

Håkon Slotsvik

# Mot klimanøytral oppdrettsnæring

Bacheloroppgave i Ingeniør, Fornybar Energi

Veileder: Vilmar Æsøy

Medveileder: Ann Rigmor Nerheim

Mai 2021



Håkon Slotsvik

# Mot klimanøytral oppdrettsnæring

Bacheloroppgave i Ingeniør, Fornybar Energi  
Veileder: Vilmar Æsøy  
Medveileder: Ann Rigmor Nerheim  
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for energi- og prosesseteknikk

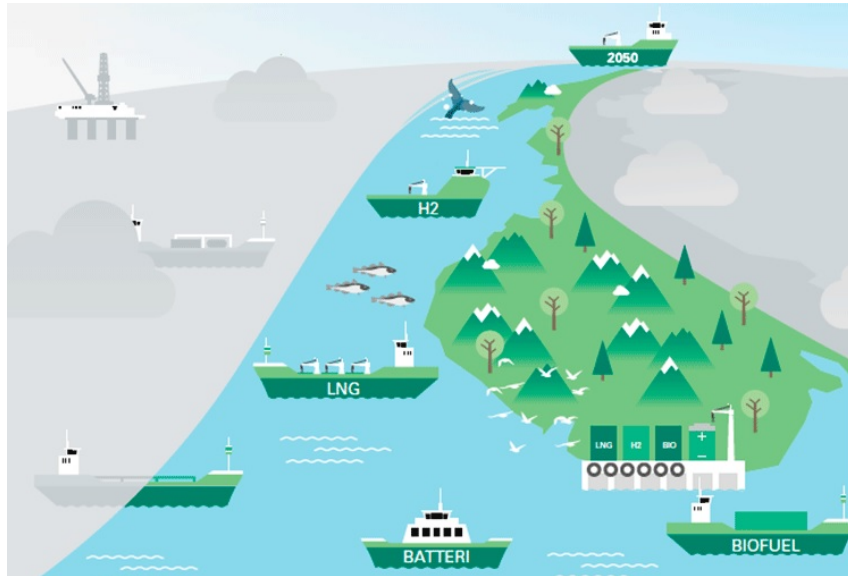


Kunnskap for en bedre verden



# Bachelor i fornybar energi

*Mot klimanøytral oppdrettsnæring.*



*Bildet er hentet fra Grønnskipsfartprogram, og er modifisert [1]*

**Håkon Slotsvik**

Vårsemester 2021



## Forord

Denne bacheloroppgaven utgjør siste del av ingeniørlinjen Fornybar Energi ved NTNU. I tiden før jeg startet på ingeniørlinjen arbeidet jeg som overstyrmann i oppdrettsnæringen. Det å ha ervervet gode kunnskaper rundt den maritime næringen har vist seg å være en hjelpende faktor i flere temaene innenfor ingeniørlinjen.

I valg av tema for denne bacheloroppgaven, har jeg valgt noe som har interessert meg i lengre tid og vært en viktig faktor for at jeg valgte å gå videre på studie innen fornybar energi. Oppgaven er maritimt rettet og handler om utviklingen av flere alternative drivstoffer for fartøy. Dette ble valgt for å kunne fordype meg i et tema og teknologi som fortsatt er umoden. Dette temaet vil kunne spille en viktig rolle i årene som kommer for å kunne imøtekomme stadig strengere miljøkrav.

Det har vært lærerikt og utfordrende å jobbe alene om denne oppgaven, i motsetning til ellers i studiet der en kan støtte seg på andre studiekamerater. Dette har gjort at innhenting av data, resultater og refleksjoner har bidratt til å ikke låse meg fast i en enkelt arbeidsoppgave. Siden arbeidet er gjort alene, har jeg reflektert både positivt og negativt rundt ulike drivstoffer og motorteknologier. Jeg har benyttet meg av kontakter innad i den maritime næringen for å innhente gode data for forbruk og tekniske spesifikasjoner på fartøy. Tidsbruken for de ulike delene kapitlene i oppgaven ble planlagt slik at omtrent halvparten ble brukt til å produsere resultat.

Jeg ønsker å takke tre selskaper innenfor oppdrettsnæringen, siden de var meget hjelpelig med informasjon, Dess Aqua, Sølvtans og Hofseth. Likeledes takker jeg mine veiledere Vilmar Æsøy og Ann Rigmor Nerheim, ved NTNU Intitutt for Havromsoperasjoner og Byggteknikk.

Et bachelor studium midt i covid-19 pandemien har vært krevende siden all kontakt har foregått digitalt. Ved mye hjemmekontor, vil jeg takke familien for å ha støttet meg i denne perioden.

Ålesund 20.05.2021



Håkon Slotsvik  
NTNU Institutt for Energi og Prosessteknikk

## Sammendrag

Jordkloden er under konstant press ved at vi mennesker slipper ut både gasser og kjemikalier til miljøet. Dette danner grunnlaget for å redusere utslippet av klimagasser til atmosfæren. Hensikten med min oppgave er å få bedre kunnskap rundt de alternative drivstoffene samt de ulike teknologiene for å nyttiggjøre dem til maritim næring.

Min problemstilling: **Hvilket drivstoff vil være det mest gunstige om en skal bygge et nytt fartøy for oppdrettsnæringen?**. Jeg benyttet følgende forskningsspørsmål for å utdype min problemstilling: *Hvordan påvirker driftsprofilen til ulike fartøy energiforbruket? Vil størrelsen på fartøyet og operasjonsområdet påvirke hvilket drivstoff og motorteknologi en kan benytte?*

Den metodiske tilnærmingen til datainnsamlingen for oppgaven er gjort kvalitativt, mens en i datahåndtering rundt resultater er gjort kvantitativt. Med bakgrunn i oppgavens omfang, er det valgt å presentere resultatene på kvantitativ metode siden omfanget er stort og resultatene er laget for å synliggjøre forskjeller blant drivstoffene.

I den teoretiske innrammingen er det valgt å ta utgangspunkt i tilgjengelig informasjon fra litteratur og internett. Hovedsaklig er dette informasjon som har omhandlet den maritime næringen. Begrensningene for informasjonsinnhenting er gjort til å omhandle maritime klimamål, drivstoff alternativer og energiomformings-teknologi. Det er også gjort begrensinger på hvilke typer fartøyer som oppgaven omhandler, dette er brønnbåter og servicebåter.

Kort oppsummert viser mine hovedfunn at brønnbåtene vil ha størst fordel ved å benytte seg av LNG i form av dualfuel-teknologi frem til avgiftene for  $CO_2$ -utslipp økes så mye at karbonnøytrale alternativer som ammoniakk vil gjøre seg økonomisk konkurransedyktig. Mindre fartøyer, slik som servicebåten vil ha mindre behov for energi og har ofte landligge i samme havn. Dette gjør at helelektriske servicebåter vil være konkurransedyktig, om en kan lade etter hver arbeidsdag. Her kan også LNG være et godt alternativ i bruk på en dualfuel-motor, gitt at servicefartøyet har tilstrekkelig volum til å installere de sylindriske tankene som vil kreves til dette formålet.



## Summary in English

Mother Earth is put under constant pressure by us humans releasing both climate gases and chemicals into the environment. This forms the basis for reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. The purpose of my thesis is to gain better knowledge regarding the alternative fuels as well as the various technologies to utilize them for the maritime industry.

My problem to solve: **Which fuel will be the most favorable if building a new vessel for the aquaculture industry?** I used the following research questions to elaborate my problem: *How does the operating profile of different vessels affect energy consumption? Will the size of the vessel and operational area affect the alternative fuel and engine technology usage?*

The methodological approach to data collection for the thesis is done qualitatively, while data management regarding results is done quantitatively. Based on the scope of the thesis, it has been chosen to present the results in a quantitative method since the scope is large and the results are designed to make visible differences among the fuels.

The theoretical framework are based on available information from literature and the internet. This is mainly information that reviews the maritime industry. Information gathering are restricted to contain mostly maritime climate goals, fuel alternatives and energy conversion technology. Restrictions have also been made on which type of vessel the thesis deals with, these vessels are fish carrier and service vessel.

In short, my main result of my study show that the fish carrier will have the largest advantage by using LNG as fuel in dualfuel technology. This will be the situation at least until the taxes for  $CO_2$  emissions has increased to a level that carbon neutral alternatives such as ammonia will become economically competitive. Smaller vessels such as the service vessel has a lower energy need and are often located in the same port. This means that options such as full electric service vessels will be competitive in some cases, if the service vessel can charge its batteries after each working day. For these types of vessels, LNG will also be a good alternative used in dualfuel engine, given that the service vessel has sufficient space to install the cylindrical tanks needed for this purpose.

# Begreps- og symbolliste

**Tabell 0.1:** *Begreps-og symbolliste*

Begreper	Forklaringer
$CH_3CH_2OH$	Etanol.
$CH_4$	Metangass.
$CO$	Karbonmonoksid.
$CO_2$	Karbondioksid.
$C_{12}H_{26}$	Dodekan.
Dodekan	Kjemisk stoff, som i denne oppgaven går under betegnelsen diesel.
DNV	Det Norske Veritas.
Dualfuel motor	Når motoren har mulighet til å benytte mer enn ett drivstoff.
ECAS	Emission Controlled areas, områder med spesielt strenge krav til utslipp av klimagasser.
GHG	Global heating gasses.
Haber-Bosch metoden	Metode for å utvinne ammoniakk fra naturgass (metangass).
HHV	Øvre brennverdi.
HVO 100	Syntetisk biodiesel.
$HNO_3$	Salpetersyre.
ISPS	International Ship and Port Facility Security.
ISPS sikkret	Hvor kaianleggene er gjerdet inne, samt strenge krav til entring av slike havneanlegg.
Katamaranskrog	Hvor ett fartøy har to mindre skrog i stedet for ett.
Kobolt	En type metall, som benyttes i flere typer batterier.
kWh	Kilo Watt timer.
LBG	Liquid biogass, er flytende metangass produsert av biologisk materiale.
LHV	Nedre brennverdi.
MARPOL	Prevention of pollution from ships.
MCFC	Molten carbonate fuel cell.
MDO	Marine Diesel Oil.
Monofuel motor	Når en motor bare benytter seg av ett drivstoff alene.
MJ/h	Mega Joule per time.
MWh	Mega Watt timer.
NEL	Selskap innenfor hydrogenteknologien.
$NH_3$	Ammoniakk.
$Nm^3$	Normalkubikkmeter, brukes for å ha gitt trykk og temperatur ved ved mål av gasser.
$NO_x$	Fellesbetegnelse for flere Nitrogenoksider, med forskjellig mengde oksygen derav x.
Ottoprosess	En type forbrenningsprosess i motorer.
Ottodiesel prosell	En type forbrenningsprosess for dieselmotorer.
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell.
Petroliumsfraksjon	Stoffer som blir utvinnet fra råolje.
Pilotfuel	Er ett drivstoff som hjelper til i antennelsesprosessen av enkelte drivstoff.
PSV	Plattform supply vessel: forsyningsfartøy til petroleumsindustrien.
Sprø-brudd	Er en type sprekkdannelser i stål grunnet hurtig nedkjøling.
SOLAS	Safety of life at sea.
$SO_x$	Felles betegnelse for Svoveloksider, med forskjellig mengde oksygen derav x.
STCW	Standards of Training, Certification and Watchkeeping of Seafarers.
Steam Reforming Process	Brukes for å utvinne hydrogen fra petroleums-gasser, hvor gassene reagerer med varm vanndamp.
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell.

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>ii</b>
<b>Begreps- og symbolliste</b>	<b>iv</b>
<b>Figurliste</b>	<b>vii</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>ix</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2 Bakgrunn og målsetting</b>	<b>2</b>
2.1 Målsetninger for maritime klimagassutslipp . . . . .	2
2.1.1 Internasjonale målsetninger (IMO) . . . . .	2
2.1.2 Norske myndigheter . . . . .	3
2.1.3 Regionale myndigheter . . . . .	4
2.2 Internasjonale organisasjoner . . . . .	4
2.2.1 IMO : Internasjonal maritime organisasjon . . . . .	4
2.2.2 Sjøfartsdirektoratet og norske myndigheter . . . . .	5
2.2.3 Regelverk . . . . .	6
2.3 Oppdrettsnæringen . . . . .	7
2.3.1 Fartøyer i oppdrettsnæringen . . . . .	8
2.4 Alternative energikilder . . . . .	9
2.4.1 Diesel og Biodiesel . . . . .	9
2.4.2 Ammoniakk . . . . .	11
2.4.3 Hydrogengass . . . . .	13
2.4.4 LNG og LBG . . . . .	16
2.4.5 Litium-batteri . . . . .	18
2.4.6 Metanol . . . . .	20
2.4.7 Etanol . . . . .	21
2.5 Eksisterende og planlagt infrastruktur . . . . .	23
2.6 Drivstoffpriser . . . . .	30
2.7 Energiomforming . . . . .	32
2.7.1 Forbrenningsmotor . . . . .	33
2.7.2 Brenselcelle . . . . .	35
2.7.3 Elektromotor . . . . .	40
<b>3 Metodikk</b>	<b>42</b>
3.1 Kvalitativ forskningsmetode . . . . .	42
3.2 Kvantitativ forskningsmetode . . . . .	42
3.3 Informasjonsinnhenting . . . . .	42
3.4 Utvikling av operasjonsprofil . . . . .	42
3.4.1 Driftssyklus bassert på AIS-data . . . . .	44
3.4.2 Driftsmønster bassert på fysiske målinger . . . . .	48
3.4.3 Servicefartøy . . . . .	50
3.5 Motorarrangement . . . . .	51

3.5.1	Monofuel forbrenningsmotor arrangement . . . . .	52
3.5.2	Dualfuel motorarrangement med pilotfuel 5% . . . . .	52
3.5.3	Brenselcelle og monofuel-motor arrangement . . . . .	53
3.5.4	Dualfuel-motor og brenselcelle . . . . .	54
3.5.5	Dualfuel forbrenningsmotor og batteripakke for peakshaving . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Resultater og diskusjon</b>	<b>56</b>
4.1	Volumbehov for de ulike drivstoffene . . . . .	56
4.1.1	Muligheter for batteridrift i opprinnelig drift. . . . .	56
4.2	Driftssyklus og drivstofforbruk . . . . .	57
4.2.1	Driftssyklus med fartøy A . . . . .	57
4.2.2	Driftssyklus med fartøy B . . . . .	64
4.2.3	Driftssyklus med fartøy C . . . . .	68
4.2.4	Servicebåt . . . . .	72
4.3	Sammendrag av resultater . . . . .	76
4.4	Sammenligning av AIS resultater og ombordmålt energibehov. . . . .	80
4.5	Utfordringene i tiden fremover . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>83</b>
5.1	De forskjellige teknologiene . . . . .	83
5.2	Økonomiske- og sikkerhetsaspekter, samt tilgjengelighet innenfor produksjon og distribusjon av drivstoffene. . . . .	84
5.3	Videre arbeid . . . . .	86
	<b>Referanser</b>	<b>87</b>
<b>A</b>	<b>Vedlegg A: Beregning av <math>CO_2</math> utslipp per <math>m^3</math> drivstoff</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Vedlegg B: Synliggjør Excel dokumentet som ble utarbeidet med kalkulasjoner for oppgaven.</b>	<b>III</b>
<b>C</b>	<b>Vedlegg C: Driftstimer og energibehov for de ulike driftssyklusene</b>	<b>V</b>
<b>D</b>	<b>Vedlegg D: Sammenligninger resultatene for de ulike drivstoffene opp mot motorkonfigurasjoner</b>	<b>VII</b>
<b>E</b>	<b>Vedlegg E: Excel dokumentet med formler</b>	<b>VII</b>

## Figurer

2.1	IMO har iverksatt en plan om hvordan oppnå målene som er listet opp i tabell 2.1.[3] . . . . .	2
2.2	Figuren illustrerer hvordan IMO ser for seg at utslippsreduksjonen fra shipping kan reduseres.[11] . . . . .	5
2.3	IGF Koden . . . . .	6
2.4	IGC-koden. . . . .	7
2.5	Illustrasjon av fartøystypene som blir omhandlet i oppgaven. . . . .	8
2.6	Energitettheten oppgitt i $kWh/m^3$ til de ulike energibærerene, her har ikke batteriene fått verdier grunnet de oppgis i kg. . . . .	22
2.7	Synliggjør de marine bunkringsstasjoner for diesel levert av leverandør Bunker Oil. Figuren er tatt med for å synliggjøre mangfoldet av fyllestasjoner langs kysten, bildet er hentet fra Bunker Oils egne sider.[43] . . . . .	23
2.8	Synliggjør faste bunkringsstasjoner for ammoniakk. Terminalene er store og designet for frakt av ammoniakk til det internasjonale markedet.[44] . . . . .	24
2.9	Synliggjør at det per i dag ikke er noen maritime bunkringsstasjoner for hydrogen som er operative, men at det finnes potensielle utbygginger. Blå=potensielle maritime stasjoner, gul= planlegging, rød= stengt, grønn= i drift. [47] . . . . .	25
2.10	Synliggjør de operative fyllestasjonene for LNG langs vestlandskysten. Grønn farge = eksisterende, Blå = under konstruksjon, Grå = under diskusjon.[44] . . . . .	26
2.11	Synliggjør de ulike lokasjonene for landstrøm, blå farge er stasjoner som skal bygges, grønn farge er i operasjon.[44] . . . . .	27
2.12	Synliggjør lageranlegget for metanol som ligger i Bergen. Anlegget har en kapasitet på over 50 000 tonn [44]. . . . .	28
2.13	Prisene er gitt i USD per MWh drivstoff. . . . .	31
2.14	Drivstoffprisene sammenlignet med hverandre. Her ser en at prisene for petroleumsbasert drivstoff er lav. De $CO_2$ frie drivstoffene er noe høyere priset med unntak av elektrisitet. . . . .	31
2.15	Indikerer noen av barrierene for alternative drivstoff i 2021, og setter de opp mot hverandre. Grafen er hentet fra DNV-GL, bildet er modifisert.[55] . . . . .	32
2.16	Viser hvordan energien taper effekt etter hvert ledd energien blir omformet fra en tilstand til en annen.[56] . . . . .	33
2.17	Otto- og Ottodiesel-prosess synliggjort i ett PV-diagram [56] . . . . .	34
2.18	Synliggjør Monofuel og Dualfuel motortypene og hvilke drivstoff som passer de to typene.Bildet er modifisert. . . . .	35
2.19	Skjematisk oversikt av Proton Exchange Membrane Brenselcelle [59] . . . . .	37
2.20	Skjematisk tegning av SOFC, merk at det ledningsbærende ionet er oksygen. [59]	38
2.21	Skjematisk oversikt av Molten Carbonate Fuel Cell [59] . . . . .	39
2.22	Oppbygging av en generator. Bildet er modifisert. [62] . . . . .	40
3.1	Synliggjør området hvor fartøy A arbeidet i tidsrommet 13/3-21 til 15/3-21. Total tid i forskjellige driftssituasjoner finnes i tabell 3.2 . . . . .	45
3.2	Fartøy B driver med frakt av laks som skal til slakteriet på Nordskaget, i tidsrommet 14/3-21 til 16/3-21. Total tid i forskjellige driftssituasjoner finnes i tabell 3.3 . . . . .	45
3.3	Viser produsert elektrisitet fra dieselgeneratorer i tillegg til forbruk i form av fremdrift. . . . .	49

3.4	Figuren synliggjør i prosent utbredelsen av de forskjellige aktivitetene innenfor en 8 måneders periode for fartøyet fartøy C. . . . .	50
3.5	Synliggjør et motorarrangement for et fartøy som benytter seg av dieselelektirsk framdrift. . . . .	51
3.6	Figuren viser et enkelt motorarrangement som benytter kun et drivstoff til generering av elektrisitet . . . . .	52
3.7	Synliggjør et enkelt oppsett ved bruk av Dualfuel motorarrangement til generering av kraft til ulike forbrukere. . . . .	53
3.8	Synliggjør et motorarrangement hvor brenselcellen tar seg av forbrukerne bortsett fra framdriftssystemet som blir operert av en konvensjonell dieselmotor. . . . .	53
3.9	Synliggjør hvordan oppsettet av dualfuel motoren og brenselcellen deler både drivstofftank og fordeler energi inn til hovedtavlen . . . . .	54
3.10	Synliggjør motorarrangementet hvor en benytter dualfuel motor i samspill med batteripakke for peakshaving. . . . .	55
4.1	Synliggjør de ulike avgiftene tilknyttet de ulike teknologiene og drivstoffene ved dagens takst på 591kr/tonn. . . . .	76
4.2	Synliggjør de ulike avgiftene tilknyttet de ulike teknologiene og drivstoffene om utviklingen på CO2 avgift fortsetter oppover 2000kr/tonn i 2030. . . . .	77
4.3	Synliggjør drivstoff kostnadene til de ulike teknologiene og drivstoffene, for fartøy C. . . . .	77
4.4	Synliggjør CO2 utslippene fra de ulike drivstoffene og teknologiene. . . . .	78
4.5	Synliggjør hvor ofte fartøyet må fylle drivstoff om ved de ulike teknologiene og drivstoffene. . . . .	79
4.6	Relative kostnader i forhold til diesel. Verdiane er samlet kostnad for drivstoff og avgifter for 2021 avgiftsregimet. Kostnadene er basert på daglige kostnader. . . .	79
4.7	Synliggjør de relative kostnadene for de ulike drivstoffene sett opp mot diesel. Her er avgiftene økt, mens drivstoff kostnadene er lik som i dag. . . . .	80
5.1	Synliggjør CO <sub>2</sub> avgiftene for både 2021 og de forventede i 2030. . . . .	84
B.1	Utrekningssarket: hvor en la inn valg av verdier, og brukstimer innenfor de ulike arbeidsoppgavene til fartøyet. . . . .	III
B.2	Resultater for dualfuel-motor blir synliggjort etter valg av drivstoff, med mer fra figur B.1 . . . . .	III
B.3	Synliggjør hvordan resultater for brenselcelle og dualfuelmotor hadde fordeling 40/60 på energiforbruket . . . . .	III
B.4	Synliggjør resultatene som framkommer av excel ved dualfuel og batteridrift. . .	IV
B.5	Resultater når brenselcellen er generator og forbrenningsmotor er framdrift. . . .	IV
C.1	Synliggjør driftstimer i de forskjellige operasjonelle setninger og energibehovet for Fartøy A . . . . .	V
C.2	Synliggjør driftstimer i de forskjellige operasjonelle setninger og energibehovet for Fartøy B . . . . .	V
C.3	Synliggjør driftstimer i de forskjellige operasjonelle setninger og energibehovet for Fartøy C . . . . .	VI
D.1	Utslipp av CO <sub>2</sub> for fartøy C . . . . .	VII
D.2	Synliggjør avgiftene for både 2021 og de forventede i 2030. . . . .	VII
D.3	Synliggjør bunkringsfrekvensne for ulike fartøy og motorarrangement for fartøy C	VII
D.4	Resultater rundt drivstoffpriser for fartøy C . . . . .	VII

## Tabeller

0.1	Begreps-og symbolliste . . . . .	iv
2.1	IMO's målsetninger for utslipp fra fartøy innen 2050. . . . .	2
2.2	Her vises noen av de norske miljømålene som er fastsatt. Dette er hovedsaklig miljømål som vil treffe transportsektoren både til lands og til havs, her hentet fra Miljødirektoratets sider[5] . . . . .	3
2.3	Liste over overordnet internasjonalt maritimt regelverk (IMO-regelverk)[14] . . . . .	6
2.4	Tabellen viser en oversikt over litt av egenskapene til de forskjellige Litium-ion batteriene.[38] . . . . .	19
3.1	Verdiene er omtrentlige verdier gitt for en brønnbåt med dieselelektrisk drift. Verdiene er gitt per døgn [67] . . . . .	44
3.2	Synliggjør driftssyklusen til fartøy A i Hardanger-området, i perioden 13/3-21 til 15/3-21. I tillegg fremkommer energibehovet til hver situasjon i denne perioden. . . . .	45
3.3	Synliggjør driftssyklusen til fartøy B i Hitra/Frøya området, i perioden 14/3-21 til 16/3-21. I tillegg fremkommer energibehovet til hver situasjon i denne perioden. . . . .	46
3.4	Verdiene som er presentert er snittverdier som strekker seg over 8 måneders drift. Dette gjør at tiden er satt i % av de 8 månedene. Totalt er det gjort 55 800 målinger for å representere driftsprofilen til fartøy C.[66] . . . . .	48
4.1	Utrekninger av tankbehov for å kunne opprettholde bunkringsfrekvensen ved ulike drivstoff alternativer, sett opp mot orginalt dieselforbruk. . . . .	56
4.2	Viser verdiene for de ulike drivstoffene hvor en bruker kun ett drivstoff som energibærer. Her er det tatt utgangspunkt i original størrelse på drivstofftank for fartøy A. . . . .	58
4.3	Synliggjørresultater for hvordan en dualfuel motor fungerer når et fartøy har driftsprofil lik fartøy A. . . . .	59
4.4	Viser resultater for fartøy A de ulike drivstoffene, når en benytter seg av brenselcelle som generator. Mens framdriften dekkes av en monofuelsmotor. . . . .	60
4.5	Synliggjør resultater for dualfuel-motorens verdier når fartøy A kjører balansert belastning mellom forbrenning og brenselcelle. Fordelingen er 60% forbrenningsmotor. . . . .	61
4.6	Synliggjør brenselcellens verdier når den tar 40% av energiforbruket. Denne tabellen er koblet til tabell4.5 for fartøy A . . . . .	62
4.7	Synliggjør resultatene for fartøy A som benytter seg av dualfuel-motor og en batteripakke, merk at dette er rene tall og ikke tall som er tatt med reduksjon av drivstoff som følge av god dynamikk mellom batteri og motor. . . . .	63
4.8	Viser verdiene for de ulike drivstoffene om fartøyet benytter seg kun av ett drivstoff. Her gjenspeiler en driftsituasjon for fartøy B . . . . .	64
4.9	Synliggjør verdiene for en dualfuel-motor hvor pilotfuel står for 5% av energitilskuddet for driftsprofilen til fartøy B. . . . .	65
4.10	Synliggjør resultatene for fartøt B i en brenselcelle- og dieselmotor kombinasjon hvor av dieselmotor drifter fremdrift mens brenselcelle drifter resterende forbrukere. . . . .	66
4.11	Synliggjør resultatene for fartøy B med dualfuel og brenselcelle kombinasjon hvor fordelingen er 60% forbrenningsmotor og 40% brenselcelle . . . . .	66
4.12	Synliggjør forbrenningsmotor verdiene i samsvar med tabellen 4.11 for fartøy B. . . . .	67

4.13	Synliggjør resultatene for fartøy B som benytter hybridteknologi ved hjelp av batteripakke og dualfuelteknologi. Merk at dette er tall som ikke er reduserte grunnet god dynamikk mellom batteri og forbrenningsmotoren. . . . .	68
4.14	Synliggjør verdiene for driftsprofilen til fartøy C gjennom bruk av monofuel forbrenningsmotor eller ren batteridrift. . . . .	68
4.15	Synliggjør hvordan energi og kostnadene fordeles når en benytter seg av dualfuel forbrenningsmotorer med diesel som pilotfuel, her i driftsprofilen til fartøy C. . .	69
4.16	Synliggjør resultatene for fartøy C hvor brenselcellen benyttes som generator til fartøyets forbrukere. Framdriftssystemet driftes av en dieselgenerator. Merk at drivstofftanken til brenselcelle er vesentlig større enn dieselmotoren. . . . .	70
4.17	Synliggjør resultatene for brenselcellen i kombinasjon med dualfuelmotor på fartøy C hvor fordelingen er 60% forbrenningsmotor og 40% brenselcelle . . . . .	70
4.18	Synliggjør dualfuel-motorens resultater som dekker energibehovet som rester etter brenselcellen i tabell 4.17 for fartøy C . . . . .	71
4.19	Synliggjør resultatene for fartøy C som et hybrid fartøy som benytter dualfuelmotor og batteri. Her er tallene for drivstoff ikke redusert som følge av samspillet med batteriet. . . . .	71
4.20	Synliggjør alle drivstoffene om de ble brukt som monofuel i en servicebåt, her med $4m^3$ total mengde drivstoff (4000kg batteri) . . . . .	72
4.21	Resultatene for dualfuel motor for en servicebåt . . . . .	73
4.22	Dualfuel motor i samspill med batteripakke for Peakshaving for en servicebåt. . .	73
4.23	Tabellen viser verdiene om servicebåten bare benytter brenselceller med virkningsgrad 60%, som typisk er en SOFC brenselcelle. . . . .	73
4.24	Synliggjør resultatene for brenselcellen når energifordelingen er 50/50 mellom den og en dualfuel motor i en servicebåt. . . . .	74
4.25	Synliggjør resultatene for dualfuelmotoren når denne og en brenselcelle deler på energitilførselen en servicebåt. . . . .	74



# 1 Innledning

Denne bacheloroppgaven er ment å svare på følgende problemstilling: **Hvilket drivstoff vil være det mest gunstige om en skal bygge et nytt fartøy for oppdrettsnæringen?** Oppgaven har benyttet seg av følgende hjelpespørsmål for å besvare hovedspørsmålet på en bedre måte: *Hvordan påvirker driftsprofilen til ulike fartøy energibehovet? Vil størrelsen på fartøyet og operasjonsområdet påvirke hvilket drivstoff og motorteknologi en kan benytte?*

Bakgrunnen for denne oppgaven ligger i en stadig økende oppdrettsnæring, samt at den maritime næringen stadig ønsker mer miljøvennlige løsninger, som er konkurransedyktig med diesel. For å bidra til den grønne omstillingen er det valgt at oppgaven skal omhandle de alternative drivstoffene og teknologier for utnytting av dette.

Begrensingene for oppgaven er blitt gjort ved at en tar for seg forskjellene i energibehov for to av fartøysmodellene innenfor oppdrettsnæringen herunder brønnbåt og servicebåt. Fartøyene som vil bli analysert er brønnbåt i størrelsesorden  $3000m^3$  og en servicebåt på ca 15m. Dette er gjort for å synliggjøre forskjellene i energibehov mellom ett større fartøy og ett mindre fartøy i oppdrettsnæringen. Det er gjort en grundigere analyse av brønnbåten, dette grunnet at det foreligger mer data på driftsprofil og energiforbruk enn ved servicebåtene.

Hensikten med denne oppgaven er å synliggjøre fordeler og ulemper med ulike drivstoff og motorteknologier. Dette blir gjort for å kunne hjelpe rederier med å finne drivstofftyper og motorvarianter som passer best for den driften rederiet mener fartøyet skal brukes til. Målene med oppgaven vil være at oppgaven kan nyttiggjøres av rederier som er usikre på hvilket drivstoffalternativ de skal bygge båtene med. Slik at de både opptrer økonomisk konkurransedyktig og miljøvennlig.

Oppgaven vil redgjøre for hvilke drivstoff som kan bli dyrere grunnet økte avgifter i tiden som kommer. I begynnelsen av oppgaven blir de viktigste regelverkene rundt drivstoff og utslipp presentert samt målsetninger fra både internasjonale myndigheter og noen nasjonale myndigheter omhandlet reduksjon av klimagassutslipp.

Drivstoffenes egenskaper, kostnader samt infrastruktur vil bli forklart, for at en skal få større forståelse over hvilke drivstoffer en kan forvente kan bli dominerende de neste årene. Det vil bli forklart hvilke energi omformingsmetoder som vil være alternativer for den maritime næringen de neste årene, hvor de enkelte alternativ har sine sterke og svake sider. Det vil videre i oppgaven diskuteres om en kombinasjon av teknologier vil være gunstig.

Det er utarbeidet driftsprofiler for fartøyene, dette er gjort med hensikt å synliggjøre energiforskjellene i ulike operasjonelle settinger. Samtidig er dette gjort for å synliggjøre at fartøyene har komplekse systemer som gjør de i stand til å utføre flere operasjoner. Driftsprofilene vil være et viktig hjelpemiddel for å kunne beregne realistiske resultater på energiforbruk i tidsperioden hvor fartøyene blir analysert.

Resultatene vil omhandle fem forskjellige motorarrangement, hvor alle motorarrangementene blir analysert med de aktuelle drivstoffene. Det blir senere gjort et overslag på hvor stor drivstoffutgiftene vil bli per døgn. Drivstoffkostnadene omhandler ikke avgifter for  $CO_2$ , men her vil oppgaven synliggjøre avgiftene og de varslede avgiftsøkningene i egne diagrammer som vil komme i tillegg til drivstoffkostnaden.

## 2 Bakgrunn og målsetting

I dette kapittelet vil det bli presentert forskjellig teori som vil være viktig for å forstå hvordan og hvorfor det maritime markedet står ovenfor en større forandring de neste årene. Forandringen vil i hovedsak ligge i utnyttelsen av lavkarbon-drivstoff for å få ned klimagassutslippene. Ulike teknologier vil være aktuelle for å utnytte energien i de nye alternative drivstoffene på best mulig måte, teknologiene som er aktuelle til den maritime næringen vil bli presentert.

### 2.1 Målsetninger for maritime klimagassutslipp

Målsetningene for hvordan den maritime næringen skal nå klimamålene som er fastfatt i Paris-avtalen varierer noe. Videre følger en kort oversikt over målsetninger til de forskjellige organisasjoner og myndigheter.

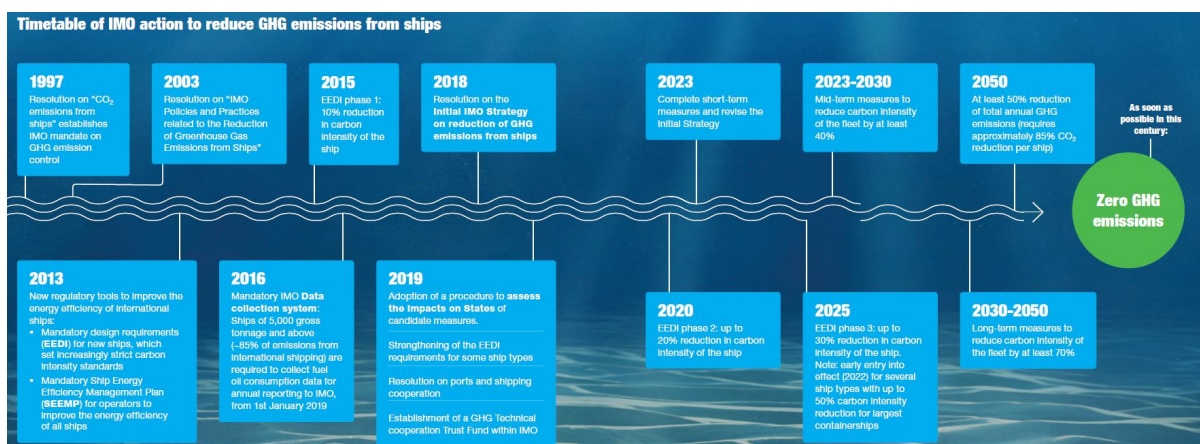
#### 2.1.1 Internasjonale målsetninger (IMO)

IMO er det overordnede internasjonale organet som bestemmer regelverk som omfatter den maritime næringen. Derfor blir det som IMO fastsetter minimums målet som kan settes av andre nasjonale myndigheter. IMO har fastsatt sine målsetninger fram mot 2050 i tråd med Paris-avtalen gjengitt i tabell 2.1.[2]

**Tabell 2.1:** IMO's målsetninger for utslipp fra fartøy innen 2050.

CO2 utslipp	GHG- Global heating gasses
Reduksjon av CO2-utslipp per transportarbeid (karbon intensitet), som et gjennomsnitt på tvers av internasjonal frakt, med minst 40% innen 2030, fortsetter innsatsen mot 70% innen 2050, sammenlignet med 2008.	For første gang en reduksjon av totale årlige klimagassutslipp fra internasjonal frakt med minst 50% innen 2050 sammenlignet med 2008, mens på samme tid, fortsette innsatsen mot å utvikle tyngre drivstoff, for å oppnå CO2 utslippsreduksjon i samsvar med Parisavtalens mål.

Videre har IMO laget en grov oversikt over hvordan dette skal la seg gjøre, samt hvilke tiltak som trer i kraft for at dette skal bli en mer gradvis overgang.



**Figur 2.1:** IMO har iverksatt en plan om hvordan oppnå målene som er listet opp i tabell 2.1.[3]

### 2.1.2 Norske myndigheter

Norske myndigheter var en av pådriverene for Parisavtalen og har valgt å benytte seg av strengere krav innenfor de rammene som Parisavtalen inneholder. Noen av målene som norske myndigheter har forpliktet seg til er listet opp i tabell 2.2.[4]. Denne tabellen er ikke fullstendig, men tar for seg de viktigste punktene som vil kunne påvirke norske fartøyer de neste årene.

**Tabell 2.2:** Her vises noen av de norske miljømålene som er fastsatt. Dette er hovedsaklig miljømål som vil treffe transportsektoren både til lands og til havs, her hentet fra Miljødirektoratets sider[5]

Klimamål nr.	Målsetning
1	Norge skal fram til 2020 kutte i de globale utslippene av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990
2	Norge har under Parisavtalen tatt på seg en forpliktelse til å redusere utslippene av klimagasser med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent i 2030 sammenlignet med nivået i 1990
3	Norge skal være klimanøytralt innen 2030
4	Norge har lovfestet et mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050
5	Negativ menneskelig påvirkning og risiko for påvirkning på miljøet i polarområdene skal reduseres

Et viktig redskap for norske myndigheter for å få ned utslippene, er å øke avgiftene. Økning av avgiftene innen  $CO_2$ ,  $NO_x$  og  $SO_x$  vil være med å påvirke utviklingen av hvilke drivstoffvarianter som blir benyttet i årene som kommer. Det siste året har avgiften for  $CO_2$  økt med 8,6% , og er oppe i 591 kr/tonn i 2021. Mens  $NO_x$  og  $SO_x$  øker med 3,5%, slik at dagens kostnader er 23,48 kr/kg for  $NO_x$  og 14,02 øre/liter for svovelholdig brensel. Fortsetter denne prisstigningen vil det koste omlag 2000 kr/tonn  $CO_2$  som en slipper ut i 2030.[6].  $NO_x$  er en fellesbetegnelse hvor nitrogen og flere oksygenatomer i forskjellige konfigurasjoner kobler seg sammen. Det samme gjelder for  $SO_x$  ved at svovel kobler seg til flere oksygener. Beregninger på  $NO_x$  og  $SO_x$  blir ikke gjort i denne oppgaven, men vil følgelig påvirke den totale avgiftskostnaden.

### 2.1.3 Regionale myndigheter

#### *Sverige*

Innen 2040 skal Sverige ha ett nettoutslipp på null. For deretter å oppnå negativ utvikling der naturen tar opp mer  $CO_2$  enn Sverige slipper ut. Utslippene i 2030 bør minst være 63% lavere enn i 1990, og minst 75% lavere i 2040.[7]

#### *Danmark*

Har forpliktet seg til å redusere klimagassutslipp med 70% i forhold til 1990 tall. Andelen av fornybar energi skal være minst 50% innen 2030, og på samme tidspunkt skal kull utfases. Samt innen 2050 være lavutslippssamfunn med ingen bruk av fossile brensler.[8]

#### *Storbritannia*

Skal kutte alle klimagassutslippene innen 2050. Til gjengjeld melder Storbritannia at de allerede har redusert utslippene med 30% og i samme periode har den økonomiske gevinsten økt med 72%, noe som setter grønn energi i hjertet av den moderne industri-strategien.[9]

#### *EU*

Kutte klimagassutslipp med 40% inne 2030, i forhold til utslippene i 1990. Minst 32% fornybar energiandel, samt minst 32,5% forbedringer innenfor energieffektivitet. Kravet om å øke reduksjonen klimagassutslipp til 50% i stedet for 40, er nå ute på høring.[10]

## 2.2 Internasjonale organisasjoner

### 2.2.1 IMO : Internasjonal maritime organisasjon

IMO- Den Internasjonale Maritime Organisasjon, er det organet som er overordnet den internasjonale sjøfarten. IMO ble etablert i 1948 under en konferanse FN holdt i Genève. Organisasjonen ble etablert for å trygge sikkerheten og gjøre reguleringen om nye regler mer effektiv med ett slikt overordnet organ. [11] Noen viktige implementeringer som er gjort for å trygge den marine sikkerheten er:

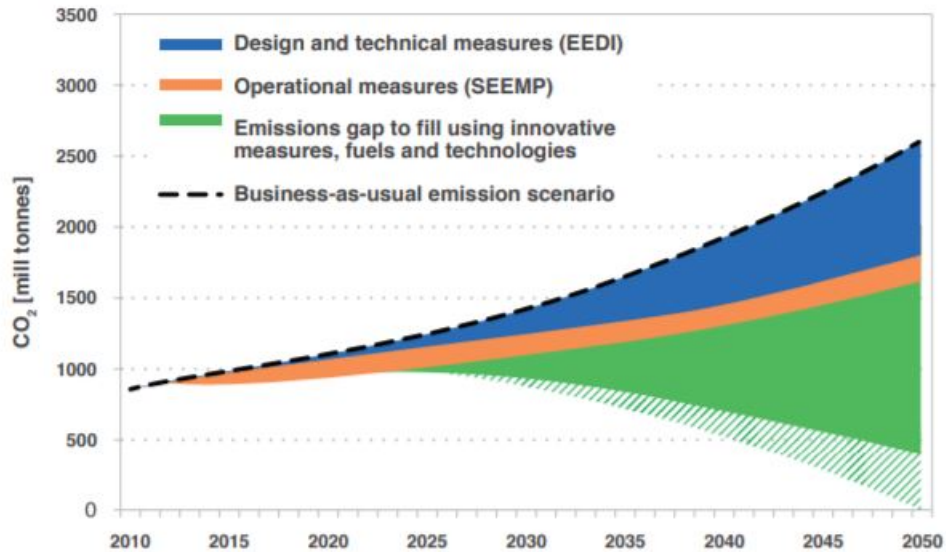
- SOLAS- Safety of Life at Sea
- MARPOL- Prevention of Pollution from Ships
- STCW- Standards of Training, Certification and Watchkeeping of Seafarers
- ISPS- International Ship and Port Facility Security (under SOLAS)[11]

IMO's mål som den internasjonale maritime organisasjon, fungerer som en paraplyorganisasjon over en rekke mindre organer. Har som oppgave å promotere trygg, sikker, miljøvennlig, effektivitet og bærekraftig skipsfart. [11]

IMO har for ikke mange år siden gått med på kutte betraktelig i GHG (green house gases) utslipp. Kuttene i GHG fra internasjonal skipsfart skal minst være 50% innen 2050, sett fra 2008-utslippstall.[2]

I tillegg skal  $CO_2$  utslippene reduseres med minst 40% innen 2030, og videre til 70% innen 2050, sammenlignet med utslippene i 2008. Dette gjøres for at IMO skal ivareta målsetningene som ble fastslått under Parisavtalen. [11]

Målene er strenge og det kreves en rekke nye løsninger, for å imøtekomme målene. IMO har laget en graf som viser hvordan de ser for seg kutt i utslippene fram mot 2050. Grafen er synliggjort i figur 2.2.



**Figur 2.2:** Figuren illustrerer hvordan IMO ser for seg at utslippsreduksjonen fra shipping kan reduseres.[11]

### 2.2.2 Sjøfartsdirektoratet og norske myndigheter

Sjøfartsdirektoratet er underlagt Nærings- og Fiskeridepartementet og Klima- og Miljøverndepartementet. Sjøfartsdirektoratet er gitt forvaltnings og tilsynsmyndighet for arbeidet med sikkerhet for liv og helse, miljø og materielle verdier på fartøy med norsk flagg og utenlandske fartøy i norsk farvann. Aktivitetene blir bestemt av nasjonalt og internasjonalt regelverk, avtaler og politiske beslutninger. Dette vil med andre ord si at norskregistrerte fartøy må underrette seg de regler og forskrifter som er gitt av Sjøfartsdirektoratet. Hvorav mange av reglene som Sjøfartsdirektoratet bruker er internasjonale regler som er fastsatt av IMO.[12]

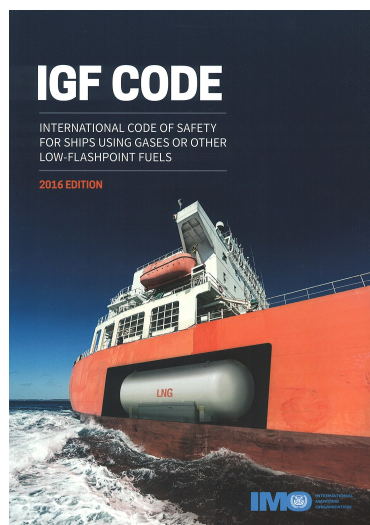
Sjøfartsdirektoratet er den myndighet som påser at nasjonale og internasjonale regler blir etterfulgt. Dette kan for eksempel gjelde kravet om svovelinnhold i drivstoff, som i Ålesund ikke skal overstige 0,1%. Sjøfartsdirektoratet har da myndighet til å ilegge rederiene strenge gebyrer, eksempelvis passasjerfartøyet MS (Anonymisert) som seilte innenfor lavutslippssonen i Geirangerfjorden april 2019 med for høyt svovelinnhold, og ble ilagt et gebyr på NOK 700 000.[13]

## 2.2.3 Regelverk

**Tabell 2.3:** Liste over overordnet internasjonalt maritimt regelverk (IMO-regelverk)[14]

Internasjonalt Rammeverk	Myndighet	Type dokument	Gjelder for
-IGF Code- International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels (IMO Res.MSC.391(95))	IMO	Internasjonal kode	Skip som er konstruert til å bruke gass eller lett antenkelige drivstoff, etter 1.januar 2017, Gjelder for Design, konstruksjon og operasjon
-SOLAS- International convention for the Safety of Life at Sea	IMO	Konvensjon	Skip som er i internasjonal reiser. IGF koden er gjort gjeldene igjennom amendment i SOLAS, i den nye Regulation 57, introdusert igjennom Resolution MSC.392(95)
-IGC Code- International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk	IMO	Internasjonal kode	Konstruksjon, utstyr og operasjon for skip som frakter flytene gass i bulk
-MARPOL- International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	IMO	Konvensjon	Relevans i hovedsak for Annex VI, hvor grenseverdier for SOx og NOx utslipp. Energi effektivitet og EAM's
-STCW- International convention on standards of training, certification and watch keeping for seafarers	IMO	Konvensjon og Internasjonal kode	Trening, sertifisering og kvalifikasjoner for sjøfarne som har sitt arbeid ombord på havgående skip. Minimum standard-kompetanse for sjøfolk

## IGF Koden



**Figur 2.3:** IGF Koden

IGF-koden (The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels) er en internasjonal standard for alle skip som bruker drivstoff med lavt flammepunkt, bortsett fra skip som er dekket av IGC-koden. IGC-koden referer seg til bunkringsfartøy eller carriers, dette vil bli videre forklart i underkapittelet 2.2.3 .

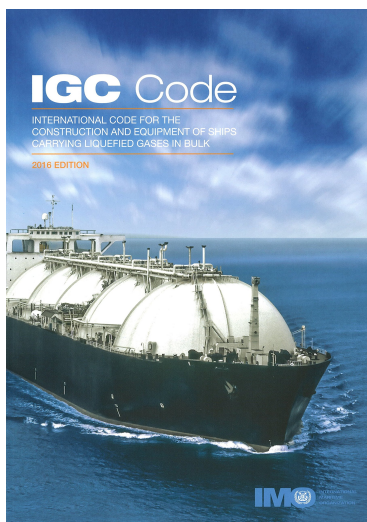
IGF-koden ble vedtatt av Maritime Safety Committee (MSC) i juni 2015, ved resolusjon MSC.391 (95), for å gi en internasjonal standard for sikkerhet for skip som bruker drivstoff med lavt flammepunkt, bortsett fra skip som er dekket av IGC-koden. IGF koden hadde ikrafttredelse: 1. januar 2017.

Som nevnt refererer IGF-koden til skip som benytter drivstoff med lavt flammepunkt. I koden er det regelverk knyttet til de fleste områder, som utforming av tanker og maskin-områder, samt kapasitet og styrke på bunkringsarrangement.

Det er til nå bare kommet designparametre for fartøy som benytter LNG, men det jobbes med å implementere for andre alternative drivstoff også. For fartøy som benytter andre drivstoff enn LNG, er det litt mer problematisk med tanke på regelverk. For drivstofftyper, som for eksempel ammoniakk vil det kreves at man kan bevise at den opprettholder basis kravene i IGF-koden. [15]

Filosofien i denne koden er å gi obligatoriske bestemmelser for arrangement, installasjon, kontroll og overvåking av maskiner, utstyr og systemer som bruker drivstoff med lavt flammepunkt for å minimere risikoen for skipet, mannskap og miljøet, med tanke på egenskapene til drivstoffene.

## IGC-koden



**Figur 2.4:** IGC-koden.

IGC-kode (The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk), har vært obligatorisk i henhold til SOLAS kapittel VII siden 1. juli 1986. Bunkringsfartøy for LNG, og andre flytende gasser, skal være konstruert etter gjeldene krav fastsatt av IGC-koden.

IGC-koden gjelder for skip uavhengig av deres størrelse, inkludert de med mindre enn 500 bruttotonnasje, som transporterer flytende gasser med et damptrykk over 2,8 bar absolutt ved en temperatur på 37,8 °C, og visse andre stoffer oppført i kapittel 19 i koden. Målet med koden er å gi en internasjonal standard for sikker sjøtransport i bulk av flytende gasser og stoffene som er oppført i kapittel 19, ved å foreskrive design- og konstruksjonsstandarder for skip som er involvert i slik transport og utstyret de skal ha med seg for å minimere risikoen for skipet, dets mannskap og miljøet, med tanke på arten av de involverte produktene.[16]

Relatert til farene ved produktene som dekkes av denne koden, kan produktene ha egenskaper som gjør transport av produktene ekstra risikofylt grunnet dens temperatur eller trykkforhold.

Kollisjoner eller strandinger kan føre til skade på lastetank og ukontrollert frigjøring av produktet. Slik frigjøring kan føre til fordampning og spredning av produktet, og i noen tilfeller kan det føre til sprø-brudd i skipsskroget (grunnet rask nedkjøling av skroget). Kravene i koden er ment å minimere disse risikoene så langt det er praktisk mulig, basert på dagens kunnskap og teknologi.[16]

### 2.3 Oppdrettsnæringen

Oppdrettsnæringen i Norge har historie helt tilbake til 1960-tallet, men ikke før i 1971 ble den første oppdrettslaksen slaktet, og har idag blitt en stor næring. En svært stor del av all oppdrettslaks i verden produseres i Norge, som igjen har synliggjort en eventyrlig vekst de siste årene, hele 6,5% årlig vekst de siste tyve årene. [17]

I all hovedsak er fiskeoppdrett å holde fisk i fangenskap, i fangenskap føes fisken opp til ideell slaktevekt, hvor fisken holder høy kvalitet. Oppdrettsnæringen omsetter for store summer og stadig større anlegg blir prosjektert, med dette kreves det flere fartøy. Flere av de nye anleggene blir prosjektert til å ligge ute i havet. Slike anlegg er store og inneholder store mengder fisk. De siste årene har brønnbåtene blitt stadig større. Etterspørselen etter brønnbåter har økt i takt med produksjonen av laks.

I 2018 var antallet brønnbåter 69 fartøy, av ulik størrelse. Dette tallet har økt de siste årene sammen med kapasiteten til fartøyene. [18] De senere årene har brønnbåtene både økt i størrelse, kompleksitet og verdi. Den største som nå er i drift er Ronja Storm", med en tankkapasitet på hele 7450m<sup>3</sup>. I tillegg bygges det per i dag en enda større brønnbåt av rederiet Frøy, dette fartøyet får en tankkapasitet på 7500m<sup>3</sup>. [19]

Ikke bare bygges det store fartøy, det utvikles også nye løsninger rundt fremdriftssystemet og effektiviteten til motorarrangementene. Flere av de nye fartøyene som blir bygget kommer med forskjellige energiløsninger. Dette kan innebære at fartøyene går fra konvensjonell dieseldrift til bruk av batteripakker, eller alternative drivstoffer. [20]

### 2.3.1 Fartøyer i oppdrettsnæringen

Fartøyene i oppdrettsnæringen er i utgangspunktet brønnbåter og arbeidsbåter. Det finnes også spesialfartøy for avlusing. Men i denne oppgaven dreier det seg om brønnbåter og arbeidsbåter. Brønnbåtene frakter levende fisk fra oppdrettsanlegg til slakteanlegg, eller fra smoltanlegg til oppdrettsanlegg. Mens arbeidsbåtene driver med vedlikehold av de flytende anleggene, og driver med frakt av utstyr til og fra.



(a) Typisk utseende for en nyere brønnbåt.

(b) Typisk utseende for en servicebåt.

**Figur 2.5:** Illustrasjon av fartøystypene som blir omhandlet i oppgaven.

Det er store forskjeller på de to fartøystypene, ikke bare i utforming men også i størrelse. En servicebåt er normalt rundt 15 meter lang, hvor noen er større og dermed krever større sertifikatkrav blant de ansatte ombord. I denne oppgaven blir fartøyene på størrelsesorden 15 meter lang og 10 meter bred benyttet. Hos brønnbåtene derimot er det store forskjeller både i lengde og bredde, mye grunnet en stor etterspørsel etter større båter de senere årene. Dette gjør at oppgaven tar utgangspunkt i en fartøysstørrelse på  $3000m^3$ , som er en mye benyttet kapasitetsstørrelse. Denne størrelsen er en relativt stor brønnbåt, selvom det finnes brønnbåter fra noen hundre kubikkmeter og opp til 7500 kubikkmeter. Hvilken størrelse som vil være den mest praktiske er avhengig av hvor fartøyet skal operere. Siden det er en tendens til at det satses på større oppdrettsanlegg i åpent hav, vil størrelse og kapasitet være å foretrekke for brønnbåter som tilkommer slike anlegg. Derfor tar oppgaven utgangspunkt i fartøy i størrelsesorden  $3000m^3$ .

Det finnes flere typer design i samme størrelsesorden, og hver fartøystype har følgelig forskjellig energiforbruk. Dette skyldes alt fra skrogutforming, motortype, utstyr ombord, driftstype og videre hvordan dette brukes. Størrelsen på fartøyene som har tankkapasitet rundt  $3000m^3$  har normalt en lengde  $\pm 80$  meter.



## 2.4 Alternative energikilder

Alternative energikilder, også kalt en energibærer, kan forklares som et stoff med egenskaper til å holde på kjemiskenergi som senere kan omdannes til å utføre arbeid. Diesel som de fleste kjenner som et drivstoff er en typisk energibærer da energien ligger kjemisk bundet i dieselet, og energien blir omdannet til mekanisk energi ved hjelp av en hjelpeprosess. Hjelpeprosessene er avhengig av hvilke type stoff som blir benyttet, om det er ren elektrisitet, eller om det er ett kjemisk stoff. Den mest vanlige hjelpeprosessen har til nå vært ved hjelp av en forbrenningsprosess. Mens nyere teknologier benytter brenselcelle og magnetisme for å få energien omgjort til mekanisk arbeid.

Den maritime næringen står ovenfor en stor oppgaver som vil kreve rask omstilling fra dagens typiske drivstoff til alternative drivstoffer. De alternative drivstoffene bør være av en art som sparer miljøet for  $CO_2$  utslipp og andre skadelige avgasser. Dette vil da gjelde hele energikjeden fra produksjon av drivstoffet til en utnytter det som energikilde i ett fartøy. Hele hensikten med omstilling fra de normale petroleumsbaserte drivstoffene til grønne drivstoffalternativer er at den totale verdikjeden skal ha mindre utslipp av klimagasser der iblant  $CO_2$ .

Derfor vil det i underkapitlene bli lagt frem noen typer drivstoff som kan være med å gjøre skipsfarten mer karbonnøytral i årene som kommer. Stadig strengere krav fra maritime myndigheter gjør at rederier må begynne å omstille seg fra dagens drift til en mer miljøvennlig drift. I hovedsak gjelder dette alle fartøyer, hvor ulike alternativer kan være mer gunstig enn andre avhengig av driftmønster og størrelse på fartøyene.

### 2.4.1 Diesel og Biodiesel

Diesel benyttes i dag på majoriteten av den internasjonale flåten av fartøyer. Diesel er ett stoff som blir raffinert ut fra råolje som kommer fra petroleumsindustrien. Dieselen blir da kalt for en petroleumfraksjon som hentes ut i kokeområdet 180-380 °Celsius

[21]

Det finnes flere typer diesel, både til biler (Autodiesel) og båter (Marindiesel). Marindiesel er det som blir fokusert på i denne oppgaven og blir omtalt som (MDO) Marin Diesel Oil. Det finnes flere ulike kvaliteter på MDO, dette kommer blant annet av de ulike kravene til svovel i drivstoffet. Som følge av ulike kvaliteter på drivstoffet er det i denne oppgaven tatt for seg én type diesel for beregning av verdier. Selv om realiteten er at det finnes mange forskjellige typer. De har også i senere tid fått innblanding av biodiesel.

Biodiesel vil være ett produkt som produseres ut fra den hensikt å redusere bruken av vanlig diesel. Ved forbrenning av biodiesel slippes det ut like mye karbondioksid ( $CO_2$ ) til atmosfæren. Forskjellen er at biodiesel bruker karboner fra dagens atmosfære, mens vanlig diesel bruker karboner som er blitt fanget i biomaterialer for mange millioner år siden. Her er altså tidshorisonten det dømmende. Sett fra et bymiljø vil utslippene og luftkvaliteten være omtrent likt. Det finnes også renere biodiesel-varianter f.eks (HVO 100) som er syntetisk framstilt ved hjelp av hydrogenbehandling av animalske og vegetabiliske fetter, samt rester fra trær og plast. Biodiesel HVO 100, har egenskaper som gjør det litt mer rentbrennende enn vanlig diesel, noe som gjør at  $NO_x$  reduseres med inntil 10%. HVO 100 gir også reduksjon i utslipp av  $CO_2$  på 88% mye grunnet definisjonen for hva som betegnes som utslipp. [22]

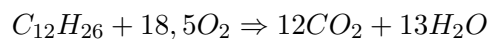
Diesel har blitt det ledende drivstoffet i den maritime næringen er mye grunnet egenskapene drivstoffet har. En av egenskapene er at diesel inneholder store mengder energi i forhold til

volumetrisk energiinnhold ( $m^3$ ). Derfor er dette drivstoffet benyttet i stort omfang, både grunnet høyt energiinnhold men også tilgjengelighet og eksisterende infrastruktur for distribusjon av drivstoffet.

Brennverdi er en verdi på hvor mye energi som blir frigitt under forbrenning av stoffer. Det finnes herunder øvre og nedre brennverdi. Øvre brennverdi (HHV), er gitt for den tørre delen av brenselet. Det vil si energimengden som frigis når ett helt tørt stoff forbrennes. Nedre brennverdi (LHV) er den øvrebrennverdien minus fordampningsvarmen som går tapt i forbrenningsprosessen, hvor hydrogenmolekylene blir slått sammen med oksygen og danner vann ( $H_2O$ ).

Typiske brennverdier for MGO er oppgitt til å ligge på ca LHV ( $10215kcal/kg$ ) mens HHV er ca ( $10956kcal/kg$ ). Dette er verdier oppgitt som en blanding av flere hydrokarboner som danner diesel. Verdiene er oppgitt av produsenter, mens denne oppgaven tar utgangspunkt i stoffer som finnes i SI Chemical Data[23]. [24]

Det finnes flere sammensetninger på diesel. Alt fra  $C_{10}H_{20}$  til  $C_{15}H_{28}$ , men for enkelthetskyld kan vi videre si at diesel har en sammensetning på  $C_{12}H_{26}$ , som har kjemisk navn Dodekan. For å få inntrykk over hvilke gasser og energier som er tilknyttet Dodekan under forbrenning er det nedenfor vist både forbrenningsligningen og energiinnholdet.



For å kunne beregne energiinnholdet til Diesel, går oppgaven ut i fra at Diesel er ren Dodekan, ( $C_{12}H_{26}$ ). Fra Si Chemical Data er HHV til Dodekan oppgitt til  $-8087kJ/mol$

$$LHV = HHV + n \cdot (44kJ/mol_{H_2O}) \Rightarrow -8087kJ/mol + 13 \cdot (44kJ/mol_{H_2O}) = -7515kJ/mol \quad (2.1)$$

Vektbasert energiinnhold:

$$\frac{1000g/kg}{170,3g/mol} \cdot |-7515kJ/mol| = 44128,0kJ/kg \Rightarrow 44,1MJ/kg \Rightarrow 12,26kWh/kg \quad (2.2)$$

Volumbasert energiinnhold

$$\frac{1000g/kg}{170,3g/mol} \cdot 745kg/m^3 \cdot |-7515kJ/mol| = 35875367kJ/m^3 \Rightarrow 9132,04kWh/m^3 \quad (2.3)$$

Diesel inneholder ikke bare karboner og hydrogen, det inneholder også litt svovel og andre partikler og er dermed ikke rent Dodekan. Svovel finnes naturlig i petroliumsproduktet råolje som senere blir raffinert til de ulike petroliumsproduktene som diesel, bensin og tungolje. Svovelinnholdet er i dag regulert av MARPOL, som fastsetter krav vedrørende forurensning fra fartøy verden over. Fra 1. januar 2020 ble kravet om 0,5% svovelinnhold implementert og tok over for kravet som var på 3,5% tidligere.[25]

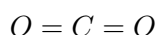
Det er verdt å merke seg at det finnes områder i verden som er regulert under såkalte skånsomhetsområder (emissions controlled areas, ECAS) da denne grensen for svovelinnhold er begrenset av MARPOL ned til 0,1%. Underlagt reguleringen finnes områder som det Baltiske hav, Nordsjøen, deler av nord Amerika og Karibien. Flere vurderer å innføre denne strenge 0,1%-reguleringen, deriblant Middelhavet, for å bedre luftkvalitet i og rundt de store havneområdene.[25]

Svoveloksider ( $SO_x$ ) påvirker kroppen vår, i hovedsak luftveiene men også i form av hjerte og karsykdommer. Dette kommer av at svoveldioksidet er lettløslig i vann og kan danne svovelsyre, som videre kan kondensere på små partikkelkjerner og danne mer sammensatte partikler. Dette er partikler som kan føre til irritasjon og sykdom i luftveiene. Det er meget individuelt hvordan svoveldioksid påvirker hver enkelt, men det er utvilsomt at det har negativ helseeffekt.[26].

I de senere årene er nitrogenoksider  $NO_x$  utslipp blitt mer og mer belyst.  $NO_x$  kommer av sammensetningen av nitrogen og oksygen, mens x står for ukjent antall oksygen.  $NO_x$  er altså et samlebegrep for både  $NO$  og  $NO_2$ , og dannes under forbrenningsprosesser hvor oksygen og nitrogen er tilstede. Hovedsaklig er dette prosesser som forbrenner biologisk materiale, olje, gass og diesel. Mye av grunnen for at  $NO_x$  er blitt et omtalt tema, er de negative helseeffektene som kommer av  $NO_x$  herav spesielt luftveissykdommer.

Mye av det forurensningsteppet som man kan skimte på kalde vinterdager over Bergen og andre større byer, kommer av  $NO_x$  utslipp. Dette kan sees som en brunaktig lett tåke.  $NO_x$  bidrar også til dannelse av sur nedbør, grunnen til dette er at  $NO_x$  reagerer lett med ammonium ( $NH_4^+$ ), vanndamp og andreforbindelser og blir til salpetersyre( $HNO_3$ ). Dette kommer da ned på jorden igjen i form av nedbør, hvorav uttrykket sur nedbør.

I tillegg til  $NO_x$  og  $SO_x$  så slippes det ut  $CO_2$  som er en drivhusgass, som bidrar til temperaturøkning på planeten.  $CO_2$  består av ett karbon og to oksygen atomer og dannes under forbrenning av stoffer som inneholder karbon. Dette fordi at karbon og oksygen lett bindes i denne sammenstillingen på grunn av sine elektroner. Molekyl strukturen til  $CO_2$  er på formen:



$CO_2$  finnes naturlig i for eksempel vann og luft. Det er allment kjent at  $CO_2$  er en klimagass, men i tillegg så driver naturen et eget kretsløp for karbon. Dette innebærer samme prinsippet som vannets kretsløp, nemlig at det går i en sirkel. Sirkuleringen av  $CO_2$  kan lett ses i sammenheng med forbrenning av ved. Trær tar opp  $CO_2$  fra atmosfæren under fotosyntese, karbonet blir så lagret i stammen, når så treet råtner eller blir brent frigis karbonet og danner igjen  $CO_2$ .

Menneskets påvirkning av karbonets kretsløp kommer av forbrenning av fossile brensler. Fossile brensler er ett samlebegrep for olje, gass eller kull. Dette bidrar til økt utslipp av  $CO_2$  til atmosfæren. Endring i vegetasjonen i form av avskoging samt en del industriprosesser slipper ut mengder med  $CO_2$ .

Det finnes andre stoffer som har mye større klimaeffekt enn  $CO_2$ , mens omfanget av disse utslippene er små i forhold til  $CO_2$ . Grunnen til dette er alle de energikrevende prosesser som benytter seg av fossile brensler, og som stadig er økende.

#### 2.4.2 Ammoniakk

Det gjøres mye forskning på å utnytte ammoniakk som drivstoff, dette spesielt på fartøy hvor behovet for store mengder energi er tilstede. Ammoniakk er bestående av nitrogen og hydrogen og danner sammensetningen  $NH_3$ . Dette betyr at stoffet består av ett nitrogen atom og tre hydrogen atomer. Ammoniakk gass inneholder dermed tre hydrogenatomer per ammoniakk atom. Et høyt innhold av hydrogen er gunstig for en energibærer. Per nå er ikke ammoniakk særlig utbredt som en energibærer, det drives forskning på dette fra blant annet motorprodusenten Wäertsillä.[27]

Wärtsillä, er den første motorprodusenten i verden til å teste en ammoniakkmotor til maritimt bruk i full skala. Denne motoren er en firtakt forbrenningsmotor, laget for maritimt bruk. En firtaktsmotor er den typen som blir desidert mest benyttet grunnet dens egenskaper med lavere utslipp og mindre støy. Motortypen går i fire takter, hvor hver takt har sin funksjon. Innsuging, kompresjon, forbrenning/arbeid og utblåsning er de fire taktene som blir mer forklart i kapittel 2.7. Testingen av Wärtsillä motoren fant sted i Finland vinteren 2020, og videre testing vil finne sted på Stord, hvor *Sustainable Energy Catapult Centre* ligger[27]. Det er i tillegg ett prosjekt mellom Equinor og Eidesvik Shipping som går på testing av et ammoniakk drevet fartøy. Fartøyet med navn *Viking Energy*, skal etter planen bruke brenselcelle i stedet for forbrenningsmotor. Målet er at fartøyet skal ha dette installert og i drift innen 2024. Det er forventet en driftsprofil med omlag 60-70% ammoniakk og resterende LNG drift, kombinert med batteri. [28].

Ammoniakk har flere gunstige egenskaper som gjør dette til et drivstoff som kan benyttes for å redusere utslipp fra transportsektoren og da særlig sjøfarten. Ammoniakk opptrer som gass under atmosfærisk trykk og normale temperaturer. Egenskaper som gjør ammoniakk ideelt er at det ikke kreves like stor energimengde for å gjøre ammoniakk flytende. Til sammenligning krever ren hydrogen større mengde energi for å kunne bli flytende, grunnet at overgangen fra gass til flytende form skjer med 20 kelvin for hydrogen. 20 kelvin tilsvarer  $-253^{\circ}\text{C}$ , for å kunne klare å oppnå slike temperaturer kreves avanserte kostbare, energikrevende tekniske løsninger. Her vil ammoniakk være fordelaktig hvor stoffet har en fordampningstemperatur ved  $-33^{\circ}\text{C}$ . [29]

Produksjon av ammoniakk kan gjøres ved hjelp av flere metoder. Ammoniakk i seg selv inneholder ikke karbon. Men er i de fleste tilfeller produsert fra naturgass ved hjelp av Haber-Bosch metoden. Det er også mulig å produsere ammoniakk ved hjelp av hydrogen. For at hydrogenet skal være *grønt*, må dette være produsert ved hjelp av elektrolyse av vann, hvor elektrisiteten blir produsert av fornybare kilder. For å gjøre det lettere å skille mellom typene Ammoniakk er det laget fargekoder for å skille prosessene.[29]

- Grønn ammoniakk: Produsert av fornybar hydrogen.
- Grå ammoniakk: Produsert fra naturgass.
- Blå ammoniakk: Produsert av naturgass, men  $\text{CO}_2$  utslippet blir tatt hånd om igjennom karbonfangst og lagring. [29]

Forbrenning av ammoniakk skjer på følgende måte:



Her ser en at ved forbrenning av ammoniakk, er avfallstoffene nitrogen og vann. Nitrogen har lett for å koble seg til oksygenatomer under forbrenning, så en utfordring ved denne teknologien og drivstoffet er å redusere utslippene av  $\text{NO}_x$ . Nitrogen er en gass som ikke er eksplosiv i en forbrenning, og vil virke kvelende, derfor vil en måtte ha høyere temperatur for at en skal få selvantennelse av drivstoffet.

Ammoniakk er den absolutt beste hydrogenbæreren, hvor ett atom binder tre hydrogenatomer uten bruk av karbon. Dette gjør at ved forbrenning av ammoniakk, vil en ikke ha utslipp av  $\text{CO}_2$ . Denne egenskapen er gunstig med tanke på global oppvarming og at  $\text{CO}_2$  er en drivhusgass. Utslippene av  $\text{NO}_x$  er ikke gunstig med tanke på luftkvaliteten som blir pustet inn. Et alternativ for å få bukt på noe av  $\text{NO}_x$  problemet er ved å bruke brenselcelle i stedet for en forbrenningsmotor. En brenselcelle bruker kjemiske teknikker for å få elektroner til å vandre mellom stoffene som er inne i brenselcellen. Brenselcellen konverterer gass over til å bli varme

og elektrisitet. Det finnes flere typer brenselceller som blir presentert i delkapittelet 2.7.2. Hvor enkelte av brenselcellene kan benytte ammoniakk direkte inn i cellen, mens andre må spalte ammoniakk til hydrogen og nitrogen.

LHV for ammoniakk er gitt til å være 316,265kJ/mol noe som igjen gir 18,604 MJ/kg siden vi har en 58,824mol i en kg ammoniakk. [23]

$$58,824mol \cdot 316,265 = 18604kJ/kg \Rightarrow 18,6MJ/kg \quad (2.5)$$

Må bruke gasskonstanten for å finne de energiinnholdet i normal og standard kubikkmeter med ammoniakk.

$$PV = nRT \Rightarrow V/n = RT/P \quad (2.6)$$

Bruker utledningen til å beregne volum per mol her er betingelsene  $Nm^3$  1 atm og  $0^\circ C$

$$\frac{V}{n} = \frac{(0.0820578liter \cdot atm \cdot K^{-1}mol^{-1}) \cdot (273,15K)}{1atm} = 22.414liter/mol \quad (2.7)$$

I sammenheng med bunkring av fartøy bruker en ikke liter men kubikkmeter i dagligtale. Det er derfor ønskelig å oppgi energiinnholdet i MJ/kubikkmeter. Derfor settes komma tre plasser til venstre siden det er 1000 liter i en kubikkmeter.

Beregner så det volumetriske energiinnholdet gitt ut fra LHV og mengde mol per kubikk

$$\epsilon_V = \frac{316,265kJ/mol}{0.022414Nm^3/mol} = 14110.14kJ/Nm^3 \quad (2.8)$$

En annen benevnelse på dette er kWh per kubikk

$$\epsilon_V = \frac{14110,14kWs/Nm^3}{3600s/h} = 3,92kWh/Nm^3 \quad (2.9)$$

Overliggende verdier kan være nyttig, i denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i lett tilgjengelige verdier. Ammoniakk oppgis til å ha en indre energi på 12,7MJ/L i flytende fase [29]. Regner dette om for å få  $kWh/m^3$  slik en får  $3527,8kWh/m^3$ .

### 2.4.3 Hydrogengass

Hydrogen er det første stoffet som er listet opp i det Periodiske system. Hydrogen har bare ett proton som ligger utenfor kjernen til atomet, og er dermed det enkleste av alle atomer. Hydrogen består bare av ett atom, men som drivstoff vil hydrogen fremstå som hydrogengass ( $H_2(g)$ ). Her står (g) for gass form. Dette fordi gassen kan være både i fast, flytende eller gassform. For at gassen skal kondensere trengs en temperatur på 20,28K (Kelvin), dette tilsvarer en temperatur på  $-252,87^\circ C$ . Dette vil si temperaturen hvor hydrogen går fra flytende- til gassform. [30]

Hydrogengass ( $H_2(g)$ ), brenner med en meget varm flamme, som er svakt blålig. Gassen er fargeløs, luktfri og ingen smak. Hos brennere som benytter hydrogengass kan flammen komme opp i temperaturer på 2700-2900 °C. [30]

Forbrenningsligningen til hydrogengass er gitt av ligning 2.10:



Energien som frigis når et mol hydrogengass brenner kalles for dannelsentalpien ( $\Delta H_o^f$ ) og er på -286 kJmol<sup>-1</sup>.

For at hydrogengass og oksyngengass skal kunne reagere med hverandre å danne vann ( $H_2O$ ) kreves en temperatur på cirka 550 °C. For at dannelsen av vann skal kunne gå lettere er det mulig å bruke en kjemisk katalysator som setter reaksjonene raskere i gang. Som katalysator er det vanlig å bruke enten platina eller palladium. [30]

Farene ved hydrogengass som brensel i for eksempel fartøy, vil være om det oppstår lekkasjer av gassen. En gassblanding mellom oksygen og hydrogen vil skape knallgass. Knallgassen består da av samme blandingsforhold som i forbrenningsligningen, en volumdel oksygen og to volumdeler hydrogen. I tillegg til knallgass, kan hydrogen bli eksplosivt i luft ved bare 4,1 volumprosent. Dette gjør at en bør være svært forsiktig i områder hvor en benytter og arbeider med hydrogengass.[30]

Framstilling av hydrogen blir gjort i dag på flere måter. Den mest utbredte er ved bruk av petroleumsprodukter som olje og naturgass. Grunnen til at petroleumsprodukter blir mye brukt er at gasser som metan, etan og propan kan spaltes slik at de frigjør hydrogen ved hjelp av kjemiske metoder. En vanlig måte å gjøre dette på er ved hjelp av en *Steam Reforming Process*. Her skjer prosessen ved 800 °C hvor hydrokarbonene reagerer med vanndamp ved hjelp av en katalysator og danner hydrogengass. Ligningen for framstilling av hydrogen fra metangass (naturgass) er gitt ved ligning 2.11.[30]

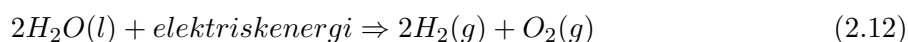


Denne prosessen kan reverseres, hvor en har produsert hydrogen på en fornybar måte, enten ved vann-, vind- eller solenergi. Ved flere industrier slippes det ut store mengder karbondioksid ut i atmosfæren, denne gassen kan brukes ved framstilling av syntetisk metangass eller andre flytende drivstoffer.

For at hydrogen skal kunne sies å være miljøvennlig, vil det være behov for en metode å framstille gassen på, uten utslipp av miljøskadelige stoffer. I forbrenningssammenheng refereres det til  $CO_2$  og andre drivhusgasser. Andre utslipp som metaller og kjemikalier blir ikke tatt hensyn til i denne oppgaven. Hydrogen kan framstilles ved hjelp av elektrolyse av vann, hvor en setter spenning ned i vannet for at en skal kunne spalte vannmolekylene til oksygen og hydrogen.

Prosesen er energikrevende og trenger mye strøm for å generere nok hydrogengass til et helt fartøy. For at hele prosessen skal være så miljøvennlig som mulig, er det essensielt at elektrisiteten kommer fra fornybare energikilder. Slike energikilder kan være vannkraft, sol, vind eller bølgekraft.

Elektrolyse av vann skjer ved prosessen



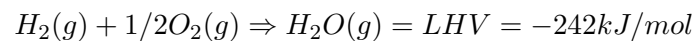
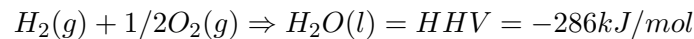
Elektrolyse av vann gir ikke bare muligheten til å benytte hydrogen som drivstoff. Hydrogenproduksjonen produserer også oksygen, som igjen kan bli brukt til forskjellige formål. Her på vestlandet kan oksygenet for eksempel bli brukt til lakseproduksjon. Her brukes oksygen både til yngel men også til operasjoner som avlusing og innhenting fisk ved hjelp av brønnbåter. Dette for å berolige fisken, og for at den skal få nok oksygen når den blir stresset.

Det finnes flere løsninger som kan være aktuelle for anlegg som skal distribuere hydrogen til fartøy, det kan være i form av lagertanker eller det kan være direkte produksjon og levering.

Dette kommer an på hvor mye fartøyet bestiller og hvor stor leveringsrate kaianlegget kan levere.

NEL, som leverer utstyr til hydrogenbransjen, legger ut på sine sider at de har en rigg, som kan levere opp til  $3880 Nm^3/h$  og denne riggen skal kunne bruke så lite som  $3,8 kWh/Nm^3$  [31].  $Nm^3$ , er en betegnelse for normal kubikkmeter, og brukes i sammenheng med blant annet gass. Dette er en standardisert betegnelse, med et mål på én kubikkmeter gass ved standard temperatur- og trykkforhold:  $0^\circ C$  og 1 atm (eller 101 325 Pa). Dermed er denne teknologien begynt å bli mer konkurransedyktig på pris i forhold til de andre drivstoff alternativene. Videre mangler hydrogen i stor grad infrastruktur til å bli benyttet til kjøretøy og fartøy. I tillegg er etterspørselen etter grønn elektrisitet stor, og for at hydrogen skal være miljøvennlig bør produksjonen være med grønn energi. [32]

Energiinnholdet i hydrogen beregner en utifra brennverdiene. For beregninger av energiinnhold blir LHV benyttet. Forskjellen på HHV og LHV er skissert i de to ligningene nedenfor, hvor  $H_2O$  er i væskeform på HHV og gassform på LHV



Verdiene som er synliggjort ovenfor, er gitt av ( $\Delta_f H^\circ$ ) som er standard entalpi for vann oppgitt både i gass og væskefase. For å beregne vektbasert og volumetrisk energitetthet vil det være hensiktsmessig å ta i bruk *ideell gasslov* oppgitt i ligning 2.6. Ut fra ideell-gasslov kan en beregne verdier ut fra ønskelig trykk og temperatur. For å gjøre beregningene så lik som mulig brukes verdiene oppgitt i SI Chemical data, som har verdier oppgitt ved 298K, dette tilsvarer  $25^\circ C$  i tillegg er det naturlig å bruke en normal kubikk ( $Nm^3$ ). Derfor tar en med resultatet fra ligning 2.7 som er på 22,414 liter/mol.

Finner volum per mol for verdier

$$\frac{V}{n} = \frac{(0.0820578 \text{ liter} \cdot \text{atm} \cdot K^{-1} \text{ mol}^{-1}) \cdot (298,15K)}{1 \text{ atm}} = 24,5 \text{ liter/mol} \quad (2.13)$$

Slike volumverdier brukes videre i form av en kubikkmeter volumbasertenergiinnhold basert på 1 atm og  $0^\circ C$ .

$$\frac{|-242kJ/mol|}{\frac{22,414 \text{ liter/mol}}{1000 \text{ liter}/Nm^3}} = 10769,8kJ/Nm^3 \Rightarrow 2,99kWh/Nm^3 \quad (2.14)$$

$$\frac{|-242kJ/mol|}{\frac{24,465 \text{ liter/mol}}{1000 \text{ liter}/Nm^3}} = 9891,7kJ/m^3 \Rightarrow 2,75kWh/m^3 \quad (2.15)$$

Vektbasert energiinnhold per  $25^\circ C$

$$\frac{1000g/kg}{2,016g/mol} \cdot |-242kJ/mol| = 120039,6kJ/kg \Rightarrow 33,3kWh/kg \quad (2.16)$$

Verdiene som blir benyttet for kalkulasjon av resultater er at flytende hydrogen har en energi på  $8,5MJ/L$  dette tilsvarer  $2361,1kWh/m^3$ . Komprimert hydrogen ved 700bar oppgis å ha energi på  $4,5MJ/L$  dette tilsvarer  $1250kwh/m^3$ . [30] Verdiene blir av samme grunn som hos ammoniakkt brukt til videre resultat utregninger, slik at verdiene for hydrogen lett kan finnes av andre.

Ved beregning av energiinnhold i trykktanker kan en bruke ideell gasslov til 2.6. Denne er mest nøyaktig ved beregning av trykk rundt atmosfæriske forhold. Siden tiltreknings- og

frastøtingskreftene til gasser varierer med trykket, er det blitt utviklet en formel som tar høyde for dette. Formelen heter Van der Waals ligning og er oppgitt i ligning 2.17.[33]

$$P = \frac{RT}{\frac{V}{n} - b} - \frac{a}{(\frac{V}{n})^2} \quad (2.17)$$

I ligningen til Van der Waals 2.17, fungerer  $a$  leddet som tiltreningskraft mellom molekylene, mens leddet  $b$  fungerer som frastøtningskraft. Konstantene  $a$  og  $b$  er avhengige av hvilken gass vi regner på, her vil det være hydrogen.

- $a = 1,2453 \text{ bar} \cdot \text{L}^2/\text{mol}^2$
- $b = 0,02651 \text{ L/mol}$

Når temperatur, volum og ønskelig trykk er kjent, er det mulig å finne energiinnholdet i tanken. Denne ligningen vil gjøre at beregningene for energien i en drivstofftank med trykksatt hydrogen blir mer nøyaktig. Grunnen til dette er at det finnes trykktanker som i dag har sertifisert brukstrykk på 700bar. Slike tanker er laget for å kunne frakte mest mulig gass til lavest mulig vekt, og er produsert av full karbonfiber. Slike bergninger ved hjelp av Van der Waals ligning blir ikke brukt i denne oppgaven, men vil være et godt hjelpemiddel. [33, 34]

#### 2.4.4 LNG og LBG

Ved LNG (Liquid Natural Gas) er naturgassen rensert slik at bestanddelen i hovedsak er metangass. Metan har kjemisk sammensetning ( $CH_4$ ) dette vil si at det består av et karbonatom og fire hydrogen atomer. Metangass er fargeløs, har ingen lukt og ingen smak. Gassen vil fortrenge oksygen i dårlig ventilerte rom. Gassen tilsettes normalt luktstoffer for at lekkasjer skal bli lettere å oppdage. [35]

Utvinning av LNG skjer ved petroleumsvirksomhet rundt om i verden. Norge har store mengder metangass i oljereservoarene langs norskekysten, og metangassen brukes i mange forskjellige industrier. Gassen brukes som drivstoff til fartøy, oppvarming, kjemisk industri og som brensel i gasskraftverk[35]. I oppgaven blir metangass videre beregnet som et drivstoff til fartøy på sjøen.

Metangass blir gjort flytende ved hjelp av nedkjøling. Ved å gjøre gassen flytende reduseres volumet betraktelig og en kan frakte med seg en større andel energi enn ved komprimert gass form. Reduksjonen fra gass til flytende skjer med en faktor på rundt 600, mens temperaturen som må til for å gjøre gassen flytende er  $-161,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . [36] Det er derfor energikrevende å gjøre gassen flytende, siden å kjøle et medium til slike temperaturer krever en del energi.

Når metangassen er blitt flytende kan en kalle det LNG, for at LNG skal holde seg flytende må tankene være konstruert på en slik måte at de isolerer varmen ute og kulden inne i tanken. Dette gjøres for at metanen ikke skal gå over til gassform igjen. Isoleringen av tankene er ikke mulig å gjøre fullstendig isolerende, så derfor vil det være en viss avgass under transport eller lagring i tanker. Denne avgassen kan brukes til flere ting, avhengig av type fartøy. Som eksempel vil et frakteskip av LNG benytte avgassen til egen framdrift, eller en fiskebåt kan nytte kulden i LNG til kjøling av fisk.

LNG i seg selv er ikke særlig antenkelig, og må gassifiseres dersom den skal benyttes i en forbrenningsmotor. Derfor er det gunstig å utnytte de termodynamiske effektene som i en fiskefartøy. Med dette menes at kulden som blir frigitt brukes til kjøling av fisken, da en sparer energi på å ikke fryse denne med elektrisk energi.



Brennverdien er et viktig estimat for å kunne beregne energiinnholdet i forhold til volumet og forbruket et fartøy vil ha. For LNG vil nedre brennverdi ligge på  $37 \text{ MJ}/\text{m}^3 - 10,3 \text{ kWh}/\text{m}^3$ , dette er verdier som er oppgitt i gassfase. Gassfasen er den fasen hvor metan kan nyttiggjøres som drivstoff. I flytende fase er metan verken giftig eller brennbart. Forbrenningsligningen for metangass er gitt i ligning 2.18, hvor en ser at et mol med metangass tilsvarer et mol med karbondioksid.



For utregning av nedre brennverdi (LHV- Lower Heating Value), kan en bruke tekniske data. Slike data er tilgjengelig blant annet i boken "SI Chemical Data" utgitt av Blackman og Gahan[23]. For utregning av LHV benyttes øvre brennverdi (HHV- Higher Heating Value) og fordampningsentalpien til vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ved 15 grader Celsius

$$\text{LHV} = \text{HHV} + n \cdot \Delta H_{\text{vap}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) \quad (2.19)$$

$$- 890 \text{ kJ/mol}^{-1} + 2 \cdot (44 \text{ kJ/mol}^{-1}) = -802 \text{ kJ/mol}^{-1} \quad (2.20)$$

Finner antall mol som forbrukes ved 1 liter LNG

$$n_{\text{metan}} = \frac{(0,423^{-162} \text{ g/liter}) \cdot (1 \text{ liter})}{(16 \text{ g/mol})} = 0,026 \text{ mol}(\text{Metan/liter}) \quad (2.21)$$

Kan finne antall gram  $\text{CO}_2$  som blir frigitt av forbrenning av 1 kg LNG

$$m_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} = 62,5 \text{ mol} \cdot 44 \text{ g/mol} = 2750 \text{ g} \quad (2.22)$$

Finner antall mol i 1 kg med metangass

$$\frac{1000 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 62,5 \text{ mol} \quad (2.23)$$

Innsetter nedre brennverdi for å fjerne mol benevingen og kun stå igjen med energi i kJ

$$62,5 \text{ mol} \cdot 802 \text{ kJ/mol} = 50125 \text{ kJ} \Rightarrow 50 \text{ MJ/kg} \quad (2.24)$$

Volumetrisk energiinnhold er gitt i  $\text{Sm}^3$  som står for standard kubikkmeter, og er oppgitt ved 15 °C og 1 atm. gassfase

$$\frac{(0,716 \text{ kg}/\text{Nm}^3 \cdot 1000 \text{ g/kg})}{16 \text{ g/mol}} = 44,75 \text{ mol}/\text{Nm}^3 \quad (2.25)$$

Energiinnhold i gassfase

$$44,75 \text{ mol}/\text{Nm}^3 \cdot 802 \text{ kJ/mol} = 35889,5 \text{ kJ}/\text{Nm}^3 \Rightarrow 10 \text{ kWh/kg} \quad (2.26)$$

Flytende

$$\frac{(0,423 \text{ g}/\text{cm}^3 \cdot (100 \text{ cm}/\text{m})^3)}{16 \text{ g/mol}} = 26437,5 \text{ mol}/\text{m}^3 \quad (2.27)$$

Energiinnhold i flytende gass

$$26437,5 \text{ mol}/\text{m}^3 \cdot 802 \text{ kJ/mol} = 21202875 \text{ kJ}/\text{Sm}^3 \Rightarrow 5890 \text{ kWh}/\text{m}^3 \quad (2.28)$$

Som vist over forklares det at molforholdet og energiinnholdet er omtrent 600 ganger forskjell fra flytende- til gassfase. Derfor blir gassen ofte transportert i flytende form, grunnet at energiinnholdet øker.

LBG (Liquid Bio Gass) blir produsert på en litt annen metode enn LNG. LBG blir produsert ved at en fanger opp gassen metan fra forråtnelsesprosessen i organisk materiale. Metanen blir videre rensert slik at den får tilfredsstillende metaninnhold slik at den videre kan brukes som drivstoff til fartøy. Tilbudet av LBG er vesentlig mindre enn hva tilbudet av LNG er. Dette er fordi det er begrenset med biogassreaktorer, samtidig er biologisk avfall en begrenset ressurs. Det er viktig at avfallet som blir benyttet til produksjon av biogass ikke er matvare-verdig, slik at produksjon av matvarer går til animalsk næring og ikke som førstegenerasjons råvare til en biogassreaktor [37]. Ved bruk av biogass, vil det ut fra gjeldene regler være klimavennlig. Grunnen til dette

er at  $CO_2$  som blir sluppet ut ved forbrenning av LBG, vil i et naturlig miljø også råtne bort og frigjøre klimagasser som blant annet metan og  $CO_2$  under prosessen. Derfor sees LBG som klimanøytralt. Ser vi i et langt perspektiv, så har LNG blitt produsert på samme måte, men her har produktene blitt lagret i oljefelt rundt om i verden og ikke i forråtnelsestanker.

#### 2.4.5 Litium-batteri

Batteri er en smart måte for å lagre elektrisk energi inn i kjemisk energi, og senere ta ut potensialet når behovet er der. Energien lagres i en eller flere galvaniske celler, hver celle har en bestemt celledøring ut i fra hvilke stoffer som blir brukt i batteriet.

De senere årene har spesielt ett batteri blitt omtalt som det dominerende batteriet, dette batteriet er Litium-Ion batterier. Dette batteriet blir brukt til ulike maskiner og små innretninger. Det som gjør litium batterier anvendelig er at litium er et lett metall, i tillegg har grunnstoffet stort elektrokjemisk potensiale hvis en refererer til spenningsrekken.

Når en omtaler Li-ion batterier, forklares det som en fellesbetegnelse for en rekke litium baserte batterier. Det finnes flere forskjellige typer Li-ion batterier, og disse kommer i ulike sammensetninger med ulike egenskaper. Dette kommer av strukturelle og forskjellige kjemiske forbindelser. Noen av litium batteriene blir listet opp nedenfor[38]:

- Litium koboltoksid ( $LiCoO_2$ )
- Litium magnesiumoksid ( $LiMn_2O_4$ )
- Litium nikkellitium koboltoksid ( $LiNiMnCoO_2$ )
- Litium jern fosfat ( $LiFePO_4$ )
- Litium nikkellitium aluminiumoksid ( $LiNiCoAlO_2$ )
- Litium Titanat ( $Li_2TiO_3$ )

*Litiumkoboltoksid ( $LiCoO_2$ )* Er et populært batteri for bruk i mobile små enheter som mobiltelefoner, datamaskiner, digitale kamera med mer.

Katode (positiv elektrode) :  $Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^- = LiCoO_2$

Anode (Negativ elektrode) :  $CLi_x = C + xLi^+ + xe^-$

Total reaksjon (ved utlading)  $Li_{1-x}CoO_2 + CLi_x = LiCoO_2 + C$

Fra reaksjonsligningene som er synliggjort ovenfor, sees det at elektronene vandrer fra den ene siden til den andre. Elektrongangen varierer om det er opplading eller utlading. Når batteriet lades opp, vil litium i den positive litium koboltoksid elektroden (katode) bli ionisert til  $Li^+$ , og

beveger seg over til negative karbonelektroden (anode). Når batteriet lades ut, går  $Li^+$  ionene fra karbon strukturen på anoden tilbake til litium koboltoksid på katoden. Når  $Li^+$  kommer tilbake til katoden, vil ionet finne sin opprinnelige plass i  $LiCoO_2$  strukturen.

**Tabell 2.4:** Tabellen viser en oversikt over litt av egenskapene til de forskjellige Litium-ion batteriene.[38]

Batteritype	Wh/kg	Volt	Sykluser	Bruk	Kommentar	Sikkerhet
Litium koboltoksid	150-200	3,6	500-1000	Mobiler, pc etc	Høy spesifikk energi, men begrenset spesifikk effekt.	150°C
Litium magnesiumoksid	100-150	3,7	300-700	Elektriske verktøy, Elektrisk drivlinje	Høy kraft, men mindre energi enn i Litium magnesiumoksid	250°C
Litium nikkel magnesium koboltoksid	150-220	3,6-3,7	1000-2000	Industri og El biler	Høy kapasitet og høy kraft Kostnad: ca 420\$ per kWh	210°C
Litium jern fosfat	90-120	3,2-3,3	2000 ->	Stasjonære og portable ting som trenger høy strøm og utholdenhet	Flat volt kurve, men lav kapasitet Kostnad: ca 580\$ per kWh	270°C
Litium nikkel kobolt aluminiumoksid	200-260	3,6	500	Industri og Elektrisk bil(tesla)	Lik som Litium koboltoksid Kostnad: ca 350\$ per kWh	150°C
Litium Titanat	50-80	2,4	3000-7000	UPS og elektrisk bil	Ultra rask lading, long life", men lav spesifikk energi Kostnad: ca 1005\$ per kWh	En av de sikreste Li-Ion batteriene

I tabell 2.4 finnes en rekke interessante perspektiv som er essensielle når en velger batterityper til forskjellige formål. Et viktig punkt er kostnad per kWh, men til gjengjeld er det like viktig med hvor stor Wh/kg og spenning en slik celle normalt opererer med. Tabellen skisserer spesifikk energi som er lagret i batteriene, hvor en ser at de batteritypene med høyest energiinnhold per kg er de typene som inneholder kobolt. En klar vinner av de seks forskjellige batteritypene er *Litium nikkel kobolt aluminiumoksid*, som er det batteriet med klart høyest spesifikk energi, altså mest energi i forhold til vekt.

Fra ett fartøyperspektiv ønsker en at batteriene er sikre, at de har lang levetid, og at de er miljøvennlige. Det er et viktig moment at batteripakkene ikke har for høy kostnad. Et av batteriene som har vist seg som et av de fremtidige batteritypene er Litiumjernforfat batteriet.

De siste årene har den norske offshoreflåten sett en stor endring i hvordan fartøyene opererer. Flere og flere fartøy har nå fått installert batteripakker i form av 20ft containere på dekk. Denne løsningen fungerer som en *plug and play* løsning hvor alt av styresystemer for batteripakkene er integrert i containeren. Et slikt system blir betraktet som et hybrid system med motor og batteridrift. Hybride energisystemer gjør at energisystemet ombord på fartøy kan optimaliseres slik at en bruker fordelene til hver enkelt energisystem.[39]

Equinor og Shell har som oljeprodusenter bidratt til at rederier har valgt og installere batteripakker ombord på sine PSV'er (Platform Supply Vessel), for å tilfredstille de kontraktskrav som oljeprodusentene har begynt å stille for langtidskontrakter. Bruk av et slikt hybridssystem viser seg å ha positive innvirkninger på både drivstoff forbruk og utslipp. Forbruket av drivstoff får en reduksjon på mellom 15-25 % mens  $CO_2$  utslippene reduseres enda mer.[39]

Fordelene med hybriddrift på denne typen fartøy kommer når fartøyene ligger til kai eller når de ligger langs plattformene. Ved kailigge vil et batteri forsyne fartøyet med strøm helt uten at motorene går. Når batteriene så trenger lading, kan motorene gå med mer naturlig driftsmønster, slik at de faktisk forurenser mindre enn ved lavlast. Alternativt kan landstrøm benyttes for lading.

Et annet krav til fartøy som er innenfor 500m sonen til en plattform er at fartøyet opererer i såkalt redundant modus, hvor en blackout på den ene siden av motorrommet ikke skal utgjøre

en fare for navigeringen. Normalt har minst to hovedmaskiner vært i drift mens de ligger langs riggen uansett vær. Men med batteripakke, da kan den ene siden bli driftet av denne. I tillegg til dette, vil et fartøy med batteripakke ha mulighet til å respondere mye raskere enn hva motorene har på last forandring. En kan bruke batteripakken til peak shavings ved for eksempel manøvrering til å fra kai eller installasjoner til havs.

Flere kapteiner på PSV fartøy nevner at de føler seg mer sikker når de har installert batteripakke. Grunnen til at de sier dette kan kobles til fordelene med bruk av batterier, nemlig muligheten til ekstra kraft når det er behov. Samt at denne kraften er tilgjengelig øyeblikkelig, og at det ikke er noen forsinkelse ved den, slik en ser med bruk av motorer.[39]

#### 2.4.6 Metanol

Metanol er en type alkohol og har dermed OH ending i den kjemiske sammensetningen. Metanol ( $CH_3OH$ ) består av ett karbon-, fire hydrogen- og ett oksygen-atom. Ved forbrenning av metanol vil en slippe ut  $CO_2$  ved at karbonet binder seg til oksygen. Metanol er den enkleste oppbygde alkoholen, og opptrer fargeløs. Den har en lukt som ligner på etanol, men er svært giftig. Den er i tillegg lett antenkelig. Metanol brukes i dag mye innen industri og framstilling av diverse metylforbindelser.[40]

Produksjon av metanol foregår ved hjelp av flere metoder, og den eldste metoden går ut på tørredestilasjon av tre. Denne metoden er ikke så utbredt lengre. Den framstilles i dag utelukkende syntetisk ved hjelp av:[40]

- Partiell osidasjon av hydrokarboner fra naturgass, i Norge gjøres dette ved Tjeldbergodden i Møre og Romsdal.
- Metanolsyntesen : Hydrogenering av karbonmonoksid ( $CO$ ) under høyt trykk og i nærvær av katalysatorer, som hjelper prosessen.

Som ved Tjeldbergodden skjer denne framstillingen fra petroleumsproduktet naturgass. Dette er grunnen til at ved en forbrenning vil metanol ikke regnes som miljøvennlig. Hadde prosessen derimot skjedd ved tørredestilasjon av treverk, ville utslippet av  $CO_2$  blitt regnet som miljøvennlig. Grunnet treverket ville ha råtnet og sluppet ut denne gassen til atmosfæren ved en forråtnelsesprosess.

Forbrenning av metanol er synliggjort kjemisk i ligningen under.



$$LHV = -726kJ/mol + 2 \cdot (44kJ/mol) = -638kJ/mol \quad (2.30)$$

Metanol har en tetthet på 0,787 kg/liter dette blir  $787kg/m^3$

Antall mol i ett kilo er gitt ved

$$\frac{1000g/kg}{32g/mol} = 31,25mol/kg \quad (2.31)$$

$$787kg/m^3 \cdot 31,25mol/kg = 24593,75mol/m^3 \quad (2.32)$$

Volumbasert energiinnhold.

$$24593,75mol/m^3 \cdot 638kJ/mol = 15690812,5kJ/m^3 \Rightarrow 4358,5kWh/m^3 \quad (2.33)$$

Vektbasert energiinnhold.

$$638kJ/mol \cdot 31,25mol/kg = 19937,5kJ/kg \Rightarrow 19,9MJ/kg \Rightarrow 5,53kWh/kg. \quad (2.34)$$

Bunkring av metanol krever sikkerhetsrutiner som er strengere enn ved fylling av diesel, dette på grunn av metanolens egenskaper. Derfor er det nødvendig med inertgass i tankene som forhindrer at det dannes en eksplosiv atmosfære inne i tanken. Inertgass er en gass som tilsettes tanken, gassen som brukes er en ikke reagerende gass. Eksempler på inertgass er nitrogen, karbondioksid og argon. I en bunkringsprosess fylles tanken først med inertgass. Inertgassen legger seg videre som et lokk over drivstoffet som forhindrer at farlige og eksplosive gassblandinger oppstår i tanken. Etterhvert som tanken fylles vil drivstoffet presse ut inertgass i stedet for å presse ut en mulig eksplosiv atmosfære.

## 2.4.7 Etanol

Etanol finnes i alkoholfamilien slik som metanol, og er den alkoholen vi forbinder med alkoholholdige drikker. Etanol er en tyngre alkohol, og har kjemisk sammensetning ( $CH_3CH_2OH$ )

Etanol er allerede mye brukt innen bilindustrien og blandes inn i bensin, for å kunne gjøre drivstoffet litt mer miljøvennlig. En vanlig bil kan bruke et blandingsforhold med 5% etanol og 95% bensin (E05). I Sverige er det mulig å kjøpe et drivstoff som heter E85, dette drivstoffet er da 85% etanol, og blir beregnet som biodrivstoff. Her er det viktig å merke seg at ved framstilling av etanol, vil det være gunstig at dette gjøres på en bærekraftig måte, hvor produksjon av råvarer ikke skjer på bekostning av matvareproduksjon. I USA gjøres produksjonen i hovedsak ut av mais, Brasil ved hjelp av sukkerrør. [41]

Flere faktorer har ført til at bruken av etanol ikke er kommersialisert som et eget drivstoff, noe som skyldes råvare-tilgang og produksjon av drivstoffet. Det ble tidlig avdekket at produksjon av bioetanol gikk på bekostning av matvareproduksjon. Matvareprisene gikk opp på grunn av økt etterspørsel av bioetanol, som ble iblandet petroleumbasert bensin. Det er de senere årene jobbet hardt med å få produksjonen av etanol over til å benytte råvarer som ikke brukes som matvarer. Biodrivstoff som benytter råvarer som allerede har vært brukt til sitt egentlige formål, eller rester fra annen produksjon, kalles for 2. generasjons biodrivstoff. 2. generasjons biodrivstoff går av den grunn ikke ut over matvareproduksjon siden matvare blir betraktet som 1.generasjons råvare. [37]

Ved forbrenning av etanol får en følgende ligning



Fra forbrenningsligningen til etanol ser en at det dannes to stykk karbondioksidatomer. Derfor er det viktig at etanolen blir framstilt på en miljøvennlig måte, slik at en oppnår et nullutslippsscenario. Dette kan oppnås ved at en benytter en fermenteringsprosess, der en bruker gjær til spalte sukkerholdige substanser og videre danne etanol. For å beregne  $CO_2$  utslipp for etanol, vil en bruke verdien  $1,49 \text{ Tonn}_{CO_2}/m^3_{Etanol}$ ,

Etanol fremstilles også ved hjelp av kjemiske reaksjoner innen petroleumsindustrien. Energiinnholdet av etanol verdier er hentet ut av boken SI Chemical Data:

Ser fra støkiometrien at det dannes tre vann molekyler

$$LHV = -1367kJ/mol + 3 \cdot (44kJ/mol) = -1235kJ/mol \quad (2.36)$$

Etanol har en tetthet på  $785\text{kg}/\text{m}^3$

$$\frac{1000\text{g}/\text{kg}}{46,1\text{g}/\text{mol}} = 21,69\text{mol}/\text{kg} \quad (2.37)$$

Finner antall mol gitt i en kubikk

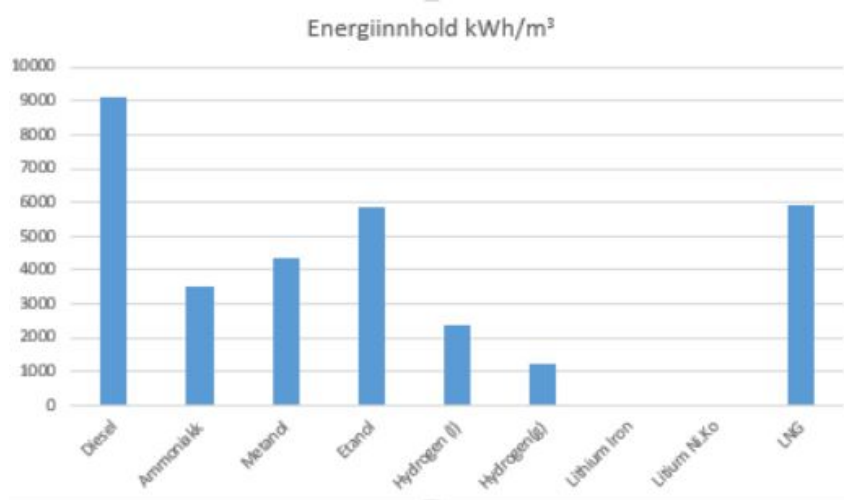
$$785\text{kg}/\text{m}^3 \cdot 21,69\text{mol}/\text{kg} = 17028,2\text{mol}/\text{m}^3 \quad (2.38)$$

Volumbasert energiinnhold

$$17028,2\text{mol}/\text{m}^3 \cdot 1235\text{kJ}/\text{mol} = 21029826,5\text{kJ}/\text{m}^3 \Rightarrow 5841,61\text{kWh}/\text{m}^3 \quad (2.39)$$

Vektbasert energiinnhold

$$1235\text{kJ}/\text{mol} \cdot 21,69\text{mol}/\text{kg} = 26787,15\text{kJ}/\text{kg} \Rightarrow 26,8\text{MJ}/\text{kg} \Rightarrow 7,44\text{kWh}/\text{kg} \quad (2.40)$$



**Figur 2.6:** Energitettheten oppgitt i  $\text{kWh}/\text{m}^3$  til de ulike energibærerene, her har ikke batteriene fått verdier grunnet de oppgis i  $\text{kg}$ .

En oppsummering av energiinnholdet til de ulike drivstoffene finnes i tabell 2.6. Tabellen synliggjør hvor mye energi som er lagret i drivstoffet per  $\text{m}^3$ . Fra tabellen ser en at diesel har mye høyere energitetthet, dette er gunstig da en kan lagre mer energi per volum. Sammen med drivstoffets egenskaper i forhold til sikkerhet, oppbevaring og antennelse er diesel et meget godt drivstoff. En ulempe er at det slipper ut avgasser som  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ . En ser også at etanol og LNG inneholder litt over halvparten av energien som diesel har, også her har drivstoffene ulike fordeler og ulemper. Per i dag er drivstoffet LNG i hovedsak petroleumbasert, mens råvarene til etanol går på bekostning av dyrebar matjord. Metanol har omlag halvparten av energien som diesel har per kubikkmeter. Dette gjør at en må ha dobbelt så mye lagringskapasitet til drivstoffet som ved konvensjonell dieseldrift. Til sammenligning kan metanolen framstilles på en miljøvennlig måte ved hjelp av destillasjon av tre/flis. Fellesnevneren for alle de nevnte drivstoffene er at de slipper ut  $\text{CO}_2$  ved forbrenning. Drivstoffene som ikke slipper ut karbondioksid i en driftssituasjon er ammoniakk, hydrogen samt batteriene. Dette forutsetter at produksjonen av hydrogen skjer ved elektrolyse ved hjelp av elektrisitet fra fornybare kilder. Av de typene er det ammoniakk som har et klart fortrinn både ved en høyere energitetthet, samt at en kan lagre det flytende ved en mye høyere temperatur enn hydrogen. Samtidig kreves det spesielle

materialer som tåler å være i kontakt med ammoniakk. Batteriene vil i all hovedsak bli veldig tung om en ikke planlegger å lade batteriene oftere. Samtidig er det her ønskelig at batteriene både produseres og lades ved fornybar energi.

## 2.5 Eksisterende og planlagt infrastruktur

Den eksisterende og planlagte infrastrukturen kan gi en pekepinn på hvor langt en er kommet i utviklingen og kommersialiseringen av de ulike drivstoffene som kapittel 2.4 omhandler. Drivstoffene har ulike egenskaper, noe som gjør at enkelte drivstoff er mindre komplisert å lagre enn andre. Utviklingen av nye bunkringsstasjoner langs norskekysten er vesentlig for at fartøy og dets eiere skal våge å benytte seg av lavkarbon drivstoff. Dette avsnittet omhandler tilbudet rundt alternative drivstoff langs kysten vår.

### *Diesel tilgjengelighet*

Bunkring av diesel kan gjøres i de aller fleste kystbyer i dag. Dette gjør at det er stor utbredelse av bunkringsstasjoner som leverer diesel i dag. I tilknytning til de større bunkringsanleggene finnes det i noen tilfeller flere bunkringsfartøyer som kan levere til fartøyer som driver med laste/losse operasjoner eller til passasjerfartøy som ligger til kai. Siden utbredelsen av bunkringsstasjoner er stor langs kysten, har oppgaven valgt å ta et kartutsnitt med bunkrings lokasjoner fra én leverandør. Bunker Oil, som kommer fra Ålesund har som vist i figur 2.7 en rekke fyllestasjoner langs store deler av kysten. De tre store leverandørene av marindiesel (MDO) er St1, Esso og Bunker Oil. Mye av grunnen for den store utbredelsen av bunkringsstasjoner for diesel er knyttet til at dette drivstoffet har vært dominerende i mange tiår. Dette har skapt ett stort behov og kundegrunnlag langs hele kysten.[42]



**Figur 2.7:** Synliggjør de marine bunkringsstasjoner for diesel levert av leverandør Bunker Oil. Figuren er tatt med for å synliggjøre mangfoldet av fyllestasjoner langs kysten, bildet er hentet fra Bunker Oils egne sider.[43]

### *Ammoniakk tilgjengelighet*

Ammoniakk har i motsetning til diesel ikke et stort kundegrnlag og det er heller ikke et stort behov for dette med tanke på drift av fartøy slik situasjonen er i dag. Dette har gjort at det ikke er stor utbredelse av denne type drivstoff langs kysten, men det kan skje store omveltninger rundt dette de neste 10 årene som gjør at lavkarbon drivstoff kan bli mer benyttet.

Ammoniakk blir per i dag ikke brukt i konvensjonelle fartøy, men det pågår flere prosjekter innenfor dette området. Prosjektene omhandler både forbrenningsmotorer samt brenselcelle teknologien. For at ammoniakk skal kunne være en konkurrent til dagens diesel, vil tilgjengelighet være viktig. Dagens infrastruktur for bunkring av fartøy med ammoniakk er begrenset. Det finnes til gjengjeld noen større terminaler hvor de produserer og lagrer ammoniakk, som i Porsgrunn hvor de driver gjødselproduksjon. Figur 2.8 synliggjør lokasjonene hvor det finnes større mengder med ammoniakk som kan bli overført til fartøy. Ingen av anleggene er direkte laget for bunkring av fartøy når det brukes som drivstoff. Det er terminaler som leverer til større tankskip, men her kan det tenkes at det kan bli distribuert videre med bunkringsfartøy til diverse lokasjoner eller for bunkring fartøy til fartøy.



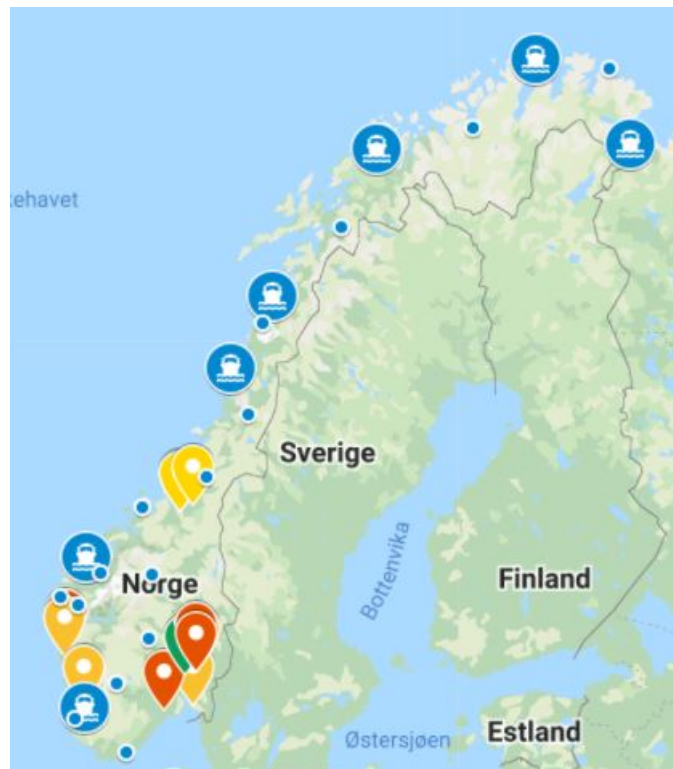
**Figur 2.8:** Synliggjør faste bunkringsstasjoner for ammoniakk. Terminalene er store og designet for frakt av ammoniakk til det internasjonale markedet.[44]

I slutten av 2020 annonserte Yara at de satser på ammoniakk produksjon til bruk i skipsfarten som drivstoff, produksjonen skal være av typen grønn ammoniakk og i størrelsesorden 500 000 tonn per år.[45] Dette er mengder som kan drifte flere fartøyer ved bruk av grønn ammoniakk, noe som vil eliminere utslippet av karbondioksid fra fartøyene som benytter dette.



### Hydrogen tilgjengelighet

Maritime bunkringslokasjoner for hydrogen er per i dag ikke i drift. Det finnes imidlertid prosjekter hvor det jobbes med produksjon og distribusjon av hydrogen i eksempelvis Geirangerfjorden på Sunnmøre som er et verdensarvområde. Ulike lokasjoner for hydrogen stasjoner er synliggjort i figur 2.9, kartet inneholder både fyllestasjoner for land og planlagte anlegg langs kysten. Havila kystruten har inngått kontrakt med Linde og PowerCell for hydrogen drift av kystruten, dette kommer i tillegg til ordinær LNG drift. [46]. Kystrutens satsing bidrar til den større planleggingen som en ser langs kysten per i dag. Behovet for bunkringsstasjoner kan øke etterhvert som dette viser seg kommersielt gunstig, og flere fartøyer begynner å benytte seg av hydrogen.



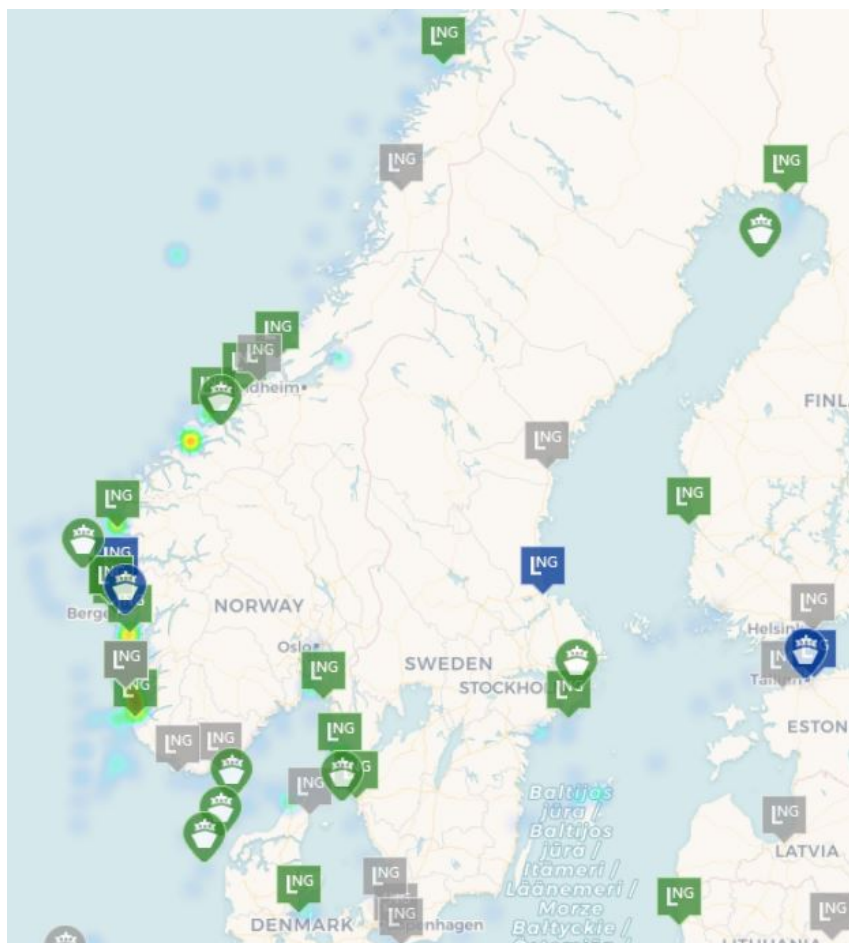
**Figur 2.9:** Synliggjør at det per i dag ikke er noen maritime bunkringsstasjoner for hydrogen som er operative, men at det finnes potensielle utbygginger. Blå=potensielle maritime stasjoner, gul= planlegging, rød= stengt, grønn= i drift. [47]

Hydrogen har i lengre tid blitt omtalt som ett energirikt drivstoff i forhold til sin vekt. Derimot er energiinnholdet ikke så rikt når en snakker om volum, her vil hydrogen være av de minst energirike per kubikkmeter. Dette igjen gjør at en forbruker større mengder hydrogen i forhold til mer energiholdige drivstoffer. Hydrogen kan være ett smart alternativ hvor vekt spiller en viktig rolle, noe som kan være gunstig for hurtiggående fartøy.

### Naturgass tilgjengelighet

Naturgass i form av LNG, eller biogass i form av LBG er begge rikt på metangass ( $CH_4$ ). Tilgjengeligheten for de to drivstoffene er økende, LNG i større grad enn LBG. LBG blir begrenset av tilgjengeligheten på biologisk avfall, som senere blir behandlet i forråtnelsestanker. Naturgass blir per i dag brukt til en rekke industrielle prosesser. Som foreksempel produksjon av meieri-produkter [48]. Det finnes derfor et distribusjonsnett av LNG, men dette er ikke tiltenkt som maritimt drivstoff.

LNG fyllestasjoner for marine fartøy er ikke mye utbredt langs norskekysten, og de fleste maritime anleggene er lokalisert i landets offshore baser. Dette vil følgelig si at de er laget for fylling av offshore skip og transport av dette ut til oljeplattformene. Offshore kaiene er ISPS sikret, noe som gjør at fartøy som ikke innehar denne sertifiseringen, som eksempelvis enkelte fiskefartøy og brønnbåter, ikke vil ha mulighet til å entre slike havner for bunkring. Men en ser at det blir satset mer på LNG/LBG i den maritime bransjen, slik at antall fyllestasjoner langs kysten vil trolig øke de neste årene. Ettersom dette drivstoffet har vist seg å fungere på en rekke fartøy, og i tillegg vil drivstoffet være ett renere alternativ enn hva diesel er i dag.



**Figur 2.10:** Synliggjør de operative fyllestasjonene for LNG langs vestlandskysten. Grønn farge = eksisterende, Blå = under konstruksjon, Grå = under diskusjon.[44]

Som illustrert i figur 2.10, kommer det fram at flere av lokasjonene for LNG fylling er hos offshore havnene i Norge, mens utvikling kan sees ved at flere LNG fyllestasjoner er under diskusjon og utvikling. Det er verdt å merke seg at her er en del båtsymboler (bunkeringsfartøy) som opererer. Slike fartøy skaper et mer dynamisk havnebildet, da fartøy kan bunkre samtidig som de driver med laste/losse operasjoner. Dette bildet synliggjør at LNG er det alternative drivstoffet som er kommet lengst i utviklingen av fyllestasjoner for fartøy. Samt at bunkeringsfartøyene vil gjøre at større fartøy kan bunkre mens de driver med laste/losse operasjoner. Som en ser av figur 2.10 er det fyllestasjoner under diskusjon og konstruksjon, og av dette kan det trekkes sammenheng med at det finnes kundegrunnlag for denne type drivstoff. Det bygges i tillegg flere fartøyer som skal gå på LNG blant annet de nye brønnbåtene til Dess Aqua [20].

### Elektriske ladestasjoner

Stadig flere havner får ladestasjoner for skip, dette for at fartøy med enten ren batteridrift eller fartøy med hybriddrift skal ha mulighet til å lade batteriene samtidig som en ikke bruker generatorsettene (motorene) i fartøyene. Det er ikke bare fartøyer som har installert batterier som kan bruke landstrømssanleggene, fartøy kan også bruke tilkoblingen som supplement for å ligge med generatordrift når de ligger til kai. Dette vil kunne redusere store utslipp nært tilknyttet haveområder og byområder. Det er allerede installert slike anlegg ved de fleste større offshorehavner, det vil i tillegg bli bygget ut i stor grad langs vestlandskysten, samt i flere av de større turisthavnene. Dette er synliggjort på figur 2.11, hvor de grønne (Shore-Power) symbolene betyr at det er installert og i operativ stand, mens blå er planlagte eller under konstruksjon. I Latvia er en som er av grå farge, denne er under diskusjon. [44]



**Figur 2.11:** Synliggjør de ulike lokasjonene for landstrøm, blå farge er stasjoner som skal bygges, grønn farge er i operasjon.[44]

Som en ser på figuren 2.11, vil en del av de nye og eksisterende anleggene for landstrømanlegg finnes ved turisthavnene, og i offshore havnene. Det som først ble etablert var ladepunkter ved offshorehavnene, da oljeselskapene presset på for å få reduksjon av klimagassutslipp. De senere årene har flere og flere fartøy begynt å få batteri installert, dermed er viktigheten av å kunne tilby landstrøm tilstede. Det er ikke bare passasjerfartøy, men også brønnbåter, ferger, fiskebåter med mer, som begynner å få installert batteripakker for hybrid eller helelektrisk drift. I tillegg vil fartøy som har utbygget landstrømstilkobling benytte dette i stedet for generatorer ved slike anlegg.

### *Metanol tilgjengelighet*

Metanol er i liten grad tilgjengelig som drivstoff på fartøyer. Som illustrert i figur 2.12 finnes det begrenset med maritime bunkringsstasjoner. Ut i fra figuren ser en at det finnes et lageranlegg i Bergens-området. I tillegg produseres det metanol av LNG nord for Kristiansund ved Tjeldbergodden, som også kan eksporteres til potensielle bunkeringsanlegg.

Utbredelsen av metanolfartøy er økende, men ikke i den hastighet som kan være ønsket sett fra ett klimaperspektiv. Metanol har gunstige egenskaper som gjør at det kan lagres i konvensjonelle tanker, men ved bruk av annen overflatebeskyttelse og automasjonssystemer. Dette gjør at drivstoffet egner seg godt til ombygging av eksisterende fartøy hvor en ikke behøver å installere spesialtanker. Metanol kan spille en viktig rolle i årene som kommer, grunnet økte avgifter for  $CO_2$  utslipp. Samtidig er drivstoffet av den art at det kan antennes lett og kan ved små justeringer på opprinnelige fartøyer bli brukt til drift av fartøyene. Metanol vil ha mye av de samme egenskapene som LNG, da med tenke på utslippene av klimagasser og partikler. [49]

Bunkringsstasjoner av metanol vil trolig komme etterhvert som markedet for dette øker. Per i dag leveres metanol ved hjelp av bunkringsbiler. Slik som til offshore havnene kommer leveranser av metanol ved hjelp av lastebiler. Metanol er drivstoff som går under kategorien stoffer med lavt flammepunkt. Flammepunktet til metanol ligger på  $11\text{ }^\circ\text{C}$ , noe som betyr at avgasser kan antennes i atmosfæriske temperaturer. Derfor brukes inertgass for at denne konsentrasjonen av avgasser ikke skal bli brennbar.



**Figur 2.12:** Synliggjør lageranlegget for metanol som ligger i Bergen. Anlegget har en kapasitet på over 50 000 tonn [44].

### *Etanol tilgjengelighet*

Etanol er blitt brukt som tilsetning i bensin i flere år. Dette er gjort for å redusere klimagassutslippet, siden etanolen er produsert av biologiske materialer. Etanol kan framstilles fra blant annet palmeolje og rapsolje. Etanol i sin rene form er lite utbredt som drivstoff, og oppgaven har heller ikke klart å lokalisere noen maritime bunkringsstasjoner for dette drivstoffet.

## 2.6 Drivstoffpriser

Drivstoffprisene er som mye annet drevet av tilbud og etterspørsel, derfor er det vanskelig å kunne spå framtiden når det gjelder drivstoffene. Dette gjelder også elektrisitet for å lade batteriene. Figur 2.13 synliggjør utviklingen på en rekke drivstoff i de siste 8 årene. Prisene er gitt i amerikanske dollar per MWh.

Bergen Havn har nå installert landstrømsanlegg, og opererer med en fastpris på leveranse av elektrisitet til fartøy i næring. Tre priser blir benyttet [50]

- 1,50 kr/kWh lavspent
- 1,30 kr/kWh lavspent (ved hurtigrute kai)
- 2,20 kr/kWh + 10 000kr(oppkoblings avgift) høyspent. Dette gjelder da cruise næringen.

For å regne dette over til MWh kan dette ganges med  $10^3$  i tillegg kan prisen regnes om fra NOK til USD ved en ytterligere multiplikasjon på 0,12 USD/NOK (1/3-2021). Kursen fra USD til NOK ligger på omlag 8,5 NOK/USD.[51]

For brønnbåter vil prisen være 1,50 kr/kWh dette tilsvarer en kostnad på 180 USD/MWh noe som er langt høyere enn de andre drivstoffene i figur 2.13.

$$1,50kr/kWh \cdot 10^3kW/MW \cdot 0,12USD/kr = 180USD/MWh \quad (2.41)$$

Blir det tatt i betraktning at brønnbåter og servicebåter sjeldent legger seg til kai hvor det allerede er utviklet profesjonelle landstrømsanlegg, men tar utgangspunkt i hva en vanlig norsk forbruker (industriell forbruker) må betale per kWh blir regnestykket litt annerledes. Industri som ikke er kraftkrevende industri betaler 0,176 kr/kWh (1.3.2021) . [52]

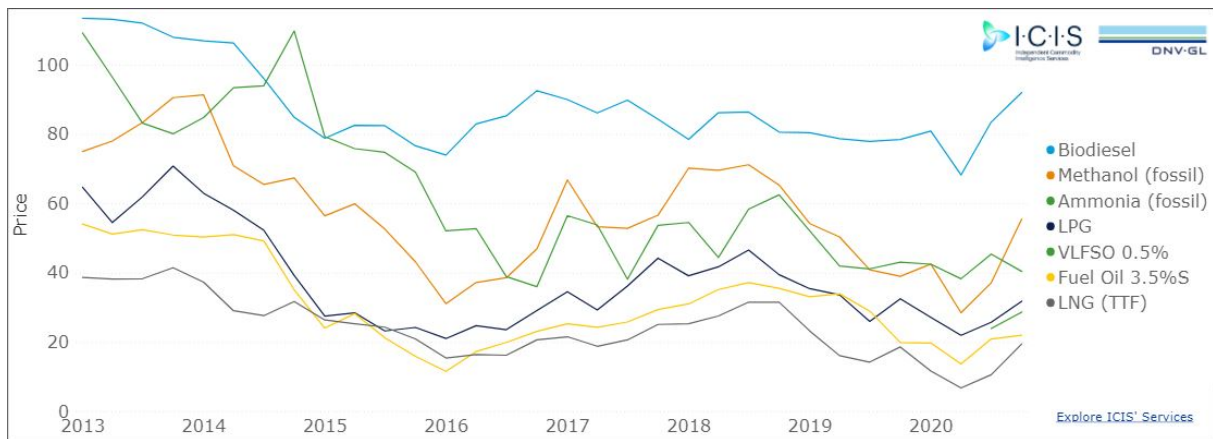
$$0,176kr/kWh \cdot 10^3kW/MW \cdot 0,12USD/kr = 21,12USD/MWh \quad (2.42)$$

Ved en industriell strømpris ser en tydelig at denne kostnadden er meget konkurransedyktig opp mot de rimeligste drivstoffene i figur 2.13. Her er det verdt å merke seg at nasjonale avgifter på drivstoff kan komme i tillegg til kostnaden som er synliggjort i figuren. Grunnen til at det er så mye høyere kostnad per kWh ved anlegget i Bergen i forhold til en industriell strømpris er vist som en samlet kostnad av strømpris, nettleie, avgifter, drift og vedlikehold, kabling, kabelhåndtering på land, og transformator.[50]

Hydrogen ble priset til 2,67 \$ /kg Dette tilsvarer en pris på (2,67 dollar/kg / 33.3 kwh/kg) = 0,0802 dollar/kWh dette tilsvarer 80,2 dollar/MWh med hydrogen. Prisen som her er oppgitt ble forhandlet i Canada i januar 2020, samtidig vil prisene for grå hydrogen være relativt lavere med en startpris på omlag 1,50 dollar/kg.[53] Men i denne oppgaven vil en fokusere på den grønne hydrogenen.

Etanol pris per 22/3-21 er 1,405 dollar /liter i Sverige for å beregne prisen over til MWh blir dette 1405dollar/m<sup>3</sup> noe som gir en pris på 240,5dollar/MWh. [54] Etanol prisen kan være noe høy grunnet den pågående pandemien, hvor etanol brukes i stor skala til desinfeksjon av overflater og hender.

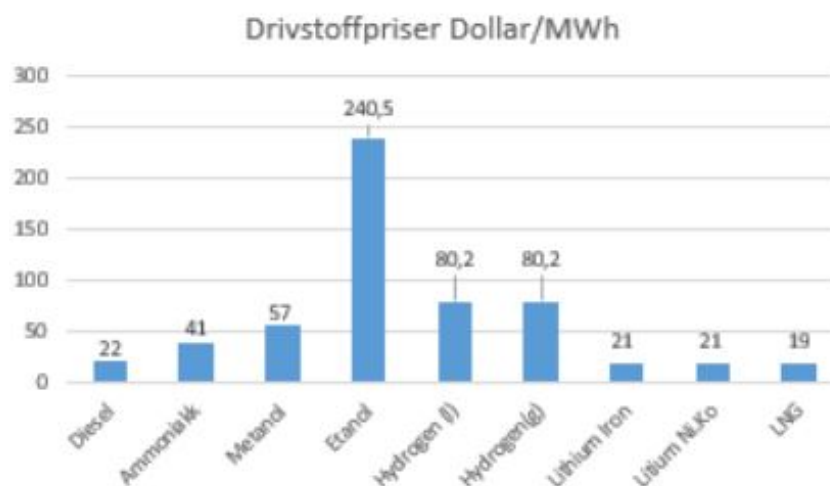
Drivstoffprisene vil være drivende for hvilke teknologier som vil være mest konkurransedyktig sett opp mot nåtidens diesel. Kostnadene som er synliggjort ovenfor er trender som en har sett, de sier ikke noe om hvordan utviklingen vil bli utover de neste årene. I tillegg er det ikke alle drivstoffene og produksjonsmåte som blitt tatt med i betraktningen. Som utgangspunkt vil dagens priser på fossil ammoniakk være billigere enn grønn ammoniakk. En forutsetning som er vesentlig



**Figur 2.13:** Prisene er gitt i USD per MWh drivstoff.

er tilgjengeligheten av drivstoffene og at det produseres tilstrekkelig for å kunne tilby markedet nok drivstoff. Dette er utfordringer som vil gjøre seg gjeldende på de fleste drivstoffene. En ser bare i dag med tanke på tilgjengeligheten av LNG at det ikke er utbygd nok bunkringsstasjoner for at fartøy ikke er avhengig av lastebiler for bunkring.

For produksjon av for eksempel hydrogen og ammoniakk er en avhengig av tilstrekkelig elektrisitet. Denne elektrisiteten vil igjen være avhengig av å være nullutslipp for at drivstoffene skal kunne sies å være grønne. Dette kan være med på å gi prisøkning, siden en ser at etterspørsel etter elektrisitet allerede øker med antall elektriske biler. For rederier som bygger fartøy idag, har normalt en levetid på sine fartøy mellom 20-30år. Trolig vil fartøyene møte strengere krav i tiden som kommer. Og risikoen med å satse på en type drivstoff er meget høy. Dette grunnet at det kan være teknologier som viser seg mer konkurransedyktig de neste årene, som gjør at tilbudet av den type drivstoff vil øke mens de andre minsker.



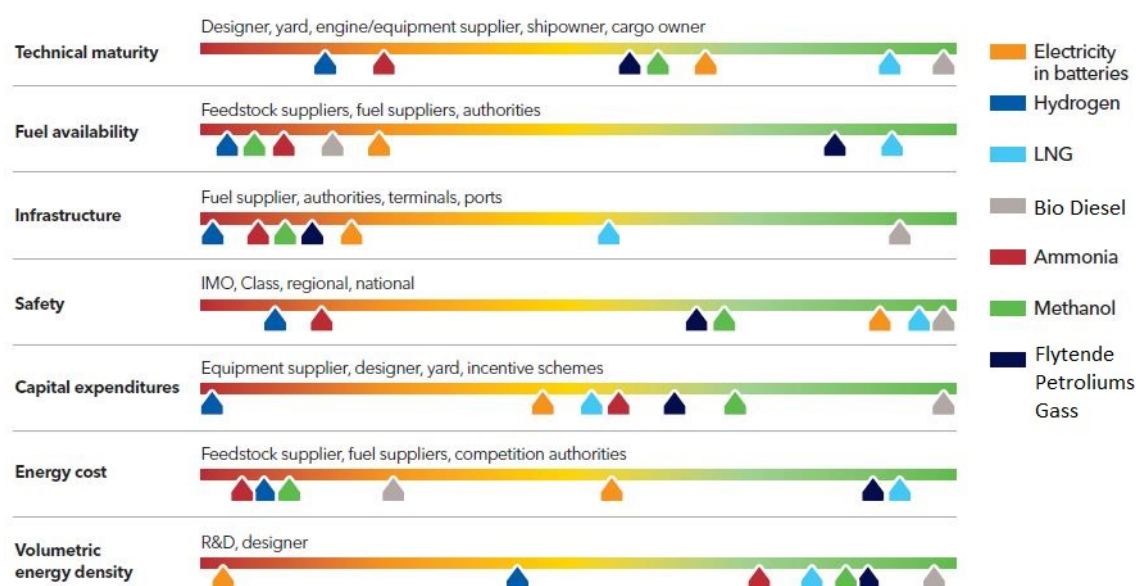
**Figur 2.14:** Drivstoffprisene sammenlignet med hverandre. Her ser en at prisene for petroleumbasert drivstoff er lav. De CO<sub>2</sub> frie drivstoffene er noe høyere priset med unntak av elektrisitet.

## Sammenligning av drivstoff

Hvert drivstoff har sine egenskaper og dette er satt i system av selskaper som driver med rådgiving til den maritime næringen. DNV (Det Norske Veritas) er ett av slike selskaper og har laget en oversikt over hvordan noen ulike drivstoff er i forhold til hverandre i år 2021. Dette er forhold som vil kunne utjevne seg etterhvert som teknologien og produksjonen av de alternative drivstoffene øker.

Figur 2.15 synliggjør flere av drivstoffene og hvordan de ligger an i forhold til hverandre på syv forskjellige områder. Dette er områder som vil bli utjevnet etterhvert som mer forskning og teknologiske barrierer er brutt.

Ser en på sikkerheten til drivstoffene vil dette trolig ligge nokså stabilt grunnet drivstoffets egenskaper. Derimot vil energikostnaden og infrastruktur stadig utjevne seg og de alternative drivstoffene vil være mer tilgjengelig og økonomiske bærekraftige.



**Figur 2.15:** Indikerer noen av barrierene for alternative drivstoff i 2021, og setter de opp mot hverandre. Grafen er hentet fra DNV-GL, bildet er modifisert. [55]

Fra figuren 2.15 kan en se at LNG gjør det godt på de aller fleste punkter. Dette synliggjør mye av situasjonsbildet i dag, hvor LNG er det tryggeste alternativet, om en velger å ikke bruke diesel. LNG har på mange måter fått en bedre start enn de andre alternative drivstoffene, men etterhvert som avgifter også vil treffe hardere på LNG, kan en se at dette vil påvirke for eksempel energikostnaden.

## 2.7 Energiomforming

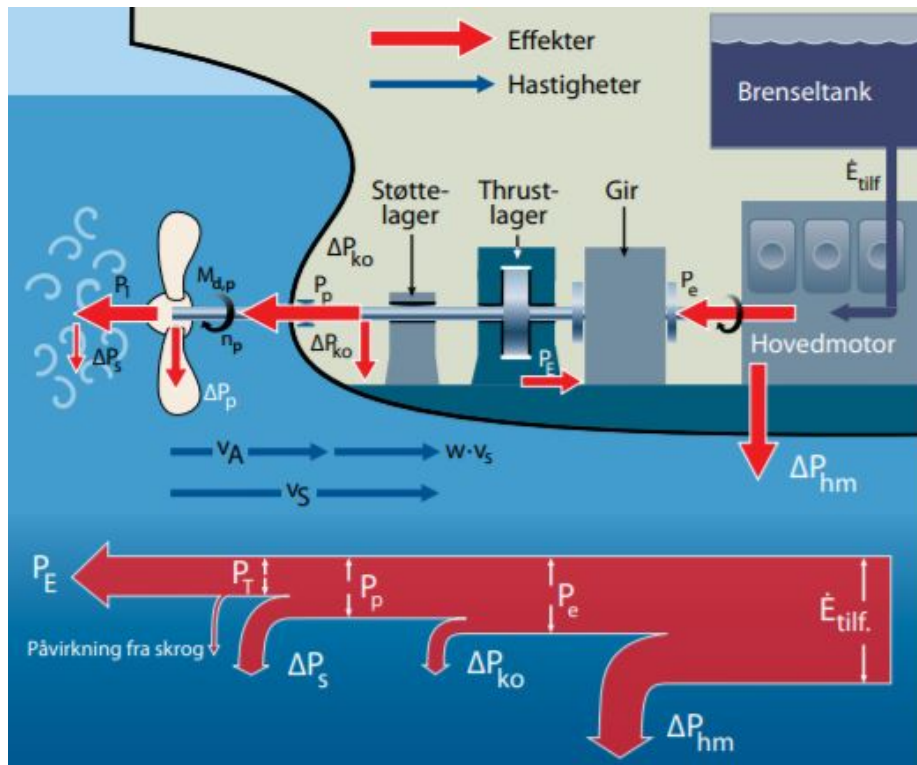
Energiomforming er det viktigste som skjer ombord i et fartøy. Omforming av drivstoff til framdrift på fartøy er essensielt, uten dette vil ikke fartøyet kunne klare å gjøre jobben den er tiltenkt. Energiomforming vil si å omforme energi til en annen energiform. Ved energiomforming vil det i henhold til termodynamikkens lover oppstå tap når energi går fra ett stadiet til et annet.

For fartøy vil energiomforming skje ved at en har kjemisk energi i form av ulike former for drivstoff. Den kjemiske energien i drivstoffet blir for eksempel omdannet til varmeenergi ved hjelp



av forbrenning, deretter omdannes varmeenergien til mekanisk energi som igjen er utnyttbar over til elektrisk energi via en generator.

Siden termodynamikkens lover sier at en vil ha tap i en energioverføringsprosess, kan en ved å se på forholdet av energi inn og ut av en prosess, få det som blir betraktet som virkningsgrad. Dersom en har komplekse prosesser med flere omformingsledd kan en se på hvor mye energi som blir tilført i form av drivstoff og hvor mye energi en får ut på aksingen som propellen henger på. I tillegg til framdrift vil det kreve energi for hotellvirksomheter og arbeidsprosesser ombord i fartøyet.

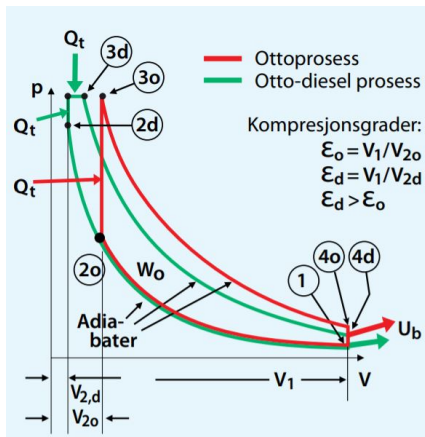


**Figur 2.16:** Viser hvordan energien taper effekt etter hvert ledd energien blir omformet fra en tilstand til en annen.[56]

Figur 2.16 synliggjør effekttapene fra den kjemisk bundet energi i drivstoffet til den mekaniske energien som får propellen til å rotere. Figuren illustrerer også med tap over propell fra mekanisk energi og over til kinetisk energi i form av bevegelse av fartøyet. Denne konfigurasjonen som er vist på figur 2.16, er ikke absolutt, flere og flere fartøy benytter elektrisk drevne propeller, hvor en har hovedmotorer som genererer elektrisitet til fartøyets forbrukere der iblant propellarrangementet.

### 2.7.1 Forbrenningsmotor

Forbrenningsmotoren er den typen som blir desidert mest benyttet idag. Den finner en både i biler og båter med forskjellige konstruksjoner etter hvilket drivstoff som blir benyttet som energigiver. Innenfor forbrenningsmotorer til fartøy er det dieselmotoren som er klart ledende, mye av grunnen er energitettheten i diesel og virkningsgraden til en dieselmotor. For forbrenning av LNG i form av metangass, vil det fungere bedre i form av en Ottoprosess, mens diesel forbrennes med en Ottodiesel prosess



**Figur 2.17:** Otto- og Ottodiesel-prosess synliggjort i ett PV-diagram [56]

*Ottosyklus:*

1-2o= adiabatisk kompresjon

2o-3o= Varmetilførsel under konstant volum

3o-4o= Adiabatisk ekspansjon

4o-1= Varmebortførsel  $U_b$ , Gassutveksling

*Otto- dieselsyklus:*

1-2d=Adiabatisk kompresjon

2d-3d=Varmetilførsel, under konstant volum og konstant trykk

3d-4d= Adiabatisk ekspansjon

4d-1 = Gassutveksling, varmbortførsel  $U_b$

Idealprosessene til otto og ottodiesel prosessene blir illustrert ovenfor i figur 2.17. I de to prosessene er det kompresjons og ekspansjons trinnene som utfører arbeid. Det er derfor verdt å legge merke til at om en har lik tilførsel av  $Q_i$  (varmemengde), vil en oppnå betydelig

høyere areal innad i grafen for en dieselmotor. Grunnen til dette er den økte kompresjonsgraden, som bidrar til økt temperatur i tennkammeret, i tillegg vil det høye trykket bidra til at forbrenningsprosessen foregår under meget høy temperatur opp til ca  $2500^{\circ}C$ . Slike temperaturer gjør også at temperaturfallet under ekspansjon er stor, som igjen bidrar til at en får god termisk virkningsgrad. [56]

Thermodynamikkens første lov sier at energi ikke kan oppstå eller tilintetgjøres, men at den kan skifte form dermed er energien bevart men i en annen form. Derimot sier termodynamikkens andre lov at varme kan kun gå fra varmt til kaldt og ikke motsatt. Denne betraktningen går på entropien innad i systemet. Ett helt isolert og lukket system har ikke mulighet til å utveksle varme med omverden og  $\Delta S = 0$ .  $\Delta S$  står for entropi forandringen i systemet.

Termodynamikkens første lov:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

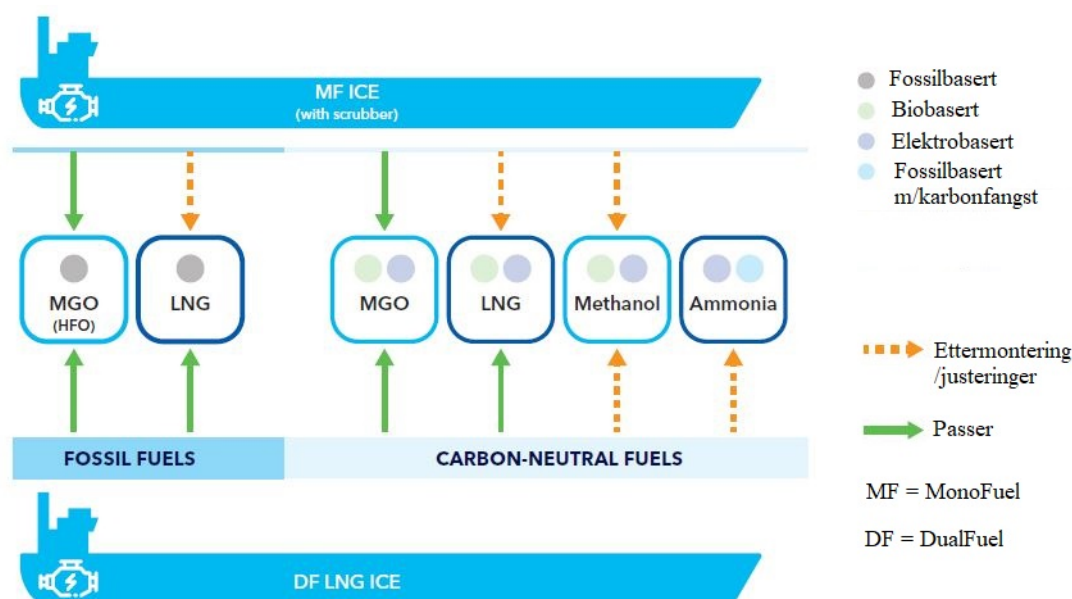
Termodynamikkens andre lov:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \Rightarrow T\Delta S = \Delta U + \Delta W$$

En dieselmotor vil med betraktninger på energimengde tilført i forhold til arbeid ut av motoren være større enn en otto-motor. Dette vil føre til at en dieselmotor krever mindre mengde drivstoff for likt arbeid i forhold til en otto-motor. Ett annet aspekt som er viktig i for oppgaven er hvilke brenslere som kan benyttes i de forskjellige motortypene. Ottomotoren kan både gå på bensin men også gass (metangass), som antennes ved en tennplugg. Det er også utviklet såkalt dualfuel-motor, denne benytter ikke en tennplugg med et pilotfuel. Pilotfuel er ett drivstoff som blir injisert til sylindere i små mengder, hvor det blir antent av høy temperatur i en gunstig luft gass blanding. Mengden av pilotfuel ligger under 1% av energiforbruket til dualfuel-motoren. [56, 57]

Valg av motortype kan være vanskelig, det finnes flere modeller med forskjellig omdreiningstall, størrelse, og behovet for effekt ut av motoren. Det finnes også flere måter å omgjøre energi fra en form til en annen, og flere måter å gjøre dette på. Innenfor forbrenning kan dette gjøres eksempelvis ved hjelp av en turbin eller en dempmaskin. Men i denne oppgaven blir forbrenningsmotorer i form av diesel, otto eller dualfuel diskutert som alternativer. Dette er motorer

som fungerer med stempelprinsippet, mens en turbin fungerer under strømningsprinsippet. Oppgaven benytter seg ikke av de ulike prosessene ei heller termodynamikkens lover annet enn å synliggjøre dette, slik at leser skal få et inntrykk av hva som blir omtalt videre i oppgaven.



**Figur 2.18:** Synliggjør Monofuel og Dualfuel motortypene og hvilke drivstoff som passer de to typene. Bildet er modifisert.

Fra figur 2.18 ser en at det er tørre variasjon av drivstoff kapabilitet mellom en dualfuel motor og en monofuel motor. Forskjellen på motorene er i hovedsak at en monofuel motor er spesiallaget til å forbrenne ett type brensel, mens en dualfuel motor har mulighet til å endre drivstoff enkelt ved å endre små parameter for å effektivisere forbrenningen. Der er også forskjeller når det kommer til energiutnyttelse, antennelsesmetode og utlipp av gasser. Figur 2.18 synliggjør også flere av de alternative drivstoffene og måten de kan bli produsert på.

## 2.7.2 Brenselcelle

Brenselcelle er en teknologi som kan vise seg å bli veldig viktig i årene som kommer. Brenselcellene har mulighet til å utnytte kjemisk energi til elektrisk energi innenfor et lukket system uten bruk av mekanisk bevegelige deler. Det kan dermed sees på som et gassfylt batteri. Forskjellen ligger i at i et batteri er alle reaktanter og produkter lagret inne i batteriet, mens i en brenselcelle tilføres reaktantene kontinuerlig mens produktene tappes av. På samme måte som batterier består en brenselcelle av anode (negativ) og katode (positiv) side.

Brenselcelle fungerer også som et batteri når det kommer til levetid, her går det ikke nødvendigvis på antall sykluser, men på antall timer det er i drift og hvordan driftsprofilen ser ut. Det oppleves stor forskjell på et system som får kjøre kontinuerlig uten endringer i effekter og start/stopp, enn et system som startes ofte og stresses opp og ned i effekt. Brenselcellen dør ikke plutselig ut, den taper effekt ut over livsløpet.[58]

Det finnes flere typer brenselceller hvor noen av typene har mulighet til å utnytte flere typer gass som brensel. Den mest vanlige typen i biler er PEMFC brenselcellen.

## PEMFC

PEMFC står for Proton Exchange Membrane Fuel Cell, også kalt PEM. Denne løsningen krever ren hydrogen ( $H_2$ ) for at membranen ikke skal tettes til av partikler. Denne typen brenselcelle er blant typene som er mest utviklet, og er det mest brukte systemet innenfor brenselcelle. PEM cellen har et kompakt design, noe som fører til at systemet oppnår høy energi i forhold til vekt på systemet hele 100-1000W/kg.[59] I tillegg til dette har den relativt kort responstid på oppstart når en tilfører hydrogen. Dette er en fordel for kjøretøy hvor det er mye start og stopp. Virkningsgraden til PEM brenselcellen ligger normalt mellom 45-50%. En annen fordel er at PEM brenselcellen har relativt lav driftstemperatur på ca 80 °C, noe som gjør at den er mindre farlig ved eventuelle uhell. I tillegg bidrar den lave temperaturen til at brenselcellen er fleksibel i operasjon, og lavere krav til materialer gjør denne typen egnet for transportsektoren.

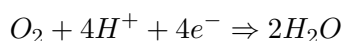
Det er imidlertid ikke bare positive aspekter med brenselceller, hver modell har ulike fordeler og ulemper. Ulempene for PEM brenselcellen er at den har en høy kostnad grunnet dyre materialer. I tillegg kreves et avansert system for fukting av membranen inne i denne cellen, dette fordi en ikke ønsker for tørr og heller ikke for fuktig membran. På større systemer fuktes gassen før den mates inn på cellen, dette for å ha kontroll på fuktighetsnivået til membranen. Brenselcellen krever rent hydrogen, ved uren hydrogengass vil membranets porer tettes. Membranet inneholder platinum som katalysator gjør at brenselcellen får høyere kostnader, i tillegg kan cellen bli forgiftet av karbonmonoksid ( $CO$ ) og svovel ( $S$ ).

På figur 2.19 er det synliggjort en skjematisk framstilling av en PEMFC brenselcelle, hvor hydrogenet kommer inn fra venstre til anoden hvor det negative ladede elektronet blir tatt opp. Videre fraktes hydrogen-ioner igjennom elektrolytten som består av sulfonert polymer. Elektrolytten vil virke elektrisk isolerende, men vil slippe gjennom hydrogen-ioner. I og med at elektrodene (anode og katode) inneholder platinum, vil de sette fart på reaksjonene (katalysator). Avfallstoffet fra PEM brenselcellen er rent vann ( $H_2O$ ).

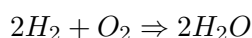
Anode reaksjon



Katode reaksjon

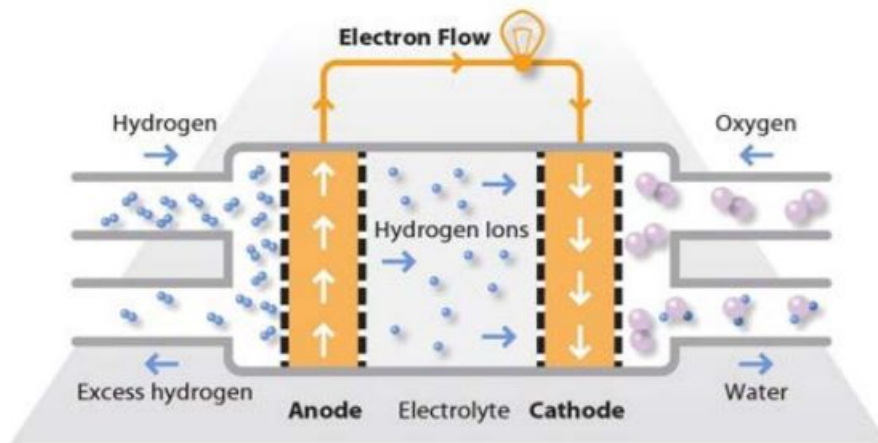


Totalreaksjonen



### Høytemperatur PEMFC

Hovedforskjellen mellom PEMFC og høytemperatur (HT-PEMFC) er operasjonstemperaturen. Mens den normale PEM brenselcellen opererer på temperaturer rundt 80°C, vil temperaturen i en (HT-PEMFC) være opp til 200 °C. Dette gjøres ved at elektrolytten byttes ut fra en vannbasert til en syreholdig elektrolytt. Fordelene ved bruk av denne teknologien i forhold til PEM er at systemet er mindre sensitivt for  $CO$ - og svovel-forgiftning, og trenger ikke fuktarrangement for å forhindre tørr membran. I tillegg kan overskuddsvarmen utnyttes til intern oppvarming ombord på fartøyet. Den elektriske effektiviteten til en slik høytemperatur PEM celle er 50-60+% noe som ligger rett over den originale PEM brenselcellen. Ved utnytting av overskuddsvarme er det mulig å oppnå en enda større utnyttelsesgrad.[59]



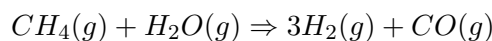
**Figur 2.19:** Skjematisk oversikt av Proton Exchange Membrane Brenselcelle [59]

## SOFC

Solid Oxide Fuel Cell, SOFC er en høytemperatur brenselcelle som opererer med temperaturer mellom 500-1000°C. Fordelene med høy temperatur brenselcelletypene er at de har mulighet til å gå på LNG eller andre karbonholdige drivstoffer som etanol, metanol, diesel og til og med ammoniakk.[59]

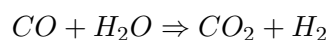
Siden brenselcellen opererer under høy temperatur er det mulig for brenselcellen å gjøre intern omdanning av LNG til hydrogen. Dette gjøres ved hjelp av damp-reforming. Damp-reforming er også mulig å gjøre for andre drivstoff, slik at brenselcellen kan gå på ulike drivstoff, som en hydrogenbærer.

Elektrolytten i en SOFC brenselcelle består av ett porøst keramisk materiale, som anodemateriale benyttes det en nikkellegering som vil virke som en katalysator på reformingsreaksjonen. Reformingsreaksjonen i et tilfelle med LNG matet brenselcelle vil se slik ut  
Reforming med Ni-anode katalysator:

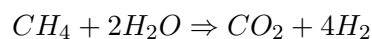


Forholdet mellom  $CO(g)$  og  $H_2(g)$  i brenselet vil regulere seg selv ved hjelp av vann-gass shift reaksjonen, som skjer mellom de to gassene.

Shift reaksjonen:

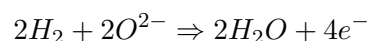


Totalreaksjonen for gassreforming er gitt som:

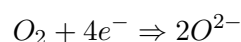


Katode og anode reaksjonene er annerledes for SOFC i forhold til PEM, derimot er totalreaksjonen helt lik.

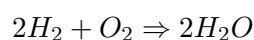
Anode reaksjon



Katode reaksjon

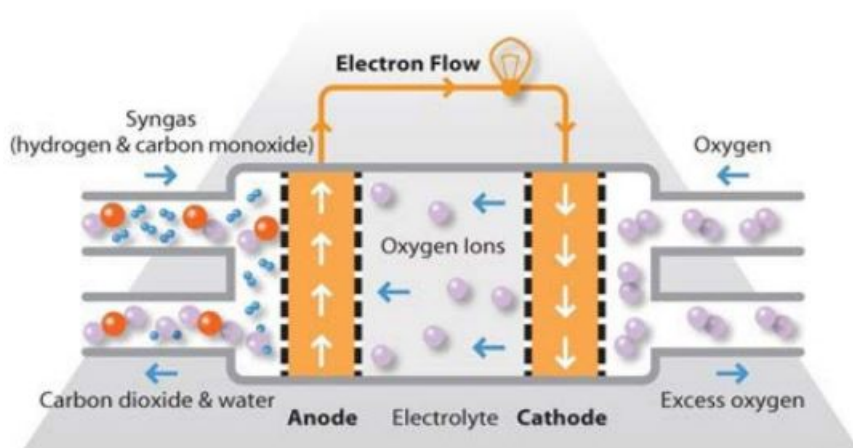


Med dette får en lik totalreaksjon som ved PEM brenselcellen som er vist ovenfor, men gjengitt her:



Det som er spesielt med SOFC er at avfallet fra brenselcellen kommer ut på anode siden, i form av vann og karbondioksid. Karbondioksid oppstår kun om brenselcellen fødes med karbonholdig brensel. Mens i en PEM brenselcelle kommer vannet ut på katode-siden. Grunnen for dette er at det er oksygen-ionet som er ledningsbærende og går fra katode til anode som vist på figur 2.20.

Fordelene ved bruk av en SOFC er at den har relativ høy virkningsgrad som ligger i området 50-60%, og på grunn av høyverdig varme fra brenselcellen kan denne utnyttes og en virkningsgrad på opp til 85% er mulig ved hjelp av varmegjenvinning. I kombinasjon med batteri for peak-shaving vil en redusere den termiske belastningen på brenselcellen, og i tillegg sikre seg mulighetene for mer fleksibel operasjon av energisystemet. [59]



**Figur 2.20:** Skjematisk tegning av SOFC, merk at det ledningsbærende ionet er oksygen. [59]

## MCFC

Molten carbonate fuel cell (MCFC) er en høytemperatur brenselcelle på lik linje med SOFC brenselcellen. MCFC opererer med lavere temperaturer enn SOFC men samtidig er de relativt høye, 600-700°C. Brenselcellen består av smeltet karbonatsalt, og trenger ikke dyre edelmetaller som katalysator. Her består anoden av en nikkel-legering, og katoden av nikkeloksid, som er dopet med litium inn i strukturen. [59]

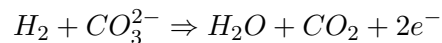
Den høye temperaturen gjør at denne brenselcelle-typen også er fleksibel ovenfor valg av drivstoff. Grunnen til dette er at det vil skje damp-reforming på lik linje som i SOFC brenselcellen. Hvor den høye temperaturen gjør at drivstoffet spaltes og hydrogenet vil opptre selvstendig og ikke i en binding.

Fordelene tilknyttet denne brenselcellen er at den er en effektiv brenselcelle, med virkningsgrad i området 50-60%. MCFC vil ha lavere kostnader knyttet til anode, katode og elektrolytt materialer. Det oppstår også høykvalitets varme fra brenselcellen, denne varmen er mulig å utnytte, noe som gjør at totalvirkningsgraden er mulig å presse til hele 85%. [59]

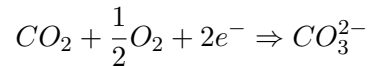
Negative aspekter med MCFC er at den høye temperaturen gjør systemet mer sårbart for slitasje og korrosjon av komponenter grunnet saltsmelte elektrolytten. I likhet med SOFC har MCFC en lang oppstartstid, noe som gjør at den er mindre fleksibel mot raskt endret energibehov. Her vil en kombinasjon med batteripakke for peak-shaving være gunstig for at brenselcellen skal kunne gå så stabilt som mulig. Batteripakke i tilknytning til en slik brenselcelle kan føre til mindre

termisk stress for brenselcellen, i tillegg vil batteripakken føre med seg større fleksibilitet for energisystemet ombord på fartøyet.

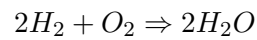
Anode reaksjon



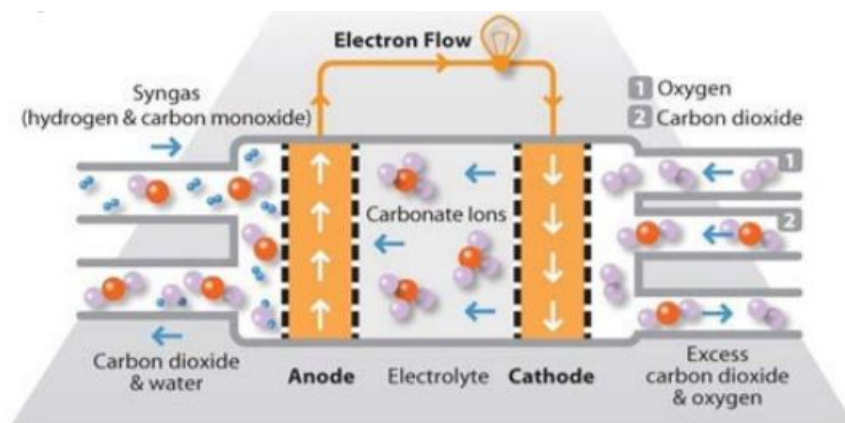
Katode reaksjon



Totalreaksjonen er lik som de andre brenselcellene:



MCFC brenselcellens ledningsbærende ion er karbonation  $CO_3^{2-}$ , og siden det ledningsbærende ionet er negativt vil produktet vann, ( $H_2O$ ) dannes på anodesiden. På figur 2.21 illustreres en skjematisk oversikt over hvordan ionene beveger seg i brenselcellen og hvordan tilførsel av oksygen og karbondioksid må gjøres på katodesiden. En liten ulempe med denne type brenselcelle er at karbondioksidet må resirkuleres fra anodesiden til katodesiden, noe som fører til et avansert manifold system.



**Figur 2.21:** Skjematisk oversikt av Molten Carbonate Fuel Cell [59]

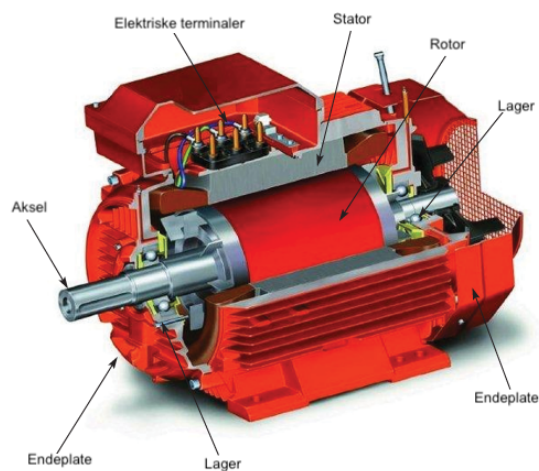
### 2.7.3 Elektromotor

For å utnytte den elektriske energien som blir generert i en brenselcelle, og omgjøre dette til mekanisk energi trenger fartøyene en elektromotor. Ikke bare kan en elektromotor danne mekanisk energi fra elektrisitet, men den kan også omforme mekanisk energi til elektrisk energi. Når en danner elektrisk energi fra mekanisk energi kalles det en generator. Det finnes flere forskjellige løsninger som er aktuelle innenfor bruk på fartøy. I hovedsak har en to forskjellige systemer, vekselstrømsmotorer og likestrømsmotorer. I denne oppgaven vil det bli vektlagt vekselstrømsmotoren og de typene som finnes innenfor dette segmentet. Innenfor vekselstrømsgeneratorer og motorer, vil en finne *synkronmotor* og *asynkronmotor*.

#### Synkrongenerator

En synkrongenerator er en vekselstrømmaskin som ved hjelp av diverse komponenter inducerer en spenning. Synkrongeneratoren kan dateres helt tilbake til 1891. I en internasjonal elektroutstilling ble det demonstrert hvordan store mengder vekselstrøm kunne overføres de drøye 110 milene mellom Frankfurt og Lauffen i Tyskland. Av praktiske grunner bygges vekselstrømmaskiner med faststående anker, kalt stator, og med roterende magnetsystem, ved hjelp av en rotor. En synkrongenerator kalles en synkronmaskin fordi polfeltet og ankerfeltet alltid følger hverandre, og derav betegnelsen *synkron*. [60]

I figur 2.22 er det visualisert hvordan en generator kan være oppbygd. I alle generatorer er det en rotor og en stator, som begge kan være stillestående eller roterende. Statoren er armaturet i generatoren som har til hensikt å produsere elektrisitet. Rotoren sin oppgave i generatoren er å levere den mekaniske effekten inn i generatoren, og motsatt om den blir benyttet som motor. Øverst i figur 2.22 er det elektriske terminaler som er tilkoblingspunktene hvor en kan ta ut den induerte spenningen som oppstår i generatoren. På begge endene av generatorhuset er det en endeplate for å beskytte generatoren mot ytre påkjenninger. På endeplaten til høyre i figuren er det et gitter som viser hvordan det kan plasseres vifteblader bakerst på generatoren til nedkjøling. Dette gjøres for å redusere den indre resistansen i de strømledende delene i generatoren, siden resistansen øker med temperaturen. I tillegg er det i figuren et aksel med lager, slik at akslingen kan rotere i generatoren uten å slite ned generatoren. [61]



**Figur 2.22:** Oppbygging av en generator. Bildet er modifisert. [62]



## Asynkrongenerator

Asynkrongeneratoren drives også rundt av ett roterende magnetisk felt. Asynkrongeneratoren har ikke lik rotasjonshastighet på magnetfeltet til stator i forhold til rotor. Ved belastning oppstår dette fenomenet at rotor roterer saktere enn stator, dette kalles sakking.

Stator vil på lik linje med synkronmaskinen være tilknyttet trefase nettet. Den store forskjellen ligger i rotor, hvor denne ikke er tilkoblet elektrisitet. Siden statorviklingen ikke blir tilknyttet det elektriske nettet for å skape en induert spenning, er rotor ofte bygget som et bur (squirrel cage). En vil ofte omtale rotor i en asynkronmaskin som kortsluttet siden den ikke er tilkoblet en ekstern strømkrets. Rotoren er derimot oppbygget av staver med kobber og aluminium, som erstatter viklinger. Måten dette er bygget på gjør at vedlikehold og levetid på slike motorer normalt sett er bedre enn på synkronmaskinene. Ved økt belastning vil også forholdet mellom stator og rotor feltet bli større, mens ved dreiemoment lik null, vil sakkingen bli null og de er synkron, men i operasjonell drift vil der alltid være sakking for at det skal bli mekaniskmoment fra maskinen.

Det er normalt å koble asynkronmotoren i stjerne/trekant konfigurasjon under oppstart, dette gjøres for at kortslutningstypen ved (squirrel cage) får fullt tilslag med en gang noe som fører til høy startstrøm. En annenform for å skape en myk start av maskinen er ved bruk av sleperinger og justerbare motstander i rotorkretsen.

Hastigheten på asynkronmotoren blir bestemt av antall poler ( $P$ ) frekvens ( $f$ ). Viklingene i stator er laget slik at det oppstår ett dreierende magnetisk felt i motoren, når motoren blir matet med trefase spenning. Synkronturtallet til stator ( $n_{synk}$ ) er gitt av ligningen 2.7.3.

$$n_{synk} = \frac{120f}{P}$$

For å finne rotorens mekaniske omdreiningshastighet benyttes sakking i funksjonen. Sakking ( $s$ ) er en

$$nmek = (1 - s) \cdot n_{synk} \quad (2.43)$$

Dette magnetiske dreiefeltet induserer en spenning i rotorkretsen. Den induerte spenningen gjør at en får magnetiske krefter som setter igang ett dreiemoment [ $\theta_{indusert}$ ] slik at rotoren vil rotere med den magnetiske stator bevegelsen. konstanten  $k$  vil her være en variabel som er avhengig av motorens konstruksjon og permeabilitet. Permeabilitet er ett mål på hvor mye et materiale blir magnetisert av ett ytre magnetfelt. [63]

$$indusertdreiemoment\theta_{indusert} = (k \cdot B_r) \cdot B_s \quad (2.44)$$

Sakking vil være ekstremt viktig, dette for at det skal være forskjell på rotor og stator omdreiningshastighet. Ved ulike omdreiningshastigheter blir det induert en spenning, som igjen induserer en strøm, som lager magnetfelt rundt stator. Magnetfeltene vil påvirke hverandre og en rotasjon vil oppstå i rotorkretsen. Ligning 2.43, synliggjør at ved lik rotor og stator hastighet, blir sakking én. Når sakking blir én så vil produktet av hele ligningen bli null. Dette vil si at det ikke blir induert spenning i rotorkretsen, som igjen er det som skaper dreiemomentet for motoren.

## 3 Metodikk

Dette kapittelet forklarer tilnærmingen for å løse problemstillingen i oppgaven. Videre vil kapittelet inneholde informasjon om prosessen, metoder og standarder som er brukt i denne oppgaven.

### 3.1 Kvalitativ forskningsmetode

Kvalitativ forskningsmetode er en metode som baserer seg på menneskelige erfaringer og hendelser. Metoden kan være basert på blant annet ustrukturerte intervjuer, deltagende observasjon eller prosessering av innhentet data. Metoden er ofte benyttet ved hjelp av spørreundersøkelser eller intervju med informanter. [64]

Denne oppgaven har basert seg på intervjuer med informanter, samt epost utveksling. Data som ble samlet inn under informasjons-innhentingsfasen av oppgaven ble håndtert på kvalitativ måte. Med dette menes at den innsamlede informasjonen ga en forståelse av hvordan selskapene forholder seg til det grønne skiftet i praksis.

### 3.2 Kvantitativ forskningsmetode

I motsetning til kvalitativ forskningsmetode, er kvantitativ forskningsmetode brukt for å legge frem målbare resultater, i form av statistikk eller andre målinger. Ofte er disse resultatene lagt frem ved hjelp av grafer eller tabeller. [64, 65]

I vurderingen av forskningsmetode for denne oppgaven, var et interessant aspekt rundt Sintef undersøkelsen [66]. Det ble vurdert hvorvidt en spørreundersøkelse kunne ha gitt vesentlig informasjon til oppgaven under informasjons-innhentingsfasen, men grunnet oppgavens omfang ble det vurdert som unøyaktig og dermed irrelevant. Det ble derimot benyttet direkte kontakt med utvalgte selskaper innen brønnbåt og oppdrettsnæringen.

Kvantitativ forskningmetode er derimot brukt i denne oppgaven for å legge frem resultatene, samt under drøftingsdelen. Dette ble besluttet da det ansees som den mest effektive metoden for denne oppgaven. Excel ble benyttet som regneark, under alle resultattabellene. Excel er et utmerket hjelpemiddel når en behandler data for forskjellige drivstoffer og motoroppsett.

### 3.3 Informasjonsinnhenting

Informasjonsinnhenting startet ved å hente informasjon fra internett om diverse regler og lover rundt utslipp, samt målsetninger til de ulike internasjonale myndigheter. Deretter ble det gjort informasjonsinnhenting av kjemiske data fra Boken SI Chemikal Data [23], som senere ble brukt til å finne drivstoffenes egenverdier. For å finne data rundt energiforbruket til en brønnbåt ble dette innhentet via intervju og epostforbindelse med flere rederier. Dette for å underbygge at oppgitte energibehov var i omtrentlig samsvar og korrekt som mulig.

### 3.4 Utvikling av operasjonsprofil

Utvikling av operasjonsprofil er et viktig verktøy for å kunne ha forståelse for hvordan fartøyene i oppdrettsbransjen driftes. Det vil følgelig være store usikkerheter tilknyttet energibehov innenfor de ulike arbeidsoppgavene til slike fartøy. Dette kan løses ved å gjøre direkte avlesninger ombord i fartøyene, eller en kan følge fartøyet på AIS-tracking for å få omtrentlige tall. Ved AIS-tracking har en mulighet til å overvåke flere fartøy, bakdelen er at resultatene blir omtrentlige og ikke eksakt.

## Driftsmønster

Skal en kunne beregne energiforbruket til et fartøy er det viktig å kunne ha en forutsetning for å se på energiforbruket. For å få en samlet oversikt over energien som behøves på et fartøy er det nødvendig å foreta en analyse av driftsmønsteret. Dette for å kunne se hvor lenge de driver med ulike operasjoner. Operasjonene som blir analysert i denne oppgaven er:

- Kai-ligge
- Seilas uten last
- Seilas med last
- Operasjon ved oppdrettsmerd
- Levering til slakteri (pumpeoperasjon)
- Manøvrering (venting på merd eller kaiplass)

*Kai-ligge* vil være når fartøyet ikke har arbeid og fartøyet avventer på nye oppdrag, eller at det er så mye vind og vær at fartøyet ikke kan operere trygt langs oppdrettsanleggene. Når fartøyet ligger til kai er det minimalt med energiforbruk. Dette er fordi eneste som trenger å være operativt er hotelldriften ombord i fartøyet. Ved hotelldrift regnes belysning, oppvarming, matlaging og diverse annet som er i bruk inne i innredningen til fartøyet.

*Seilas uten last* vil påvirke fremdriften i stor grad, dette er fordi brønnbåter har stor forskjell i dypgang fra tomt fartøy til fullastet fartøy. Når skipet er uten last vil fartøyet flyte høyt i sjøen, noe som vil minske motstanden i vannet. Hvor stor påvirkningen vil være er avhengig av skrog form og de hydrodynamiske egenskapene til skroget. Når fartøyet ikke er lastet og dermed har lav vekt, vil det også påvirke manøvreringsegenskapene i stor grad. Det er kun ved kailigge og ved enkelte seilaser at fartøyet går med tomme brønner.

*Seilas med last* vil være det motsatte enn ved uten last. Her vil fartøyet ha et mye større dypgående, og den totale vekten som er i bevegelse er vesentlig større. Dette vil føre til at energibehovet ved fremdrift vil øke. I tillegg vil sirkulasjonspumper og oksygenanlegg være operative slik at fisken som blir fraktet har det så godt som de kan få det under slike seilaser. Sirkulasjonspumpene må være i drift under lukket kjøring, men under åpen kjøring tas det vann inn i brønnene mens fartøyet gjør fart igjennom vannet. Her vil flere av de store forbrukerne i fartøyet være aktiv, noe som gir utslag på energibruken.

*Operasjon ved oppdrettsmerd* Operasjonene ved oppdrettsmerd vil være varierende om fartøyet lastes med fisk eller om fartøyet driver med avlusing. Ved lasting av fisk, vil det være flere forbrukere som trekker effekt. Dette vil både være for de store sirkulasjonspumpene men også for hydraulikk for kranene. Følgelig vil også hotelldrift trekke like mye energi som ved de andre operasjonssyklusene. Ved lasting av laks er det vanlig å gjøre dette ved at en setter ett lite undertrykk i brønnene (fiske tankene), slik at en bruker heverteffekten til å suge laksen inn i fartøyet. Dette er en skånsom måte for fisken, som slipper å måtte gå via ett vakuumanlegg.

*Levering til slakteri (pumpeoperasjon)* vil være når fartøyet ankommer slakteriet. Under oppholdet på slakteriet vil hydraulikken være i drift for å kunne kjøre kranen som holder leverings-slangen. Det vil også være forbruk tilknyttet sirkulasjonssystemet og skyveskottene i brønnene. Skyveskott er som ett tett gitter som beveger seg slik at oppholdsrommet til laksen blir mindre og mindre etterhvert som laksen blir pumpet ut.

*Manøvrering* vil være når fartøyet er ankommet lokasjon og venter på anvist merd eller kaiplass. Ved avlusingoperasjoner er det normalt at det kan bli noe venting og manøvrering før en kan

gå inn til oppdrettsmerdene. Dette vil være grunnet at fartøyet må skifte ut vann som er blitt benyttet i avlusning eller at personellet på oppdrettsmerden ikke er klar til å ta imot fartøyet. Da vil fartøyene normalt sett ligge med framdriftsmaskineri og manøvrere seg opp mot været. Normalt gjøres dette på en drivstofføkonomisk måte.

De forskjellige operasjonene til en brønnbåt har følgelig forskjellig energibehov. Energiforbruket er avhengig av utstyr som er i drift, samt om framdriftsmaskineriet går. Det er laget en tabell for å synliggjøre forskjellene i energibehov for de ulike operasjonene til brønnbåter. I tabell 3.1 er det synliggjort omtrentlige verdier etter hvilke situasjon fartøyet befinner seg i. Verdiene er overlevert fra Dess Aqua via epost forbindelse [67].

**Tabell 3.1:** Verdiene er omtrentlige verdier gitt for en brønnbåt med dieselelektrisk drift. Verdiene er gitt per døgn [67]

Driftssituasjon	Dieselforbruk $m^3$	Energi fra dieselen $MWh$
Kailigge	1,2-1,5	11 - 14
Seilas økonomisk fart	9-10	82 - 91
Seilas med last	10-11	91 - 100
Operasjon ved merd	3-5	27 - 46
Levering til slakteri	3-4	27- 36
Manøvrering	4-6	36 - 54

For å beregne energiforbruket til et fartøy, er det viktig å kjenne driftsmønsteret. Dette vil da si hvor lenge ett fartøy opererer de ulike aktivitetene over en gitt periode. For å få til dette blir det tatt i bruk AIS-data for å kunne se hvordan bevegelsene til fartøyene har vært over en gitt periode. For å synliggjøre at brønnbåtene kan drive med ulike aktiviteter, tas dermed flere fartøy med i driftssyklus-analysene.

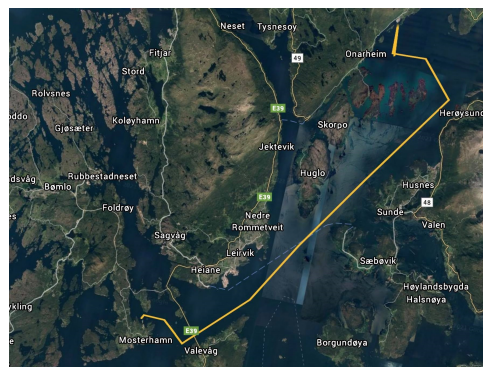
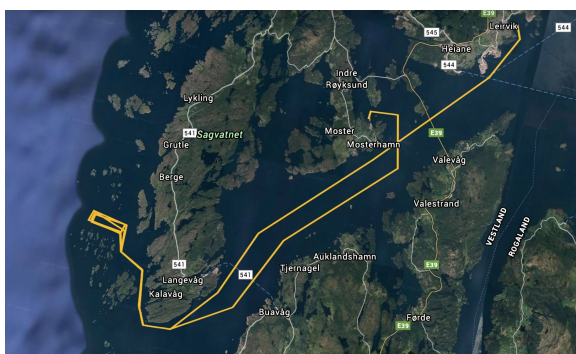
### 3.4.1 Driftssyklus basert på AIS-data

Fartøyene som er fulgt med AIS er fartøyene fartøy A og fartøy B. Fartøyene opereres på forskjellige geografiske lokasjoner og driver med ulike type arbeid i tidsrommet som er analysert. Dette for å synliggjøre at det er ulikt energiforbruk etter ulike arbeidsoppgaver.

For å få en mer synlig oversikt overbevegelsene, er det laget ett AIS-track av fartøyene, se figur 3.1 og 3.2. Dette er informasjon som er åpent tilgjengelig i ett bedrenset tidsrom, det er derfor laget omtrentlige slepestreker i området hvor fartøyet opererte i tidsrommet som er presentert i tabellene 3.2 og 3.3.

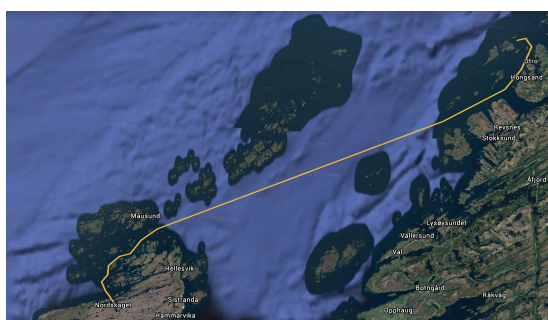
Bruker en AIS-data, kan en finne ut hvor lenge fartøyet opererer i de forskjellige aktivitetene. Ut fra dette kan en også finne ut omtrentlig energiforbruk per tur og døgn. Dette kan igjen være til hjelp når logistikk-ansvarlige skal planlegge bunkring av fartøyet. Men kan også være til hjelp ved implementering av nye alternative drivstoff. Grunnen til dette er at en vil ha samme energibehovet gitt at en har lik driftsprofil.

Som en ser ut fra tabell 3.1 er verdiene i tabellen være når fartøyet driver med samme operasjon i ett døgn. Det er derfor nødvendig å dele på 24 timer i døgnet og multiplisere med antall timer i driftssituasjonen. Gjøres dette for hver driftssituasjon på en seilas, kan en finne ut omtrentlig



(a) Fartøy A driver med avlusning eller sortering av laks i ytre deler av Hardangerfjorden. (b) Fartøy A forflytter seg innover Hardangerfjorden for videre sortering/avlusning.

**Figur 3.1:** Synliggjør området hvor fartøy A arbeidet i tidsrommet 13/3-21 til 15/3-21. Total tid i forskjellige driftssituasjoner finnes i tabell 3.2



(a) Fartøy B driver med frakt av laks over Frohavet, (b) Fartøy B henter laks ved oppdrettsanlegg sør for lite liggetid ved merd og lengre utseilt distanse. Hitra og leverer tilbake til Nordskaget

**Figur 3.2:** Fartøy B driver med frakt av laks som skal til slakteriet på Nordskaget, i tidsrommet 14/3-21 til 16/3-21. Total tid i forskjellige driftssituasjoner finnes i tabell 3.3

hvor mye energi som kreves. Brønnbåter kan benyttes til flere forskjellige aktiviteter, derfor har oppgaven tatt for seg tre forskjellige brønnbåter med forskjellig driftsprofil. Dette er gjort for å synliggjøre at det kan være forskjellig operasjonsmønster og energibehov selv om det er lik fartøystype. Brønnbåtene som er benyttet er fartøy A og fartøy B, som også opererer på geografisk forskjellige steder. Det tredje fartøyet er fartøy C som ikke benytter AIS-data, men måledata er innhentet fra fartøyet.

**Tabell 3.2:** Synliggjør driftssyklusen til fartøy A i Hardanger-området, i perioden 13/3-21 til 15/3-21. I tillegg fremkommer energibehovet til hver situasjon i denne perioden.

Driftssituasjon	Tid i driftssituasjon $h : min$	Energi påkrevd i tidsperiode $kWh$
Kailigge	6:50	3100
Seilas økonomisk fart	9:15	31600
Manøvrering	12:15	18600
Operasjon ved merd	26:35	30300
Sum	54:55	83600

Fra tabellene 3.2 og 3.3 ser en at operasjonsmønstrene varierer. Det vil selvsagt være forskjellige årsaker til dette, hvor fartøy B driver med ordinær brønnbåt drift, er det synlig at fartøy A enten

**Tabell 3.3:** Synliggjør driftssyklusen til fartøy B i Hitra/Frøya området, i perioden 14/3-21 til 16/3-21. I tillegg fremkommer energibehovet til hver situasjon i denne perioden.

Driftssituasjon	Tid i driftssituasjon $h : min$	Energi påkrevd i tidsperiode $kWh$
Seilas økonomisk fart	10:30	30800
Seilas med last	9:00	35300
Operasjon ved merd	4:35	5200
Levering til slakteri	30:40	34700
Sum	54:45	106000

driver med avlusning eller sortering av laks. Tidsbruken som fartøy B bruker ved slakteriet er sikkert, men om fartøyet driver levering i hele tidsrommet er noe usikkert. Siden det ikke framkommer mer data, må en gå ut i fra at en leverer i hele tidsrommet. Det kan derfor tenkes at totalt energiforbruk er noe høyere enn hva den kan være.

### Lagret energi ombord i opprinnelig fartøy

Fartøy i størrelsesorden  $3000m^3$  finnes det mange av, men for å ta ett eksempel, er fartøy A et godt valg. fartøy A ble bygget i 2013. Fartøyet har en lasteromskapasitet på  $3200m^3$ , lengde på 76meter, installert effekt på 5640 kW. Hvorav 2 hovedmotorer à 1920kW genererer framdrift, via ett gir og ut på propell. I tillegg har fartøyet egen motor til strømforsyning, som yter 1550kW. Ombord finnes også en nødgenerator på 250 kW.[68]

Ved operasjon har dette fartøyet et dieselforbruk mellom 5 -11  $m^3$  i døgnet. Forbruket er direkte avlesinger fra tankpeilinger, dette vil si at forbruket er totalt inklusive tapsledd. Denne forbruksdifferansen ligger hovedsaklig i driftsmønsteret. Driftsmønsteret er avhengig av hvilke operasjon fartøyet opererer i, om det er lang seilas mellom oppdrettsanlegg og slakteri, eller om en ligger ved oppdrettsmerden og behandler fisk. Dette utgjør en forskjell på forbruket. Men i en setting der en har behov for mye energi med lengre seilaser, tar oppgaven utgangspunkt i ett forbruk på  $11m^3$  diesel. fartøy A har en drivstoff kapasitet på  $240 m^3$ . [66]

Tankkapasiteten er gitt til 240 kubikk, det som er verdt å merke seg at det vil bli benyttet en øvre og nedre grense på fyllingsgraden til tanken. Den øvre, for å unngå at det overfylles og det blir utslipp av diesel i sjøen. Den nedre er for å unngå at fartøyet går tom for diesel. Normalt opereres det med 95% øvre og 10% nedre fyllingsgrad. Dette gir ett praktisk kapasitetstap på 15%. På grunn av slike sikkerhetsmarginer blir bunkers kapasiteten nedjustert til 204 kubikkmeter.

$$\frac{204m^3}{11m^3/døgn} = 18,5døgn \quad (3.1)$$

Som vist i utregningen 3.1 vil dette fartøyet bruke 18,5 døgn på å forbruke hele den praktiske tankkapasiteten under energikrevende operasjoner. 11 kubikkmeter i døgnet tilsvarer 458,3 liter per time. For å finne ut hvor mye energi som kreves regner vi dette fra liter til kWh.

$$0,4583m^3 \cdot 9132,04kWh/m^3 = 4185,5kWh \quad (3.2)$$

Til sammenligning kan en ta utgangspunkt i det laveste forbruket, da vil en få vesentlig lavere energietterspørsel, en vil få en bunkringsfrekvens på nesten 40,8 dager. Forbruket vil mer enn halveres, og en får et timesforbruk på 208,3 liter per time. Dette vil igjen si at fartøyet trenger 1902,5kWh, ved en lite energikrevende driftsprofil. Dette synliggjør hvordan en dieseldrevet brønnbåt opereres med tanke på bunkringsfrekvens og energiforbruk. Et mål for de alternative

drivstoffene må være å ha omtrent lik bunkringsfrekvens for at hyppig bunkring ikke skal bli en ulempe.

Den totale energimengden som er lagret i  $204m^3$  blir regnet ut med samme metode som ligning 3.2, noe som vil si at tanken inneholder energi tilsvarende 1863 MWh. Dette forbruket kan da brukes til å finne tilsvarende tankvolumet for de ulike alternative drivstoffene.

Servicebåten derimot har ett annet driftsmønster enn hva en brønnbåt har. I tillegg vil størrelsen på båten spille inn på energiforbruk under seilas. Siden fartøyet har katamaranskrog vil også motstanden i vannet minskes i forhold til hvordan lengde og bredde påvirker båten. Driftsmønsteret til slike båter er veldig forskjellig grunnet ulike arbeidsoppgaver som skjer på de respektive anleggene.

Servicebåten som er benyttet har en lengde på 13,5 meter og en bredde på 7,5 meter. Fartøyet har tankkapasitet på 4000 liter diesel. Forbruket av diesel ligger i snitt på en tank diesel per 14 dager. Også for servicebåter vil 15% av tankkapasitet forsvinne grunnet sikkerhetsmarginer ved fylling og forbruk. Dette gir en praktisk tankkapasitet 3400 liter. [69]  
Dagsforbruket av diesel vil være gitt av

$$\frac{3400\text{liter}}{14\text{dager}} = 242,9\text{liter/døgn} \quad (3.3)$$

Dagsforbruket av diesel er beregnet til å være 243 liter i døgnet, dette tilsvarer et timesforbruk på 10,12 liter per time.

Regner vi drivstoff forbruket om til energi får vi følgende:

$$0,01012m^3 \cdot 9132,04kWh/m^3 = 92,42kWh \quad (3.4)$$

Dette gir ett energiforbruk langt under hva en brønnbåt bruker, faktisk er energiforbruket på en brønnbåt hele 45 ganger høyere enn hva en servicebåt forbruker ut i fra tilgjengelige tall. Store forskjeller i energiforbruk kan også gi forskjeller på hvilke drivstoffalternativer som kan være gunstig for de ulike fartøyene. Flere faktorer vil spille inn, energitetthet på drivstoffet gitt i volum og i vekt, sikkerhetsaspekt, teknologiens modenhet og ikke mist lagringsvolum og metode.

Energiforbruket til en brønnbåt og servicebåt vil følgelig variere etter operasjonsmønster. Det er ytterst skjeldent av slike fartøy går på full effekt helt til en må etterfyll drivstoff. Derfor vil det være viktig å se på hvordan driftsmønsteret til slike båter påvirker energiforbruket. Driften av en brønnbåt vil følgelig variere etter hvor fartøyet har sitt operasjonsområde. Det vil også være av betydning om fartøyet blir mye brukt til avlusing eller som konvensjonell brønnbåt. Andre faktorer vil også påvirke energiforbruket er hastighet under seilas, åpen eller lukket sirkulasjon, været og havstrømmer.

### 3.4.2 Driftsmønster basert på fysiske målinger

Sølvtrans er verdens største brønnbåtrederi og har i 2018 gjennomført målinger av energiforbruket for et av fartøyene sine, fartøy C. Målingene ble foretatt i forbindelse med et Enova-prosjekt. Sølvtrans har her tatt for seg flere driftsoperasjoner enn hva denne oppgaven tar for seg. Operasjonene et fartøy kan foreta seg er fartøysspesifikt alt etter utstyrsnivået som er installert ombord. Målingene er tatt i 12 forskjellige driftsoperasjoner, dette gjøres for å få et fullstendig bilde av driftsmulighetene og energiforbruket til fartøyet.

**Tabell 3.4:** Verdiene som er presentert er snittverdier som strekker seg over 8 måneders drift. Dette gjør at tiden er satt i % av de 8 månedene. Totalt er det gjort 55 800 målinger for å representere driftsprofilen til fartøy C.[66]

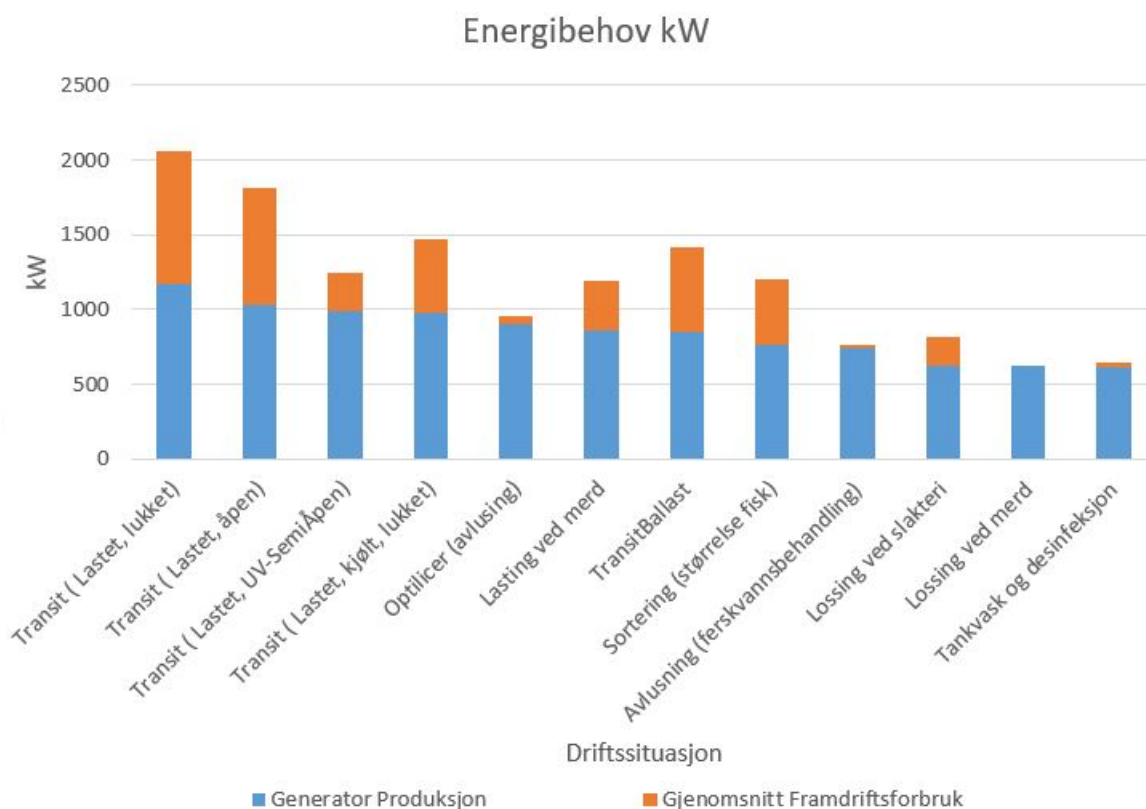
Drifts moduser	Generatorproduksjon kW	Forbruk Framdrift kW	Tid i %
Transit (lastet,lukket)	1165,48	898,5	10,63
Transit (lastet, Åpen)	1031,87	783,6	3,92
Transit(lastet, UV-Semi Åpen)	983,74	265,0	19,48
Transit (lastet,kjølt lukket)	975,18	500,0	12,95
Optilicer (avlusing)	901,40	50,0	0,42
Lasting ved merd	863,83	332,9	1,88
Transit (ballast)	852,08	569,1	28,55
Sortering (størrelse på fisk)	761,50	440,0	4,76
Avlusing (ferskvannsbehandling)	740,79	25,0	0,52
Lossing ved slakteri	624,08	189,5	14,63
Lossing ved merd	619,65	0	0,20
Tankvasking og desinfeksjon	609,85	35,0	2,29

Som en ser fra tabell 3.4 finnes det mange forskjellige metoder for transport av laks, Dette er vanskelig å få en direkte oversikt over bare ved hjelp av AIS-tracking. Derfor vil ett slikt eksempel synliggjøre kompleksiteten til en slik brønnbåt. De siste årene har slike fartøy blitt mer avanserte, dette er synliggjort på de ulike operasjonene og det brede spekteret av utstyr er montert på brønnbåtene.

Fra verdiene i tabell 3.4 kommer det fram at hovedmaskineriet er i drift omlag 75,5% av drifttiden de 8 månedene Enova prosjektet varte. Det er også under transitt at fartøyet bruker mest energi, noe som er naturlig siden framdrift krever store mengder energi. Sammenlignes de ulike transittmodusene, vil det være store forskjeller når det kommer til fremdriftsforbruket, en av årsaken til dette er hvor nedsenket fartøyet er i vannet. Strøm- og værforhold samt hastigheten til fartøyet vil også være avgjørende for energiforbruket.

For å synliggjøre energiforbruket til de ulike driftssituasjonene er det laget ett stolpe diagram som viser energiproduksjonen og energien som blir produsert til fremdrift. Dette er gjort for å grafisk synliggjøre hvor stor andel av energiforbrukt som faktisk går til framdriften av skipet. Verdiene i figur 3.3 er hentet fra tabell 3.4. Her vil energiforbruket i de ulike driftsmodellene være den totale verdien av generatorproduksjon pluss fremdriftsforbruk.

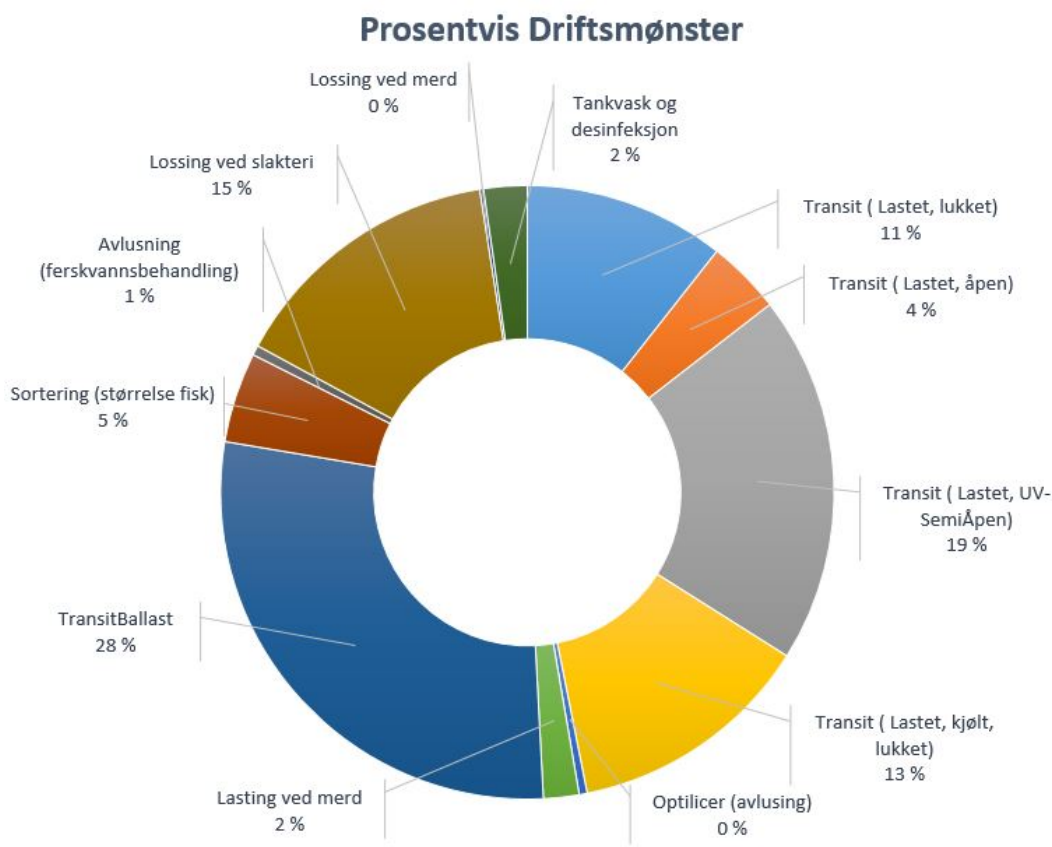




**Figur 3.3:** Viser produsert elektrisitet fra dieselgeneratorer i tillegg til forbruk i form av fremdrift.

Slike data kan brukes til å analysere driftsmønsteret til fartøyene, og en kan si noe om hvordan driftsmønsteret vil være over en gitt tidsperiode. Som vist i figur 3.4, er driftsprofilen til fartøy C synliggjort over en driftsperiode på 8 måneder. Tidligere ble det analysert to fartøy innenfor en tidsperiode på 55 timer, mens ved fartøy C ble det analysert i 8 måneder med over 50 000 målinger. Noe som gir mye høyere sikkerhet med tanke på gjennomsnittlig energiforbruk iløpet av en tidsperiode.

Brukes dataene fra fartøy C for brønnbåter med kapasitet på  $3000m^3$  videre, har en oppnådd en driftsprofil som en kan bruke til å analysere de ulike drivstoffene på. Dataene som er blitt samlet inn behandles ved hjelp av Excel, hvor en på en ryddig måte kan ha oversikt over alle verdiene. Excel er ett godt hjelpemiddel når en skal evaluere forskjellige drivstoff opp mot de ulike driftsprofilene. En kan enkelt justere forskjellige parameter for å se hvordan dette påvirker de alternative drivstoffene under gitte driftssykluser.



**Figur 3.4:** Figuren synliggjør i prosent utbredelsen av de forskjellige aktivitetene innenfor en 8 måneders periode for fartøyet fartøy C.

### 3.4.3 Servicefartøy

Små servicefartøy har en annen driftsprofil enn for en brønnbåt som opereres over et større geografisk område. Servicebåtene er mye mindre komplekse enn hva en brønnbåt er, derfor foreligger det også mindre data på energiforbruk for slike fartøy. Ett typisk fartøy har to motorer en i hvert skog. Motorene driver hver sin propell med tilhørende generator for elektrisitet ombord. Hydraulikk til bruk på kraner og fortøyningsystemer, er direkte koblet på fartøyets hovedmotor.[69]

En typisk motor til servicefartøy kan være levert fra produsenter som Nogva. En mye benyttet motor konfigurasjon er to stk Scania DI9 motorer, som igjen yter 350 Hp dette tilsvarer 257 kW hver. Siden fartøyet har to hovedmotorer er den installerte effekten 514 kW. Motorene er oppgitt til å ha maks dreiemoment ved omlag 1200 omdreininger. Ved dette turtallet bruker motorene omlag 22 liter per time mens ved tomgang på ca 900 omdreininger bruker motorene omlag 13 liter i timen. Ved maks dreiemoment bruker altså en motor 200,9 kWh med drivstoff, mens ved tomgang benytter hver motor 118,7 kWh med drivstoff. [70]

Fartøyene har normalt en drivstoffkapasitet på 4000 liter med diesel. Det er blitt oppgitt at denne mengden varer omlag 14 dager fra personell ombord på lignende fartøy.[70] Dette betyr at en bruker omtrent 286 liter med diesel som må fordeles utover døgnet. Siden dette er fartøy som ikke har døgndrift vil dette bli brukt over 12 timer. Noe som vil si at fartøyet benytter ca 23,8 liter i timen i snitt.

Driftsprofilen til et slikt fartøy er noe problematisk å få oppgitt da dette ikke ligger åpent på

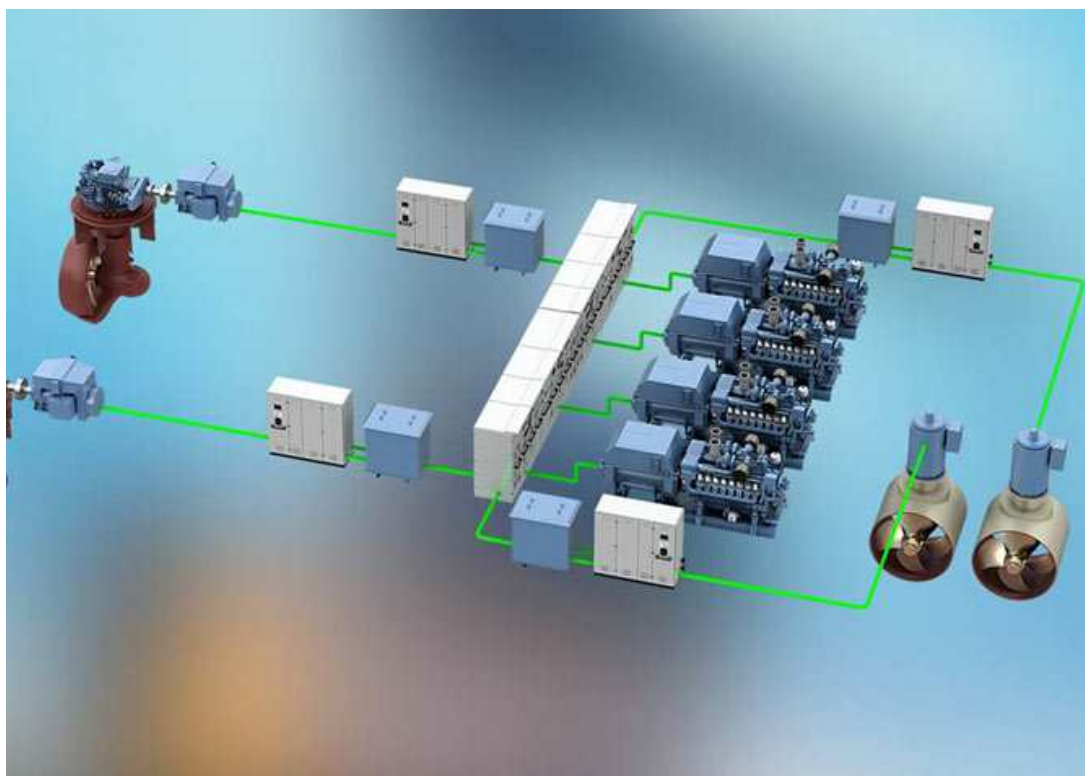
Kystverket sine sider. Fartøyene er for små for å bli tatt med i denne databasen, mens de finnes ved bruk av betalingstjenester. Derfor tas det utgangspunkt i at fartøyet omsetter 286 liter per døgn. Dette tilsvarer en energimengde i drivstoffet på 2611,7 kWh

$$0,286m^3_{Diesel} \cdot 9132kWh/m^3_{Diesel} = 2611,7kWh \quad (3.5)$$

Utifra utregningen ovenfor finner en ut hvor mye energi som kreves i døgnet av tilført drivstoff. Dette gjør at en kan beregne ulike motorkonfigurasjoner kombinert med ulike fordeler og ulemper ved de ulike drivstoffene.

### 3.5 Motorarrangement

For å kunne bruke driftsprofilene vil det være et behov for å framstille ulike scenarier om hvordan motorarrangementet kan være ombord i slike fartøy. Dette blir gjort for å se på ulike kombinasjoner av motortyper, teknologier samt se på de praktiske og økonomiske aspektene knyttet til drivstoffene. Et eksempel på mye utbredt motorarrangement er synliggjort i figur 3.5, hvor en benytter diesel generatorer til å generere elektrisitet som fordeles ut til forbrukere som i figuren er illustrert som thrustere. Motorarrangementene deles inn i fem forskjellige motorarrangement, som er listet opp nedenfor samt en kort beskrivelse av hvert motorarrangement.

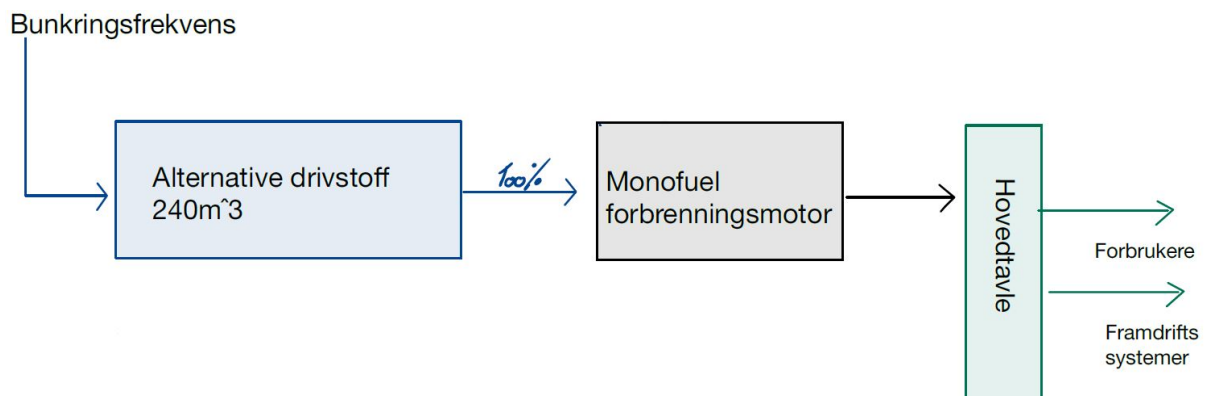


**Figur 3.5:** Synliggjør et motorarrangement for et fartøy som benytter seg av dieselelektrisk framdrift.

- Monofuel forbrenningsmotor arrangement
- Dualfuel motorarrangement med pilotfuel 5% tilsetning
- Brenselcelle og forbrenningsmotor
- Dualfuel forbrenningsmotor og brenselcelle.
- Dualfuel forbrenningsmotor og battericelle (peak shavings)

### 3.5.1 Monofuel forbrenningsmotor arrangement

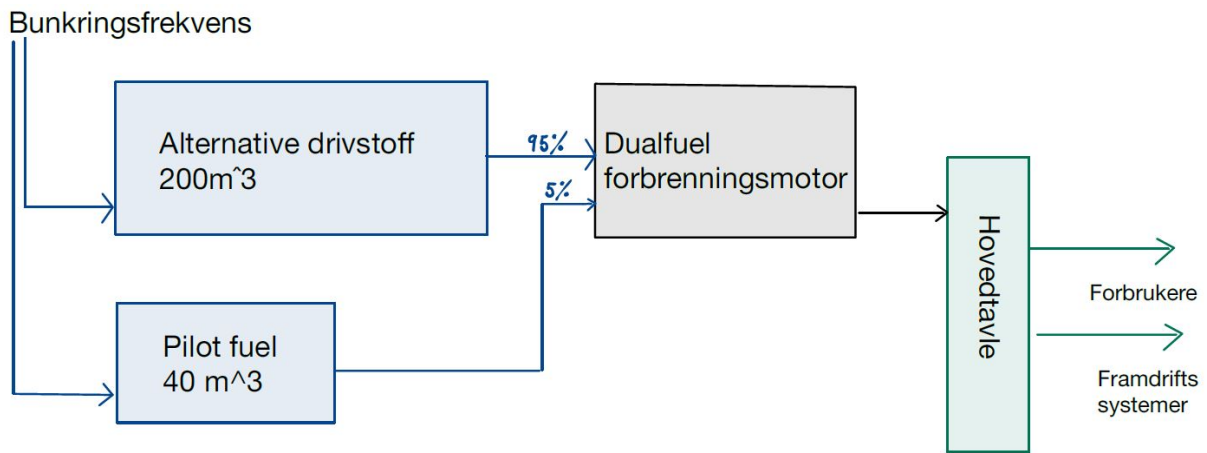
Et fartøy som benytter seg av en forbrenningsmotor drevet av et drivstoff er mest vanlig idag. Slike motorer har mulighet til å utnytte diesel, LNG og metanol med små justeringer på motorene. Ren elektrisk installasjon ved hjelp av batteri, som vil drifte fartøyet uten hjelp av flytende drivstoff er tatt med. En oversikt over hvordan en tenker at et motorarrangement ser ut med denne teknologien, er synliggjort i figur 3.6



**Figur 3.6:** Figuren viser et enkelt motorarrangement som benytter kun et drivstoff til generering av elektrisitet

### 3.5.2 Dualfuel motorarrangement med pilotfuel 5%

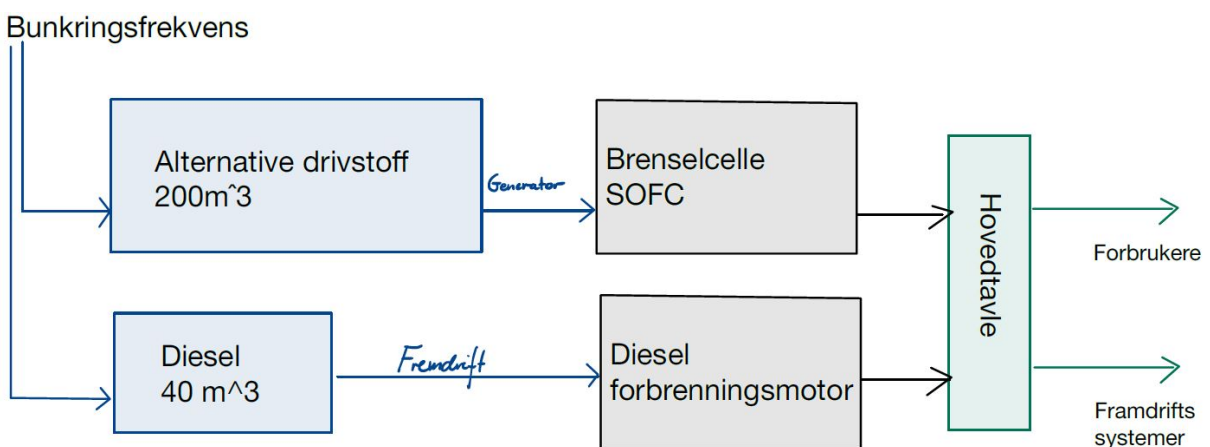
Denne konfigurasjonen tillater samme drivstoff som en monofuelmotor men i tillegg har en mulighet for bruk av ammoniakk som hoveddrivstoff. For at ammoniakk skal antennes på en effektiv måte blir det tilsatt pilotfuel for å sette i gang forbrenningsprosessen. Pilotfuel er normalt sett diesel, som en sprøyter inn sammen med ammoniakken for å oppnå en fullverdig forbrenningsprosess. Figur 3.7 synliggjør hvordan en ser for seg arrangementet til fartøy som benytter dualfuel motorarrangement til generering av elektrisitet til distribusjon og ut til forbrukerne.



**Figur 3.7:** Synliggjør et enkelt oppsett ved bruk av Dualfuel motorarrangement til generering av kraft til ulike forbrukere.

### 3.5.3 Brenselcelle og monofuel-motor arrangement

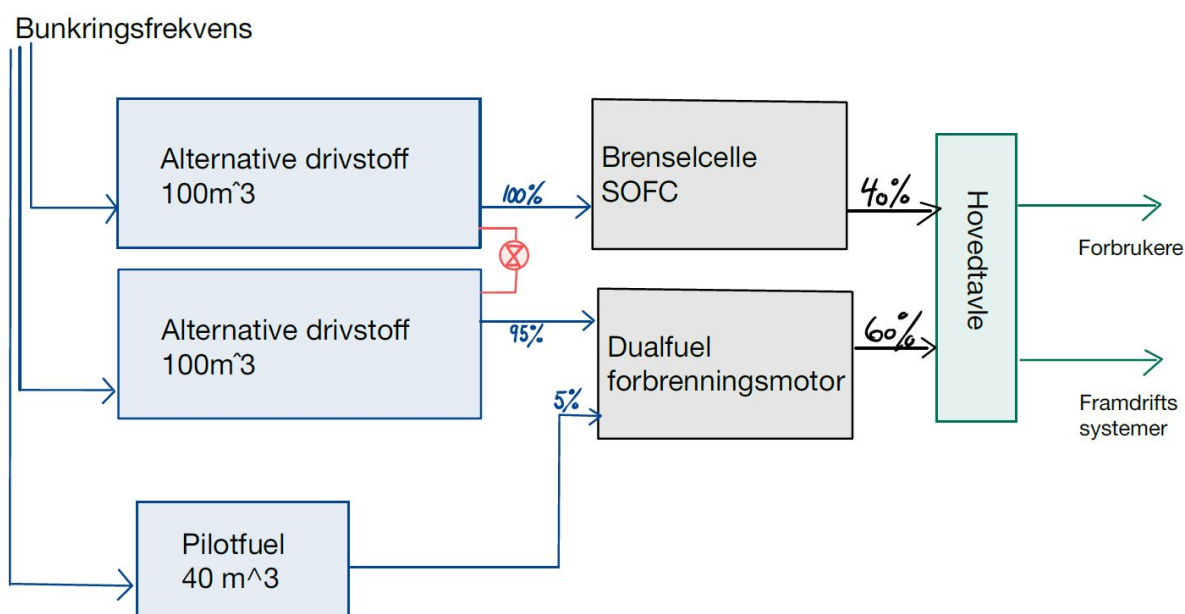
Her vil hovedenergimengden bli produsert ved hjelp av brenselceller. Noen av brenselcellene har mulighet til å utnytte flere typer drivstoff, blant annet ammoniakk, hydrogen, men også karbonholdige drivstoffer som etanol, metanol og LNG. En annen fordel med brenselcelle er at en kan oppnå høyere virkningsgrad enn de konvensjonelle forbrenningsmotorene. Dette gjør at en sparer litt drivstoff sammenlignet med forbrenningsmotorene. Kostnaden til brenselcelleteknologien har vist seg å falle de siste årene, men er fortsatt en teknologi som er på et tidlig stadiet for bruk i fartøy. Brenselcellene har en viss levetid før virkningsgraden faller, og trenger dermed jevnlig vedlikehold og utskiftning av celler. Et fartøy kan i utgangspunktet driftes kun ved hjelp av brenselceller. For å øke sikkerheten til havs og samtidig sikre tilgjengelighet av drivstoff og oppetid på brenselcellen blir den i denne oppgaven kombinert med en forbrenningsmotor. Forbrenningsmotoren fungerer som framdriftsmaskineri og leverer effekter tilknyttet dette. Mens brenselcellen fungerer som generator til de andre forbrukerne ombord, noe som er synliggjort i figur 3.8



**Figur 3.8:** Synliggjør et motorarrangement hvor brenselcellen tar seg av forbrukerne bortsett fra framdriftssystemet som blir operert av en konvensjonell dieselmotor.

### 3.5.4 Dualfuel-motor og brenselcelle

Denne løsningen gjør at en kan utnytte fordelene ved at en bruker forbrenningsmotoren ved operasjon samt at en kan bruke brenselcellen når en ligger til kai og ikke trenger så mye energi. Her kan en for eksempel bruke en energibærer som ammoniakk som hoveddrivstoff for begge motorene, mens diesel suppleres som pilotfuel til dualfuel motoren. Fordelen ved bruk av brenselcelle ved lave energiforbruk er at energiforbruket er forholdsvis jevnt, noe som er fordelaktig for en brenselcelle. I tillegg er det gunstig med tanke på støy og vibrasjoner når en ligger til kai og kan sjenere husstander i nærliggende områder. Denne fordelingen gjør at brenselcellen dekker grunnlasten til fartøyet. Videre gjør dette at en kan spare forbrenningsmotoren så lenge en driver lav-energi aktiviteter ombord, og spare miljøet for både avgasser, støy og økt drivstoff-forbruk. Derfor tar oppgaven for seg at brenselcellen skal kunne dekke 40% av energietterspørselen, og dualfuelmotoren de resterende 60%. Dette er synliggjort i figur 3.9

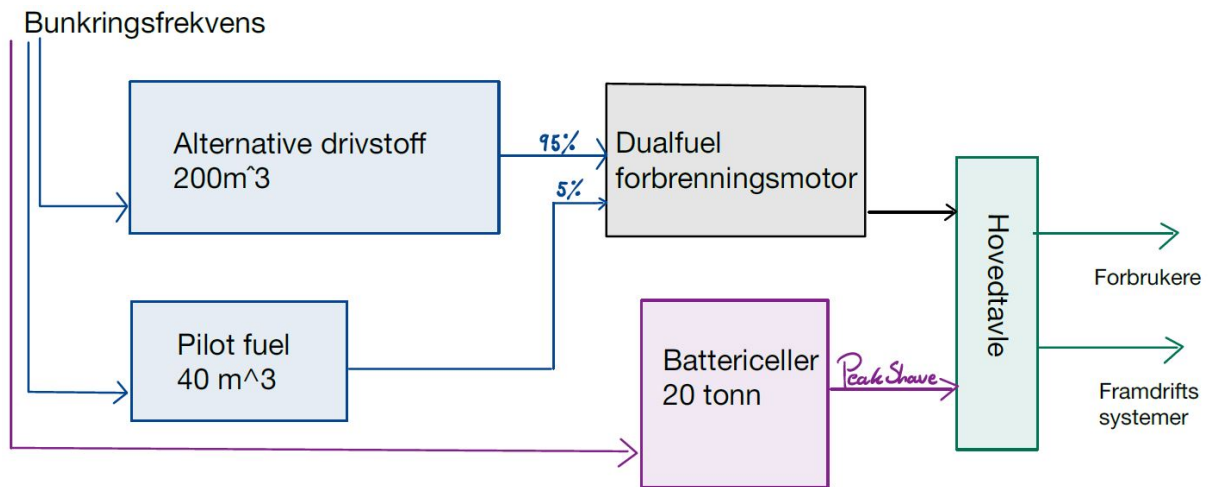


**Figur 3.9:** Synliggjør hvordan oppsettet av dualfuel motoren og brenselcellen deler både drivstofftank og fordeler energi inn til hovedtavlen

### 3.5.5 Dualfuel forbrenningsmotor og batteripakke for peakshaving

Her vil en ha utnyttelse av batteripakkens raske respons om en trenger ekstra kraft i korte perioder. Dette gjør at fartøyets hovedmotor kan dimensjoneres ned, på grunn av at batteripakken vil hjelpe til under raske men høye belastninger. Eventuelt kan fartøyet driftes ved hjelp av en hovedmotor siden en kan bruke batteripakken når krefter trengs. Batteripakken blir designet til å kunne tåle belastning som er tilsvarende 5% av energimengden for ett døgn. Energimengden vil være fra batteriet er fulladet til det er helt utladet. Batteriet har en utnyttelsesgrad på 85% hvor en har igjen 15% før en fyller batteriet til 100%. Hovedhensikten blir altså ikke å drifte fartøyet men å ta peakshaving. Batteripakken vil bli designet utifra vekt og ikke volum slik de andre drivstoffene er. Fordelene med et slikt anlegg er at en reduksjon på drivstoff og utslipp ligger på mellom 15-25% ved bruk av batteri til peakshaving hos offshorefartøyene. Nøyaktig reduksjon for brønnbåter er avhengig av driftsmønster. Dersom en benytter seg av dualfuel motor har en

mulighet til å endre drivstoff, noe som kan føre til ytterligere reduksjon av utslipp av klima- og miljø-gasser. Figur 3.10 synliggjør hvordan en vil kunne sammenkoble energisystemene inn på hovedtavlen som fordeler kraften videre til forbrukerne.



**Figur 3.10:** Synliggjør motorarrangementet hvor en benytter dualfuel motor i samspill med batteripakke for peakshaving.

## 4 Resultater og diskusjon

### 4.1 Volumbehov for de ulike drivstoffene

Volumbehovene for de ulike drivstoffene vil variere grunnet stoffenes energiinnhold per kubikkmeter. Dette vil følgelig påvirke utforming av fartøyene, siden dette er ett viktig aspekt når det kommer til design av bunkerstanker. Utrekningene som er gjort i tabell 4.1 er gjort med hensyn til opprinnelig bunkerskapasitet til fartøyet fartøy A og Agnes. Dette er blitt gjort slik at energiinnholdet i en dieseltank skal tilsvare energiinnholdet i de andre drivstofftankene. Dette for at bunkringsfrekvensen på fartøyet skal være relativt likt som i dagens situasjon. På denne måten trenger ikke fartøyene å endre bunkringsfrekvens.

Verdiene i tabell 4.1 er utregnet fra formelen 4.1, som baserer seg på energiinnholdet til opprinnelig dieseltank. For batteriene er det tatt utgangspunkt i det vektbaserte energiinnholdet.

$$\frac{(204m^3/tank \cdot 9132,04kWh/m^3)}{Volumbasert.energiinnhold(kWh/m^3)} \quad (4.1)$$

**Tabell 4.1:** Utrekninger av tankbehov for å kunne opprettholde bunkringsfrekvensen ved ulike drivstoff alternativer, sett opp mot orginalt dieselforbruk.

Drivstofftype	Tankkapasitet Brønnbåt (Utnyttbar)	Tankkapasitet B (Faktisk)	Tankkapasitet Servicebåt (Utnyttbar)	Tankkapasitet S (Faktisk)
Diesel	204,0 m <sup>3</sup>	240 m <sup>3</sup>	3,4m <sup>3</sup>	4,0 m <sup>3</sup>
Ammoniakk	528,1 m <sup>3</sup>	625 m <sup>3</sup>	8,8m <sup>3</sup>	10,5 m <sup>3</sup>
Etanol	318,9m <sup>3</sup>	380 m <sup>3</sup>	5,3 m <sup>3</sup>	6,2 m <sup>3</sup>
Hydrogen (l)	789,0 m <sup>3</sup>	930 m <sup>3</sup>	13,5 m <sup>3</sup>	15 m <sup>3</sup>
Hydrogen (g)	1490,4 m <sup>3</sup>	1650 m <sup>3</sup> *	24,8 m <sup>3</sup>	28 m <sup>3</sup> *
Lithium (jern fosfat)	7762,2 tonn **	15524 tonn	129,4 tonn **	258,7 tonn
Lithium (ni. ko. al.)	3582,6 tonn**	7165 tonn	59,7 tonn **	119,4 tonn
LNG	316,3 m <sup>3</sup>	380 m <sup>3</sup>	5,3m <sup>3</sup>	6,2 m <sup>3</sup>
Metanol	427,4 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	7,1 m <sup>3</sup>	8,5 m <sup>3</sup>

\* Beregnet med en tapsprosent på 10%, grunnet at dette er en trykktank.

\*\* Beregnet med reduksjon i vekt på 50%, grunnet økt utnyttelsesgrad av energien.

Tabell 4.1 kommer det frem hvilke mengder som må til for at alternative drivstoff skal ha samme energiinnhold som den opprinnelige dieseltanken på fartøyene. Volumbehovet er et viktig moment for valg av drivstoff til de ulike fartøyer. Flere momenter som viser seg å viktig for valg av drivstoff kan være, drivstoffpris, tilgjengelighet av drivstoff og ikke minst sikkerhet.

#### 4.1.1 Muligheter for batteridrift i opprinnelig drift.

Fartøyene er idag designet for bruk av diesel som energibærer. Nye design av maskinrom og tanksystemer kan gjøre at en kan øke drivstoffkapasiteten. Noe som er begrensende for tankkapasiteten er fartøyets utforming, stabilitet og oppdrift. For beregning av stabilitet og oppdrift er det flere faktorer som gjør seg gjeldene. For å gjøre beregninger enklest mulig kan en tenke seg at fartøyene er en kube som blir nedsenket i vann, mens servicebåten kan ses på som to mindre kuber.



Arkimedes lov definerer oppdriften til ett legeme. Oppdriften blir definert av mengde fortrenget væske, med andre ord vil dette si at oppdriften og vekten av den fortrengete væsken er den samme. Matematisk gir dette uttrykket gitt i formel 4.2. [56]

$$B \cdot L \cdot D \cdot \rho \cdot g = \text{Oppdrift} \quad (4.2)$$

Beregner en oppdriften fra brønnbåten med lengde 75meter bredde på 16 meter og dypgang på 6,8meter får en at oppdriften er 82 050 840 Newton ( $kgm/s^2$ ). Mens beregner en kraften av det letteste batteripakken fra tabell4.1 ser en at den har en kraft på 35 145 306 Newton, noe som tilsvarer 42,8% av det totale oppdriften til fartøyet. Som en kuriositet har det originale fartøyet en dødvækt på ca 3500 tonn, som er lavere enn hva en hel batteripakke veier.

For de flytende drivstoffene vil økningen i vekten direkte komme av drivstoffets egenskaper under lagring, hvor tankssystemer blir sirkulære. For eksempel vil en trykktank både kreve mer plass, og i noen tilfeller veie mer enn en bunntank som naturlig utfyller skrogformen.

## 4.2 Driftssyklus og drivstofforbruk

Driftssyklusene og drivstofforbruket er en vesentlig faktor for å sammenligne de ulike drivstoffene. For å gjøre dette er det tatt for seg tre driftsprofiler, to av profilene er korte som varer i omlag 55 timer mens den siste varer over en tidsperiode på 8 måneder. Dette er blitt gjort for å synliggjøre variasjonen i arbeid som blir gjort ombord i fartøyene. Denne variasjonen kan igjen synliggjøre differanser i energiforbruk og muligheter får bruk av ulike teknologier knyttet til de ulike driftsmønstrene.

I tillegg til de tre driftssyklusene er det benyttet fem forskjellige motor konfigurasjoner. Med forskjellig teknologi i metoden energien blir omformet fra kjemisk tilstand til mekanisk arbeid som sluttprodukt. Dette er gjort for å synliggjøre fordelene med de ulike teknologiene opp mot de ulike drivstoffene samt sette dette i sammenheng med driftsprofilene. Det er tatt utgangspunkt i at samtlige modeller har en total drivstoff kapasitet på  $240m^3$  slik at resultatene blir mest mulig sammenlignbart. Videre er også helelektriske modeller tatt med i beregningen, her vil følgelig ikke  $m^3$  være en særlig god sammenligning. Derfor blir det benyttet 240tonn for sammenligning. Dette fordi drivstoff alternativene i utgangspunkt har en egenvekt som vil bli mindre enn 240tonn, men ved bruk av forbrenningsmotorer vil totalvekten på systemene bli mer balansert siden forbrenningsmotorene også veier noen tonn.

### 4.2.1 Driftssyklus med fartøy A

Driftssyklusen til fartøy A, er utarbeidet hvor fartøyet trolig driver med enten sortering eller avlusing av laks. Dette gjør at fartøyet får en operasjonsprofil som har et lavere antall timer i transitt enn ved for eksempel ren slaktefisk-transport. For å synliggjøre energibehovet og hvordan de ulike drivstoffene egner seg til denne type drift er tabellen 4.2. Tabellen viser de drivstoffene som kan utnyttes i en forbrenningsmotor, her foregår det testing for å kunne utnytte LNG uten pilotfuel. Det er også sett på ren batteridrift. Skal en benytte alternative drivstoff, innebærer dette også ett skifte i bunkringsfrekvens. Bunkringsfrekvensen vil i alle tilfeller bli hyppigere enn i forhold til diesel, som er dagens standard drivstoff for de aller fleste fartøy som opererer som brønnbåter.

Tabell 4.2 synliggjør hvordan de ulike drivstoffene fungerer i driftsprofilen til fartøy A. Resultatene som er synliggjort i tabellen tilsvarer at energibehovet blir dekket av ett drivstoffet alene i en forbrenningsmotor, det er vanligvis en dieselmotor idag. Resultatene som fremkommer viser

**Tabell 4.2:** Viser verdiene for de ulike drivstoffene hvor en bruker kun ett drivstoff som energibærer. Her er det tatt utgangspunkt i original størrelse på drivstofftank for fartøy A.

Drivstoff kapasitet 240 m <sup>3</sup>	Ammoniakk	LNG	Metanol	Etanol	Diesel		Litium NiKoAl , 240tonn	Lithium Jærn 240 tonn
Energibehov MWh	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6		52,6	52,6
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%		95%	95%
Energi i Fuel MWh	105,2	105,2	105,2	105,2	105,2		55,4	55,4
Drivstoff per syklus m <sup>3</sup>	29,8	17,9	24,1	18,0	11,5	tonn	212	461
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	13,0	7,8	10,5	7,9	5,0	tonn	93	201
Bunkrings/lade-frekvens - Døgn	18,4	30,7	22,8	30,5	47,7		2,6	1,2
Bunkringsfrekvens med begrensning	14,7	24,6	18,2	24,4	38,2		2,2	1
Pris på drivstoff Dollar/MWh	41	57	240,5	19	22		21	21
Drivstoffpris , \$ /Døgn	1883	873	2618	11047	1011		508	508
CO <sub>2</sub> utslipp tonn/Døgn	0	9,1	11,36	11,8	11,55		0	0

at batteridrift er desidert det billigste alternativet per døgn. I oppgaven er det sett vekk fra anskaffelses kostnader tilknyttet motorarrangement, inklusive batteri og brenselceller.

Kostnaden på drivstoff er også viktig når drivstoffene skal evalueres. Dette for å gjøre fartøyet mest mulig konkurransedyktig på pris. Som en ser av tabell 4.2 er det LNG og batteri som skårer best på drivstoffpris per døgn. Bakdelen med å velge bare ett drivstoff er at en er låst til dette drivstoffet. Dette gjør at en kan være sårbar for eventuelle avgifter i form av CO<sub>2</sub> avgift eller avgifter knyttet til NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>. En kan også i tiden fremover oppleve at drivstoff og ladepriser varierer etter tilbud og etterspørsel. Elektrisitet vil være en viktig bidragsyter både til lading av batterier, men også til produksjon av grønn-hydrogen og -ammoniakk. Som en ser på de kommersielle ladepunktene, er prisen høyere på slike anlegg enn ellers på strømmettet, grunnet etableringskostnader og kommersialisering. En ulempe kan være tilgjengeligheten til de ulike drivstoffene da det råder stor usikkerhet hvorvidt det kommer til å bli noe stor utbredelse av alle drivstoffalternativene som er tatt med i oppgaven. En fordel med bruk av eksisterende og utbredt motor teknologi er at tilgjengelighet på reservedeler og service er tilfredsstillende. LNG er satt i drift på flere og flere fartøystyper, og nå i senere tid er det bestilt flere fiskefartøy med denne teknologien[71]. En synergieffekt er at med denne teknologien til fiskefartøy som benytter fryselager, er at en kan bruke varmeveksling og utnytte at drivstoffet går fra flytende til gassfase. Dette gjør at en sparer en del energi tilknyttet kjøling av fisken.

Bunkringsfrekvensen er avhengig av den indre energien til hvert drivstoff. Det en kan se er at enten må en utvide kapasiteten ombord eller så må en belage seg på å bunkre hyppigere. Det med å bunkre oftere kan en se allerede i bilparken, hvor de elektriske bilene må planlegge kjøringen mye bedre enn de som benytter seg av diesel eller bensin. Dette handler i utgangspunktet om å lære seg å bruke en ny type teknologi. Ved å endre bruksmønsteret av fartøyer på samme måte som en ser i bilparken kan en spare ytteligere drivstoff og redusere kostnader.

Ved bruk av noen alternative drivstoffer vil en måtte bunkre hyppigere, dette vil i noen tilfeller ikke la seg gjennomføre på enkelte fartøy. Derfor er det viktig å vite forskjellene på bunkringsfrekvens og energitettheten til de alternative drivstoffene. Hos fartøy som opererer i områder hvor ladekapasiteten er god kan en batteriløsning være gunstig, siden den daglige kostnaden for elektrisk energi er ganske gunstig sammenlignet med de andre alternativene. Som tidligere nevnt er flere landstrømsanlegg under utbygging. Her kan en ikke forvente å ha samme rimelige kostnad som industrien betaler, dette er synliggjort i kapittel 2.6.

Hver drivstoffvariant trenger lagring ombord, for at en skal kunne drifte fartøyene over lengre perioder. Lagringen av de ulike drivstoffene gjøres forskjellig. Diesel lagres per i dag i tanker som er konstruert inn i skipets skrog, og tar dermed ikke like stor plass som eventuelle gasstanker som blir sylindriske. Drivstoffer som krever sylindriske drivstofftanker er hydrogen, LNG og ammoniakk da de ikke holder seg flytende i normale atmosfæriske temperaturer. Slike tanker er produsert for å redusere det utvendige arealet, samt holde på temperatur og tåle eventuelle trykkoppbygninger bedre, derved tar slike tanker større plass i et fartøy enn de konvensjonelle skrogtilpassede tankene.

For å evaluere de ulike teknologiene for energiomforming vil lik drivstoffkapasitet bli lagt til grunn ovenfor de andre motorkonfigurasjonene som er forklart i kapittel 3, Metode. Dette er gjort for å se om det er en motorkonfigurasjon som skiller seg ut fra de andre på ulike områder.

*Dualfuel motor med pilotfuel 5% innblanding.* Duelfuel motorer bruker normalt sett et gassifisert hoveddrivstoff med diesel som pilotfuel. Det finnes blandingsforhold helt ned i 1% [57], men i oppgaven blir det benyttet 5% innblanding. En annen fordel med dualfuel er at en kan konvertere fra dieseldrift til gassdrift og omvendt. Denne muligheten gjør at en har større fleksibilitet i valg av drivstoff, samt at påvirkningen av drivstofftilgjengelighet blir mindre. I tabell 4.3 vises resultatene for en dualfuel motor med driftsprofilen til fartøy A.

**Tabell 4.3:** Synliggjørresultater for hvordan en dualfuel motor fungerer når et fartøy har driftsprofil lik fartøy A.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200 m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Etanol Dualfuel	Hydrogen (L) Dualfuel	Hydrogen (G) Dualfuel	Diesel Pilotfuel
Energibehov MWh	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel MWh	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	5259,5
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	28,3	17,0	22,9	17,1	42,3	79,9	0,6
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	12,4	7,4	10,0	7,5	18,5	34,9	0,3
Bunkringsfrekvens - Døgn	16,2	27,0	20,0	26,8	10,8	5,7	159,0
Pris på drivstoff - Dollar/MW	41	19	57	240,5	80,2	80,2	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1789,1	829,1	2487,3	10494,8	3499,7	3499,7	50,5
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	12,9	21,6	16,0	21,4	8,7	4,6	127,2
CO <sub>2</sub> Utslipp/døgn	0	8,6	10,8	11,2	0	0	0,69

Som en ser av tabell 4.3, vil en ha nesten identiske verdier som hos en monofuel motor. Dette fordi en i oppgaven opererer med samme virkningsgrad. I realiteten vil det finnes små variasjoner etter motortype, størrelse og produsent. Prisene per døgn blir påvirket, men dette i liten grad. De dyrere drivstoffene blir noe billigere per døgn, i motsetning til LNG som faktisk blir noe dyrere siden en benytter innblanding av diesel for 5% av energiforbruket, som i utgangspunktet er et litt dyrere drivstoff enn LNG idag. Den totale kostnaden per dag blir i dette tilfellet kostnaden på hoveddrivstoffet pluss pilotdrivstoffet.

*Brenselcelle-generator og dieselmotor til framdrift.*

Brenselcelle vil være en nyttig teknologi som absolutt kan ha sine fordeler i energisystemer, men brukstid og vedlikehold vil være en viktig faktor som må forbedres for at bruken av slik teknologi kan få store markedsandeler innen fartøy av denne typen. Brenselcellen som er tatt med i beregningene har virkningsgrad på 60%. Som eksempel kan dette være en SOFC brenselcelle,

mens de mer utbredte PEM brenselcellene har virkningsgrader som en normal dieselforbrenningsmotor på omlag 50%. Som en ser av tabell 3.4 er det mest energi som går til generator produksjon, slik at en kan benytte brenselcelle enten som generator eller som framdriftsmotor. I denne oppgaven har brenselcellen blitt vektlagt som generator, da det krevest mest energi i denne driftssyklusen. Tabell 4.4 tar for seg brenselcelle som fungerer som generator mens en dieselmotor tar seg av energien som går til framdriftmaskineriet. Oppgaven benytter fortsatt en samlet drivstoffkapasitet på  $240m^3$ , hvor brenselcellen får kapasitet på 200 og dieselmotoren  $40m^3$ .

**Tabell 4.4:** Viser resultater for fartøy A de ulike drivstoffene, når en benytter seg av brenselcelle som generator. Mens framdriften dekkes av en monofuelsmotor.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200 m <sup>3</sup> Brenselcelle 40m <sup>3</sup> Dieselmotor	Ammoniakk	LNG	Metanol	Etanol	Hydrogen (L)	Hydrogen (G)	Diesel Forbrenningsmotor
Energibehov MWh	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	10,2
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%	60%	50%
Energi i Fuel MWh	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	20,5
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	20,0	12,0	16,2	12,1	29,9	56,5	2,2
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	8,7	5,2	7,1	5,3	13,1	24,7	1,0
Bunkringsfrekvens - Døgn	22,9	38,2	28,3	37,9	15,3	8,1	40,8
Pris på drivstoff - Dollar/MW	41	19	57	240,5	80,2	80,2	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1263,6	585,6	1756,8	7412,3	2471,8	2471,8	196,9
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	18,3	30,6	22,6	30,3	12,3	6,5	32,7
CO <sub>2</sub> Utslipp/døgn	0	6,0	7,7	7,9	0	0	2,3

Dersom det benyttes brenselceller for drift av fartøyets generator, altså til bruk for drift av skipets fiskebehandlings- og hotellsystemer vil en få et energibehov til fremdrift. Dette energibehovet dekkes av en konvensjonell monofuelsmotor, med diesel som energibærer. Dette gjør at en kan bruke brenselcellen til arbeid som har et jevnt energibehov med små svingninger i energietterspørselen når systemene allerede er i drift. Dette vil gjøre at cellene varer noe lengre grunnet mindre stress. Fordelene med bruk av brenselceller er at en kan oppnå en høyere virkningsgrad enn hva en kan få ut av en forbrenningsmotor. I tillegg kan en utnytte overskuddsvarme ved større anlegg, slik en kan øke virkningsgraden ytterligere. Ulempen med bruk av brenselcelle er dagens behov for relativt hyppig vedlikehold og kostnader tilknyttet dette. Det som er positivt ved bruk av brenselcelle er at en har høyere virkningsgrad, noe som reduserer kostnadene per døgn som igjen reduserer utslipp av klima og miljø-gasser. Som en ser av fordelingen mellom generator og framdriftsmaskineri, vil en oppnå lavere kostnader knyttet til drivstoffene, samt at en øker tiden mellom hver bunkring. Dette er en gunstig kombinasjon, men her vil økte kostnader i form av vedlikehold og etableringsfase av ny teknologi være høyere enn ved bare én teknologi. Samtidig vil en få utslipp av karbondioksid så lenge fremdriftsmaskineriet er i drift, dette utgjør i snitt 2,3 tonn CO<sub>2</sub> i døgnet. Dette utslippet vil følgelig generere avgifter utover de kostnader som er presentert i tabellen.

#### *Dualfuel-forbrenningsmotor og brenselcelle*

Fordelen med dualfuel og brenselcelle er at begge motortypene har mulighet til å benytte seg av samme drivstoff. Dette gjør at en ikke trenger flere forskjellige drivstofftanker. En annen men nok så lik fordel, er at en kan benytte forskjellige drivstoff på de to metodene. Dette gjør at en kan optimalisere de forskjellige teknologiene og drivstoffene sammen. En trenger i tillegg

en liten tank for pilotfuel til bruk i dualfuel-motoren. Når en har to motortyper som dette kan en benytte den ene til drift hvor en har lavt og jevnt forbruk, mens når behovet er høyt kan en benytte begge motorene. Ved en slik blanding av teknologier gir det store muligheter for å kunne variere belastning på hver enkelt teknologi, slik en kan optimalisere enten pris, forbruk eller utslipp. For å gjøre dette enklere å beregne er det blitt benyttet en fordeling med 60% av energiforbruket dekket av forbrenningsmotoren og de resterende dekket av brenselcellen, som forklart i kapittel 3.

**Tabell 4.5:** Synliggjør resultater for dualfuel-motorens verdier når fartøy A kjører balansert belastning mellom forbrenning og brenselcelle. Fordelingen er 60% forbrenningsmotor.

<b>Drivstoff kapasitet</b> <b>240m<sup>3</sup> Totalt</b> <b>100m<sup>3</sup> Brenselcelle</b> <b>100m<sup>3</sup> Dualfuel</b> <b>40m<sup>3</sup> Pilotfuel</b>	<b>Ammoniakk</b> <b>Dualfuel</b>	<b>LNG</b> <b>Dualfuel</b>	<b>Metanol</b> <b>Dualfuel</b>	<b>Diesel</b> <b>Pilotfuel</b> <b>5%</b>
Energi dekningen i %	60%	60%	60%	
Energibehov MWh	30,0	30,0	30,0	1,6
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel MWh	60,0	60,0	60,0	3,2
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	17,0	10,2	13,8	0,3
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	7,4	4,4	6,0	0,2
Bunkringsfrekvens - Døgn	10,8	18,0	13,3	265,1
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1073,5	498	1492,4	3,3
Total Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	13,6*	22,7*	16,8*	212,1
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	5,1	6,5	0,5

\* - Bunkringsfrekvens når både dualfuel-motor og brenselcelle forbruker av samme bunkerstank samlet 200m<sup>3</sup>.

**Tabell 4.6:** Synliggjør brenselcellens verdier når den tar 40% av energiforbruket. Denne tabellen er koblet til tabell 4.5 for fartøy A

Drivstoff kapasitet $m^3$ 100 $m^3$ Brenselcelle 100 $m^3$ Dualfuel 40 $m^3$ Pilotfuel	Ammoniakk Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen(G) Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle
Energi dekkingen i %	40%	40%	40%	40%	40%
Energibehov MWh	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
Virkningsgrad Brenselcelle	60%	60%	60%	60%	60%
Energi i Fuel MWh	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
Drivstoff per syklus $-m^3$	9,9	14,9	28,1	6,0	8,0
Drivstoff - $m^3$ /Døgn	4,3	6,5	12,2	2,6	3,5
Bunkringsfrekvens - Døgn	18,4	12,3	6,5	30,8	22,8
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	80,2	80,2	19	57
Drivstoffpris - \$ /Døgn	627,8	1228	1228	291	873
Total Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	13,6*	9,8	5,2	22,7*	16,8*
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn /Døgn	0	0	0	3,0	3,8

\* - Bunkringsfrekvens når både dualfuel-motor og brenselcelle forbruker av samme bunkerstank samlet 200 $m^3$ .

I tabellene 4.6 og 4.5, er det tatt utgangspunkt i at dualfuel motoren dekker 60% av energibehovet i syklusen som fartøy A hadde i denne driftsperioden. Samtidig vil dualfuel-motoren benytte en lavere virkningsgrad enn brenselcellen. En kan se at kostnadene per døgn i hver tabell er relativt lav, dette er gjort for at en kan kombinere forskjellige drivstoff og enkelt summere de ulike kostnadene for å beregne ønskelig kombinasjon. Verdiene som er markert med \* er beregnet for et fartøy som benytter identisk drivstoff for både brenselcellen og dualfuel-motoren, og det er derfor benyttet 200 $m^3$  samlet drivstoffmengde.

Brenselcellen vil følgelig dekke de resterende 40% av energibehovet for denne driftssyklusen. Grunn til denne fordelingen er at brenselcellen kan benyttes til å betjene grunnlastene slik at brenselcellen kan gå med så stabil last som mulig. Forbrenningsmotoren derimot tar seg av variasjonene i energietterspørsel. Med jevn drift på brenselcellen vil levetiden øke, samt den gjennomsnittlige virkningsgraden kan økes. Dette kan igjen bidra til å redusere drivstoff og klimagassutslipp.

Kostnadene knyttet til bruk av brenselcelle og dualfuel-motor er relativt lav for hver enkel. Men om en summerer kostnaden for brenselcelle og dualfuel-motoren, vil en oppnå en noe lavere kostnad enn hva som er brukt i for eksempel ren dualfuel-motor. En ser også at antall døgn mellom hver bunkring minker, som igjen bidrar positivt. Samtidig vil en ha økte investeringskostnader, dette fordi brenselcelleteknologien er en umoden teknologi innenfor det maritime.

#### *Dualfuelmotor i samspill med en batteripakke for peakshaving.*

Denne teknologien brukes i dag hos flere fartøy i den norske offshore flåten. Dette er gjort for å kunne benytte batteriet når det kreves raske effekter, spesielt når fartøyene ligger inntil plattformene og trenger rask reaksjon på thrustere eller oppstart av pumper. Batteriet som blir plassert ombord har en batterivekt på 20 tonn i denne oppgaven. Dette tilsvarer omtrent vekten på de største batteripakkene som blir plassert ombord i fartøy i form av containerprinsippet. Batteriet blir så benyttet slik at det dekker 5% av det daglige energiforbruket. Dette skal være

tilstrekkelig til å kunne drive med peakshaving når fartøyets dualfuel-motor trenger litt ekstra kraft, eventuelt om en benytter to motorer, vil batteripakken forhindre at fartøyet starter opp en hjelpemotor for å dekke små men raske energibehov.

**Tabell 4.7:** Synliggjør resultatene for fartøy A som benytter seg av dualfuel-motor og en batteripakke, merk at dette er rene tall og ikke tall som er tatt med reduksjon av drivstoff som følge av god dynamikk mellom batteri og motor.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200 m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel  + 20 tonn batteri (peakshaving)	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Diesel Pilotfuel	Batteri Lithium Jern	Batteri Lithium NiKoAl
Energidekning i%	90	90	90	5	5% av ett døgn	5% av ett døgn
Energibehov MWh	52,6	52,6	52,6			
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel MWh	94,7	94,7	94,7	5,3	1,2	1,2
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	26,8	16,1	21,7	0,6	23067,9	10646,7
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	11,7	7,0	9,5	0,3	10073,3	4649,2
Bunkringsfrekvens - Døgn	17,1	28,5	21,1	159,0	2,0	4,3
Pris på drivstoff - Dollar/MW	41	19	57	22	21	21
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1695,0	785,5	2356,4	50,5	25,3	25,3
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	13,7	22,8	16,9	127,2	1,7	3,7
CO <sub>2</sub> Utslipp/døgn	0	8,1	10,28	0,69	0	0

Som en ser av resultatene presentert i tabell 4.7, vil de ulike drivstoffene fungere godt. Sammenligner en resultatene med ren dualfuel-motor, vil en eksempelvis spare omlag 700 liter med ammoniakk per døgn. Dette skyldes det at en benytter batteriet som tar en del av energien per døgn. I tillegg til resultatet som framligger i tabellen, kan en forvente at det blir ytterligere reduksjon i drivstoff-forbruket. Denne reduksjonen skapes av at batteriet leverer energi til peakene som kommer iløpet av døgnet, som igjen gjør at motoren kan gå med jevnt pådrag. På offshore-fartøy utgjør denne dynamikken mellom forbrenningsmotoren og batteriet en drivstoffreduksjon på 15-25% noe som gir en betydelig reduksjon i drivstofforbruk og kostnader tilknyttet dette. Denne reduksjonen kan en ikke forvente i samme omfang på brønnbåter som på offshorefartøy. Dette skyldes motorkonfigurasjoner og at en ved operasjoner langs plattformer ikke trenger å ha like stort overskudd av energi grunnet batteriet bidrar med dette. En kan dermed benytte færre motorer ved operasjon langs plattformer. Ved drivstoffreduksjon som følge av at en tilknytter batteri, vil eksempelvis prisen for ammoniakk reduseres med 354 dollar i døgnet om en klarer å oppnå 20% reduksjon.

Som en ser av de overstående resultatene for fartøy som har driftsprofil og en energietterspørsel lik som fartøy A, vil det ut fra de resultater som foreligger være flere faktorer som vil telle for og i mot flere av drivstoffene og teknologiene. Vurdert ut fra de tall som foreligger, vil det lønne seg å velge drivstoff som har lav pris per MWh. Ser en på tilgjengelighet, er det klart at LNG vil være det beste alternative drivstoffet selv om dette også er et petroleumsprodukt. LNG ivaretar kravene som er gjeldene med tanke på utslipp av NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub>, men kravene vil bli strengere de neste årene, noe som kan føre til miljøavgifter også for LNG fartøy. Ser en på ammoniakk har dette alternativet et ganske godt utgangspunkt, siden dette drivstoffet ikke inneholder karbon. Dermed slipper ikke ammoniakk ut CO<sub>2</sub> ved forbrenning, mens motorkonfigurasjonen benytter

pilotfuel, som vil slippe ut små mengder. Metanol på sin side er et meget bra drivstoff, men skal dette produseres på en miljøvennlig måte, og ikke via petroleumsprodukter, trengs det store mengder med biologisk trevirke for å framstille de kvantum som behøves for å dekke energibehovet til næringen. Mens ammoniakk kan framstilles miljøvennlig om en framstiller hydrogen ved elektrolyse og videre til ammoniakk.

Endring av drivstoffkapasitet vil føre til at en må designe fartøy etter den kapasiteten som er ønskelig. Ønsker en et fartøy med mindre drivstofftanker, grunnet ønske om økt kapasitet til fisketransport, vil en få omtrentlig samme daglige kostnad knyttet til de ulike drivstoffene. I motsetning til bunkringsfrekvensen som vil bli hyppigere ved mindre tankkapasitet. Som en ser av de alternative drivstoffene, vil samtlige måtte bunkre hyppigere enn dagens diesel. Dette gjør at en får en omstilling i hvordan en opererer fartøyene. En slik endring i driften vil nok kreve endel menneskelig omstilling. Denne økte bunkringsfrekvensen som kommer ved valg av et alternativt drivstoff vil være overkommelig om tilgjengeligheten til drivstoff er tilstede, slik at logistikken rundt bunkring er akseptabel.

#### 4.2.2 Driftssyklus med fartøy B

Fartøy B gikk i perioden driftsprofilen ble analysert i ren brønnbåt drift, det vil si at fartøyet i perioden fraktet laks fra oppdrettsmerdene til slakteriet. Den samlede energien som ble brukt i tidsperioden hvor driftsprofilen ble analysert ligger omlag 11 MWh over det som ble framlagt i driftsprofilen for fartøy A. Samtidig drev fartøyene med forskjellige operasjonelt arbeid. Siden fartøy B har mye fisketransport, hvor fartøyet bruker både fremdriftssystemer og fiskebehandlingssystemer. Som følge av dette og all transporten, ligger fartøyet mange timer ved slakteriet. Dette gjør at for fartøy B, vil en ha en driftsprofil som har store variasjoner mellom maks- og minimum-energiforbruk. Noe som igjen vil påvirke enkelte av motorsystemene på en slik måte at en kan spare energi ved å benytte den ene teknologien framfor den andre, under perioder ved lav energi etterspørsel.

**Tabell 4.8:** Viser verdiene for de ulike drivstoffene om fartøyet benytter seg kun av ett drivstoff. Her gjenspeiler en driftssituasjon for fartøy B

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup>	Ammoniakk	LNG	Metanol	Etanol	Diesel	Batteri Lithium jern	Batteri Lithium NiKoAl
Energibehov MWh	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel MWh	127,3	127,3	127,3	127,3	127,3	67,0	67,0
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	36,1	21,6	29,2	21,8	13,9	558	258
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	15,9	9,5	12,9	9,6	6,1	246	113
Bunkringsfrekvens - Døgn	15,1	25,2	18,7	25,0	39,1	1,0	2,1
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	22	21	21
Drivstoffpris - \$ /Døgn	2298,7	1065,3	3195,8	13484,1	1233,5	619,7	619,7
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	12,1	20,2	14,9	20,0	31,3	0,8	1,8
CO <sub>2</sub> Utslipp Tonn/Døgn	0	11,05	13,96	14,38	14,09	0	0

Tabell 4.8 synliggjør at en driftsprofil lik fartøy Bs bruker en større energimengde enn tilfellet er for fartøy A. Grunnen til dette kan være større forskjeller i tid hvor framdriftssystemet er i drift. Samtidig vil ren fisketransport generere et større energibehov, den lange liggetiden ved slakteriet kan ha vært med på å redusere energidifferansen. En kan dermed konkludere med at det er høyere differanse mellom energi behovet i de ulike driftssyklusene. Siden fartøyet har stor



differanse mellom laveste og høyeste energiforbruk, kan det tenkes at energisystemer som deler opp energibelastningen kan gi utslag i forhold til resultatene framlagt for driftssyklusen til fartøy A.

I tabell 4.9 ser en resultatene for en dualfuel-motor med pilotfuel med driftsprofilen til fartøy B. Denne tabellen er i utgangspunktet veldig lik tabellen for fartøy A 4.3, forskjellene ligger i energibehovet. Energiforbruket styrer hvordan de ulike teknologiene og drivstoffene vil prestere.

**Tabell 4.9:** Synliggjør verdiene for en dualfuel-motor hvor pilotfuel står for 5% av energitilskuddet for driftsprofilen til fartøy B.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200m <sup>3</sup> Mainfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk	LNG	Metanol	Etanol	Hydrogen (L)	Hydrogen (G)	Diesel Pilotfuel
Energiforbruk MWh	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel MWh	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	6,4
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	34,3	20,5	27,8	20,7	51,2	96,8	0,7
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	15,1	9,0	12,2	9,1	22,6	42,6	0,3
Bunkringsfrekvens - Døgn	13,2	22,1	16,4	21,9	8,9	4,7	130,3
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,5	80,5	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	2183,8	1012,0	3036,0	12809,9	4287,7	4287,7	61,7
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	10,6	17,7	13,1	17,5	7,1	3,8	104,2
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	10,47	13,20	13,63	0	0	0,69

Som en ser av resultatene presentert i tabell 4.9 ser en at ved begrenset kapasitet på tankene, altså 80% utnyttelsesgrad på grunn av sikkerhetsmarginer. Bruk av dualfuel forbrenningsmotor viser resultatene i tabell 4.9, noe hyppigere bunkringsfrekvens enn for fartøy A. Denne forskjellen ligger i energibehovet til driftsprofilen som også vil påvirke de daglige kostnadene. Eneste drivstoffet som har varighet på under en uke er hydrogen i gassform, som har få dager mellom bunkringene samt en relativ høy drivstoffpris i forhold til flere av de andre drivstoffene. Ser en på det totale inntrykket fra tabellen vil LNG komme best ut på grunn av lav kostnad per MWh samt høy indre energi. Ulempen med LNG er at dette er et petroleumsprodukt, og vil slippe ut CO<sub>2</sub> ved forbrenning. Ammoniakk vil derimot ikke slippe ut CO<sub>2</sub> ved forbrenning.

En kombinasjon mellom brenselcelle og en konvensjonell diesel-motor er synliggjort i tabell 4.10, verdiene gjelder for fartøy Bs driftssyklus. Her kan en sammenligne med tabellen for ren dualfuel motor at en får både lengre tid mellom hver bunkring og en får en totalt lavere kostnad per døgn for de alle drivstoffene. Her vil følgelig andre kostnader som vedlikehold og innkjøpskostnader i starten siden brenselcelle ikke er kommersielt brukt på fartøy i dag.

I tabell 4.11, er energibehovet fordelt slik at 60% blir dekket av dualfuel-motoren, mens de resterende 40% blir dekket av brenselcelle. Dette gjøres slik at en kan justere bruken av de to motoralternativene, og dermed redusere drivstofforbruket over tid. Dette er påstander som krever videre studie, selv om påstanden er naturlig med tanke på at en forbrennings motor får best forbrenning ved et vist pådrag i stedet for å gå på tomgang ved lav belastning. En studie som bare tar for seg ulike motoralternativer og samspillet mellom de enkelte vil kunne synliggjøre om samspillet mellom teknologiene har gunstig effekt på drivstofforbruk og utslipp, slik som er blitt gjort ved hybriddrift.

**Tabell 4.10:** Synliggjør resultatene for fartøt B i en brenselcelle- og dieselmotor kombinasjon hvor av dieselmotor drifter fremdrift mens brenselcelle drifter resterende forbrukere.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200m <sup>3</sup> Mainfuel 40m <sup>3</sup> Dieselmotor	Ammoniakk Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle	Etanol Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen (G) Brenselcelle	Diesel Dieselmotor
Energibehov MWh	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	21,3
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%	60%	50%
Energi i Fuel MWh	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	42,7
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	20,0	12,0	16,2	12,1	29,9	56,4	4,7
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	8,7	5,2	7,1	5,3	13,0	24,6	2,0
Bunkringsfrekvens - Døgn	22,9	38,2	28,3	37,9	15,3	8,1	19,6
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,5	80,5	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1273,9	590,3	1771,0	7472,5	2501,2	2501,2	409,7
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	18,3	30,6	22,6	30,3	12,3	6,5	15,7
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	6,05	7,68	7,93	0	0	4,62

Som tabellene viser er det mulighet for å benytte forskjellige drivstoff i de ulike teknologiene. Som for eksempel kan en benytte ammoniakk i forbrenningsmotoren og i brenselcellen benytte flytende hydrogen. Denne delingen av forskjellige drivstoff vil kunne være en fordel i drift, men en utfordring med eventuell planlegging og samkjøring av bunkring. En annen fordel med et slikt oppsett er at en har mulighet til å benytte samme drivstoff, og dele på bunkers kapasiteten. Deler en på drivstoffkapasiteten får fartøyet en bunkringsfrekvens som er merket med \*.

**Tabell 4.11:** Synliggjør resultatene for fartøy B med dualfuel og brenselcelle kombinasjon hvor fordelingen er 60% forbrenningsmotor og 40% brenselcelle

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 100m <sup>3</sup> Brenselcelle 100m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen (G) Brenselcelle
Energibehov MWh	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%
Energi i Fuel MWh	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	12,0	7,2	9,7	18,0	34,0
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	5,3	3,1	4,3	7,8	14,8
Bunkringsfrekvens - Døgn	15,2	25,4	18,8	10,2	5,4
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	80,2	80,2
Drivstoffpris - \$ /Døgn	759,8	352,1	1056,4	1486,3	1486,3
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	11,2*	18,8*	13,9*	8,9	4,3
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	3,61	4,65	0	0

\* - Bunkeringsfrekvens når både dualfuel-motor og brenselcelle forbruker av samme bunkerstank samlet 200m<sup>3</sup>.

Tabell 4.12 er tilknyttet tabell 4.11 i form av at sistnevnte tabell tar for seg brenselcelleteknologien som skal stå for 40% av energiproduksjonen til fartøyet. En ser tydelig at bunkringsfrekvensen vil variere etter drivstoff. Problemstillinger til bunkring er ett punkt som en reder må vurdere ved valg av drivstoff. Det er ikke bare bunkringsfrekvensen som er viktig, men også de volum som blir bunkret og tilgjengeligheten for dette langs norskekysten.

Tabell 4.13 synliggjør resultatene for et fartøy med 240m<sup>3</sup> med bunkringskapasitet samt ett 20

**Tabell 4.12:** Synliggjør forbrenningsmotor verdiene i samsvar med tabellen 4.11 for fartøy B.

<b>Drivstoff kapasitet</b> <b>240m<sup>3</sup> Total</b> <b>100m<sup>3</sup> Brenselcelle</b> <b>100m<sup>3</sup> Dualfuel</b> <b>40m<sup>3</sup> Pilotfuel</b>	<b>Ammoniakk</b> <b>Dualfuel</b>	<b>LNG</b> <b>Dualfuel</b>	<b>Metanol</b> <b>Dualfuel</b>	<b>Diesel</b> <b>Pilotfuel</b>
Energibehov MWh	36,3	36,3	36,3	1,9
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel MWh	72,6	72,6	72,6	3,8
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	20,6	12,3	16,7	0,4
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	9,1	5,4	7,3	0,2
Bunkringsfrekvens - Døgn	8,8	14,7	10,9	217,2
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1310,3	607,2	1821,6	4,1
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	11,2*	18,8*	13,9*	173,7
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	6,28	7,90	0,46

\* - Bunkeringsfrekvens når både Dualfuel motor og Brenselcelle forbruker av samme bunkerstank samlet 200m<sup>3</sup>.

tonns batteri som er til peakshaving. Ut fra beregningene som er gjort vil batteriet dekke 5% av energiforbruket per dag. Dette gjør at en kan benytte fordelene som ett batteri gir. Det er gjort tester på offshorefartøy som viser at batteriteknologien sparer 15-25% av drivstofforbruket, og en kan trolig trekke parallell fra dette for bruk hos brønnbåter, selv om en ikke vil ha samme positive effekt som offshorefartøyenes bruk under DP (Dynamisk Posisjonering). Nyere og større oppdrettsfartøyer får i noen tilfeller installert DP, noe som gjør at en kan bruke batteripakken på samme måte som offshore.[72] Tabellen tar ikke hensyn til denne reduksjonen. Utregning 4.3 viser en slik reduksjon for ammoniakk, noe som gir en døgnkostnad på 1735\$.

$$((2069\$/døgn + 61,7\$/døgn) \cdot 0,8) + 30,9\$/døgn = 1735\$/døgn \quad (4.3)$$

Settes denne kostnadsreduksjonen opp mot resultatene i tabell 4.9 ser en at drivstoff kostnaden for ammoniakk blir redusert med 510,5 \$/døgn, noe som tilsvarer omtrentlig 22,8% reduksjon i den daglige kostnaden. Uten denne reduksjonen vil kostnadsdifferansen være på omlag 83,9\$/døgn i forhold til ren dualfuel-motoroppsett. Bunkringsfrekvensen øker også noe sett i forhold til ren dualfuel-motor.

Den teknologien som kommer best ut fra beregningene rundt driftsprofilen til fartøy B er brenselcelleteknologi til bruk av forbrukere, mens en konvensjonell dieselmotor genererer kraft til framdriftssystemet. Denne oppdelingen gjør at en kan benytte brenselcellene til drift av hotellvirksomhet og elektromotorer til fiskebehandling. Denne teknologien er også mulig å kombinere med battericelle, slik at brenselcellen får mest mulig jevn belastning. Dette vil kunne forlenge vedlikeholdsintervallet grunnet mindre stress på cellen. Siden rask endring i brenselcellen bidrar til økt stress, vil battericellen flate ut denne endringen og stresset vil reduseres. Dette er også momenter som en må studere mer i tiden fremover for den maritime næringen, men også innen landbasert transport.

**Tabell 4.13:** Synliggjør resultatene for fartøy B som benytter hybridteknologi ved hjelp av batteripakke og dualfuelteknologi. Merk at dette er tall som ikke er reduserte grunnet god dynamikk mellom batteri og forbrenningsmotoren.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel  + 20tonn battericelle (peakshaving)	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Diesel Pilotfuel	Batteri Lithium Jern	Batteri Lithium NiKoAl
Energidekning i %	90	90	90	5	5% av ett døgn	5% av ett døgn
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel MWh	115,0	115,0	115,0	6,4	1,5	1,5
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	32,6	19,5	26,4	0,7	28015,3	12930,1
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	14,3	8,6	11,6	0,2	7742,4	3573,4
Bunkringsfrekvens - Døgn	14,0	23,3	17,3	130,3	1,6	3,5
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	22	21	21
Drivstoffpris - \$ /Døgn	2069,0	958,8	2876,5	61,7	30,9	30,9
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	11,2	18,7	13,8	104,2	1,4	3,0
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	10,0	12,5	0,46	0	0

#### 4.2.3 Driftssyklus med fartøy C

Fartøy C sin driftssyklus vil være den klart mest nøyaktige driftsprofilen. Denne driftsprofilen strekker seg over en lengre periode og er utført i samarbeid med Sintef. Driftsprofilen som strekker seg over en så lang periode vil inneholde en rekke mindre driftsoperasjoner, slike mindre driftsoperasjoner er synliggjort som driftssyklusene for fartøy A og fartøy B. Sammenligning av de ulike syklusene vil gjenspeile mye av den daglige driften og energibehovet for de ulike operasjonelle settingene. Siden studien strekker seg over en lengre tidsperiode, viser det seg at energibehov og drivstoff per syklus er høyere enn tilsvarende for de to andre fartøyene. Derfor er de resterende verdiene oppgitt per døgn slik at disse enkelt kan sammenlignes. Når en sammenligner verdiene fra de foregående driftssyklusene ser en at verdiene for fartøy C er noe høyere, dette forklares ved at det daglige energiforbruket er noe høyere grunnet ulike operasjonsmønstre. Som en ser fra tabell 4.14 vil både døgnkostnaden og bunkringsfrekvensen være mindre gunstig enn fartøy A og fartøy B.

**Tabell 4.14:** Synliggjør verdiene for driftsprofilen til fartøy C gjennom bruk av monofuel forbrenningsmotor eller ren batteridrift.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total	Ammoniakk	LNG	Metanol	Etanol	Diesel	Batteri Lithium Jern	Batteri Lithium NiKoAl
Energi MWh	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel MWh	14550,7	14550,7	14550,7	14550,7	14550,7	7658,3	7658,3
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	4124,6	2470,5	3338,5	2490,9	1593,4	63819,1	29454,9
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	18,4	11,0	14,9	11,1	7,1	284,3	131,2
Bunkringsfrekvens - Døgn	13,1	21,8	16,1	21,6	33,8	0,8	1,8
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	22	21	21
Drivstoffpris - \$ /Døgn	2657,2	1231,4	3694,1	15586,7	1425,8	716,3	716,3
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	10,5	17,4	12,9	17,3	27,1	0,7	1,6
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	12,79	16,12	16,62	16,40	0	0

tonn  
tonn

Tabell 4.14 synliggjør når fartøyet en monofuel-motor til å drifte fartøyet. Slike motorer er normalt en dieselmotor, men er beregnet å kunne gå på andre drivstoffer også. Da ser en at den bruker litt mer drivstoff per døgn enn tilsvarende med dualfuel. Bunkringsfrekvensen er noe lavere ved dualfuel grunnet monofuel har litt større tankkapasitet, siden en ikke benytter pilotfuel i en monofuel-motor. Dette gjør at bunkringsfrekvensen blir noe gunstigere ved monofuel enn med dualfuel. Denne fordelene blir opphevet ved at en dualfuel-motor kan benytte flere drivstoff og kan ved små endringer skifte mellom alternative drivstoff. Bunkringsfrekvensene for de alternative drivstoffene både i tabell 4.14 og 4.15 vil være overkommelig for de fleste drivstoffalternativene. Brønnbåter går sjeldent mer enn 3-5 dager før de er til kai. Operasjonene kan ofte foregå på fjerne lokasjoner, langt unna sivilisasjon og bunkringsmuligheter. Derfor vil drivstoffene som har lengre bunkringsfrekvens være å foretrekke. En kan videre ikke utelukke at det er mulig å benytte drivstoffene med hyppig bunkringsfrekvens, hvis operasjonsområdet, driftssyklusen og tilgjengeligheten på drivstoff tillater dette.

**Tabell 4.15:** Synliggjør hvordan energi og kostnadene fordeles når en benytter seg av dualfuel forbrenningsmotorer med diesel som pilotfuel, her i driftsprofilen til fartøy C.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200m <sup>3</sup> Mainfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk	LNG	Metanol	Etanol	Hydrogen (L)	Hydrogen (G)	Diesel Pilotfuel
Energi MWh	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4	7275,4
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel MWh	13823,2	13823,2	13823,2	13823,2	13823,2	13823,2	727,5
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	3918,4	2347,0	3171,6	2366,3	5854,5	11058,6	79,7
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	17,5	10,5	14,1	10,5	26,1	49,3	0,4
Bunkringsfrekvens - Døgn	11,5	19,1	14,2	19,0	7,7	4,1	112,7
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,2	80,2	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	2524,3	1169,8	3509,4	14807,4	4937,8	4937,8	71,3
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	9,2	15,3	11,3	15,2	6,1	3,2	90,2
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	12,21	15,26	15,72	0	0	0,92

Tabell 4.15 synliggjør resultatene som framkommer for fartøyet når en har en gitt drivstoffkapasitet. Til sammenligning vil en ha større drivstoff forbruk og følgelig lineær økning i daglige kostnader tilknyttet dette. Siden fartøy C studien strekker seg over en lengre tidsperiode, vil dette lage et snitt på energiforbruket. Ut fra dette kan en se at de fleste drivstoffene kan driftes over en uke før en må bunkre på nytt. Både flytende og gassifisert hydrogen har relativt hyppig bunkringsfrekvens, så dette kan bli en belastning i enkelte fartsområder.

Brenselcellen vil som i de to foregående driftsprofilene være med på å redusere drivstofforbruket grunnet den økte virkningsgraden på brenselcellen i forhold til forbrenningsmotorene. Denne fordelene vil kun være tilstede på enkelte brenselceller, det er verd å påpeke at de mest vanlige PEM brenselcellene har omtrent lik virkningsgrad som en forbrenningsmotor. Tabellen gjelder derfor bare for brenselceller med høy virkningsgrad som eksempelvis SOFC brenselcellen. Tabell 4.16 synliggjør at en vil oppnå bedret kostnad og bedre bunkringsfrekvens enn ved dualfuel-motoren.

Tabellene 4.18 og 4.17 hører sammen. Her omhandler tabell 4.17 brenselcelle-verdiene, mens 4.18 omhandler dualfuel motorarrangementet.

**Tabell 4.16:** Synliggjør resultatene for fartøy C hvor brenselcellen benyttes som generator til fartøyets forbrukere. Framdriftssystemet driftes av en dieselgenerator. Merk at drivstofftanken til brenselcelle er vesentlig større enn dieselmotoren.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200m <sup>3</sup> Brenselcelle 40m <sup>3</sup> Dieselmotor	Ammoniakk Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle	Etanol Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen (G) Brenselcelle	Diesel Forbrennings motor
Energibehov MWh	4796,3	4796,3	4796,3	4796,3	4796,3	4796,3	2479,1
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%	60%	50%
Energi i Fuel MWh	7993,8	7993,8	7993,8	7993,8	7993,8	7993,8	4958,2
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	2266,0	1357,2	1834,1	1368,4	3385,6	6395,0	542,9
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	10,1	6,0	8,2	6,1	15,1	28,5	2,4
Bunkringsfrekvens - Døgn	19,8	33,1	24,5	32,8	13,3	7,0	16,5
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,2	80,2	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1459,8	676,5	2029,5	8562,9	2855,5	2855,5	485,9
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	15,9	26,5	19,6	26,3	10,6	5,6	13,2
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	6,98	8,87	9,13	0	0	5,54

**Tabell 4.17:** Synliggjør resultatene for brenselcellen i kombinasjon med dualfuelmotor på fartøy C hvor fordelingen er 60% forbrenningsmotor og 40% brenselcelle

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 100m <sup>3</sup> Brenselcelle 100m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen (G) Brenselcelle
Energidekning i %	40	40	40	40	40
Energibehov MWh	2910,1	2910,1	2910,1	2910,1	2910,1
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%
Energi i Fuel MWh	4850,2	4850,2	4850,2	4850,2	4850,2
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	1374,9	823,5	1112,8	2054,2	3880,2
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	6,1	3,7	5,0	9,1	17,3
Bunkringsfrekvens - Døgn	13,1	21,8	16,1	8,7	4,6
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	80,2	80,2
Drivstoffpris - \$ /Døgn	885,7	410,5	1231,4	1732,6	1732,6
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	9,6*	16,1*	11,9*	6,5*	3,4*
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	4,30	5,41	0	0

Det siste motorarrangementet for fartøy C er synliggjort i tabell 4.19, og omhandler en dualfuelmotor i samspill med ett 20 tonn tungt batteri. Verdiene som er synliggjort i tabellen er ikke presentert med reduksjon som følge av dette samspillet. Det foreligger idag lite forskning omkring batteri/hybrid drift av brønnbåter, derav er en reduksjon av drivstofforbruk ikke tatt med i resultattabellene.

Driftsprofilen til fartøy C er den som har de beste datagrunnlagene, og det er derfor laget en mer utdypende sammenkobling mellom de ulike drivstoffene og teknologiene. Denne sammenligningen er presentert i delkapittel 4.3, hvor en presenterer blant annet avgifter for CO<sub>2</sub> utslipp, og relative kostnader sett i forhold til diesel.

**Tabell 4.18:** Synliggjør dualfuel-motorens resultater som dekker energibehovet som resterer etter brenselcellen i tabell 4.17 for fartøy C

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 100m <sup>3</sup> Brenselcelle 100m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Diesel Pilotfuel
Energidekning i %	60%	60%	60%	
Energi MWh	4147,0	4147,0	4147,0	218,3
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel MWh	8293,9	8293,9	8293,9	436,5
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	2351,0	1408,2	1902,9	47,8
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	10,5	6,3	8,5	0,2
Bunkringsfrekvens - Døgn	7,6	12,8	9,4	187,9
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	1514,6	701,9	2105,7	4,7
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	9,6*	16,1*	11,9*	150,3
CO <sub>2</sub> Utslipp - Tonn/Døgn	0	7,33	9,2	0,46

**Tabell 4.19:** Synliggjør resultatene for fartøy C som et hybrid fartøy som benytter dualfuel-motor og batteri. Her er tallene for drivstoff ikke redusert som følge av samspillet med batteriet.

Drivstoff kapasitet 240m <sup>3</sup> Total 200m <sup>3</sup> Dualfuel 40m <sup>3</sup> Pilotfuel  + 20tonn battericelle (peakshaving)	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Diesel Pilotfuel	Batteri Lithium Jern	Batteri Lithium NiKoAl
Energidekning i %	90	90	90	5	5% av ett døgn	5% av ett døgn
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel MWh	13095,7	13095,7	13095,7	727,5	1,6	1,6
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	3712,2	2223,5	3004,6	79,7	3190952,6	1472747,3
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn	16,5	9,9	13,4	0,4	14212,6	6559,7
Bunkringsfrekvens - Døgn	12,1	20,2	14,9	112,7	1,4	3,0
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	22	21	21
Drivstoffpris - \$ /Døgn	2391,5	1108,2	3324,7	71,3	34	34
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	9,7	16,2	12,0	90,2	1,2	2,6
Drivstoffpris - \$ /Døgn	0	11,51	14,50	0,92	0	0

\* - Bunkeringsfrekvens når både dualfuel-motor og brenselcelle forbruker av samme bunkerstank på 200m<sup>3</sup>.

#### 4.2.4 Servicebåt

Servicebåten vil ha vesentlig mindre energiforbruk enn hva som er tilfellet for brønnbåtene, samt er det gjort en mye grovere antagelse på både driftsprofil og drivstofforbruket. Hensikten med verdiene for servicebåten er å synliggjøre de store energi forskjellene mellom fartøystyper i oppdrettsnæringen. De store forskjellene i størrelse, energiforbruk og driftsprofiler kan være avgjørende med tanke på hvilken teknologi som vil være å foretrekke. Videre skal oppgaven presentere de verdier som kommer fram av de forskjellige motorkonfigurasjonene.

**Tabell 4.20:** Synliggjør alle drivstoffene om de ble brukt som monofuel i en servicebåt, her med 4m<sup>3</sup> total mengde drivstoff (4000kg batteri)

Drivstoff kapasitet 4m <sup>3</sup> Total eller 4000kg batteri	Ammoniakk Monofuel	LNG Monofuel	Metanol Monofuel	Etanol Monofuel	Hydrogen (L) Monofuel	Hydrogen (G) Monofuel	Diesel Pilotfuel	Batteri Jern	Batteri LiNiAl
Energidekning i %	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Energiebehov kWh	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel kWh	2604,3	2604,3	2604,3	2604,3	2604,3	2604,3	2604,3	1370,7	1370,7
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	0,7	0,4	0,6	0,4	1,1	2,1	0,3	11,4	5,3
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	2,9	1,7	2,3	1,7	4,3	8,1	1,1	44,2	20,4
Bunkringsfrekvens - Døgn	5,4	9,0	6,7	9,0	3,6	1,9	14,0	0,1	0,2
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,2	80,2	22	21	21
Drivstoffpris - \$ /Døgn	106,8	49,5	148,4	626,3	208,9	208,9	57,3	28,8	28,8
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	4,3	7,2	5,4	7,2	2,9	1,5	11,2	0,1	0,2

Som en ser av tabell 4.20 vil samtlige drivstoff ha en kort bunkringsfrekvens sammenlignet med de større brønnbåtene. Dette er ikke nødvendigvis noen ulempe siden fartøyene er til kai stort sett hver dag, hvor de da har mulighet til å bunkre drivstoff eller lade batterier. Batteriene vil være en del større enn hva som er oppgitt i tabell 4.20, for at fartøyet skal kunne driftes med dette. Det er verdt å merke seg at fartøyet da unngår å ligge med hovedmaskineriet igang for at kranen ombord skal kunne brukes. Her vil en batteripakke gi energi når kraften trengs, og det totale energiforbruket kan tenkes at reduseres mens fartøyet ligger til merdene og driver med diverse arbeid.

Dualfuel vil også være aktuelt for servicefartøyene, dette grunnet at de da har mulighet å benytte flere drivstoff. Grunnet plassmangel vil slike fartøy trolig ikke ha flere tilgjengelige drivstofftanker enn én i hvert skrog. Dette gjør da at hver motor har omlag 2000 liter disponibelt, mens for dualfuel motorarrangementet blir det benyttet 4000 liter med total drivstoff kapasitet. Hvorav 3500 er alternative drivstoff mens motorene trenger et pilotfuel for å starte forbrenning på rett tidspunkt, derav 500 liter med diesel.

Fra tabell 4.21 kommer resultatene for en servicebåt som benytter seg av dualfuel-teknologien. Dualfuel motoren åpner muligheten for å benytte flere drivstoffalternativer, og dette kan være gunstig dersom de alternative drivstoffene er tilgjengelig i områder fartøyet ferdes.

I tabell 4.22 finner en resultater for servicebåten, når den bruker en hybridløsning med dualfuel-motor i samspill med batteripakke. Batteripakken er valgt til å være 500 kg.

Som en vet fra tidligere resultater rundt batteripakker i samspill med forbrenningsmotorer, kan en forvente en reduksjon i drivstofforbruket. Hvor mye dette vil utgjøre på denne type fartøy er her uvisst.



**Tabell 4.21:** Resultatene for dualfuel motor for en servicebåt

Drivstoff kapasitet 4m <sup>3</sup> Total 3,5 m <sup>3</sup> Mainfuel 0,5m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Etanol Dualfuel	Hydrogen (L) Dualfuel	Hydrogen (G) Dualfuel	Diesel Pilotfuel
Energidekning i %	95%	95%	95%	95%	95%	95%	5%
Energibehov kWh	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel kWh	2474,1	2474,1	2474,1	2474,1	2474,1	2474,1	130,2
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	0,7	0,4	0,6	0,4	1,0	2,0	0,014
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	0,7	0,4	0,6	0,4	1,0	2,0	0,014
Bunkringsfrekvens - Døgn	5,0	8,3	6,2	8,3	3,3	1,8	35,1
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	204,5	80,2	80,2	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	101,4	47,0	141,0	595,0	198,4	198,4	2,9
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	4,0	6,7	4,9	6,6	2,7	1,4	28,1

**Tabell 4.22:** Dualfuel motor i samspill med batteripakke for Peakshaving for en servicebåt.

Drivstoff kapasitet 4m <sup>3</sup> Total 3,5 m <sup>3</sup> Mainfuel 0,5m <sup>3</sup> Pilotfuel 500kg Batteri	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Etanol Dualfuel	Hydrogen (L) Dualfuel	Hydrogen (G) Dualfuel	Diesel Pilotfuel	Batteri Jern	Batteri NiKoAl
Energidekning i %	90%	90%	90%	90%	90%	90%	5%	5%	5%
Energibehov kWh	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1			
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	95%	95%
Energi i Fuel kWh	2343,9	2343,9	2343,9	2343,9	2343,9	2343,9	130,2	68,4	68,4
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	0,7	0,4	0,5	0,4	1,0	1,9	0,0	571,1	68,4
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	0,7	0,4	0,5	0,4	1,0	1,9	0,1	571,1	263,6
Bunkringsfrekvens - Døgn	5,3	8,8	6,5	8,7	3,5	1,9	9,1	0,9	263,6
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	204,5	80,2	80,2	22	21	1,9
Drivstoffpris - \$ /Døgn	96,1	44,5	133,6	563,7	188,0	188,0	2,9	1,4	1,4
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	4,2	7,0	5,2	7,0	2,8	1,5	7,2	0,7	1,6

Ren brenselcelle motor er tatt med siden en ikke har data som deler opp energiforbruket i framdrift og generatordrift. I slike små fartøy vil det være å foretrekke med enkle løsninger som ikke tar for mye plass. Derfor er det valgt å benytte seg av en ren brenselcelle løsning i stedet for å ha en ekstra forbrenningsmotor.

**Tabell 4.23:** Tabellen viser verdiene om servicebåten bare benytter brenselceller med virkningsgrad 60%, som typisk er en SOFC brenselcelle.

Drivstoff kapasitet 4m <sup>3</sup> Total	Ammoniakk Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle	Etanol Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen (G) Brenselcelle
Energibehov kWh	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1	1302,1
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Energi i Fuel kWh	2170,2	2170,2	2170,2	2170,2	2170,2	2170,2
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	0,6	0,4	0,5	0,4	0,9	1,7
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	2,4	1,4	0,5	1,4	3,6	6,7
Bunkringsfrekvens - Døgn	6,5	10,9	8,5	10,8	4,4	2,3
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	204,5	80,2	80,2
Drivstoffpris - \$ /Døgn	89,0	41,2	123,7	521,9	174,1	174,1
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	5,2	8,7	6,4	8,6	3,5	1,8

Brenselcelle teknologi er en spennende teknologi som kan være med å påvirke transportmidler på land og vann de neste tiårene. Resultater for et fartøy som bare benytter en brenselcelle

er synliggjort i tabell 4.23, hvor en ser at verdiene er noe mer gunstig enn ved bruk av en forbrenningsmotor.

*Dualfuelmotor i kombinasjon med en brenselcelle 50/50 i energifordeling.*

**Tabell 4.24:** Synliggjør resultatene for brenselcellen når energifordelingen er 50/50 mellom den og en dualfuel motor i en servicebåt.

Drivstoff kapasitet 4m <sup>3</sup> Total 2m <sup>3</sup> brenselcelle 1,75m <sup>3</sup> Dualfuel 0,25 m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Brenselcelle	LNG Brenselcelle	Metanol Brenselcelle	Etanol Brenselcelle	Hydrogen (L) Brenselcelle	Hydrogen (G) Brenselcelle
Energibehov kWh	651,1	651,1	651,1	651,1	651,1	651,1
Virkningsgrad Motor	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Energi i Fuel kWh	1085,1	1085,1	1085,1	1085,1	1085,1	1085,1
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,9
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,9
Bunkringsfrekvens - Døgn	5,2	8,7	6,4	8,6	3,5	1,8
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,2	80,2
Drivstoffpris - \$ /Døgn	44,5	20,6	61,9	261,0	87,0	87,0
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	4,6*	7,6*	5,6*	7,5*	3,1*	1,6*

\* - verdiene tilsvarer bunkringsfrekvensen om både brenselcellen og dualfuel-motoren går på samme drivstoffet og deler drivstoffkapasiteten.

**Tabell 4.25:** Synliggjør resultatene for dualfuelmotoren når denne og en brenselcelle deler på energitilførselen en servicebåt.

Drivstoff kapasitet 4m <sup>3</sup> Total 2m <sup>3</sup> brenselcelle 1,75m <sup>3</sup> Dualfuel 0,25 m <sup>3</sup> Pilotfuel	Ammoniakk Dualfuel	LNG Dualfuel	Metanol Dualfuel	Etanol Dualfuel	Hydrogen (L) Dualfuel	Hydrogen (G) Dualfuel	Diesel Pilotfuel
Energibehov kWh	618,5	618,5	618,5	618,5	618,5	618,5	39,1
Virkningsgrad Motor	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Energi i Fuel kWh	1237,0	1237,0	1237,0	1237,0	1237,0	1237,0	78,1
Drivstoff per syklus -m <sup>3</sup>	0,4	0,2	0,3	0,2	0,5	1,0	0,009
Drivstoff - m <sup>3</sup> /Døgn 100% drift	0,4	0,2	0,3	0,2	0,5	1,0	0,009
Bunkringsfrekvens - Døgn	4,6	7,6	5,6	7,6	3,1	1,6	29,2
Pris på drivstoff - Dollar/MWh	41	19	57	240,5	80,2	80,2	22
Drivstoffpris - \$ /Døgn	50,7	23,5	70,5	297,5	99,2	99,2	0,2
Bunkringsfrekvens begrenset - Døgn	4,6*	7,6*	5,6*	7,5*	3,1*	1,6*	23,4

\* - verdiene tilsvarer bunkringsfrekvensen om både brenselcellen og dualfuel motoren går på samme drivstoffet og deler drivstoffkapasiteten.

Motorarrangement som benytter mer enn en teknologi, har større mulighet til å utnytte de sterke sidene til de forskjellige teknologiene. Dette kan gjør at en skåner omgivelser både for klimagassutslipp, men også for unødvendig støy. Fordelen med en servicebåt er at den opererer i og rundt oppdrettsmerdene. Dette gjør at fartøyene normalt sett legges til kai på lik lokasjon hver kveld. Videre gjør dette at fartøyene har mulighet til å bunkre oftere. Eksempelvis kan fartøyene lade hver natt, eller bunkre drivstoff hver morgen før de setter kursen mot oppdrettsanleggene.

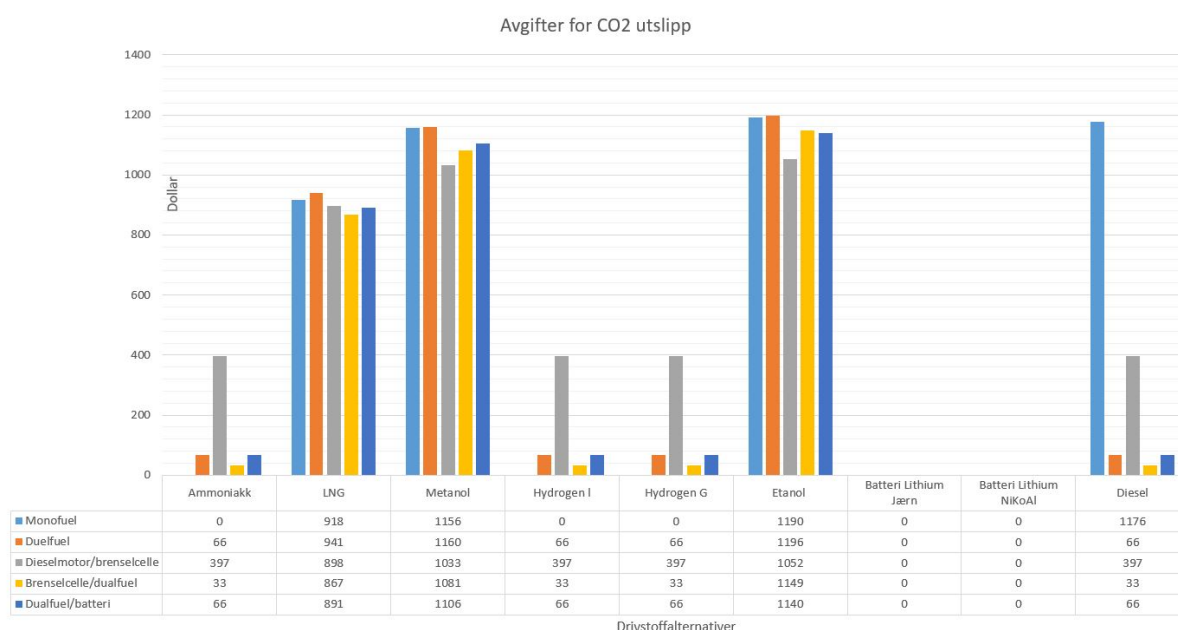
En annen faktor som kan være interessant å se på er om oppdrettsanleggene får landstrøm, en kan da lade fartøyet mens det ligger fortøyd til fôrflåten. Benytter en samme type drivstoff som genererer elektrisitet på fôrflåten, er det mulig å fylle drivstoff mens en er på fôrflåtene. Derav kan leveranser med nytt drivstoff enten gjøres ved leveranser fra større fartøy eller at servicefartøyet tar med dette fra land.

Karbondioksid utslippet fra slike fartøy er vesentlig lavere enn fra de større fartøyene, dette skyldes et lavere forbruk av drivstoff. Det vil imidlertid være gunstig for oppdrettere å tenke på utslippene grunnet de nye reglene som vil tre i kraft de neste årene. Eksempelvis i området rundt Geiranger hvor det allerede finnes strenge krav til utslipp fra fartøy i kommersiell drift, som brønnbåter og servicebåter.

### 4.3 Sammendrag av resultater

I dette underkapittelet vil det resultatene bli lagt fram og sammenlignet. Dette blir gjort for å visualisere resultatene på en annen måte, slik at det er lettere å få oversikt. Resultatene som er sammenlignet under, er resultatene for fartøy C, siden dataene for dette fartøyet er mer nøyaktige enn for de andre driftsprofilene, som er basert på AIS grunnlag.

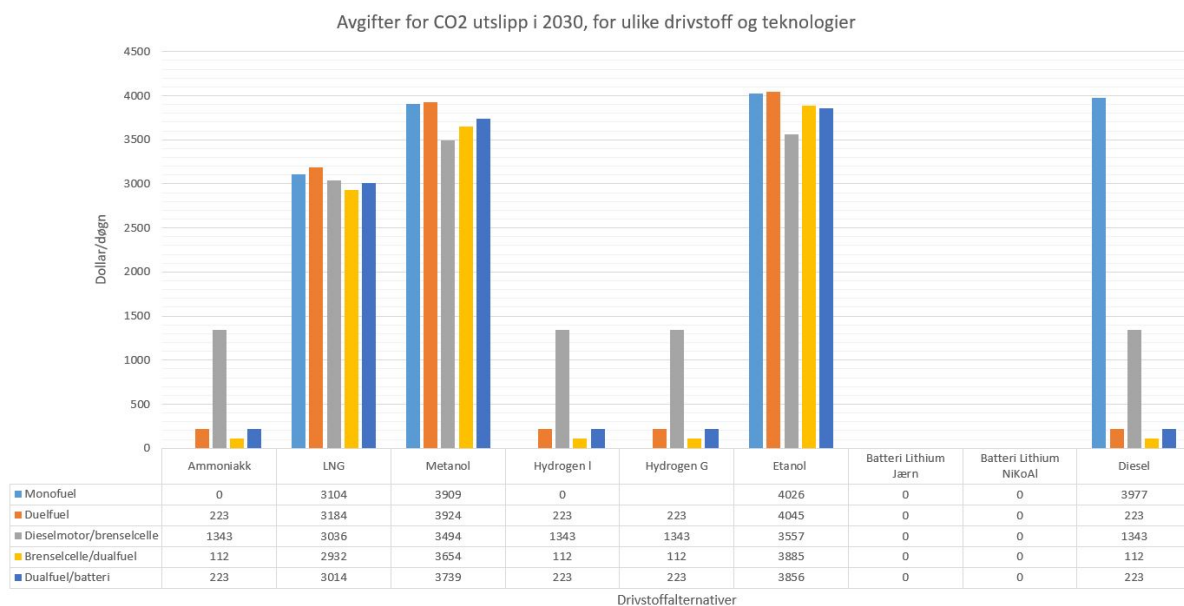
Figur 4.1 synliggjør de daglige kostnadene tilknyttet avgift for utslipp av karbondioksid. Avgiftene er basert på dagens avgiftstakst som er 591 kr/tonn  $CO_2$  som blir sluppet ut i atmosfæren. Som en ser av tabell 4.1, er samtlige alternativer ilagt avgift grunnet bruk av enten pilotfuel som inneholder karbon eller at drivstoffet selv inneholder karbon. En ser at drivstoffer som etanol, metanol og LNG er ilagt avgift. Drivstoffene er tilgjengelige som bio-drivstoff, da vil ikke denne avgiften bli ilagt. Avgiften frafaller på grunn av at bio-drivstoff blir betraktet som nullutslipps-drivstoff.



**Figur 4.1:** Synliggjør de ulike avgiftene tilknyttet de ulike teknologiene og drivstoffene ved dagens takst på 591kr/tonn.

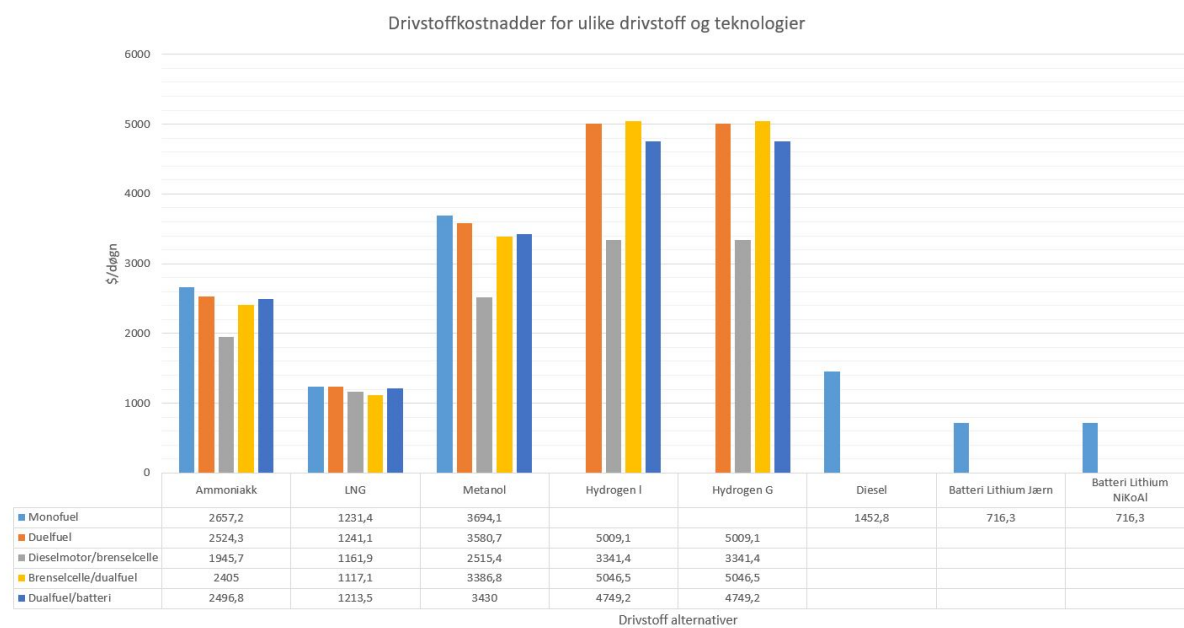
Figur 4.2 er på mange måter helt lik som figur 4.1, forskjellen ligger i avgiftssatsen. På tabell 4.2 er avgiften satt til 2000kr/tonn, dette kan bli avgiftssatsen om utviklingen av  $CO_2$  avgiften fortsetter i samme tempo som den har gjort til nå, dette vil som kjent bli avgjort politisk. Dette gjør at redere blir tvunget til å benytte mer utslippsfrie drivstoffer, for å holde de totale kostnadene så lav som mulig.

Drivstoffene har en kostnad, denne kostnaden er synliggjort i figur 4.3. Søylediagrammene synliggjør at det bare er LNG og batteri som har mulighet til å konkurrere med dagens diesel, gitt drivstoffkostnadene som var i februar 2021. En ser at ammoniakk er vesentlig billigere enn hva hydrogen er. Dette kommer av at hydrogenet er produsert miljøvennlig ved elektrolyse, mens ammoniakk er produsert fra LNG. Her vil avgiftene måtte tilfalle enten produsenten av ammoniakk, eller så vil drivstoff kostnaden trolig økes som følge av denne avgiften. Etanol er ikke tatt med i denne sammenligningen da etanol er kunstig høyt priset grunnet høy etterspørsel, trolig



**Figur 4.2:** Synliggjør de ulike avgiftene tilknyttet de ulike teknologiene og drivstoffene om utviklingen på CO2 avgift fortsetter oppover 2000kr/tonn i 2030.

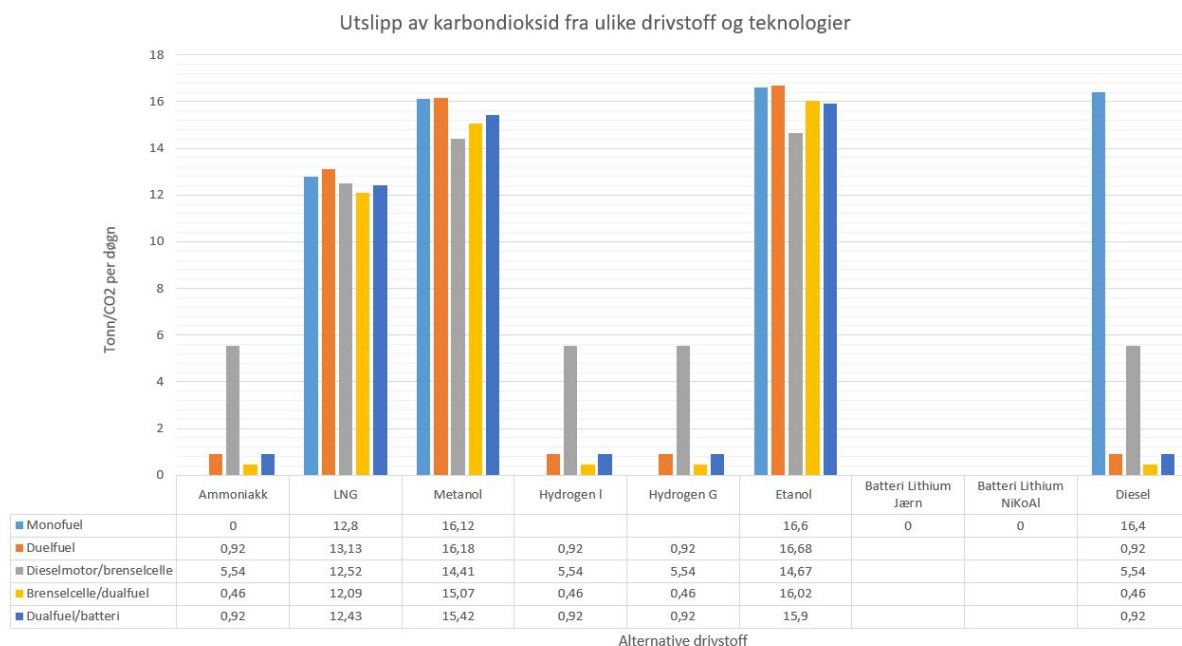
grunnet pandemien. Etanol hadde derav gjort skalaen vanskelig å lese, og er utelatt på grunn av dette.



**Figur 4.3:** Synliggjør drivstoff kostnadene til de ulike teknologiene og drivstoffene, for fartøy C.

Avgiftene i figurene 4.1 og 4.2 er basert på utslippene gitt fra figur 4.4. Utslippene er basert på drivstofforbruket til fartøyet og hvordan de ulike teknologiene og drivstoffene gjør det ut fra gjeldende omstendigheter. Som en ser tydelig er det ikke karbon holdige drivstoffer som gjør det best, dette inkluderer også batteriene. De små utslippene kommer av at en benytter diesel som såkalt pilotfuel. Dette gjør at en får små utslipp selv om hoveddrivstoffet er uten karbon, og vil følgelig ikke slippe ut karbondioksid ved forbrenning. Selv om en benytter bio-drivstoff

for eksempel LBG, vil en fortsatt ha utslipp av karbondioksid. Mens en vil ved bruk av avgifter gjøre forskjell på om drivstoffet er av petroleumsvirksomhet eller om det er bio-drivstoff. Fra tabellene er det ikke tatt hensyn til om drivstoffene er biologisk framstilt eller ikke. Her er det faktiske utslippet som er avgiftsbelagt.

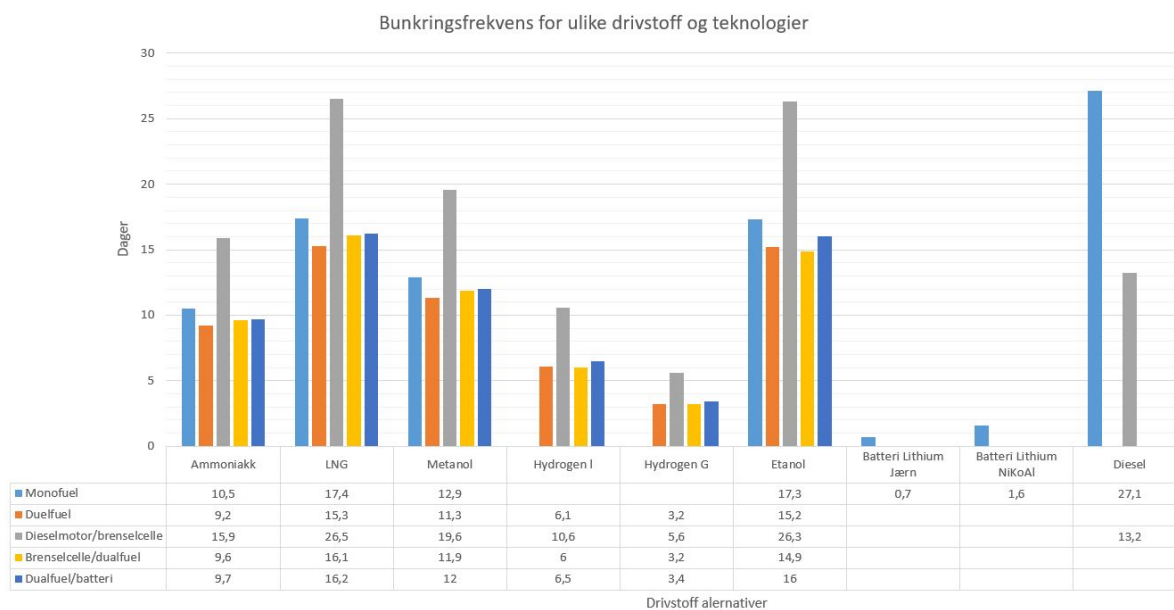


**Figur 4.4:** Synliggjør CO<sub>2</sub> utslippene fra de ulike drivstoffene og teknologiene.

Bunkringsfrekvensen sier noe om hvor mye energi en klarer å lagre ombord. Slik som oppgaven er laget vil en i alle tilfellene ha 240m<sup>3</sup> med bunkringskapasitet. Mens en vil ha et ekstra batteri på 20 tonn ved dualfuel/batteri motoroppsett, noe som øker bunkringsfrekvensen. Det en ser som er klart beste alternativet er når en benytter brenselcelle som generator, mens en benytter en konvensjonell dieselmotor på framdriftssystemet. En oppnår da vesentlig lengre levetid på en bunkerstank i forhold til de andre alternative løsningene. Ulempen med dette er som vist i tabell 4.4 at en har vesentlig mer utslipp for de drivstoffene som ikke inneholder karbon. Bunkringsfrekvensene er synliggjort i figur 4.5, her er høyere søyler positivt. Ser man på søylediagrammet fra et brukers perspektiv, vil det være gunstig å ha lengre bunkringsfrekvens enn hva batterimodellene kan gi. Batteriene er forøvrig valgt til å veie 240 tonn, noe som er mer enn egenvekten på drivstoffene som blir benyttet. Grunnet motorarrangementet vil totalvekten på flytende drivstoff øke, derfor er det gjort et omtrentlig overslag med vekten på batteriet.

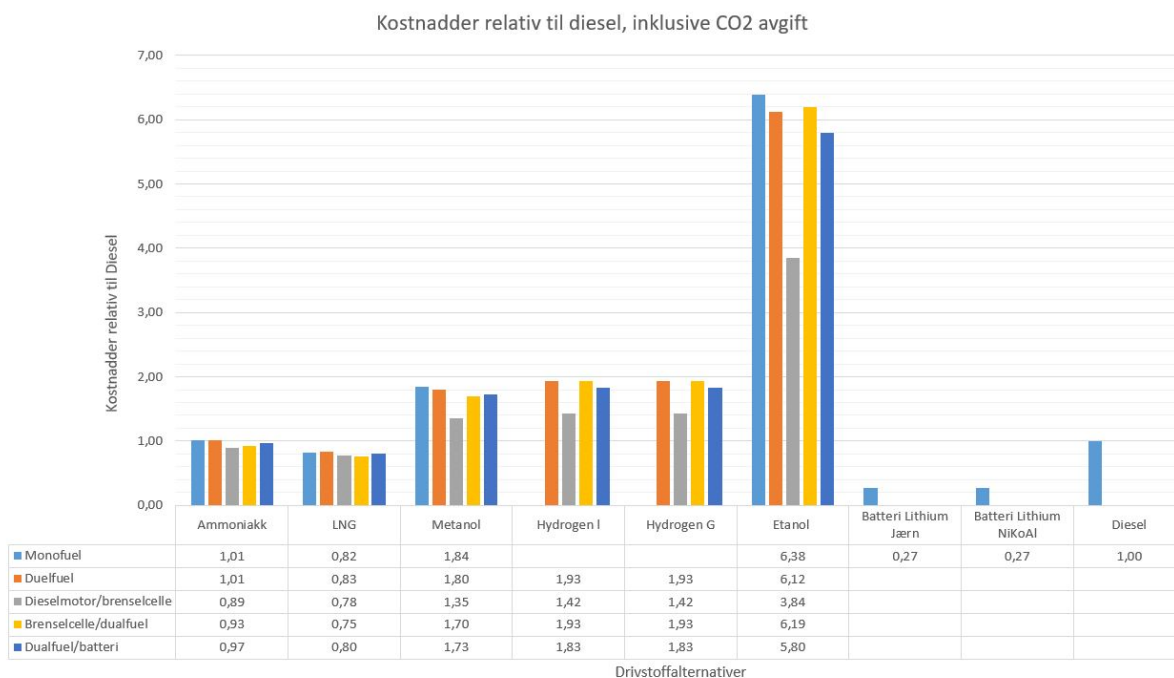
Driften av fartøyene og hvor ofte det praktisk mulig å bunkre drivstoff, vil være en avgjørende rolle for hvilke drivstoff en velger å benytte. Fra dagens bunkringsfrekvens på omlag 27 dager til en bunkringsfrekvens på bare noen få dager vil bli en stor omveltning for hvordan en organiserer arbeid til sjøs. Av de karbonfrie drivstoffene er det ammoniak som kommer best ut. Blant de andre drivstoffene er det LNG/LBG som blir det beste alternativet med tanke på bunkringsfrekvensen, om en ikke skal benytte seg av diesel.

Relative kostnader sett i forhold til diesel vil være en meget interessant sammenligning. Sammenligningen inkluderer avgifter for både drivstoffkostnad og for CO<sub>2</sub> utslipp når de er slått

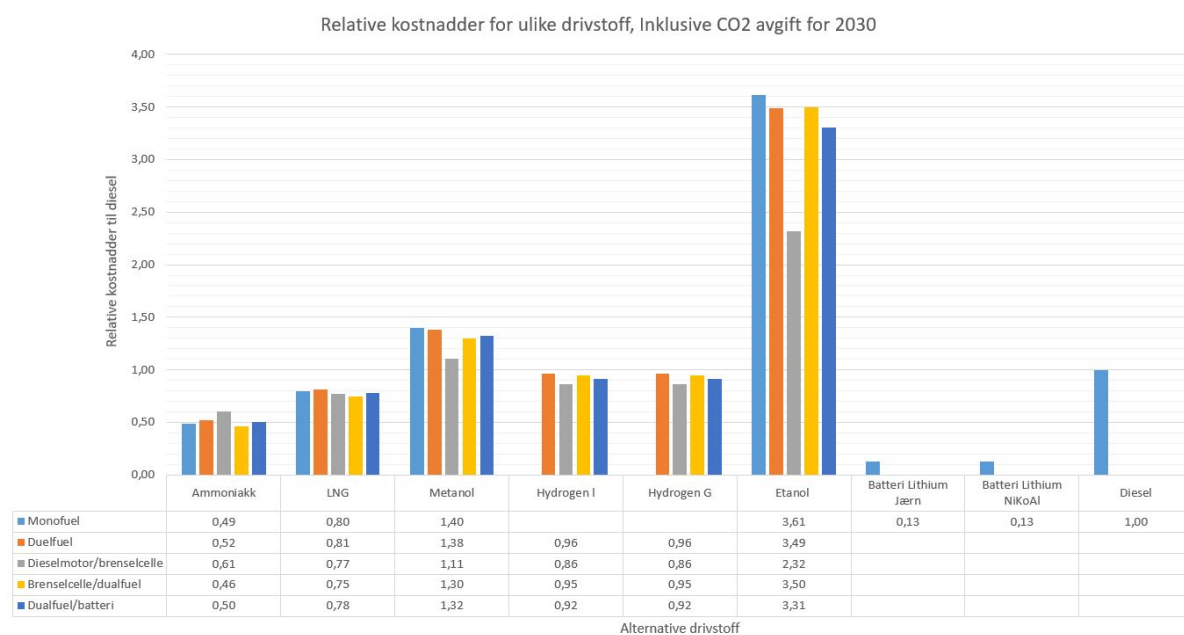


**Figur 4.5:** Synliggjør hvor ofte fartøyet må fylle drivstoff om ved de ulike teknologiene og drivstoffene.

sammen til en stor utgiftspost. Dette gir et helhetlig bilde på hvordan en kan tenke seg at utgiftene rundt drivstoffene blir ved overgang fra diesel til et annet alternativ. Diesel vil ha relativ kostnad 1, mens de andre vil enten være over eller under 1. Det som er interessant å merke seg er at kostnadene på de ikke karbonholdige drivstoffene blir tydelig redusert. En ser med dette at avgiftene vil påvirke valget av drivstoff, samt at LNG omtrent er 20% rimeligere enn hva diesel er idag. Samtidig ser en at grå ammoniakk er konkurransedyktig på pris.



**Figur 4.6:** Relative kostnader i forhold til diesel. Verdiene er samlet kostnad for drivstoff og avgifter for 2021 avgiftsregimet. Kostnadene er basert på daglige kostnader.



**Figur 4.7:** Synliggjør de relative kostnadene for de ulike drivstoffene sett opp mot diesel. Her er avgiftene økt, mens drivstoff kostnadene er lik som i dag.

Fra figur 4.7 ser en at økte avgifter vil påvirke de drivstoffene som har lite karbon i seg i positiv grad. En ser at hydrogen, som er priset for å være produsert på grønn måte, her er blitt konkurransedyktig med diesel. Avgiftene gjør at om en reder skal ha mulighet til å drive konkurransedyktig, er en nødt til å være med i teknologiutviklingen. Selv om kostnadene i dag ikke lønner seg, vil økte avgifter være med på å utjevne forskjellene i årene som kommer.

#### 4.4 Sammenligning av AIS resultater og ombordmålt energibehov.

En svakhet med driftsprofilene som er generert for fartøy A og fartøy B er at de er tatt utgangspunkt i data hentet fra AIS. AIS vil framstille fartøyets bevegelser, men aktiviteten ombord kan en ikke med sikkerhet vite. Derfor er det gjort et anslag på hvilke aktiviteter, samt utstyr og virkningsgrader ombord som kan påvirke de nødvendige effekter. Ut fra de anslag som er gjort, havner de to driftsprofilene ut med omtrentlig likt energibehov.

Sammenligner en resultatene fra eksempelvis fartøy B og fartøy C, vil de være forskjellige. Dette kommer av flere faktorer, som blant annet operasjonsmønster i analysetidspunkt, lengde på analysen og værforhold. Dette er noen av årsakene til at en får forskjellige energibehov i de ulike analysene.

Sammenligningen blir gjort opp mot energiforbruket. Det gjennomsnittlige energiforbruket styrer kostnader, bunkringsfrekvens og drivstofforbruk. Derfor vil sammenligningen av AIS data og data målt ombord bli gjort ved energiforbruket.

Det vil følgelig være vanskelig å sammenligne driftsprofilene opp mot hverandre da de er fundamentalt forskjellige fra hverandre. Dersom en skal sammenligne de opp mot hverandre, tar oppgaven utgangspunkt i fasit (fartøy C), hvor en vet med sikkerhet at dataene stemmer.

Avviket til fartøy B ligger på 13,5% mens for fartøy A er avviket på hele 29,0%. Resultatene viser at AIS måledataene har markant differanse i analysetidspunktet. fartøy B på sin side, kan



ha mulighet til å oppnå en energietterspørsel på linje med fartøy C. For at fartøy B skal klare dette, må fartøyet være i større aktivitet, og ikke ligge så lenge ved slakteriet.

AIS er et godt hjelpemiddel til å stadfeste omtrentlig drivstofforbruk på et overordnet nivå. Eksempelvis ved å danne seg et raskt bilde over hvor store mengder drivstoff et bunkersanlegg trenger. For grundigere analyser av spesifikke fartøy er ikke denne sammenligningen god nok. Har en måledata for fartøyer med kortere operasjonsprofiler, vil sammenligning mellom de kortere operasjonsprofilene være mer nøyaktig enn å sammenligne korte driftsprofiler med en lang. Dette fordi den lange driftsprofilen vil følgelig inneha mye av de samme operasjonene som de korte, pluss flere andre som ikke er med i de korte driftsprofilene.

For å stadfeste om AIS kan brukes til å gjøre konvensjonelle målinger, vil dette kreve at en kjenner fartøyet. En er nødt til å gjøre flere målinger, med flere forskjellige driftsprofiler. Videre må en logge flere målinger over en lengre periode. Dette gjør at en vil få bedre innsikt i operasjonsmønster, og en vil ha bedre treffsannsynlighet enn ved få målinger.

#### 4.5 utfordringene i tiden fremover

Et viktig aspekt for et rederi er at det finnes bunkringslokasjoner slik at bunkring kan skje på flere steder langs kysten, for å kunne opprettholde en dynamisk drift av fartøyet. Dette medfører at en slipper å være avhengig av å befinne seg på en bestemt lokasjon for å kunne fylle drivstoff. For en brønnbåt er dette spesielt viktig, mens for en servicebåt som stort sett opereres i samme område er ikke dette det største problemet. Men tilgjengeligheten i nærområdene er spesielt viktig for en servicebåt som opererer på et relativt lite geografisk område.

Tilgjengeligheten på drivstoff kan være en stor utfordring for rederier som vurderer bygging av nye fartøy med grønn drivstoffteknologi. Det er i tillegg vanskelig å spå fremtiden og vite hvilket drivstoff en skal benytte seg av fram mot 2050 og tiden etter 2050. Siden IMO's krav for redusert GHG utslipp vil dette kreve omstilling. Omstillingen kan gå i flere retninger avhengig av den tekniske utviklingen, men eneste som er sikkert er at fartøyene er pålagt å måtte omstille seg kraftig de neste 30 årene.

For å imøtekomme denne omstillingen som IMO har pålagt den maritime næringen, skjer det i dag en storstilt utvikling innen miljøvennlige drivstoff og motoralternativer inkludert brenselcelle. Avhengig av den teknologiske utviklingen kan noen alternativer falle fra mens noen vil komme til. Flere faktorer kan påvirke denne utviklingen, noen av punktene som kan påvirke dette er listet opp nedenfor.

- Bunkrings lokasjoner og infrastruktur
- Volum tilgjengelig som drivstoff
- Teknologimodenhet
- Sikkerhet
- Kostnad på drivstoff
- Kostnad tilknyttet drivstoffet ombord i fartøyet
- Energitetthet

Slik situasjonen er per i dag vil tilgjengeligheten på diesel og LNG være vesentlig større enn på de andre drivstoffene. Samtidig pågår det en stor utbygging på landstrømsanlegg i Norge, og flere anlegg er ventet satt i drift de neste årene. Ser en bort fra diesel, er det LNG som er det klart ledende drivstoffet per i dag, men LNG vil ikke være helt utslippsfritt. Denne rangeringen vil nok endre seg ettersom teknologiske løsninger blir modne, og avgiftsregimet strammes til.

Volumene som er tilgjengelig som drivstoff per i dag er vanskelig å få nøyaktig oversikt over. Det er naturlig at det finnes store mengder med naturgass som kan brukes som drivstoff, hvor de andre drivstofftypene per idag blir brukt til industrielle kjemiske prosesser. Produksjons volumet til alternative drivstoff er følgelig deretter. Produksjonen av for eksempel metanol kan enkelt økes. Det samme kan de andre drivstoffene med unntak av de bio-baserte som er avhengig av biologisk næring til sine reaktorer.

Per idag finnes teknologien for å utnytte drivstoffene ombord på fartøy. Men det mangler erfaring ved bruk på konvensjonelle fartøy. I tillegg er det ikke alle drivstoffene som har alt regelverk, sikkert-design samt bestpraksis prosedyrer på plass. Infrastrukturen for bunkring av de ulike

lavkarbon drivstoffene er meget begrenset. Flere av disse drivstofftypene kan vise seg å ha gunstige egenskaper for de ulike fartøystyper, slik at hvert enkelt fartøy kan nå utslippsmålene. Men tilgjengelighet på mange av disse drivstofftypene er begrenset slik situasjonen er idag. DNV-GL har i en rapport utstedt i 2020 tatt for seg framtidsutsiktene for ulike drivstofftyper frem mot 2050[55]. Den ene rapporten tar for seg 30 forskjellige scenarier, de forskjellige scenariene er basert på kostnader for biomasse, elektrisitet og fossil. Hvert av scenariene har ulike forutsetninger, hvor de sammenligner hvor stor andel av de ulike drivstoffene som kan forventes innenfor hvert scenario basert på pris. Per idag er det bare LNG som blir benyttet kommersielt som drivstoff på flere fartøy. Batteridrift er implementert på noen kortere fergestrekker i Norge, blant annet i møre og romsdal.

Sikkerhetsaspektet rundt hvert drivstoffalternativ er essensielt for personell, miljø og fartøy. Hvert drivstoff har egenskaper som gjør at de møter egne sikkerhetsutfordringer. Som for eksempel flytende hydrogen med temperatur på  $-252^{\circ}\text{C}$  vil ha andre sikkerhetsaspekt enn biodiesel som er flytende i atmosfærisk trykk og normale temperaturer. For at hydrogen ikke skal oppbevares i flytende form, kan den trykkes på tanker opp til 700 bar, noe som er av vesentlig sikkerhetsrisiko.

Kostnader knyttet til motor- og lagringssystemer vil også påvirke valg av drivstoff. Store investeringer i byggekostnader kan påvirke valget, dette kommer av at de fleste rederier konkurrerer på pris for sine tjenester, derfor er det gunstig med lave investering- og drivstoffkostnader. Kostnadene for de forskjellige løsningene vil trolig reduseres når infrastruktur er bygget ut og tilbud av energisystemer øker.

## 5 Konklusjon

### 5.1 De forskjellige teknologiene

Som en ser av resultattabellene i kapittel 4 ovenfor, vil en dualfuel-motor ha et visst utslipp av klimagasser uansett drivstofftype, grunnet bruken av pilotfuel. Dette er forholdsvis små utslipp hvor alle ligger under 1 tonn  $CO_2$  i utslipp. Dette utslippet vil variere etter hvor mye pilotfuel en benytter som innblanding. Totalt sett kan en si at monofuel- og dualfuel-motoren vil ha omtrentlig samme totalutslipp av  $CO_2$  under forbrenning av karbonholdig drivstoff. Dette gjør at forskjellene er små, men dualfuel motoren kan med fordel benytte flere drivstoff, og er mer dynamisk stilt i tiden fremover. Utviklingen av forbrenningsmotorer til de gassløse drivstoffene, LNG, ammoniakk og hydrogen er kommet lengre innenfor i dualfuel-teknologien enn ved bruk i en ren monofuel-motor. Dette gjør at dualfuel teknologien bedre egnet ut fra hvordan teknologien rundt forbrenningsmotorene er i dag. Fordelen med dualfuel motorer er som tidligere nevnt at en har mulighet til å skifte til enkelte drivstoffer. Noe som er verdt å merke seg er at en kan benytte pilotfuel som reservedrivstoff. Dette vil øke sikkerheten for å komme seg til havn om en går tom for drivstoff.

Brenselcellene bidrar på sin måte ved at virkningsgraden for noen av brenselcelle-modellene er høyere. Samtidig som motorene er stille og uten vibrasjon, vil dette sees på som en fordel både for fiskevelferd og arbeidsmiljøet. Det tilsettes oksygen i vannet hvor fisken oppholder seg, grunnet at fisken blir stresset. Reduksjon i støy kan derfor ha en gunstig påvirkning rundt dette. Denne fordelene rundt støy og vibrasjon får en både fra brenselceller og battericeller. For brønnbåter vil batteriene være for tungt til å kunne drifte fartøyet alene, så teknologien er ikke moden for de største fartøyene per idag. Mens for mindre servicebåter vil batteriteknologi trolig bli implementert i nyere fartøy de kommende årene. Dette fordi en da kan slippe at fartøyene går på tomgang for å drifte hydraulisk systemet. Servicebåtene vil trolig fortsatt ha forbrenningsmotorer, da denne teknologien er gjennomprøvd og rimelig i forhold til å prosjektere nye løsninger, men bruken av batteri sammen med forbrenningsmotor vil en trolig se i større grad de neste årene. Selv betviler jeg at selskapene vil bygge om en eksisterende servicebåt. Her vil det trolig være nye fartøyer som kommer med denne løsningen.

Brenselcellene har per i dag en kort levetid sammenlignet med forbrenningsmotorer. Det som gjør at teknologien ikke helt er klar for markedet skyldes høye investeringskostnader, kort levetid samt hydrogen og andre lavkarbon drivstoff er forholdsvis dyre drivstoff. Siden levetiden er forholdsvis kort på slike celler, vil totalkostnadene være høye, mens selve vedlikeholdskostnaden når de er i drift er lavere for en brenselcelle. Derfor vil det være noen år før en ser utbredt bruk av denne teknologien. De mest lovende brenselcellene er de typene som benytter høyere temperaturer. De cellene har mulighet til å utnytte hydrogenholdig drivstoff men også lavkarbon drivstoff som LNG, metanol og etanol. I tillegg til utnyttelsen av en rekke drivstoff oppnår en også høyere virkningsgrad på noen av høytemperatur brenselcellene. Den gunstige økningen av virkningsgraden bidrar til redusert forbruk av drivstoff, noe som igjen reduserer utslipp av avgasser. Teknologien er meget gunstig med tanke på fiskevelferd da energien omdannes fra kjemiskenergi til elektriskenergi vibrasjons- og lyd-løst.

Setter man dette inn i en sammenheng, vil en trolig de neste årene se mer og mer av dualfuel motorer på brønnbåter. Dette er fordi denne motortypen kan benytte seg av flere drivstoffer, slik at fartøyet kan benytte det rimeligste drivstoffalternativet så lenge fartøyet drivstofftanker tillater og er designet for den nye drivstofftypen. Servicebåtene derimot vil ha et mindre operasjonsområde og holde seg i nærliggende områder til oppdrettsanlegget. Dette gjør at ser-

vicebåtene vil ha mulighet til å ligge hele natten ved samme kai, gang etter gang. Dette gjør at ulike batteriløsninger vil være mer gunstig ved slike fartøy enn brønnbåtene. I tillegg ligger servicebåtene mye stille mens personell arbeider på oppdrettsmerdene. Dette fremmer løsninger som har energien lagret og raskt tilgjengelig, slik som batteriet er ypperlig til.

## 5.2 Økonomiske- og sikkerhetsaspekter, samt tilgjengelighet innenfor produksjon og distribusjon av drivstoffene.

De økonomiske aspektene vil følgelig være viktig i valget av drivstoff som et fartøy skal kunne benytte. Fartøy har en levetid på ca 20-30 år, så kostnader tilknyttet drivstofftypen vil være viktig. Samtidig vil investeringskostnader knyttet til motorarrangementet være av interesse samt hvordan tilgjengeligheten for reservedeler er på anlegget.

Resultat fra tabellene i kapittel 4 synliggjør at de karbonholdige drivstoffene slipper ut  $CO_2$ , dette er utslipp som er ønskelig å redusere i årene som kommer for å klare å nå de utslippsreduksjonene som regjeringen og de internasjonale organene har som mål. Et virkemiddel er bruk av avgifter som en ser at den norske regjeringen benytter. Dagens avgifter og de forventede avgiftene er synliggjort i tabell 5.1 som synliggjør hvilken motorvariant som vil være det beste alternativet ovenfor avgifter. En ser av tabellen at de økte avgiftene vil i større grad påvirke de karbonholdige drivstoffene negativt.

Avgifter co2 2021	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Etanol	Batteri Lithiu	Batteri Lithiu	Diesel	
46										
47	0	918	1156	0	0	1190	0	0	1176	
48	66	941	1160	66	66	1196	0	0	66	
49	397	898	1033	397	397	1052	0	0	397	
50	33	867	1081	33	33	1149	0	0	33	
51	66	891	1106	66	66	1140	0	0	66	
52										
53										
54										
55										
56										
57										
57	Avgifter co2 2030	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Etanol	Batteri Lithiu	Batteri Lithiu	Diesel
58	0	3104	3909	0		4026	0	0	3977	
59	223	3184	3924	223	223	4045	0	0	223	
50	1343	3036	3494	1343	1343	3557	0	0	1343	
51	112	2932	3654	112	112	3885	0	0	112	
52	223	3014	3739	223	223	3856	0	0	223	
52										

Figur 5.1: Synliggjør  $CO_2$  avgiftene for både 2021 og de forventede i 2030.

Ser en på motormodellene vil både dualfuel og monofuel teknologiene ligge meget nært når det kommer til totalutslipp. Her vil det være små forskjeller knyttet til bruken av pilotfuel. Med regjeringens kostnad per tonn  $CO_2$ , ligger pilotfuel kostnaden under 591 kr i  $CO_2$  avgift per dag på brønnbåten. Forskjellen for dualfuel-motoren ligger hvilke av de alternative drivstoffene en kan benytte, dette vil følgelig slå ut på  $CO_2$  avgiftene. For de ulike drivstoffene som slipper ut  $CO_2$ , er det metanol som slipper ut minst  $CO_2$  per kubikkmeter med drivstoff. Dette i seg selv forklarer ikke at metanol er det drivstoffet som forurenser minst (se vedlegg A). Ser en dette fra et helhetsperspektiv vil utslippet av  $CO_2$  være avhengig av hvor mye drivstoff en forbrenner ut fra likt arbeid. Dette gjør at LNG kommer sterkest ut av de drivstoffene som inneholder karbon, og dermed slipper ut mindre  $CO_2$  en for eksempel diesel totalt sett. Ut fra et kostnadsperspektiv er LNG per idag rimeligst av de flytende alternativene, i tillegg til at det vil det ha en gunstigere avgiftssats enn de andre karbonholdige drivstoffene grunnet økt energi per kubikkmeter.

Benytter en biobrensel kan en fortsatt unngå denne ekstra avgiften, siden biobrensel idag er kategorisert som nullutslipp. Noe det i realiteten ikke er, men siden karbonet uansett hadde blitt sluppet ut i atmosfæren via forråtnelse, ansees dette som nullutslipp. Nullutslipps drivstoffene er noe dyrere, som en kan se av prisene 2.14 mellom hydrogen og ammoniakk, er hydrogen prisen gitt at den produseres miljøvennlig ved elektrolyse, mens ammoniakk er laget fra petroleumsprodukter i prissettingen for oppgaven. Dette gjør at en trolig kan forvente seg at kostnaden for grønn ammoniakk vil ligge høyere enn hva som er gitt for grå ammoniakk i oppgaven.

Tilgjengelighet av de ulike drivstoffene varierer kraftig langs norskekysten som en kan se i kapitlet 2.5 omhandlet infrastruktur og drivstofftilgjengelighet. Dette medfører også at en i enkelte tilfeller må inngå avtaler med leverandører som leverer drivstoffene, siden tilgjengeligheten ikke er tilstrekkelig. Slik som brønnbåtneringen er idag, vil det være vesentlig at det er tilgjengelig drivstoff i de landsdelene fartøyet skal operere i. Distribusjon av de mer uvanlige drivstoffene, vil trolig bli levert med lastebil de første årene. Dette er et ekstra ledd i transporteringen, som igjen kan fordyre drivstoffprisen. Av de ulike drivstoffene som ikke er diesel, er det LNG som idag er mest utbredt, billigst, har mest energi per kubikkmeter og totalt sett slipper ut minst  $CO_2$  av de karbonholdige drivstoffene. Dette gjør drivstoffet meget konkurransedyktig sett opp mot de andre drivstoffene. Avgiften på  $CO_2$  vil derimot øke den totale kostnaden i årene som kommer. Derfor vil det være gunstig om en har mulighet til å benytte LNG de neste årene, for så å gå videre med ett annet drivstoff som for eksempel ammoniakk som ikke pålegges denne  $CO_2$  avgiften.

Som en ser av søylediagrammene i delkapitlet 4.3 da spesielt tabell 4.6 og 4.7, vil avgiftsutviklingen på karbondioksidutslipp bidra til å gjøre de alternative drivstoffene mer konkurransedyktig. Dette gjør at om en skal bygge et fartøy i dag, vil det være lurt å bygge dette med tanke på at en i fremtiden kan benytte et annet alternativ som er mer miljøvennlig og blitt mer økonomisk driververdig.

*Hvilket drivstoff vil være det mest gunstige om en skal bygge nytt fartøy for oppdrettsnæringen?*  
Kort oppsummert viser hovedfunnene at brønnbåtene vil ha størst fordel ved å benytte seg av LNG i form av dualfuel-teknologi, frem til avgiftene for  $CO_2$  utslipp økes så mye at karbonnøytrale alternativer som ammoniakk vil gjøre seg økonomisk konkurransedyktig. Batteriløsninger vil også fungere godt ved bruk av en dualfuel-motor, her oppnår en samme fordel som forklart ovenfor samt muligheten for peakshaving. Mindre fartøyer som servicebåten vil ha mindre behov for energi og har ofte samme kaiplass og operasjonsområde. Dette gjør at muligheter som helelektriske servicebåter vil være driftsverdig, dersom en kan lade etter hver arbeidsdag. Her vil også LNG være et godt alternativ i bruk på en dualfuel-motor, gitt at servicefartøyet har tilstrekkelig volum til å installere de sylindriske tankene.

Avslutningsvis vil forskningsspørsmålene besvares for å underbygge påstanden om hovedfunnene.

*Hvordan påvirker driftsprofilen til de ulike fartøyene energiforbruket?*

Driftsprofilen og arbeidsoppgavene til et fartøy er det som er avgjørende for hvor mye energi som blir brukt i løpet av en tidsperiode. Arbeidsoppgavene samt hvor energikrevende disse er vil følgelig påvirke energiforbruket, men også andre faktorer som værforhold, hvordan fartøyet opereres og fartøyets generelle egenskaper kan påvirke energiforbruket.

*Vil størrelsen på fartøyet og operasjonsområdet påvirke hvilket drivstoff og motorteknologi en kan benytte?*

Ja, størrelsen på fartøyet og operasjonsområdet vil påvirke valg av drivstoff og motorteknologi. Her vil størrelsen påvirke i form av at mindre fartøy som servicebåten, trolig ikke vil ha tilstrekkelig plass ombord for å kunne utnytte en kombinasjon av drivstoffer og teknologier samtidig. Derimot kan denne kombinasjonen utnyttes hos de større fartøyene. Energiforbruket vil følgelig være høyere hos de større fartøyene, som vil ha større nytte av de flytende drivstoffene som LNG, ammoniakk og metanol. Mens en i servicebåten har lavere energiforbruk, og kan i noen operasjonelle områder benytte hel-eletrisk løsning.

Operasjonsområdet fartøyet befinner seg i vil være av stor betydning, på grunn av tilgjengeligheten til mange av de alternative drivstoffene ikke er tilstrekkelig utbygd i dag. Operasjonsområdet til en brønnbåt har stor geografisk utbredelse, hvilket gjør at det vil være gunstig for brønnbåter å kunne utnytte mer enn ett drivstoff. Servicebåten derimot, opereres på et mindre geografisk område og vil være avhengig av at drivstoffalternativer er tilgjengelig i dette området. Ofte benytter servicebåtene samme kai plass hver dag, som kan gjør det lettere å ta i bruk løsninger som batteridrift og elektrisk lading ved slike kaianlegg.

### 5.3 Videre arbeid

For videre arbeid vil bruken av AIS for kartlegging av energiforbruk til fartøy være en interessant problemstilling. Klarer en å måle energiforbruk til fartøy ved hjelp av å analysere dens bevegelser, vil dette være et godt analyseverktøy. Da slipper en å ta manuelle avlesninger ombord i fartøyet, og både rederier samt statlige instanser kan analysere slike data, uten bruk av ressurser ombord i fartøyene.

Videre problemstillinger omhandler distribusjon av alternative drivstoff. Kan dette gjøres på en god og samfunnsnyttig måte? Og kan AIS data brukes til å analysere om det finnes kundegrunnlag for å etablere bunkringsstasjoner i avsidesliggende områder i dag?

Det vil være formålstjenlig å se mer på utnyttelsen og samspill mellom teknologier. Kan en utnytte de sterke sidene ved teknologien bedre for å oppnå høyere totalvirkningsgrad?

En kan også se på hvordan utviklingen av drivstoffkostnader vil påvirke den maritime næringen, siden en ser at avgifter vil påvirke med samme utvikling som de har hatt de siste årene. Hvilke drivstoffer vil være fremtredende om ti år?

Vil maritime lover og regler være en begrensende faktor i omstillingen fra fossile brensel til de alternative drivstoffene? Selv om politikere ønsker en rask omstilling?

## Referanser

- [1] *Grønt Skipfartsprogram - Vårt fokus er en effektiv og miljøvennlig skipsfart*. Grønt Skipfartsprogram. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/> (sjekket 20.05.2021).
- [2] *Reducing greenhouse gas emissions from ships*. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx> (sjekket 18.05.2021).
- [3] SOLAS IMO. *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. URL: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (sjekket 08.01.2021).
- [4] *Norges miljømål*. Miljøstatus. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/> (sjekket 03.12.2020).
- [5] *Norges miljømål - Miljøstatus for Norge*. Miljøstatus. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/> (sjekket 18.05.2021).
- [6] Finansdepartementet. *Avgiftssatser 2021*. Regjeringen.no. Publisher: regjeringen.no. 7. okt. 2020. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/avgiftssatser-2021/id2767486/> (sjekket 05.05.2021).
- [7] Regeringen och Regeringskansliet. *Det klimatpolitiska ramverket*. Regeringskansliet. Publisher: Regeringen och Regeringskansliet. 12. jun. 2017. URL: <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/> (sjekket 05.01.2021).
- [8] *Danmark - foregangsland på energi og klima*. Regeringen.dk. URL: <https://www.regeringen.dk/nyheder/2018/danmark-som-foregangsland-paa-energi-og-klima/> (sjekket 05.01.2021).
- [9] *UK becomes first major economy to pass net zero emissions law*. GOV.UK. URL: <https://www.gov.uk/government/news/uk-becomes-first-major-economy-to-pass-net-zero-emissions-law> (sjekket 05.01.2021).
- [10] Anonymous. *2030 climate & energy framework*. Climate Action - European Commission. 23. nov. 2016. URL: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en) (sjekket 05.01.2021).
- [11] *Brief History of IMO*. URL: <https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx> (sjekket 07.11.2020).
- [12] *Om oss - Sjøfartsdirektoratet*. URL: <https://www.sdir.no/om-direktoratet/> (sjekket 08.11.2020).
- [13] Sjøfartsdirektoratet. *Fire rederier ilagt gebyr i 2019*. URL: <https://www.sdir.no/sjofart/ulykker-og-sikkerhet/sikkerhetsutredninger-og-rapporter/fokus-pa-miljo-2020/fire-rederier-ilagt-gebyr-i-2019/> (sjekket 08.11.2020).
- [14] EMSA. *EMSA Guidance on LNG Bunkering*. 31. jan. 2018. URL: <http://www.golng.eu/files/upload/EMSA%20Guidance%20on%20LNG%20Bunkering.pdf> (sjekket 18.05.2020).
- [15] Hans Kristian Haram. «Ammonia as a Marine Fuel Safety Handbook». I: (10. nov. 2020), s. 25. URL: <https://grontskipsfartsprogram.no/wp-content/uploads/2021/01/Ammonia-as-a-Marine-Fuel-Safety-Handbook.pdf>.
- [16] IGC IMO. *IGC Code*. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGC-Code.aspx> (sjekket 08.01.2021).
- [17] Bård Misund. *fiskeoppdrett*. I: *Store norske leksikon*. 18. feb. 2021. URL: <http://snl.no/fiskeoppdrett> (sjekket 18.05.2021).

- [18] Fiskeridirektoretet. *Fiskeridirektoratet*. 1. mai 2019. URL: [https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Statistiske-publikasjoner/Statistikk-for-akvakultur/\\_/attachment/download/6b8041c7-aae7-4334-b36e-23e5441d763f:8f7bd673465f00ab5eb43b0193ed20327d45b837/rap-stat-akvakultur-2018.pdf](https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Statistiske-publikasjoner/Statistikk-for-akvakultur/_/attachment/download/6b8041c7-aae7-4334-b36e-23e5441d763f:8f7bd673465f00ab5eb43b0193ed20327d45b837/rap-stat-akvakultur-2018.pdf) (sjekket 10.03.2021).
- [19] Stian Olsen. *Frøy skal bygge verdens største brønnbåt*. iLaks. 26. jul. 2019. URL: <https://ilaks.no/froy-skal-bygge-verdens-storste-bronnbat/> (sjekket 18.05.2021).
- [20] Aslak Berge. *DESS Aquaculture Shipping bestiller to nye brønnbåter forberedt for nullutslipp*. iLaks. 1. okt. 2020. URL: <https://ilaks.no/dess-aquaculture-shipping-bestiller-to-nye-bronnbater-forberedt-for-nullutslipp/> (sjekket 08.05.2021).
- [21] Nils H. Lundberg. *diesel*. I: *Store norske leksikon*. 30. jul. 2020. URL: <http://snl.no/diesel> (sjekket 18.05.2021).
- [22] *HVO 100 Syntetisk Biodiesel*. Bunker Oil. 30. mar. 2017. URL: <https://www.bunkeroil.no/no/aktuelt/hvo-100-syntetisk-biodiesel> (sjekket 12.03.2021).
- [23] Allan Blackman. *Aylward and Findlay's SI Chemical Data*. 7th ed. Milton: John Wiley & Sons, 2014. ISBN: 978-0-7303-0246-9.
- [24] *MGO, Marine Gass Oil, Diesel*. Bunker Oil. URL: <https://www.bunkeroil.no/no/kategori/mgo> (sjekket 26.10.2020).
- [25] IMO (Marpol). *Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions*. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx> (sjekket 28.10.2020).
- [26] FolkeHelseInstituttet. *Svoveldioksid*. Folkehelseinstituttet. URL: <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/svoveldioksid/> (sjekket 28.10.2020).
- [27] *World's first full scale ammonia engine test - an important step towards carbon free shipping*. Wartsila.com. URL: <https://www.wartsila.com/media/news/30-06-2020-world-s-first-full-scale-ammonia-engine-test---an-important-step-towards-carbon-free-shipping-2737809> (sjekket 29.01.2021).
- [28] *Planlegger verdens første forsyningsskip på utslippsfri ammoniakk - equinor.com*. URL: <https://www.equinor.com/no/news/2020-01-23-viking-energy.html> (sjekket 29.01.2021).
- [29] Knut Hofstad. *ammoniakk – energibærer*. I: *Store norske leksikon*. 15. jun. 2020. URL: [http://snl.no/ammoniakk\\_-\\_energib%C3%A6rer](http://snl.no/ammoniakk_-_energib%C3%A6rer) (sjekket 02.11.2020).
- [30] Per K. Kofstad og Bjørn Pedersen. *hydrogen*. I: *Store norske leksikon*. 5. mar. 2021. URL: <http://snl.no/hydrogen> (sjekket 18.05.2021).
- [31] *Water electrolyzers / hydrogen generators*. Nel Hydrogen. URL: <https://nelhydrogen.com/water-electrolyzers-hydrogen-generators/> (sjekket 20.01.2021).
- [32] Seland Frode. *Ekspertintervjuet: Ren energi fra vann - Energi og Klima*. URL: <https://energiogklima.no/to-grader/ekspertintervjuet-ren-energi-fra-vann/> (sjekket 21.01.2021).
- [33] Bjørn Pedersen. *gass-tilstandsligningen*. I: *Store norske leksikon*. 22. nov. 2017. URL: <http://snl.no/gass-tilstandsligningen> (sjekket 18.05.2021).
- [34] *Medium and Heavy Duty Hydrogen Vehicles by Purus*. Hexagon. URL: <https://hexagongroup.com/solutions/medium-heavy-duty-vehicles/hydrogen-purus/> (sjekket 12.02.2021).
- [35] Ulf Blindheim og Finn E. S. Levy. *metan*. I: *Store norske leksikon*. 7. feb. 2020. URL: <http://snl.no/metan> (sjekket 21.01.2021).
- [36] Knut Hofstad. *LNG*. I: *Store norske leksikon*. 17. des. 2020. URL: <http://snl.no/LNG> (sjekket 21.01.2021).



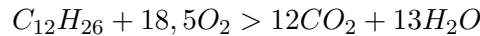
- [37] *Biodrivstoff - et omstridt miljøtiltak*. ssb.no. 8. okt. 2008. URL: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/biodrivstoff-et-omstridt-miljotiltak> (sjekket 10.02.2021).
- [38] BatteryUniversity. *Types of Lithium-ion Batteries - Battery University*. 3. des. 2020. URL: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion) (sjekket 26.01.2021).
- [39] Eknes Arnstein. *Batteries on board: offshore vessels setting the course - DNV GL*. Missing Label with key: Page-Annotations-sitename. 17. nov. 2020. URL: <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Batteries-on-board-offshore-vessels-setting-the-course.html> (sjekket 27.01.2021).
- [40] Erling Reinholdt Bernatek. *metanol*. I: *Store norske leksikon*. 7. feb. 2020. URL: <http://snl.no/metanol> (sjekket 18.05.2021).
- [41] *etanol*. I: *Store norske leksikon*. 7. feb. 2020. URL: <http://snl.no/etanol> (sjekket 10.02.2021).
- [42] miljødirektoratet. *Omsetning i skipsfart*. 2018. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M1125/M1125.pdf> (sjekket 18.02.2021).
- [43] *Anlegg kart og info*. Bunker Oil. URL: <https://www.bunkeroil.no/no/anlegg-kart-og-info/> (sjekket 18.05.2021).
- [44] DNVGL. *Alternative Fuels Insight*. [afi.dnvgl.com](http://afi.dnvgl.com). URL: <https://afi.dnvgl.com/Map> (sjekket 15.12.2020).
- [45] *Yara ready to enable the hydrogen economy with historic full-scale green ammonia project | Yara International*. Yara None. 7. des. 2020. URL: <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-ready-to-enable-the-hydrogen-economy-with-historic-full-scale-green-ammonia-project/> (sjekket 02.03.2021).
- [46] Per Ove Stige. *Havila med hydrogen-kontrakt*. smp.no. 4. nov. 2019. URL: <https://www.smp.no/incoming/2019/11/04/Havila-med-hydrogen-kontrakt-20320146.ece> (sjekket 03.03.2021).
- [47] Norsk Hydrogenforum. *Her finner du hydrogenstasjonene i Norge*. Norsk Hydrogenforum. URL: <https://www.hydrogen.no/stasjoner/kart-over-stasjoner> (sjekket 03.03.2021).
- [48] Tarjei Engeset Ofstad. (+) *Tine i Ålesund vil ha lokalt biogassanlegg*. smp.no. 29. des. 2020. URL: <https://www.smp.no/naeringsliv/2020/12/29/Tine-i-%C3%85lesund-vil-ha-lokalt-biogassanlegg-23016908.ece> (sjekket 08.05.2021).
- [49] Tore Stensvold. *Nye tankere kutter utslipp med metanol som drivstoff*. Tu.no. 20. apr. 2016. URL: <https://www.tu.no/artikler/nye-tankere-kutter-utslipp-med-metanol-som-drivstoff/346463> (sjekket 08.05.2021).
- [50] *For rederier*. Plug. 1. jan. 2020. URL: <https://www.plugport.no/for-rederier> (sjekket 01.03.2021).
- [51] *Valutakurser*. URL: <https://www.norges-bank.no/tema/Statistikk/Valutakurser/?tab=currency&id=RUB> (sjekket 18.05.2021).
- [52] *Strompris industriell*. ssb.no. URL: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal/2021-02-15> (sjekket 01.03.2021).
- [53] Leigh Collins (l\_collins). *'Green hydrogen' on sale in open market at 80% higher price than grey H2 | Recharge*. Recharge | Latest renewable energy news. Section: transition. 23. jan. 2020. URL: <https://www.rechargenews.com/transition/green-hydrogen-on-sale-in-open-market-at-80-higher-price-than-grey-h2/2-1-743348> (sjekket 22.03.2021).

- [54] *Ethanol prices around the world, 15-Mar-2021*. GlobalPetrolPrices.com. 15. mar. 2021. URL: [https://www.globalpetrolprices.com/ethanol\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/ethanol_prices/) (sjekket 22.03.2021).
- [55] DNV. *DNV\_GL Maritime Forecast to 2050*. 2020. URL: <https://eto.dnv.com/2019/download> (sjekket 11.12.2020).
- [56] Jørgen Amdahl (1951-) (forfatter) og Leif Lundby (1930-) (redaktør). *Havromsteknologi : et hav av muligheter*. Objekt-ID 71489527620002201. Trondheim, Bergen: NTNU, Fagbokforlaget. ISBN: 978-82-321-0441-3.
- [57] Thomas Haglund wartsila. *The Ultimate Fuel Flexibility*. URL: [https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/technology/combustion-engines/the-ultimate-in-fuel-flexibility.pdf?sfvrsn=e615e345\\_2](https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/technology/combustion-engines/the-ultimate-in-fuel-flexibility.pdf?sfvrsn=e615e345_2) (sjekket 14.05.2021).
- [58] Håvard Karoliussen. *Fornybar Energi- hydrogen og brenselcelle*. 9. sep. 2016. URL: <https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/376575?X-Blackboard-Expiration=1621425600000&X-Blackboard-Signature> (sjekket 20.10.2020).
- [59] EMSA. *EMSA Study on the use of Fuel Cells in Shipping*. 24. jan. 2017. URL: <http://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/2921-ems-a-study-on-the-use-of-fuel-cells-in-shipping.html> (sjekket 19.02.2021).
- [60] Kjell Saugstad og Ivar Gunvaldsen. *elektrisk maskin*. I: *Store norske leksikon*. 21. jan. 2020. URL: [http://snl.no/elektrisk\\_maskin](http://snl.no/elektrisk_maskin) (sjekket 23.03.2020).
- [61] J.F Manwell. *Wind Energy Explained*. 2nd ed. Chicester: John Wiley & Sons, 2009. ISBN: 978-0-470-68628-7.
- [62] *Figure-3-6.png (495×445)*. URL: <https://electricalacademia.com/wp-content/uploads/2018/08/Figure-3-6.png> (sjekket 24.03.2020).
- [63] Øyvind Grøn. *permeabilitet – fysikk*. I: *Store norske leksikon*. 3. mar. 2020. URL: [http://snl.no/permeabilitet\\_-\\_fysikk](http://snl.no/permeabilitet_-_fysikk) (sjekket 25.02.2021).
- [64] Sigmund Grønmo. *kvalitativ metode*. I: *Store norske leksikon*. 3. nov. 2020. URL: [http://snl.no/kvalitativ\\_metode](http://snl.no/kvalitativ_metode) (sjekket 20.05.2021).
- [65] *kvantitativ*. I: *Store norske leksikon*. 30. okt. 2019. URL: <http://snl.no/kvantitativ> (sjekket 20.05.2021).
- [66] Are Brautaset. *Energiforbruk ombord på Brønnbåter*. E-mail. 25. mar. 2021. (Sjekket 25.03.2021).
- [67] Bjørn Inge Engene. *Drivstofforbruk ombord på brønnbåter*. E-mail. 11. mar. 2021. (Sjekket 11.03.2021).
- [68] *M/S Fartoy A - Skipsrevyen.no*. 24. feb. 2014. URL: <https://www.skipsrevyen.no/batomtaler/m-s-ronja-polaris/> (sjekket 18.05.2021).
- [69] Kent Roger Slotsvik. *Servicebåt forbruk*. E-mail. 17. mar. 2021. (Sjekket 17.03.2020).
- [70] *DI9 - Nogva Motorfabrikk AS*. URL: <http://www.nogva.no/no/produkter/fremdrift/scania/di9-> (sjekket 18.05.2021).
- [71] Odd Kristian Dahle. *Verdas første fiskebåt på LNG*. URL: <https://fiskebat.no/artikler/verdas-forste-fiskebat-pa-lng> (sjekket 18.05.2021).
- [72] Stian Olsen. *Rolls-Royce skal levere teknologi til Nordlaks' Havfarm og brønnbåt*. iLaks. 27. aug. 2018. URL: <https://ilaks.no/rolls-royce-skal-levere-teknologi-til-nordlaks-havfarm-og-bronnbat/> (sjekket 18.05.2021).

## A Vedlegg A: Beregning av $CO_2$ utslipp per $m^3$ drivstoff

Karbondioksid består av ett karbon og to oksygen og har formelen  $CO_2$ , som igjen har en vekt på til sammen 44,01g/mol. Dette kommer av at karbonet har molvekt på 12,01g mens  $O_2$  har en vekt på 32g/mol.

### Diesel



Ett mol med Dodakan inneholder 12 mol  $CO_2$

Finner antall mol/kg Dodakan

$$\frac{1000g/kg}{170,3g/mol} = 5,87mol/kg$$

Finner antall mol  $CO_2$  per kg diesel:

$$5,78mol_{Dodakan}/kg_{Dodakan} \cdot 12mol_{CO_2}/mol_{dodakan} = 70,46mol_{CO_2}/kg_{Dodakan}$$

Regner om fra kg til kubikkmeter for Dodekan:

$$70,46mol_{CO_2}/kg_{Dodakan} \cdot 745kg/m^3_{Dodakan} = 52495,6mol_{CO_2}/m^3_{Dodakan}$$

Regner om fra mol  $CO_2$  til gram og videre til tonn:

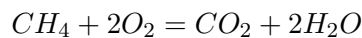
$$52495,6mol_{CO_2}/m^3_{Dodakan} \cdot 44,01g/mol_{CO_2} = 2310331,18g_{CO_2}/m^3_{Dodakan} \rightarrow 2,31tonn_{CO_2}/m^3_{Dodakan}$$

Ved diesel forbrenning slipper en ut 2,31 tonn $_{CO_2}$ /m $^3$ <sub>Dodakan</sub>

### LNG

LNG består mer eller mindre av  $CH_4$ , Ved forbrenning av LNG oppstår et mol  $CO_2$  per mol LNG.

Finner antall mol/kg LNG ved slik beregning som for Diesel, og får att LNG inneholder 62,5 mol/kg Ser av de støkiometriske egensapene at en får et  $CO_2$  per  $CH_4$  ved forbrenning.



Finner antall mol  $CO_2$  i en kubikkmeter med LNG:

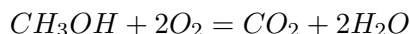
$$62,5mol_{CO_2}/kg_{LNG} \cdot 423kg/m^3_{LNG} = 26437,5mol_{CO_2}/m^3_{LNG}$$

$$26437,5mol_{CO_2}/m^3_{LNG} \cdot 44,01g/mol_{CO_2} = 1,1635tonn_{CO_2}/m^3_{LNG}$$

Fra utregningene ser en at for hver kubikkmeter med LNG en forbrenner, får en ett utslipp på 1,16 tonn med  $CO_2$ .

## Metanol

Metanol inneholder 31,25 mol/kg, og ved forbrenning slippes det ut et mol  $CO_2$  per mol med Metanol.



Finner antall mol karbondioksid per kubikkmeter med Metanol:

$$31,25 \text{ mol}_{CO_2} / \text{kg}_{Metanol} \cdot 787 \text{ kg}_{Metanol} / \text{m}^3_{Metanol} = 24593,75 \text{ mol}_{CO_2} / \text{m}^3_{Metanol}$$

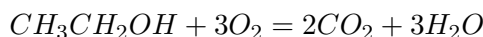
Regner s om fra mol til gram.

$$24593,75 \text{ mol}_{CO_2} / \text{m}^3_{Metanol} \cdot 44,01 \text{ g} / \text{mol}_{CO_2} = 1,0824 \text{ tonn}_{CO_2} / \text{m}^3_{Metanol}$$

Som en ser av utregningene over, så får en ved forbrenning av metanol ett utslipp av  $CO_2$  på 1,08 tonn per kubikk med metanol.

## Etanol

Når etanol forbrennes skjer følgende ligning:



Fra forbrenningsligningen, får en ett støkiometrisk forhold på 1:2 mellom etanol og karbondioksid. Dette vil si at det dannes to mol med karbondioksid per mol med etanol.

Finner antall mol karbondioksid per kg etanol:

$$21,26 \text{ mol}_{Etanol} / \text{kg}_{Etanol} \cdot 2 \text{ mol}_{CO_2} / \text{mol}_{Etanol} = 43,38 \text{ mol}_{CO_2} / \text{kg}_{Etanol}$$

$$43,38 \text{ mol}_{CO_2} / \text{kg}_{Etanol} \cdot 785 \text{ kg} / \text{m}^3_{Etanol} = 34053,3 \text{ mol}_{CO_2} / \text{m}^3_{Etanol}$$

Etter å ha funnet antall karbondioksid i en kubikkmeter med etanol, finner en hvor mange gram og videre til tonn med  $CO_2$  dette blir.

$$34053,3 \text{ mol}_{CO_2} / \text{m}^3_{Etanol} \cdot 44,01 \text{ g} / \text{mol}_{CO_2} = 1498685,7 \text{ g}_{CO_2} / \text{m}^3_{Etanol}$$

Dette tilsvarer at 1  $\text{m}^3_{Etanol}$  slipper ut tilnærmet 1,5 tonn  $CO_2$  under forbrenning.

## Resterende drivstoff

De resterende drivstoffene, inneholder ikke karbon i den kjemiske sammenstillingen, og vil derfor ikke slippe ut karbondioksid ved forbrenning. Dette gjør at drivstoff som ammoniakk, og hydrogen blir betegnet som  $CO_2$  utslippsfri, det samme gjelder batteriene. Det som er verdt å merke seg er at dette gjelder i en operasjonell setting ombord i båtene. Hvordan både elektrisiteten, ammoniakk og hydrogen blir produsert er ikke tatt høyde for. Men for at dette skal være helt utslippsfrie, må også produksjonen av de ulike energibærere skjje på en miljøvennlig måte.

## B Vedlegg B:Synliggjør Excel dokumentet som ble utarbeidet med kalkulasjoner for oppgaven.

70	Brenselcelle som generator og Motor som framdriftsmaskineri								Husk å Justere parameter øverst
71	Teknologi	brenselcelle	Forbrenningsmotor						
72	Driftsmodus	generator	framdrift	total					
73	Transit ( Lastet, lukket)	0	0	0				main	sekunder
74	Transit ( Lastet, åpen)	0	0	0				brenselcelle	Forbrenning:total
75	Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	0	0	0	Energi ønskelig	42347,0	10247,7	52594,7	
76	Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	0	0	0	energimengde påkrevd i fuel	84694,0	20495,4	105189,4	
77	Optilicer (avlusing)	0	0	0	drivstoff m <sup>3</sup> /sykel	19,4	2,2		
78	Lasting ved merd /manøvrering	10581,9	4078,0	14659,9	drivstoff m <sup>3</sup> /døgn	8,5	1,0		
79	TransitBallast	7881,7	5264,2	13145,9	Bunkringsfrekvens (uten fylling	23,6	40,8		
80	Sortering (størrelse fisk)	0,0	0,0	0,0	Bunkringsfrekvens med limit	18,9	32,7		
81	Avlusning (ferskvannsbehandlir	19675,4	664,0	20339,4	Kostnad per døgn \$/Døgn	2108,1	196,9	2305,0	
82	Lossing ved slakteri	0,0	0,0	0,0	Drivstoff variant	Metanol	Diesel		
83	Lossing ved merd	0,0	0,0	0,0	Utnyttbar mengde fuel m <sup>3</sup> total	160,0	32,0	192,0	
84	Tankvask og desinfeksjon/kai	4208,0	241,5	4449,5					
85	SUM	42347,0	10247,7	52594,7					

Figur B.1: Utrengningsarket: hvor en la inn valg av verdier, og brukstimer innenfor de ulike arbeidsoppgavene til fartøyet.

30									
57	DUALFUEL med pilotfuel		Ferdig utregnet for dualfuel med 50%virkningsgrad						Husk å Justere parameter øverst
58	Blandingsforhold		95% main	5% pilotfuel					
59	energimengde påkrevd i fuel			99929,9	5259,5				
60	drivstoff m <sup>3</sup> /sykel			22,9	0,6				
61	drivstoff m <sup>3</sup> /døgn			10,0	0,3				
62	Bunkringsfrekvens (uten fyllingsgradering			20,0	159,0				
63	Bunkringsfrekvens med limit			16,0	127,2				
64	Kostnad per døgn \$/Døgn			2487,3	50,5				
65	Drivstoff variant		Metanol		Diesel				
66	Utnyttbar mengde fuel m <sup>3</sup> total			192					
67									

Figur B.2: Resultater for dualfuel-motor blir synliggjort etter valg av drivstoff, med mer fra figur B.1

									Husk å Justere parameter øverst
	Brenselcelle i kombinasjon med dualfuel motor		Brenselcelle og forbrenningskombinasjon						
			60 %		40 %				
			motor	pilotfuel	brenselcelle	total			
	energi behov		29979,0	1577,8	21037,9	52594,7			
	energi i fuel		59958,0	3155,7	42075,8	105189,4			
	fuel per tur		6,6	0,3	9,7				
	fuel/døgn		2,9	0,2	4,2				
	bunk frek		55,8	265,1	38,0				
	Pris /døgn		576,0	3,3	1047,3	1626,6			
	drivstoff		Metanol	Diesel	Metanol				
	Bunkringsfrekvens med Limit		SE total -->		212,1	27,1			
	motorvirkningsgrad		0,5		0,5	0,5			

Figur B.3: Synliggjør hvordan resultater for brenselcelle og dualfuelmotor hadde fordeling 40/60 på energiforbruket

104	Dualfuel forbrenningsmotor og battericelle				Husk å Justere parameter øverst til ønskelig fuel og pris
105					
106	DUALFUEL med pilotfuel	Ferdig utregnet for dualfuel med 50%virkningsgrad			battericelle tar 5% belastningen for ett døgn
107	Blandingsforhold	95% main	5% pilotfuel		
108	energimengde påkrevd i fuel kWh		94670,5	5259,5	1205,8
109	drivstoff m <sup>3</sup> /sykel		21,7	0,6	10646,7 kg
110	drivstoff m <sup>3</sup> /døgn		9,5	0,3	4649,2 kg
111	Bunkringsfrekvens (uten fyllingsgradering)		21,1	159,0	51,6
112	Bunkringsfrekvens med limit		16,9	127,2	43,9
113	Kostnad per døgn \$/Døgn		2356,4	50,5	25,3
114	Drivstoff variant	Metanol		Diesel	LithiumNiKoAl
115	Utnyttbar mengde fuel m <sup>3</sup> total				
115	batteri kWh		160,0	32	53040,0
116					

Figur B.4: Synliggjør resultatene som framkommer av excel ved dualfuel og batteridrift.

70	Brenselcelle som generator og Motor som framdriftsmaskineri				Husk å Justere parameter øverst
71	Teknologi	brenselcelle	Forbrenningsmotor		
72	Driftsmodus	generator	framdrift	total	
73	Transit ( Lastet, lukket)	0,0	0,0	0,0	main sekunder
74	Transit ( Lastet, åpen)	0,0	0,0	0,0	brenselcelle Forbrenning: total
75	Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	0,0	0,0	0,0	Energi ønskelig 42347,0 10247,7 52594,7
76	Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	0,0	0,0	0,0	energimengde påkrevd i fuel 84694,0 20495,4 105189,4
77	Optilicer (avlusing)	0,0	0,0	0,0	drivstoff m <sup>3</sup> /sykel 19,4 2,2
78	Lasting ved merd /manøvrering	10581,9	4078,0	14659,9	drivstoff m <sup>3</sup> /døgn 8,5 1,0
79	TransitBallast	7881,7	5264,2	13145,9	Bunkringsfrekvens (uten fylling) 23,6 40,8
80	Sortering (størrelse fisk)	0,0	0,0	0,0	Bunkringsfrekvens med limit 18,9 32,7
81	Avlusning (ferskvannsbehandlir	19675,4	664,0	20339,4	Kostnad per døgn \$/Døgn 2108,1 196,9 2305,0
82	Lossing ved slakteri	0,0	0,0	0,0	Drivstoff variant Metanol Diesel
83	Lossing ved merd	0,0	0,0	0,0	Utnyttbar mengde fuel m <sup>3</sup> total 160,0 32,0 192,0
84	Tankvask og desinfeksjon/kai	4208,0	241,5	4449,5	
85	SUM	42347,0	10247,7	52594,7	
86					

Figur B.5: Resultater når brenselcellen er generator og forbrenningsmotor er framdrift.

## C Vedlegg C: Driftstimer og energibehov for de ulike driftssyklusene

Drifts modus Detaljert	Generatorproduksjon kW	Forbruk Framdrift kW	Tid i \%	Tid i timer	Energi produsert i tid:
Transit ( Lastet, lukket)	1165,48	898,5		10,63	0
Transit ( Lastet, åpen)	1031,87	783,6		3,92	0
Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	983,74	265		19,48	0
Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	975,18	500		12,95	0
Optilicer (avlusing)	901,4	50		0,42	0
Lasting ved merd /manøvrering	863,83	332,9		1,88	14659,9425
TransitBallast	852,08	569,1		28,55	13145,915
Sortering (størrelse fisk)	761,5	440		4,76	0
Avlusning (ferskvannsbehandling)	740,79	25		0,52	20339,3824
Lossing ved slakteri	624,08	189,5		14,63	0
Lossing ved merd	619,65	0		0,2	0
Tankvask og desinfeksjon/kai	609,85	35		2,29	4449,465
<b>SUM</b>	<b>10129,45</b>	<b>4088,6</b>		<b>100,23</b>	<b>52594,7049</b>
Sum Energi produsert kWh	52 594,7				
Sum energi fra drivstoff kWh	105 189,4				
Sum mengde drivstoff m <sup>3</sup> per tur	11,5				
Drivstoff m <sup>3</sup> /døgn	5,0				

**Figur C.1:** Synliggjør driftstimer i de forskjellige operasjonelle settinger og energibehovet for Fartøy A

Drifts modus Detaljert	Generatorproduksjon kW	Forbruk Framdrift kW	Tid i \%	Tid i timer	Energi produsert i ti
Transit ( Lastet, lukket)	1165,48	898,5		10,63	9 18575,82
Transit ( Lastet, åpen)	1031,87	783,6		3,92	0
Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	983,74	265		19,48	0
Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	975,18	500		12,95	0
Optilicer (avlusing)	901,4	50		0,42	0
Lasting ved merd /manøvrering	863,83	332,9		1,88	4,58 5481,0234
TransitBallast	852,08	569,1		28,55	10,5 14922,39
Sortering (størrelse fisk)	761,5	440		4,76	0
Avlusning (ferskvannsbehandling)	740,79	25		0,52	0
Lossing ved slakteri	624,08	189,5		14,63	30,6 24895,548
Lossing ved merd	619,65	0		0,2	0
Tankvask og desinfeksjon/kai	609,85	35		2,29	0
<b>SUM</b>	<b>10129,45</b>	<b>4088,6</b>		<b>100,23</b>	<b>54,68 63874,7814</b>
Sum Energi produsert kWh	63 874,8				
Sum energi fra drivstoff kWh	127 749,6				
Sum mengde drivstoff m <sup>3</sup> per tur	14,0				
Drivstoff m <sup>3</sup> /døgn	6,1				

**Figur C.2:** Synliggjør driftstimer i de forskjellige operasjonelle settinger og energibehovet for Fartøy B

Drifts modus Detaljert	Generatorproduksjon kW	Forbruk Framdrift kW	Tid i \%	Tid i timer		Energi produsert i tidsrom KWH
Transit ( Lastet, lukket)	1165,48	898,5		10,63	571,4	1179358,2
Transit ( Lastet, åpen)	1031,87	783,6		3,92	210,7	382519,5
Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	983,74	265		19,48	1047,2	1307680,5
Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	975,18	500		12,95	696,2	1027020,3
Optilicer (avlusing)	901,4	50		0,42	22,6	21501,6
Lasting ved merd /manøvrering	863,83	332,9		1,88	101,1	120989,4
TransitBallast	852,08	569,1		28,55	1534,8	2181227,1
Sortering (størrelse fisk)	761,5	440		4,76	255,9	307463,5
Avlusning (ferskvannsbehandling)	740,79	25		0,52	28	21442,1
Lossing ved slakteri	624,08	189,5		14,63	786,5	639880,7
Lossing ved merd	619,65	0		0,2	10,7	6630,3
Tankvask og desinfeksjon/kai	609,85	35		2,29	123,1	79381,0
<b>SUM</b>	<b>10129,45</b>	<b>4088,6</b>		<b>100,23</b>	<b>5388,2</b>	<b>7275094,6</b>
	<b>Main</b>	<b>Reserve</b>				
Sum Energiprodusert KWH	7275094,6					
Sum energi fra drivstoff KWH	14550189,2	14550189,2				
Sum mengde drivstoff m <sup>3</sup> per tur	1593,3	1593,3				
Drivstoff m <sup>3</sup> /døgn	7,1	7,1				

**Figur C.3:** Synliggjør driftstimer i de forskjellige operasjonelle settinger og energibehovet for Fartøy C



## D Vedlegg D: Sammenligninger resultatene for de ulike drivstoffene opp mot motorkonfigurasjoner

56 CO2 utslipp	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Etanol	Batteri Lithiu	Batteri Lithiu	Diesel
57 Monofuel	0	12,8	16,12			16,6	0	0	16,4
58 Duelfuel	0,92	13,13	16,18	0,92	0,92	16,68			0,92
59 Dieselmotor/brenselcelle	5,54	12,52	14,41	5,54	5,54	14,67			5,54
70 Brenselcelle/dualfuel	0,46	12,09	15,07	0,46	0,46	16,02			0,46
71 Dualfuel/batteri	0,92	12,43	15,42	0,92	0,92	15,9			0,92

Figur D.1: Utslipp av CO<sub>2</sub> for fartøy C

46 Avgifter co2 2021	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Etanol	Batteri Lithiu	Batteri Lithiu	Diesel
47 Monofuel	0	918	1156	0	0	1190	0	0	1176
48 Duelfuel	66	941	1160	66	66	1196	0	0	66
49 Dieselmotor/brenselcelle	397	898	1033	397	397	1052	0	0	397
50 Brenselcelle/dualfuel	33	867	1081	33	33	1149	0	0	33
51 Dualfuel/batteri	66	891	1106	66	66	1140	0	0	66
52									
53									
54									
55									
56									
57 Avgifter co2 2030	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Etanol	Batteri Lithiu	Batteri Lithiu	Diesel
58 Monofuel	0	3104	3909	0	0	4026	0	0	3977
59 Duelfuel	223	3184	3924	223	223	4045	0	0	223
50 Dieselmotor/brenselcelle	1343	3036	3494	1343	1343	3557	0	0	1343
51 Brenselcelle/dualfuel	112	2932	3654	112	112	3885	0	0	112
52 Dualfuel/batteri	223	3014	3739	223	223	3856	0	0	223

Figur D.2: Synliggjør avgiftene for både 2021 og de forventede i 2030.

86 Bunkringsfrekvens	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Etanol	Batteri Lithiu	Batteri Lithiu	Diesel
87 Monofuel	10,5	17,4	12,9			17,3	0,7	1,6	27,1
88 Duelfuel	9,2	15,3	11,3	6,1	3,2	15,2			
89 Dieselmotor/brenselcelle	15,9	26,5	19,6	10,6	5,6	26,3			13,2
90 Brenselcelle/dualfuel	9,6	16,1	11,9	6	3,2	14,9			
91 Dualfuel/batteri	9,7	16,2	12	6,5	3,4	16			

Figur D.3: Synliggjør bunkringsfrekvensne for ulike fartøy og motorarrangement for fartøy C

16 Drivstoff pris \$/MWh	Ammoniakk	LNG	Metanol	Hydrogen I	Hydrogen G	Diesel	Batteri Lithiu	Batteri Lithium	NiKoAl	Etanol
17 Monofuel	2657,2	1231,4	3694,1			1452,8	716,3	716,3		15586,7
18 Duelfuel	2524,3	1241,1	3580,7	5009,1	5009,1					14878,7
19 Dieselmotor/brenselcelle	1945,7	1161,9	2515,4	3341,4	3341,4					9048,8
20 Brenselcelle/dualfuel	2405	1117,1	3386,8	5046,5	5046,5					15123,7
21 Dualfuel/batteri	2496,8	1213,5	3430	4749,2	4749,2					14101

Figur D.4: Resultater rundt drivstoffpriser for fartøy C

## E Vedlegg E: Excel dokumentet med formler

Excel dokumentet synliggjør hvordan kalkulasjonene ble gjort. Øverst kan en se at en kan velge forskjellige valg av eksempelvis Drivstofftype, energiinnhold, virkningsgrad på motor, og drivstoffkapasitet. Deretter må en sette inn timer i forskjellige driftsoperasjoner. Når dette er gjort, vil alle resterende verdier regnes ut automatisk. Slik at en kan lese av Verdier for valgt drivstoff i de forskjellige motorkonfigurasjonene.

Drivstoff for Analyse	Energihold Drivstoff kWh/m³		Fartøyet tankkapasitet m³		Drivstoff Pris Dol Fyllingsgrad i tank	
	batteri kWh/kg	Virkningsgrad Motor	batteri kg			
Metanol	4358,5	0,5	200	57,0	0,8	Main
Diesel	9132,04	0,5	40	22	0,8	Reserve
LithiumNiKoAl	0,26	0,95	240000	21	0,85	Batteri

Drifts modus Detaljert	Generatorproduksjon kW	Forbruk Framdrift kW	Tid i %	Tid i timer	Energi produsert i tidsrom KWH
Transit ( Lastet, lukket)	1165,48	898,5	10,63		0,0
Transit ( Lastet, åpen)	1031,87	783,6	3,92		0,0
Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	983,74	265	19,48		0,0
Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	975,18	500	12,95		0,0
Optilicer (avlusing)	901,4	50	0,42		0,0
Lasting ved merd /manøvrering	863,83	332,9	1,88	12,25	14659,9
TransitBallast	852,08	569,1	28,55	9,25	13145,9
Sortering (størrelse fisk)	761,5	440	4,76		0,0
Avlusning (ferskvannsbehandling)	740,79	25	0,52	26,56	20339,4
Lossing ved slakteri	624,08	189,5	14,63		0,0
Lossing ved merd	619,65	0	0,2		0,0
Tankvask og desinfeksjon/kai	609,85	35	2,29	6,9	4449,5
SUM	10129,45	4088,6	100,23	54,96	52594,7
Sum Energi produsert KWH	52594,7				
Sum energi fra drivstoff KWH	105189,4	105189,4			
Sum mengde drivstoff m³ per tur	24,1	11,5			
Drivstoff m³/døgn	10,5	5,0			
Bunkningsfrekvens døgn	19,0	8,0			

Driftsmønster Udetaljert	Tid	Drivstoffforbruk m³/dag Lav	Drivstoffforbruk m³/dag høy	Energi behov Lav	Energi behov høy kWh
Total		54,97		83 822	117 691
Main			Reserve	Reserve	
Høy	Main	Reserve			
Sum Energi produsert KWH Diesel	117691,1	83822,2	117691,1	83822,2	
Sum energi fra alt. drivstoff KWH	117691,1	83822,2	NA	NA	83822,2
Sum mengde drivstoff m³ /tur	27,0	19,2	12,9	9,2	
Drivstoff m³/døgn	11,8	8,4	5,6	4,0	
Bunkningsfrekvens	17,0	23,8	7,1	10,0	

Grensnittsverdier	Main	Reserve/pilotfuel
Sum Energi produsert KWH Diesel	102234,2	102234,2
Sum energi fra alt. drivstoff KWH	102234,2	NA
Sum mengde drivstoff m³ /tur	23,5	11,2
Drivstoff m³/døgn	10,2	4,9
Bunkningsfrekvens døgn	19,9	8,3
Tankkapasitet m³	200,0	40
Drivstoff type	Metanol	Diesel
Bunkningsfrekvens døgn med begn	15,2	6,4
Pris \$/døgn	2618,3	1010,6

DUALFUEL med pilotfuel	Ferdig utregnet for dualfuel med 50%virkningsgrad		Husk å Justere parameter øverst
Blandingsforhold	95% main	5% pilotfuel	
energi mengde påkrevd i fuel	99929,9	5259,5	
drivstoff m³/sykel	22,9	0,6	
drivstoff m³/døgn	10,0	0,3	
Bunkningsfrekvens (uten fyllingsgradering)	20,0	159,0	
Bunkningsfrekvens med limit	16,0	127,2	
Kostnad per døgn \$/Døgn	2487,3	50,5	
Drivstoff variant	Metanol	Diesel	
Utnyttbar mengde fuel m³ total		192	

Brenselcelle som generator og Motor som framdriftsmaskineri	brenselcelle		Forbrenningsmotor	total	Husk å Justere parameter øverst		
Teknologi	generator	framdrift			main	sekunder	
Driftsmodus							
Transit ( Lastet, lukket)	0	0	0	0			
Transit ( Lastet, åpen)	0	0	0	0			
Transit ( Lastet, UV-SemiÅpen)	0	0	0	0	Energi ønskelig	42347,0	10247,7
Transit ( Lastet, kjølt, lukket)	0	0	0	0	energi mengde påkrevd i fuel	84694,0	20495,4
Optilicer (avlusing)	0	0	0	0	drivstoff m³/sykel	19,4	2,2
Lasting ved merd /manøvrering	10581,9	4078,0	14659,9		drivstoff m³/døgn	8,5	1,0
TransitBallast	7881,7	5264,2	13145,9		Bunkningsfrekvens (uten fyllingsg	23,6	40,8
Sortering (størrelse fisk)	0,0	0,0	0,0		Bunkningsfrekvens med limit	18,9	32,7
Avlusning (ferskvannsbehandling)	19675,4	664,0	20339,4		Kostnad per døgn \$/Døgn	2108,1	196,9
Lossing ved slakteri	0,0	0,0	0,0		Drivstoff variant	Metanol	Diesel
Lossing ved merd	0,0	0,0	0,0		Utnyttbar mengde fuel m³ total	160,0	32,0
Tankvask og desinfeksjon/kai	4208,0	241,5	4449,5				192,0
SUM	42347,0	10247,7	52594,7				

Brenselcelle i kombinasjon med dualfuel motor	Brenselcelle og forbranningskombinasjon		40 %		Husk å Justere parameter øverst		
	motor	pilotfuel	brenselcelle	total			
energi behov	29979,0	1577,8	21037,9	52594,7			
energi i fuel	59958,0	3155,7	42075,8	105189,4			
fuel per tur	6,6	0,3	9,7				
fuel/døgn	2,9	0,2	4,2				
bunk frek	55,8	265,1	38,0				
Pris /døgn	576,0	3,3	1047,3	1626,6			
drivstoff		Diesel	Metanol				
Bunkningsfrekvens med Limit		SE total -->	212,1	27,1			
motorvirkningsgrad		0,5	0,5	0,5			

Dualfuel forbranningsmotor og battericelle Husk å Justere parameter øverst til ønskelig fuel og pris

DUALFUEL med pilotfuel	Ferdig utregnet for dualfuel med 50%virkningsgrad		Battericelle tar 5% belastningen for ett døgn
	95% main	5% pilotfuel	
Blandingsforhold			
energimengde påkrevd i fuel kWh	94670,5	5259,5	1205,8
drivstoff m <sup>3</sup> /sykel	21,7	0,6	10646,7 kg
drivstoff m <sup>3</sup> /døgn	9,5	0,3	4649,2 kg
Bunkringsfrekvens (uten fyllingsgradering)	21,1	159,0	51,6
Bunkringsfrekvens med limit	16,9	127,2	43,9
Kostnad per døgn \$/Døgn	2356,4	50,5	25,3
Drivstoff variant	Metanol	Diesel	LithiumNiKoAl
Utnyttbar mengde fuel m <sup>3</sup> total			
batteri kWh	160,0	32	53040,0

Siden hybridløsninger med batteri kan spare drivstoff i størrelsesorden 15-25% får en nye verdier gitt nedenfor (bruker 20%)

drivstoff m <sup>3</sup> /sykel	17,4	0,5
drivstoff m <sup>3</sup> /døgn	7,6	0,2
Bunkringsfrekvens med limit	21,1	159,0
Kostnad per døgn \$/Døgn	1885,1	40,4
Totalkostnadd \$/døgn	1950,9	

#### Ren Battericelle størrelsesmål

energimengde påkrevd i fuel kWh 1 syklus	55362,8
drivstoff tonn/sykel	212,9
drivstoff tonn/døgn	93,0
Bunkringsfrekvens (uten fyllingsgradering)	2,6
Bunkringsfrekvens med limit	2,2
Kostnad per døgn \$/Døgn	507,7
Drivstoff variant	LithiumNiKoAl
Utnyttbar mengde fuel m <sup>3</sup> total	
batteri kWh	53040,0

Excel dokumentet som er synliggjort nedenfor, er gitt ved formler, slik at en kan se hvordan verdiene er blitt regnet ut.



DUALFUEL med pålæst  
 Bløddagsforhold  
 energimængde påkøbt fuel kWh  
 drivstoff m<sup>3</sup>/cykel  
 drivstoff m<sup>3</sup>/døgn  
 Bunkingsfrekvens (uden fyldingsgradning  
 med fyldingsgradning)  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Drivstoff variant  
 Unnyttbar mængde fuel m<sup>3</sup> total batteri kWh

Færdigudregnet for dualfuel med 50%drivningsgrad  
 5% planfuel  
 =B24\*0,05  
 =D108/B3  
 =D109/(E31/24)  
 =D30\*0,10  
 =D108/1000\*(E31)/(E31/24)  
 =A3  
 =D3\*F3  
 =D109\*0,8  
 =D110\*0,8  
 =(D3\*F3)/D120  
 =(D108/1000\*(E31)/(E31/24))\*0,8

Bløddagsforhold  
 energimængde påkøbt fuel kWh  
 drivstoff m<sup>3</sup>/cykel  
 drivstoff m<sup>3</sup>/døgn  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Totalkostnads \$/døgn  
 =C122+D122+F113

95% min  
 =B24\*0,9  
 =C108/B2  
 =C109/(E31/24)  
 =D2/C110  
 =C110  
 =(C108/1000\*(E31)/(E31/24))  
 =A2  
 =D2\*F2  
 =C109\*0,8  
 =C110\*0,8  
 =(D2\*F2)/C120  
 =C113\*0,8

Ren Battericelle størrelsesmål  
 energimængde påkøbt fuel kWh 1 syklus  
 drivstoff tom/sykel  
 drivstoff tom/døgn  
 Bunkingsfrekvens (uden fyldingsgradning  
 med fyldingsgradning)  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Drivstoff variant  
 Unnyttbar mængde fuel m<sup>3</sup> total batteri kWh

Battericelle tar 5% belastningen for et døgn  
 =(E31\*1,05)/(E31/24)\*0,05  
 =F109/(E31/24)  
 =D4\*F110  
 =(F108/1000)\*E4  
 =A4  
 =D4\*B4\*F4

Ren Battericelle størrelsesmål  
 energimængde påkøbt fuel kWh 1 syklus  
 drivstoff tom/sykel  
 drivstoff tom/døgn  
 Bunkingsfrekvens (uden fyldingsgradning  
 med fyldingsgradning)  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Drivstoff variant  
 Unnyttbar mængde fuel m<sup>3</sup> total batteri kWh

5% planfuel  
 =B24\*0,05  
 =D108/B3  
 =D109/(E31/24)  
 =D30\*0,10  
 =D108/1000\*(E31)/(E31/24)  
 =A3  
 =D3\*F3  
 =D109\*0,8  
 =D110\*0,8  
 =(D3\*F3)/D120  
 =(D108/1000\*(E31)/(E31/24))\*0,8

95% min  
 =B24\*0,9  
 =C108/B2  
 =C109/(E31/24)  
 =D2/C110  
 =C110  
 =(C108/1000\*(E31)/(E31/24))  
 =A2  
 =D2\*F2  
 =C109\*0,8  
 =C110\*0,8  
 =(D2\*F2)/C120  
 =C113\*0,8

Bløddagsforhold  
 energimængde påkøbt fuel kWh  
 drivstoff m<sup>3</sup>/cykel  
 drivstoff m<sup>3</sup>/døgn  
 Bunkingsfrekvens (uden fyldingsgradning  
 med fyldingsgradning)  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Drivstoff variant  
 Unnyttbar mængde fuel m<sup>3</sup> total batteri kWh

Færdigudregnet for dualfuel med 50%drivningsgrad  
 5% planfuel  
 =B24\*0,05  
 =D108/B3  
 =D109/(E31/24)  
 =D30\*0,10  
 =D108/1000\*(E31)/(E31/24)  
 =A3  
 =D3\*F3  
 =D109\*0,8  
 =D110\*0,8  
 =(D3\*F3)/D120  
 =(D108/1000\*(E31)/(E31/24))\*0,8

Bløddagsforhold  
 energimængde påkøbt fuel kWh  
 drivstoff m<sup>3</sup>/cykel  
 drivstoff m<sup>3</sup>/døgn  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Totalkostnads \$/døgn  
 =C122+D122+F113

Ren Battericelle størrelsesmål  
 energimængde påkøbt fuel kWh 1 syklus  
 drivstoff tom/sykel  
 drivstoff tom/døgn  
 Bunkingsfrekvens (uden fyldingsgradning  
 med fyldingsgradning)  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Drivstoff variant  
 Unnyttbar mængde fuel m<sup>3</sup> total batteri kWh

Battericelle tar 5% belastningen for et døgn  
 =(E31\*1,05)/(E31/24)\*0,05  
 =F109/(E31/24)  
 =D4\*F110  
 =(F108/1000)\*E4  
 =A4  
 =D4\*B4\*F4

Ren Battericelle størrelsesmål  
 energimængde påkøbt fuel kWh 1 syklus  
 drivstoff tom/sykel  
 drivstoff tom/døgn  
 Bunkingsfrekvens (uden fyldingsgradning  
 med fyldingsgradning)  
 Bunkingsfrekvens med limit  
 Kontrakt per døgn S/Døgn  
 Drivstoff variant  
 Unnyttbar mængde fuel m<sup>3</sup> total batteri kWh

