

Edvard Kjelstadli Braute  
Kristian Løvold Walderhaug  
Carsten Fiskaa Øren

## Hybridisering av MPSV-fartøy

Bacheloroppgave i Fornybar energi  
Veileder: Ann Rigmor Nerheim  
Medveileder: Tor Hennum  
Mai 2022





INSTITUTT FOR HAVROMSOPERASJONER OG BYGGTEKNIKK

BACHELOR I INGENIØRFAG, FORNYBAR ENERGI

---

# Hybridisering av MPSV-fartøy

---

*Forfattere:*

Edvard Kjelstadli Braute  
Kristian Løvold Walderhaug  
Carsten Fiskaa Øren

Mai, 2022





Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk

## Bacheloroppgave

<b>Oppgavens tittel</b> Hybridisering av MPSV-fartøy	<b>Oppstart</b> Desember 2021
<b>Project title</b> Hybridization of MPSV-vessels	<b>Innleveringsdato</b> 20.05.2022
	<b>Antall sider rapport / sider vedlegg</b> 67 / 4
<b>Gruppedeltakere</b> Edvard Kjelstadli Braute Kristian Løvold Walderhaug Carsten Fiskaa Øren	<b>Veileder</b> Ann Rigmor Nerheim Førsteamanuesis, NTNU ann.r.nerheim@ntnu.no 993 85 489
<b>Studieretning</b> Fornybar energi, ingeniør	<b>Prosjektnummer</b> BIFORENÅ22-2
<b>Oppdragsgiver</b> Golden Energy Offshore	<b>Kontaktperson hos oppdragsgiver</b> Vidar Skjong / tlf: 991 59 618

Fritt tilgjengelig

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver

Rapporten frigitt etter

---



---

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av tre studenter på studieretningen Bachelor i Fornybar Energi, som del av emnet FENA2900 - Bacheloroppgave fornybar energi, ved Institutt for Havromsoperasjoner og Byggteknikk (IHB) våren 2022. Oppgaven er en avsluttende del av en treårig ingeniørutdanning ved NTNU Ålesund.

Med et økende fokus på klimapolitikk og bærekraft, trenger den maritime næringen nye løsninger på hvordan de kan drifte sine fartøy, samtidig som de bidrar til et bærekraftig klima og miljø. Dette er et tema vi i arbeidsgruppen har funnet interessant, og ønsker å jobbe videre med. Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med rederiet Golden Energy Offshore. Arbeidet med oppgaven har vært lærerikt og gitt oss et godt innblikk i hvordan prosessen med hybridisering av fartøy fungerer. Det har også blitt tilegnet mye faglig kunnskap og erfaringer om hvordan løse oppgaver sammen som et team.

Vi ønsker å gi en spesiell takk til førsteamanuensis Ann Rigmor Nerheim og PhD-kandidat Tor Hennem ved IHB som vår veileder og medveileder. Gjennom ukentlige møter og godt samarbeid har de kommet med gode innspill og vært tilgjengelig for faglig hjelp og diskusjoner. Det rettes også en spesiell takk til ekstern mentor Vidar Skjong, CTO ved Golden Energy Offshore, som har bidratt med mye kunnskap, data og erfaringer innen gitt tema.

Vi ønsker også å takke Nils Kåre Bondhus og Svein-Terje Fagervoll ved mentorredieriet Golden Energy Offshore, Lars Vestbøstad for rederiet Eidesvik AS, Øyvind Skåra og Sverre Eriksen i DNV, Håkon Slotsvik i Corvus Energy og Per Kristian Vågsæter i Kongsberg Maritime. Dette på grunnlag av at de alle har vært til stor hjelp for innhenting av erfaringer, data og informasjon.

Ålesund, 20. mai 2022



**Edvard Kjelstadli Braute**



**Kristian Løvold Walderhaug**



**Carsten Fiskaa Øren**

---

## Sammendrag

I et samfunn med mye klimagassutslipp og et økende fokus på klimapolitikk, blir den maritime næringen og shipping-industrien tvunget til å tenke nytt. Fra IMO er det bestemt utslippsgrenser for enkelte havområder, noe det kan komme mer av i tiden som kommer. Fra regjeringen er det også varslet at CO<sub>2</sub>-avgiften vil øke i årene frem mot 2030. Denne oppgaven presenterer hvordan ulike hybride løsninger vil påvirke klimagassutslippene til flerbruksfartøyet Energy Empress, og hvilke energiløsninger som kan være aktuelle for rederiet Golden Energy Offshore å satse på.

I oppgaven er det benyttet kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode i form av innhenting av data, informasjon og erfaringer fra mentorbedrift og andre aktører i den maritime næringen. Det er også brukt fagstoff hentet fra pensumbøker, vitenskapelige rapporter og annen relevant litteratur. Dataene er videre brukt til å gjøre beregninger for de ulike hybride løsningene.

Gjennom arbeidet med oppgaven er det funnet ut at det mest aktuelle for dette rederiet er hybridisering ved integrering av batterier eller konvertering av motorer til metanol. Dette var også tips fra mentorredieriet. Derfor er det ikke gjort beregninger på konvertering til for eksempel biodiesel eller andre energibærere enn batterier og metanol i tillegg til MGO.

Fra mentorredieriet er det hentet driftsdata for fartøyet, som videre deles inn i fire driftsprofiler. To av driftsprofilene tar utgangspunkt i kontrakter fartøyet har hatt, mens de to resterende driftsprofilene tar utgangspunkt i gjennomsnittlige oppdrag. Under arbeidet med driftsprofilene er det funnet ut at tilkobling til landstrøm vil være til nytte for det gitte fartøyet. Det er derfor gjort beregninger på hvordan klimagassutslippene til fartøyet påvirkes av tilkobling til landstrøm ved havneopphold. Beregningene viser at besparelsene av klimagasser ved hjelp av landstrøm er avhengig av hvor stor andel av tiden ved havn fartøyet får være tilkoblet landstrøm.

Beregningene som er gjort for de forskjellige energiløsningene viser at en hybrid løsning med metanol er særlig effektivt for å redusere utslipp av SO<sub>x</sub> og PM. Ved bruk av fornybar eller grønn metanol er også mulighetene gode for å redusere en større andel CO<sub>2</sub>-utslipp. Det er også vist at integrering av batterisystem vil gi en jevn prosentvis reduksjon av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og PM sammenlignet med utslipp fra dagens energiløsning. Løsningen med både batterier og metanol gir derimot de høyeste reduksjonene av både CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>- og PM-utslipp.

Videre er det også gjort økonomiske beregninger knyttet til ombygging og lønnsomheten til et slikt prosjekt. Til de økonomiske beregningene er det knyttet ulike usikkerheter, de presenteres derfor som en pekepinn. Beregningene viser at både løsningen med batterier og løsningen med metanol er mest lønnsomt dersom MGO prisen er høy. Dette er avhengig av at prisen for metanol ikke overstiger prisen for MGO og at investeringskostnadene er lave. Lav pris for metanol i forhold til prisen for MGO vil gi de laveste nedbetalingstidene for prosjektet. Leser gjøres oppmerksom på at resultatene som er presentert i oppgaven kan variere etter hvilke operasjoner fartøyet utfører og forskjellige driftsdata. Derfor vil ikke resultatene være representative for alle typer fartøy eller andre fartøy innen samme segment, men kun for gitt fartøy og gitte driftsprofiler.



---

## Abstract

In a society with high greenhouse gas emissions and an increasing focus on climate policy, the maritime and shipping industry are forced to find new solutions. The IMO have established emission limitations for certain marine areas. The number of such areas may increase in the coming years. The Norwegian authorities have also stated that the CO<sub>2</sub> emission fees will increase towards the year 2030. This thesis presents how different hybrid solutions will affect the emissions of greenhouse gas for the multi-purpose support vessel Energy Empress, and which of the solutions the mentor shipping company Golden Energy Offshore could use on their vessel.

The thesis is based on qualitative and quantitative research, which includes data, information and experiences from the mentor shipping company and other companies in the maritime and shipping industry. Subject matter from present and earlier curriculum, scientific reports and other relevant literature is also used in the thesis. The retrieved data is then used in both energy-based and economical calculations for the different solutions.

While working with the thesis, it was discovered that the mentor shipping company wanted to look at the possibilities for hybridization based on methanol and/or batteries. As a result of that request, the thesis does not include calculations based on other energy carriers like biodiesel, but focus on methanol and battery systems.

The operational data is gathered from the mentor shipping company and is then divided into four operational cycles. Two of the operational cycles are based on actual contracts completed by the vessel, and the other two operational cycles are based on average contracts. While working with the operational cycles, it is discovered that the possibility to use shore connection on the given vessel would contribute to lower greenhouse gas emissions. The thesis therefore includes calculations based on the use of shore connection. The calculations show that the effect of shore connection depends on the amount of time the vessel has access to shore connection in the harbour.

The calculations for the different energy solutions show that a hybrid solution based on methanol is especially effective to reduce emissions of SO<sub>x</sub> and PM. By using green or renewable energy-based methanol, the CO<sub>2</sub>-emissions would be reduced even more. They also show that a hybrid solution based on battery systems gives an even reduction of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and PM in percentage, compared to the calculations based on the present energy system. The solution combining both batteries and methanol gives the most reduction of both CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>- and PM-emissions.

The thesis also includes economical and profitability calculations for the project. Due to different insecurities in prices found in the research process, the economical calculations are presented as estimates only. The economical calculations show that both the solution based on batteries and the solution based on methanol are at the most profitable with a high price of MGO. This depends on the fact that the price of methanol does not exceed the price of MGO, and that the investment costs are low. A low methanol-price compared to the MGO-price will result in the lowest repayment periods for the project. Potential readers are made aware that the results presented in this thesis may vary with the operations the vessel is performing and the operational data. The results in this thesis are therefore not representative for all types of vessels. They are only representative for this particular vessel.

---

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>vi</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Nasjonale og internasjonale klimamål . . . . .	1
1.2 Emission Control Areas . . . . .	2
1.3 Fartøy og rederi . . . . .	4
<b>2 Energisystem</b>	<b>5</b>
2.1 Hybridisering . . . . .	5
2.2 Forbrenningsmotoren . . . . .	8
2.3 Elektriske maskiner . . . . .	10
2.4 Elektriske omformere . . . . .	11
2.5 Eksosrensing . . . . .	11
2.6 Energieffektivisering . . . . .	13
<b>3 Energibærere</b>	<b>14</b>
3.1 Oljebaserte drivstoff . . . . .	14
3.2 Biodiesel . . . . .	15
3.3 Metanol . . . . .	16
3.4 Batteri . . . . .	19
3.5 Landstrøm . . . . .	24
<b>4 Økonomi</b>	<b>28</b>
4.1 Investeringskostnader . . . . .	28
4.2 Driftskostnader . . . . .	31
<b>5 Metode</b>	<b>34</b>
5.1 Innhenting av informasjon og data . . . . .	34
5.1.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode . . . . .	34
5.2 Driftsprofil . . . . .	35
5.2.1 Driftskondisjoner . . . . .	35

---

5.2.2	Utforming av ulike driftsprofiler . . . . .	35
5.3	Beregning av drivstofforbruk og utslipp . . . . .	37
5.3.1	Forbruksberegninger . . . . .	38
5.3.2	Utslippsberegninger . . . . .	40
5.4	Dimensjonering og beregning av batteri og landstrøm . . . . .	41
5.5	Økonomiberegninger . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Resultater og diskusjon</b>	<b>47</b>
6.1	Driftsprofil 1: Langtidskontrakt - forsyningsoppdrag . . . . .	47
6.2	Driftsprofil 2: Spotkontrakt - forsyningsoppdrag . . . . .	49
6.3	Driftsprofil 3: Gjennomsnittlig langtidskontrakt . . . . .	51
6.4	Driftsprofil 4: Gjennomsnittlig spotkontrakt . . . . .	52
6.5	Sammenligning av driftsprofiler . . . . .	54
6.6	Grønn metanol . . . . .	55
6.7	Økonomi . . . . .	56
6.8	Usikkerhet i beregninger . . . . .	60
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>61</b>
<b>8</b>	<b>Videre arbeid</b>	<b>62</b>
	<b>Referanser</b>	<b>63</b>
	<b>Vedlegg A: Beregninger Driftsprofil 1</b>	<b>I</b>
	<b>Vedlegg B: Beregninger Driftsprofil 2</b>	<b>II</b>
	<b>Vedlegg C: Beregninger Driftsprofil 3</b>	<b>III</b>
	<b>Vedlegg D: Beregninger Driftsprofil 4</b>	<b>IV</b>

---

## Forkortelser

AC	Alternating current/Vekselstrøm
BMS	Battery Management System
CO	Karbonmonoksid
CO <sub>2</sub>	Karbondioksid
DC	Direct Current/Likestrøm
DME	Dimetyleter
DP	Dynamisk posisjonering
ECA	Emission Control Area
EGCS	Exhaust Gas Cleaning System
FN	Forente Nasjoner
H <sub>2</sub>	Hydrogengass
HHV	Øvre brennverdi
LFL	Low Flashpoint Liquid
LIB	Litium-ion-batteri
MARPOL	The International Convention for the Prevention of Pollution from ships
MGO	Marine Gas Oil
MPSV	Multipurpose Supply Vessel
NO <sub>x</sub>	Nitrogenoksider med $x$ antall oksygenatomer
PSV	Plattform Supply Vessel
RME	Raps-Metyl-Ester, en type biodiesel laget med rapsolje som råvare
SECA	Sulfur Emission Control Area
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
SCR	Selektiv katalytisk reduksjon
SFoC	Specific Fuel Oil Consumption
SO <sub>x</sub>	Svoveloksider med $x$ antall oksygenatomer
SoC	State of Charge/ladetilstand på batteri
SoH	State of Health/helsetilstand på batteri
TR	Thermal Runaway

---

# 1 Innledning

Bakgrunnen til denne oppgaven ligger i økte CO<sub>2</sub>-avgifter, utslippsgrenser regulert av IMO og økende fokus på klimapolitikk og bærekraft i den maritime næringen. Problemstillingen er utviklet i samarbeid med rederiet Golden Energy Offshore, og svarer på følgende spørsmål: **Hvordan kan fartøyet “Energy Empress” hybridiseres for å redusere sine klimagassutslipp og er hybridiseringen lønnsom?** Etter forslag fra rederiet er det også sett på spørsmålene: *Hvordan vil hybridisering ved hjelp av batterier påvirke klimagassutslippene til fartøyet? Hvordan vil hybridisering ved hjelp av metanol påvirke klimagassutslippene til fartøyet?* Etter innspill fra mentorrederi er det også valgt å presentere mulighetene rundt tilkobling av landstrøm istedet for konvertering til biodiesel.

Dette kapittelet presenterer ulike faktorer som gjør at maritim næring og shipping-industrien må redusere sine klimagassutslipp. Dette inkluderer mål, krav og regelverk som er bestemt av nasjonale og internasjonale aktører. Videre presenteres også fartøyet som undersøkes i rapporten og rederiet Golden Energy Offshore som eier fartøyet og er mentorrederi for oppgaven.

Oppgaven har som hensikt å undersøke fordeler og ulemper med de forskjellige løsningene for hybridisering. Den skal også gi et grovt anslag i kostnader og økonomien rundt et hybridiseringsprosjekt som dette. Dette blir utført gjennom å presentere informasjon, data og erfaringer som er hentet både fra mentorrederi og andre aktører i den maritime næringen. Det blir også presentert utførte beregninger for nødvendig kapasitet for de ulike energibærerene. Målet med oppgaven er å gi mentorrederi og eventuelle andre en indikasjon på om metanol eller batterier er gode løsninger å benytte til hybridisering av offshore fartøy.

Begrensningene som er gjort i oppgaven er bestemt ved at det ses på klimagassutslippene knyttet til energien som går fra tank til propell. Det er dermed ikke sett på utslipp av klimagasser knyttet til produksjon og transport av de ulike energibærerene. Utslippetsberegningene som er gjort baseres på fire ulike driftsprofiler som er hentet gjennom data fra mentorrederi. To av driftsprofilene er kontrakter/oppdrag fartøyet har hatt, mens de resterende driftsprofilene er gjennomsnittlige kontrakter/oppdrag. For de økonomiske beregningene er lønnsomheten vist for ulike scenario. Scenarioene baseres på ulike prisnivå for MGO, metanol og investeringskostnader. Hvilke priser dette tilsvarer er vist i Kapittel 5.

## 1.1 Nasjonale og internasjonale klimamål

Maritim aktivitet står for en relativt liten del av de globale CO<sub>2</sub>-utslippene. Omtrent 2 % av utslippene kommer fra denne sektoren [1]. Utslipp fra maritim aktivitet er derfor først og fremst en lokal utfordring, men likevel er det viktig å senke de globale utslippene i den maritime næringen for å nå klimamålene. Et eksempel på en lokal utfordring er utslipp av SO<sub>2</sub> (svoveldioksid). Dette bidrar til lokal forurensing og sur nedbør som forurenser naturen. Et annet eksempel er partikulært materiale (PM). Dette er små partikler i luften som blir til ved forbrenningsreaksjoner og mekanisk slitasje [2]. I tillegg har også skipsfarten store CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-utslipp. CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> er gasser som blir frigjort under forbrenning av drivstoff, og som bidrar til å forsterke drivhuseffekten i atmosfæren.

---

I 2015 ble Parisavtalen vedtatt, som den første klimaavtalen som er juridisk bindende og forpliktende for alle land [3]. Den globale gjennomsnittstemperaturen har i dag steget med tilnærmet 1°C sammenlignet med førindustriell tid [4]. I denne avtalen er det bestemt at alle land skal jobbe mot å begrense denne globale oppvarmingen til 1,5°C, og at skipsfarten må være klimanøytral i år 2050, dersom den skal bidra til å nå Parisavtalens mål. I forbindelse med dette har Norge også satt et mål om å redusere utslippet av klimagasser med 50–55 % innen 2030.

Gjennom Norges Rederiforbund har også norske rederier tatt grep for å bidra til å redusere klimagassutslipp. Rederiene har vedtatt en klimastrategi bestående av fire mål som alle forbundets medlemmer skal jobbe mot. Målene sier som følger; Medlemmene skal kutte sine klimautslipp med 50 % per transportert enhet innen 2030, målt mot 2008. Fra 2030 skal norske rederier kun bestille skip basert på nullutslippsteknologi. Fra 2050 skal den norske flåten være karbonnøytral, og fra 2050 skal det legges ned forbud mot drivstofftyper som ikke er karbonnøytrale [5].

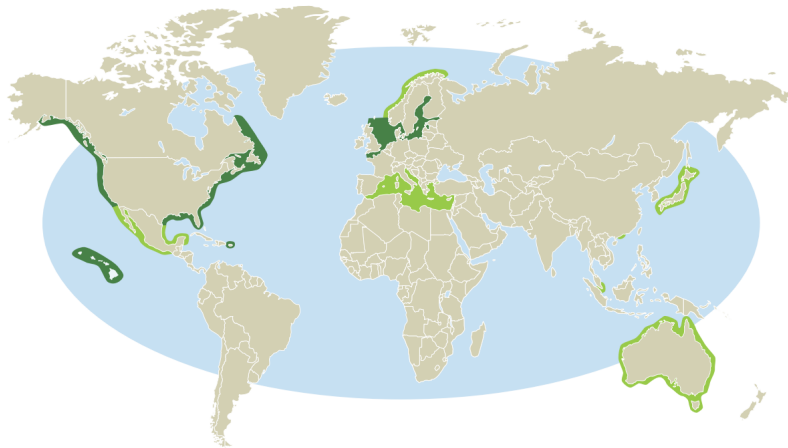
I 1991 ble det i Norge innført en CO<sub>2</sub>-avgift, som skulle bidra til en kostnadseffektiv reduksjon av klimagassutslipp [6]. Dette er en avgift som fortsatt er gjeldende i Norge. I 2021 varslet regjeringen om en gradvis økning i denne avgiften, og at avgiften skal ligge på om lag 2000 kr per tonn CO<sub>2</sub> i 2030 [7]. Avgiften er dermed en av de utløsende faktorene for at mange rederier ønsker å hybridisere sine flåter.

I dag er det stort fokus på bærekraft, klima og miljø i samfunnet. Dette gjelder også innen skipsfarten, som er en del av transportsektoren. Transportsektoren står for 31 % av norske klimagassutslipp [1]. Innen 2030 skal disse klimagassutslippene halveres. Innen 2050 er målet om å bli et lavutslippssamfunn. Det engelske uttrykket for bærekraft er “sustainability”. Sustainability betyr at noe kan opprettholdes over tid - at det er varig. Bærekraft i samfunnet kan derfor forklares med at en ønsker å tilfredstille behovene til menneskene som lever nå, uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter [8]. Klima er globalt, mens miljø betyr “omgivelse”. I denne sammenhengen skiller en disse begrepene ved at klima beskriver den globale påvirkningen, mens miljø handler om den lokale påvirkningen.

## 1.2 Emission Control Areas

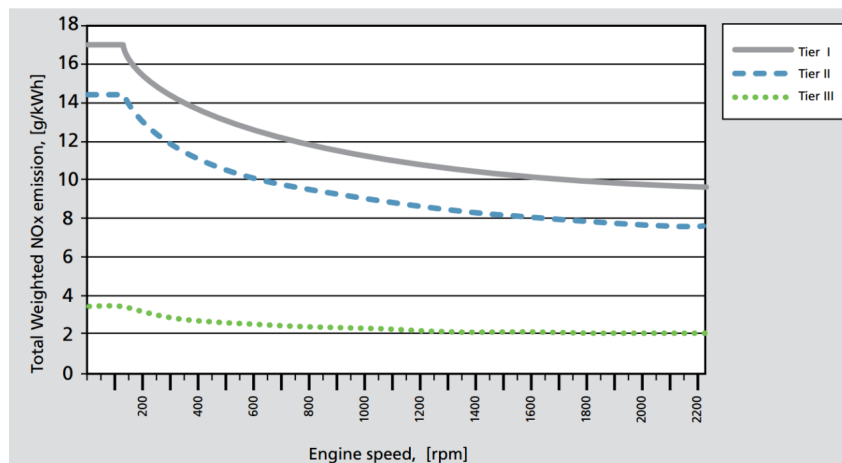
Emission Control Areas (ECA) er områder der utslipp av SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub> er regulert av IMO. Områdene er etablert etter “The International Convention for the Prevention of Pollution from ships”, også kjent som “MARPOL”-konvensjonen. Fra første januar 2015 ble Nordsjøen og det Baltiske hav vedtatt som områder med fokus på svovelutslipp, også kjent som “SECA”. Dette betyr at fartøy som opererer i disse områdene må benytte drivstoff med maksimalt 0,1 % svovelinnhold, mot 1 % svovelinnhold før 2015 [9]. Dersom fartøyene som opererer i disse områdene rengjør eksosen ved hjelp av en “scrubber” er det ikke behov for overgang til drivstoff med 0,1 % svovelinnhold.

De mørkegrønne områdene i Figur 1.1 viser de eksisterende ECA områdene. De lysegrønne områdene viser forslag til områder som kan bli vedtatt som ECA i fremtiden. Utenfor ECA er det krav om drivstoff med 0,5 % svovelinnhold etter 1. januar 2020; en markant reduksjon fra 3,5 % svovelinnhold før 2020 [10].



**Figur 1.1:** ECA områder i verden. Figuren er hentet fra en rapport fra Methanol Institute [11].

For å sikre riktige utslippsverdier er det opprettet ulike nivåer (Tiers) basert på når fartøyet ble bygget. Dette er nivå alle fartøy må følge. Tier I gjelder for skip som er bygget fra 1. januar 2000, Tier II gjelder for skip bygget fra 1. januar 2011 og Tier III gjelder for skip bygget fra 1. januar 2016. For fartøy bygget 1. januar 2021 eller senere og opererer i Nordsjøen eller det Baltiske hav, som begge nå er ECA-områder, skal Tier III kravene oppfylles. Disse nivåene forteller hvor mye utslipp som er tillatt for de forskjellige fartøyene. Figur 1.2 viser tillatte  $\text{NO}_x$ -utslipp for de ulike tier nivåene. Alle utslippsverdiene fra dieselmotorer i Tier II og III klassen, skal også oppfylle kravene til “ $\text{NO}_x$  Technical Code 2008” [12].



**Figur 1.2:** Tillatte utslipp fra motorer i følge tier-nivå. Figuren er hentet fra DNV [13].

---

### 1.3 Fartøy og rederi

Fartøyet “Energy Empress” er et forsyningskip av typen “MPSV” eller “multipurpose supply vessel” [14]. Dette er en skipstype som i tillegg til forsyningsoppdrag kan utføre forskjellige operasjoner. Fartøyet er bygd hos ROC yard, Kina, og var levert i mai 2019. Fartøyet er basert på Ulstein sitt PX121H design med bakoverlent baug (X-Bow) og er vist i Figur 1.3.



*Figur 1.3: MPSV Energy Empress. Figuren er hentet fra Golden Energy Offshore [14].*

Energy Empress har per dags dato et diesel-elektrisk fremdriftssystem. Fremdriftssystemet består av fire motorer fra Caterpillar; to motorer på 1628 kW og to motorer på 994 kW. Motorene er koblet til generatorer fra Marelli MJR som produserer strøm til skipet. To av generatorene har en effekt på 1550 kW. De resterende to generatorene har en effekt på 940 kW. Fartøyet er også utstyrt med to propeller av typen Azipull 85 på 1700 kW hver, i tillegg til to baugpropeller på 880 kW hver. Azipull propellene er utstyrte med “pitch-kontroll” (CP) [14]. Pitch-kontroll styrer vridningen til propellbladene på azipull-thrusterene. Dette brukes blant annet til å regulere skyvekraften fra propellene.

Fartøyet er utstyrt med ti kombitanker som har samlet volum på 1028 m<sup>3</sup>. Disse tankene blir benyttet til å frakte blant annet spillolje og leire/mudder. Når det kommer til “fuel oil” eller MGO, har skipet en lastkapasitet på 1473 m<sup>3</sup>. Fra klassenotasjonen “LFL” er skipet også godkjent til å frakte væsker med lavt flammepunkt, også kjent som “low flashpoint liquids (LFL)”. Om bord finnes det fire LFL-tanker som har et samlet volum på 155 m<sup>3</sup>.

Rederiet Golden Energy Offshore er en fullt integrert skipseier og driver av moderne og godt utstyrte offshore service-fartøy for den globale olje og gass-industrien. Rederiet har base i Ålesund og eier og driver fire fartøy per dags dato [15]. Rederiet har en moderne flåte, men har fortsatt som mål å redusere deres miljø- og klimapåvirkninger gjennom fornuftig bruk av ressurser, optimalisering av operasjoner og håndtering av avfall. Miljø- og klimabevissthet er dermed et sentralt og viktig tema for rederiet.



---

## 2 Energisystem

I dette kapittelet er det forklart hva det vil si å hybridisere fartøy. Dette baseres på erfaringer fra Golden Energy Offshore og andre aktører. I tillegg blir det presentert viktige komponenter som ofte befinner seg i energisystemene om bord i skip.

### 2.1 Hybridisering

Hybride energisystemer beskriver systemer som benytter seg av mer enn en energikilde eller energibærer. Dette er et tiltak som blir gjort for å redusere og optimalisere blant annet drivstofforbruk og klimagassutslipp, og som kan utføres på forskjellige måter. For diesel-mekaniske fremdriftssystemer kan det kreves en større ombygging for at det skal samarbeide med flere energibærere. Derfor kan det for diesel-mekaniske systemer være en mulighet å konvertere til biodiesel, selv om det er et dyrere drivstoff enn fossilbasert diesel. Dette vil minimere ombyggingsprosessen, i tillegg til å redusere klimagassutslipp.

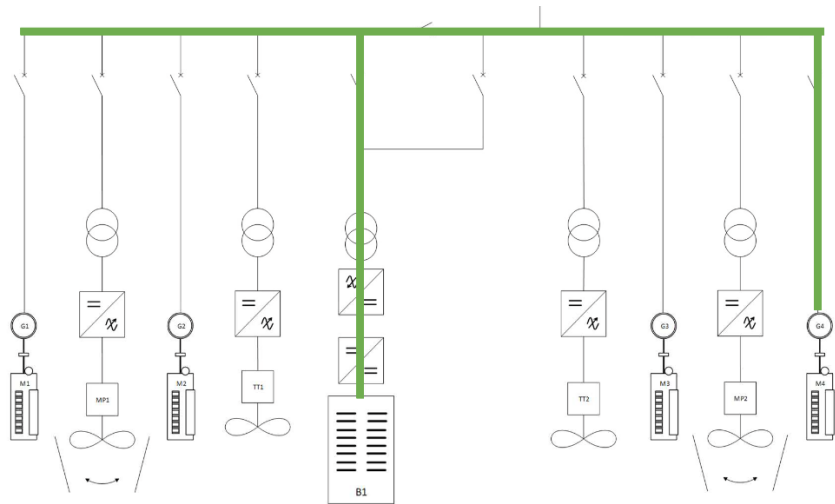
Diesel-elektriske fremdriftssystemer benytter dieselgeneratorer til å produsere strøm til 690 V tavlen, som videre distribuerer strøm til de andre tavlesystemene, forbrukere og elektromotorer som driver propellene til fremdriften. Dermed kan dieselgeneratorer byttes med batteripakker eller generatorer som benytter andre energibærere, for å produsere energi til fartøyet. Da er det vanlig at et antall dieselgeneratorer beholdes, slik at de kan drives i samarbeid med batteriene eller generatorene med andre energibærere.

Tavlesystemet til fartøyet er delt inn i ulike skinner eller “bus bars”. De forskjellige skinnene er tilkoblingspunkt for forsynere og forbrukere av strøm, basert på hvor mye strøm de trekker eller leverer. 690 V er den skinnen med høyest spenning, der blant annet motorene, generatorene og propellene er koblet til. 440 V er den midterste skinnen, som blant annet er koblet til nødtavlen som driver nødgeneratoren, og 230 V er skinnen med lavest spenning, som brukes til hoteldrift og mindre forbrukere. De forskjellige skinnene er også splittet mellom styrbord og babord side, med en tilkoblingsbryter eller “bus tie breaker” mellom dem. Dette gir fartøyet mulighet til å operere med “åpen-” eller “lukket bus”. Det å kunne splitte tavlene kan fungere som et sikkerhetstiltak dersom det skulle oppstå feil i tavlesystemet. Da kan konsekvensene av en eventuell feil minimeres ved å åpne tilkoblingsbryterne og separere tavlene.

#### Single Feed Hybrid

Single Feed Hybrid er et fremdriftssystem som inneholder dieselgeneratorer og en batteripakke. I et single feed system er batteripakken installert på enten styrbord eller babord side av hovedtavlen/bus bar [16]. Batteripakken leverer strøm til hovedtavlen på lik linje som en dieselgenerator, i tillegg til at den kan fungere som en erstatning for å spare en av dieselgeneratorene. Figur 2.1 viser hvordan et batteri fungerer i et single feed system.

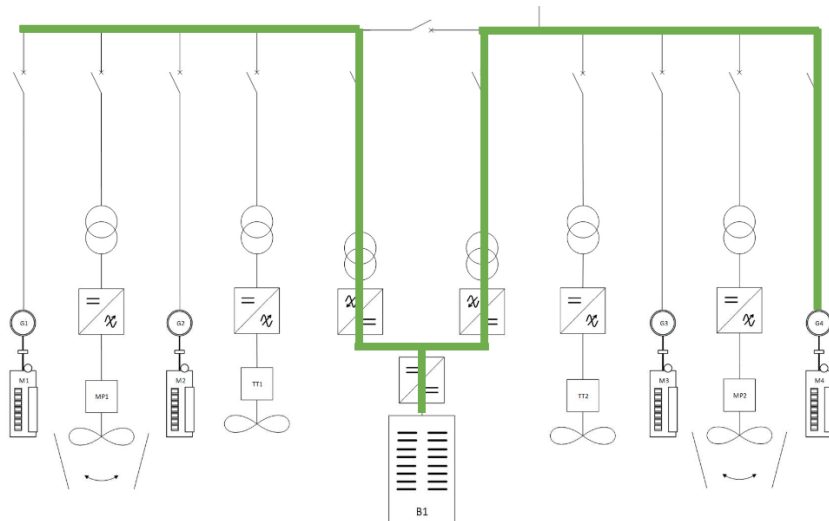
Bruk av bus tie breaker har blitt mer og mer vanlig for å forhindre at en feil på en av sidene skal kunne forplante seg videre til den andre siden av tavlen. Ved feil i anlegget vil dermed tavlene splittes automatisk. Om fartøyet opererer med åpen eller lukket bus kan bestemmes i form av krav fra oppdragsgiver eller DNV i enkelte tilfeller eller operasjoner.



**Figur 2.1:** Illustrasjonen viser hvordan et single feed system opererer. Figuren er hentet fra en presentasjon fra mentorrederi [17].

## Dual Feed Hybrid

Dual feed fremdriftssystem er også sammensatt av diesलगeneratorer og en batteripakke. Forskjellen mellom et dual feed og et single feed system er at batteripakken i et dual feed system er tilkoblet begge sidene av tavlen, og kan dermed levere strøm til begge sidene selv om bus-breaker splitter tavlen. Figur 2.2 viser hvordan batteriet fungerer i et dual feed system fungerer med splittet tavle.



**Figur 2.2:** Illustrasjonen viser hvordan et dual feed system opererer. Figuren er hentet fra en presentasjon fra mentorrederi [17].

---

## Påvirkede systemer og komponenter

Selv om hybridisering har mange positive påvirkninger på klima, miljø og profilen til skipet, er det også mange systemer og komponenter om bord på skipet som blir påvirket på en mindre positiv måte. Dette kan føre til større ombygginger, oppdateringer og modifikasjoner av eksisterende systemer for at de skal fungere optimalt i samarbeidet med det nye hybride systemet. Dette er modifikasjoner som fører til ekstra kostnader, og som må inkluderes i planleggingen og utføringen av hybridiseringsprosjektet. Videre blir det presentert systemer og komponenter som normalt sett krever modifikasjoner i et hybridiseringsprosjekt. Dette er informasjon som har kommet frem gjennom møter med mentorbedrift [16].

Et av systemene som krever modifikasjoner er systemet som utfører den dynamiske posisjoneringen (DP). Siden det ofte ved for eksempel batterihybridisering brukes energi fra batteriene i DP-modus, må konsekvensanalysen for DP-modusen fornyes. Dette er for at systemet skal ta høyde for energi og effekt fra batteriene, i tillegg til det eksisterende energisystemet. Dette krever ofte en oppgradering av både software og hardware til eksisterende DP-system. Dersom det skal settes inn batteripakker som skal drives i single- eller dual feed, må også den eksisterende hovedtavlen om bord i fartøyet modifiseres. Her kan det også være nødvendig å arrangere tavlesystemet på nytt, dersom det ikke er klargjort plass fra tidligere byggefase.

Andre systemer som påvirkes av hybridiseringer er “Integrated Automation System” (IAS) og “Power Management System” (PMS). IAS må oppgraderes for å kunne håndtere alarmer og overvåkning av batterisystemet. PMS må oppgraderes for kunne håndtere effekten batteripakkene leverer til systemet. For PMS krever dette både software og hardware oppgraderinger, menst det for IAS kan være aktuelt med samme type oppgraderinger. I tillegg kreves det installasjon av et “Energy Management System” (EMS) for å håndtere energiflyten fra batteripakkene.

I tillegg til oppgradering av systemer om bord, vil også en batteriinstallasjon kreve modifikasjoner i noe av fartøyets dokumentasjon og analyser. Eksempel på dokumentasjon som må endres på grunn av batteriinstallasjonen er styrkeberegningene og stabilitetsanalysen til fartøyet. Ved integrering av batteri i eksisterende system, er det vanlig å beregne en vekt på 13 kg per kWh batterikapasitet. Plassering av batteripakken er derfor viktig for å redusere behovet for motvekt for å opprettholde stabiliteten til fartøyet. Når det utføres batteriinstallasjoner må også fartøyet benytte nye klassenotasjoner, i form av “Battery Power” eller “Battery Safety”. Da må anlegget bygges i samsvar med regelverket for klassenotasjonene for batterisystemer. For å ha kunnskap om hvordan systemer påvirkes under nødsituasjoner, må også “Failure Mode & Effect Analysis” (FMEA) oppdateres for bruk av batterisystemer om bord. Dette dokumentet gir informasjon om hvordan andre systemer påvirkes dersom det oppstår feil i for eksempel batterisystem eller lignende systemer. Det er derfor viktig at mannskap om bord er godt kjent med dette dokumentet, for å være godt forberedte i en eventuell nødsituasjon.

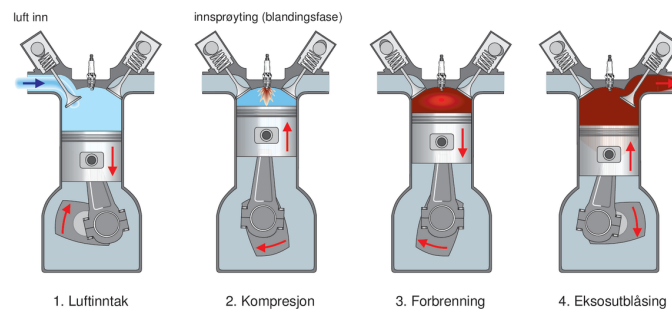
For at det hybride systemet skal kunne driftes på en forsvarlig måte, er det også nødvendig med utvidede sikkerhetstiltak. For å unngå varmgang i batteriene må det gjøres oppgraderinger i kjølesystemet til skipet, slik at dette også inkluderer batteriene. Her kan det også monteres et separat kjølesystem som kun kjøler ned batteriene, om det er ønskelig. Det må også gjøres oppgraderinger av eksisterende brannslukkingsanlegg og branndetektorer om bord i fartøyet, for å møte kravene for brannsikkerhet i batterirom.

---

## 2.2 Forbrenningsmotoren

En forbrenningsmotor er en maskin som omdanner kjemisk energi i form av drivstoff til mekanisk energi ved hjelp av en indre forbrenningsprosess [18]. Forbrenningsmotorene kategoriseres utifra hvordan forbrenningsprosessen blir utført [19]. For eksempel kan forbrenningsmotorene kategoriseres utifra antenningsmetoden som er brukt i systemet. Antenningsmetodene som benyttes har enten tenning ved hjelp av gnist eller tenning ved hjelp av kompresjon. I en gnist-antenne antennes blandingen av drivstoff og luft ved hjelp av en tennplugg. I en kompresjonsantenne skjer forbrenningen ved hjelp av det høye trykket og den høye temperaturen som oppstår i sylindern under kompresjonsprosessen. Når drivstoffet da sprøytes inn i sylindern, vil temperaturen føre til en antenne.

Forbrenningsmotorer kan også kategoriseres som to- eller firetakts motorer. Dette forteller hvor mange steg motoren bruker før forbrenningsprosessen er gjennomført. I en firetaktsmotor bruker motoren fire steg for å gjennomføre en forbrenningsprosess. Prosessen starter med et luftinntak før luften deretter blir komprimert ved hjelp av et stempel i steg to. I steg tre skjer antenningen og stempelet går ned når eksosen fra antenningen ekspanderer. I fjerde og siste steg dytter stempelet eksosen ut av sylindern før prosessen kan starte på nytt. Inntaket av luft og utblåsningen av eksos styres av ventiler som åpner og lukker seg gjennom prosessen. Figur 2.3 illustrerer stegene i en firetaktsmotor. For motorer som benytter tennplugg vil luften som hentes inn være en blanding av luft og drivstoff, mens luften som hentes inn i en kompresjonsmotor vil være ren luft.



**Figur 2.3:** Forbrenningsprosessen i en firetakts forbrenningsmotor. Figuren er hentet fra Store Norske Leksikon [18].

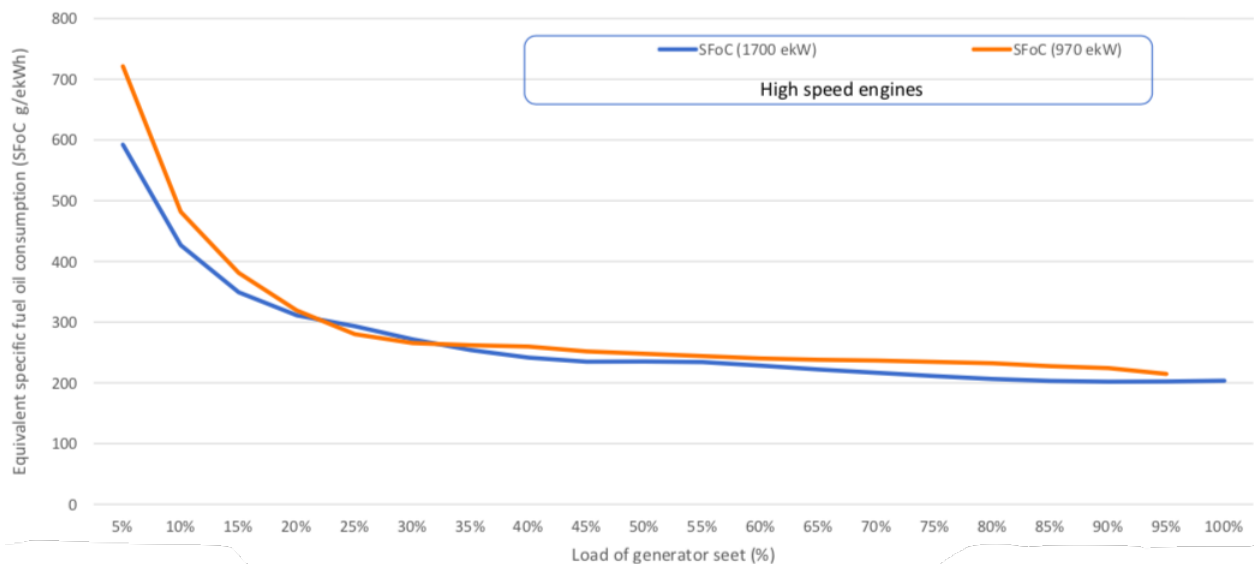
I en totaktsmotor bruker motoren to steg for å gjennomføre forbrenningsprosessen. Her vil inntaket av den nye luften føre til utblåsning av eksosen fra forbrenningen. Første steg vil dermed være innhenting av ny luft og utblåsning av eksos, før det i det andre og siste steget vil skje en kompresjon og en antenne. Totakts sykluser er vanlig å bruke i mindre motorer.

For forbrenningsmotorer er det også definert ulike sykluser som følges. Noen av disse syklusene er for eksempel Otto-syklusen og Diesel-syklusen. Forskjellen mellom syklusene er hvordan varmetilførselen, eller forbrenningen i praktiske eksempler, er gjennomført. I Otto-syklusen er det antatt at varmetilførselen skjer øyeblikkelig når stempelet er i toppen av sylindern. Syklusene har også fire steg eller prosesser. For Otto-syklusen er prosess 1–2 definert som en isentropisk kompresjon, prosess 2–3 som en varmeoverføring med konstant volum (forbrenning), prosess 3–4 som en isentropisk ekspansjon og prosess 4–1 som en prosess med konstant volum der temperaturen synker.

I motsetning til en Otto-syklus, så er det i en diesel syklus antatt at varmetilførsel skjer gjennom en prosess med konstant trykk, som begynner når stempelet er høyt i sylindern. Diesel-syklusen har også fire prosesser, og i likhet med Otto-syklusen starter den med en isentropisk kompresjon i steg

1–2. En isentropisk prosess vil si at entropien ikke endres gjennom prosessen. I Diesel-syklusen vil varme bli tilført fluidet under konstant trykk, i stedet for konstant volum som er benyttet i Otto-syklusen. Videre er prosess 2–3 forbrenningen av drivstoff, og prosess 3–4 en isentropisk ekspansjon. Som i Otto-syklusen avsluttes prosessen med steg 4–1 hvor varme hentes fra luften, noe som tilsvarer utblåsningen av eksos i en praktisk sammenheng.

SFoC eller “specific fuel oil consumption” er en metode å beskrive drivstofforbruket til fartøyet på. Denne metoden viser hvor mange gram drivstoff motorene på fartøyet forbrenner per elektrisk kWh produsert. Høyere belastning på motoren gir lavere forbruk av drivstoff per kWh produsert, fordi motoren kjøres mer effektivt. Figur 2.4 viser målt SFoC for de forskjellige motorene om bord på Energy Empress. Figuren viser også at lavere belastning på motorene, gir et høyere forbruk av drivstoff. Her vil små forbedringer i belastning utgjøre store endringer i drivstofforbruk. Det er også vist at det er mindre endringer i drivstofforbruk når belastningen går over 70 %, noe som kan indikere at belastningen er mer optimal. Selv om det på 100 % belastning har relativt likt drivstofforbruk som på 80 %, kan høyere belastning også bidra til økt forbruk av hjelpesystemer som kjølesystem og smøreolje.



Figur 2.4: SFoC-kurve for analyseår. Figuren er hentet fra en presentasjon fra mentorrederi. [17]

## Motorkonvertering

Med metanol som drivstoff er det mulig å ombygge både to-takts og fire-takts motorer i et dual-fuel system [11]. For at metanol skal antennes trengs det et høyere injeksjonstrykk. Derfor må systemet for innsprøyting av drivstoffet modifiseres for å legge til rette for et høyere trykk. Metanol har i tillegg lavere viskositet enn tradisjonell diesel. Av den grunn er det nødvendig med ekstra tiltak for å unngå lekkasjer i distribusjonssystemet til metanol. Motorer drevet av metanol har derfor et distribusjonssystem med tolags vegger. Det har vært flere ulike forskningsprosjekter som har sett på mulighetene for å bruke andre drivstoff i skip, samt ombygging og drift av motorene.

Ett av disse prosjektene er EffShip-prosjektet, som begynte i desember 2009, der bakgrunnen er et ønske om en bærekraftig maritim næring med minst mulig klima- og miljøpåvirkning [20]. Prosjektet undersøkte ulike teknologier og løsninger for skip som sørger for at klima- og miljøkrav overholdes både på kort og lang sikt. Konklusjonen var at metanol, i et helhetsperspektiv, er det beste drivstoffet

---

i den maritime næringen. Grunnen til dette er blant annet rask tilgang med eksisterende infrastruktur, lav pris og enkel skips- og motorteknologi.

Et annet prosjekt er SPIRETH-prosjektet. Bakgrunnen til SPIRETH var å undersøke to ulike drivstoffløsninger for å redusere klima- og miljøbelastning i maritim transport [21]. De to drivstoffløsningene er:

- Metanol som drivstoff i en fullskala dieselmotor med pilot-fuel, testet i laboratoriesetting
- Dimetyleter (DME) produsert fra metanol ombord i skip og brukt i en tilpasset diesel-hjelpemotor

Resultatene i prosjektet viste at det er gjennomførbart å konvertere skip til å drives med metanol eller DME-baserte drivstoff. Prosjektet konkluderer med at slike drivstoff kan bidra til at den maritime næringen blir mer miljøvennlig og bærekraftig.

I tillegg til EffShip og SPIRETH har det også blitt gjort en fullskala test av ombygging og drift av et skip til metanol som drivstoff [11]. Skipet som ble brukt er ro-pax-ferga Stena Germanica, som er vist i Figur 2.5. En ro-pax-ferge er en ferge der kjøretøy kan kjøres om bord, samt at fergen er ment for å ta passasjerer. Målet med dette prosjektet er å bygge opp kompetanse og infrastruktur rundt drivstoffkonvertering, med fokus på blant annet konvertering av motor og drivstoffsystem i skipet og infrastruktur rundt bunkringsfasiliteter.



*Figur 2.5:* Bilde av ro-pax-fergen Stena Germanica [11].

## 2.3 Elektriske maskiner

Elektriske maskiner kan beskrives som maskiner som omformer mekanisk energi til elektrisk energi eller omvendt [22]. Eksempler på slike elektriske maskiner i fremdriftsystemet til diesel-elektriske skip er generatoren som er koblet til forbrenningsmotoren og elektromotoren som driver propellene. Hovedprinsippet som avgjør hvordan slike maskiner fungerer er magnetisk induksjon og strømførende ledere i magnetfelt. Oppbygningen til elektromotorer og generatorer er i prinsippet lik, men det skiller mellom likestrøm- og vekselstrømsmaskiner. Likestrøm- og vekselstrømsmaskiner benytter såkalte rotor og statorer, slik at forskjellen mellom dem ligger i hvilke komponenter som defineres som rotor og statorer. I en likestrømsmaskin er det viklingen som roterer (rotor) menst de magnetiske polene står faste (stator), og i en vekselstrømsmaskin er det magnetiske systemet som roterer rundt en stasjonær vikling. Typiske virkningsgrader for elektromotorer og generatorer vil variere mellom 95 % og 97 %.

---

## 2.4 Elektriske omformere

En transformator er en type elektrisk omformer som omformer vekselstrøm med en gitt spenning til vekselstrøm med en annen spenning [23]. Dette er en komponent som typisk brukes for å transformere vekselstrømmen når den går mellom de ulike tavlene om bord i fartøyet. I tillegg er det ofte nødvendig å transformere vekselstrømmen som går til store forbrukere, som for eksempel hovedpropellene i hekken av skipet. En transformator består av en primærvikling og en sekundærvikling med forskjellige antall vindinger, som er viklet rundt en kjerne som typisk består av jern. Antall vindinger i de forskjellige vikingene viser hvilket punkt på transformatoren som er koblet til den høyeste spenningen .

I slike fremdriftssystemer kan det også være behov for likerettere og vekselrettere. Likeretter er en komponent som omformer vekselstrøm og vekselspenning til likestrøm og likespenning, og en vekselretter omformer likestrøm og likespenning til vekselstrøm og vekselspenning. Denne typen omformere er vanlig å inkludere i fremdriftssystemer som blant annet inneholder batterier. Dette er fordi strømmen som kommer fra batteriet er likestrøm og de største strømforbrukerne i fremdriftssystemet krever vekselstrøm. Derfor vil integrering av batterisystem også føre til større behov for likerettere og vekselrettere, noe som også vil føre til høyere tap i energisystemet.

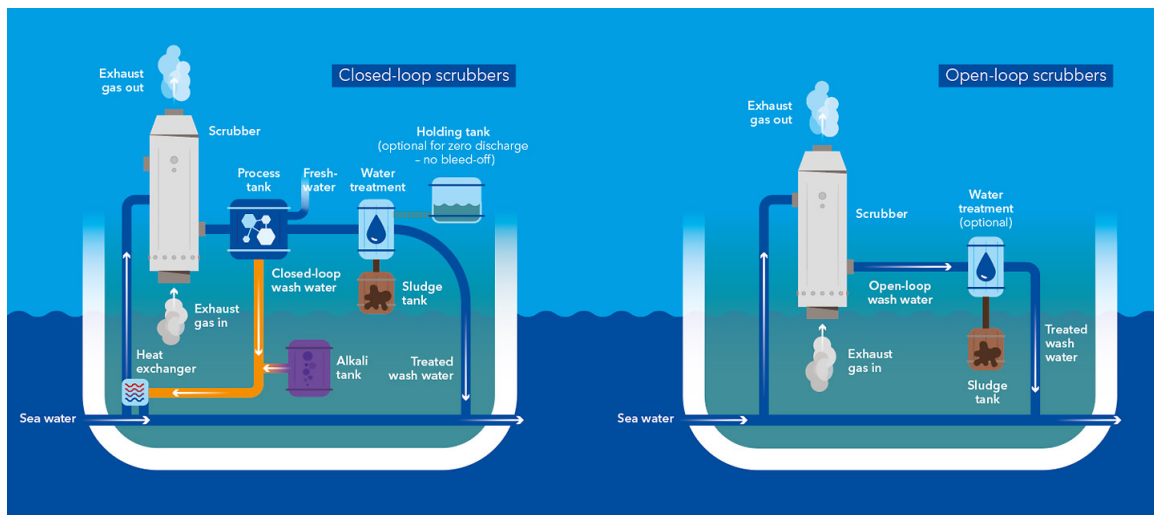
## 2.5 Eksosrensing

For å bidra til et bedre miljø finnes det ulike tiltak skip kan benytte seg av. Et av tiltakene er rensing av eksos. I et eksosrensingssystem blir det benyttet forskjellige midler som skal reagere og skille ut svoveloksidene eller nitrogenoksidene fra resten av eksosen [24]. Dette middelet blir sprøytet inn i eksosen før eksosen videre blir sluppet ut til luften. På grunn av ECA områdene som er dannet av IMO er "exhaust gas cleaning systems" (EGCS) populært i det maritime markedet. Noen typer EGCS er scrubber og selektiv katalytisk reduksjon (SCR).

### Scrubber

En scrubber sprøyter sjøvann eller ferskvann blandet med en bestemt type kjemikalie inn i eksosen fra motorene. Da reagerer svoveldioksidene i eksosen med det alkaliske vannet og danner svovelsyre. Scrubbersystemet kan bygges som et åpent, lukket eller et hybrid system. Figur 2.6 viser nærmere oppbygning av ulike scrubbersystem. Et åpent scrubbersystem baserer seg på bruk av sjøvann som reaktant med eksosen. Her blir sjøvannet tatt om bord og sprøytet inn i eksosen, før blandingen av vann og svovelsyre renner videre til et vannbehandlingsanlegg som skiller ut svovelsyre fra vannet. Svovelsyre blir oppbevart i egne tanker om bord, til tankene kan tømmes ved havneopphold. Videre fra vannbehandlingsanlegget renner det svovelfrie vannet tilbake i havet.

Det som skiller et lukket scrubber-anlegg fra et åpent scrubber-anlegg er at et lukket scrubber-anlegg blander kjemikalier, typisk kaustisk soda, i vannet for å øke reaksjonsevnen vannet har med svoveldioksidene i eksosen. I et lukket anlegg blir også vannet resirkulert etter er brukt til vasking av eksos. Dette gjøres ved bruk av spesielle prosesstanker og tilsetning av ferskvann. Et lukket scrubber-anlegg er dermed mindre avhengig av nytt vann/eller sjøvann for å utføre eksosrensing. I tillegg har et lukket anlegg egne tanker for lagring av det sprøytevannet som ikke blir resirkulert og brukt videre. Noe som betyr at selv om det brukte sprøytevannet blir rensert på lik linje som i et åpent anlegg, kan det oppbevares for eventuell lossing eller håndtering ved neste havneopphold. Dersom det er ønsket mer fleksibilitet i scrubber-anlegget kan det monteres et hybrid anlegg, som kan operere både som åpent eller lukket system.



*Figur 2.6: Lukket og åpent scrubbersystem. Figuren er hentet fra DNV [24].*

## Selektiv Katalytisk Reduksjon (SCR)

Selektiv katalytisk reduksjon er en metode for å rense eksosen for nitrogenoksid ved hjelp av en katalysator [25]. I et SCR-anlegg blir det sprøytet inn en løsning som kan bestå av vann og enten et stoff som kalles urea, ammoniakkløsning eller vannfri ammoniakk. Dersom det er brukt urea vil vannet i urealøsningen fordampe når løsningen blir sprøytet inn i den varme eksosen. Videre vil varmen føre til at urea-stoffet omdannes til ammoniakk og karbondioksid. Deretter vil nitrogenoksid i eksosen reagere med ammoniakken og danne nitrogen og vann. SCR-system baseres med andre ord på at ammoniakk skal reagere med nitrogenoksid og skille seg fra eksosen i form av nitrogen og vann.

Effektiviteten til SCR-systemet er avhengig av flere faktorer. Doseringen og volumet til elementene i katalysatorløsningen er blant faktorerene som må tas hensyn til for å få en optimal virkningsgrad på anlegget. I tillegg er det viktig at eksosen fra motorene har riktig temperatur når den ankommer SCR-anlegget. Dersom temperaturen ikke er høy nok kan derfor reaksjonen mellom ammoniakk og nitrogenoksid bli svekket, og systemet får en dårligere virkningsgrad. Derfor er det også viktig at motorene i skipet kjøres på riktig belastning, slik at eksostemperaturen blir riktig og SCR-systemet oppnår best mulig virkningsgrad. Eksostemperaturen bør ligge på  $350^{\circ}\text{C}$ , noe som kan føre til en virkningsgrad på over 90 % på SCR-systemet [26].



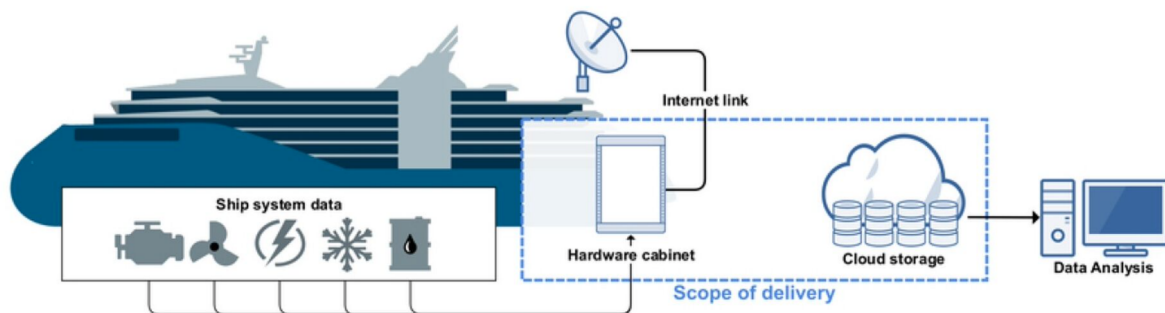
---

## 2.6 Energieffektivisering

Gjennom energieffektivisering kan både rederi, klimaet og miljøet spares for skadende belastninger. Derfor er det et krav fra IMO at alle fartøy skal ha en plan på hvordan energien brukes om bord. Denne planen kalles en “SEEMP” eller “Ship Energy Efficiency Management Plan”. Dette er en plan for energiforbruket til skipet, og hvordan skipets effektivitet kan økes [27].

### Ulstein Blue Box

Ulstein Blue Box er en skytjeneste som er utviklet av Ulstein Group. Denne skytjenesten kobler sammen rederiet på land med fartøyet, i form av lagring av driftsdata for det gjeldende fartøyet. Eksempler på lagrede driftsdata kan være drivstofforbruk, effektforbruk og lignende. Dette gjør at rederiet har bedre kontroll på fartøyet under drift, og at de har mulighet til å analysere dataene som lagres [28]. Figur 2.7 viser hvordan lagringstjenesten fungerer. Gjennom analyse av data kan også operasjonen av fartøyet optimaliseres. Ulstein Group viser til Remøy Shipping som etter installasjon av Ulstein Blue Box reduserte drivstofforbruket med 10 % på en av deres PSVer [29].



*Figur 2.7: Figuren viser hvordan Ulstein Blue Box fungerer. Figuren er hentet fra Ulstein Group sine nettsider [28].*

Denne skytjenesten er også brukt av Golden Energy Offshore for å analysere hvordan Energy Express opererer. Ulstein Blue Box gir dermed også mulighet for rederiet å sammenligne hvordan de ulike besetningene opererer fartøyet, og hvordan de med mindre justeringer kan drive fartøyet mer miljøvennlig. Optimalisering av kjøremønstre kan også ha positiv innvirkning på fremdriftsystem, da motorenes belastning og kjøremønstre forlenger serviceintervallene som trengs.

---

### 3 Energibærere

I denne oppgaven blir det sett på ulike typer energibærere til Energy Empress. De aktuelle energibærere er MGO, som er den nåværende løsningen, samt alternative løsninger med metanol og batteri. MGO og metanol har ulike egenskaper ved seg som gir både fordeler og ulemper ved bruk som marint drivstoff. I Tabell 3.1 blir det presentert noen egenskaper ved disse drivstoffene. HFO er også inkludert for sammenligning. Videre i dette kapittelet blir disse drivstoffene, samt bruk av batteri i et offshore fartøy forklart nærmere.

**Tabell 3.1:** Fysiske og kjemiske egenskaper til drivstoffene. Data er hentet fra *SI Chemical Data* [30], *Bunker Oil* [31] og *The Engineering Toolbox* [32].

	HFO	MGO	Metanol
Tetthet ved 25°C og 101325 Pa [kg/m <sup>3</sup> ]	980	850	787
Vektbasert energitetthet [MJ/kg]	39,0	42,7	19,9
Volumetrisk energitetthet [GJ/m <sup>3</sup> ]	38,2	36,3	15,7

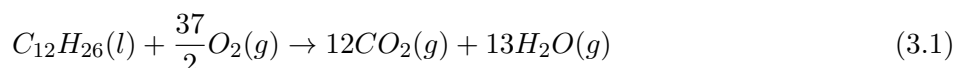
#### 3.1 Oljebaserte drivstoff

Diesel er et fossilt drivstoff som benyttes i dieselmotorer og består av petroleumsfraksjoner laget fra råolje [33, 34]. De kjemiske komponentene i diesel er hovedsaklig mettede og aromatiske hydrokarboner [35]. De mettede hydrokarbonene har en karbonkjede med mellom 10 og 20 karbonatomer.

Det finnes flere ulike typer diesel. Disse kan deles inn i to hovedgrupper [33]:

- **Autodiesel:** For hurtiggående dieselmotorer i biler og traktorer. Denne typen har en lys farge og har gode tenn- og kuldeegenskaper.
- **Marinediesel:** Denne typen er for middels hurtiggående dieselmotorer i skip. Fargen kan variere fra en lys gul til en mørk brun farge. Tenn- og kuldeegenskapene er moderate for denne typen diesel.

I denne rapporten vil det bli fokusert på marinediesel, siden det er dette som er mest relevant for denne oppgaven. Ved forbrenning i en dieselmotor vil drivstoffet reagere med oksyngass og danne energi i tillegg til CO<sub>2</sub> og vanddamp. Siden diesel er en blanding av ulike hydrokarboner, er det ikke en fast kjemisk formel for dette. For å vise kjemisk hvordan forbrenningen skjer, blir det nå tatt som utgangspunkt den kjemiske formelen til dodekan, som er C<sub>12</sub>H<sub>26</sub> [30]. Dette kan fungere som en tilnærming til den kjemiske formelen til diesel. Reaksjonsligning for forbrenning av dodekan er vist i Ligning (3.1).



Det finnes flere ulike oljebaserte drivstoff som kan benyttes i en dieselmotor. Det mest vanlige drivstoffet i shippingindustrien i dag er Heavy Fuel Oil (HFO) [36]. Dette er den typen maritimt drivstoff med lavest kvalitet. Forbrenning av HFO fører dermed med seg store utslipp av blant annet karbondioksid (CO<sub>2</sub>), svoveloksider (SO<sub>x</sub>), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>) og partikulært materiale (PM). Ved forbrenning av HFO i en dieselmotor, trengs det en forvarming. Dette er fordi det har en høy viskositet. Forvarming av oljen er en energikrevende prosess, som dermed medfører ekstra kostnader.

---

Andre marine drivstoff som benyttes av skip i dag er blant annet marin gassolje (MGO) og marin diesolje (MDO). MGO er et marint drivstoff av høy kvalitet som består av destillater [37]. Destillater fås ved å destillere råolje. Da vil ulike komponenter i råoljen fordampe. Etter hvert vil dette kondensere til en væske igjen, og denne væsken er destillatene som MGO utelukkende består av. MDO er en blanding av destillater og HFO. Svovelinnholdet i MGO og MDO er lavere enn i HFO, som gjør de til alternativer til å redusere utslipp av  $\text{SO}_x$ .

### 3.2 Biodiesel

Biodiesel er et drivstoff som kan benyttes for å redusere økningen av  $\text{CO}_2$  i atmosfæren [38]. Utslippet av  $\text{CO}_2$  fra biodiesel er omtrent det samme som for diesel. Forskjellen mellom biodiesel og vanlig diesel har med opprinnelsen til  $\text{CO}_2$ -en knyttet til drivstoffet.  $\text{CO}_2$  fra diesel kommer fra atmosfæren for millioner av år siden, men som ikke er i atmosfæren i dag. For biodiesel derimot, kommer  $\text{CO}_2$ -en fra atmosfæren i dag. Dette betyr at biodiesel ikke tilfører noe ekstra  $\text{CO}_2$  til atmosfæren, siden det som slippes ut, blir hentet ut av atmosfæren først.

Det finnes flere ulike typer biodiesel. En av disse er FAME. I Norge og Europa er dette den mest brukte typen biodiesel [39]. FAME består av animalske og vegetabiliske fettstoffer og oljer. I Norge brukes bare rapsolje som råvare til produksjon av FAME. Dette er fordi rapsolje er den råvaren som har de beste kuldeegenskapene, og er dermed best egnet til bruk i et kaldere klima. Denne typen biodiesel med rapsolje som råvare er også kalt RME (Raps-Metyl-Ester).

En annen type biodiesel er HVO (Hydrogenert Vegetabilisk Olje). Denne typen kan være laget av de samme råvarene som FAME, men produseres på en annen måte. Dette gjør at egenskapene til HVO skiller seg fra egenskapene til FAME. HVO er veldig lik vanlig diesel i sammensetning. Dette gjør at den i større grad kan blandes inn i diesel.

Det kan maks tilsettes 7 % FAME i dieselen, mens det for HVO kan tilsettes opp mot 30–50 %. Det er i tillegg mulig å få en blanding av FAME, HVO og vanlig diesel. Ved å bytte ut en andel av dieselen med biodiesel, vil  $\text{CO}_2$ -utslippet knyttet til forbrenningen av drivstoffet reduseres.

Golden Energy Offshore har tidligere testet ut biodiesel i fartøyet “Despina” [40]. Under et oppdrag i største offshore vindparken i Nederland, Ijmuiden Ver, ble det benyttet 20 % biodiesel i drivstoffet vinteren 2021. Dette viste seg å redusere  $\text{CO}_2$ -utslippet med omtrent 17 %, som tilsvarte 400 tonn reduksjon i utslipp.

---

### 3.3 Metanol

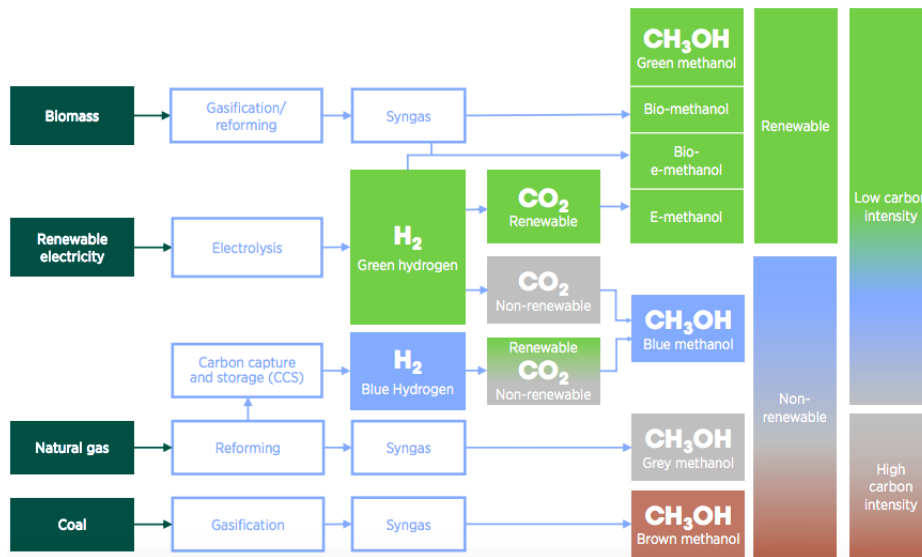
Metanol er en kjemisk forbindelse av typen alkohol og består av ett karbonatom, fire hydrogenatom og ett oksygenatom [41]. Det er den enkleste typen alkohol og har kjemisk formel  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Metanol er fargeløs, løselig i vann og har en lukt lignende etanol. I romtemperatur og atmosfærisk trykk, opptrer metanol som en væske [11]. Dagens anvendelse av metanol er mye i kjemisk industri og som råstoff for å fremstille ulike andre kjemiske forbindelser. I senere tid har det også blitt økt interesse for å benytte seg av metanol som drivstoff i forbrenningsmotorer, blant annet i den maritime sektoren. Produksjon av metanol foregår i store deler av verden, både i Europa, Asia, Nord- og Sør-Amerika og Afrika [42]. I 2015 ble det produsert 75 millioner tonn metanol globalt, med en global produksjonskapasitet på 110 millioner tonn. Siden det i dag er en relativt høy produksjon av metanol i verden, er mye av infrastrukturen for metanolproduksjon allerede på plass [43].

Fremstilling av metanol skjer i dag i en prosess med tre steg [44]. Disse tre stegene er:

- Produksjon av syntetisk gass
- Omdanne den syntetiske gassen til metanol
- Destillasjon

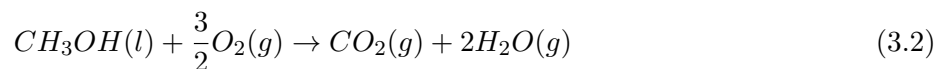
Den syntetiske gassen er en blanding av  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  og  $\text{H}_2$ . Denne gassen kan produseres fra ulike karbonbaserte råmaterialer, der naturgass er det som blir brukt mest i dag. Andre materialer det kan produseres fra er blant annet kull eller fornybare materialer som for eksempel hydrogen. Produksjonen av metanol fra syntetisk gass skjer i dag gjennom prosesser ved høyt trykk og høye temperaturer. Siden metanol er et polart molekyl, blandes det lett i vann [43]. I tillegg kan det absorbere vann fra atmosfæren. Derfor vil det meste av metanolproduksjonen føre til en metanolblanding med restgasser og vann. Dette gjør det nødvendig med destillasjon for at metanolen skal være av høy kvalitet.

Karbonavtrykket til metanol er avhengig av hvilke råmaterialer som benyttes og hvordan produksjonsprosessen foregår. Dersom det benyttes kull eller naturgass som råmateriale, samt ingen  $\text{CO}_2$ -fangst eller bruk av fornybar energi vil det være et høyere karbonavtrykk knyttet til metanolproduksjonen [45]. Slik metanol kan klassifiseres som grå eller brun metanol. Dersom produksjonen skjer med utgangspunkt i fornybar energi,  $\text{CO}_2$ -fangst, eller en kombinasjon av disse, vil karbonavtrykket være lavere. Metanol produsert slik kan klassifiseres som blå eller grønn metanol. Et eksempel på grønn metanol er dersom den produseres med biomasse som råmateriale. Figur 3.1 gir en oversikt over mulige klassifikasjoner av metanol basert på råmaterialer og produksjonsprosess.



*Figur 3.1: Mulige klassifikasjoner av metanol. Figuren er hentet fra en rapport utarbeidet av IRENA og Methanol Institute [45].*

Forbrenning av metanol skjer ved at metanolen reagerer med oksyngengass, og danner  $\text{CO}_2$  og vann-damp. Forbrenningsligningen er vist i Ligning (3.2).



I en forbrenningsmotor på skip vil metanol som drivstoff gi samme eller bedre virkningsgrad på en ombygget dieselmotor [11]. En nybygd motor designet for å kjøre med metanol som drivstoff kan videre oppnå enda bedre virkningsgrad enn en ombygget motor. Når metanol benyttes i en dieselmotor, trengs det en liten mengde diesel for å få motoren i gang. Denne diesel fungerer som en tenningsforsterker, som skal hjelpe metanolen til å antennes. Som vist i Tabell 3.1 har metanol lavere volumetrisk energitetthet enn tradisjonelle marine drivstoff som HFO og MGO. Dette gjør at det trengs et større volum for å lagre metanol, dersom energimengden skal være den samme.

## Metanol - forsyning og logistikk

For at en hybrid løsning med en kombinasjon av batteri og metanol eller en løsning som kun benytter metanol skal kunne fungere, er tilgjengelighet ved kai viktig. I følge Methanex kreves det små justeringer av eksisterende bunkringsystem på kai for at de også kan levere metanol, og allerede er metanol tilgjengelig for bunkring i det som antas å være 88 av de 100 mest trafikkerte havnene i verden [46].

Bunkring kan gjennomføres ved hjelp av ulike metoder. I mai 2021 demonstrerte Waterfront Shipping den første bunkringsoperasjonen som er gjort mellom et metanoldrevet fartøy og en bunkringsflåte i Rotterdam [47]. Andre metoder er bestilling av tankbil til neste gang skipet skal til havn eller ved egen bunkringsstasjon på kai [48]. I alle bunkringsoperasjoner er sikkerhet viktig.

Metanol er en giftig væske og kan gi alvorlige skader for mennesker. Derfor er det av DNV gitt en rekke krav for slike bunkringsoperasjoner, slik at all bunkring utføres forsvarlig. Bunkringsstasjo-

---

nen skal blant annet være slik plassert at området rundt stasjonen får en naturlig tilførsel av frisk luft [49]. Dette vil redusere muligheten for inhalering av avgasser under bunkringsoperasjonen. Det skal også være montert karmen rundt bunkringsstasjonen, slik at metanolen holdes på et samlet område dersom det oppstår mindre lekkasjer. Rørsystemet til bunkringslinjen skal også være utstyrt med doble rørvegger, som fungerer som et sikkerhetstiltak mot lekkasjer.

Metanol trekkes fort opp i kroppen og har en irriterende virkning på hud og øynene [50]. Kontakt med metanol fører blant annet til at huden blir tørr og oppsprukket. Metanolen kan også føre til permanente skader på den optiske nerven ved kontakt med øynene. Andre symptomer på metanolforgiftning er hodepine, svimmelhet, kvalme og reduksjon av koordinasjonsevne. Symptomene på metanolforgiftning kan ofte oppstå i åtte til 36 timer etter kontakten med metanol. Derfor er det under håndtering av metanol nødvendig med personlig verneutstyr som for eksempel vernebriller, hansker som er godkjent til håndtering av metanol og godkjent arbeidstøy. Under bunkringsoperasjon bør det derfor vurderes om arbeidsområdet skal sperres for andre personer enn de som utfører operasjonen. Dette vil da gjelde både området rundt bunkringsstasjonen om bord i fartøyet og området rundt forsyningsanlegget som leverer metanolen.

## Regelverk LFL-system

For at alle fartøy skal ha en standard når det blant annet kommer til sikkerhetstiltak, finnes det både internasjonale organer og nasjonale stiftelser som har i oppgave å utvikle regelverk og krav for de ulike fartøyene. International Maritime Organization (IMO) er en av de internasjonale organene som har som mål å bedre sikkerheten i internasjonal sjøfart, samt å hindre utslipp fra skip [51]. IMO ble stiftet gjennom FN i 1948, og har som oppgave å sikre en sikker og bærekraftig shipping industri [52]. Et eksempel på en stiftelse er DNV. DNV, "Det Norske Veritas", ble stiftet i 1864 og har siden da hatt fokus på sikkerhet for liv, eiendom og miljøet [53].

Siden metanol og væsker med lavt flammepunkt er lett antennelig, giftig og har usynlig flamme, er sikkerhetskravene og reglementet mer omfattende enn ved MGO. Følgende regelverk og krav er hentet fra DNV Pt.6 Ch.2 Sec.6 [49].

For fartøy og installasjoner som benytter metyl- eller etyl-alkoholer som drivstoff, kan klassenotasjonen "LFL fuelled" benyttes. Denne notasjonen gir fartøyet en grønnere profil utad, og viser at fartøyet har reduserte klimagassutslipp.

På grunn av at metanol er en giftig væske og er lett antennelig, er det et ekstra krav til sikkerhet for fartøy som frakter og benytter LFL om bord. Et av kravene er at det skal monteres sensorer for gass- og væskelekkasjer for tanker og rørsystemer som inneholder LFL. Dette er tiltak for å oppdage lekkasjer så tidlig som mulig. Eventuelle væskelekkasjer av metanol skal håndteres med separate lensesystemer som ikke har tilknytning til eksisterende lensesystemer. I tillegg skal rørsystemer og tanker som inneholder metanol være i et lukket rom, separert fra resten av maskinrom. Rørledninger med metanol som går utenfor dette lukkede rommet skal være tett for gass og væske og ha doble vegger.

Under drift er det et krav at feil/shutdown på LFL-anlegget ikke skal forårsake nedstenging eller feil på resten av fremdriftssystemet. Det er krav om å ha redundante energisystemer dersom et nødtilfelle oppstår. Det redundante systemet skal være dimensjonert til å kunne drifte de viktigste nødfunksjonene til fartøyet.

---

Et eksempel på pålagte standarder eller regelverk for fartøy som skal benytte LFL-væsker som drivstoff er IGF-koden. IGF-koden eller “International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels” har som formål å sørge for en internasjonal standard for fartøy som ikke dekkes av IGC-koden og som bruker gass eller væsker med lavt flammepunkt som drivstoff [54]. Koden har som oppdrag å presentere obligatoriske krav for arrangement og installasjon av maskineri, utstyr og systemer for fartøy som benytter gass eller væsker med lavt flammepunkt for å redusere risikoen for skipet, besetningen og miljøet.

### 3.4 Batteri

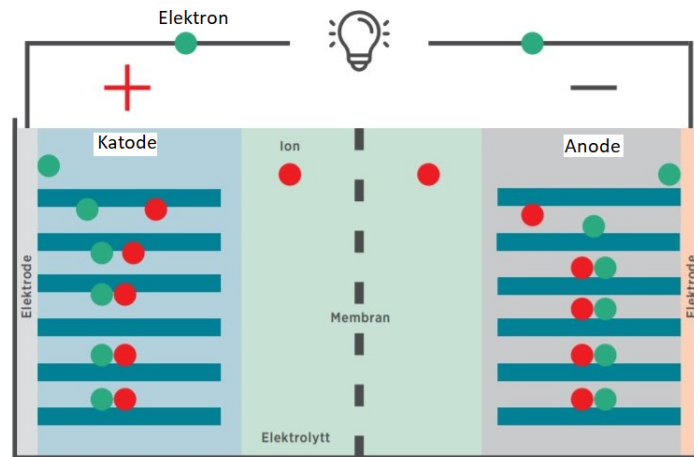
De siste årene har det blitt økt fokus på miljø og energieffektivisering i den maritime næringen. Dette har kommet på grunn av krav fra både myndigheter og kunder, i tillegg til at energieffektivisering fører til lavere driftskostnader for rederiene. Dette har ført til økt bruk av batteri som energibærer/drivstoff om bord i skip. Batteripakker har blitt installert både i form av helelektrisk alternativ, og i en hybrid løsning.

#### Oppbygging

Et batteri er en teknologi for å lagre kjemisk energi som blir direkte omformet til elektrisk energi [55]. Et batteri er en galvanisk celle som er bygd opp av en anode, katode, og en elektrolytt mellom elektrodene som vist i Figur 3.2. Anoden er negativ, mens katoden er positiv. Mellom anoden og katoden finnes en elektrolytt, i tillegg til en membran. Elektrolytten er en væske eller gelé som kun leder ioner. Når batteriet lades ut vil ionene forflytte seg fra anoden til katoden gjennom membranen, mens elektronene vil gå gjennom den ytre kretsen i ledningen. Elektronene som er i bevegelse gjennom ledningen er da strøm som gir elektrisk energi. Når batteriet lades opp vil ionene gå andre veien - fra katoden til anoden gjennom membranen.

For batteri skilles det mellom primær- og sekundærbatteri; I et primærbatteri foregår omformingen til elektrisk energi i en ikke-reversibel prosess. Det vil si at man ikke kan lade opp denne typen batteri. Vanlige husholdningsbatteri som for eksempel AA- og AAA-batteri er ofte av denne typen. I et sekundærbatteri er omformingen reversibel prosess. Dette batteriet kan da lades opp, og blir derfor brukt i blant annet elektrisk håndverktøy, elektriske biler og fartøy.

Et litiumbatteri er den mest vanlige batteritypen i dag [56]. En av grunnene til det er at litium er et grunnstoff med lav vekt. En annen grunn er at litium er et uedelt metall, med høy celledensitet. Det skilles mellom litiumbatteri og litium-ionbatteri (LIB). Forskjellene på disse typene er at et litiumbatteri er et primærbatteri, mens et litium-ionbatteri (Li-ion) er et sekundærbatteri.



**Figur 3.2:** Figuren viser oppbyggingen av en battericelle. Figuren er hentet fra DSB og redigert [57].

Det finnes flere typer litiumbatteri. Den kjemiske oppbyggingen av katoden er med på å bestemme egenskapene til batteriet [58]. Eksempel på ulike egenskaper er energitetthet, ladehastighet, livssyklus og termiske egenskaper. De mest vanlige litium-ion batteriene er vist i Tabell 3.2. Det foretrukne litium-ion batteriet i maritime industrien er i dag litiumnikkelmangan koboltoksid. Fordeler med dette batteriet er at det har lang livssyklus, tilfredstillende energitetthet og høy effekt. Ulemper med dette batteriet er at kobolt er kostbart. Sammenlagt er likevel dette batteriet et et godt kompromiss mellom de ulike egenskapene.

**Tabell 3.2:** Ulike typer litiumbatteri [58].

Type batteri	Kjemisk formel	Fordeler	Ulemper
Litium koboltoksid	$\text{LiCoO}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Høy energitetthet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kort livssyklus</li> <li>• Begrenset effektuttak</li> <li>• Kobolt er kostbart</li> </ul>
Litium jernfosfat	$\text{LiFePO}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabil - sikker i bruk</li> <li>• Lengre livssyklus og ladehastighet enn Li-koboltoksid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lav energitetthet</li> </ul>
Litiumnikkelmangan koboltoksid	$\text{LiNiMnCoO}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lang livssyklus</li> <li>• Tilfredstillende energitetthet</li> <li>• Høy effekt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kobolt er kostbart</li> </ul>
Litiummanganoksyd	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Høy effekt</li> <li>• Høy ladehastighet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lav kapasitet</li> <li>• Kort livssyklus</li> </ul>

En viktig batteriegenskap ved bruk av batteri i fartøy er C-rate. C-rate er et mål på opplading- og utladingshastigheten i et batteri [59]. Et fulladet batteri som er oppgitt til 1C vil kunne lade ut batteriet på 1 time. Ved 0.5C vil utladingshastigheten halvere seg, og batteriet vil lade seg ut halvparten så fort, altså 2 timer. Et batteri med en C-rate på 2C vil da lade seg ut på 30 min. Rask utlading vil gi høyere tap og raskere degradering enn treg utlading. Ved rask utlading, altså høy C-rate, vil det bli et internt energitap i form av varme. Kapasiteten vil da gjerne synke til 95 % ved 2C. I motsatt tilfelle vil kapasiteten kunne øke til over 100 % ved en C-rate på under 1C.



---

## Bruksområder

Et batteri har flere bruksområder om bord i et fartøy; det er vanlig å bruke batteri til “peak shaving”, som “spinning reserve” [60], eller til lastutjevning. Peak shaving kalles det når batteriet blir koblet inn for å kutte effekttoppene på fartøyet. Ved denne funksjonen kan motorene gå på et jevnt turtall og en jevn belastning, og batteriene benyttes til å håndtere ekstra belastning. Dette kan optimalisere drivstofforbruket og forbrenningen til motoren, da kan motorene kjøres ved den mest optimale belastningen.

Spinning reserve er når batteriet blir brukt som reservelast. Ved kritiske operasjoner brukes reserve-motorer som går uten, eller med lav belastning, som kan brukes dersom det hurtig trengs ekstra effekt. I stedet for å bruke motorer for å dekke ekstra last, kan batteri brukes. Da kan motorer kobles ut for å spare drivstoff og brukstimer på motorene. En tredje fordel med batteri er at det kan brukes til lastutjevning. Da kan motorene gå på jevn og optimal belastning, og lade batteriene ved kraftoverskudd, eller bruke energi fra batteriene ved kraftunderskudd [61]. Dette gjør lastforbruket fra motorene jevnere.

Batteri kan gi en momentan kraftreserve og forbedret ytelse. Ved konvensjonelle motorer er det en forsinkelse fra det gis signal om øke turtallet til ønsket kraft fra motorene er tilgjengelig. Ved bruk av batteri blir denne forsinkelsen minimal. Batteri kan også øke ytelsen til energisystemet, ved at disse blir brukt i tillegg til dieselmotorene. Ved å bruke disse i kombinasjon, oppnås det høyere systemeffekt. Om høyere systemeffekt ikke er nødvendig til den driften fartøyet har, kan det være økonomisk- og driftsmessig lønnsomt å redusere størrelsen på dieselmotorene. Mindre motorer gir ofte lavere driftskostnader.

I tillegg til selve batteriene trengs det eksterne komponenter og styringssystem for å kunne drifte batteriene sikkert og effektivt [58]. Herunder kraftelektronikk, transformatorer og “battery management system (BMS)”. BMS kontrollerer opplading/utlading, verner mot overlading, og monitorerer blant annet systemspenning og ladetilstand/State of Charge (SoC). Optimal temperatur i batteriene er viktig for å sikre høy effektivitet, sikkerhet og lang levetid på batteriene. Dette blir monitorert av det termiske overvåkningssystemet. Optimal temperatur blir oppnådd ved hjelp av kjøling. Batteriene kan både være vannkjølt, eller luftkjølt ved hjelp av vifter.

## Risiko

Det er knyttet risiko til de ulike energibærerne. Dette gjelder også for batteri. En risiko ved bruk av batteri i skip kan være fare for elektrisk støt eller andre strømrelaterte feil og skader. En annen risiko kan være fare for brann, og “thermal runaway” (TR).

Thermal runaway er en eksoterm kjemisk reaksjon som skaper en selvforsterkende varmereaksjon [57]. TR skaper mye varme og farlige gasser, som kan føre til brann. Fordi det er en intern reaksjon i battericellen er den vanskelig å slukke med vanlige brannslukningsmidler. Om en battericelle får TR, vil omgivelsestemperaturen øke så mye at de nærliggende battericellene blir oppvarmet til ustabil temperatur. Da vil disse også få TR, og det vil oppstå en kjedereaksjon som er krevende å stanse. Eneste måten å stanse dette på er store mengder kjøling. I fartøy kan dette bety at det vil være nødvendig å fylle hele batterirommet med vann for å få tilstrekkelig kjøling for å stanse en TR. Ved en celledetemperatur på omtrent 80°C er cellen over stabil temperatur, og anoden vil da begynne å brytes ned. Etterhvert som temperaturen øker mer enn dette vil først elektrolytten brytes ned, etterfulgt av

---

katoden. I de ulike prosessene vil de genereres varme, som bidrar til å øke temperaturen. Nedbrytingen av katoden er en svært eksoterm reaksjon som generer mye varme. Når denne er nedbrutt, og cellen ikke klarer å spre varmen som blir produsert, er cellen i TR.

I tillegg til TR kan det også oppstå brann på andre måter. Felles for de ulike måtene er at battericellen blir varmere enn den er konstruert for å tåle [57]. Den blir da enten påvirket til å skape sin egen varme, eller varmet opp fra en ytre varmekilde. Intern kortslutning er feil som kan gi brann. Dette oppstår når det blir kontakt mellom anoden og katoden inne i battericellen, og det kan være flere grunner til at dette oppstår. Metallpartikler som havner inne i battericellen under produksjon, og som løsner i bruk, og skaper kortslutning er en grunn til at det kan oppstå kortslutning. Skade eller deformasjon av battericellen er en annen grunn. Felles for disse er at varmeutviklingen i kortslutningen blir bestemt av motstanden i kortslutningen; en høy motstand i kortslutningen vil gi en sakte og kontrollert utladning med lav varmeutvikling. En lav motstand i kortslutningen vil gi en rask og ukontrollert utladning, med høy varmeutvikling. Dette kan da starte en brann.

## Levetid

Levetiden på batteri i fartøy avhenger av flere faktorer. Enova estimerer en levetid på 10 år i sine beregninger når de vurderer støttesøknader [62]. Bruk av batterier i fartøy er relativt nytt, og teknologiutviklingen gjør at endringer skjer raskt. Det er derfor sannsynlig at dagens, og fremtidens batteri har lengre levetid enn de som ble installert i starten av utviklingen for omtrent 10 år siden. Effekter som kan påvirke levetiden på batteriene er alder, antall sykluser, effektbelastning, kapasitetsutnyttelse og temperaturkontroll. Batteriene får redusert kapasitet både på grunn av “usage aging” og “calendar aging”. “Usage aging” og “calendar aging” er kapasitetstap som et resultat av henholdsvis bruk og lagring over tid [63]. To faktorer som har stor påvirkning på kapasitetstapet er temperatur og ladetilstand/State of Charge (SoC). Økende celledtemperatur gir akselererende kapasitetstap. Ladetilstand (SoC) er hvilken prosent (0–100 %) av fullt oppladet batteriet er lagret på. En høy SoC gir høyere kapasitetstap sammenlignet med en lav SoC.

Bruken av batteriene har også stor påvirkning av levetiden. Effektbelastning, altså hvor mye effekt som batteriene blir belastet eller ladet med har påvirkning på levetiden [64]. Høy belastning gir høyere slitasje. Et eksempel på høy belastning er bruk av batteri i ferger med ladestasjon på land. Da blir batteriene ladet med høy effekt når fergen ligger til kai. På sambandet Hareid–Sulesund blir fergene ladet med omtrent 1 MW effekt i syv minutter to ganger i timen ved av- og påstigning av passasjerer [65]. Dette gir større slitasje enn lading med lavere effekt. Hvordan en utnytter batterikapasiteten har også innvirkning på levetiden. Ved dyp utlading (0–20 %) eller høy opplading (80–100 %) er det høyere slitasje på batteriet [66]. Dette kan unngås ved at batteriene i fartøyet blir oppsatt i programvaren til å bare kunne brukes mellom 20 % og 80 %. Da reduseres unødvendige slitasjer, og dermed øker levetiden. For at dette skal være praktisk gjennomførbart kan det være nødvendig å øke størrelsen på batteripakken.

Rederiet Eidesvik var tidlig ute med å teste ut ny teknologi i sine skip. I samarbeid med Wärtsilä og DNV har Eidesvik installert brenselcelle og batteri i PSV'en “Viking lady” [67]. Utviklingen av prosjektet startet i 2003, og den første prototypen med brenselcelle ble montert i fartøyet i 2010. Batteripakker i container ble installert i 2013. Dette var da en av de første fartøyene med hybrid batteridrift. Siden den tid har fartøyet vært i normal drift, i tillegg til å fungere som et forskningsprosjekt. Denne batteripakken har derfor blitt utsatt for mye testing og hard bruk for å få erfaringer med egenskapene til batteriene [64]. Denne batteripakken ble byttet ut nå i februar 2022, etter omtrent ni

---

år i drift. Batteriteknologien har utviklet seg i disse årene, i tillegg til at det normalt er mer gunstig drift på batteriene. Det er derfor rimelig å anta at en minimum kan regne 10 års levetid på batteri om bord i offshore hybridfartøy.

## Regelverk - bruk av batterisystemer i offshore fartøy

Ved bruk av batterier om bord i fartøy, er det krav og regler som må tas hensyn til. Dette avsnittet tar for seg en oppsummering av de mest relevante punktene for dette prosjektet. Notasjonen som omhandler batteri finnes i DNV sine klassifiseringsregler for skip, Del 6, kapittel 2 [68].

Klassenotasjonen “Battery” kan benyttes av elektriske og hybride fartøy som lagrer elektrisk energi om bord. I tillegg kan også undernotasjonene “Power” og “Safety” benyttes. Battery Power brukes av fartøy som benytter den lagrede elektriske energien til elektrisk propulsjon. Dette gjelder for elektriske eller hybride fartøy som bruker elektrisk energi som en av hovedenergikildene til fremdrift, bruker elektrisk energi til fremdrift i spesifikke driftsmoder eller bruker den elektrisk lagret energien som en redundant energikilde. En redundant energikilde er en duplisering av eksisterende energikilde, med formål om sikre drift ved feil. Battery Safety notasjonen brukes for fartøy der det elektriske energi systemet har en kapasitet på 20 kWh eller mer, og ikke benytter “Battery Power” notasjonen. Safety-notasjonen gjelder dermed for hybride fartøy som ikke bruker elektrisk energi som en hoved energikilde, hybride fartøy som bruker den elektriske energien til peak shaving og fartøy som hovedsaklig bruker elektrisk energi når det ligger fortøyd.

Batterisystemene skal også inneholde et integrert styringssystem. Dette systemet skal beskytte batteriene ved hjelp av frakobling dersom det oppstår over- eller underspenning eller for høye temperaturer.

Dersom batteriene blir brukt som energiløsning under DP, kommer det tilleggskrav og regelverk til batterisystemet. Fartøyet skal blant annet benytte klassenotasjonen “Battery Power”, og oppfylle kravene fra DNV Pt.6 Ch.2 Sec.1 Battery Power. Det er også krav til redundans, basert på mengden energi som benyttes fra batteriene når fartøyet ligger i DP [69].

## Batteriinnstallasjon

I de senere årene har det blitt utbredt å bygge om energisystemet fra dieseldrevet til en kombinasjon av diesel og batteri i eksisterende fartøy. Denne kombinasjonen med diesel og batteri er én form for hybrid fremdriftssystem. Ombygging fra diesel til helelektrisk drift er sjeldent, da dette er en krevende ombygging som sjeldent er økonomisk lønnsomt [58]. Ved nybygg er det vanligere med helelektrisk drift for visse typer fartøy. Et eksempel på fartøy som kan ha nytte av helelektrisk drift er ferger.

Golden Energy Offshore sitt fartøy Energy Empress er et fartøy som allerede er i drift med konvensjonell energisystem som går på MGO i dag. Teknologien har ikke kommet langt nok til at det er realistisk å kunne bygge om dette fartøyet til hel-elektrisk drift i dag. Det er på grunn av at fartøyet har høyere energibehov enn hva en batteripakke med en praktisk gjennomførbar størrelse kan levere alene. For dette fartøyet er det da mest hensiktsmessig å bygge om fartøyet til hybrid drift. For å kunne installere batteri må det finnes en fysisk plassering til disse. Det er flere muligheter til plassering av batteri ved ombygging. En mulighet er å plassere batteri i en container på dekk. Dette er en relativ enkel ombygging, da det ikke blir brukt eksisterende plass i maskinrommet på fartøyet. Et typisk eksempel på plassering av battericontainer er vist i Figur 3.3. Her er en grønn battericontainer

---

plassert inntil styrehuset. Ved containerløsning kan en montere batteriene i containeren på forhånd, mens fartøyet er i drift. I tillegg så kan for eksempel en del kabler trekkes frem på forhånd [66]. Det vil gjøre at en sparer tid ved verft når ombyggingen skal gjennomføres, og det er igjen økonomisk lønnsomt fordi fartøyet får færrest mulig dager uten inntekt fra oppdrag. I tillegg kan batteriene testes i containeren før denne blir plassert om bord i fartøyet.

For Energy Empress er en containerløsning den mest aktuelle batteriløsningen [16]. Dette er fordi skipet ikke er bygd for senere integrering av batterisystemer innvendig i maskinrom. Om innvendig integrering skulle vært et alternativ, burde fartøyet gjøres klart for dette allerede i byggefasen. Da ville det vært satt av et eget område for batteriinstallasjon innvendig i fartøyet, noe det ikke er i dag [16].



*Figur 3.3: Eksempel på hvor battericontainer kan plasseres på dekk. Figuren er hentet fra MarineLink [70].*

### 3.5 Landstrøm

For fartøy både med og uten batteripakker om bord, er det en fordel med muligheter for lading ved havneopphold. Dette kalles landstrøm [71], og er et tiltak som gjør at fartøyet bruker strøm fra land til å drive hotelldrift og andre viktige funksjoner, uten å måtte benytte seg av motorene om bord. Dette har en positiv påvirkning for mannskap om bord i form av mindre støy, og for nærmiljøet rundt kaianlegget med tanke på utslipp av eksos og støy. I tillegg til ytre positive påvirkninger, vil dette også påvirke motorene og fremdriftssystemet. Ved bruk av landstrøm vil brukstiden til motorene gå ned, noe som forlenger intervallene mellom hver service og hver gang slitedeler må byttes.

Dersom fartøyet *ikke* har batteripakker installert om bord, går landstrømmen til direkte drift av fartøyet ved kai. En trekker da nødvendig effekt for å opprettholde de funksjonene som er i bruk på fartøyet i øyeblikket. Om fartøyet derimot har installert batteripakker om bord kan en bruke landstrøm til å både opprettholde funksjonene til fartøyet i havn, og i tillegg lade batteriene. Dette kan være gunstig fordi en da kan bruke energi fra batteriene til å drifte fartøyet før en kommer i land, slik at

---

en for eksempel har 20 % batterikapasitet igjen når en legger til kai. Deretter kan en lade opp igjen batteriet ved hjelp av landstrøm slik at en for eksempel har 80 % batterikapasitet når en legger fra kai igjen. Da har en mulighet til å spare drivstoff og utslipp fordi energien kommer fra landstrøm, og ikke fra dieselmotorene om bord i fartøyet.

## Oppbygging og bruk

For å benytte seg av landstrøm må det klargjøres to viktige elementer; fartøyet må ha installert mulighet for landstrøm, og i tillegg må kaien eller havnen har tilgjengelig infrastruktur, altså lader. Ulike typer fartøy, har ulikt behov for effekt ved landstrøm. Et cruiseskip i drift er et eksempel på en type fartøy med stort effektbehov ved landstrøm. Her kan effektbehovet være opp mot 30.000 kW [72]. Til sammenligning er effektbehovet til Golden Energy sitt fartøy Energy Empress omtrent 200 kW ved havn i gjennomsnitt. Likevel er nødvendig å ha tilgang til omtrent 600 kW effekt for å kunne ta høyere belastning uten å starte et generatorsett [17]. For å kunne levere nok effekt kan det være nødvendig å gjøre større investeringer i infrastruktur. Det kan inkludere nye tilførselskabler, transformatorstasjoner eller omformere, i tillegg til en eller flere ladestasjoner som vist på Figur 3.4. Figuren viser en landstrømsløsning fra Zinus som er tilkoblet et fartøy. Om strømmettet på land ikke er dimensjonert til å tåle høy nok effekt kan en i tillegg bruke batteri i forbindelse med ladestasjonen på land [65]. Klargjøring av fartøyet inkluderer tilkoblingsmuligheter og nødvendig kraftelektronikk.



*Figur 3.4: Eksempel på landstrømsløsning. Figuren er hentet fra Zinus [73].*

Det er hovedsaklig to typer landstrøm; høyspent og lavspenning. Forskjellen på disse er hvilken spenning de benytter. Lavspenning er opp til 1000 V vekselstrøm eller 1500 V likestrøm, mens høyspent er over dette. Høyspent er aktuelt for større fartøy som for eksempel containerskip, tankskip og cruiseskip. En fordel med høyspent er man får høyere effektuttak uten at strømmen i kablene øker, sammenlignet med lavspenning. Dette vises i Formel (3.3), der  $P$  er effekt,  $U$  er spenning og  $I$  er strøm. Ved økning i spenning, og konstant strøm, vil en få høyere effekt. Dette gjør at en kabel kan levere høyere effekt ved høyspent sammenlignet med lavspenning, fordi strømmen i kabelen er lik. En ulempe med høyspent er at det er høyere risiko ved bruk, og derfor er det høyere, og flere krav til sikkerhet. Dette kan gjøre det mer krevende å håndtere. For mindre offshorefartøy er det derfor lavspenningsanlegg på for eksempel 690 V som er relevant [16]. Lavspenning gir tilstrekkelig effekt for disse typen fartøy.

---

$$P = U \cdot I \quad (3.3)$$

Tilgangen til landstrøm i havn har økt de siste årene. Kystverket sitt kart viser oversikt over tilgjengelige lademuligheter i havn [74]. Den viser at de aller fleste havnene har muligheter for landstrøm i dag. I større og mer trafikkerte havneområder kan tilgjengeligheten til kaier med landstrøm være begrenset ved stor pågang i havneområdet. Denne utfordringen kan bli mindre etterhvert som tilgangen øker. Det er flere selskaper som bygger ut landstrømsanlegg. Et av de er Plug [75]. Plug er et selskap som er eid av Bergen havn og energiselskapet BKK. De utvikler, bygger og drifter landstrømsanlegg i hele Norge. De har installert anlegg i Bergen, og planlegger flere utbygginger i sentrale norske havnebyer fremover. Dette bidrar til at tilgangen til landstrøm vil bli bedre de kommende årene.

Det er flere utfordringer knytt til installering av landstrøm, her under infrastruktur og økonomi. I tillegg er det utfordringer knytt til bruken av landstrøm. En av utfordringene er at fartøyet og havnen må ha lik standard; Skipets elektriske anlegg og havnens lader må kunne kobles sammen. Kontaktene må passe overens, og det må være lik frekvens og spenning. En annen utfordring er korrosjon. I maritime miljø er korrosjon en utfordring, og ved bruk av landstrøm kan det være økt fare for dette [75]. Grunnen til at landstrøm kan øke korrosjonshastigheten på fartøyet er at en vil få en jordforbindelse mellom fartøy og land ved tilkobling av landsstrøm. Dette er en sterkere galvanisk forbindelse enn det oppnås ved andre metalliske forbindelser mellom fartøy og land, som for eksempel ved bruk av landgang. Skroget på fartøyet og jordforbindelsen danner et galvanisk element av stål og kobber, og med sjøvannet som elektrolytt vil strøm flyte mellom de to elektrodene. Dette skaper korrosjon på anoden, som i dette tilfellet blir fartøyskroget.

For å forhindre korrosjon kan det derfor gjøres flere tiltak; et tiltak er å male skroget på fartøyet. Et annet tiltak er å montere offeranoder. Offeranoder er laget av et metall som er lavere på spenningsrekken enn det metallet det skal beskytte. Da vil offeranoden korrodere, i stedet for for eksempel skroget. Et tredje tiltak er å montere et ICCP-anlegg [76]. ICCP står for "Impressed Current Cathodic Protection", og kan oversettes til aktiv katodisk beskyttelse med påtrykt strøm. Korrosjonen skapes av en potensialforskjell mellom to elektroder. Ved å bruke påtrykt strøm som er motsatt ladet sammenlignet med den naturlige korrosjonsstrømmen kan en minke denne potensialforskjellen til et minimum. Da unngås korrosjonen. Ved bruk av landstrøm er det viktig å overvåke ICCP-anlegget. For det første må settpunktet være riktig innstilt slik at anlegget kan levere nok strøm. For det andre kan en følge med på om strømmen i ICCP-anlegget øker når landgangen går til kaien, landstrømspluggen blir koblet til, eller når landstrømsforsyningen blir sett i drift. Om strømmen øker kan det tyde på feil, som gjør at faren for korrosjon øker.

Landstrøm har vært benyttet i lang tid på fartøy [77]. Da spesielt for militære fartøy som normalt ligger mye ved kai. Likevel er det først de senere årene at landstrøm har fått økt popularitet hos et bredere spekter av fartøy. Dette inkluderer cruiseskip, offshore fartøy og ferger. Noe av forklaringen til dette er at det har vært en rask teknologiutvikling de senere årene, som har gjort at landstrøm har blitt lettere tilgjengelig, og fått en mer konkurransedyktig pris. Dette betyr igjen at krav og regelverk er under kontinuerlig utvikling og forbedring, for å holde følge med teknologiutviklingen.

---

## Regelverk - bruk av landstrøm

For landstrøm gjelder standard NEK IEC PAS 80005. IEC 80005-1 er generelle krav for høyspent, IEC 80005-2 gjelder for kommunikasjonskontroll for både lav- og høyspent, og IEC 80005-3 er generelle krav for lavspent. For offshore fartøy i denne oppgaven er IEC 80005-3 lavspent relevant. Denne viser generelle krav til system både i havn, på fartøyet og tilhørende utstyr. Det er spesielt definert hvilke sikkerhetstiltak som skal gjøres for at et landstrømsanlegg skal kunne brukes uten fare for skader på person, materiell eller omgivelser. I tillegg er standarden utformet for å kunne standardisere ladesystemet; dette gjøres for at ulike fartøy og havner skal ha system som er kompatible med hverandre. Dette gjør det enklere for produsenter av ladesystem å produsere utstyr. Det er fordi de kan standardisere produksjonen, slik at det slipper å ha utallige varianter av ladesystem. Dette vil også gjøre systemene mer kostnadseffektive å produsere, som igjen vil gjøre de rimeligere for kunden.

For å få ned utslippene i transportsektoren har det kommet et forslag til forordning for å sikre økt bruk av fornybare energikilder og lavutslippss drivstoff i maritim sektor fra den Europeiske Kommissjonen [78]. Dette ligger under FuelEU Maritime initiativet. Her finnes punkt om innføring av landstrøm i havner under EU medlemslands jurisdiksjon. Det er foreslått å innføre krav om å utelukkende bruke landstrøm til å energibehovet om bord i fartøy mens det ligger til kai. Kravet skal gjelde fra 1. januar 2030. Kravet skal gjelde for passasjerskip og containerskip, men i tillegg ha flere unntak; det skal ikke gjelde for skip som ligger til kai kortere enn to timer, eller skip som bruker nullutslippsteknologi om bord. Selv om forslaget i første omgang skal gjelde for større skip, er det også mulig at det vil gjelde for mindre fartøy som for eksempel offshore fartøy etterhvert. Mens FuelEU Maritime setter krav til fartøyene, har "Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)" krav til infrastruktur ved TEN-T-havner. TEN-T havner er større havner som er med i det transeuropeiske transportnettverket. En utfordring som har blitt diskutert ved forslaget om krav til landstrøm er at det er et misforhold mellom FuelEU Maritims landstrømskrav og AFIRs krav til utbygging av landstrøm i TEN-T-havner; Kravet fra FuelEU Maritime om landstrømstilkobling gjelder for alle havner, mens kravene fra AFIR gjelder bare for TEN-T-havner. Det gjør at det kan være problemer med å overholde landstrømskravet i havner som ikke er TEN-T-havner.

---

## 4 Økonomi

Økonomi er en stor faktor i beslutningen om å bygge om et fartøy fra konvensjonelt drivstoff (MGO) til alternative drivstoff og hybriddrift. En bedrift er forpliktet til treffe økonomisk gunstige beslutninger for å tilfredstille aksjonærene. Er det ikke økonomisk lønnsomt å gjennomføre ombyggingen kan det bli vanskelig å få støtte fra aksjonærene til dette. Økonomien ved en ombygging kan hovedsaklig deles i to deler: Investeringskostnader og driftskostnader. I tillegg kan en ombygging også påvirke inntektene ved at en for eksempel kan få støtte til ombygging, eller økte inntekter i drift grunnet miljøvennlig fartøy. Det kan likevel være vanskelig å vurdere om en ombygging er økonomisk lønnsom. Det er usikkerhet til de ulike økonomiske elementene, for eksempel knyttet til bruk av ny, og uprøvd teknologi. Her kan det være vanskelig å estimere investeringskostnader og forventede driftskostnader, da en har lite erfaringsgrunnlag. En annen usikkerhetsfaktor er hvordan prisen for MGO og metanol vil utvikle seg.

### 4.1 Investeringskostnader

Investeringskostnad er et begrep for midler som en bedrift bruker på en fysisk eiendel [79]. Det kan for eksempel være kjøp av en eiendom, utstyr, eller oppgradering av en eksisterende eiendel. I denne oppgaven er investeringskostnaden knyttet til prosjektering og ombygging av Energy Empress fra konvensjonell drift med MGO som drivstoff, til alternativ løsning med metanol og/eller batteri. I tillegg vil en ha en periode uten inntekt når fartøyet er ved verft under ombygging. For å gjøre ombyggingen økonomisk lønnsom vil en ombygging som bidrar til å minske utslippene av klimagasser kunne være berettiget til støtte. Det kan for eksempel være støtte fra Enova eller NO<sub>x</sub>-fondet. Dette vil bidra til at investeringskostnaden til rederiene blir lavere.

For at en investering skal være lønnsom er det nyttig å beregne netto nåverdi (NNV) til investeringen. NNV er en bedriftsøkonomisk beregning der en viser verdien av en investering i nåværende verdi [80]. Dette gjøres fordi verdien av å motta en fremtidig kontantstrøm er lavere enn å motta samme kontantstrøm i dag. NNV finnes ved å summere investeringsbeløp og nåverdien av fremtidige kontantstrømmer. Dette er vist i Formel (4.1), der  $k_0$  er investeringskostnad i år 0 og regnes som en negativ verdi,  $N_e$  er levetid i antall år,  $k_t$  er netto inntekt i år  $t$ , og  $r$  er kalkulasjonsrenten/avkastningskravet.

$$NNV = k_0 + \sum_{t=1}^{N_e} \frac{k_t}{(1+r)^t} \quad (4.1)$$

#### Metanol - investeringskostnad

Investeringskostnadene knyttet til ombygging for drift på metanol består av kostnader for motorkonvertering og for infrastruktur rundt lagring og bunkring av metanol. For store motorer i størrelsen 10–25 MW har kostnadene knyttet til motorkonvertering blitt estimert til 250–350 euro/kW, som med valutakursen for april 2022 tilsvarer 2400–3360 NOK/kW [11]. For skipet Stena Germanica ble konverteringskostnadene 13 millioner euro, mens de totale kostnadene for prosjektet endte på 22 millioner euro. Dette tilsvarer henholdsvis 124,8 millioner NOK og 211,2 millioner NOK. Dette var imidlertid et av de første prosjektene av denne typen. Ekstra kostnader har derfor gått til prosjektering, siden det ikke finnes mye erfaring rundt ombygging til metanol. Det er derfor anslått at kostnadene til fremtidige



---

prosjekt av samme typen vil være betydelig lavere. I tillegg til Stena Germanica har det også blitt estimert at kostnadene for et 10 MW tankskip vil være på 270 euro/kW, som tilsvarer 2592 NOK/kW

En rapport av DNV viser også til estimat for kostnader ved ombygging til metanol [13]. For et 24.000 kW ro-ro fartøy har de totale kostnadene ved å bygge om til metanoldrift blitt beregnet til \$ 10,5 millioner, eller 93,5 millioner NOK. Dette tilsvarer 3900 NOK/kW.

## Batteri - investeringskostnad

En av de første fartøyene med hybrid batteridrift var PSV-en “Viking Lady” som tilhører det Bømlo-baserte rederiet Eidesvik. Dette fartøyet fikk installert batteripakker i 2013. Dette var et forskningsprosjekt sammen med DNV som er et internasjonalt klassifikasjonsselskap, og Wärtsilä som er en leverandør av maritim teknologi. Året etter kom verdens første helelektriske ferge; MF Ampere. Siden den gang har et stort antall fartøy installert stadig større batteripakker. På disse årene har i tillegg teknologiutviklingen skjedd raskt. Det har gjort at batteriene stadig har blitt bedre, og prisen har gått ned. Det har gjort at batteri har blitt et mer konkurransedyktig alternativ som energibærer i fartøy.

Til installering av batteri i fartøy er det mulig å søke om økonomisk støtte fra flere støtteordninger. Her finner en både spesifikke støtteordninger som gjelder spesielt for offshore fartøy (PSV), eller generelle støtteordninger som støtter tiltak for å redusere utslipp uavhengig av type tiltak. En av støtteordningene er NO<sub>x</sub>-fondet [81]. NO<sub>x</sub>-fondet arbeider med å redusere næringslivet NO<sub>x</sub>-utslipp. Det er et fond der tilsluttede virksomheter betaler inn et innskudd når de blir medlemmer, i tillegg til en fast sats pr. kg NO<sub>x</sub>-utslipp. I tillegg kan virksomhetene da søke om tilskudd til utslippsreducerende tiltak. I juni 2017 lanserte fondet et eget støtteprogram for etterinstallering av batteripakker i PSV, med en ramme på 100 millioner NOK. Her fikk 20 fartøy 5 millioner NOK hver i støtte til dette tiltaket. I dag kan aktører som ønsker støtte til batteriinstallasjon søke via den ordinære, felles støtteordningen i NO<sub>x</sub>-fondet.

En annen støtteordning er den statlige organisasjonen Enova. De har støttet ombygging til hybrid batteridrift av fartøy. Tidligere kunne en få støtte på inntil 50 % for små og mellomstore bedrifter, og inntil 40 % for store bedrifter til gjennomføring av batteriinstallasjon [82]. Denne satsen ble senere senket til henholdsvis 40 % og 30 %. Våren 2019 fjernet Enova denne støtten for offshorefartøy av typen PSV. Dette gjelder da Energy Empress. Dette begrunnet de med at Enova skal bidra til å sette fart på den kommersielle bruken av batteri i fartøy for å senke utslippene, og at denne løsningen nå var blitt konkurransedyktig på denne typen fartøy sammenlignet med andre løsninger. Flere rederi var tidlig ute med å bygge om sine fartøy før støtteordningen gikk ut. Et av de var Eidesvik som bygde om alle sine skip før støtteordningen ble avviklet [64]. Fortsatt er det muligheter for å bygge om andre typer offshore fartøy som for eksempel servicefartøy til offshore vind.

Selv om støtteordningen har blitt fjernet for PSV, er det fortsatt stor interesse for hybridisering. Teknologien har nå blitt mer utprøvd og kommersiell. Dette har også gjort at investeringskostnaden har gått ned. Resultatet av dette er at ombyggingen likevel kan være lønnsom - selv uten støtteordninger.

---

## Landstrøm - investeringskostnader

Investeringskostnadene ved landstrøm kan deles i to deler; kostnaden ved å tilrettelegge fartøyet for landstrøm, og kostnader ved å etablere nødvendig infrastruktur på land. Normalt vil rederiene dekke kostnadene for tilrettelegging av fartøyet, mens kostnad for infrastruktur vil bli dekket av eier av havn eller eksterne aktører. I tillegg finnes det ulike støtteordninger for både fartøy og havn. Er det en aktør som ønsker landstrøm, og det derfor vil være nødvendig å forsterke nettet, kan det være nødvendig med anleggsbidrag. Et anleggsbidrag er et investeringstilskudd som bruker av nettet bidrar med for å dekke hele eller deler av kostanden med å forsterke nettet.

Investeringskostnaden ved å tilrettelegge fartøyet for landstrøm vil variere en del. Kostnaden ved landstrøm i nybygg er lavere enn å tilrettelegge eksisterende fartøy for landstrøm. Om fartøyet skal tilrettelegges for høyspent tilkobling vil dette være dyrere enn lavspent, grunnet at alt utstyret må tilrettelegges for å tåle høyere effekt. Flere sikkerhetsbarrierer trengs også ved høyere spenning.

Cruiseskip bruker høyspent landstrøm på grunn av høyt energiforbruk. Kostnader til å bygge infrastruktur til en havn med 2x11 MVA høyspent er estimert til omtrent 56–58 millioner NOK [83]. For PSV, Energy Empress er kostnaden estimert til 5–6 millioner NOK for 1 MVA lavspent tilkobling. Kostnaden varierer alt etter hvor mye tilgjengelig effekt som er nødvendig. Investeringskostnaden for tilrettelegging av et offshore-fartøy (PSV) er estimert til 0,5–1 millioner NOK [84].

## Tap av inntekt ved ombygging

Ved ombygging til metanol eller batteri må fartøyet på verft. Hvor lang tid fartøyet må ligge til verft for ombygging vil variere med hva som skal gjøres. Dersom fartøyet skal bygges om til å gå på metanol må enten de eksisterende motorene bygges om, eller så må motorene byttes ut med nye motorer. Å bygge om eksisterende motorer tar normalt kortere tid enn å bytte dem ut med nye motorer. Ved ombygging til batteridrift kan batteriene plasseres i container på dekk, eller de kan plasseres i maskinrommet. Å bygge om maskinrommet slik at der er plass til batteri kan ofte være utfordrende, og vil normalt ta lenger tid enn løsningen med battericontainer.

Når fartøyet ligger til kai vil det ikke generere inntekter. Så i tillegg til at det har en kostnad å gjennomføre ombyggingen, tapes det penger på at fartøyet ikke er i arbeid. Derfor er det gunstig med kortest mulig liggetid ved verft. En annen mulighet er å kombinere ombygging med annen service eller reparasjon. Da vil normalt den totale tiden på verft bli kortere, enn om en skulle ha hatt to verftsbesøk.

---

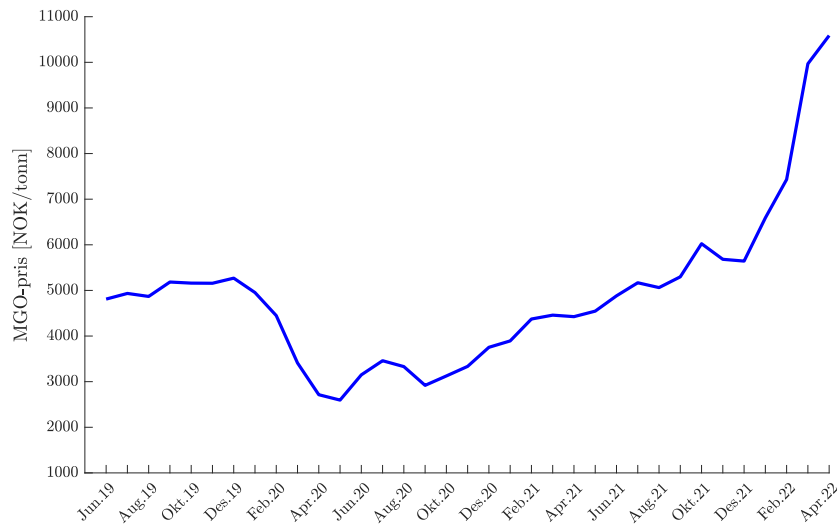
## 4.2 Driftskostnader

Driftskostnader er kostnader som tilhører den løpende driften i virksomheten [85]. Eksempel på slike kostnader for et rederi er for eksempel lønn til ansatte, og utgifter til drivstoff og vedlikehold. Driftskostnadene kan deles mellom faste og variable driftskostnader; faste driftskostnader er uavhengig av produksjonsvolum. For et rederi er lønn og utgifter til låneavdrag på fartøy en fast kostnad. Denne kostnaden er uavhengig av om fartøyet er på oppdrag, eller ligger til kai. En variabel driftskostnad er for eksempel utgifter til drivstoff. Denne vil variere med om fartøyet er på oppdrag, eller ligger til kai. Ved oppdrag vil drivstofforbruket være høyere enn ved kai. Faste kostnader vil være lettere å estimere enn variable kostnader. Siden faste kostnader er uavhengig av produksjonsvolum vil denne være relativt lett å forutsi på kort- og mellomlang sikt. Lønn, som er et eksempel på faste kostnader, kan enkelt planlegges da disse er fastsatt på for eksempel på årlig basis. I tillegg er kostnader knyttet til avdrag på lån lett å planlegge da disse har en fastsatt løpetid på for eksempel fem år. På lang sikt kan derimot de faste kostnadene være vanskeligere å forutsi. Lønnskostnader og kostnader til lån og avdrag om 10 år kan være vanskelig å estimere. Det er avhengig av det generelle lønnsutviklingen i den aktuelle bransjen, og endringer i rentenivå.

De fremtidige variable driftskostnadene er normalt vanskeligere å estimere sammenlignet med faste driftskostnader. Det er fordi det variable kostnadene er avhengig produksjonsvolum, altså hvor mange og hvilket type oppdrag fartøyet brukes til.

### MGO og CO<sub>2</sub>-avgift - driftskostnader

Fartøyet Energy Empress bruker i dag MGO som drivstoff. Drivstoff er ofte en av de største driftskostnadene til et fartøy. Drivstoffkostnaden varierer, og derfor vil også driftskostnadene variere. Figur 4.1 viser priser for MGO for perioden juni 2019 til april 2022. Prisen her varierer fra omtrent 3000 NOK/tonn til knapt 11.000 NOK/tonn. MGO er et destillat av råolje, og prisen på MGO er derfor sterkt knyttet til pris på råolje. Endringer i oljeprisen vil derfor gi endringer i MGO-prisen. På grunn av variasjonen i MGO-pris kan det være vanskelig å estimere fremtidige priser. Den aktuelle perioden som er vist i Figur 4.1 inneholder både en periode med lav oljepris etter koronautbruddet, og en periode med høy oljepris etter at Ukraina-konflikten startet, og aktiviteten tok seg opp etter korona. Dette har gitt stort utslag på MGO-prisen. For et rederi er det ofte gunstig med lavest mulig MGO-pris. Ved lav MGO-pris vil driftskostnadene være lave. I noen tilfeller er det avtalt at oppdragsgiver skal betale drivstoffutgiftene. Da har prisen på MGO ikke påvirkning på driftskostnadene.



**Figur 4.1:** Grafen viser MGO-priser fra juni 2019 til april 2022. Data er hentet fra Ship & Bunker [86].

I tillegg til å kjøpe selve drivstoffet, må en betale en avgift for å slippe ut CO<sub>2</sub> [62]. Avgiften blir kallet CO<sub>2</sub>-avgift, og er gjerne medregnet i prisen for drivstoffet. Denne avgiften har som formål å bidra til kostnadseffektive tiltak for å redusere utslippet av CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub>-avgiften er politisk bestemt, og økte fra 1,58 NOK/l til 2,05 NOK/l MGO fra 2021 til 2022 [6]. 2,05 NOK/l tilsvarer 761 NOK/tonn CO<sub>2</sub>. Dette tilsvarer en avgiftsøkning på knapt 30 % på et år. Denne avgiften er det planlagt å øke i de kommende årene. Når avgiften øker vil det bli dyrere å slippe ut CO<sub>2</sub>, og drivstoffprisen vil øke. Det vil da kunne bli mer attraktivt med alternative energiløsninger som slipper ut mindre CO<sub>2</sub>.

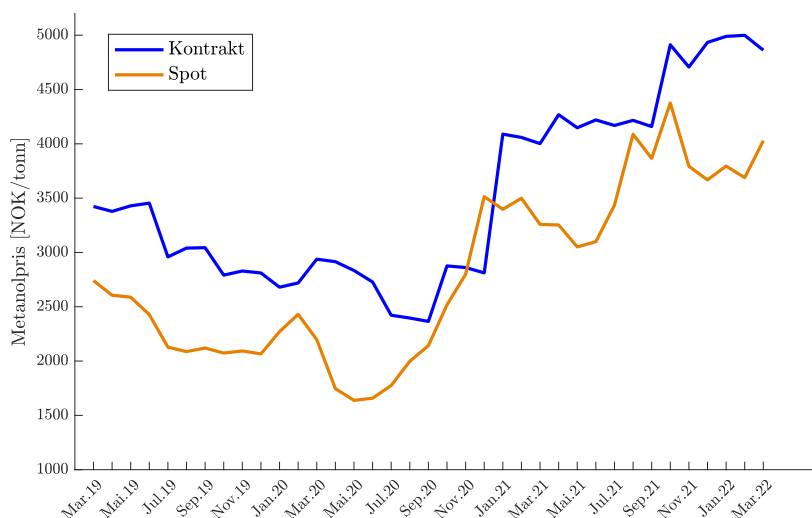
En annen avgift er NO<sub>x</sub>-avgift [87]. NO<sub>x</sub>-avgiften er fastsatt gjennom lover og forskrifter som er satt av Finansdepartementet, og det er en avgift på utslipp av NO<sub>x</sub> ved energiproduksjon. Denne avgiften gjelder blant annet for fremdriftsmaskineri med samlet installert motoreffekt på mer enn 750 kW. Denne avgiften gjelder derfor for Energy Empress. Satsen for 2022 er 23,79 NOK/kilo utslipp. Ved å redusere bruken av MGO, vil en også redusere utslippene av NO<sub>x</sub>. Dette vil gi en lavere utgift knyttet til NO<sub>x</sub>-avgift.

## Metanol - driftskostnader

Ved å bruke metanol som energibærer i fartøy er det hovedsaklig en endring i drivstoffkostnad som gir endring i driftskostnader. Figur 4.2 viser endring i metanolpris fra mars 2019 til mars 2022, for kontrakt og spot. Spot eller spotpris er den nåværende prisen som endrer seg fra dag til dag. Kontrakt er en avtalt pris frem i tid. Denne kan være avtalt for ulike perioder på for eksempel en måned, seks måneder eller et år. Spotpris varierer mer enn kontraktspris, men er likevel generelt rimeligere. Det vises i Figur 4.2, hvor den oransje- og blå linjen er prisutviklingen for henholdsvis spot og kontrakt. Den oransje linjen ligger i de aller fleste tilfeller under den blå linjen, som vil si at den har lavere pris. Sammenlignet med spot, er en fordel med kontraktspris at den er mer forutsigbar.

For å sammenligne prisen på metanol med prisen for MGO er det viktig å kalkulere med hvor mye energi en får ut av hvert drivstoff. Det kan gjøres ved å sammenligne brennverdien til metanol og MGO. I tillegg må metanol være rimeligere enn MGO for at det skal være økonomisk lønnsomt å

velge metanol som energibærer i et fartøy. Om metanol blir vedvarende dyrere enn MGO vil ikke metanol være konkurransedyktig, selv om det kan gi reduksjon i klimagassutslipp. De siste tre årene har prisen på metanol variert mellom knapt 2000 NOK/tonn til i overkant av 5000 NOK/tonn. Dette tyder på at det kan være vanskelig å estimere fremtidig pris. Dette kan igjen gi usikkerhet i om det vil være lønnsomt eller ikke å benytte seg av metanol. Om en får en lav fremtidig metanolpris og en høy fremtidig MGO-pris vil en ombygging være mer lønnsom enn ved motsatt scenario.



**Figur 4.2:** Grafen viser metanolpriser for kontrakt og spot fra mars 2019 til mars 2022. Data er hentet fra Methanol Institute [88].

## Batteri og landstrøm - driftskostnader

For fartøyet Energy Empress er det undersøkt å bruke batteri i en hybridløsning sammen med andre typer energibærere. Bruk av batteri har generelt lave driftskostnader fordi det er tilnærmet vedlikeholdsfritt, og ikke forbruker et typisk drivstoff slik som MGO eller metanol gjør. Batteriene kan lades ved hjelp av overskuddsenergi fra de eksisterende motorene, og brukes til å ta “topper” i forbruket. I tillegg kan batteri brukes som erstatning for en motor under visse forhold. Dette bidrar til å senke det totale drivstofforbruket, som gjør at driftskostnadene blir lavere enn en energiløsning uten batteri. Hvor mye det totale drivstoff-forbruket synker er avhengig av hvor godt fartøyet og mannskapet utnytter batteriet. Reduksjon i drivstofforbruk gir lavere driftsutgifter til drivstoff, som gir lavere driftskostnader.

Ved bruk av landstrøm vil det bli en ekstra driftskostnad. Denne kostnaden består ofte av tilkoblingsavgift og en kostnad for bruk av strøm. Tilkoblingsavgiften er ofte en fast sats som skal dekke tilkobling av fartøyet til landstrømsanlegget. Størrelsen på tilkoblingsavgiften kan variere mellom de ulike havnene. Ålesund Havn tar eksempelvis 700 NOK i tilkoblingsavgift [89]. I tillegg kommer kostnaden for faktisk bruk av strøm. For Ålesund Havn er denne på 2,5 NOK/kWh. Både tilkoblingsavgift og strømpris vil variere mellom ulike havner. En fordel med bruk av landstrøm er at en kan ofte kan skru av en eller flere motorer i fartøyet. Dette gir reduserte kostnader til drivstoff og til vedlikehold. Det kan bli mindre brukstimer på motorene, som igjen bidrar til å øke tiden mellom hver service og overhaling. Dette vil gi en positiv økonomisk effekt.

---

## 5 Metode

I dette kapitlet blir fremgangsmåte og metoder for gjennomføring av oppgaven presentert. De ulike antakelsene som er gjort blir presentert underveis i kapitlet. For egne beregninger og databehandling er det brukt Microsoft Excel, i tillegg til MATLAB for enkelte tilfeller. Videre er det brukt fagrapporter, pensumbøker, relevant faglitteratur og informasjon og erfaringer fra mentorbedriften og andre aktører i den maritime næringen.

### 5.1 Innhenting av informasjon og data

Innhenting av ulike data angående fartøyet Energy Empress er gjort i samarbeid med Golden Energy Offshore. Rederiet har blant annet egne dokumenter for daglig drivstofforbruk, generelle motordata og klima- og miljøutslipp. Disse dokumentene er grunnlaget for beregningene som utføres og om resultatene kan drøftes som lønnsomme.

Et av hoveddokumentene som er brukt i oppgaven er en månedlig operasjonsrapport med daglig loggføring av drivstofforbruk og hvor mange timer fartøyet har brukt i de forskjellige driftskondisjonene [90]. Dette dokumentet brukes blant annet til å vise drivstofforbruk gjennom hele året. For å finne ulike driftsprofiler er det tatt utgangspunkt i tidligere oppdrag fartøyet har utført, i tillegg til en generell driftsprofil for langtids-kontrakt og en generell driftsprofil for en spot-kontrakt. De generelle driftsprofilene er utviklet av Golden Energy Offshore. Selv om operasjonsrapporten er et nyttig verktøy, er det også en usikkerhet knyttet til dataene. Dersom fartøyet har operert på flere driftskondisjoner i løpet av døgnet, kommer det ikke frem hvor mye drivstoff som har blitt konsumert under de ulike driftskondisjonene. Konsumert drivstoff og utslipp av klimagasser vil variere med belastningen motorene kjøres på.

For innhenting av andre tekniske data om fartøyet som klassenotasjoner, dimensjoner til ulike komponenter, lagringskapasitet for drivstoff og andre væsker er det brukt dokumentet “Technical Outline Specification”, også kalt “Shortspec”. Dette dokumentet er et sammendrag av de viktigste tekniske data og gir et generelt overblikk over fartøyet.

#### 5.1.1 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode

I prosjektet er det hentet inn informasjon og data fra ulike kilder. Kvalitativ metode er en forskningsmetode som baserer seg på analyse og innhenting av data som er lagt frem som tekst [91]. Eksempler på kvalitativ data kan være observasjoner, erfaringer, intervjuer, eposter og samtaler. Denne rapporten har benyttet kvalitative data blant annet i form av samtaler og eposter med ulike aktører. Videre er de kvalitative dataene prosessert før de blir presentert i rapporten.

Kvantitativ metode er en forskningsmetode som baserer seg på målbare data. Dette er tall og data som ofte kan presenteres i grafer og tabeller [92]. Eksempler på kvantitative data som er brukt og presentert i denne rapporten er drivstoffpriser og dagrater for spot-oppdrag. For å få en representativ rapport med resultater som er dagsaktuelle er det benyttet både kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode. Dette er gjort ved å bruke reelle priser og erfaringsdata fra Golden Energy Offshore og andre aktører.

---

## 5.2 Driftsprofil

Basert på data hentet fra Golden Energy har det blitt utarbeidet flere driftsprofiler basert på ulike oppdrag. Disse driftsprofilene blir senere brukt som utgangspunkt i beregningene som gjøres.

### 5.2.1 Driftskondisjoner

I løpet av et oppdrag, vil Energy Empress benytte ulike driftskondisjoner. Driftskondisjonene er definert av Golden Energy Offshore, og er beskrevet under. En sum av ulike driftskondisjoner over tid danner en driftsprofil.

- **Slow transit:** Når fartøyet går fra en plass til en annen med hastighet på mellom 4 og 9 knop. I denne kondisjonen er det jevn motorbelastning siden fartøyet som regel kjører i konstant hastighet. Denne kondisjonen brukes når fartøyet skal kjøre fra en plass til en annen, og har god nok tid til å kjøre båten med lavere hastighet enn Transit. Dette medfører et lavere energiforbruk, og dermed lavere drivstoffkostnader.
- **Transit:** Når båten går fra en plass til en annen med hastighet på mellom 9 og 12 knop. Brukes også når båten skal fra en plass til en annen, men når den må kjøre noe raskere enn Slow Transit. Transit er også ofte omtalt som “Steaming”.
- **Fast transit:** Når båten går fra en plass til en annen med hastighet på mer enn 12 knop. Fast Transit brukes når båten skal kjøre fra en plass til en annen, men har mindre tid på seg. Da må båten kjøre raskere, som fører til høyere energiforbruk enn Transit og Slow Transit.
- **DP1:** DP står for “Dynamic Positioning” eller “Dynamisk Posisjonering”. Under denne driftskondisjonen jobbes det for å holde fartøyet på en fastsatt posisjon. Typisk situasjon der denne driftskondisjonen er brukt er under lasting/lossing fra plattformer, standby eller under operasjoner som krever høy presisjon innen posisjonering. Videre blir denne driftskondisjonen omtalt som DP1.
- **DP2:** DP2 er også en driftskondisjon for dynamisk posisjonering. Forskjellen mellom de to DP kondisjonene er at fartøy som har DP2 klasse har mulighet til å holde posisjonen selv om det oppstår feil på en kritisk komponent. På grunn av redundans har dermed DP2 fartøy bedre forutsetninger for å holde posisjonen enn et fartøy med DP1 klasse [93].
- **Manøvrering:** Når båten kjører med en hastighet mindre enn 4 knop. Dette er for eksempel ved små retningsjusteringer og forflytninger tett inntil en kai eller plattform.
- **I havn:** Dette er når båten er festet til kai eller oppankret til havbunnen. Dette er en driftskondisjon som ofte har lavt effektforbruk. Dette er fordi det brukes lite effekt til framdrift.

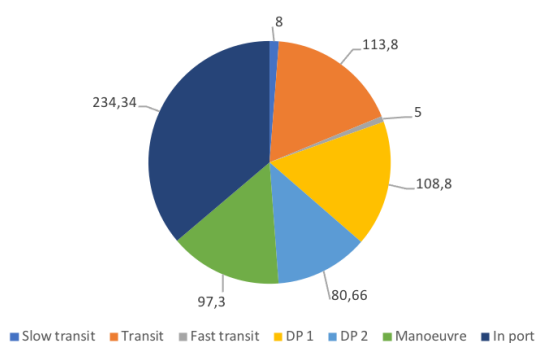
### 5.2.2 Utforming av ulike driftsprofiler

For å i større grad kunne sammenligne ulike elementer av driftsprofilen til fartøyet har det blitt satt opp driftsprofil og gjort beregninger for fire ulike tilfeller. To av driftsprofilene er basert på faktiske kontrakter Energy Empress har utført, mens de resterende driftsprofilene er basert på typiske kontrakter.

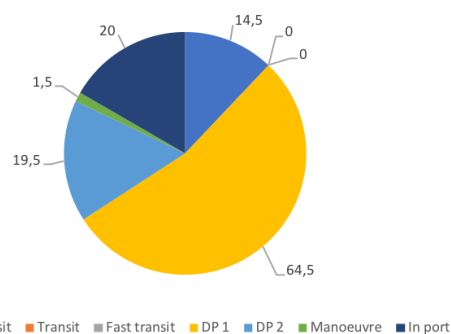
Driftsprofil 1 er basert på en kontrakt Energy Empress har utført. Ved samtaler med Golden Energy Offshore, har det blitt valgt en kontrakt for perioden 26.10.2021 til 21.11.2021. Dette er en kontrakt av typen langtidskontrakt, som gikk ut på generelle forsyningsoppdrag. Det har deretter blitt hentet ut

data om antall timer i de ulike driftskondisjonene fra den månedlige operasjonsrapporten til fartøyet [90]. På denne måten har det blitt opparbeidet en driftsprofil basert på dette oppdraget. Driftsprofil 2 er også basert på en gjennomført kontrakt. Dette var et kortere oppdrag som varte fra 09.12.2021 til 13.12.2021. For dette oppdraget har det også blitt hentet ut data fra den månedlige operasjonsrapporten til fartøyet.

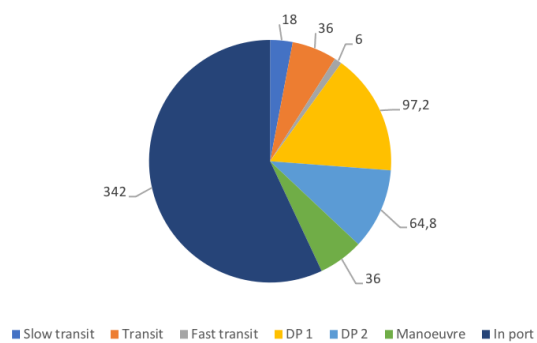
Driftsprofil 3 og Driftsprofil 4 er basert på en operasjonsanalyse av Energy Empress [17]. I denne analysen er det presentert typiske driftsprofiler for en PSV under en langtidskontrakt og i spotmarkedet. Disse driftsprofilene er altså ikke nødvendigvis noen faktiske driftsprofiler, men gjennomsnittlige driftsprofiler basert på antall gjennomførte spot- eller langtidskontrakter. Disse gir dermed en god indikasjon på hvordan et oppdrag typisk ser ut. Derfor blir disse brukt som utgangspunkt for å fremstille to driftsprofiler til denne oppgaven. Figur 5.1 viser de fire driftsprofilene som er opparbeidet. Tallene i figuren viser til hvor mange timer fartøyet har operert i de ulike driftskondisjonene.



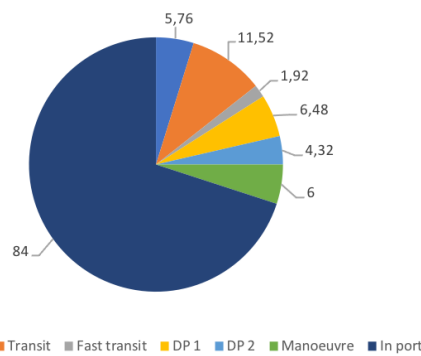
(a) Driftsprofil 1



(b) Driftsprofil 2



(c) Driftsprofil 3



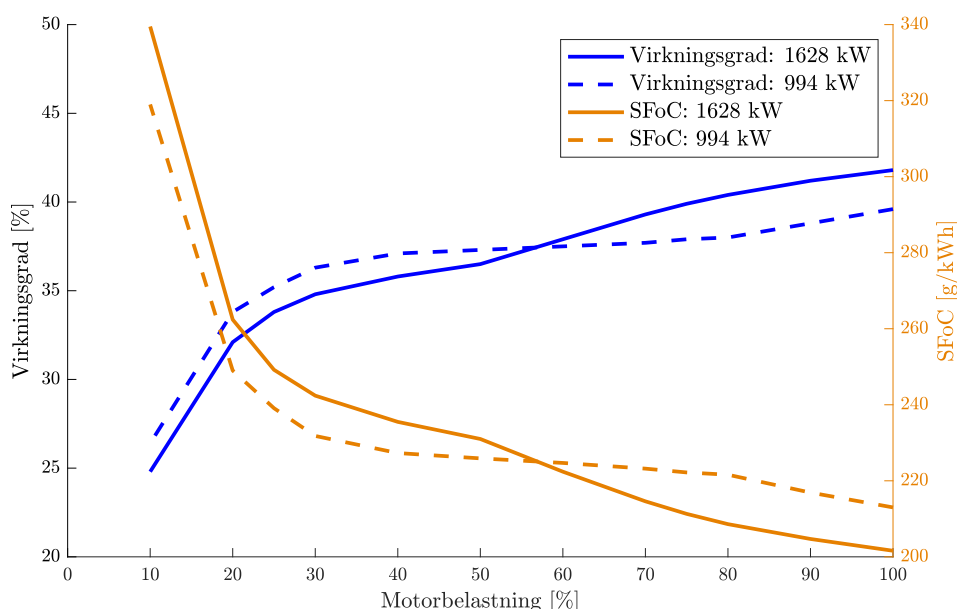
(d) Driftsprofil 4

**Figur 5.1:** Figuren viser de forskjellige driftsprofilene. Tallene viser antall timer fartøyet har operert i de ulike driftskondisjonene.



### 5.3 Beregning av drivstofforbruk og utslipp

I denne oppgaven har det blitt beregnet drivstofforbruk og utslipp av klima- og miljøgasser både for den eksisterende energiløsningen og for de alternative hybride energiløsningene. Basert på forbruksdata fra operasjonsrapporten til Energy Empress, samt data fra Shortspec, har det blitt anslått et gjennomsnittlig drivstofforbruk per time for hver av de ulike driftskondisjonene. Før beregningene av drivstofforbruk og utslipp ble gjort, var det også nødvendig å estimere en motorvirkningsgrad. Dette ble gjort med utgangspunkt i ytelsesdata fra motorene [94, 95]. Figur 5.2 viser beregnet virkningsgrad og SFoC til de fire motorene ME1, ME2, ME3 og ME4 ved ulike motorbelastninger. ME står for “Main Engine”, mens tallet henviser til hvilken av motorene det er snakk om. ME1 og ME4 er de to største motorene på 1628 kW, mens ME2 og ME3 er de to motorene på 994 kW. For å estimere motorvirkningsgrad for de to motorene ble det brukt informasjon fra operasjonsanalysen av Energy Empress [17]. I analysen kommer det frem at gjennomsnittlig SFoC for de to største motorene i analyseåret var 280 g/kWh, mens gjennomsnittlig SFoC for de to små motorene var 330 g/kWh. I Figur 5.2 kan det leses av at gjennomsnittlig virkningsgrad for de store og små motorene omtrentlig tilsvarer henholdsvis 30 % og 26 %.



**Figur 5.2:** Figuren viser motorvirkningsgrad for de fire motorene ved ulike motorbelastninger.

Den gjennomsnittlige virkningsgraden for alle motorene samlet vil dermed ligge et sted mellom disse verdiene. Basert på dette har det blitt anslått virkningsgrader for hver driftskondisjon. For steaming antas det noe høyere virkningsgrad enn gjennomsnittet, siden motorene i stor grad kan kjøre på en jevn belastning. For DP1 og DP2 blir det antatt noe lavere virkningsgrad enn gjennomsnittet, siden motorene kjører på en veldig ujevn belastning. I havn brukes bare en av de små motorene, så dermed antas det virkningsgrad lik gjennomsnittet for de små motorene. Videre har det også blitt beregnet gjennomsnittlig effektbehov og SFoC for hver av driftskondisjonene, basert på virkningsgradene. Som nevnt i kapittel 3.3 kan virkningsgraden ved bruk av metanol være lik eller høyere enn ved bruk av MGO. Videre antas det derfor samme virkningsgrader for metanol som for MGO. Gjennomsnittlig drivstofforbruk, virkningsgrad, effektbehov og SFoC er presentert i Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Gjennomsnittlig drivstofforbruk (FO), virkningsgrad, effektbehov og SFoC for hver driftskondisjon.

Driftskondisjon	Gj. FO forbruk [tonn/h]	Gj. virkningsgrad	Gj. effektbehov [kW]	Gj. SFoC [g/kWh]
Slow transit	0,21	31 %	773	272
Transit	0,32	31 %	1178	272
Fast transit	0,54	31 %	1987	272
DP1	0,21	27 %	673	312
DP2	0,28	27 %	898	312
Manoeuvre	0,15	29 %	516	290
In port	0,06	26 %	179	324

### 5.3.1 Forbruksberegninger

Beregning av drivstofforbruk med den eksisterende energiløsningen for de ulike driftsprofilene ble gjort med utgangspunkt i gjennomsnittsverdiene gitt i Tabell 5.1 og antall timer fartøyet opererer i de ulike driftskondisjonene for den aktuelle driftsprofilen. Basert på drivstofforbruket og det vektbaserte energiinnholdet i MGO, ble det også beregnet et energiinnhold i drivstoffet som ble konsumert for hver driftskondisjon. Dette energiinnholdet brukes senere til å beregne drivstofforbruk for den hybride energiløsningen med metanol. Ved å ta hensyn til motorvirkningsgrad, ble det også beregnet hvor mye energi motorene produserer.

For å beregne forbruket av MGO med den hybride energiløsningen med batteri, var det nødvendig å vite hvordan bruk av batteri påvirker drivstofforbruket. Ved å bruke batteriet som peak shaving vil det være mulig å kjøre motorene på en mer optimal belastning. Dette medfører en lavere SFoC, og dermed lavere forbruk av MGO. Det reduserte MGO-forbruket ble beregnet ved å ta utgangspunkt i forbruket uten batteri, for så å trekke fra det som spares ved å bruke batteri som peak shaving. Det antas at bruk av batteri som peak shaving kan føre til at gjennomsnittlig SFoC reduseres til 230 g/kWh for alle driftskondisjonene. MGO-forbruket ble beregnet med Formel (5.1).

$$F_{MGO} = F_{MGO, før} - R_{SFoC} \cdot E_p \quad (5.1)$$

$F_{MGO}$  er MGO-forbruk for den hybride løsningen, mens  $F_{MGO, før}$  er MGO-forbruket før installasjon av batteri, altså med den nåværende energiløsningen.  $R_{SFoC}$  er reduksjon i SFoC og  $E_p$  er energi produsert av motoren.

For den hybride energiløsningen med MGO, metanol og batteri blir drivstofforbruket beregnet med utgangspunkt i nødvendig energiinnhold lagret i drivstoffet, andel av dette energiinnholdet som dekkes av metanol og reduksjon i SFoC når batteriet fungerer som peak shaving. Energien som er nødvendig å ha lagret i drivstoffet fordeles mellom MGO og metanol. Lav tankkapasitet for metanol gjør det utfordrende å bare skulle benytte metanol. Dersom det skal benyttes utelukkende metanol, er det nødvendig med hyppig bunkring. For å unngå dette, vil fortsatt MGO dekke en del av energibehovet. Det antas at metanol skal kunne benyttes for hele Driftsprofil 1 uten å måtte bunkre. Basert på nødvendig energibehov for drivstoffet i Driftsprofil 1 har andelen metanol blitt beregnet til 37 %. Metanolforbruket for denne hybridløsningen ble beregnet med Formel (5.2).

---

$$F_{Metanol} = \frac{x \cdot (E_L - (R_{SFoC} \cdot E_p \cdot e_{w, MGO}))}{e_{w, met}} \quad (5.2)$$

$F_{Metanol}$  er metanolforbruket for den aktuelle hybridløsningen.  $E_L$  er nødvendig lagret energi med den nåværende energiløsningen, altså energien lagret i drivstoffet før det går inn i motoren.  $x$  er andelen av lagret energi i metanol, som for denne oppgaven regnes som 37 %.  $e_{w, MGO}$  og  $e_{w, met}$  er vektbasert energiinnhold for henholdsvis MGO og metanol.

Resterende 63 % av nødvendig lagret energi dekkes da av MGO. Forbruket av MGO ble beregnet med Formel (5.3).

$$F_{MGO} = \frac{(1 - x) \cdot (E_L - (R_{SFoC} \cdot E_p \cdot e_{w, MGO}))}{e_{w, MGO}} \quad (5.3)$$

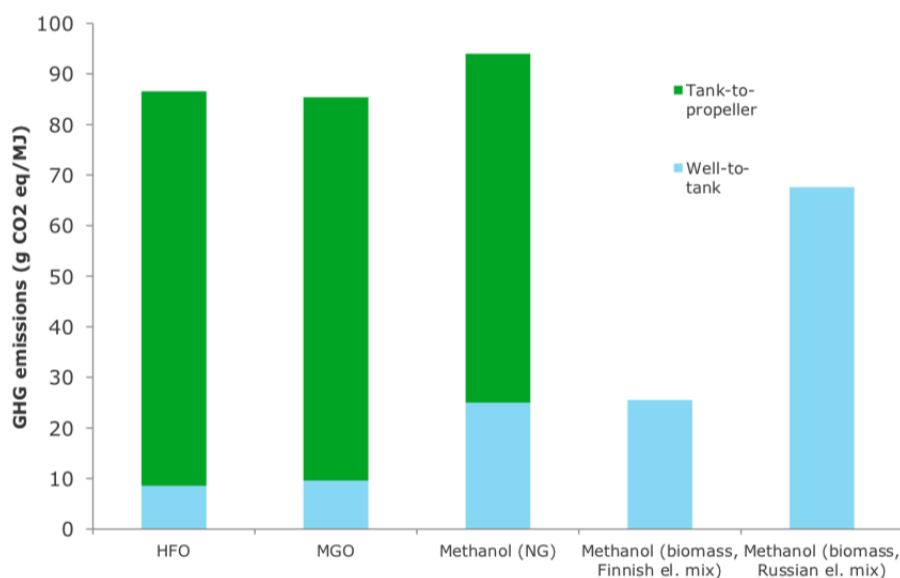
For den hybride løsningen med MGO og metanol ble forbruket av metanol og MGO beregnet med henholdsvis Formel (5.4) og Formel (5.5).

$$F_{Metanol} = \frac{x \cdot E_L}{e_{w, met}} \quad (5.4)$$

$$F_{MGO} = \frac{(1 - x) \cdot E_L}{e_{w, MGO}} \quad (5.5)$$

### 5.3.2 Utslippsberegninger

Utslipp av klima- og miljøgasser knyttet til maritim aktivitet er først og fremst utslipp som følge av at et drivstoff forbrennes i en forbrenningsmotor. Når man ser på utslipp som skjer i denne prosessen, mellom tank og propell, omtales det som “Tank-to-propeller” [96]. Det er derimot ikke bare i denne prosessen det slippes ut klima- og miljøgasser i atmosfæren. I produksjon, prosessering og transport av drivstoffene er det også utslipp. Når man ser på utslipp som skjer før drivstoffet er i tanken på båten, omtales det som “Well-to-tank”. Figur 5.3 viser utslipp av klimagasser til metanol sammenlignet med HFO og MGO, både for Well-to-tank og for Tank-to-propeller.



**Figur 5.3:** Klimagassutslipp fra HFO, MGO og metanol. Figuren er hentet fra en rapport av DNV [13].

Figuren viser at klimagassutslipp knyttet til produksjon, prosessering og transport er høyere for metanol enn for HFO og MGO, dersom metanolen produseres fra naturgass. Utslipp i forbrenningsprosessen er derimot lavere. Dersom metanolen ikke produseres fra naturgass, men fra biomasse, regnes den som grønn metanol. Da blir det sett på som klimanøytralt, og utslipp knyttet til forbrenningsprosessen regnes som null. I denne oppgaven blir det brukt et Tank-to-propeller perspektiv. Det vil si at alle beregninger som er gjort av klima- og miljøutslipp tar utgangspunkt kun i det som skjer i forbrenningen av drivstoffene.

Beregninger av klima- og miljøutslipp er gjort med utgangspunkt i utslippsfaktorene gitt i Tabell 5.2. Tabellen viser også utslippsfaktorer for HFO til sammenligning. For HFO og MGO er det også vist volumprosent svovelinnhold i drivstoffet.

---

*Tabell 5.2: Utslipp fra ulike typer maritime drivstoff [97, 98, 13].*

Drivstoff	CO <sub>2</sub> (tonn/tonn)	NO <sub>x</sub> (kg/tonn)	SO <sub>x</sub> (kg/tonn)	PM (kg/tonn)
<b>HFO</b> (3,5 vol% S)	3,2	43,76	17,84	5,1
<b>MGO</b> (0,1 vol% S)	3,17	43,76	1,158	1,5
<b>Metanol</b>	1,38	1,4	0	0

Ved å multiplisere disse med forbruket av det aktuelle drivstoffet har det blitt funnet utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og PM for hver av driftskondisjonene, for hver enkelt driftsprofil. Det har i tillegg blitt beregnet prosentvis reduksjon for de ulike utslippene når det benyttes hybride energiløsninger.

#### 5.4 Dimensjonering og beregning av batteri og landstrøm

For å kunne velge nødvendig størrelse på batteripakken i fartøyet er det flere variabler som må analyseres. Driftsprofilen til fartøyet må analyseres for å kunne finne nødvendig energi- og effektkapasitet. I tillegg er størrelsen på batteripakken avhengig av fysisk plass på fartøyet, og en økonomisk analyse. Batteripakken blir så valgt som et resultat av de ulike variablene.

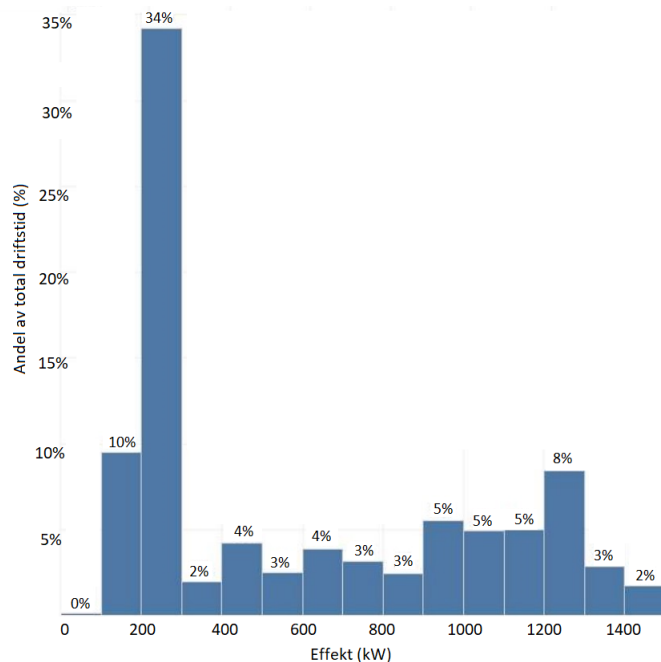
For fartøy som Energy Empress er et 5-strings Corvus Orca batteri på 620 kWh et mye brukt valg. En av grunnene til det, er at denne kan erstatte en av de to store generatorsettene i fartøyet. De største generatorsettene leverer 1550 kW per motor. I et fartøy vil det være ideelt med høy C-rate for å kunne levere høy effekt i korte perioder. Corvus Orca har en C-Rate på opp til 3C, som gjør at en 620 kWh batteripakke kan levere opptil 1860 kW i 20 minutter. Corvus Orca har en kapasitet på 5,6 kWh per modul, og ved eksempelvis 22 moduler får en 124 kWh kapasitet per pakke [99]. Fem pakker vil da gi 620 kWh, som tilsvarer omtrent et hovedgeneratorsett. Pakkene kan bygges opp som to uavhengige sett, der en deler de totalt antall pakkene på to for å kunne bruke de uavhengig av hverandre. Ved feil eller vedlikehold på ene settet, kan en da likevel ha drift på det andre settet. Figur 5.4 viser en Corvus Orca batteripakke som er plassert i container. Denne løsningen er ideell ved ombygging av eksisterende fartøy, da fartøyet ikke har tilrettelagt plass til batteri. Da kan containeren enkelt plasseres på dekk.



*Figur 5.4: Eksempel på Corvus Orca i tilrettelagt container. Nærmeste rekken med batteripakker er skjult for bedre illustrasjon av løsning. Figuren er hentet fra Corvus Energy [99].*

For å benytte seg av landstrøm må både fartøyet være tilrettelagt for landstrøm, og i tillegg må havnen har nødvendig infrastruktur. Fartøyet Energy Empress som blir undersøkt i denne oppgaven er ikke tilrettelagt for landstrøm. Driftsdata til dette fartøyet viser gjennomsnittlig effektforbruk i havn, og dette kan brukes til å finne nødvendig effekt fra landstrømsanlegget [17]. For å finne nødvendig effekt er det benyttet data fra søsterskipet Energy Duchess. Dette fartøyet har likt maskinerisystem som Energy Empress, og effektforbruket i havn vil derfor være representativt for begge fartøyene. Figur 5.5 viser andel av total driftstid ved ulike effektforbruk. Denne oversikten viser at fartøyet hadde et forbruk på omtrent 200 kW i 34 % av total driftstid. Dette er forbruk ved havn. I havn bruker fartøyet en av de minste generatorene til å produsere energi. Generatorene har kapasitet til å levere 940 kW per stykk, mens forbruket er omtrent 200 kW i havn. Det betyr at generatorene går på omtrent 20 % last. Dette er lav virkningsgrad. Ved virkningsgrad på under 30 % vil det ikke oppnås høy nok eksosstemperatur, noe som kan føre til problemer med rensing av eksosen [16]. Dette vil gi økte utslipp. Lav virkningsgrad på motoren vil også gi dårlig forbrenning og lite økonomisk drift av motoren.

Selv om effektforbruket i havn er 200 kW i gjennomsnitt er det nødvendig å ha mulighet for høyere effekt. Dette kan være om en for eksempel skal gjennomføre laste- og losseoperasjoner ved havn. Ved bruk av kraner og pumper vil forbruket være høyere enn når en bare bruker effekt til hoteldrift. En passende effekt fra landstrømanlegget blir derfor 2x300 kW [16]. Da er det sikret høy nok effekt til de aller fleste operasjonene i havn. Skulle det oppstå behov for høyere effekt har en mulighet til å starte opp en generator.



**Figur 5.5:** Andel av total driftstid ved ulike totale motoreffekter. Motoreffekt mellom 1500 kW og 3000 kW er utelatt, da disse inneholdt mindre enn 10 % av total driftstid. Figuren er hentet fra en presentasjon fra mentorrederi [17].

I beregningene av landstrøm har det blitt undersøkt hvordan MGO-forbruk, samt utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og PM påvirkes dersom fartøyet benytter seg av landstrøm ved havn. Det er usikkert hvor stor andel av tiden i havn fartøyet kan være koblet til landstrøm. Derfor presenteres resultatene av disse beregningene for ulike andeler av tiden i havn koblet til landstrøm. Det blir her regnet med to ulike energiløsninger. En med kun MGO, og en med både MGO og batteri. Basert på samtaler med Golden Energy Offshore har det blitt antatt at energibehovet til fartøyet i havn kan dekkes av landstrøm med en effekt opp til 600 kW. Dersom fartøyet ikke har batteri, vil landstrøm kun dekke energibehovet i havn. Med batteri installert, kan landstrøm dekke energibehovet i havn og samtidig lade batteriene. Den opplagrede energien i batteriene kan da senere benyttes til å drifte fartøyet i kortere perioder når den ikke er i havn.

## 5.5 Økonomiberegninger

De økonomiske beregningene i denne rapporten er gjort for å vise hvordan lønnsomheten til de ulike hybridløsningene påvirkes av ulike investeringskostnader og drivstoffpriser. For innhenting av informasjon er det gjennomført telefonsamtaler, møter og e-postutveksling med relevante aktører i den maritime bransjen. I tillegg er det brukt informasjon fra tilgjengelige tidsskrifter, rapporter og analyser. Likevel er det knyttet usikkerhet rundt investeringskostnader for både batteriinnstallasjon og ombygging til metanoldrift. Historiske priser for MGO og metanol er tilgjengelig, men det er knyttet usikkerhet til hvordan disse prisene vil utvikle seg de kommende årene. Det samme gjelder fremtidig CO<sub>2</sub>-avgift. Installasjonskostnaden vil også variere mellom ulike fartøytyper. På grunn av usikkerhet rundt både investeringskostnader, fremtidige drivstoffpriser og fremtidig CO<sub>2</sub>-avgift, gir de økonomiske beregningene i denne rapporten kun et grovt anslag på lønnsomheten til de hybride løsningene.

I de økonomiske beregningene har det blitt beregnet tilbakebetalingstid for de ulike hybridløsningene. Dette er gjort ved bruk av Formel (5.6). Disse beregningene tar utgangspunkt i Driftsprofil 4. Denne varer i fem døgn. For å få tall på årlige besparelser antas det derfor at Driftsprofil 4 benyttes 73 ganger, som tilsvarer 365 døgn.

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Årlig besparelse}} \quad (5.6)$$

De årlige besparelsene er summen av reduserte drivstoffkostnader og reduserte kostnader som følge av lavere CO<sub>2</sub>-utslipp. CO<sub>2</sub>-avgiften er antatt å være 761 NOK/tonn CO<sub>2</sub>, basert på data fra Enova [62]. På grunn av usikkerheten rundt fremtidige MGO-priser har det blitt gjort beregninger for to ulike pris-scenarier for fremtidig MGO-pris. Det første scenarioet er et lavpris-scenario. Her har det blitt antatt en MGO-pris på 6500 NOK/tonn. Denne prisen er valgt basert på det nivået prisen var på i slutten av 2021. Det andre pris-scenarioet er et høypris-scenario, der det har blitt antatt en MGO-pris på 12.500 NOK/tonn. Denne prisen er valgt basert på prisnivået i perioden februar 2022 til april 2022, i tillegg til samtaler med Golden Energy Offshore.

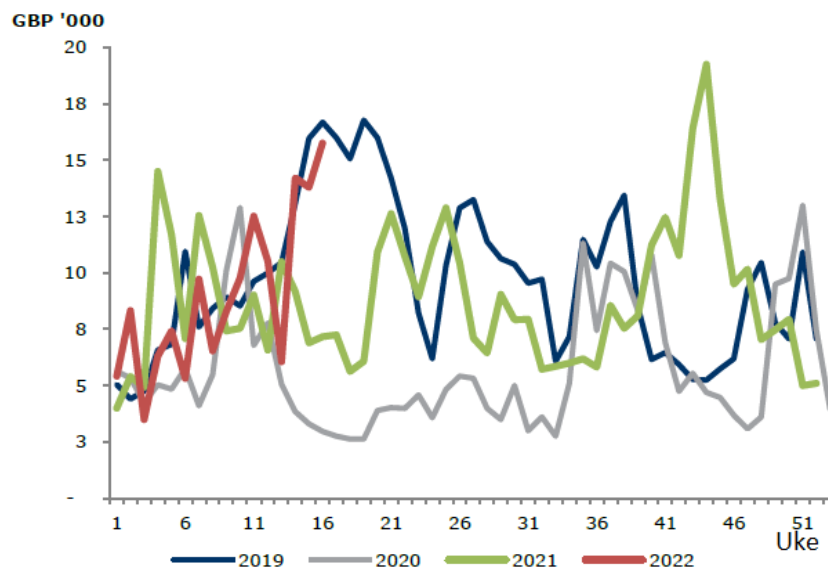
Investeringskostnadene knyttet til de ulike hybridløsningene består av kostnader ved batteriinstallasjon og ombygging til metanoldrift, samt tap av inntekter ved at fartøyet er ute av drift en periode. For hybridløsningen med MGO og batteri består investeringskostnadene av batteriinstallasjon og tap av inntekter i den perioden batteriene installeres. For hybridløsningen med MGO, metanol og batteri er det i tillegg kostnader ved motorkonvertering til metanol. For hybridløsningen med MGO og metanol er kostnadene motorkonvertering og tap av inntekter i perioden hvor konverteringen skjer.

For batteriinstallasjon antas det investeringskostnader på 20–30 millioner NOK [66, 64]. Kongsberg Maritime anslår kostnadene til 20–25 millioner NOK, mens rederiet Eidesvik anslår 25–30 millioner NOK. I denne rapporten er det benyttet det mest konservative anslaget på 25–30 millioner NOK. For ombygging av motorene til metanoldrift er kostnadene antatt basert på erfaringer fra tidligere ombygginger. I eksemplene nevnt i kapittel 4.1 ligger kostnadene på 2400–3900 NOK/kW. Dette er derimot for skip med større motorkapasitet enn Energy Empress. Dersom det antas at disse kostnadene også kan antas for fartøy med mindre motorkapasitet, vil ombygging av en 1628 kW motor og en 994 kW motor på Energy Empress tilsvare kostnader på 6–10 millioner NOK.

Tap av inntekter ved ombygging er estimert etter rater fra Clarkson Platou [16]. Gjennomsnittlige ukentlige spotrater for PSV-er med dekkstørrelse på 500–899 m<sup>2</sup> er vist i Figur 5.6. Fartøyet Energy Empress har dekkstørrelse på 850 m<sup>2</sup>. Fra figuren vises det at dagratene har stor varians. De varierer en del gjennom året, i tillegg til at det er varierer mellom ulike år. Et år som skiller seg ut blant de undersøkte årene er 2020. Dette året skiller seg negativt ut på grunn av generelt lavere dagrater sammenlignet med 2019, 2021 og hittil i 2022. En del av dette kan forklares med utbruddet av koronavirus, og det etterfølgende olje-prisfallet [100]. I ukene og månedene fra mars 2020 lå dagratene på omtrent 3–5000 britiske pund som tilsvarer omtrent 35–60.000 NOK. Til sammenligning lå dagratene på omtrent 180–210.000 NOK i april og mai i 2019. Tap av inntekt ved ombygging er beregnet ved hjelp av Formel (5.7), der  $t_{\text{verft}}$  er antall dager ved verft.

$$\text{Inntektstap} = \text{dagrater} \cdot t_{\text{verft}} \quad (5.7)$$





**Figur 5.6:** Gjennomsnittlige ukentlige spotrater for perioden 2019-Q1.2022. Figuren er hentet fra Clarkson Platou [16].

For å beregne tap av inntekt ved ombygging er det benyttet gjennomsnittlige rater fra tidligere år. Gjennomsnittlig dagrate siste 3 år er 94.875 NOK som vist i Tabell 5.3. Hittil i 2022 har dagratene vært 105.387 NOK, noe som tilsvarer omtrent årsgjennomsnittet for 2019 og 2021 [16]. Dagraterne som er oppgitt er for PSV-er med deksareal på 500–900 m<sup>2</sup>. Energy Empress har deksareal på 850 m<sup>2</sup>, og er derfor en av de større fartøyene i dette intervallet. I tillegg ble fartøyet levert i 2019, og er derfor relativt nytt. Disse to faktorene kan bidra til at dagratene for det aktuelle fartøyet kan være høyere enn gjennomsnittet. Det er derfor estimert dagrater på 110.000 NOK for dette fartøyet.

**Tabell 5.3:** Gjennomsnittlig dagrater i spotmarkedet for PSV 500–900 m<sup>2</sup> for årene 2019–2021. Data er hentet fra Clarkson Platou [16].

År	Gjennomsnittlig dagrate (NOK)
2019	108.388
2020	70.704
2021	105.533
Gjennomsnitt, siste 3 år	94.875

Ombygging av fartøyet til metanol og batteridrift må gjøres ved verft. Erfaringer fra tidligere ombygginger estimerer ombyggingstiden til 2–4 uker [11, 64]. Ombygging av en motor til metanoldrift tok to uker for fartøyet Stena Germanica, mens erfaringene til Eidesvik og Kongsberg Maritime viser at batteriinstallasjon tar 3–4 uker. Ved optimal planlegging er det mulig å installere batteripakker i container på ned mot to uker, om noe av klargjøringen av fartøyet blir gjort mens fartøyet er i drift [66]. Det er likevel knyttet usikkerhet til tidsbruk for begge typer ombygging, alt etter hva som skal gjøres. Montering av nye motorer som er tilpasset metanoldrift vil normalt ta lenger tid enn å bygge om eksisterende motorer. Det samme gjelder batteriombygging; montering av batteri i container på dekk vil normalt ta kortere tid enn ombygging av maskinrom for å plassere batteri der. En fordel med å bygge om til både metanol og batteri er at dette kan gjøres samtidig ved verft, noe som reduserer

---

antall nødvendige verftsopphold. I denne oppgaven er det derfor estimert fire uker til ombygging. Med god planlegging og lite utfordringer underveis, virker dette gjennomførbart.

Inntektstapet som følge av ombyggingen av dette fartøyet er derfor estimert til omtrent tre millioner NOK. Her har det ikke blitt tatt hensyn til reduserte kostnader til drivstoff ved at fartøyet ligger ved verft, og ikke er ute på oppdrag. Dagraten varierer gjennom året, og det kan derfor være gunstig å gjennomføre ombyggingen under “roligere” perioder. Inntektstapet er i denne oppgaven beregnet som en del av investeringskostnaden.

De totale investeringskostnadene estimert for de ulike energiløsningene er presentert i Tabell 5.4. For de to pris-scenariene til MGO blir tilbakebetalingstiden presentert for tre ulike investeringskostnader, og for ulike nivå på metanolprisen. De tre ulike investeringskostnadene er basert på estimatene i Tabell 5.4. Nivåene på metanolprisen er oppgitt som prosent av MGO-pris per energienhet. For hybridløsningen med bare MGO og batteri vil ikke metanolprisen være en påvirkende faktor, derfor blir det ikke presentert resultater for ulike nivåer av denne.

*Tabell 5.4: Estimerte investeringskostnader for de ulike energiløsningene.*

<b>Energiløsning</b>	<b>Estimert investeringskostnad [NOK]</b>
MGO + batteri	28–33 millioner
MGO + metanol + batteri	34–43 millioner
MGO + metanol	9–13 millioner

Det har også blitt gjort beregninger på netto nåverdi. I disse beregningene antas det høypris-scenarior for MGO og at metanolprisen er 70 % av MGO-prisen per energienhet. Investeringskostnadene antas å være det mellomste av de tre investeringsnivåene. Levetiden til hybridløsningen med MGO og batteri antas å være 10 år. For løsningen med MGO og metanol antas det en levetid på 15 år. Hybridløsningen med MGO, metanol og batteri har to ulike levetider å ta hensyn til, både batteri og drift på metanol. Her antas det dermed en levetid på 12 år. Avkastningskravet som er benyttet i forbindelse med beregning av netto nåverdi er hentet fra Enova [62]. For fartøy innen havbruk og fiske er avkastningskravet 7,8 % og for maritim transport er kravet 7,0 %. Fartøyet Energy Empress, og offshore fartøy generelt blir kategorisert som maritim transport. Derfor brukes 7,0 % som avkastningskrav i disse beregningene.

Resultatet blir presentert for tre ulike CO<sub>2</sub>-avgifter, for å vise hvordan denne avgiften påvirker lønnsomheten. Den laveste av disse avgiftene er på 761 NOK/tonn, som den ligger på i dag. Den høyeste er på 2000 NOK/tonn, som avgiften trolig skal stige til frem mot 2030. Dersom denne stigningen er lineær vil den gjennomsnittlige CO<sub>2</sub>-avgiften frem til 2030 være 1381 NOK/tonn. Derfor presenteres resultatene også for denne CO<sub>2</sub>-avgiften.

Siden beregningene av netto nåverdi har blitt gjort med en fast MGO- og metanolpris, samt en fast investeringskostnad, vil disse beregningene kun vise hvordan netto nåverdi vil se ut med de gitte prisnivåene.

---

## 6 Resultater og diskusjon

Gjennom oppgaven er det gjort beregninger på hvordan ulike hybride løsninger vil påvirke drivstofforbruket og klimagassutslippene til fartøyet gjennom ulike driftsprofiler. Tabell 6.1 viser hvor mye klimagassutslipp som knyttes til de forskjellige driftsprofilene med dagens maskinerisystem og bruk av landstrøm. De hybride løsningene det regnes på er løsninger med MGO og batterier, MGO og metanol og en løsning som kombinerer både MGO, batterier og metanol. Det er også gjort grove økonomiske beregninger for å vise lønnsomheten til en eventuell hybridisering og bruk av landstrøm. Dette kapittelet tar for seg resultat og diskusjon fra beregningene som er gjennomført.

**Tabell 6.1:** Utslipp av  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  og PM for hver driftsprofil med nåværende energiløsning.

	Driftsprofil 1	Driftsprofil 2	Driftsprofil 3	Driftsprofil 4
$CO_2$ [tonn]	363	74	261	45
$NO_x$ [kg]	5007	1026	3603	625
$SO_x$ [kg]	132	27	95	17
PM [kg]	172	35	123	21

### 6.1 Driftsprofil 1: Langtidskontrakt - forsyningsoppdrag

Denne driftsprofilen representerer et langtids forsyningsoppdrag fartøyet har hatt. Dette betyr at fartøyet i et slikt oppdrag seiler mellom offshore installasjoner og land med varer og utstyr de trenger på installasjonene. Derfor vil også fartøyet i en et slikt oppdrag bruke mesteparten av tiden i DP, havn og transitt. Forbruk av MGO og metanol for Driftsprofil 1 er presentert i Tabell 6.2.

**Tabell 6.2:** Forbruk av MGO og metanol med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 1.

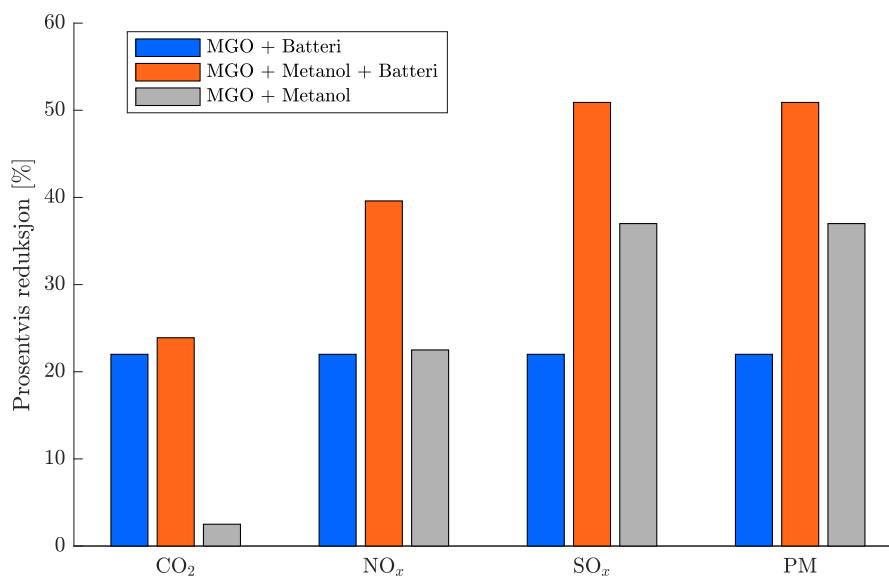
Energiløsning	MGO-forbruk [tonn]	Metanolforbruk [tonn]
MGO	114	0
MGO + Batteri	89	0
MGO + Metanol + Batteri	56	71
MGO + Metanol	72	91

Videre viser Figur 6.1 den prosentvise reduksjonen av klimagasser fartøyet kan oppnå ved tre ulike hybridløsninger. Dette viser at de forskjellige hybridløsningene påvirker klimagassutslippet på ulike måter. Løsningen med MGO og batteri har en lik påvirkning for både  $CO_2$ -,  $NO_x$ -,  $SO_x$ - og PM-utslipp på litt over 20 %. Grunnen til dette er at batteriet reduserer mengden MGO som forbrennes i oppdraget ved å bruke strøm til å drifte fartøyet. Siden strømmen ikke forbrennes og har kjemiske egenskaper, vil den dermed ha lik prosentvis reduksjon på de forskjellige klimagassene.

I motsetning til løsningen med MGO og batterier, har løsningen med MGO og metanol en mer variabel effekt. Dersom målet er å redusere kun  $CO_2$ -utslippene ved hjelp av metanol, viser Figur 6.1 at det vil ha liten effekt. Her må det tas i betraktning at det i utregningene er antatt en andel på 37 % metanol av den totale energien som forbrennes i løpet av oppdraget. På en annen side er det også vist at kombinasjonen med MGO og metanol har omtrent like stor effekt på utslipp av  $NO_x$  som kombinasjonen med MGO og batterier, og at løsningen med metanol er vesentlig mer effektiv mot utslipp av  $SO_x$  og PM. Siden metanolen forbrennes i en forbrenningsmotor, og har en egne kjemiske egenskaper, vil den være mer effektiv mot enkelte klimagasser enn batteriene. Siden fartøyet allerede bruker MGO

type DMA (lav vol% svovelinnhold), vil det i kombinasjon med metanol redusere svovelutslippene ytterligere. Dette vil føre til at fartøyet innfrir kravene for å operere i for eksempel Nordsjøen med god margin. Selv om utslippsgrensene i Nordsjøen kan bli endret, kan dette tiltaket gjøre slik at fartøyet fortsatt kan operere i det området. Dette er avhengig av hvor stor endringen i utslippsgrenser blir.

Fra figuren kommer det også frem at en hybrid løsning som kombinerer både metanol og batterier gir de største reduksjonene. Dette er en løsning som kan redusere utslippene av  $SO_x$  og PM med 50 % og kan redusere utslippene av nitrogenoksid med opp mot 40 %, sammenlignet med dagens energisystem. Når det gjelder kun  $CO_2$ -utslipp, kan de sammenlignes med reduksjonen som ble gitt av hybridløsningen som kun benyttet MGO og batterier.



**Figur 6.1:** Utslipp av klima- og miljøgasser med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 1.

Fra driftsprofilen i Figur 5.1a kan det legges merke til at selv om fartøyet er på en langtidskontrakt bruker den rundt 235 timer i havn av totalt 649 timer. Derfor er det også sett på hvordan tilkobling av landstrøm vil påvirke utslippene til fartøyet. Tabell 6.3 viser utslippsberegninger for tiden fartøyet har i havn dersom fartøyet kan benytte seg av landstrøm. Tabellen viser også samme beregningene dersom fartøyet også er utstyrt med batteripakker i tillegg til landstrøm.

**Tabell 6.3:** Reduksjon av MGO-forbruk og klimagassutslipp ved bruk av landstrøm for Driftsprofil 1.

Andel av havnetid tilkoblet landstrøm		20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Uten batteri	MGO [tonn]	2,7	5,4	8,2	10,9	13,6
	CO <sub>2</sub> [tonn]	8,6	17,2	25,9	34,5	43,1
	NO <sub>x</sub> [kg]	119	238	357	476	595
	SO <sub>x</sub> [kg]	3,1	6,3	9,4	12,6	15,7
	PM [kg]	4,1	8,2	12,2	16,3	20,4
Med batteri	MGO [tonn]	9,1	18,2	27,3	36,4	45,6
	CO <sub>2</sub> [tonn]	28,9	57,8	86,6	115,5	144,4
	NO <sub>x</sub> [kg]	399	797	1196	1595	1993
	SO <sub>x</sub> [kg]	10,5	21,1	31,6	42,2	52,7
	PM [kg]	13,7	27,3	41,0	54,7	68,3

Denne tabellen viser hvilken påvirkning landstrømmen vil ha på klimagassutslippene til fartøyet, utifra hvor stor andel av den totale tiden i havn fartøyet får ligge tilkoblet landstrøm. Tabellen viser at det potensielt kan spares 13,6 tonn MGO for fartøyet dersom det ikke er utstyrt med batterier, og 45,6 tonn dersom det er batterier om bord. Da er det regnet med at landstrømmen tar seg av både hotelldrift og drift av fartøyet, i tillegg til opplading av batteriene. På grunn av lading av batteriene vil derfor fartøyet hatt høyere utslipp ved kai dersom landstrøm ikke benyttes. Tiden fartøyet får ligge tilkoblet landstrøm kan variere dersom det er mange skip i havnen, og at det kan være et begrenset antall kaier med tilkoblingsmuligheter for landstrøm. Derfor er dette potensialet mer relevant når landstrøm blir enda mer tilgjengelig i havneområdene. Et mer sannsynlig mål, slik tilgjengeligheten for landstrøm er i dag, er å prøve å være tilkoblet landstrøm 50 % eller mer av tiden til kai. Med god planlegging er dette sett på som et realistisk mål, og bør jobbes mot for at en slik installasjon skal være lønnsom.

## 6.2 Driftsprofil 2: Spotkontrakt - forsyningsoppdrag

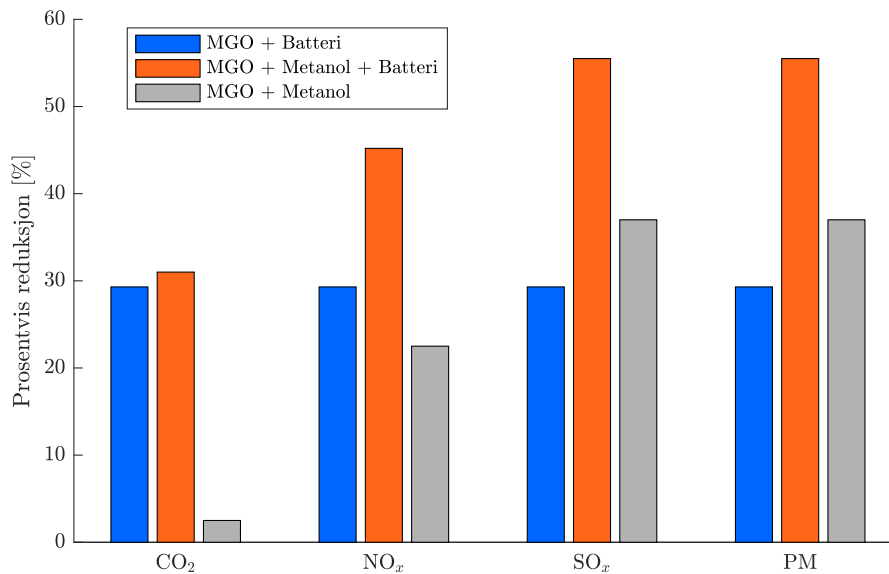
Driftsprofil 2 representerer et spot-oppdrag som også gikk ut på forsyning. Forbruk av MGO og metanol for Driftsprofil 2 er presentert i Tabell 6.4. Tabellen viser drivstofforbruket til fartøyet med dagens MGO løsning, i tillegg til at den viser hvordan drivstofforbruket hadde sett ut med de forskjellige hybride løsningene.

**Tabell 6.4:** Forbruk av MGO og metanol med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 2.

Energiløsning	MGO-forbruk [tonn]	Metanolforbruk [tonn]
MGO	23	0
MGO + Batteri	17	0
MGO + Metanol + Batteri	10	13
MGO + Metanol	15	19

Siden dette er oppdrag som strekker seg over fem dager, er også drivstofforbruket begrenset. Metanol inneholder tilnærmet halvparten av energiinnholdet i MGO, og tabellen viser hvor mye metanol det derfor må regnes med for å kunne levere like mye energi som fartøyet trenger. Fra Tabell 6.1 vises det at fartøyet i løpet av denne perioden slipper ut 74 tonn CO<sub>2</sub>, tilnærmet 1 tonn NO<sub>x</sub>, 27 kg SO<sub>x</sub> og 35 kg PM. Videre viser Figur 6.2 hvordan de forskjellige hybridløsningene vil påvirke utslippet til fartøyet i denne driftsprofilen.

Figuren viser at også for denne driftsprofilen er det løsningen som kombinerer metanol og batteri sammen med MGO som gir de høyeste prosentvise reduksjonene. Denne løsningen vil gi en reduksjon på tilnærmet 55 % for både utslippene av SO<sub>x</sub> og PM. I tillegg vil reduksjonen i NO<sub>x</sub>-utslipp være tilnærmet 45 % sammenlignet med utslippsverdiene fartøyet hadde med eksisterende energiløsning. Når det kommer til CO<sub>2</sub>-utslipp er løsningen med kombinasjonen av metanol og batterier sammenlignbar med løsningen som bare benytter batterier som ekstra energibærere. For denne driftsprofilen kan det også legges merke til at løsningen med MGO og batterier har en prosentvis reduksjon på opp mot 30 %.



**Figur 6.2:** Utslipp av klima- og miljøgasser med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 2.

Løsningen med MGO og metanol har for denne driftsprofilen lav påvirkning på CO<sub>2</sub>-utslippene, men har et høyere reduksjonspotensiale for utslippene av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og PM. For denne driftsprofilen kan det legges merke til at den samlede forskjellen mellom løsningen med MGO og batteri og løsningen med MGO og metanol er lav. Løsning med metanol har større reduksjon av SO<sub>x</sub>- og PM-utslipp, mens batteriløsningen har høyere påvirkning på CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-utslipp. Derfor vil det i dette tilfellet være en vurderingssak hvilken løsning som bør benyttes. Spot-oppdrag er kortere og arbeidet som blir utført kan i større grad variere. Vanligvis vil denne typen oppdrag ha større andel tid i havn. Denne driftsprofilen er en god indikasjon på de tilfellene der arbeidet som utføres varierer. Driftsprofilen i Figur 5.1b viser at fartøyet i denne perioden brukte over halvparten av tiden i DP, noe som gjør at batteriene blir utnyttet på en mer effektiv måte. Dette gjør også at den prosentvise reduksjonen av klimagassutslipp vil være høyere. Potensialet i den prosentvise reduksjonen av klimagassutslipp vil derfor være avhengig av hvor godt en får utnyttet batteriet i oppdraget. Oversikten over driftskondisjoner i den aktuelle driftsprofilen viser også at fartøyet har en lavere andel av brukstiden i havn enn forventet. Tabell 6.5 viser hvordan tilkobling til landstrøm ville påvirket utslippene til fartøyet.

**Tabell 6.5:** Reduksjon av MGO-forbruk og klimagassutslipp ved bruk av landstrøm for Driftsprofil 2.

Andel av havnetid tilkoblet landstrøm		20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Uten batteri	MGO [tonn]	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2
	CO <sub>2</sub> [tonn]	0,7	1,5	2,2	2,9	3,7
	NO <sub>x</sub> [kg]	10	20	30	41	51
	SO <sub>x</sub> [kg]	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3
	PM [kg]	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7
Med batteri	MGO [tonn]	0,8	1,6	2,3	3,1	3,9
	CO <sub>2</sub> [tonn]	2,5	4,9	7,4	9,9	12,3
	NO <sub>x</sub> [kg]	34	68	102	136	170
	SO <sub>x</sub> [kg]	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5
	PM [kg]	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8

Siden fartøyet har en lav andel av tid i havn, vil også utslippene i havn være lavere enn i enkelte andre tilfeller. Tabellen viser at det potensielt kan spares litt over et tonn MGO uten batteri om bord, og at det potensielt kan spares nesten fire tonn MGO dersom fartøyet har batterier. Det er dersom fartøyet får ligge tilkoblet landstrøm under hele havneoppholdet.

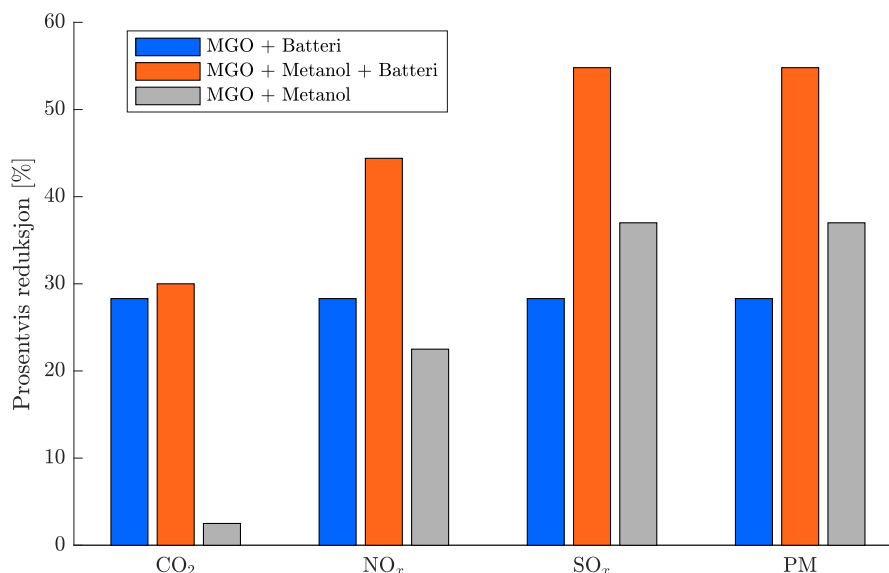
### 6.3 Driftsprofil 3: Gjennomsnittlig langtidskontrakt

Denne driftsprofilen representerer en gjennomsnittlig langtidskontrakt som er utviklet av Golden Energy Offshore. Dette er basert på faktiske kontrakter fartøyet har hatt, og gjenspeiler hvordan driftsprofilen til en typisk langtidskontrakt ser ut. Forbruk av MGO og metanol for Driftsprofil 3 er presentert i Tabell 6.6.

**Tabell 6.6:** Forbruk av MGO og metanol med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 3.

Energiløsning	MGO-forbruk [tonn]	Metanolforbruk [tonn]
MGO	82	0
MGO + Batteri	59	0
MGO + Metanol + Batteri	37	47
MGO + Metanol	52	65

Her vises det at fartøyet under et typisk langtidsoppdrag forbrenner 82 tonn MGO. Fra Tabell 6.1 vises det at 82 tonn MGO tilsvarer blant annet 261 tonn CO<sub>2</sub>, 3,6 tonn NO<sub>x</sub>, 95 kg SO<sub>x</sub> og 123 kg PM. Videre viser Figur 6.3 den prosentvise reduksjonen i klimagassutslipp de ulike hybridløsningene kan føre til.



**Figur 6.3:** Utslipp av klima- og miljøgasser med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 3.

Figuren viser at løsningen med batterier vil ha en stabil reduksjon av klimagassutslippene på opp mot 30 % sammenlignet med de reelle utslippene. Det vises også at løsningen med metanol er effektiv for reduksjon av SO<sub>x</sub> og PM. Fra driftsprofilen i Figur 5.1c kan det legges merke til at fartøyet vil i en typisk langtidskontrakt vil bruke en høy andel av tiden i havn og i DP. Dette vil ha innvirkning på

hvordan den prosentvise reduksjonen av klimagassene vil se ut. I enkelte driftsmoder vil maskineriet og de hybride løsningene kunne driftes mer optimalt. Siden fartøyet har størst andel av tid i havn, vil landstrøm gi gode muligheter for å redusere klimagassutslippene. Tabell 6.7 viser hvordan tilkobling til landstrøm vil påvirke utslippene til fartøyet.

**Tabell 6.7:** Reduksjon av MGO-forbruk og klimagassutslipp ved bruk av landstrøm for Driftsprofil 3.

Andel av havnetid tilkoblet landstrøm		20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Uten batteri	MGO [tonn]	4,0	7,9	11,9	15,9	19,8
	CO <sub>2</sub> [tonn]	12,6	25,2	37,7	50,3	62,9
	NO <sub>x</sub> [kg]	174	347	521	694	868
	SO <sub>x</sub> [kg]	4,6	9,2	13,8	18,4	23,0
	PM [kg]	6,0	11,9	17,9	23,8	29,8
Med batteri	MGO [tonn]	13,3	26,6	39,9	53,2	66,5
	CO <sub>2</sub> [tonn]	42,1	84,3	126,4	168,6	210,7
	NO <sub>x</sub> [kg]	582	1164	1745	2327	2909
	SO <sub>x</sub> [kg]	15,4	30,8	46,2	61,6	77,0
	PM [kg]	19,9	39,9	59,8	79,8	99,7

Tabellen viser at det i langtidskontrakter er gode muligheter for å spare drivstoff ved hjelp av landstrøm. Ved maksimal utnyttelse av landstrøm kan det spares opp mot 20 tonn drivstoff, noe som tilsvarer tilnærmede 63 tonn CO<sub>2</sub> og 900 kg NO<sub>x</sub>. I SO<sub>x</sub> vil dette utgjøre 23 kg og 30 kg PM. Dette er dersom det installeres landstrøms anlegg uten batterier om bord. Siden maksimal utnyttelse av landstrøm er vanskelig å oppnå, er 50–60 % utnyttelse et mer realistisk mål. Dette vil fortsatt utgjøre opp mot 38 tonn CO<sub>2</sub> og 520 kg NO<sub>x</sub>. I tabellen kan det også legges merke til at dersom det installeres både landstrømsanlegg og batterier om bord, vil dette gi høyere muligheter for reduksjon av klimagasser.

#### 6.4 Driftsprofil 4: Gjennomsnittlig spotkontrakt

Denne driftsprofilen representerer en gjennomsnittlig spot-kontrakt. Dette er også en driftsprofil som er utviklet av Golden Energy Offshore for å vise hvordan fartøyet driftes i et gjennomsnittlig spot-oppdrag. Forbruk av MGO og metanol for Driftsprofil 4 er presentert i Tabell 6.8.

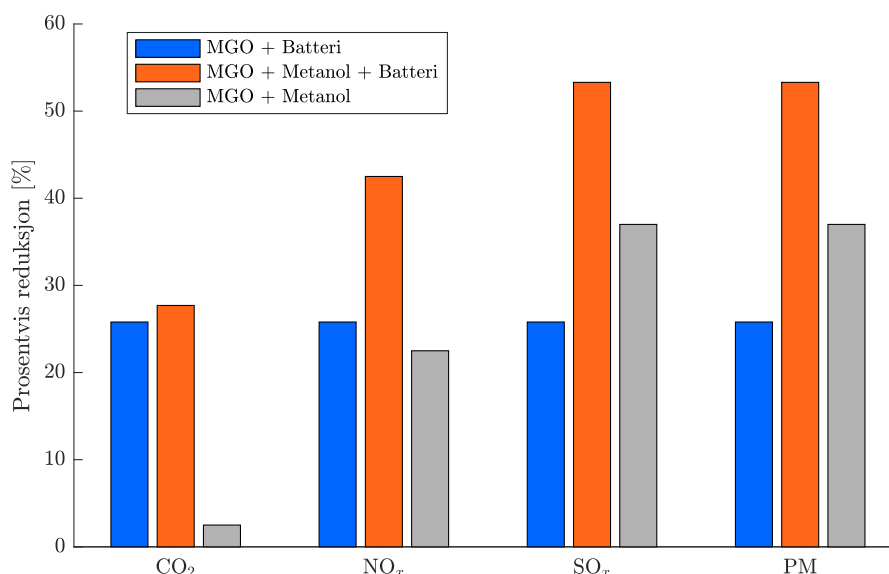
**Tabell 6.8:** Forbruk av MGO og metanol med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 4.

Energiløsning	MGO-forbruk [tonn]	Metanolforbruk [tonn]
MGO	14	0
MGO + Batteri	11	0
MGO + Metanol + Batteri	7	8
MGO + Metanol	9	11

Dette viser at det typiske spot-oppdraget bruker i nærheten av 15 tonn drivstoff. Noe som blant annet tilsvarer opp mot 50 tonn CO<sub>2</sub>. Fra Figur 5.1d kan det sees at fartøyet har 84 timer i havn, noe som utgjør 70 % av oppdragets tid på totalt 120 timer. Med den lave virkningsgraden i havn er det her gode muligheter for å redusere drivstofforbruk og utslipp. En hybrid løsning med batteri vil her kunne gjøre at motorene kan kjøres på høyere belastning, og samtidig lade opp batteriene. Dette gir et lavere



spesifikt drivstofforbruk i havn. Det er også brukt større andeler av tiden i transit. I Figur 6.4 er det vist den prosentvise reduksjonen av klimagassutslipp som de forskjellige hybridløsningene vil føre til.



**Figur 6.4:** Utslipp av klima- og miljøgasser med de ulike energiløsningene for Driftsprofil 4.

Dette viser at batteriene vil gi tilnærmet 25 % reduksjon av klimagassutslippene sammenlignet med dagens løsning. Sammenlignet med løsningen som kun benytter metanol i tillegg til MGO, vil batteriløsningen gi en mer stabil reduksjon for de nevnte klimagassene. Løsningen med metanol vil redusere en større andel SO<sub>x</sub>- og PM-utslipp.

Med 70 % av tiden i havn er det som nevnt gode muligheter for å redusere forbruk og utslipp ved å bruke batteri til å optimalisere driften på motorene. I tillegg til dette åpner det også opp for enda mer utnyttelse av landstrøm. Tabell 6.9 viser hvor mye MGO-forbruk og klima- og miljøgasser reduseres dersom landstrøm benyttes for Driftsprofil 4.

**Tabell 6.9:** Reduksjon av MGO-forbruk og klimagassutslipp ved bruk av landstrøm for Driftsprofil 4.

Andel av havnetid tilkoblet landstrøm		20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
Uten batteri	MGO [tonn]	1,0	1,9	2,9	3,9	4,9
	CO <sub>2</sub> [tonn]	3,1	6,2	9,3	12,4	15,4
	NO <sub>x</sub> [kg]	43	85	128	171	213
	SO <sub>x</sub> [kg]	1,1	2,3	3,4	4,5	5,6
	PM [kg]	1,5	2,9	4,4	5,8	7,3
Med batteri	MGO [tonn]	3,3	6,5	9,8	13,1	16,3
	CO <sub>2</sub> [tonn]	10,4	20,7	31,1	41,4	51,8
	NO <sub>x</sub> [kg]	143	286	429	572	715
	SO <sub>x</sub> [kg]	3,8	7,6	11,3	15,1	18,9
	PM [kg]	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5

Resultatene viser at det kan spares opp mot fem tonn MGO dersom landstrøm kan benyttes 100 % av tiden i havn. Dette tilsvarer 35 % av det totale MGO-forbruket for hele oppdraget. Dersom det i tillegg er batteri installert kan det potensielt sett spares 16 tonn MGO. Dette er mer MGO enn det

---

som brukes gjennom hele oppdraget per dags dato. Dersom fartøyet kun kan være tilkoblet landstrøm 60 % av tiden, vil det fortsatt være mulig å spare 10 tonn MGO. Dette tilsvarer 70 % av det totale MGO-forbruket for oppdraget. På et oppdrag lignende dette, der stor andel av tiden er i havn, viser disse resultatene at det er mye som kan spares ved å benytte seg av landstrøm.

## 6.5 Sammenligning av driftsprofiler

Tidligere resultater viser at den prosentvise reduksjonen av klimagasser som kan oppnås varierer med driftsprofilen til fartøyet. Resultatene viser at løsningen som kombinerer både MGO, batterier og metanol gir de høyeste reduksjonene av klimagassutslipp for alle driftsprofilene. Selv om løsningen gir de høyeste reduksjonene, er det også den løsningen det er knyttet høyest investeringskostnader til. Dette er fordi denne løsningen krever flere komponenter og flere sikkerhetstiltak sammenlignet med løsningene som bruker enten batterier eller metanol. Til denne hybridløsningen er det også knyttet usikkerheter. En av usikkerhetene er hvordan systemene fungerer sammen, om kombinasjonen kan føre til komplikasjoner i driften. Det diskuteres tidligere i rapporten hvilke systemer som blir påvirket i en batteri hybridisering. I tillegg til disse kan integreringen av metanol føre til flere modifikasjoner som må utføres på eksisterende systemer. Omfanget av modifikasjonene er per i dag usikkert.

Videre kommer det frem at integrering av batterisystem i det eksisterende fremdriftssystemet vil redusere de nevnte klimagassutslippene med 20–30 %. Dette er en jevn reduksjon, der det antas at batteriene for det meste blir brukt til peak shaving. Med en stabil og optimal belastning på motorene vil klimagassutslippene reduseres, noe som også vises i Figur 2.4 og Figur 5.2. Under oppdrag som krever store andeler av tiden i DP, kan også batteriene brukes som spinning reserve. I DP2-operasjoner er det blant annet krav om at det ikke skal mistes mer enn 50 % av fremdriften dersom det oppstår en feil i systemet. Derfor har enkelte oppdragsgivere krav om at fartøyet skal kjøres med enten åpen eller lukket bus tie breaker [16]. Arbeidsgiver kan også gi krav om hvor mange motorer som skal være tilkoblet fremdriftssystemet samtidig, og hvor mange som skal være i spinning reserve. I enkelte tilfeller kan det være krav om at alle motorene skal være på, men at kun to av motorene er tilkoblet og leverer strøm til fartøyet. Dersom det oppstår en feil på en av de påkoblede motorene, kan dermed en av de andre motorene kobles inn umiddelbart. I batterihybridiseringer kan dermed batteriet innta rollen som en av de aktive komponentene i spinning reserve.

For løsningen med MGO og metanol kommer det av resultatene frem at dette er en løsning som er mer effektiv mot SO<sub>x</sub>- og PM-utslipp. Dette er på grunn av den kjemiske sammensetningen til metanol, og forskjellene i forhold til den kjemiske sammensetningen til MGO. For CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-utslipp oppnår løsningen med metanol en mindre eller lik prosentvis reduksjon sammenlignet med løsningen med batterier. Dette er tilfelle for de fleste driftsprofilene. Det kan derfor tenkes at konvertering til metanol for deler av fremdriftssystemet kan fungere som et tiltak for å innfri kravene til å operere i SECA-områder. Ved å inkludere et eksosrensingsanlegg, enten av type scrubber eller SCR, vil dette bidra til ytterligere reduksjoner i klimagassutslippene.

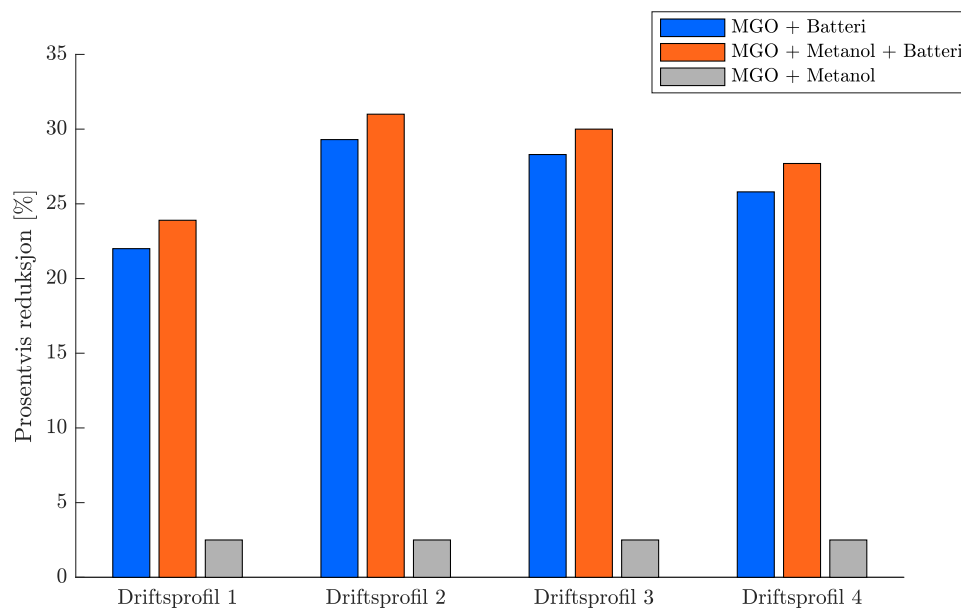
Resultatene gir en indikasjon på hvilke hybridløsninger som passer til spot- og langtidsoppdrag. I resultatene kan det legges merke til at batteriløsningen har en lavere prosentvis reduksjon av klimagasser for Driftsprofil 1, noe som gjør at metanoløsningen har like god reduksjon av NO<sub>x</sub>-utslipp som batteriløsningen. Disse resultatene kan drøftes mot driftsprofilene for langtidsoppdrag. Figurene 5.1a og 5.1c viser at Driftsprofil 1 er et av de oppdragene som skiller seg ut fra gjennomsnittet. Driftsprofil 1 har en større andeler av driftstiden i fast-transit og transit enn Driftsprofil 3. For Driftsprofil 3 kan det derimot legges merke til at over halvparten av driftstiden tilbringes i havn, mens andelene

---

for DP er tilnærmet lik for de to driftsprofilene. Dette kan tyde på at løsningen for metanol har en bedre virkning for oppdrag som har større andeler i transit-moder. Dette kan være på grunn av at det i transit-moder kreves mer energi fra motorene til fremdrift og at de kjøres på en mer optimal belastning.

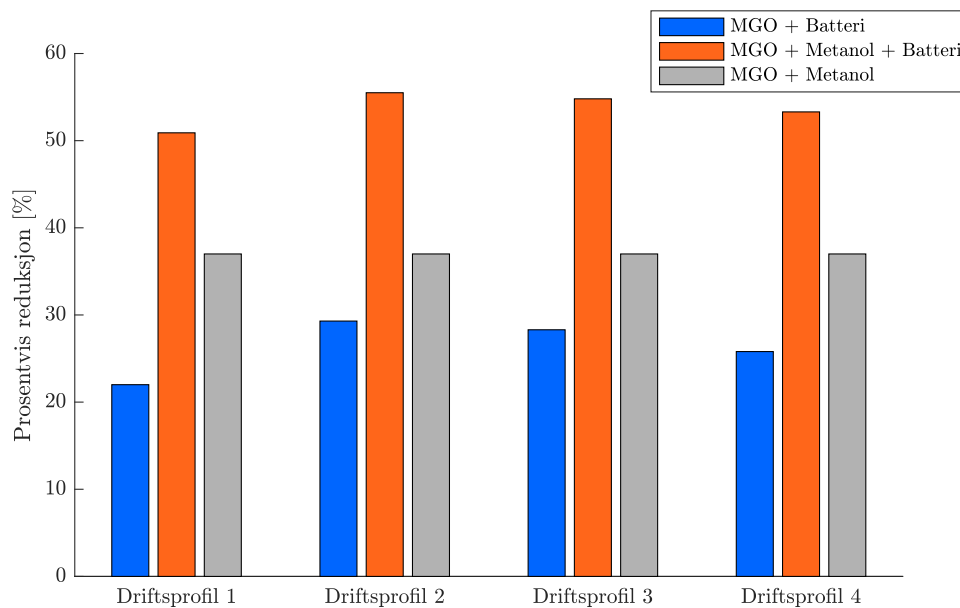
## 6.6 Grønn metanol

For resultatene som er presentert for de ulike driftsprofilene er det regnet med at metanolen som blir benyttet ikke benevnes som fornybar grønn metanol. Selv om metanol bidrar til å redusere klimautslippene på farteøyet, er det også klimautslipp knyttet til produksjonen av metanolen som brukes om bord i fartøyet. Figur 6.5 viser hvordan CO<sub>2</sub>-utslippene til fartøyet påvirkes av de forskjellige hybridløsningene.



*Figur 6.5: Reduksjon av CO<sub>2</sub> for hver driftsprofil.*

Dette viser at for redusering av CO<sub>2</sub>-utslipp vil ikke-fornybar metanol gi lav effekt. Figur 6.6 viser derimot hvordan CO<sub>2</sub>-utslippene hadde blitt påvirket dersom det ble brukt fornybar eller grønn metanol. Fra teorien om metanol er det vist hva som kjennetegner de forskjellige benevnelsene for metanol.



**Figur 6.6:** Reduksjon av CO<sub>2</sub> for hver driftsprofil dersom metanolen regnes som grønn.

Det viser at ved bruk av fornybar og grønn metanol i alle driftsprofilene kan oppnås opp mot 40 % reduserte klimagassutslipp, sammenlignet med dagens utslippstall. Dette er 30 % høyere reduksjon enn det som oppnås ved bruk av ikke-fornybar metanol. Tiltaket med å bruke fornybar grønn metanol vil også påvirke løsningen som kombinerer både metanol og batterier, i den form at løsningen vil kutte 50 % av CO<sub>2</sub>-utslippene til fartøyet. Grunnen til at fornybar eller grønn metanol har denne virkningen, er at de klimagassene som slippes ut gjennom forbrenning av metanol uansett ville blitt sluppet ut. Denne typen metanol vil dermed være det som kalles klimanøytral, siden den ikke bidrar til ytterligere utslipp av klimagasser. Selv om fornybar eller grønn metanol viser til gode resultater for reduksjon av utslipp, er det en usikkerhet knyttet til tilgjengeligheten til disse typene metanol. Siden mesteparten av metanol som produseres i dag blir fremstilt fra naturgass, er tilgjengeligheten for fornybar eller grønn metanol lav. Det er derfor tenkelig at en overgang til grønn metanol er en modifikasjon som kan gjøres ved en senere anledning, dersom tilgjengeligheten øker og det satses på en hybrid løsning som innebærer bruk av metanol.

## 6.7 Økonomi

Tilbakebetalingstid for hybridløsningen med MGO og batteri er vist i Tabell 6.10 for lavpris-scenariet og høypris-scenariet til MGO, samt for tre ulike investeringskostnader.

**Tabell 6.10:** Tilbakebetalingstid i år for energiløsningen MGO og batteri.

	Investeringskostnad [NOK]		
	25.000.000	30.000.000	35.000.000
MGO lav	10	13	15
MGO høy	6	7	9

Resultatet viser at tilbakebetalingstiden er 10–15 år ved lavpris-scenariet til MGO og 6–9 år ved høypris-scenariet. Siden levetiden til batteriene kan være 10 år er det derfor trolig lite lønnsomt

med denne hybridløsningen dersom MGO prisen er lav. Etter 10 år må da batteriene byttes ut, og dersom det tar 10 år å tjene inn investeringen, så tjenes det ingenting på det. Det er derimot mulig for batteriene å ha en lengre levetid. Teknologien utvikler seg raskt, og dersom batteriene driftes på en optimal måte, kan levetiden være lenger. I et slikt tilfelle vil også en lav MGO pris kunne være lønnsom. For en høy MGO-pris viser resultatet at tilbakebetalingstiden for alle investeringskostnadene er mindre enn 10 år. Dersom batteriene har en levetid på minst 10 år vil det være lønnsomt. Det mest lønnsomme tilfellet for denne hybridløsningen er dersom MGO-prisen er høy og investeringskostnaden er så lav som mulig. Tilbakebetalingstiden som er beregnet for den høypris-scenarioet i denne rapporten stemmer godt overens med erfaringer fra Kongsberg Maritime [66]. De estimerer en tilbakebetalingstid på 5–10 år. Dette er et grovt anslag, da det vil variere mellom ulike fartøy, og hvordan driftsprofilen er.

Tabell 6.11 viser tilbakebetalingstiden for hybridløsningen med MGO, batteri og metanol. Her er det også presentert for ulike nivå på metanolprisen sammenlignet med MGO-prisen.

**Tabell 6.11:** Tilbakebetalingstid i år for energiløsningen MGO, batteri og metanol.

	Metanolpris [NOK/tonn]	Metanolpris som prosent av MGO-pris (pris per energienhet)	Investeringskostnad [NOK]		
			30.000.000	35.000.000	40.000.000
MGO lav	1213	40 %	8	10	11
	1516	50 %	9	10	12
	1819	60 %	9	11	13
	2122	70 %	10	12	13
	2426	80 %	11	12	14
	2729	90 %	11	13	15
MGO høy	2332	40 %	5	6	6
	2916	50 %	5	6	7
	3499	60 %	5	6	7
	4082	70 %	6	7	8
	4665	80 %	6	7	8
	5248	90 %	7	8	9

For denne hybridløsningen er det en tilbakebetalingstid på 8–15 år for lavpris-scenarioet til MGO, og 5–9 år ved høypris-scenarioet. Dersom det antas batterilevetid på 10 år og lav MGO pris, så er det lite sannsynlig at det er lønnsomt. Ved den lavest oppgitte investeringskostnaden på 30.000.000 NOK og lavest oppgitte metanolprisen på 1213 NOK/tonn er det da 8 års tilbakebetalingstid. For at det med disse antakelsene skal være lønnsomt er det avhengig av at metanolprisen er så lav som mulig og at investeringskostnadene er så lave som mulig. Dersom batteriene skulle holde lenger enn 10 år, øker sannsynligheten for at det er lønnsomt. Fremtidig utvikling i batteriteknologi kan dermed gjøre at dette lavpris-scenarioet til MGO er lønnsomt.

Dersom MGO-prisen derimot er høy, er det mye større sannsynlighet for at energiløsningen er lønnsom. Ved den høyeste oppgitte investeringskostnaden og den høyeste oppgitte metanolprisen er det 9 år tilbakebetalingstid. Dette er mindre enn antatt levetid på batteriene. Dette tilfellet er ikke det mest lønnsomme og vil ikke gi mange år med fortjeneste, men dersom metanolprisen er mindre og investeringskostnadene er mindre, kan dette føre til kortere tilbakebetalingstid. Det mest lønnsomme tilfellet oppgitt i Tabell 6.11 er med en tilbakebetalingstid på 5 år. Med 10 år batterilevetid vil det da være 5 år med fortjeneste. Tabell 6.12 viser tilbakebetalingstiden for hybridløsningen med MGO og metanol.

**Tabell 6.12:** Tilbakebetalingstid i år for energiløsningen med MGO og metanol.

	Metanolpris [NOK/tonn]	Metanolpris som prosent av MGO-pris (pris per energienhet)	Investeringskostnad [NOK]		
			5.000.000	10.000.000	15.000.000
MGO lav	1213	40 %	3	6	10
	1516	50 %	4	8	11
	1819	60 %	5	9	14
	2122	70 %	6	12	18
	2426	80 %	9	18	27
	2729	90 %	16	32	48
MGO høy	2332	40 %	2	3	5
	2916	50 %	2	4	6
	3499	60 %	3	5	8
	4082	70 %	3	7	10
	4665	80 %	5	10	15
	5248	90 %	9	18	28

Med en hybrid løsning med MGO og metanol viser resultatene at en slik investering kan gi relativt korte tilbakebetalingstider. For lavpris-scenarioet til MGO kan tilbakebetalingstiden bli ned mot 3 år. I dette tilfellet er det ikke batteri, og dermed ikke en begrenset levetid. Det kan antas at levetiden for metanoldrift er betydelig lengre enn for batteri. Derfor vil en tilbakebetalingstid på 3 år være lønnsomt. Ved høyere investeringskostnader og høyere metanolpriser kan det derimot bli en tilbakebetalingstid på opp til 48 år. Selv med lengre levetid er dette ikke å regne som lønnsomt.

For høypris-scenarioet til MGO er tilbakebetalingstiden beregnet til å være mellom 2 og 28 år. Resultatene viser her at det er mye større sannsynlighet for at hybridiseringen er lønnsom. Dersom metanolprisen er mindre enn 4000 NOK/tonn vil tilbakebetalingstiden være 10 år eller mindre. Siden det kan antas levetid betydelig lengre enn 10 år, er dette å regne som lønnsomt. Ved lavere metanolpriser kan tilbakebetalingstiden bli så lav som 2 år. Da er det mange år med fortjeneste. Dersom metanolprisen nærmer seg MGO-prisen og investeringskostnaden blir høy, viser derimot resultatene at det kan bli lite lønnsomt.

Resultatene presentert i Tabell 6.10, Tabell 6.11 og Tabell 6.12 viser at det er løsningen med MGO og metanol som gir den potensielt sett laveste tilbakebetalingstiden, på 2 år. Løsningen med MGO og batteri har 6 år, mens løsningen med MGO, metanol og batteri har 5 år som laveste tilbakebetalingstid. Siden løsningen med MGO og metanol har lengre levetid enn de med batteri, er det dermed større sannsynlighet for at dette er lønnsomt, dersom metanolprisen er lav. Det som derimot er verdt å merke seg er at løsningene med batteri har mer stabil tilbakebetalingstid enn den uten batteri. Hybridisering med MGO og metanol viser mye større sensitivitet ved varierende metanolpris. For lav MGO-pris og høyeste investeringskostnad varierer løsningen med MGO, metanol og batteri fra 11–15 år, altså et intervall på 4 år. For løsningen uten batteri varierer den fra 10–48 år, altså et intervall på 38 år. Selv om det kan se ut som at MGO og metanol er den mest lønnsomme løsningen, så kan det potensielt sett bli veldig kostbart dersom metanolprisen stiger mye i fremtiden.

Resultatene viser tilbakebetalingstiden både for lavpris- og høypris-scenarioet til MGO. Det kan likevel diskuteres hvilke av disse scenarioene som er mest sannsynlig, basert på utviklingen av MGO-prisen de siste årene. Figur 4.1 viser denne utviklingen. Bortsett fra en nedgang i starten av 2020, som kan forklares av utbruddet av korona-virus, viser figuren at tendensen er en stigende MGO-pris. Med denne trenden er det mest sannsynlig at høypris-scenarioet er det som stemmer best.

Når det gjelder metanolprisen, så er utviklingen av denne de siste årene vist i Figur 4.2. Denne viser en nedgang fra våren 2019 til sommeren 2020. Siste halvdel av 2020 var det en betydelig økning i prisen, men etter dette har utviklingen flatet ut. Gjennomsnittlig metanolpris i 2021 og første kvartal av 2022 ser ut til å ligge på 3000–4000 NOK/tonn for spot-markedet. Basert på utviklingen kan det være realistisk at prisen de neste årene ligger på 3000–5000 NOK/tonn, men dette er det knyttet stor usikker rundt.

En faktor som har blitt antatt som konstant så langt er CO<sub>2</sub>-avgiften. Det er derimot sannsynlig at denne vil stige de neste årene. Økt CO<sub>2</sub>-avgift gir større kostnader ved utslipp av CO<sub>2</sub>. Derfor kan det være mer å tjene på hybridisering. Tabell 6.13 viser tilbakebetalingstid for hybridløsningen med MGO og batteri dersom CO<sub>2</sub>-avgiften er 2000 NOK/tonn CO<sub>2</sub>. Denne tabellen kan sammenlignes med Tabell 6.10, som viser samme resultat, men for CO<sub>2</sub>-avgift på 761 NOK/tonn CO<sub>2</sub>.

**Tabell 6.13:** Tilbakebetalingstid i år for hybridløsningen med MGO og batteri, dersom CO<sub>2</sub>-avgiften er 2000 NOK/tonn CO<sub>2</sub>.

	Investeringskostnad [NOK]		
	25.000.000	30.000.000	35.000.000
MGO lav	7	9	10
MGO høy	5	6	7

Her kan det observeres at tilbakebetalingstiden er mindre i samtlige scenarioer. For lavpris-scenarioet til MGO er tilbakebetalingstiden redusert med 3–5 år. I dette tilfellet er den nå i alle tilfellene 10 år eller mindre. For høypris-scenarioet reduseres den med 1–2 år. Med økende CO<sub>2</sub>-avgift og batterilevetid på minst 10 år blir altså batterihybridisering en mer aktuell energiløsning. Metanol vil også være en aktuell løsning med økende CO<sub>2</sub>-avgifter, siden det vil redusere utslippet. Metanol vil derimot ha en mye større effekt dersom den blir regnet som grønn metanol. I dette tilfellet, vil kostnader knyttet til CO<sub>2</sub>-avgiften reduseres i mye større grad enn dersom det for eksempel er grå metanol.

Resultatene fra beregningene av netto nåverdi for hver av hybridløsningene er vist i Tabell 6.14.

**Tabell 6.14:** Netto nåverdi for de ulike energiløsningene, gitt i millioner NOK.

	CO <sub>2</sub> -avgift		
	761 NOK/tonn	1381 NOK/tonn	2000 NOK/tonn
MGO + Batteri	-1,8	1,9	5,6
MGO + Metanol + Batteri	5,8	10,3	14,8
MGO + Metanol	3,7	4,2	4,7

Disse resultatene viser at det for de aller fleste tilfeller er lønnsomt å gjennomføre en hybridisering. Det eneste tilfellet som gir negativ netto nåverdi er for løsningen med MGO og batteri, der CO<sub>2</sub>-avgiften er 761 NOK/tonn. Her er netto nåverdi lik -1,8 millioner NOK. For den gjennomsnittlige CO<sub>2</sub>-avgiften er den derimot lik 1,9 millioner NOK, som tilsvarer 6 % av investeringskostnaden. Ved samme CO<sub>2</sub>-avgift er netto nåverdi for løsningen med MGO, metanol og batteri lik 10,3 millioner NOK, som tilsvarer 29 % av investeringskostnaden. Tilsvarende for løsningen med MGO og metanol er netto nåverdi lik 4,2 millioner NOK, som tilsvarer 42 % av investeringskostnaden.

Resultatene viser at det er løsningen med MGO, metanol og batteri som har den høyeste netto nåverdien. Dersom det kun blir sett på hvor stor netto nåverdi er sammenlignet med investeringskost-

---

naden, er det løsningen med MGO og metanol som kommer best ut. For de tre ulike CO<sub>2</sub>-avgiftene er netto nåverdi her 37 %, 42 % og 47 % av investeringskostnaden. Løsningen med MGO og batteri skiller seg her ut som det minst lønnsomme alternativet. Denne løsningen vil gi en netto nåverdi på -6 %, 6 % og 19 % av investeringskostnaden, avhengig av nivå på CO<sub>2</sub>-avgiften.

Basert på beregningene av netto nåverdi er altså løsningene som inneholder metanol mest lønnsomme. En hybrid løsning med MGO og batteri er avhengig av lavere investeringskostnader og høyere CO<sub>2</sub>-avgift for at det skal være lønnsomt. En annen faktor som kan påvirke netto nåverdi for denne løsningen er levetiden til batteriene. Dersom levetiden er lengre enn 10 år, kan denne løsningen være mer lønnsom.

## 6.8 Usikkerhet i beregninger

Alle resultatene presentert i denne rapporten har usikkerhet knyttet til seg i ulik grad. Utgangspunktet for det fleste beregningene er antakelsene om gjennomsnittlig drivstofforbruk ved de ulike driftskondisjonene og gjennomsnittlig virkningsgrad ved de ulike driftskondisjonene, som er oppgitt i Tabell 5.1. Antakelsene om gjennomsnittlig drivstofforbruk er gjort basert på det som er oppgitt i Shortspec til Energy Empress. Her er det derimot ikke oppgitt tall spesifikt for alle de driftskondisjonene som er definert i denne rapporten. For driftskondisjonen DP er det for eksempel i Shortspec oppgitt for ulike værforhold, men ikke for DP1 og DP2. Det er også oppgitt tall for ulike hastigheter fartøyet seiler med, men ikke spesifikt for manøvrering, slow transit, transit og fast transit.

Antakelsene rundt virkningsgradene er gjort basert på data oppgitt i ytelsesdata til motorene. Det er derimot ikke gitt at motorene i virkeligheten vil operere akkurat slik det er oppgitt i ytelsesdataene. Virkningsgradene som er antatt påvirker hvor mye drivstoff som reduseres i de ulike driftskondisjonene. Driftsprofilene som er undersøkt i denne oppgaven har ulik fordeling av tiden på de ulike driftskondisjonene. Når driftsprofilene skal sammenlignes er det andelen av tid på de ulike driftskondisjonene, samt virkningsgradene som gir grunnlaget for sammenligningen. En driftsprofil med en stor andel av tiden i DP og i havn vil trolig kunne redusere forbruk og utslipp mer enn en driftsprofil med lav andel av tiden i DP og i havn, siden disse driftskondisjonene har de laveste virkningsgradene. Usikkerhet knyttet til virkningsgradene gir dermed også usikkerhet knyttet til sammenligningen av de ulike driftsprofilene.

Det er også gjort antakelse rundt hvor mye det er mulig å redusere SFoC. Her er det antatt at det for alle driftskondisjoner er mulig å redusere det til 230 g/kWh. Dette er en verdi som er teoretisk mulig, men mangler data for å si om det er realistisk. Dersom det i virkeligheten er mest realistisk at den heller kan reduseres til 250 g/kWh, vil det trolig kunne påvirke resultatet.

For de økonomiske beregningene er det stor usikkerhet rundt flere faktorer. Investeringskostnader har det blitt gjort anslag på basert på andres erfaringer. Det er derimot vanskelig å estimere en nøyaktig verdi på kostnadene til et slikt prosjekt basert på tilgjengelig data. Drivstoffkostnader er også et stort usikkerhetsmoment, siden det er vanskelig å forutsi fremtidig utvikling i MGO- og metanolpriser. Det samme gjelder CO<sub>2</sub>-avgiften. For det økonomiske aspektet til dette prosjektet har det derimot blitt tatt hensyn til usikkerhet i presentasjonen av resultatene, ved at de presenteres for ulike investeringskostnader og drivstoffkostnader.

På grunn av usikkerheten knyttet til beregningene i dette prosjektet bør resultatene ikke tolkes som et fasitsvar, men heller som en indikasjon på hvordan hybridisering av Energy Empress vil påvirke drivstofforbruk, klima- og miljøgassutslipp og det økonomiske aspektet til hybridiseringen.



---

## 7 Konklusjon

Beregningene av klima- og miljøgassutslipp viser at alle de ulike hybridløsningene gir reduserte utslipp. Det kan konkluderes med at løsningene med batteri er de som gir størst prosentvis reduksjon av CO<sub>2</sub>. For utslipp av SO<sub>x</sub> og PM er det derimot løsningene med metanol som gir størst prosentvis reduksjon. Hvilken løsning som er best for reduksjon av NO<sub>x</sub>-utslipp er avhengig av driftsprofilen. Her kan det konkluderes med at en batteriløsning er best for reduksjon av NO<sub>x</sub>-utslipp dersom driftsprofilen har store andeler av tiden i DP eller i havn. Dersom driftsprofilen har mindre andel av tiden i DP eller i havn, er en metanoløsning best. Generelt sett er løsningen med både MGO, metanol og batteri den som gir de største utslippsreduksjonene for alle typer utslipp. Dersom metanolen som produseres er regnet som grønn, viser resultatene at metanol kan redusere CO<sub>2</sub>-utslipp mer enn batteri. Videre kan det også benyttes eksosrensing i form av scrubber eller SCR-anlegg for å redusere utslipp av henholdsvis SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub>.

Når det gjelder det økonomiske aspektet ved de ulike energiløsningene, så kan det konkluderes med at de fleste løsningene er lite lønnsomme ved lave MGO-priser. Eneste unntaket er løsningen med MGO og metanol. Dette kan være lønnsomt ved lave MGO-priser, dersom investeringskostnadene og metanolprisene også er lave. Ved høy MGO-pris er alle løsningene lønnsomme, så lenge ikke investeringskostnadene er høye og metanolprisen er høy. Videre viser de økonomiske beregningene at det er løsningen med MGO, metanol og batteri som gir høyest netto nåverdi. Det er derimot denne som har de største investeringskostnadene. Løsningen med MGO og metanol er den som gir høyest netto nåverdi som prosent av investeringskostnad. Med de gitte forutsetningene for beregningene av netto nåverdi kan det dermed konkluderes med at løsningen med MGO og metanol er den mest lønnsomme.

Basert på resultatene knyttet til landstrøm, kan det konkluderes med at det er et høyt potensial for drivstoffbesparelse ved å benytte seg av landstrøm når fartøyet er i havn. Dette gjelder spesielt for driftsprofiler der en stor andel av tiden er i havn. I tillegg til landstrøm, kan det også spares drivstoff ved å gjøre tiltak for energieffektivisering. Dette kan for eksempel være å benytte seg av skytjenester som presenterer ulike driftsdata for fartøyet.

---

## 8 Videre arbeid

Dette kapittelet tar for seg forslag til ulike tema det kan jobbes videre med. Gjennom arbeidet med den gitte oppgaven er det funnet forskjellige tema som kan bidra til at et slikt prosjekt kan bli lettere å utføre. Forslagene kan blant annet inneholde tema hvor teknologien er relativt ny, og som det derfor er utfordrende å finne informasjon om i dag.

### Motorer drevet av kun metanol

Gjennom oppgaven er det funnet ut at eksisterende dieselmotorer kan bygges om til å kunne drives av metanol. Dette er det videre tatt høyde for i oppgaven. En usikkerhet knyttet til dette er virkningsgraden den konverterte motoren har. Det kan tenkes at motorer som er bygget for å kunne drives kun av metanol vil være mer optimaliserte, og dermed også ha bedre virkningsgrad. Videre arbeid med dette tema kan gi bedre ytelsesdata for motorene, vil dermed bidra til bedre muligheter for beregninger for slike anlegg.

### Økonomi

I kapittelet om økonomi er gjort anslag og beregninger på inntekter og utgifter ved de ulike ombyggingene. Disse dataene er det knytt stor usikkerhet til. Investeringskostnader vil variere fra fartøy til fartøy, mens det har i denne oppgaven blitt brukt grove anslag fra relevante aktører med erfaring fra ombygging av lignende fartøy. Fremtidige priser på de ulike drivstoffene vil også være vanskelig å forutsi. Det er likevel bred enighet om at prisen på MGO vil øke de kommende årene. Denne rapporten gir en pekepinn på hva som kan være lønnsomt, og forslag til videre arbeid kan derfor være å gjøre grundigere analyse av de ulike økonomiske aspektene i oppgaven for å kvalitetsikre funnene i denne rapporten.

### Resirkulering/avhending

I rapporten har det ikke blitt undersøkt påvirkningen av de ulike energisystemene og energibærerene når levetiden er oppbrukt. Dette gjelder for eksempel når batteriene har for dårlig kapasitet til den tiltenkte bruken. Det kan være interessant å undersøke hvordan resirkulering av batteriene påvirker klimaregnskapet. Batterier krever også spesielle materialer som det finnes et begrenset antall av i verden. Dette gjør mulighetene for resirkulering ekstra interessante. I tillegg hvordan en eventuell ombygging påvirker annenhåndsverdien til fartøyet.

### Klima og miljø

Rapporten tar for seg miljø- og klimagassutslipp som knyttes til forbrenningen av drivstoff, men det finnes også utslipp knyttet til produksjon og fremstilling av drivstoffene. Dersom det ikke benyttes grønn eller fornybar metanol, må utslippene knyttet til fremstillingen av metanol tas med i beregningene.

---

## Referanser

- [1] Vilmar Æsøy. *Del 1: Miljø og regelverk - FENA2030*. I: 14. jan. 2021.
- [2] Miljødirektoratet. *Lokal luftforurensning*. URL: <https://luftkvalitet.miljodirektoratet.no/artikkel/artikler/kilder-til-luftforurensning/> (sjekket 18. mai 2022).
- [3] Regjeringen. *Internasjonale klimaforhandlinger*. I: URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/de-internasjonale-klimaforhandlingene/id2741333/> (sjekket 21. apr. 2022).
- [4] FN. *FNs klimarapport: En alarm for menneskeheten*. 9. aug. 2021. URL: <https://www.fn.no/nyheter/fns-klimarapport-en-alarm-for-menneskeheten>.
- [5] Norges Rederiforbund. *Norsk skipsfart klimanøytral innen 2050*. I: 18. mai 2020. URL: <https://rederi.no/aktuelt/2020/klimanoytral-innen-2050/>.
- [6] Regjeringen. *CO<sub>2</sub>-avgiften*. I: URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/co2-avgiften/id2603484/> (sjekket 1. mai 2022).
- [7] Regjeringen. *Avgift på utslipp av klimagasser og veibruksavgift*. I: 8. nov. 2021. URL: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/avgift-pa-utslipp-av-klimagasser-og-veibruksavgift/id2884952/>.
- [8] Andreas Tjernshaugen. *bærekraft*. I: *Store norske leksikon*. URL: <https://snl.no/b%C3%A6rekraft> (sjekket 5. apr. 2022).
- [9] IMO. *Ships face lower sulphur fuel requirements in emission control areas from 1 January 2015*. I: 23. des. 2014. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/44-ECA-sulphur.aspx>.
- [10] IMO. *Sulphur oxides (SO<sub>x</sub>) and Particulate Matter (PM) – Regulation 14*. I: URL: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx) (sjekket 4. mar. 2022).
- [11] Karin Andersson. *Methanol as a marine fuel report*. I: okt. 2015.
- [12] IMO. *Nitrogen Oxides (NO<sub>x</sub>) – Regulation 13*. I: URL: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx) (sjekket 4. mar. 2022).
- [13] DNV. *Methanol as marine fuel: Environmental benefits, technology readiness, and economic feasibility*. I: 20. jan. 2016.
- [14] Golden Energy Offshore. *Energy Empress*. URL: <https://www.geoff.no/fleet/energy-empress> (sjekket 24. jan. 2022).
- [15] Golden Energy Offshore. *Who we are*. URL: <https://www.geoff.no/about-us> (sjekket 14. apr. 2022).
- [16] Vidar Skjong. *Møte med Golden Energy Offshore*. I: 25. apr. 2022.
- [17] Ulstein International AS. *OPERATIONAL DATA ANALYSIS MV ENERGY DUCHESS & MV ENERGY EMPRESS - BATTERY RETROFIT OPPORTUNITIES*. I: 22. feb. 2021.
- [18] Arthur Sarsten, Geir O. Fiskaa. *Forbrenningsmotor*. I: URL: <https://snl.no/forbrenningsmotor> (sjekket 27. apr. 2022).
- [19] Michael J. Moran mfl. *Morans´s Principles of Engineering Thermodynamics*. 9th edition. John Wiley & Sons, 2017.
- [20] Per Fagerlund, Bengt Ramne. *EffShip Project Summary and Conclusions*. I: 18. apr. 2013.

- 
- [21] Joanne Ellis et al. *SPIRETH – End of Project Report*. I: 28. feb. 2014.
- [22] Frode Høyte. *Elektrisk maskin*. I: URL: [https://snl.no/elektrisk\\_maskin](https://snl.no/elektrisk_maskin) (sjekket 26. apr. 2022).
- [23] Frode Høyte. *Transformator*. I: URL: <https://snl.no/transformator> (sjekket 26. apr. 2022).
- [24] DNV. *Scrubbers at a glance*. I: 18. okt. 2018. URL: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Scrubbers-at-a-glance.html>.
- [25] Wärtsilä. *Selective Catalytic Reduction*. I: URL: [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/selective-catalytic-reduction-\(scr\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/selective-catalytic-reduction-(scr)) (sjekket 30. apr. 2022).
- [26] Yara. *Forbrenningsgassbehandling for NOx med Selective Catalytic Reduction*. I: URL: <https://www.yara.no/kjemiske-og-miljomessige-losninger/kontroll-av-nox-utslipp-i-industrien/scr-sncr-system-eller-sncr-scr-hybridssystem/scr-teknologi/> (sjekket 30. apr. 2022).
- [27] DNV. *Monitoring ship and fleet efficiency performance with an SEEMP*. I: URL: <https://www.dnv.com/maritime/energy-efficiency/monitoring-ship-and-fleet-efficiency-performance-with-an-SEEMP.html> (sjekket 24. mar. 2022).
- [28] Ulstein Group AS. *Ulstein Blue Box*. I: URL: <https://ulstein.com/bluebox> (sjekket 20. apr. 2022).
- [29] Ulstein Group AS. *REMØY SHIPPING - GREEN OPERATIONS WITH BLUE BOX*. I: 27. jun. 2018.
- [30] Allan G Blackman, Lawrence R Gahan. *Aylward and Findlays SI Chemical Data*. John Wiley & Sons Australia, 2014.
- [31] Bunker Oil. *MGO*. URL: <https://www.bunkeroil.no/no/kategori/mgo> (sjekket 12. mai 2022).
- [32] Engineering ToolBox. *Fuels - Higher and Lower Calorific Values*. URL: [https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d\\_169.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html) (sjekket 12. mai 2022).
- [33] Nils H. Lundberg. *Diesel*. I: *Store norske leksikon*. URL: <http://snl.no/diesel> (sjekket 30. mar. 2022).
- [34] Drivkraft Norge. *Bensin og diesel*. URL: <https://www.drivkraftnorge.no/Drivstoff-og-energi/bensin-og-diesel/> (sjekket 30. mar. 2022).
- [35] Chunshan Song, Chang S Hsu, Isao Mochida. *Chemistry Of Diesel Fuels*. Taylor & Francis, 2000.
- [36] J.D. Ampah et al. *Study on characteristics of marine heavy fuel oil and low carbon alcohol blended fuels at different temperatures*. I: 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236121021815> (sjekket 4. apr. 2022).
- [37] The Maritime Review. *What is MGO? – The Maritime Review*. 21. okt. 2020. URL: <https://maritimereview.ph/what-is-mgo/>.
- [38] Bjørn Pedersen. *Biodiesel*. I: *Store norske leksikon*. URL: <http://snl.no/biodiesel> (sjekket 4. apr. 2022).
- [39] NAF. *Alt du må vite om drivstoff*. 5. mai 2021. URL: <https://nye.naf.no/bilhold/kostnader/alt-du-ma-vite-om-drivstoff>.
- [40] Golden Energy Offshore. *Golden Energy Offshore and this time with managed vessel Despina continue reduce emissions*. 30. jan. 2021. URL: <https://www.geoff.no/news/golden-energy-offshore-and-this-time-with-managed-vessel-despina-continue-reduce-emissions>.
- [41] Erling Reinholdt Bernatek. *metanol*. I: *Store norske leksikon*. URL: <http://snl.no/metanol> (sjekket 28. jan. 2022).
-

- 
- [42] *The Methanol Industry—Methanol Institute—www.methanol.org*. METHANOL INSTITUTE. URL: <https://www.methanol.org/the-methanol-industry/> (sjekket 3. feb. 2022).
- [43] Sebastian Verhelst og James WG Turner og Louis Sileghem og Jeroen Vancoillie. *Methanol as a fuel for internal combustion engines*. I: 10. jan. 2019.
- [44] Giulia Bozzano, Flavio Manenti. *Efficient methanol synthesis: Perspectives, technologies and optimization strategies*. I: 5. jul. 2016.
- [45] IRENA , Methanol Institute. *Innovation Outlook:Renewable Methanol*. I: 2021.
- [46] Methanex. *Methanol as a Marine Fuel*. I: URL: <https://www.methanex.com/about-methanol/methanol-marine-fuel> (sjekket 3. apr. 2022).
- [47] Port of Rotterdam. *Waterfront Shipping takes leadership role in demonstrating simplicity of methanol bunkering to marine industry*. I: (sjekket 7. apr. 2022).
- [48] Lloyd´s Register. *Introduction to Methanol Bunkering, Technical Reference*. I: jul. 2020. URL: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2020/04/Introduction-to-Methanol-Bunkering-Technical-Reference-1.5.pdf>.
- [49] DNV. *Part 6 Additional class notations Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems*. I: okt. 2019. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2019-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>.
- [50] Methanol Institute. *Methanol Safe Handling Manual*. I: 4th edition. Mar. 2017. URL: <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2017/03/Safe-Handling-Manual.pdf>.
- [51] IMO. *Frequently Asked Questions*. URL: <https://www.imo.org/en/About/Pages/FAQs.aspx> (sjekket 24. feb. 2022).
- [52] IMO. *Brief History of IMO*. I: URL: <https://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx> (sjekket 11. mar. 2022).
- [53] DNV. *About DNV*. I: URL: <https://www.dnv.com/about/index.html> (sjekket 4. mai 2022).
- [54] IMO. *International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)*. I: URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGF-Code.aspx> (sjekket 21. apr. 2022).
- [55] Colin Darden. *What's the Difference Between Lithium and Lithium-ion (Li-ion) Batteries?* D&O Lighting. URL: <https://www.dandolighting.com/blogs/battery-blog/p-span-style-font-weight-400-whats-the-difference-between-lithium-and-lithium-ion-li-ion-batteries-span-p-p-p> (sjekket 4. feb. 2022).
- [56] Ariel Cohen. *What Batteries Will Power The Future?* Forbes. Section: Energy. URL: <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2021/02/11/what-batteries-will-power-the-future/> (sjekket 4. feb. 2022).
- [57] DSB - Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. *Risikovurdering og håndtering av brann i Litium-ion batterier*. I: nov. 2021. URL: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieell/veiledere/risikovurdering\\_og\\_haandtering\\_av\\_brann\\_i\\_litium-ion\\_batterier.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieell/veiledere/risikovurdering_og_haandtering_av_brann_i_litium-ion_batterier.pdf).
- [58] MAN Energy solutions. *Batteries on board ocean-giong vessels, MAN Energy Solutions*. I: sep. 2019.
- [59] *Battery C Rating Explained and Demystified — BatteriesInAFIash Blog*. URL: <https://www.batteriesinaflash.com/blog/battery-c-rating-explained-and-demystified/> (sjekket 12. mai 2022).
- [60] *Why Energy Storage*. Corvus Energy. URL: <https://corvusenergy.com/sustainability/why-battery/> (sjekket 31. mar. 2022).
-

- 
- [61] Sverre Eriksen , Aleks Karlsen. *Batteries as power sources in DP systems*. I: 9. okt. 2018.
- [62] ENOVA. *Mal lønnsomhetsberegninger, Elektrifisering av sjøtransport (ENOVA, Excel-dokument)*. I: (sjekket 25. mar. 2022).
- [63] Akram Eddahech, Olivier Briat og Jean-Michel Vinassa. «Performance comparison of four lithium-ion battery technologies under calendar aging». I: *Energy* 84 (mai 2015), s. 542–550. ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.019>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215003138>.
- [64] Lars Vestbøstad. *Technology Development Manager hos Eidesvik AS (rederi), E-postkorrespondanse*. I: 6. apr. 2022.
- [65] Edvard Braute. *Erfaringer fra serviceoppdrag under praksisperiode hos Corvus Energy*. I: nov. 2021.
- [66] Per Kristian Vågsæter. *Sales Manager, Advanced Offerings, Kongsberg Maritime, møte*. I: 11. mai 2022.
- [67] DNV. *FellowSHIP project concludes 15 years of maritime battery and fuel cell research - DNV*. en. URL: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/FellowSHIP-project-concludes-15-years-of-maritime-battery-and-fuel-cell-research.html> (sjekket 7. apr. 2022).
- [68] DNV. *Part 6 Additional class notations Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems*. I: okt. 2019. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2021-07/DNV-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>.
- [69] DNV. *Part 6 Additional class notations Chapter 3 Navigation, manoeuvring and position keeping*. I: jul. 2021. URL: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2021-07/DNV-RU-SHIP-Pt6Ch3.pdf>.
- [70] Marinelink. *For Hire: Battery Hybrid PSVs*. MarineLink. URL: <https://www.marinelink.com/news/battery-hybrid-hire436281> (sjekket 1. apr. 2022).
- [71] Enova. *6 gode grunner til å bruke landstrøm*. nb-NO. URL: <https://www.enova.no/bedrift/sjotransport/maritimt-tema/landstrom/gode-grunner-til-a-bruke-landstrom/> (sjekket 25. apr. 2022).
- [72] *Landstrøm for skip*. nb-NO. Des. 2015. URL: <https://www.nek.no/landstrom-for-skip/>.
- [73] *Zinus delivers to port in northern Norway*. Zinus. 24. feb. 2022. URL: <https://zinuspower.com/2022/02/24/zinus-delivers-to-port-in-northern-norway/>.
- [74] Kystverket. *Alternative drivstoff*. I: URL: <https://lavutslipp.kystverket.no/> (sjekket 5. apr. 2022).
- [75] Plug ELMar. *Veileder - Korrosjon & landstrøm*. I: URL: [plugport.no/location/bergen/](http://plugport.no/location/bergen/) (sjekket 26. apr. 2022).
- [76] *Hull Corrosion And Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) On Ships - Construction And Working*. en-US. URL: <https://www.marineinsight.com/tech/hull-corrosion-and-impressed-current-cathodic-protection-iccp-on-ships-construction-and-working/> (sjekket 27. apr. 2022).
- [77] DNV. *Landstrøm i norske havner - Enova SF*. I: 30. nov. 2015. URL: [https://www.enova.no/download?objectPath=upload\\_images/EF1A427BBA6041888BA2A0116BD81FB1.pdf&filename=Unders](https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/EF1A427BBA6041888BA2A0116BD81FB1.pdf&filename=Unders).
- [78] *Maritim sektor - FuelEU Maritime*. no. EOSnotat. Publisher: regjeringen.no. URL: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/okt/maritim-sektor-fueleu-maritime/id2878391/> (sjekket 27. apr. 2022).
- [79] *Investeringer definisjon*. IG. URL: <https://www.ig.com/no/trading-ordliste/investeringer-definisjon> (sjekket 10. mai 2022).
-

- 
- [80] Levi Gårseth-Nesbakk. *netto nåverdi*. nb. URL: [http://snl.no/netto\\_n%C3%A5verdi](http://snl.no/netto_n%C3%A5verdi) (sjekket 29. apr. 2022).
- [81] NOx-fondet. *Støtteprogram for batteripakker for PSV er avsluttet*. 24. aug. 2018. URL: <https://www.noxfondet.no/nyheter/stotteprogram-for-batteripakker-for-psv-er-avsluttet/>.
- [82] *Batteri i fartøy - Sjøtransport*. Enova. URL: <https://www.enova.no/bedrift/sjotransport/batteri-i-fartoy/> (sjekket 21. apr. 2022).
- [83] Ragnar Gjørven. *Internasjonale standarder landstrøm til skip i havn*. I: 10. jun. 2016. URL: [https://fjordhagen.com/wp-content/uploads/2017/09/Rapport-landstr%C3%B8m-Valldal\\_2-offentlig.pdf](https://fjordhagen.com/wp-content/uploads/2017/09/Rapport-landstr%C3%B8m-Valldal_2-offentlig.pdf).
- [84] Marius Gjerset, Teknologiansvarlig Zero og Stig Schjølset. «Elektrifisering av skipsfarten Status for landstrøm i stamnetthavnene». no. I: (nov. 2020), s. 21.
- [85] Visma. *Driftskostnad – Hva er en driftskostnad?* URL: <https://www.visma.no/eaccounting/regnskapsordbok/d/driftskostnad/> (sjekket 21. apr. 2022).
- [86] Ship & Bunker. *Rotterdam Bunker Prices*. URL: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam> (sjekket 6. mai 2022).
- [87] Sjøfartsdirektoratet. *NOx-avgift*. no. 2. feb. 2022. URL: <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/nox-avgift/>.
- [88] Methanol Institute. *Methanol Price and Supply/Demand*. URL: <https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand/> (sjekket 6. mai 2022).
- [89] Ålesundregionens Havnevesen. *Landstrøm - Ålesund havn*. URL: <https://alesund.havn.no/havna/landstrom/> (sjekket 5. mai 2022).
- [90] Vidar Skjong, Golden Energy Offshore. *Energy Empress - Monthly FO Operational report - 2021*. I.
- [91] Sigmund Grønmo. *Kvalitativ metode*. I: URL: [https://snl.no/kvalitativ\\_metode](https://snl.no/kvalitativ_metode) (sjekket 27. apr. 2022).
- [92] Sigmund Grønmo. *Kvantitativ metode*. I: URL: [https://snl.no/kvantitativ\\_metode](https://snl.no/kvantitativ_metode) (sjekket 27. apr. 2022).
- [93] Kongsberg Maritime. *IMO DP CLASSIFICATION, OVERVIEW OF IMO DYNAMIC POSITIONING - DP CLASS REQUIREMENTS*. I: URL: <https://www.kongsberg.com/no/maritime/support/themes/imo-dp-classification/> (sjekket 21. apr. 2022).
- [94] Caterpillar. *PERFORMANCE DATA[DM8431]*. I: 12. mai 2014.
- [95] Caterpillar. *PERFORMANCE DATA[EM0415]*. I: 23. nov. 2011.
- [96] IMO. *WhatsNewNews*. 19. apr. 2021. URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1603.aspx>.
- [97] Statistisk Sentralbyrå. *Emission factors used in the estimations of emissions from combustion*. I: jul. 2013.
- [98] Vilmar Æsøy. *Introduksjon til hybride energisystem - FENA2030*. I: 12. jan. 2021.
- [99] Corvus Energy AS. *Datasheet - Corvus Orca Energy*. I: 30. jun. 2021.
- [100] Gary Dixon. *Dark days return for PSV owners as layups begin all over again*. URL: <https://www.tradewindsnews.com/offshore/dark-days-return-for-psv-owners-as-layups-begin-all-over-again/2-1-788945> (sjekket 4. mai 2022).
-

## Vedlegg A: Beregninger Driftsprofil 1

<b>MGO</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvre</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	8	113,8	5	108,8	80,66	97,3	234,34	648
MGO forbruk [tonn]	1,7	36,4	2,7	22,8	22,6	14,6	13,6	114
Energiinnhold [GJ]	71,8	1556,4	115,4	976,5	965,3	623,8	580,9	4890
Energibehov [kWh]	6183	134025	9937	73239	72396	50250	41955	387984
Gj. Effektbehov [kW]	773	1178	1987	673	898	516	179	
CO2 [tonn]	5,3	115,4	8,6	72,4	71,6	46,3	43,1	363
NOx [kg]	73,5	1593,6	118,2	999,8	988,3	638,7	594,8	5007
SOx [kg]	1,9	42,2	3,1	26,5	26,2	16,9	15,7	132
PM [kg]	2,5	54,6	4,1	34,3	33,9	21,9	20,4	172

<b>MGO+bat</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvre</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	8	113,8	5	108,8	80,66	97,3	234,34	647,9
MGO forbruk [tonn]	1,4	30,8	2,3	16,8	16,7	11,6	9,6	89
CO2 [tonn]	4,5	97,7	7,2	53,4	52,8	36,6	30,6	283
NOx [kg]	62,2	1348,9	100,0	737,1	728,6	505,8	422,3	3905
SOx [kg]	1,6	35,7	2,6	19,5	19,3	13,4	11,2	103
PM [kg]	2,1	46,2	3,4	25,3	25,0	17,3	14,5	134

<b>MGO+bat+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvre</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	8	113,8	5	108,8	80,66	97,3	234,34	647,9
MGO forbruk [tonn]	0,9	19,4	1,4	10,6	10,5	7,3	6,1	56
Metanolforbruk [tonn]	1,1	24,5	1,8	13,4	13,2	9,2	7,7	71
CO2 [tonn]	4,4	95,3	7,1	52,1	51,5	35,7	29,8	276
NOx [kg]	48,2	1044,9	77,5	571,0	564,4	391,8	327,1	3025
SOx [kg]	1,0	22,5	1,7	12,3	12,1	8,4	7,0	65
PM [kg]	1,3	29,1	2,2	15,9	15,7	10,9	9,1	84

<b>MGO+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvre</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	8	114	5	109	81	97	234,34	647,9
MGO forbruk [tonn]	1,1	22,9	1,7	14,4	14,2	9,2	8,6	72
Metanolforbruk [tonn]	1,3	28,9	2,1	18,1	17,9	11,6	10,8	91
CO2 [tonn]	5,2	112,6	8,3	70,6	69,8	45,1	42,0	354
NOx [kg]	56,9	1234,4	91,5	774,5	765,6	494,7	460,7	3878
SOx [kg]	1,2	26,6	2,0	16,7	16,5	10,6	9,9	83
PM [kg]	1,6	34,4	2,6	21,6	21,3	13,8	12,8	108



## Vedlegg B: Beregninger Driftsprofil 2

<b>MGO</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	15	0	0	65	20	2	20	120
MGO forbruk [tonn]	3,0	0	0	13,5	5,5	0,2	1,2	23
Energiinnhold [GJ]	130,1	0	0	578,9	233,4	9,6	49,6	1002
Energibehov [kWh]	11568	0	0	51459	20743	855	4407	89032
Gj. Effektbehov [kW]	798	0	0	798	1064	570	220	
CO2 [tonn]	9,7	0	0	42,9	17,3	0,7	3,7	74
NOx [kg]	133,2	0	0	592,7	238,9	9,8	50,8	1026
SOx [kg]	3,5	0	0	15,7	6,3	0,3	1,3	27
PM [kg]	4,6	0	0	20,3	8,2	0,3	1,7	35

<b>MGO+bat</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	14,5	0	0	64,5	19,5	1,5	20	120
MGO forbruk [tonn]	2,6	0	0	9,3	3,8	0,2	0,7	17
CO2 [tonn]	8,1	0	0	29,6	11,9	0,5	2,4	53
NOx [kg]	112,1	0	0	408,2	164,5	7,6	32,6	725
SOx [kg]	3,0	0	0	10,8	4,4	0,2	0,9	19
PM [kg]	3,8	0	0	14,0	5,6	0,3	1,1	25

<b>MGO+bat+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	14,5	0	0	64,5	19,5	1,5	20	120
MGO forbruk [tonn]	1,6	0	0	5,9	2,4	0,1	0,5	10
Metanolforbruk [tonn]	2,0	0	0	7,4	3,0	0,1	0,6	13
CO2 [tonn]	7,9	0	0	28,8	11,6	0,5	2,3	51
NOx [kg]	86,9	0	0	316,2	127,5	5,9	25,3	562
SOx [kg]	1,9	0	0	6,8	2,7	0,1	0,5	12
PM [kg]	2,4	0	0	8,8	3,6	0,2	0,7	16

<b>MGO+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	15	0	0	65	20	2	20	120,0
MGO forbruk [tonn]	1,9	0	0	8,5	3,4	0,1	0,7	15
Metanolforbruk [tonn]	2,4	0	0	10,7	4,3	0,2	0,9	19
CO2 [tonn]	9,4	0	0	41,9	16,9	0,7	3,6	72
NOx [kg]	103,2	0	0	459,2	185,1	7,6	39,3	794
SOx [kg]	2,2	0	0	9,9	4,0	0,2	0,8	17
PM [kg]	2,9	0	0	12,8	5,2	0,2	1,1	22

## Vedlegg C: Beregninger Driftsprofil 3

<b>MGO</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	18	36	6	97	65	36	342	600
MGO forbruk [tonn]	3,8	11,5	3,2	20,4	18,1	5,4	19,8	82
Energiinnhold [GJ]	161,6	492,4	138,5	872,4	775,5	230,8	847,8	3519
Energibehov [kWh]	14361	43766	12309	77547	68931	20515	75359	312788
Gj. Effektbehov [kW]	798	1216	2052	798	1064	570	220	
CO2 [tonn]	12,0	36,5	10,3	64,7	57,5	17,1	62,9	261
NOx [kg]	165,4	504,1	141,8	893,2	794,0	236,3	868,0	3603
SOx [kg]	4,4	13,3	3,8	23,6	21,0	6,3	23,0	95
PM [kg]	5,7	17,3	4,9	30,6	27,2	8,1	29,8	123

<b>MGO+bat</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	18	36	6	97,2	64,8	36	342	600
MGO forbruk [tonn]	3,2	9,7	2,7	14,1	12,5	4,2	12,8	59
CO2 [tonn]	10,1	30,7	8,6	44,6	39,6	13,2	40,4	187
NOx [kg]	139,2	424,2	119,3	615,1	546,7	182,0	558,2	2585
SOx [kg]	3,7	11,2	3,2	16,3	14,5	4,8	14,8	68
PM [kg]	4,8	14,5	4,1	21,1	18,7	6,2	19,1	89

<b>MGO+bat+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	18	36	6	97,2	64,8	36	342	600
MGO forbruk [tonn]	2,0	6,1	1,7	8,9	7,9	2,6	8,0	37
Metanolforbruk [tonn]	2,5	7,7	2,2	11,1	9,9	3,3	10,1	47
CO2 [tonn]	9,8	30,0	8,4	43,5	38,6	12,9	39,4	183
NOx [kg]	107,8	328,6	92,4	476,5	423,5	141,0	432,4	2002
SOx [kg]	2,3	7,1	2,0	10,3	9,1	3,0	9,3	43
PM [kg]	3,0	9,2	2,6	13,3	11,8	3,9	12,1	56

<b>MGO+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	18	36	6	97	65	36	342	600,0
MGO forbruk [tonn]	2,4	7,3	2,0	12,9	11,4	3,4	12,5	52
Metanolforbruk [tonn]	3,0	9,1	2,6	16,2	14,4	4,3	15,7	65
CO2 [tonn]	11,7	35,6	10,0	63,1	56,1	16,7	61,3	255
NOx [kg]	128,1	390,5	109,8	691,9	615,1	183,1	672,4	2791
SOx [kg]	2,8	8,4	2,4	14,9	13,2	3,9	14,5	60
PM [kg]	3,6	10,9	3,1	19,3	17,1	5,1	18,7	78

## Vedlegg D: Beregninger Driftsprofil 4

<b>MGO</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	6	12	2	6	4	6	84	120
MGO forbruk [tonn]	1,2	3,7	1,0	1,4	1,2	0,9	4,9	14
Energiinnhold [GJ]	51,7	157,6	44,3	58,2	51,7	38,5	208,2	610
Energibehov [kWh]	4595	14005	3939	5170	4595	3419	18509	54233
Gj. Effektbehov [kW]	798	1216	2052	798	1064	570	220	
CO2 [tonn]	3,8	11,7	3,3	4,3	3,8	2,9	15,4	45
NOx [kg]	52,9	161,3	45,4	59,5	52,9	39,4	213,2	625
SOx [kg]	1,4	4,3	1,2	1,6	1,4	1,0	5,6	17
PM [kg]	1,8	5,5	1,6	2,0	1,8	1,4	7,3	21

<b>MGO+bat</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	5,76	11,52	1,92	6,48	4,32	6	84	120
MGO forbruk [tonn]	1,0	3,1	0,9	0,9	0,8	0,7	3,1	11
CO2 [tonn]	3,2	9,8	2,8	3,0	2,6	2,2	9,9	34
NOx [kg]	44,5	135,8	38,2	41,0	36,4	30,3	137,1	463
SOx [kg]	1,2	3,6	1,0	1,1	1,0	0,8	3,6	12
PM [kg]	1,5	4,7	1,3	1,4	1,2	1,0	4,7	16

<b>MGO+bat+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	5,76	11,52	1,92	6,48	4,32	6	84	120
MGO forbruk [tonn]	0,6	2,0	0,5	0,6	0,5	0,4	2,0	7
Metanolforbruk [tonn]	0,8	2,5	0,7	0,7	0,7	0,5	2,5	8
CO2 [tonn]	3,1	9,6	2,7	2,9	2,6	2,1	9,7	33
NOx [kg]	34,5	105,2	29,6	31,8	28,2	23,5	106,2	359
SOx [kg]	0,7	2,3	0,6	0,7	0,6	0,5	2,3	8
PM [kg]	1,0	2,9	0,8	0,9	0,8	0,7	3,0	10

<b>MGO+met</b>	<b>Slow transit</b>	<b>Transit</b>	<b>Fast transit</b>	<b>DP 1</b>	<b>DP 2</b>	<b>Manoeuvr</b>	<b>In Port</b>	<b>Totalt</b>
Antall timer [h]	6	12	2	6	4	6	84	120,0
MGO forbruk [tonn]	0,8	2,3	0,7	0,9	0,8	0,6	3,1	9
Metanolforbruk [tonn]	1,0	2,9	0,8	1,1	1,0	0,7	3,9	11
CO2 [tonn]	3,7	11,4	3,2	4,2	3,7	2,8	15,1	44
NOx [kg]	41,0	125,0	35,1	46,1	41,0	30,5	165,2	484
SOx [kg]	0,9	2,7	0,8	1,0	0,9	0,7	3,6	10
PM [kg]	1,1	3,5	1,0	1,3	1,1	0,9	4,6	13





