NTH i Trondheim og så tok jeg diplom, såkalt utediplom i Stavanger hos rogalandsforskning med det som var høyskolen i Stavanger. Det gjorde jeg for å øke sjansene for å få jobb i Stavanger etter endt utdanning siden når jeg gikk ut var det lite jobber og det var en liten nedgangsperiode. Han som var mannen min flyttet til Stavanger noen år før da han var ferdig, men etter jeg fikk diplomet fikk jeg jobb i rogalandsforskning og da begynte jeg å jobbe med noe som het gasshydrat som er en is-liknende substans som kan danne seg i gass ledninger og blokkere. Det er temperaturer over null punktet da sånn at det er stabil Is, eller noe som likner på is.

Så fikk jeg spørsmålet om å ta en doktorgrad på dette her fordi det var en del av et NFR-prosjekt (Norges forsknings råd), men det ville ikke jeg ta på meg med en gang fordi jeg ikke visste helt hva det var, og skal du ta doktorgrad i noe må en være veldig interessert i det, så jeg jobbet ett år til før jeg bestemte meg at da skulle jeg gå for det. Da begynte jeg på doktorgrad og jobbet med krystallisasjon, eller det intielle i dannelsesfasen for disse gasshydratene. Det var da i samarbeid med NTH igjen så jeg hadde residenstid oppe i Trondheim og labb i Stavanger. Så var det tre års leveringstid til doktorgraden og fortsatte å jobbe i rogalandsforskning med gasshydrater og flerfase strømnings problematikk og gassmåling eller volumetrisk måling av gass. Disse her prosjektene er for olje og gass

industrien. Og så i 1996 så begynte jeg å jobbe for Statoil i stavinger og da jobbet jeg med det som heter gass transport optimalisering, gass transport i gassrør, så da hadde jeg en stilling der med oppfølging av en del forskningsprosjekt og var involvert i mange prosjekt som gikk på optimalisering av gass-strøm i ledninger. Da var jeg i Bygnes, Stavanger og satt der kontrollsenteret ligger, det som nå er Gassco. Jeg tilhørte da en avdeling som senere ble utskilt ble Gassco. Så det var mye gasstransport.

Så i 1998 så ble jeg mor, og hadde svangerskapspermisjon og da jeg kom tilbake så var det en stor nedbemanning i Statoil og alle fikk tilbud om pakkeløsning. Jeg tok den da og i 2000 på sommeren sluttet jeg i Statoil og så flyttet jeg oppover til Møre og Romsdal. Samtidig fikk jeg stipend av Statoil for å ta pedagogikk, så det tok jeg da her oppe imens jeg hadde en til svangerskapspermisjon. Da var jeg litt vikar for skolene rundt omkring er oppe, både fra 1. klasse opp til voksen opplæring så det var spennende. I den tiden så skulle Nyhavna utbygges. Med den forbindelsen skulle det stiftes ett selskap her oppe som fikk navnet Naturgass Møre som da skulle importere LNG til regionen og distribuere for å skape en gassvirksomhet her oppe. Det var planer å få et regionalt uttak av gass fra Nyhavn for næringsvirksomhet her oppe. Så da tok jeg bare kontakt med Naturgass møre og spurte om de hadde noe prosjekt som jeg kunne jobbe med på siden. Det hadde de, og etter hvert var jeg fulltidsansatt hos Naturgass Møre. Det var et lite selskap, og vi var vel maks 3 stykker som var ansatt der. Men naturgass Møre er en av få pioner på lagring og distribusjon av naturgass og vi satt opp lokale LNG anlegg som f.eks. Tine i Ålesund.

Her var jeg til 2013, da ble jeg kontaktet av Rolls Royce og de spurte om jeg ville begynne å jobbe der. Så det passet jo veldig bra å ta LNG kunnskapene mine til sjøs. Da begynte jeg der og designet LNG anlegg for skip. Så gikk jeg over til mer aptering i Rolls Royce marine ikke bare på LNG. På LNG jobbet jeg med aptering på de designene vi kom fra til og så hadde jeg lyst til å jobbe mer på forskningsrelaterte aktiviteter så da begynte jeg å jobbe i noen nyopprettede stillinger. Så det jobbet jeg meg helt fram til 2019 da jeg begynte på NTNU, så nå foreleser jeg på fornybar energi på NTNU og er studieprogramkoordinator for fornybar energi bachelorutdanningen som var ny fra høsten 2019.

**Meg:** Okay, det var en imponerende CV

**Ann Rigmor:** Det er nok fordi jeg bruker mange ord, men bakgrunnen min er gass-teknologi.

**Meg:** Og det var i 2013 du kom innenfor shipping?

**Ann Rigmor:** Ja for LNG på skip ja. Men LNG businessen har vært her siden 2004. Så det har skjedd mye siden da, og det jeg syntes er frustrerende er når de prøver å få i gang nye virksomheter og tenker det kan fort skje med f.eks. hydrogen og ammoniakk er at det gjelder LNG var det en stor satsing en tid, både gjennom Enova og andre innsatser. Men så er det sånn at når Norge var kommet fram til løsningen så skal jo vi selge løsningen og teknologien til utlandet, og i utlandet tenker de dette her er topp og virkelig klimamessig et bra produkt, men i Norge så er det plutselig ikke rent nok lengre. Så når vi akkurat har fått bygget opp distribusjonsnett og logistikk, nei da er det ikke rent nok lengre og vi skal heller gå over til flisfyring, og ja nå er det jo hydrogen som blir det neste. Og dermed kom det masse regelverk på plass, både Co2 avgifter, retningslinjer og forskrifter som gjør at det rykker teppet under føttene på LNG selskapene. Det er veldig hardt å konkurrere og det er jo et godt alternativ i forhold til diesel og mange andre brensler, men det mangler på en måte nyanseringen så det er veldig vanskelig å ha langsiktige planer fordi at plutselig er forutsetningene helt endret og noe som så veldig bra ut for 5 år siden er plutselig vekke.

Det ender med at de store utenlandske selskapene kommer og kjøper opp og til syvende sist går det utover arbeidsplassene. Det fører også til at folk ikke tør å satse på ny teknologi.

**Meg:** Tror du det samme kan skje med blått hydrogen? At det plutselig ikke er grønt nok?

**Ann Rigmor:** Det som er både fordelen og i dette tilfellet ulempen med Norge er at vi har så mye vannkraft, at vi ikke trenger hydrogen sånn sett. Det vi trenger hydrogen til er om vi skal ta vare på innelåst kraft. For eksempel skal vi produsere kraft fra vannressurser som ellers bare ville rent over fordi vi ikke har linje til å ta imot strømmen, eller forbrukere. Så da er å produsere hydrogen et godt alternativ, men ellers så spør det om behovet. I Norge der det er korte transports strekninger vil batteri kanskje være et lite greit alternativ. Du taper veldig mye energi skal du produsere hydrogen fra andre måter enn overskuddskraft fra vannkraft. Så det er ikke et enkelt svar på det.

**Meg:** Har du hørt om kravene til IMO om å halvere utslippene fra skipsfart innen 2050?

**Ann Rigmor:** Ja, mhm.

**Meg:** Kan du fortelle litt om dine meninger angående det?

**Ann Rigmor:** Jo det er veldig bra, og er på plass at de setter disse kravene. Det som er utfordringen er at Norge gang på gang stiller kanskje sterkere krav til sine bedrifter, enn andre. Så det er dette med å tenke konsekvenser. Et eksempel er i Geirangerfjorden der de stenger for alle skip som ikke er nullutslipp. Det er jo helt greit det, men de må også være klar over konsekvensene og må ta med de som er involvert. De må være klar over konkurransekraften for bedrifter i Norge.

Jeg er jo veldig for miljøvennlige løsninger, og for å ikke forsøple luften eller naturen på andre måter, det tenker jeg de fleste er, men vi må spille på lag med andre og ikke kjøre norske bedrifter i grusen med for strenge krav her i hjemlandet. Så da kan de ikke komme etterpå og bare «ååå, så dere klarer ikke å levere?» sant. Det er jo det samme som skjer nå med hydrogen. Det som er min skepsis der er jo at jeg har jobbet med LNG anlegg design både på land og sjø, og jeg har sett forskjellige krav og utfordringer og det er ikke noe vi skal ta lett på. Og hydrogen er en klasse for seg selv sikkerhetsmessig og håndtering. Så for å skifte over fra fossile brenslere til LNG var utfordrende i seg selv siden det var et dyrere system og tar mer plass for den samme energimengden. Så klart at det er dyre prosjekter, men hydrogen er jo enda dyrere. Det er en dårligere energitetthet, volumetrisk sett og hydrogen er veldig reaktivt så vi må ha en helt annen kvalitet på rør, og du mest sannsynlig må ha rør i rør løsninger og helt andre sikkerhetssystemer. Det driftstekniske da for prosessen så får vi heller ikke færre komponenter med hydrogen enn LNG, eller hydrogen og brenselcelle da. Så det jeg har fått informasjon om så går de fleste brenselcellene, eller de gir mest energi hvis de har litt trykk, så da må vi ha et trykk-system der. Og for landskipsfart er komprimert hydrogen et dårlig alternativ, da kunne vi heller bare brukt batterier, så skal vi ha hydrogen på skip må det være flytende, og selv om er det veldig dårlig energitetthet i forhold til LNG, som igjen er dårligere enn diesel-olje.

Det som jeg syntes er litt skremmende, eller syntes vi må være på vakt om er at aktørene som er på banen nå presser fram for å få til det de kaller hydrogen-samfunnet, og det er jo greit nok, men når vi konfronterer dem med hva med sikkerheten, fordi har du vært på et seminar er det nesten ingen som snakker om det, så det er veldig urovekkende. Så om du tar det opp sier de bare «Ja, men det gikk greit med LNG, dette ordner ingeniørene», men ingeniørene er jo du og jeg da. Og så blir det gitt fergekonstruksjoner som skal være nullutslipp og den skal gå på hydrogen. Da blir det nærmest bestemt før vi har teknologien der, og ja Glutra var det jo første skipet i verden som gikk på LNG, og det var levert i 2000. Norge har en tradisjon på å være langt framme når det kommer til dette her da, men fordi at det gikk greit med LNG er

det ikke sikkert det vil gå med hydrogen, det er mer krevende, så jeg er litt skremt at det er så lett å bare kjøre på og få det i gang og overlate problemene til ingeniørene da. Jeg tror ikke dette er den rette måten å gjøre det på, og vi får trygge løsninger før vi setter i gang.

Vi kan jo snakke litt om den ulykken på Østlandet og hydrogenladestasjonen som gikk i luften, så var jeg på en konferanse der noen holdt et foredrag i fjor, og da sa det at de hadde undersøkt for å finne årsaken til denne eksplosjonen, og så langt de hadde undersøkt så det ut som det rett og slett var selvantennning fordi det kom opp på det superkritiske området. Så det er rett og slett energien i utslippet som førte til antenning, det var ingen ytre antenningskilder.

**Meg:** Så det var kun friksjonen hydrogenet skapte med å lekke ut som førte til antenning?

**Ann Rigmor:** Ja bare gass-strålen da.

Så har vi jo ammoniakk, det kan da være et godt alternativ, men ulempen er jo at det er så giftig. Jeg vet ikke om du har fått det med deg, men bare for noen uker siden var det to hendelser på to forskjellige verft der de hadde ammoniakklekkasje. Den andre vet jeg ikke så mye om, men den første var alle evakuert med en distanse på 300 meter fra verftet og du fikk ikke lov til å kjøre forbi. Det var så vidt jeg har forstått en lekkasje i et kjøleanlegg. De jobbet ikke med det engang, det var helt tilfeldig at de oppdaget det. Men det viser hvor giftig det er, siden det var ikke en diger ammoniakk tank, men det var fra et lite kjøleanlegg. Så ammoniakk er ikke noe å spøke med. Å ha det på land er en ting, men skal du ha det på et cruiseskip eller passasjerfartøy, hvor skal du da evakuere folk? Det tenker jeg da hvis vi får et havari på en eller annen ammoniakk tank og vi ligger langt til sjøs og det er vindstille.

Så det er et komplisert sikkerhetssystem som trengs der og.

Så ikke misforstå meg, jeg er virkelig for at vi skal utforske alternativer, men vi må tenke at vi ikke har det så travelt at vi ikke undersøker andre alternativer heller, og så må vi ikke ha det så travelt at det går på bekostning av sikkerheten.

**Meg:** Så hvilken av de tre alternativene har du størst troen på, er det litium batterier, hydrogen eller ammoniakk?

**Ann Rigmor:** Jo det kan jeg gi et enkelt svar på. Jeg tror fremtiden består av mange ulike kombinasjoner, og det kommer an på behovet. Det er fordi noen er avhengig av ulike typer backups enn andre. Så er det store forskjeller på små, mellomstore og store båter. Det er også



store forskjeller på båter som skal frakte last og båter som skal frakte personer. Så jeg tror det blir mye forskjellig.

**Meg:** så det er ingen av de du har stor tro på vil ta over markedet?

**Ann Rigmor:** Nei, ikke enda. Men jeg tror det er spennende tider framover og det er mye som skjer og veldig spennende med hydrogen, men tenker vi må roe litt ned og få en oversikt over hva vi gjør her. Det som er ulempen med hydrogen, er den energitettheten og at det er så vanskelig å håndtere. Så hydrogen er riktig på enkelte plasser, men ikke over alt.

**Meg:** Er det noe annet jeg kunne spurt om som er relevant for dette temaet?

**Ann Rigmor:** det var en ting jeg tenkte på, ja NOx fondet har jo vært veldig bra i Norge. Det har vært et bra støtteapparat for å få bygd opp skip til LNG bruk så det kan du skrive litt om. Det har vært en av de virkemidlene som har betydd veldig mye for å få opp brukernivået i Norge. De tror jeg støtter både til anlegg på land og på sjø.

**Meg:** Jo takk for samtalen, men det med om jeg kan bruke navnet ditt, får jeg lov til det?

**Ann Rigmor:** Jo om du bruker navnet på de andre kan du bare bruke mitt og.

**Meg:** Jo tusen takk

**Ann Rigmor:** Men om du tror jeg har sakt noe veldig kontroversielt så vil jeg gjerne vite det

**Meg:** Ja den er grei, tusen takk. Ha det bra!

**Ann Rigmor:** Ha det!