

Åsmund Winje  
Even Mork Vatneødegård  
Tom André Helvig

# Modellering og drift av energilagringssystem for offshorefartøy

Mai 2021

## NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for IKT og realfag

**Bacheloroppgave**

**2021**





Åsmund Winje  
Even Mork Vatneødegård  
Tom André Helvig

# **Modellering og drift av energilagringssystem for offshorefartøy**

Bacheloroppgave  
Mai 2021

## **NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for IKT og realfag



Kunnskap for en bedre verden



# Modellering og drift av energilagringssystem for offshorefartøy

10070 - Even Mork Vatneødegård

10003 - Tom André Helvig

10112 - Åsmund Winje

BACHELOROPPGAVE

Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk  
Institutt for IKT og realfag

Veileder 1: Robin Trulssen Bye

Veileder 2: Ottar L. Osen

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av tre studenter som studerer ved NTNU Ålesund. En av studentene studerer elkraftsystemer, mens de to andre studerer automatiseringsteknikk. Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvilke fordeler et energilagringssystem kan gi ombord på et offshorefartøy, med et spesielt fokus på drivstoffbesparelser og miljøgevinst. Denne oppgaven ble valgt fordi miljøet er et relevant tema, og flere av studentene som skriver oppgaven har relevant erfaring fra maritimindustri.

Vi vil gjerne takke våre veiledere Robin Trulssen Bye og Ottar L. Osen for hjelp og veiledning gjennom arbeidet med oppgaven. Vi vil også takke Vard Electro med Tor Arne Myklebust, Ulrik Havnsund og Martin Skaar Vadset for muligheten til å jobbe med denne oppgaven, og for å ha gitt oss svar på ulike spørsmål som har dukket opp underveis i arbeidet med oppgaven.

Even Mork Vatneødegård

*Even Mork Vatneødegård*

---

Tom André Helvig

*Tom André Helvig*

---

Åsmund Winje

*Åsmund Winje*

---



## Sammendrag

Hensikten med denne bachelorrapporten er å undersøke ulike tilnærminger for bruk av energilagringssystem om bord i offshorefartøy, med et fokus på økonomiske og miljømessige gevinster. Et energilagringssystem er en alternativ strømkilde som består av litium-ionbatterier, som kan ettermonteres om bord i fartøyet og samkjøres med generatordriften. Formålet til et energilagringssystem er å redusere driftskostnadene og karbonavtrykket til fartøyet.

For å gi et svar på hvilke besparelser et energilagringssystem kan gi, ble det utviklet en simuleringsmodell av et «Energy Management System» (EMS). Dette er et system som er ansvarlig for å kontrollere begrensningene og energistrømmen til batteriet. Simuleringsmodellen har muligheten for å lastes med reelle lastprofiler fra ulike driftsoperasjoner til et offshorefartøy. Resultatene fra simuleringen er flere grafer som viser den totale belastningen for fartøyet, både med og uten batteri. I tillegg estimerer simuleringsmodellen drivstofforbruket og utslippene for lastprofilen.

Driftsoperasjonene som har blitt undersøkt er DP, transitt- og havneoperasjon. For å kalkulere en årlig besparelse for hver operasjon, ble det benyttet en gjennomsnittlig operasjonsprofil for et forsyningsfartøy i norske farvann. Resultatene viser at ved å installere et energilagringssystem vil det potensielt kunne redusere fartøyets totale drivstofforbruk med 8,58% årlig. I tillegg vil det redusere fartøyets årlige karbonavtrykk med 1573,26 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

De samlede resultatene viser at en ettermontering av et energilagringssystem vil være en lønnsom utvidelse. Systemet vil redusere drivstofforbruket, minske utslippene og gi betraktelig lavere driftskostnader. I tillegg tilfører et energilagringssystem en ekstra sikkerhet til fartøyet, ved å ha en tilgjengelig effektreserve dersom en feil skulle oppstå med generatordriften.

# Innhold

Forord . . . . .	i
Sammendrag . . . . .	ii
Forkortelser, begreper og notasjon . . . . .	2
<b>1 Innledning</b>	<b>10</b>
1.1 Problemstilling . . . . .	11
1.2 Avgrensninger . . . . .	11
1.3 Målsetting . . . . .	11
1.4 Struktur av rapport . . . . .	12
<b>2 Teoretisk grunnlag</b>	<b>13</b>
2.1 Dieselelektriske offshorefartøy . . . . .	13
2.1.1 DP-operasjon . . . . .	13
2.1.2 Transittoperasjon . . . . .	14
2.1.3 Havneoperasjon . . . . .	15
2.2 Dieselmotor og generator . . . . .	16
2.2.1 Forbruk og utslipp . . . . .	17
2.3 Hovedtavle . . . . .	19
2.4 Dynamisk posisjonering . . . . .	20
2.5 Batteri . . . . .	21
2.5.1 Litium-ionbatteri . . . . .	21
2.5.2 Termisk rømling . . . . .	22
2.5.3 Batteriinstallasjoner på offshorefartøy . . . . .	22
2.5.4 Peak Shaving . . . . .	24
2.5.5 Effektreserve . . . . .	24
2.5.6 Start/stopp-modus . . . . .	24
2.6 Frekvensomformer . . . . .	25
2.7 Transformator . . . . .	27
2.8 Battery Management System . . . . .	28
2.9 Energy Management System . . . . .	29
2.10 Power Management System . . . . .	29
2.11 Integrated Automation System . . . . .	30
2.12 IAS, PMS og EMS-grensesnitt . . . . .	30

<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>31</b>
3.1	Potensielle besparelser . . . . .	31
3.1.1	Potensiell besparelse DP-operasjon . . . . .	32
3.1.2	Potensiell besparelse i transittoperasjon . . . . .	34
3.1.3	Potensiell besparelse ved havn . . . . .	37
3.1.4	Potensiell besparelse av drivstoff- og miljøutslipp . . . . .	40
3.2	Utviklingsverktøy . . . . .	42
3.3	Systembeskrivelse . . . . .	43
3.4	EMS-modell . . . . .	44
3.4.1	Batteri og omformer . . . . .	45
3.4.2	Peak shaving-regulator . . . . .	46
3.4.3	Estimering av drivstofforbruk og utslipp . . . . .	47
3.4.4	Start/stopp-kontroller . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>52</b>
4.1	Funksjonalitet til EMS-modell . . . . .	52
4.1.1	Peak shaving . . . . .	52
4.1.2	Effektreserve . . . . .	53
4.1.3	Start/stopp-modus . . . . .	55
4.2	Drivstoffbesparelse og utslipp i DP-operasjon . . . . .	57
4.2.1	Peak shaving-modus . . . . .	57
4.2.2	Lastvariasjoner peak shaving-modus . . . . .	61
4.3	Drivstoffbesparelse og utslipp i transittoperasjon . . . . .	65
4.3.1	Peak shaving-modus . . . . .	65
4.3.2	Start/stopp-modus . . . . .	69
4.4	Drivstoffbesparelse og utslipp i havneoperasjon . . . . .	72
4.4.1	Peak shaving-modus . . . . .	72
4.4.2	Start/stopp-modus . . . . .	76
4.5	Summering av resultater . . . . .	79
4.5.1	Summering av drivstoff- og utslippsreduksjon fra simuleringer på fire timer . . . . .	79
4.5.2	Årlig drivstoff- og utslippsreduksjon . . . . .	80
4.6	Forskjellige batteristørrelser . . . . .	83
4.6.1	DP-operasjon . . . . .	83
4.6.2	Havneoperasjon . . . . .	87
4.6.3	Transittoperasjon . . . . .	89
4.6.4	Kostnadssammenligning av batteristørrelser . . . . .	91
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>93</b>
5.1	Simulering av EMS . . . . .	93
5.2	Start/stopp-modus . . . . .	94
5.2.1	Start/stopp-modus i transittoperasjon . . . . .	94
5.2.2	Start/stopp-modus i havneoperasjon . . . . .	94
5.3	Driftsdata DP-operasjon . . . . .	94
5.4	Drivstoffbesparelser og utslipp . . . . .	95
5.4.1	Utregning av potensielle besparelser . . . . .	95

5.4.2	Drivstoffbesparelser . . . . .	95
5.4.3	Utslipp . . . . .	96
5.5	Batteristørrelser . . . . .	98
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>100</b>
6.1	Videre arbeid . . . . .	101
<b>Vedlegg</b>		<b>102</b>
A	Forprosjektrapport . . . . .	102
B	Gantt diagram . . . . .	102
C	Timelister . . . . .	102
D	Møtereferat . . . . .	102



## Begreper

<b>Battery Management System:</b>	System som kontrollerer, overvåker og beskytter batteriet.
<b>Blackout:</b>	En betegnelse på når fartøyet mister all elektrisk kraft
<b>Bus-tie</b>	En effektbryter som kobler sammen to ulike samleskinner i hovedtavlen
<b>Common Mode:</b>	Høyfrekvent støy som kan oppstå i en frekvensomformer.
<b>Columb counting method</b>	En metode hvor utladningstrømmen blir målt og integrert over tid for å estimere batteriets ladestatus.
<b>C-rate:</b>	Faktor som indikerer hvor mye strøm som kan tas ut av batteriet.
<b>Dynamic Positioning:</b>	Dynamisk posisjonering er et system som har i oppgave å holde fartøyet i gitt posisjon.
<b>Energy Management System:</b>	Et kontrollsystem som er ansvarlig for energistrømmen til batteriet.
<b>Energy Storage System:</b>	Energilagringsystem bestående av litium-ionbatterier.
<b>Flowchart:</b>	Er et type diagram som representerer en prosess.
<b>Peak-shaving:</b>	En teknikk for å redusere strømforbruket i perioder med høy etterspørsel av elektrisk energi.
<b>Platform Supply Vessel:</b>	En type offshorefartøy som er leverer forsyninger til oljeplattformer.
<b>PSV 1:</b>	Forsyningsfartøy uten energilagringssystem som driftsdata ble samlet av.
<b>Power Management System:</b>	Et system som sikrer et effektivt og sikkert elektrisk anlegg ombord i et dieselelektrisk fartøy.
<b>Spline-interpolasjon:</b>	En metode hvor man genererer en kurve fra datapunkter.
<b>Spinning Reserve:</b>	En reservert effektreserve fra batteriene.
<b>State of Charge:</b>	Ladestatusen til batteriet.
<b>State of Health:</b>	En prosentandel av den totale batterikapasiteten i forhold til hva kapasiteten var når batteriet var nytt.

## **Forkortelser**

**AC** Alternating Current

**BMS** Battery Management System

**DC** Direct Current

**DNV** Det Norske Veritas

**DoD** Depth of Discharge

**DP** Dynamic Positioning

**EMI** Electromagnetic Interference

**EMS** Energy Management System

**ESS** Energy Storage System

**GPS** Global Positioning System

**IMO** International Maritime Organization

**IAS** Integrated Automation System

**IGBT** Insulated Gate Bipolar Transistor

**LCL** Spole-Kondensator-Spole

**MAF** Moving Average Filter

**NOK** Norwegian Krone

**PWM** Pulse Width Modulation

**PID** Proporsjonal Integrasjon Derivasjon regulator

**PMS** Power Management System

**PSV** Platform Supply Vessel

**SoC** State Of Charge

**SoH** State Of Health

**SFOC** Specific Fuel Oil Consumption

**SCR** Selective Catalyst Reduction

**USD** United States Dollar

## Notasjon

**A** Ampere

**Ah** Amperetime

**g/kWh** Gram per kilowatttime

**h** time

**Hz** Hertz

**kg** Kilogram

**kg/m<sup>3</sup>** Kilogram per kubikkmeter

**kWh** Kilowatttime

**kW** Kilowatt

**l/h** Liter per time

**l** Liter

**t** time

**V** Volt



# Figurer

2.1	Eksempel på lastprofil for en PSV i DP-operasjon . . . . .	14
2.2	Eksempel på lastprofil for en PSV i transittoperasjon . . . . .	14
2.3	Eksempel på lastprofil for en PSV i havneoperasjon . . . . .	15
2.4	Arbeidsforløpet i en dieselmotor.[23] . . . . .	16
2.5	SFOC Cat 3516C [3] . . . . .	17
2.6	CO2 utslipp Cat 3516C [3] . . . . .	18
2.7	NOx-utslipp Cat3516C [3] . . . . .	19
2.8	Lading og utlading av et litium-ionbatteri [27] . . . . .	21
2.9	Bilde av Corvus Orca Energy[8] . . . . .	23
2.10	Corvus Orca Energy-modulspesifikasjoner [9] . . . . .	23
2.11	Illustrasjon av en frekvensomformer [16] . . . . .	25
2.12	Illustrasjon av pulsbreddemodulasjon . . . . .	26
2.13	Illustrasjon av hvordan jordingen bør kobles for å unngå Common Mode [28] . . . . .	27
2.14	Blokkdiagram av styringssystemenes grensesnitt . . . . .	30
3.1	Operasjonsprofil for PSV med operasjoner i norske farvann [13] . . . . .	32
3.2	Eksempel fra Simulink . . . . .	42
3.3	EMS-modell designet i Simulink . . . . .	44
3.4	Batteri i EMS-modell . . . . .	45
3.5	Fullstendig batteri i EMS-modell . . . . .	45
3.6	Peak-shaving regulator i EMS-modell . . . . .	46
3.7	Kontrollstyring til peak shaving-regulator . . . . .	47
3.8	Import og behandling av effektdata. . . . .	48
3.9	Lastfordelingblokk i Simulink . . . . .	48
3.10	Drivstofforbruk og utslippsestimering . . . . .	49
3.11	Estimering av drivstofforbruk . . . . .	49

3.12 Estimering av CO <sub>2</sub> -utslipp . . . . .	50
3.13 Estimering av NO <sub>x</sub> -utslipp . . . . .	50
3.14 Start/stopp-kontroller i EMS-modell . . . . .	51
4.1 Peak shaving respons til EMS-modell . . . . .	53
4.2 Driftsdata og SoC DP-operasjon . . . . .	54
4.3 Lastprofil start/stopp-modus i havneoperasjon . . . . .	55
4.4 Batteriets SoC for lastprofil i figur 4.3 . . . . .	56
4.5 Lastprofil til en PSV i DP-operasjon generert av EMS-modell . . . . .	57
4.6 Drivstofforbruk for lastprofil figur 4.5 . . . . .	58
4.7 CO <sub>2</sub> -utslipp for lastprofil figur 4.5 . . . . .	59
4.8 NO <sub>x</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.5 . . . . .	60
4.9 Lastprofil til en PSV i DP-operasjon . . . . .	61
4.10 Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.9 . . . . .	62
4.11 CO <sub>2</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.9 . . . . .	63
4.12 NO <sub>x</sub> -utslipp for lastprofil i figure 4.9 . . . . .	64
4.13 Lastprofil til en PSV i transittoperasjon . . . . .	65
4.14 Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.13 . . . . .	66
4.15 CO <sub>2</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.13 . . . . .	67
4.16 NO <sub>x</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.13 . . . . .	68
4.17 Lastprofil for transittoperasjon i start/stopp-modus . . . . .	69
4.18 Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.17 . . . . .	70
4.19 NO <sub>x</sub> - og CO <sub>2</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.17 . . . . .	71
4.20 Lastprofil til en PSV som ligger ved havn . . . . .	72
4.21 Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.20 . . . . .	73
4.22 CO <sub>2</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.20 . . . . .	74
4.23 NO <sub>x</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.20 . . . . .	75
4.24 Lastprofil for havneoperasjon i start/stopp-modus . . . . .	76
4.25 Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.24 . . . . .	77
4.26 NO <sub>x</sub> - og CO <sub>2</sub> -utslipp for lastprofil i figur 4.24 . . . . .	78
4.27 Lastprofil med 248 kWh-batteri . . . . .	83
4.28 Lastprofil med 620 kWh-batteri . . . . .	84
4.29 Lastprofil med 744 kWh-batteri . . . . .	85
4.30 SoC med forskjellige batteristørrelser . . . . .	85

4.31 Lastprofil havneoperasjon 620 kWh . . . . .	87
4.32 Lastprofil havneoperasjon 744 kWh . . . . .	88
4.33 Lastprofil transittoperasjon 248 kWh . . . . .	89
4.34 Lastprofil transittoperasjon 620 kWh . . . . .	90
4.35 Lastprofil transittoperasjon 992 kWh . . . . .	90
5.1 NOx-utslipp for CAT 3516C uten renseanlegg [3]. . . . .	97
5.2 NOx-utslipp for CAT 3516E med renseanlegg [1]. . . . .	98

# Tabeller

4.1	Oversikt over drivstofforbruk med og uten ESS ved simulering på fire timer .	79
4.2	Oversikt over CO2-utslipp med og uten ESS ved simulering på fire timer . .	79
4.3	Oversikt over NOx-utslipp med og uten ESS ved simulering på fire timer . .	80
4.4	Drivstoffbesparelser i løpet av ett år . . . . .	80
4.5	CO2-utslippsreduksjon ved installasjon av ESS i løpet av ett år . . . . .	82
4.6	NOx-utslippsreduksjon ved installasjon av ESS i løpet av ett år . . . . .	82
4.7	Forbruk i DP-operasjon med forskjellige batteristørrelser . . . . .	86
4.8	Forbruk og utslipp i havneoperasjon med forskjellige batteristørrelser . . . .	88
4.9	Forbruk og utslipp i transittoperasjon med forskjellige batteristørrelser . . .	91
4.10	Kostnader for energilagringssystem . . . . .	91
4.11	Drivstoff spart i løpet av et år . . . . .	92
4.12	Total drivstoff og NOK spart i løpet av et år . . . . .	92
4.13	Kostnadsforhold ved forskjellige batteristørrelser . . . . .	92
5.1	Sammenligning av hypoteser og resultat for årlig besparelse av drivstofforbruk.	96
5.2	Oversikt over CO2-utslipp fra hypoteser og simuleringer over en periode på ett år. . . . .	96
5.3	Oversikt over NOx-utslipp fra hypoteser og simuleringer over en periode på ett år. . . . .	97
5.4	Kostnadsforhold basert på drivstoffbesparelse. . . . .	99
6.1	Årlige besparelser ved å installere energilagringssystem . . . . .	101

# Kapittel 1

## Innledning

Grønn teknologi er et relevant tema i dagens samfunn, og det fokuseres mye på hvordan ulike næringer kan redusere sine klimagassutslipp. I en studie utført av den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO), anslo de at den globale skipsfarten hadde et utslipp på 1056 millioner tonn CO<sub>2</sub> i 2018. Dette tilsier at næringen er ansvarlig for om lag 2.89% av de globale menneskeskapte klimagassutslippene [15]. En løsning som har skapt mye interesse de siste årene er å bygge om dieselelektriske offshorefartøy til hybridfartøy. Et energilagringssystem i form av batterier installeres om bord i fartøyet, og samkjøres med generatordriften. Dette kan potensielt minske utslippene og redusere drivstofforbruket til fartøyet.

På vegne av Vard Electro har prosjektgruppen fått i oppgave å undersøke potensielle besparelser og andre fordeler ved å installere et energilagringssystem om bord i et forsyningsfartøy (PSV). Denne fartøystypen har flere ulike driftsoperasjoner, med en stor variasjon i energibehov. Dette gjør PSV til en attraktiv fartøystype for installasjon av energilagringssystem.

## 1.1 Problemstilling

For å kunne undersøke hvilke besparelser et energilagringssystem kan gi om bord i et forsyningsfartøy, må det designes et simulert «Energy Management System» (EMS). Dette må inneholde komponenter som batteri, regulator, samt en metode for å beregne drivstofforbruk og utslipp. Modellen må også kunne lastes med driftsdata, for å undersøke hvilke besparelser som er mulig å oppnå i de ulike operasjonene.

EMS-modellen skal ha følgende funksjonalitet:

- **«Peak-shaving»:** Batteriet vil ta seg av lastvariasjoner slik at dieselmotorene får arbeide med en jevn belastning. Dette kan potensielt redusere forbruket under operasjoner med varierende energiforbruk.
- **Effektreserve:** Batteriet skal kunne opprettholdes til angitt ladestatus (SoC), slik at det kan benyttes som en effektreserve dersom en feil skulle oppstå med generatordriften. Dette vil øke redundansen for driften av fartøyet, og gi en ekstra sikkerhet.
- **Start/stopp modus:** Batteriet skal kunne drifte fartøyet alene i kortere perioder når det ligger ved havn. Motorene vil da være av frem til batteriet trenger en oppladning, motorene vil da starte opp igjen og gjøre en oppladning, for så å stoppe igjen. Dette vil redusere antall driftstimer, og det totale drivstofforbruket.

## 1.2 Avgrensninger

Driftsdata som blir benyttet i denne bacheloroppgaven kommer fra et forsyningsfartøy med fire CAT3516C-dieselmotorer. Noen av resultatene avhenger av fartøyets motortype og driftsprofil, noe som varierer for hvert enkelt fartøy. Resultatene kan derfor ikke direkte sammenlignes med et annet forsyningsfartøy uten å utføre nye simuleringer.

Batteriet i modellen tar ikke med tap som følge av temperaturvariasjoner og alder under beregningen av batteriets ladestatus og kapasitet. Systemet tar heller ikke hensyn til spenningsfall og andre effekttap, siden en analyse av energinettet ikke vil inngå i oppgaven.

## 1.3 Målsetting

Målene for denne bacheloroppgaven er følgende:

1. Designe en simuleringsmodell av EMS som beskrevet i problemstilling.
2. Produsere konkrete resultater som kan vise økonomiske og miljømessige gevinster ved å installere et energilagringssystem om bord et forsyningsfartøy (PSV).
3. Fastslå om et energilagringssystem kan være en lønnsom oppgradering for et dieselelektrisk forsyningsfartøy.

4. Undersøke hvordan ulike batteristørrelser vil påvirke systemet og fastslå optimal batteristørrelse basert på ytelse og kostnad.

## 1.4 Struktur av rapport

Resten av rapporten er strukturert som følgende.

**Kapittel 2 - Teoretisk grunnlag:** Kapittel to gir en innføring i den teoretiske bakgrunnen. Her blir det gitt en beskrivelse av de ulike driftsprofilene for et forsyningsfartøy. Det blir også gitt en innføring over de nødvendige systemene for et energilagringssystem, samt de viktigste komponentene til et forsyningsfartøy.

**Kapittel 3 - Metode:** Kapittel tre inneholder en beskrivelse av metodikken til gruppen. Det utføres en beregning av potensielle besparelser ved å installere et energilagringssystem om bord et dieselelektrisk forsyningsfartøy. Kapitlet inneholder også en detaljert beskrivelse av designet til EMS-modellen, samt hvilke utviklingsverktøy som har blitt benyttet.

**Kapittel 4 - Resultat:** Kapittel fire inneholder en beskrivelse og analyse i form av grafer og beregninger av resultatene som er produsert av den simulerte EMS-modellen.

**Kapittel 5 - Diskusjon:** Kapittel fem redegjør for funnene som har blitt gjort i oppgaven. Meninger om resultatene drøftes, og det blir gitt en anbefaling for videre arbeid.

**Kapittel 6 - Konklusjon:** Kapittel seks inneholder en samlet konklusjon av resultatene i oppgaven.

# Kapittel 2

## Teoretisk grunnlag

Dette kapittelet handler i hovedsak om de ulike delene av et energilagringssystem på et offshorefartøy. Dette vil gi en forståelse av hvordan de viktigste komponentene til et energilagringssystem på et offshorefartøy fungerer, og hvordan de henger sammen. Det vil også gi en forståelse av de ulike operasjonene som fartøyet opererer i og hvordan de fungerer.

### 2.1 Dieselelektriske offshorefartøy

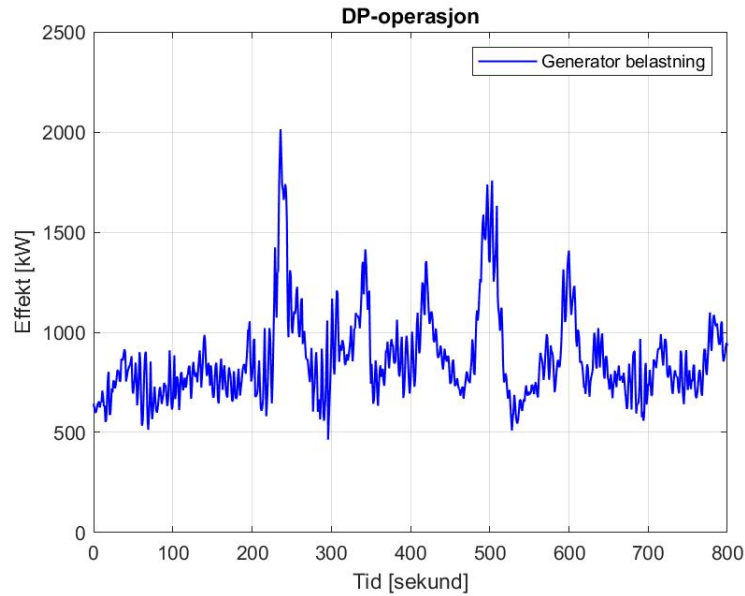
Et dieselelektrisk offshorefartøy er fullstendig avhengig av motorer, generatorer og thrustere for å kunne operere. De viktigste komponentene til fartøyet er motorene og generatorene, som er ansvarlig for å produsere elektrisk energi til fartøyet. Dersom en feil skulle oppstå med en av disse vil det stoppe driften til fartøyet, noe som er en svært uønsket og potensielt farlig situasjon når man opererer til havs. [26]

Et eksempel på dieselelektriske offshorefartøy er forsyningsfartøy (PSV), de er ansvarlige for å transportere forsyninger frem og tilbake til oljeplattformer. Fartøyet har flere ulike driftsprofiler basert på hvilken operasjon som utføres.

#### 2.1.1 DP-operasjon

Dynamisk posisjonering (DP) operasjon er når fartøyet, ved hjelp av avanserte DP-systemer, arbeider tett inn på oljeplattformen for å levere forsyninger. Fartøyet skal da kunne holde angitt posisjon og retning, med minimale avvik. Dette fører til store variasjoner i energibehovet til fartøyet, som en følge av posisjonsavvik grunnet bølger og vind. I figur 2.1 illustreres et eksempel på en typisk lastprofil til en PSV som er i DP-operasjon.

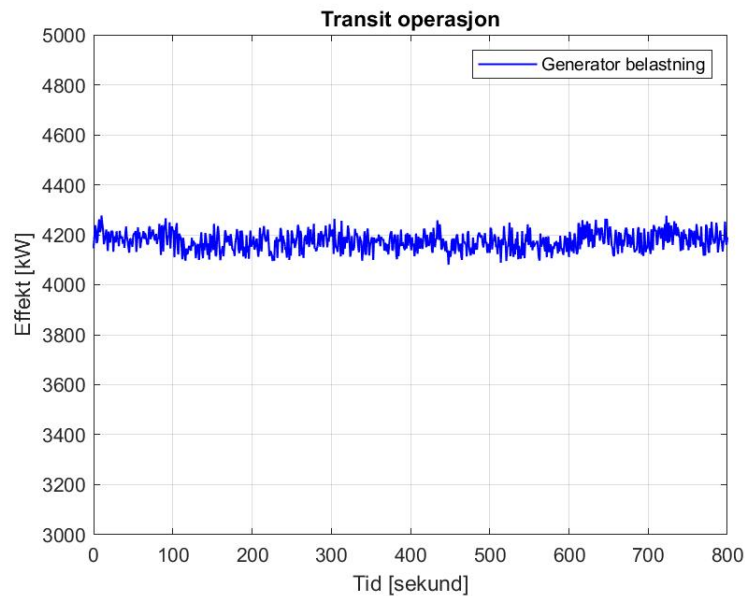




Figur 2.1: Eksempel på lastprofil for en PSV i DP-operasjon

### 2.1.2 Transittoperasjon

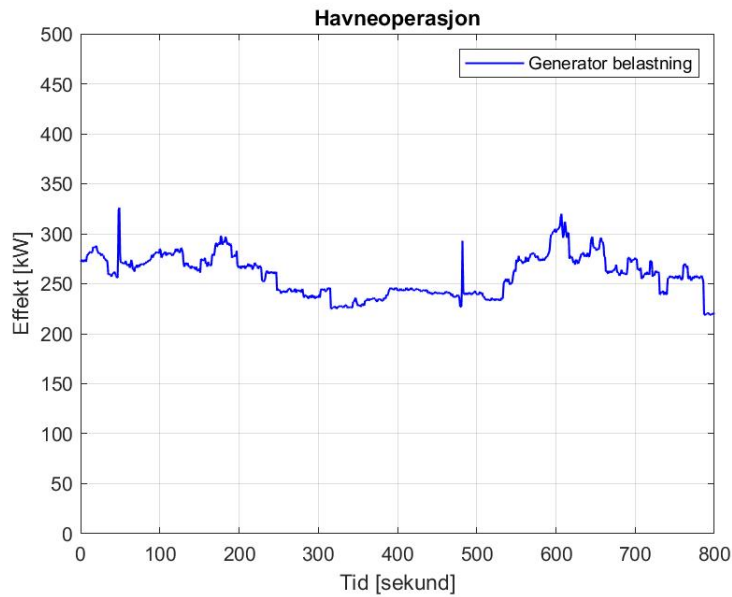
Transittoperasjon er når fartøyet seiler fra en destinasjon til en annen. Motorene kjøres vanligvis ved en høy belastning for å redusere drivstofforbruket, og energibehovet vil være relativt stabilt. I figur 2.2 vises et eksempel på en typisk lastprofil fra en PSV under seiling.



Figur 2.2: Eksempel på lastprofil for en PSV i transittoperasjon

### 2.1.3 Havneoperasjon

Havneoperasjon er når fartøyet ligger fortoyd til havn. Det meste av maskineri er da stoppet ned og energibehovet er generelt lavt. Fartøyet driftes da normalt sett av en motor med lav belastning. I figur 2.3 vises et eksempel på en lastprofil fra en PSV ved havn. Ut fra denne ser man at belastningen stort sett er stabil, men med noen effekttopper som kommer grunnet startstrømmer til pumper eller annet utstyr.

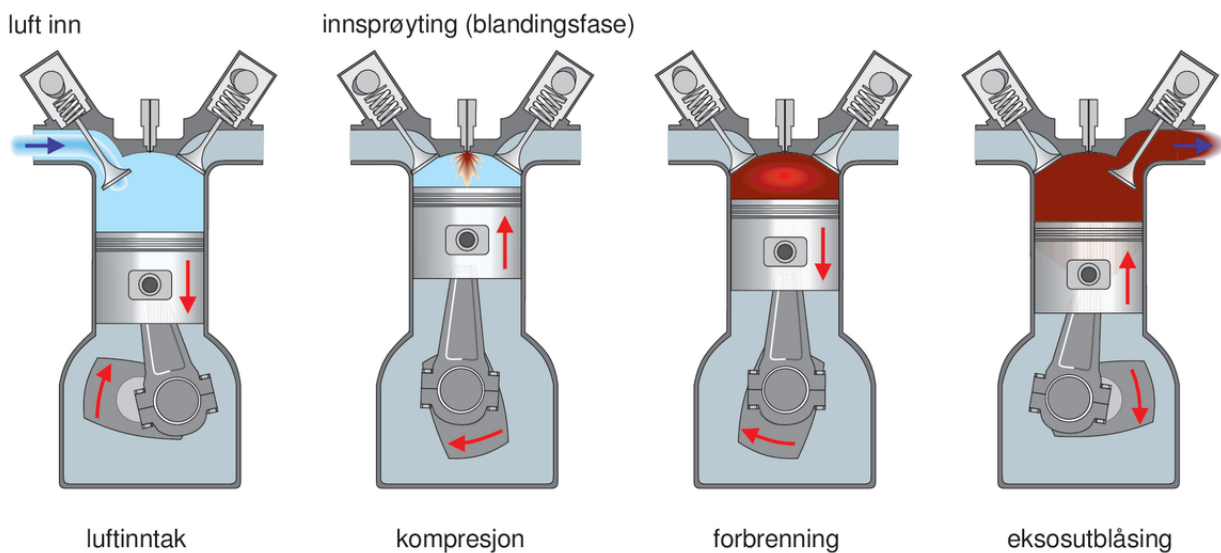


Figur 2.3: Eksempel på lastprofil for en PSV i havneoperasjon

## 2.2 Dieselmotor og generator

Den viktigste kilden til elektrisk kraft om bord på et offshore fartøy kommer fra dieselmotor og generator. Dieselmotorer og generatorer har mange variasjoner både når det kommer til størrelse og kapasitet, men selve prinsippet er det samme.

Dieselmotoren virker etter selvtenningsprinsippet, som betyr at det høye kompresjonsforholdet i dieselmotorene (1:22) fører til et høyt trykk og tilstrekkelig temperatur (cirka 600°C) slik at drivstoffet selvantenner når det sprøytes inn i forbrenningsrommet. Denne kraftige ekspansjonen driver så sylinderen ned og kraften fra dette overføres til et roterende veivsystem. Arbeidsforløpet for å produsere kraft i en dieselmotor kan deles opp i fire ulike steg. [23]



Figur 2.4: Arbeidsforløpet i en dieselmotor.[23]

**Luftinntak:** Når stempelet er på vei til bunnen tilføres det ren luft gjennom motorens luftinntakskanaler. Luftkanalene gir luften en kraftig rotasjon slik at en sykloneffekt oppstår. Når stempelet har nådd sitt nedre vendepunkt stenges luftinntaket. [23]

**Blandingsfase:** Rett før stempelet når sitt øvre vendepunkt sprøytes drivstoffet inn i kammeret gjennom en dyse. Den høye temperaturen gjør at drivstoffet fordampes og blandes med den komprimerte luften. [23]

**Forbrenning:** Drivstoffblandingen vil så selvantenne på grunn av trykket og den høye temperaturen. Forbrenningen er delt opp i to faser, primær- og sekundærfasen. Primærfasen er antenningen av drivstoffet som ble tilsatt under blandingsfasen, mens sekundærfasen er antenningen av drivstoffet som blir tilsatt under forbrenningen. Dette skaper en hurtig ekspansjon og trykkøkning som driver stempelet til bunnen av sylinderen. [23]

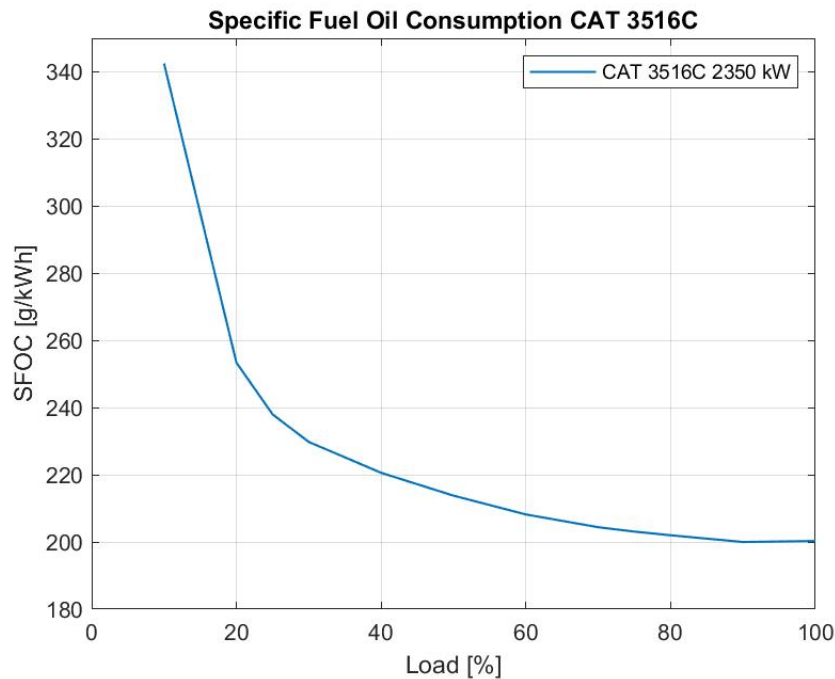
**Eksosutblåsning:** Når stempelet har nådd bunnen av sylindren åpnes eksosventilen og forblir åpen frem til stempelet har nådd øvre vendepunkt. Da er forbrenningsrommet tømt for eksos og et nytt forløp kan starte. [23]

Den mekaniske energien produsert av dieselmotoren overføres til generatoren hvor det blir omgjort til elektrisk energi. Omgjøringen skjer grunnet elektromagnetisk induksjon, som er selve prinsippet bak alle generatorer.

### 2.2.1 Forbruk og utslipp

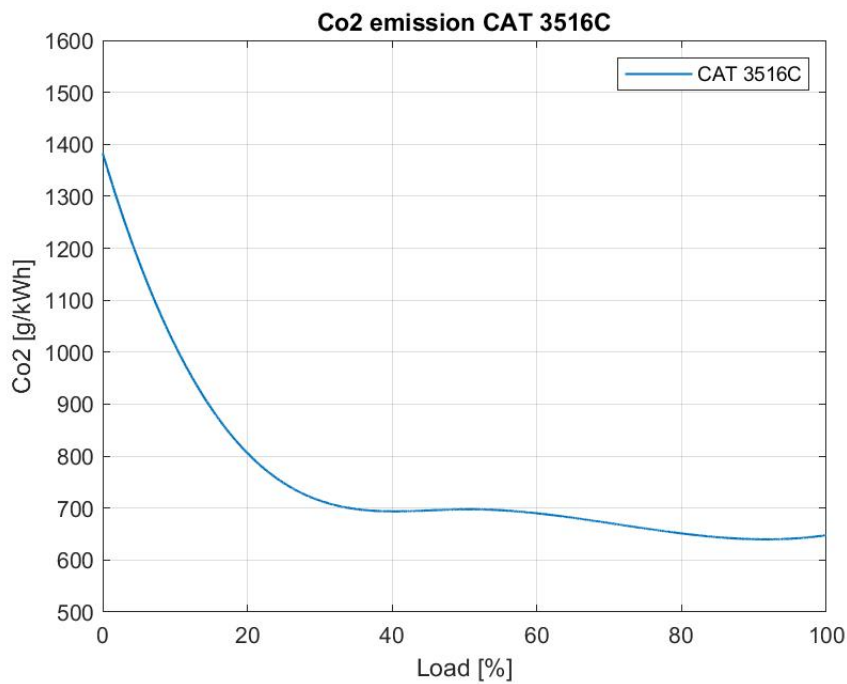
Dieselmotoren som vil bli brukt som eksempel her er en Cat 3516C, produsert av Caterpillar. Denne motoren er tilpasset maritim bruk og finnes om bord i mange forskjellige diesel elektriske fartøy. Informasjon om forbruk og utslipp fra motoren har blitt hentet fra teknisk datablad til motor.[3]

Spesifikt brennstofforbruk (SFOC) er målet til massen av brennstoffet som blir forbrukt per kilowattime produsert. Den forklarer hvor mye energi en motor kan produsere ved et gitt sett-punkt basert på forbrukt drivstoff. Det er derfor et godt verktøy til å finne ut hvilket arbeidsområde en motor er mest effektiv i. I 2.5 illustreres SFOC kurve til en Cat 3516C dieselmotor. Man kan tydelig se ut ifra denne kurven at forbruket per kilowattime produsert synker når belastningen på motoren øker. Ut ifra kurven kan man se at motoren er på sitt mest effektive når belastningen ligger mellom 80 og 100 prosent. .

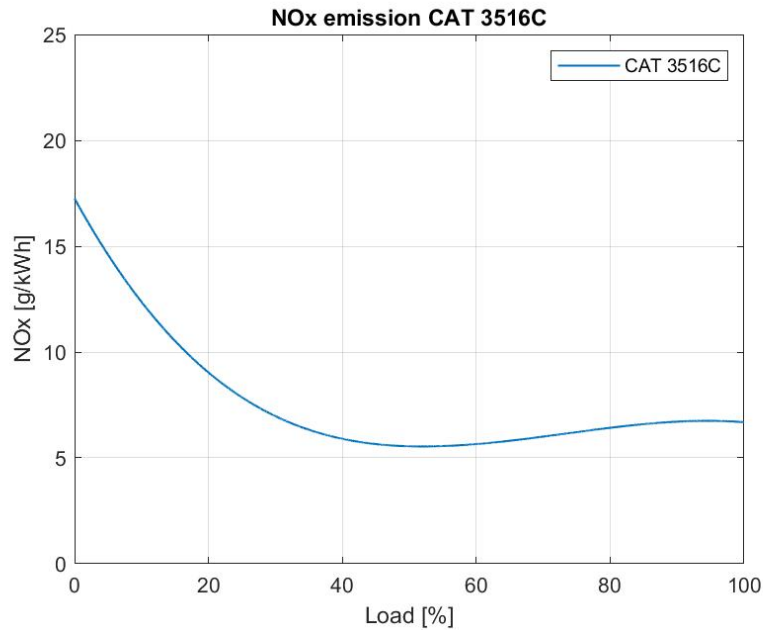


Figur 2.5: SFOC Cat 3516C [3]

Som et forbrenningsprodukt fra dieselmotoren dannes det blant annet avgasser som CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Dette er forurensende gasser som kan bidra til en eventuell økning av drivhuseffekten [14]. I figur 2.6 og 2.7 illustreres utslippene av Co<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> for en CAT 3516C-dieselmotor. Kurvene har blitt laget ved hjelp av spline-interpolasjon, basert på fem punkt ved ulik belastning hentet fra datablad [3]. Her følger kurvene samme mønster som ved SFOC-kurven, og viser et tydelig bilde av at motoren er mer effektiv og har et lavere utslipp ved høyere belastninger.



Figur 2.6: CO<sub>2</sub> utslipp Cat 3516C [3]



Figur 2.7: NOx-utslipp Cat3516C [3]

## 2.3 Hovedtavle

Hovedtavlen er det sentrale nervesystemet for elektrisk kraft om bord i et dieselelektrisk fartøy. Det er en helt avgjørende komponent om bord i et fartøy med dieselelektrisk fremdrift. Her distribueres produsert energi fra generatorne videre til thrustere, delsystem og andre store forbrukere. Hvert system har en egen effektbryter som skal beskytte hovedtavlen dersom en feil skulle oppstå med forbruker.

En hovedtavle om bord et dieselelektrisk fartøy er vanligvis delt opp i to forskjellige samleskinner som kan forenes til en enkelt samleskinne med hjelp av en «bus-tie»-bryter. Formålet med dette er å kunne isolere tavlene fra hverandre for å oppnå redundans. Hver samleskinne suppleres normalt sett av to generatorer hver med thrustere fordelt på begge sider. Dette gir hovedtavlen et høyt nivå av redundans mot ulike feil og gjør at fartøyet kan driftes på halve tavlen med redusert kapasitet dersom en delvis «blackout» skulle oppstå.

Delsystem som 230V-tavle, 440V-tavle og nødtavle suppleres også fra hovedtavlen. Disse er mindre utgaver av hovedtavlen, men er funksjonsmessig veldig like, foruten nødtavlen. Denne supplerer diverse kritisk utstyr om bord i fartøyet, og har en egen mindre generator som automatisk vil starte opp og supplere tavlen dersom et strømbrudd oppstår.

En annen viktig funksjon en hovedtavle på et dieselelektrisk fartøy har er det grundige selektivitetsdesignet. Dette innebærer at effektbryterne til generatorer, thrustere og «bus-tie» har nøye innstilte vern som vil løse ut og isolere feilkilden, slik at denne ikke spres videre i kraftnettet.

## 2.4 Dynamisk posisjonering

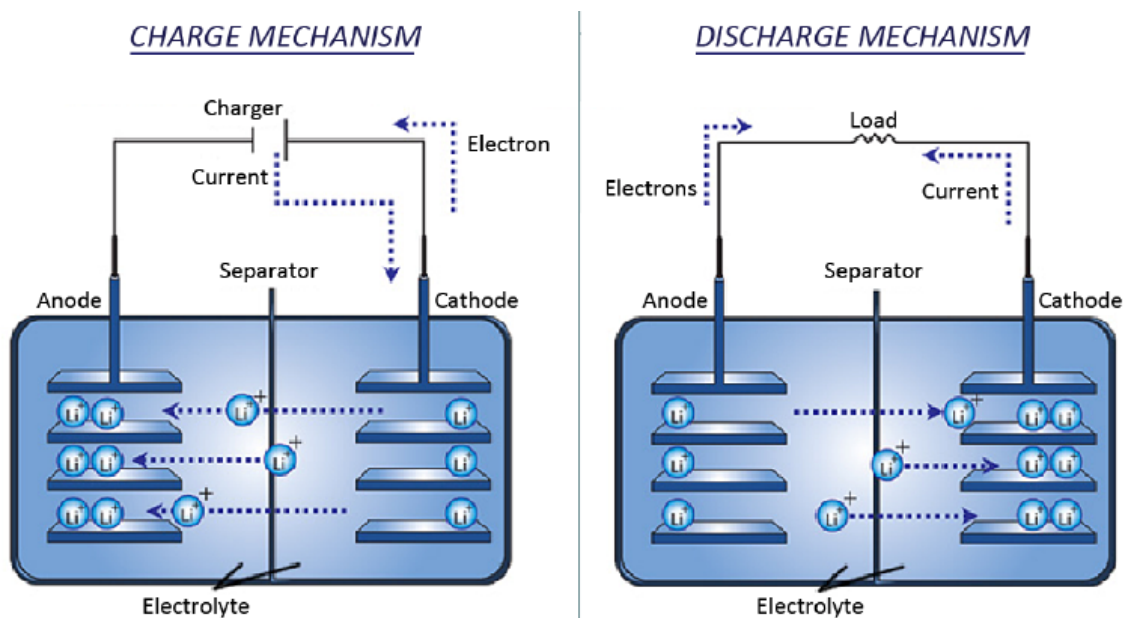
Dynamisk posisjonering (DP) er et system som automatisk skal holde fartøyet i en spesifikk posisjon. Systemet tar inn data, som posisjon til fartøyet og ytre påvirkninger. Posisjonen blir hentet fra Global Positioning System (GPS), mens ytre påvirkninger kan være vind, bølger eller havstrømmer. Så bruker DP-systemet dataene til å beregne ulike justeringer, som må til for at fartøyet skal holde en nøyaktig posisjon. Disse dataene blir behandlet av DP-systemet, som ut ifra disse sender kommandoer om at ulike thrustere og propeller må aktiveres. PSV-er bruker DP hovedsakelig til å holde nøyaktig posisjon ute ved oljeplattformen, eller for å holde en nøyaktig sikkerhetsavstand unna plattformen.[11]

Det Norske Veritas (DNV) har egne regler for fartøy når de opererer i DP-modus. En av de viktigste er at DP-systemet skal være designet redundant. Det vil si at fartøyet skal kunne holde posisjonen selv om det oppstår en feil på et system.[5] Fartøyet må da ha to tilgjengelige kraftkilder, en av disse kan være et batteri som «spinning reserve». Dette går i korte trekk ut på å ha en viss energimengde reservert, som kan brukes hvis dieselgeneratorer skulle stoppe. Det må da ofte brukes to dieselgeneratorer for å ha nok kraft tilgjengelig. Ved å erstatte den ene dieselgeneratoren med et batteri, kan det være mulig å spare mye drivstoff. Da kan et batteri ligge som reserve, og levere energi til fartøy hvis det skulle være nødvendig.

## 2.5 Batteri

### 2.5.1 Litium-ionbatteri

Litium-ionbatteri har dominert batterimarkedet over lengre tid. I industrien blir de brukt til å fase ut forbrenningsmotoren, for å minke utslipp. Litium-ionbatterier er oppladbare batterier med høy energi. Litium-ionbatteriet kan bestå av en eller flere celler. Inne i hver celle er det en positivt ladet katode, en separator og en negativ ladet anode[24]. Når batteriet lades foregår det en kjemisk reaksjon der elektroner går fra katoden til anoden, og motsatt når batteriet utlades[25]. Mellom anode og katode er det en organisk elektrolytt som transporterer ioner, og lager et skille mellom anode og katode, slik at de ikke er i kontakt med hverandre. Litium-ionbatteri har en høy nominell spenning på rundt 3,6-3,7 V. En av svakhetene med litium-ionbatteri er at kapasiteten reduseres ved lave temperaturer.



Figur 2.8: Lading og utlading av et litium-ionbatteri [27]



### 2.5.2 Termisk rømling

Termisk rømling er et begrep som blir brukt om situasjonen der temperaturen i en eller flere av cellene i et litium-ionbatteri blir for høy. Hvis denne situasjonen oppstår kan det få store konsekvenser, og i verste fall kan elektrolytten i cellen ta fyr. Hvis en celle tar fyr, kan det spre seg til nærliggende celler og skape en kjedereaksjon i batteriet.

For blant annet å unngå termisk rømling har Sjøfartsdirektoratet og DNV laget et regelverk som skal sørge for sikkerheten rundt installasjoner av batteripakker på norske fartøy. I regelverket settes det strenge regler til installasjonen, med blant annet en prognosetest. Prognosetesten går ut på å overbelaste en eller flere battericeller i en modul med minst 150 prosent av maksimal ladespenning, og sette ladestrømmen til det maksimale av det batteriet skal tåle. Her er målet å oppnå termisk rømling av battericellen. Hvis ikke overbelastningen er nok for å oppnå termisk rømling må det tilføres mer varme. For at testen skal være godkjent, kan ikke termisk rømling spre seg mellom de ulike batterimodulene. Hvis den første prognosetesten mislykkes, kan det gjøres en prognosetest nummer to. Prognosetest nummer to har samme framgangsmåte som nummer en, men med en sikkerhetsfunksjon med eksternt slukkesystem[22] [6]. Regelverket og testene skal forhindre ulykker og ivareta sikkerheten om bord i norske fartøy.

### 2.5.3 Batteriinstallasjoner på offshorefartøy

I nyere tid har flere offshorefartøy installert Energy Storage System (ESS) om bord. Det består av flere stativ med Litium-ionbattericeller. Dette gir en høy spenning som kan forsyne hovedtavlen.

Når det skal installeres batteri på et offshorefartøy er det viktig å se på de ulike energibehovene fartøyene har, når de utfører ulike operasjoner over tid. Ut ifra driftsdata og krav til hvor mye spenning som trengs, kan det velges et batteri som dekker de spesifikke behovene fartøyet har. Ved behov for mer energi, kan flere stativ parallellkobles for å dekke energibehovet.



Figur 2.9: Bilde av Corvus Orca Energy[8]

Batterileverandører som Corvus har noen terminologier de kategoriserer batteriene etter:

- C-rate er en faktor som indikerer hvor mye strøm som kan tas ut av batteriet. Ved å bruke kapasiteten(Ah), C-rate og tid(h) kan vi beregne den totale strømmen som kan tas ut av batteriet:

$$\text{Strøm}(A) = \frac{\text{Kapasiteten}(Ah)}{\text{Tid}(h)} * C - \text{rate}$$

Så en modul fra Corvus Orca Energy med spesifikasjoner fra figur 2.10 og en C-rate på 3C:

$$\frac{128Ah}{1h} * 3 = 384A$$

Chemistry	Lithium ion NMC / graphite
Energy	5.65 kWh
Capacity	128 Ah
Dimensions	420 x 164 x 600 mm
Weight	58 kg
Maximum Voltage	50 VDC

*Table 1: Orca Energy battery module specifications.*

Figur 2.10: Corvus Orca Energy-modulspesifikasjoner [9]

- Depth of Discharge(DoD) er SoC-forskjellen mellom hvor SoC starter til hvor den slutter i en utladingsperiode. Så hvis SoC starter på 80% og slutter på 50%, vil DoD være 30%.
- State of Health(SoH) er en prosentandel av den totale batterikapasiteten i forhold til hva kapasiteten var når batteriet var nytt. Denne faktoren vil beregnes når batteriet er nytt og vil være en del av sertifiseringen av batteriet.
- Batteriene må ha et kjølesystem, det er vanlig med luftkjølte eller vannkjølte systemer.
- Batterilevetid er noe som de fleste leverandørene oppgir. Det er vanlig å sette en forventet levetid på ti år, men ulike faktorer spiller inn som temperatur og ladesyklus.

#### 2.5.4 Peak Shaving

Peak Shaving er en teknikk som er brukt til å redusere strømforbruket i perioder med høy etter-spørsel av elektrisk energi. Denne teknikken kan benyttes av dieselelektriske offshorefartøy ved å installere et energilagringssystem. Fartøyet kan da optimalisere energiforbruket ved å kjøre motorene med en gunstig belastning, redusere antall motorer, og lagre overflødig energi til senere bruk. Batteriet brukes da til å jevne ut belastningstopper og gir motorene en stabil belastning ved å redusere variasjoner. Dette vil redusere drivstoffkostnader, utslipp og behovet for vedlikehold.[10]

#### 2.5.5 Effektreserve

Effektreserve (Spinning Reserve) er en metode der det blir brukt et energilagringssystem som en reservert energimengde. Denne energimengden skal fartøyet ha tilgjengelig når det opererer i DP. Denne energireserven skal være tilgjengelig i tilfelle det skulle oppstå en situasjon der fartøyet mister fremdriften, ved tap av generatordrift. Ved tap av energi fra dieselgenerator, vil batteriet ta over og levere energi til fartøyet, slik at fartøyet kan bruke energien fra batteriet til å forflytte seg til en sikker sone.

#### 2.5.6 Start/stopp-modus

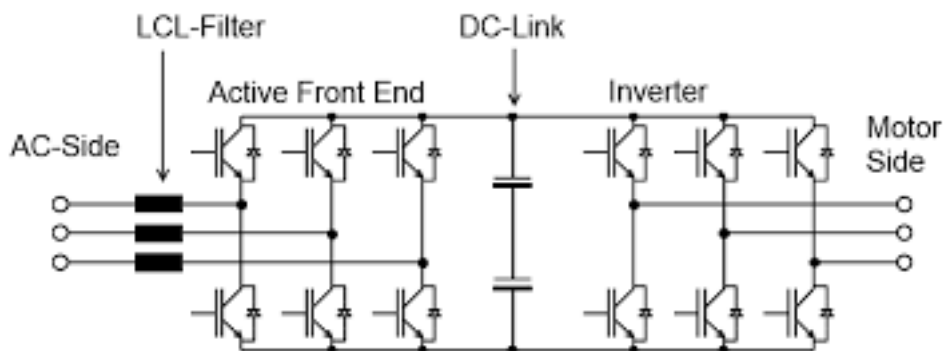
I start/stopp-modus benyttes batteriet som en energikilde for fartøyet. Dette gir mulighet til å stoppe hele eller deler av generatordriften i kortere perioder for å benytte seg av den lagrede energien på batteriet. Når batteriet når sin nedre grense vil en generator starte opp igjen for å gjøre en oppladning, frem til øvre grense er nådd. Når batteriet er oppladet, kan denne generatoren stoppe igjen. Dette er en funksjon til et energilagringssystem som kan redusere driftstimer og drivstofforbruk betraktelig.

## 2.6 Frekvensomformer

En frekvensomformer i et energilagringssystem kan betraktes som laderen til batteriet. Dette er en toveislader hvor den kontrollerer strømflyten både til og fra batteriet. Dette er en veldig viktig komponent for et energilagringssystem siden batteriene operer med likestrøm (DC), og fartøyet med vekselstrøm (AC). Frekvensomformeren gjør det mulig å konvertere DC strømmen slik at batteriene kan benyttes av fartøyet.

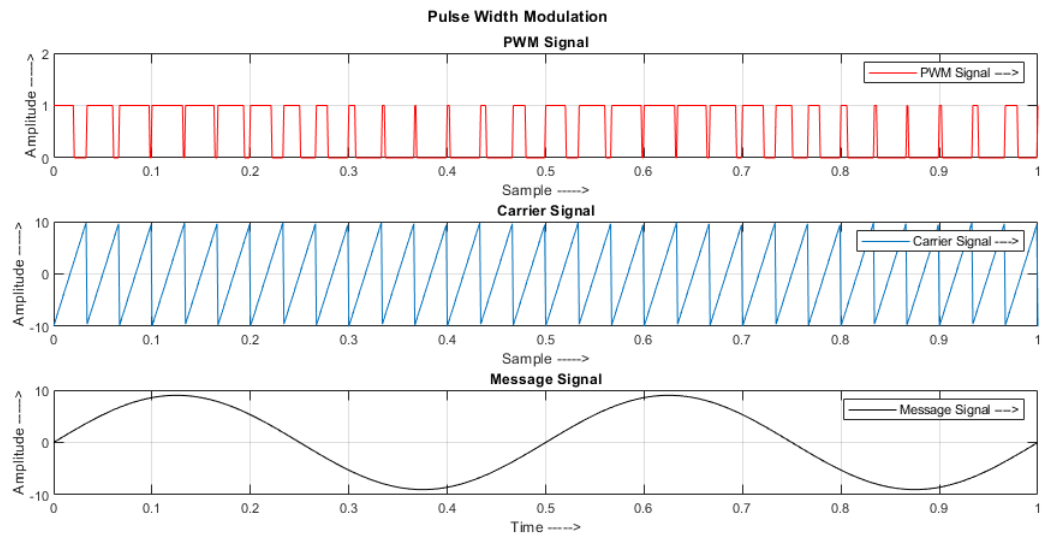
En frekvensomformer består av tre deler, en likeretter, et filter og en vekselretter. Likeretteren skal konvertere fra en vekselstrøm til likestrøm. Likeretteren består av dioder som lar strømmen passere kun en vei. En trefase-likeretter består av seks dioder og blir kalt en 6-puls-likeretter. Ved høyere spenninger benyttes en 12-puls-likeretteren for å redusere de harmoniske spenningene som opptrer ved vekselsiden. En 12-puls-likeretter består av to 6-puls-likerettere som er koblet gjennom en Y-Y og en Y-D transformator til hver 6-puls-likeretter. Når strømmen blir likerettet så er det fremdeles rester fra vekselstrømmen. Denne spenningen kan bli filtrert med et filter bestående av kondensatorer.

Vekselretteren har i oppgave å omforme likestrøm til vekselstrøm, og består vanligvis av seks transistorer. Disse transistorene fungerer som en bryter for å slå strømmen av og på for å generere en vekslende sinusbølge. En type av disse transistorene er Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT), som har en høy bryterhastighet på rundt 3000-16000 Hz [19]. I figur 2.11 vises en illustrasjon av en frekvensomformer med et LCL-filter for å redusere harmoniske svingninger.



Figur 2.11: Illustrasjon av en frekvensomformer [16]

For å generere vekselstrøm fra likestrøm benyttes pulsbreddemodulasjon. Dette er en teknikk hvor omformeren prøver å etterligne en sinusbølge ved å endre lengden på perioden der IGBT lar strøm passere. På grafene i figur 2.12 illustreres hvordan en sinusbølge blir generert fra en puls. Når PWM har sin lengste periode på 1 vil det blir tolket som toppen av sinusbølgen, og ved sin lengste periode på 0 som bunnen av bølgen. [19]

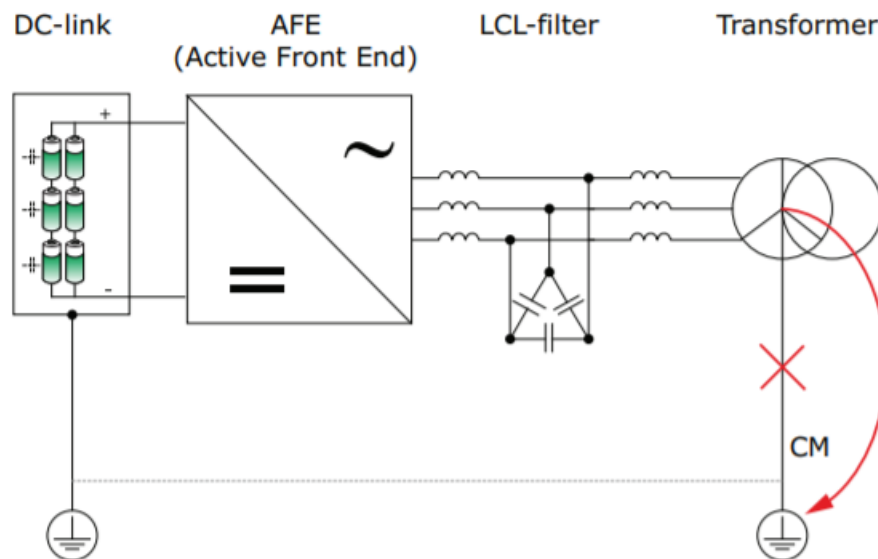


Figur 2.12: Illustrasjon av pulsbreddemodulasjon

## 2.7 Transformator

En transformator er hovedsakelig en komponent som blir brukt til å øke eller senke spenningen i en elektrisk krets, men den kan også bli brukt til å skille ulike deler av det elektriske anlegget. Ved å endre spenningen kan transformatoren forsyne ulike komponenter den spenningen som de er bygget for. Transformatoren er normalt bygget som en trefaseenhet som består av to viklinger, med en primær side og en sekundær side. I midten er det en felles kjerne som består av et metall av magnetisk materiale som blir brukt til å skille de ulike sidene av transformatoren.

I et energilagringssystem blir transformatoren ofte benyttet til å danne et galvanisk skille mellom batteri og resten av strømmettet. Dette gjøres blant annet for å beskytte batteriet mot Common Mode. Common Mode er høyfrekvent støy som kan oppstå i frekvensomformerer når den utfører PWM, og er jordet på begge sider. Ved å sette inn en transformator uten å jorde den, vil den skape et skille mellom sidene av frekvensomformerer. Da vil DC-siden av frekvensomformerer være stabil og signalet vil ikke bli forstyrret.[28]



Figur 2.13: Illustrasjon av hvordan jordingen bør kobles for å unngå Common Mode [28]

## 2.8 Battery Management System

Battery Management System (BMS) er et kontroll og overvåknings anlegg for batteriene. Systemet beregner beskyttende begrensninger for batteriet og sender informasjonen videre til EMS. Det Norske Veritas (DNV) stiller følgende krav for BMS om bord et hybridfartøy.[7]

BMS er ansvarlig for:

- Beregne lade- og utladning begrensinger til EMS
- Beskytte mot overtemperatur
- Beskytte mot overstrøm
- Beskytte mot over- og underspenning
- Balansere battericellene

Følgende parametere skal bli overvåket:

- Cellespenningen
- Celletemperaturen
- Strømmen til batteriet
- State of Charge (SoC)
- State of Heath (SoH)

Temperaturen til hver enkelt celle blir konstant overvåket for å unngå farer som elektrolytten i en battericelle tar fyr (seksjon 2.5.2). Termisk kontroll av batteriet er et krav fra DNV for å ivareta en sikker drift av batteriet. Ytelsen til batteriet er også sterkt påvirket av temperaturen til cellene, hvor optimal temperatur ligger i området rundt 25°C. [9]

Lade – og utladning begrensninger blir kalkulert av BMS og mottatt av EMS. Disse begrensningene bestemmer hvor mye batteriet kan lades og utlades med, og baseres på faktorer som spenning på cellene, SoC, SoH og temperaturen til cellene.

SoC er batteriets ladetilstand og angir hvor mye energi som gjenstår i batteriet. SoH oppgir batteriets tilstand basert på nåværende batterikapasitet i forhold til kapasiteten når batteriet var nytt. Begge disse parameterne oppgis prostenvis fra 0 til 100%, hvor 100% er det optimale.

## 2.9 Energy Management System

EMS er et kontrollsystem som er ansvarlig for å kontrollere energistrømmen til batteriet. I tillegg er systemet ansvarlig for å beskytte, observere og begrense energilagringssystemet. EMS får informasjon om begrensningene fra BMS, beskrevet i seksjon 2.8.

En viktig oppgave til et EMS er å observere tilstanden til systemet og gi informasjon om tilgjengelig elektrisk energi og ladetilstand til fartøyets IAS (seksjon 2.11) og PMS (seksjon 2.10). EMS skal også overvåke informasjon som blir gitt av BMS, og danne begrensninger basert på denne informasjonen.

Fra denne informasjonen vil EMS danne en lade- og utladningsgrense basert på informasjon den har blitt gitt, eller danne en modifisert grense basert på begrensninger fra BMS grunnet høy temperatur eller andre feilkilder. Det er særs viktig at systemet følger disse begrensningene for å forhindre misbruk av batteriet, og sørge for en sikker drift.

## 2.10 Power Management System

Power Management System (PMS) er designet for å sikre et effektivt og sikkert elektrisk anlegg om bord i et dieselelektrisk fartøy. Systemet har mange funksjoner som bidrar til å forenkle driften av generatorene og forhindre uønskede hendelser. Noen av disse funksjonene er automatisk start og stopp av generatorer, «blackout»-start, lastfordeling og overvåking.

PMS er kontrollsystemet som opererer hovedtavlen og sørger for at fartøy har nok elektrisk kraft tilgjengelig til enhver tid. Dersom et større lastbehov skulle oppstå hvor de aktive generatorene ikke strekker til, vil systemet automatisk legge en ny generator inn på tavlen for å dekke behovet. Belastningen på hver enkelt generator overvåkes kontinuerlig og forhåndsinnstilte grenser i PMS-styringen bestemmer når en ny generator skal legges inn. Dette kan for eksempel settes til 90% belastning i en tidsperiode på over ti sekunder.

En av de viktigste funksjonene som PMS-styringen gjør er å beskytte generatorene mot overbelastning. Maksimal elektrisk kraft som er tilgjengelig fra generatorene overvåkes hele tiden og sendes til store forbrukere som thrustere og fremdriftssystem. Når generatorene når maks belastning vil tilgjengelig elektrisk kraft reduseres til null, og gi en lastreduksjon hos de store forbrukerne. Dette hindrer en videre økning av belastningen og beskytter generatorene mot å stoppe som følge av overbelastning.

Et dieselelektrisk fartøy er avhengig av alltid å ha minst en kilde til elektrisk energi for å kunne operere. Dersom aktive kilder skulle svikte og gjøre fartøyet strømløst, vil PMS automatisk starte opp neste standby-generator og hurtig restaurere strømmen. Det settes også krav fra DNV om hvor lang tid denne prosessen kan ta. De krever at tiden fra fartøyet mister kraft til standby-generatoren er lagt inn ikke overskrider 45 sekunder, men det er foretrukket at tiden er under 30 sekunder. [4]

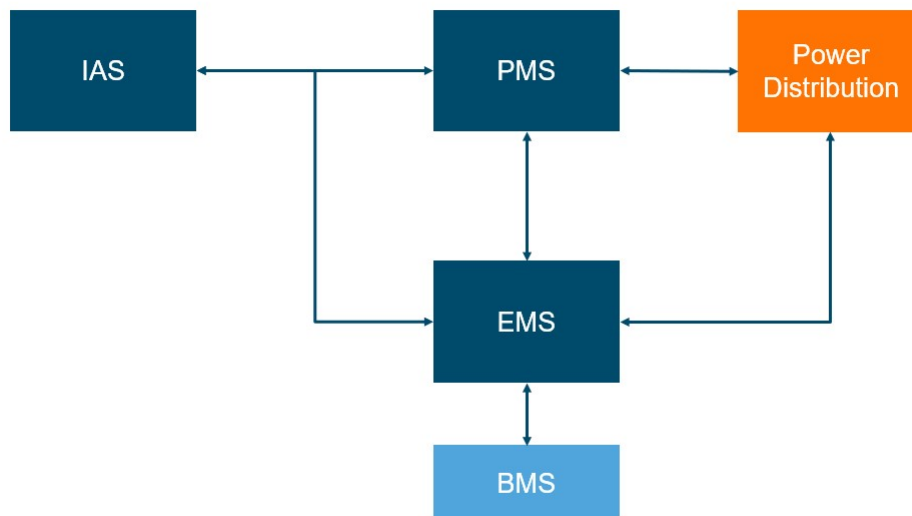


## 2.11 Integrated Automation System

Det integrerte automatiseringssystemet (IAS) er et kontroll- og overvåkningssystem for hele fartøyet. Dette gjør det mulig for operatøren å fjernstyre slikt som motorer, tavlebrytere og pumper. Det viser også relevant informasjon over forskjellige delsystemer og gir alarm dersom en sensor aktiveres eller feil oppstår. Noen av funksjonene man kan finne i en IAS er tankmålinger, ventilstyring, temperatur- og trykkavlesninger, vaktsystem og alarmhistorikk. Funksjoner som dette gjør IAS til et viktig verktøy om bord på avanserte dielelektriske fartøy. Det er designet for å hjelpe operatørene til å overvåke fartøyet og utføre daglige oppgaver.

## 2.12 IAS, PMS og EMS-grensesnitt

Hvert av disse styringssystemene har sitt eget ansvarsområde med ulike oppgaver, for å kunne utføre disse trengs det et grensesnitt mellom systemene. I figur 2.14 illustreres dette grensesnittet som et blokkdiagram. PMS har ansvaret for produksjonen av elektrisk kraft og sikkerheten til hovedtavlen og generatorene (seksjon 2.10). EMS er ansvarlig for energistrømmen til batteriet og begrensningene som dette har (seksjon 2.9). IAS er ansvarlig for å overvåke begge systemene og er derfor i grensesnitt med begge. Operatøren av IAS kan fra denne kontrollere anleggene og motta relevant informasjon. Dersom en feil skulle oppstå med et av styringssystemene vil dette varsles med en alarm på IAS (seksjon 2.11).



Figur 2.14: Blokkdiagram av styringssystemenes grensesnitt

# Kapittel 3

## Metode

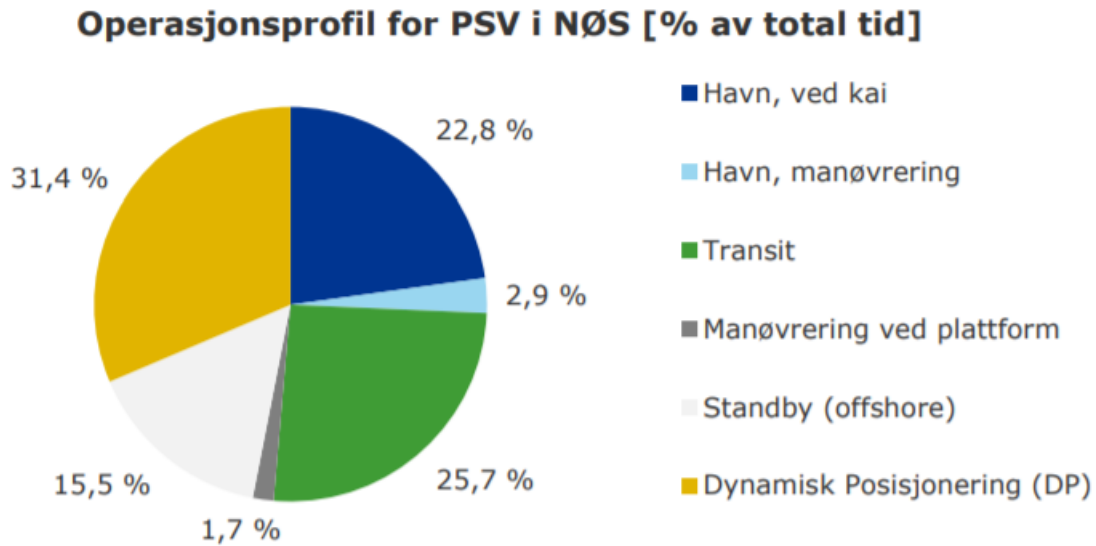
I dette kapitlet undersøkes potensielle besparelser ved å installere et energilagringssystem om bord i et dieselelektrisk forsyningsfartøy. Videre blir det gitt en systembeskrivelse av et energilagringssystem og en detaljert beskrivelse av designet til EMS-modellen.

### 3.1 Potensielle besparelser

I denne oppgaven benyttes driftsdata fra en PSV uten energilagringssystem, i hypotesene blir denne kalt PSV1. Forbruket til en PSV skal estimeres i tre av sine største operasjonsområder, DP, havn og transittoperasjon. Det estimerte forbruket vil brukes til å svare på ulike hypoteser ved å installere energilagringssystem. Ved å se på forbruket kan dette gi en oversikt over de økonomiske og miljømessige fordelene ved å installere ESS på et offshorefartøy.

Utgiftene for å drifte en dieselgenerator er mange. Generatoren trenger flere undersystem, som blant annet kjølesystem, smøreoljesystem, luftinntakssystem og startersystem. Generatoren og undersystemene trenger både tilsyn og vedlikehold som koster penger. Det er vanskelig å sette en nøyaktig kostnad for alle disse faktorene, da de i stor grad vil variere. I hypotesene blir det estimert en driftskostnad for en dieselgenerator på 500 norske kroner (NOK) per time.

Drivstoffprisen er i stadig endring, men i utregningene blir den nåværende drivstoffprisen brukt. Prisen er i skrivende stund på 513 amerikanske dollar (USD) for et tonn med marin gassolje, som i kroner utgjør 4368,24 NOK. For å beregne hvor lenge fartøyene er i de ulike driftsoperasjonene bruker vi figur 3.1, figuren viser et gjennomsnitt over driftsoperasjonene for alle PSV som hadde operasjoner i norskfarvann i løpet av et år.



Figur 3.1: Operasjonsprofil for PSV med operasjoner i norske farvann [13]

### 3.1.1 Potensiell besparelse DP-operasjon

Første spørsmål: Hvor mye kan man teoretisk spare ved å installere energilagringssystem når fartøyet er i DP-operasjon?

Ved bruk av driftsdata fra PSV1 og ser at fartøyet bruker i gjennomsnitt 1000kW i DP-modus. Energibehovet til fartøyet kan da bli dekket med en generator og et batteri. En del fartøy trenger ofte å starte flere generatorer for å dekke energibehovet, her ser vi kun på forskjellen med å erstatte en generator med et batteri som «spinning reserve». Bruk av operasjonsprofilen til figur 3.1 viser at PSV-fartøy er i gjennomsnitt 31,4% i DP. Først beregnes driftskostnad i DP for en generator:

Dager fartøyet er i DP i løpet av ett år:

$$365 \cdot 0,314 = 114,61 \text{ dager} \quad (3.1)$$

Timer fartøyet er i DP i løpet av ett år:

$$114,61 \cdot 24 = 2750,64 \text{ timer} \quad (3.2)$$

Total driftskostnad for en generator:

$$2750,64 \cdot 500 = 1375320 \text{ NOK} \quad (3.3)$$

Følgelig kan en ved å benytte en aktiv generator istedenfor to, potensielt spare 1 375 320 NOK i driftskostnader.

Drivstoffbruket for ulike motorer varierer mye, og hvor mange generatorer som kjøres i DP varierer fra fartøy til fartøy. For å beregne en mulig besparelse blir det i denne hypotesen brukt et fartøy med CAT3516C-dieselmotor om bord. Det blir i tillegg brukt effektdata fra databladet til motoren, og SFOC-data fra figur 2.5 til å beregne drivstoffbruket. Da vil en få oversikt over besparelsen ved å kutte fra to til en generator med samme tilgjengelige effekt.

To generatorer med 30% last:

$$\frac{2 \cdot 750 \text{ kW} \cdot 2750,64 \text{ timer} \cdot 229,8 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 948,14 \text{ tonn} \quad (3.4)$$

En generatorer med 60% last med batteri:

$$\frac{1500 \text{ kW} \cdot 2750,64 \text{ timer} \cdot 208,2 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 859,02 \text{ tonn} \quad (3.5)$$

Dette gir en drivstoffbesparelse på:

$$948,14 - 859,02 = 89,12 \text{ tonn} \quad (3.6)$$

Som gir en årlig drivstoffbesparelse på:

$$89,12 \cdot 4368,24 = 389297,55 \text{ NOK} \quad (3.7)$$

Så legges totale driftskostnader og totale drivstoffbesparelser sammen. Da får en potensiell årlig inntjening ved å installere et energilagringssystem for DP-operasjoner til å bli følgende:

$$1375320 \text{ NOK} + 389297,55 \text{ NOK} = 1764617,55 \text{ NOK} \quad (3.8)$$

For å beregne de miljømessige fordelene blir det brukt CO<sub>2</sub>-utslippsdata fra figuren 2.6

To generatorer med 30% last:

$$\frac{2 \cdot 750 \text{ kW} \cdot 2750,64 \text{ timer} \cdot 714,5 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 2948 \text{ tonn CO}_2 \quad (3.9)$$

En generator med 60% last med batteri:

$$\frac{1500kW \cdot 2750,64 \text{ timer} \cdot 690 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 2846,9 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.10)$$

Dette gir en utslippsreduksjon på:

$$2948 - 2846,9 = 101,1 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.11)$$

Så ved å installere et energilagringssystem kan man potensielt spare 101,1 tonn CO<sub>2</sub> iløpet av ett år.

For å beregne de miljømessige fordelene blir det brukt NO<sub>x</sub>-utslippsdata fra figuren 2.7

To generatorer med 30% last:

$$\frac{2 \cdot 750kW \cdot 2750,64 \text{ timer} \cdot 6,98 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 28,80 \text{ tonn } NO_x \quad (3.12)$$

En generator med 60% last med batteri:

$$\frac{1500kW \cdot 2750,64 \text{ timer} \cdot 5,66 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 23,35 \text{ tonn } NO_x \quad (3.13)$$

Dette gir en utslippsreduksjon:

$$28,80 - 23,35 = 5,45 \text{ tonn } NO_x \quad (3.14)$$

### 3.1.2 Potensiell besparelse i transittoperasjon

Andre spørsmål: Hvor mye kan det teoretisk spares ved å installere et batteri, som blir ladet av fartøyets dieselgeneratorer når fartøyet opererer i transittmodus?

Ved å benytte driftsdata fra PSV1 ser en at fartøy i gjennomsnitt bruker 4300kW når det opererer i transitt. I denne hypotesen er det brukt et fartøy som har installert fire CAT3516C-generatorer på 2500kW hver. En av generatorene brukes til å lade et batteri med kapasitet 500kWh med rate 2C. For å bruke batteriet optimalt setter vi SoC-arbeidsområde på mellom 30-90%. Da vil generatoren starte oppladingen av batteriet når SoC er på 30%, og lade det opp til 90%, for så å bli skrudd helt av. Etter dette vil hele fartøyet forsynes med energi fra to generatorer og et batteri helt til SoC er nede i 30% og må lades på nytt. For å beregne tiden på ladesyklus blir det brukt «Coulomb Counting Method»[18]

Coulomb Counting Method:

$$SOC(t) = SOC + \frac{P}{E_{bat}} \cdot d(t) \quad (3.15)$$

Utladningstid:

$$0,9 - 0,3 \cdot \frac{500Kwh}{250kW} = 1,2 \text{ timer} \quad (3.16)$$

Ladetid:

$$0,9 - 0,3 \cdot \frac{500Kwh}{500kW * 2C} = 0,3 \text{ timer} \quad (3.17)$$

Dette gir en samlet syklustid på:

$$0,3h + 1,2h = 1,5 \text{ timer} \quad (3.18)$$

Antall sykluser i løpet av en dag:

$$\frac{24h}{1,5h} = 16 \quad (3.19)$$

Bruker operasjonsprofilen til figur 3.1 og ser at PSV-fartøy er i gjennomsnitt 25,7% i transitt.

Dager fartøyet er i transitt i løpet av ett år:

$$365 \cdot 0,257 = 93,81 \text{ dager} \quad (3.20)$$

Timer fartøyet er i transitt i løpet av ett år:

$$93,81 \cdot 24 = 2251,44 \text{ timer} \quad (3.21)$$

Timer fartøyet går på batteri transitt i løpet av ett år:

$$16 \cdot 1,2 \cdot 93,81 = 1801,15 \text{ timer} \quad (3.22)$$

Driftskostnadsbesparelse ved å benytte batteriet i transittoperasjon:

$$1801,15 \cdot 500 = 900575 \text{ NOK} \quad (3.23)$$

Drivstoffsbesparelse:

Tre generatorer med 60% last:

$$\frac{3 \cdot 1500kW \cdot 1801,15 \text{ timer} \cdot 208,2 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 1687,50 \text{ tonn} \quad (3.24)$$

To generatorer med 80% last, pluss et batteri som blir ladet i sykluser av en tredje generator på 80%:

$$\frac{2000kW \cdot 450,29 \text{ timer} \cdot 202 \frac{g}{kWh} + 2 \cdot 2000kW \cdot 1801,15 \text{ timer} \cdot 202 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 1637,25 \text{ tonn} \quad (3.25)$$

Dette gir en drivstoffbesparelse på:

$$1687,50 - 1637,25 = 50,25 \text{ tonn} \quad (3.26)$$

Som gir en drivstoffbesparelse i NOK på:

$$50,25 \cdot 4368,24 = 219504,06 \text{ NOK} \quad (3.27)$$

Legger sammen totale driftskostnader og totale drivstoffbesparelser. Får da en mulig samlet inntjening ved å lade et batteri og bruke i transitt :

$$900575 \text{ NOK} + 219504,06 \text{ NOK} = 1120079,06 \text{ NOK} \quad (3.28)$$

For å beregne de miljømessige fordelene blir det bruket CO<sub>2</sub>-utslippsdata fra figuren 2.6

Tre generatorer med 60% last:

$$\frac{3 \cdot 1500kW \cdot 1801,15 \text{ timer} \cdot 690 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 5592,57 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.29)$$

To generatorer med 80% last, pluss et batteri som blir ladet i sykluser av en tredje generator på 80%:

$$\frac{2000kW \cdot 450,29 \text{ timer} \cdot 651,2 \frac{g}{kWh} + 2 \cdot 2000kW \cdot 1801,15 \text{ timer} \cdot 651,2 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 5278,09 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.30)$$

Dette gir en utslippsreduksjon:

$$5592,57 - 5278,09 = 314,48 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.31)$$

For å beregne de miljømessige fordelene blir det brukt NO<sub>x</sub>-utslippsdata fra figuren 2.7

Tre generatorer med 60% last:

$$\frac{3 \cdot 1500 \text{ kW} \cdot 1801,15 \text{ timer} \cdot 5,66 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 45,88 \text{ tonn } NOx \quad (3.32)$$

To generatorer med 80% last, pluss et batteri som blir ladet i sykluser av en tredje generator på 80%:

$$\frac{2000 \text{ kW} \cdot 450,29 \text{ timer} \cdot 6,42 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} + 2 \cdot 2000 \text{ kW} \cdot 1801,15 \text{ timer} \cdot 6,42 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 52,04 \text{ tonn } NOx \quad (3.33)$$

Dette gir en utslippsreduksjon:

$$45,88 - 52,04 = -6,16 \text{ tonn } NOx \quad (3.34)$$

### 3.1.3 Potensiell besparelse ved havn

Tredje spørsmål: Hvor mye kan en teoretisk spare ved å installere et batteri som blir ladet av fartøyet dieselgenerator, hvis fartøyet ligger til havn uten landstrøm?

Mange havner har i dag et landstrømanlegg som kan forsyne fartøy med energi fra land. Her ser vi på mulig inntjening hvis fartøyet ligger ved havn, og ikke har tilgang til landstrøm.

Ved å benytte driftsdata fra PSV1 ser en at fartøyet i gjennomsnitt bruker 261kW når fartøyet ligger til kai. En bruker i denne hypotesen et fartøy med CAT3516C dieselmotor på 2500kW om bord til å lade et batteri med kapasitet 500kWh med rate 2,5C. For optimal bruk av batteriet setter en SoC-arbeidsområde på mellom 50-80%. Generatoren vil starte å lade batteriet når SoC er på 50% for så å lade det opp til 80%, deretter bli stoppet ned igjen. Etter dette vil hele fartøyet forsynes med energi fra batteriet helt til SoC er nede i 50% og må lades på nytt. For å beregne tiden på ladesyklus blir det brukt «Coulomb Counting Method»[18]

Coulomb Counting Method:

$$SOC(t) = SOC + \frac{p}{E_{bat}} \cdot d(t) \quad (3.35)$$

Utladingstid:

$$0,8 - 0,5 \cdot \frac{500 \text{ kWh}}{261 \text{ kW}} = 0,57 \text{ timer} \quad (3.36)$$

Ladetid:

$$0,8 - 0,5 \cdot \frac{500 \text{ kWh}}{500 \text{ kW} \cdot 2,5} = 0,12 \text{ timer} \quad (3.37)$$



Dette gir en samlet syklustid på:

$$0,6h + 0,1h = 0,69 \text{ timer} \quad (3.38)$$

Antall sykluser i løpet av en dag:

$$\frac{24h}{0,69h} = 34,78 \quad (3.39)$$

Bruk av operasjonsprofilen til figur 3.1 viser at PSV-fartøy er i gjennomsnitt 22,8% ved havn. Dager fartøyet er i havn i løpet av ett år:

$$365 \cdot 0,228 = 83,22 \text{ dager} \quad (3.40)$$

Timer fartøyet er i havn i løpet av ett år:

$$83,22 \cdot 24 = 1997,28 \text{ timer} \quad (3.41)$$

Timer fartøyet går på batteri ved havn i løpet av ett år:

$$34,78 \cdot 0,57 \cdot 83,22 = 1649,8 \text{ timer} \quad (3.42)$$

Driftskostnadsbesparelse ved å bruke batteri ved havn:

$$1649,8 \cdot 500 = 824901 \text{ NOK} \quad (3.43)$$

Drivstoffbesparelse:

En generatorer med 10% last:

$$\frac{250kW \cdot 1997,28 \text{ timer} \cdot 342,5 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 171,02 \text{ tonn} \quad (3.44)$$

En generatorer med 100% last med batteri:

$$\frac{2500kW \cdot 285,11 \text{ timer} \cdot 200,3 \frac{g}{kWh}}{1000000} = 142,77 \text{ tonn} \quad (3.45)$$

Dette gir en drivstoffbesparelse på :

$$171,02 - 142,77 = 28,25 \text{ tonn} \quad (3.46)$$

Som gir en drivstoffbesparelse i NOK på :

$$28,25 \cdot 4368,24 = 123402,78 \text{ NOK} \quad (3.47)$$

Legger sammen totale driftskostnader og totale drivstoffbesparelser. Får da en mulig samlet inntjening ved å lade et batteri og bruke ved havn :

$$856085 \text{ NOK} + 123402,78 \text{ NOK} = 979487,78 \text{ NOK} \quad (3.48)$$

For å beregne de miljømessige fordelene blir det brukt CO<sub>2</sub>-utslippsdata fra figur 2.6

En generator med 10% last:

$$\frac{250 \text{ kW} \cdot 1997,28 \text{ timer} \cdot 1013,89 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 506,26 \text{ tonn CO}_2 \quad (3.49)$$

En generator med 100% last med batteri:

$$\frac{2500 \text{ kW} \cdot 285,11 \text{ timer} \cdot 647,98 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 461,86 \text{ tonn CO}_2 \quad (3.50)$$

Dette gir en utslippsreduksjon:

$$506,26 - 461,86 = 44,41 \text{ tonn CO}_2 \quad (3.51)$$

For å beregne de miljømessige fordelene blir det brukt NO<sub>x</sub>-utslippsdata fra figur 2.7

En generator med 10% last:

$$\frac{250 \text{ kW} \cdot 1997,28 \text{ timer} \cdot 12,37 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 6,18 \text{ tonn NO}_x \quad (3.52)$$

En generator med 100% last med batteri:

$$\frac{2500 \text{ kW} \cdot 285,11 \text{ timer} \cdot 6,69 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{1000000} = 4,77 \text{ tonn NO}_x \quad (3.53)$$

Dette gir en utslippsreduksjon:

$$6,18 - 4,77 = 1,41 \text{ tonn NO}_x \quad (3.54)$$

### 3.1.4 Potensiell besparelse av drivstoff- og miljøutslipp

Tredje spørsmål: Kan det lønne seg å installere batteri på et offshorefartøy, og hvor lang tid vil det ta før investeringen er nedbetalt?

I denne utregningen blir det benyttet utregninger fra tidligere hypoteser, og ser på mulig inntjenings over en periode på 10 år, som tilsvarer garantitiden til batterileverandørene.

Legger sammen besparelser fra 3.8,3.28 og 3.48. Mulig årlig inntjening:

$$1764617,55 \text{ NOK} + 979487,78 \text{ NOK} + 1120079,06 \text{ NOK} = 3864184,39 \text{ NOK} \quad (3.55)$$

Mulig inntjening på 10 år:

$$3864184,39 \cdot 10 = 38641843,9 \text{ NOK} \quad (3.56)$$

For å se om det kan lønne seg må det settes en pris for hele ESS-installasjonen. Vard oppgir en estimert pris på:

- 15 000 000 NOK for drives og installasjonsarbeid
- 650 USD per kWh for batteripakken

Hvis et fartøy installerer ESS med et 500 kWh-batteri vil det i skrivende stund koste: 17 707 250 NOK

$$38641843,9 \text{ NOK} - 17707250 \text{ NOK} = 20934593,9 \text{ NOK} \quad (3.57)$$

En får da inntjening på 20 934 593,9 NOK ved å installere batteri i løpet av 10 år.

Ved bruk av samme tall som i 3.55, prisen for batteripakke og installasjon til å beregne tiden det da vil ta for å betale ned batteripakken:

$$\frac{17707250}{3864184,39} = 4,58 \text{ år} \quad (3.58)$$

Enova har ulike støtteordninger for aktører som vil installere ESS på sine fartøy, men en slik støtte er ikke tatt med i kalkulasjonen, grunnet at støtten blir fjernet for forsyningsfartøy 30.04.2021 [12]. For andre fartøy kan en slik støtte være til god hjelp for å ha økonomi til å installere batteri om bord.

En annen støtteordning som kan være aktuell for aktører som installerer ESS, er NOx-fondet sin støtte for å redusere utslipp av NOx. Denne støtteordningen går ut på at NOx-fondet gir støtte

per kg NO<sub>x</sub> som er redusert, et offshorefartøy som installerer ESS kan få en støtte på 200 NOK per kg NO<sub>x</sub> som blir redusert. Det må legges til at for å få utbetalt denne støtten må det reduserte utslippet av NO<sub>x</sub> verifiseres av DNV.[20]

Fjerde spørsmål: Hvor mye utslipp kan reduseres over en 10-årsperiode ved å installere energilagringssystem?

Legger sammen utslippsreduksjonene fra 3.51,3.31 og 3.11:

$$44,41 + 101,1 + 314,48 = 459,99 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.59)$$

Totalt utslipp det er mulig å redusere over 10 år:

$$459,99 \cdot 10 = 4599,9 \text{ tonn } CO_2 \quad (3.60)$$

Legger sammen utslippsreduksjonene fra 3.14,3.34 og 3.54:

$$5,45 + 1,41 - 6,16 = 0,7 \text{ tonn } NO_x \quad (3.61)$$

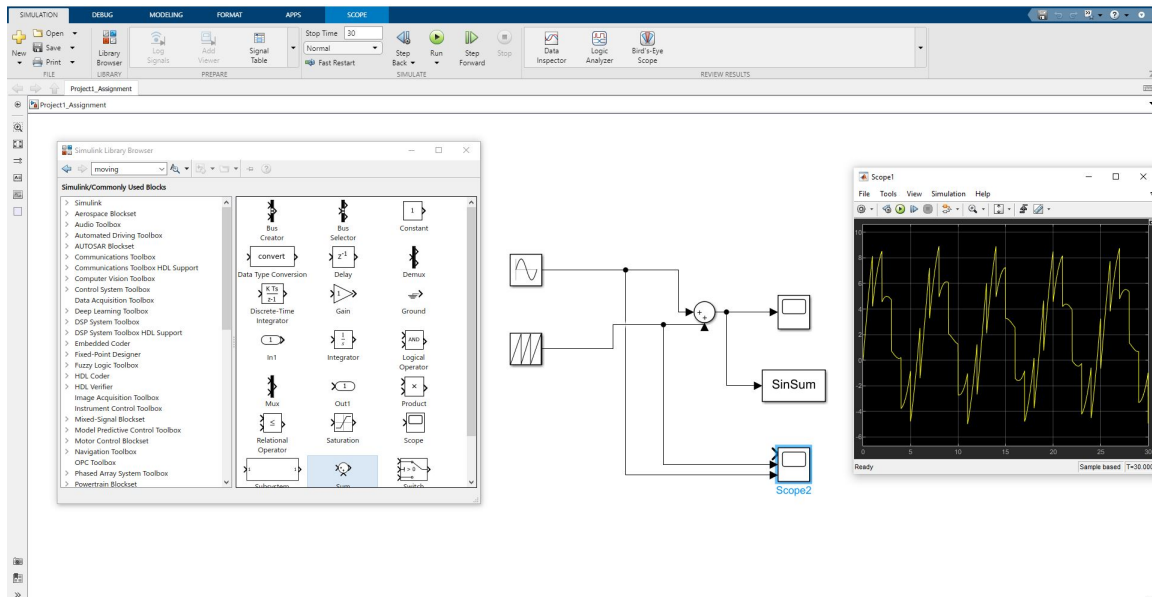
Totalt utslipp det er mulig å redusere over 10 år:

$$0,7 \cdot 10 = 7 \text{ tonn } NO_x \quad (3.62)$$

## 3.2 Utviklingsverktøy

MATLAB er et matematisk verktøy brukt fra enkel matematikk til kompliserte matematiske modeller og dataanalyser. I tillegg er det et høynivå programmeringsspråk, der man kan lage matriser og tabeller. Man kan også bruke ulike verktøykasser, som ekspanderer mulighetene til Matlab.

Simulink er et MATLAB-basert grafisk programmeringsmiljø for modellering, simulering og analyse av dynamiske systemer. Det primære grensesnittet i Simulink er et grafisk verktøy for blokkdiagram og blokkbiblioteker med justerbare blokker. Programmet tilbyr tett integrasjon med resten av MATLAB-miljøet og kan enten kjøres fra MATLAB eller bli skriptet fra MATLAB. Simulink kommer med en del bibliotek fra forskjellige fagfelt. I dette prosjektet brukes Simulink til å modellere EMS, med formålet om å undersøke hvordan forskjellige parametere påvirker systemet. I figur 3.2 ser man et skjermbilde av en enkel modell hvor man legger sammen en sinusbølge med en sagtannbølge, og sender dette til arbeidsområde i MATLAB. I tillegg ser en biblioteket hvor man henter blokker fra.



Figur 3.2: Eksempel fra Simulink

### 3.3 Systembeskrivelse

Formålet til et energilagringssystem er å redusere det totale drivstofforbruket til et offshore-fartøy. Dette gjøres ved å redusere antall kjørende generatorer og optimalisere lasten på aktive generatorer. I tillegg gir et energilagringssystem en ekstra sikkerhet til fartøyet ved å ha en tilgjengelig effektreserve, dersom en feil skulle oppstå med generatordriften.

Energilagringssystemet styres av EMS-kontrolleren, denne har i oppgave å styre lade – og utladningsgrenser og arbeidsområde for batteriet. Systemet har også ulike moduser basert på operasjonen til fartøyet.

**Peak-shaving modus:** Dette er standardmodusen til et energilagringssystemet. EMS vil optimalisere lasten på aktive generatorer ved å benytte batteriet for å ta seg av lastvariasjoner.

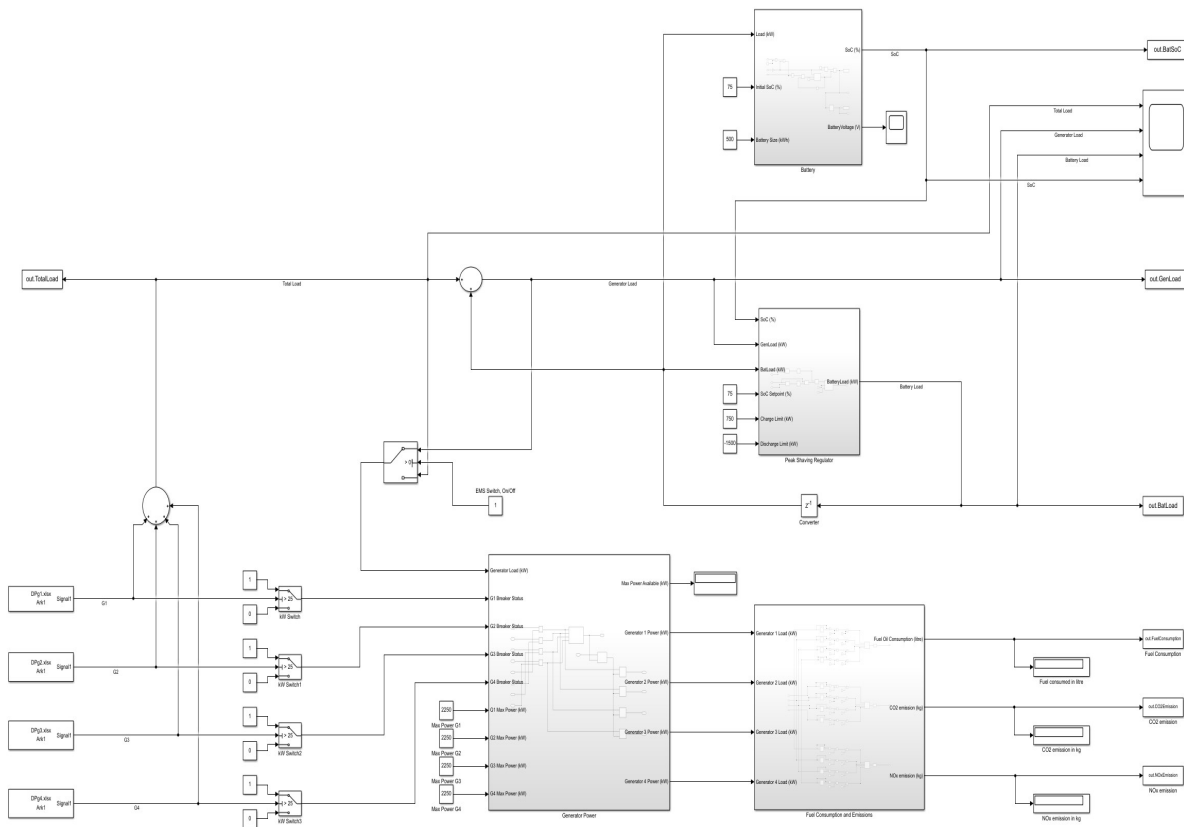
**DP-operasjon:** En eller flere generatorer og batteriet er tilkoblet. Fordelen med denne operasjonen er at antallet aktive generatorer kan reduseres ved å benytte batteriet som en effektreserve. Det er derfor essensielt å opprettholde batteriet på et høyt nivå (rundt 75%), slik at fartøyet har nok tilgjengelig energi for holde posisjon dersom en feil skulle oppstå med generatordriften. Peak-shaving må benyttes i denne operasjonen.

**Transittoperasjon:** En eller flere generatorer og batteriet er tilkoblet. I denne operasjonen opprettholdes batteriet til et fast forhåndsinnstilt nivå (rundt 50%). Peak-shaving er et valg i denne operasjonen.

**Havneoperasjon:** I denne operasjonen stoppes generatordriften og fartøyet driftes kun av batteriet i en kortere periode. Når batteriet når sin nedre ladegrense (rundt 50%) vil en generator starte opp og gjøre en oppladning frem til øvre ladegrense er nådd (rundt 80%), for så å stoppe igjen.

### 3.4 EMS-modell

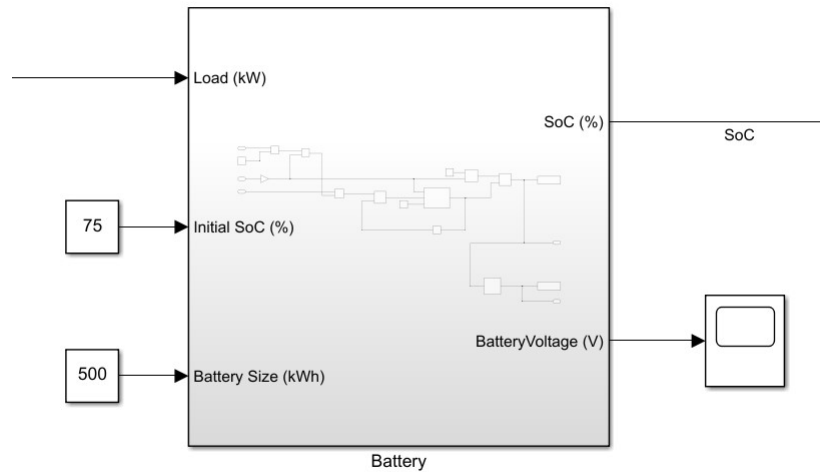
For å undersøke funksjonaliteter til EMS og hvilke besparelser dette kan gi, har det blitt utviklet en simulering i Simulink. Modellen benytter reelle effektdata fra et forsyningsfartøy uten energilagringssystem for å undersøke hvilke besparelser et slikt system kan gi for ulike operasjoner. Simuleringsmodellen er en forenklet modell av EMS som består av batteri, omformer, regulator og en estimering av drivstofforbruk og utslipp. Modellen benytter batteriet for å optimalisere og glatte ut generatoreffekten, også «peak-shaving», og det estimeres et drivstofforbruk og utslipp basert på den totale generatoreffekten. Simuleringen gjør det mulig og enkelt å teste ulike parametere, som for eksempel lade- og utladning grenser, batteristørrelser og SoC-settpunkt for å undersøke hvordan dette påvirker systemet. Deler av modellen har blitt utført etter inspirasjon av EMS-modell laget av Vidar Selen i hans masteroppgave i 2018. [26]



Figur 3.3: EMS-modell designet i Simulink

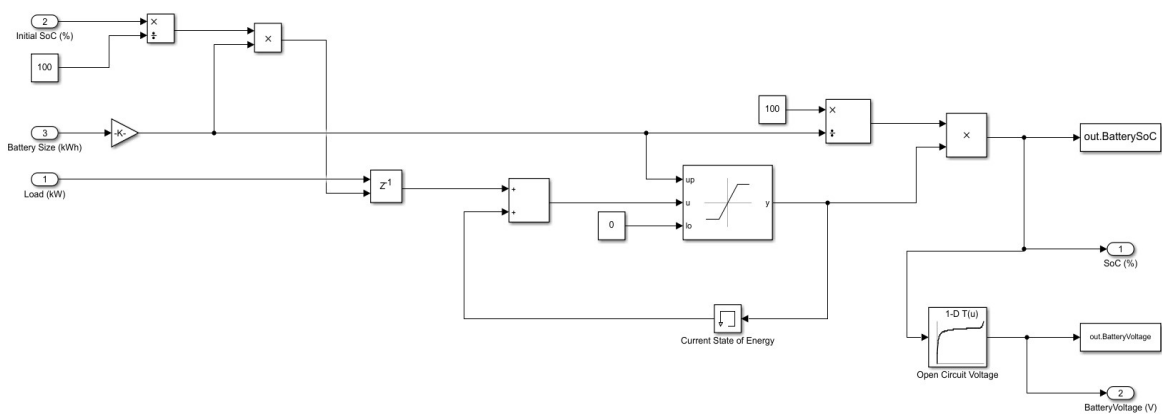
### 3.4.1 Batteri og omformer

Batteriet er energikilden til EMS-modellen, og har tre innganger og to utganger. Inn på batteriet kommer lade- og utladningsbelastning (kW), opprinnelig SoC (%) og batterikapasitet (kWh). Disse inngangene gjør det mulig å kalkulere ladetilstand (SoC) til batteriet, som er den eneste nødvendige utgangen fra batteriet for å oppnå ønsket kontroll. Denne blir brukt for å gi batteriet et arbeidsområde med et fast settpunkt. Den siste utgangen er batterispenningen som blir kalkulert fra oppslagstabell basert på batteriets SoC.



Figur 3.4: Batteri i EMS-modell

Omformeren i EMS-modellen er illustrert som en forsinkelsesblokk fordi den forventende effekten fra omformeren er et forsinket utgangssignal, basert på kommandoene fra EMS. Forsinkelsen bør være lik syklustiden til kontrolleren for å representere en tilnærming av virkeligheten. I denne simuleringen er forsinkelsen satt til 0.01 sekund. [26]

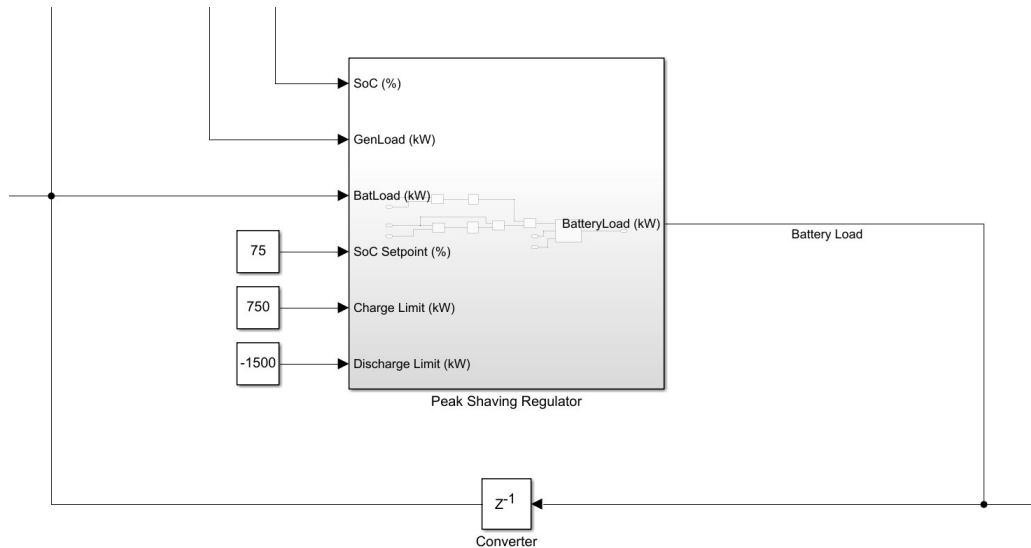


Figur 3.5: Fullstendig batteri i EMS-modell



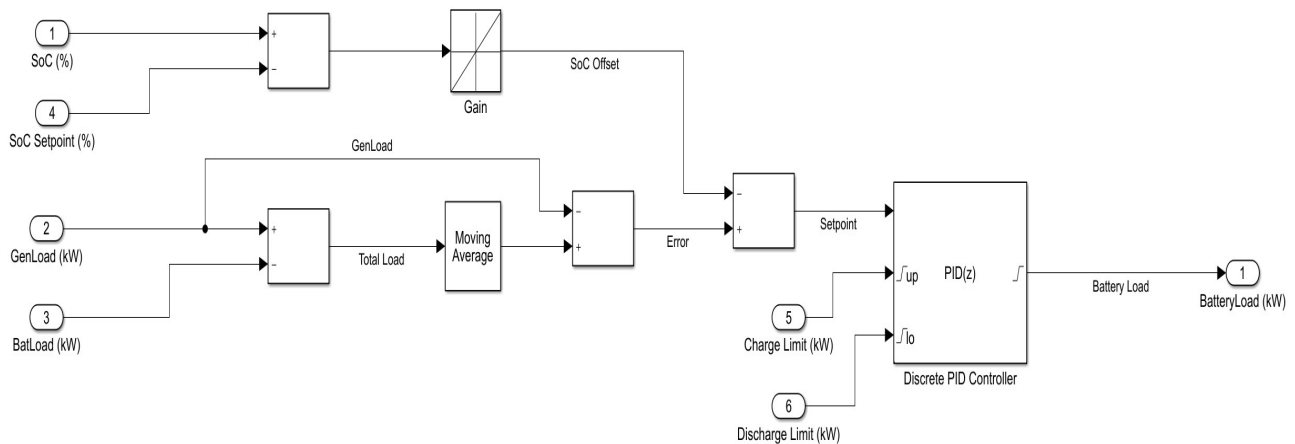
### 3.4.2 Peak shaving-regulator

Regulatoren er ansvarlig for styringen av batteriet. Det er denne som kontrollerer «peak-shaving» og definerer arbeidsområdet for batteriet. Generatorlast, batteribelastning fra omformer og SoC er inngangene til regulatoren. I tillegg har blokken parametere for batteriets SoC-settpunkt samt lade- og utladningsgrense. Ut fra blokken kommer den regulerte batteribelastningen.



Figur 3.6: Peak-shaving regulator i EMS-modell

Regulatoren fungerer ved at belastningen til omformeren blir subtrahert fra den totale generatorlasten og sendt gjennom et glidedene gjennomsnittsfiler (MAF). Siden belastningen fra omformeren er negativ når den leverer til nettet, vil subtraksjonen resultere i den totale belastningen på hovedtavlen. Filteret styrer den ønskede responsen til generatorene, og gir ut en jevn belastning basert på det glidende gjennomsnittet. Utgangen fra filteret blir så subtrahert fra den faktiske generatorbelastningen, og summen av dette går til Proporsjonal Integrasjon Derivasjon(PID)-regulatorens settpunkt. Denne regulerer batteriets belastning og har som formål å minimere forskjellen mellom filteret og den faktiske generatorbelastningen. Regulatoren vil da kontrollere batteriet og bidra med å stabilisere generatorene ved hurtige lastendringer, og sørge for en optimal og jevn belastning.



Figur 3.7: Kontrollstyring til peak shaving-regulator

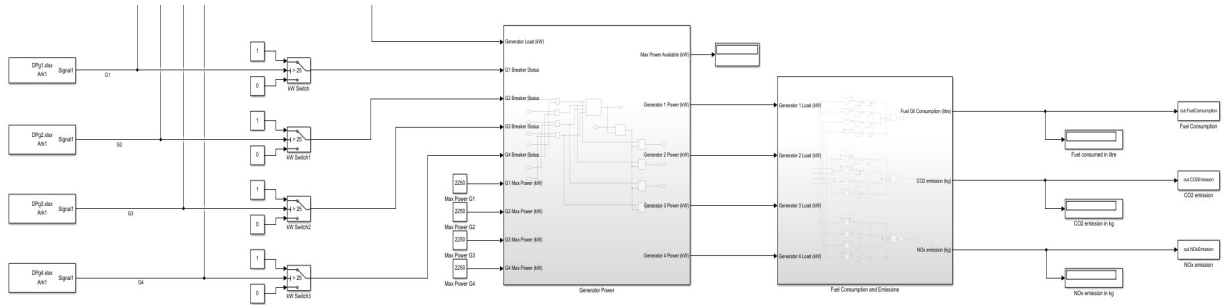
Batteriets ladetilstand (SoC) må også tas i betraktning under designet av EMS og regulering. Batteriet som energikilde har begrenset kapasitet, og kan ikke drifte fartøyet alene over lengre perioder. I tillegg til dette har batteriet også et begrenset antall lade- og utladningssykluser gjennom levetiden. Dersom peak shaving-reguleringen bruker opp mye av batteriets kapasitet så vil det påvirke batteriets levetid. Det er derfor viktig å begrense batteriets DoD.

Peak shaving-regulatoren er designet med to innganger for styring av batteriets SoC, en for batteriets ladetilstand og en for batteriets settpunkt. Batteriets ladetilstand settes til et fast forhåndsdefinert nivå som det kan operere ved. Settpunktet subtraheres fra batteriets reelle ladetilstand som gir et avvik dersom de er ulike. Dette avviket blir videre forsterket og subtrahert med PID-regulatorens settpunkt. Dersom den reelle ladetilstanden er lavere enn gitt settpunkt vil dette føre til et negativt forsterket avvik, som videre vil øke settpunktet til PID-regulatoren. For å kompensere for dette, øker regulatoren belastningen på batteriet frem til avviket tiltar og ladetilstand er nådd. Dette gjør at batteriet kan operere med et lavt DoD-område på rundt 5%, noe som er svært gunstig for å ivareta levetiden til batteriet.

Det er også viktig at batteriet kan opprettholde et fast settpunkt når fartøyet er i DP-operasjon. Den essensielle funksjonen til denne operasjonen er å benytte den lagrede energien i batteriet som en effektreserve, dersom en feil skulle oppstå med generatordriften. Det er kritisk at batteriets SoC holdes på et høyt nok nivå slik at den lagrede energien er nok til å avbryte operasjonen til fartøyet dersom en feil skulle oppstå.

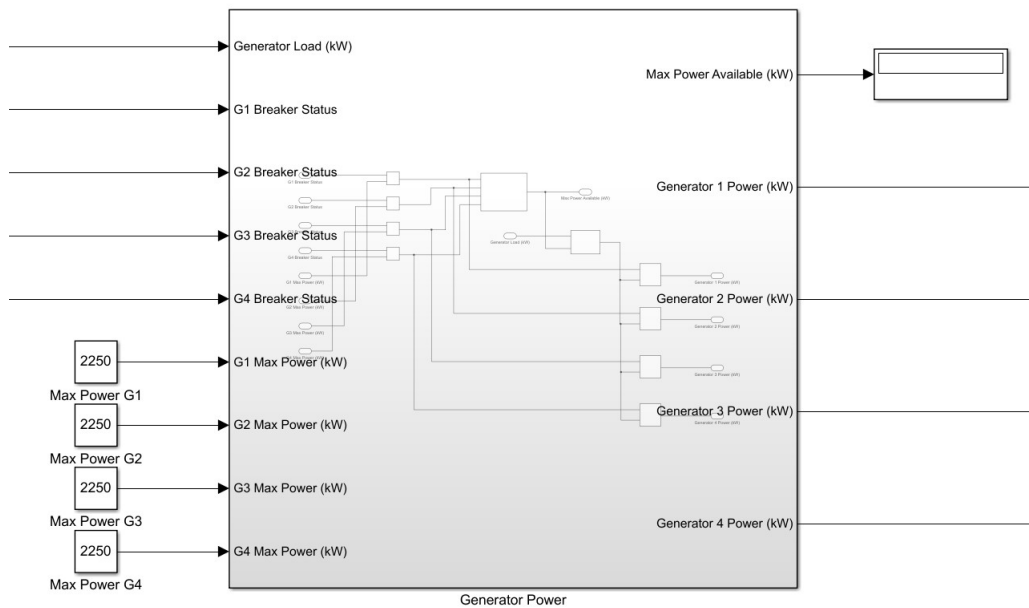
### 3.4.3 Estimering av drivstofforbruk og utslipp

EMS-modellen benytter effektdata oppgitt i kW og har kapasitet for fire generatorer, i figur 3.8 illustreres importen av effektdata og hvordan denne behandles i EMS-modellen. For at modellen skal kunne utføre sine handlinger blir dataene summert til en total belastning, dette blir tolket som det totale forbruket til fartøyet. EMS-modellen vil da generere en ny generatorbelastning som er summert med belastningen til batteriet.

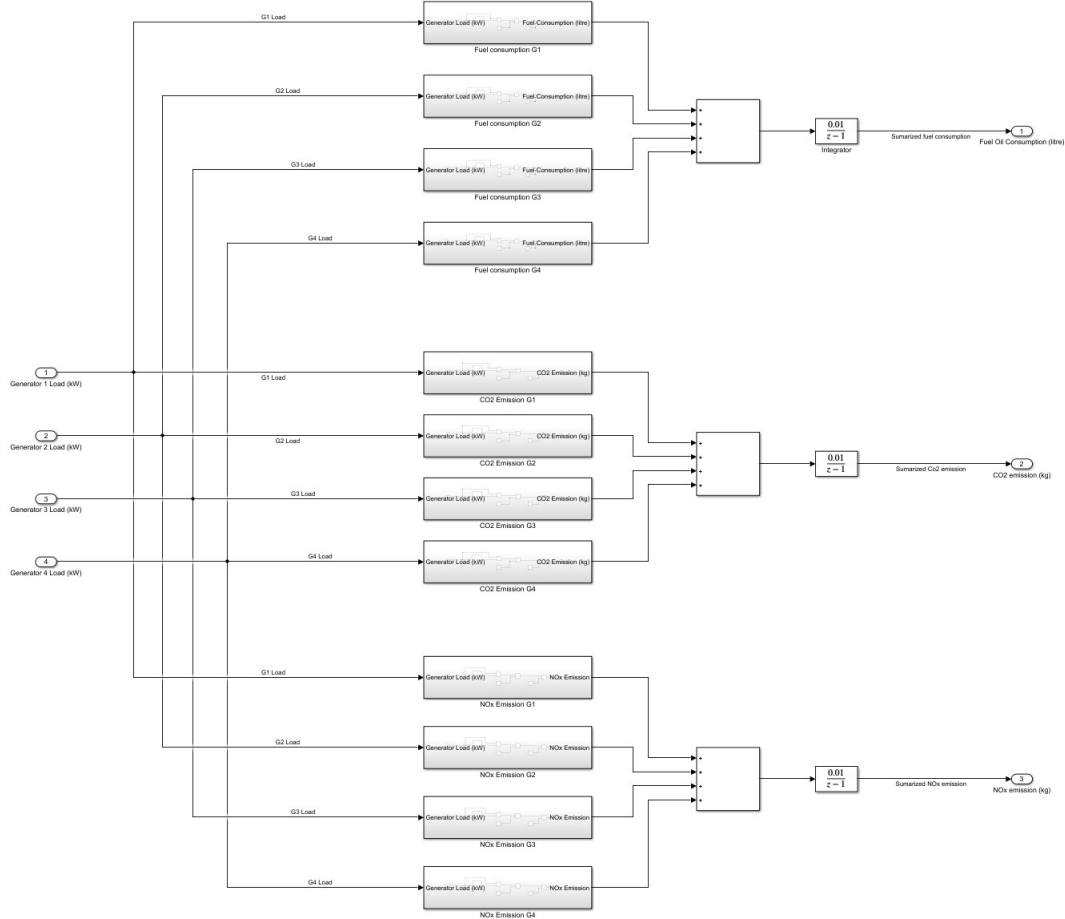


Figur 3.8: Import og behandling av effektdata.

For at modellen skal kunne beregne drivstofforbruket og utslippet til den nye generatorbelastningen har det blitt designet en lastblokk som beregner belastningen til hver generator, denne er illustrert i figur 3.9. Denne har oversikt over maksbelastningen til generatorene, samt hvilke som er aktive til enhver tid. Den totale generatorbelastningen sendes inn i blokken og fordeles på de aktive generatorene. Denne inngangen har også en bryter slik at det er mulig å sende inn både den nye simulerte belastningen, og den faktiske belastning fra effektdata for å kunne sammenligne disse. Ut fra blokken kommer belastningen til hver generator og sendes videre til blokken som estimerer drivstofforbruk og utslipp som er illustrert i figur 3.10

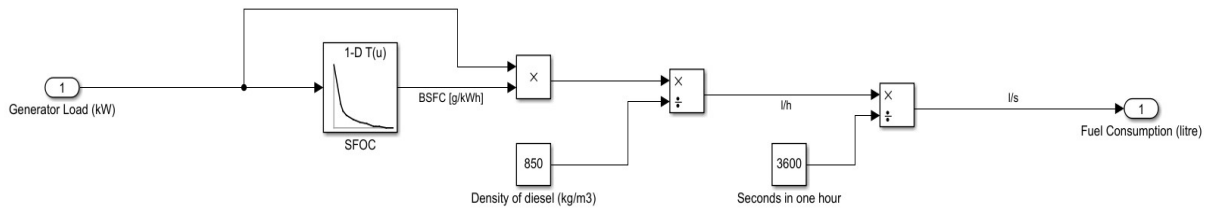


Figur 3.9: Lastfordelingblokk i Simulink



Figur 3.10: Drivstofforbruk og utlippsestimering

For å kunne estimere drivstofforbruket benyttes motorens SFOC og hver enkelt generators belastning. I EMS-modellen benyttes effektdata fra fire CAT 3516C med generator og tilhørende SFOC. Men det kan enkelt lastes inn ny SFOC fra andre motortyper for å undersøke dette. I figur 3.11 illustreres beregningen som gjøres for å estimere forbruket.



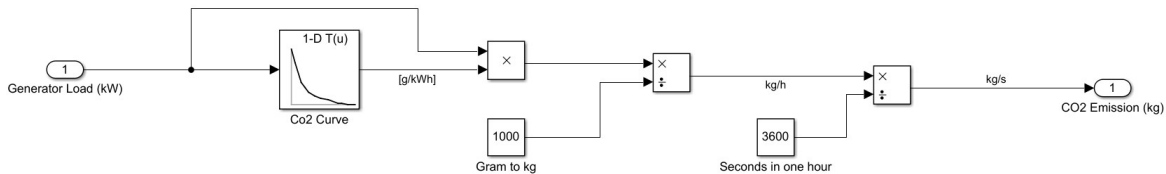
Figur 3.11: Estimering av drivstofforbruk

SFOC hentes fra en oppslagstabell basert på generatorens belastning i kW. Denne multipliseres med lasten og deretter divideres med drivstofftettheten. Resultatet blir da antall liter drivstoff forbrukt per time, i likning 3.63 vises formel som blir benyttet. Siden EMS-modellen

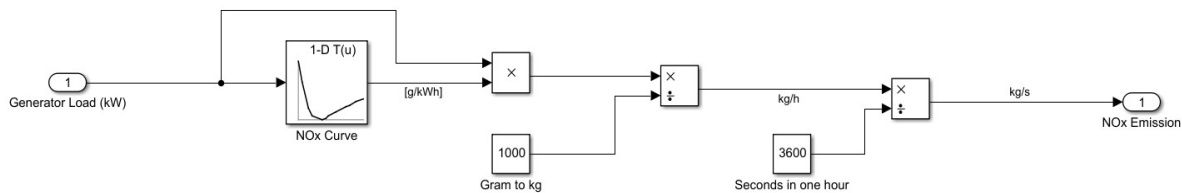
opererer i sekunder blir resultatet dividert på 3 600 for å få antall liter per sekund. Forbruket til hver generator blir så summert og sendt til MATLAB-arbeidsområdet som en tidsserie. I tillegg blir summen sendt gjennom en integrator som summerer det totale forbruket for simuleringen i antall liter forbrukt.

$$Q \text{ (forbruk (l/h))} = N \text{ (motorlast (kW))} \cdot \frac{q \text{ (SFOC (g/kWh))}}{R \text{ (drivstofftetthet (kg/m}^3\text{))}} \quad (3.63)$$

For estimeringen av CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-utslipp benyttes samme fremgangsmåte som ved estimeringen av drivstofforbruket. Disse benytter hver sin utslippskurve som har blitt generert med utslippsdata fra motorens datablad [3]. I figur 3.12 vises beregningen som gjøres for å estimere CO<sub>2</sub>-utslippet, og figur 5.1 illustrerer beregningen for NO<sub>x</sub>-utslipp.



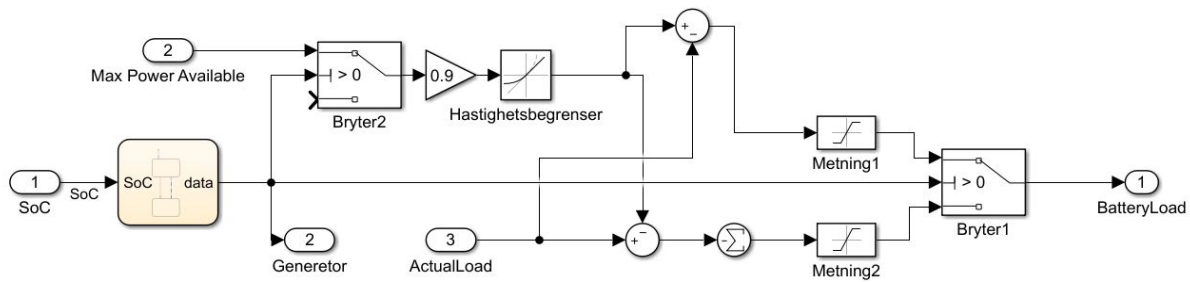
Figur 3.12: Estimering av CO<sub>2</sub>-utslipp



Figur 3.13: Estimering av NO<sub>x</sub>-utslipp

### 3.4.4 Start/stopp-kontroller

Som en videre utvidelse av modellen ble det også designet en start/stopp-kontroller. I likhet med peak shaving-regulatoren så er kontrolleren ansvarlig for å utregne en regulert batterilast. I tillegg så gir kontrolleren status på ladning og utladning på batteriet og sender disse to verdiene ut. Inngangene til denne kontrolleren er SoC, maks tilgjengelig kraft og totalt forbruk.



Figur 3.14: Start/stopp-kontroller i EMS-modell

Figur 3.14 illustreres kontrolleren. Måten kontrolleren fungerer på er at SoC til batteriet går igjennom et flowchart hvor det starter i utladningmodus. I utladningmodus så er utgangen fra denne flowchartet lik -1, og skifter til lademodus når denne SoC går under en regulerbar prosent. Når flowchartet er i lademodus så er utgangen til flowchartet lik 1. Utgangen fra flowchartet blir sendt videre til to brytere, samt ut av kontrolleren som ladestatus. Bryter 1 styrer lasten som skal brukes til batterilasten.

Når batteriet skal lades så regnes lasten fra tilgjengelig kraft der bryter 2 er av/på-bryteren til kraften. Denne tilgjengelige kraften blir multiplisert med 0.9 for å ha 90 % av tilgjengelig kraft som går videre til en hastighetsbegrenser som begrenser hvor fort lasten endrer seg. Denne hastighetsbegrenseren er innstilt til å bevege seg 100kW per sekund, men kan endres. Lasten som blir brukt blir da subtrahert fra tilgjengelig kraft. Den resterende kraften går gjennom et metningsfilter som er innstilt til landingshastigheten, og dette blir da sendt ut som batterilasten.

Når batteriet utlades så regnes dette ut fra lasten som blir brukt. Lasten som blir brukt subtraheres med resterende kraft fra laddingsmodusen. Denne lasten blir først invertert og går da gjennom et metningsfilter som er innstilt til utladningshastigheten, og blir sendt ut av kontrolleren som batterilasten.

# Kapittel 4

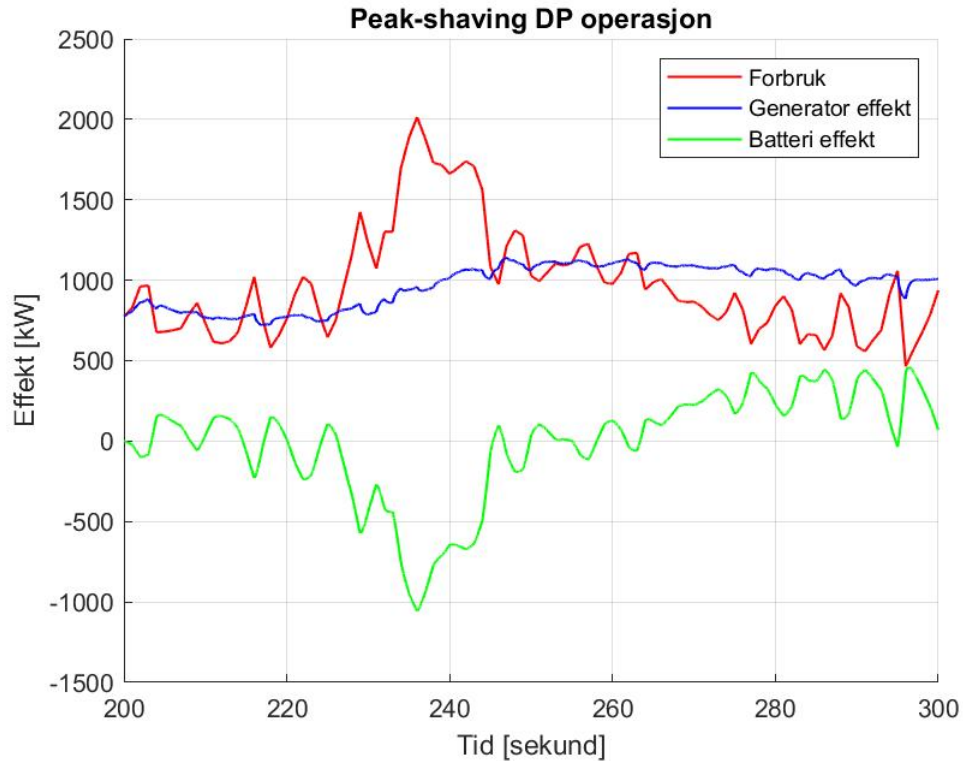
## Resultater

I dette kapittelet vil EMS-modellen (seksjon 3.4) lastes med reelle driftsdata fra et forsyningsfartøy med dieselelektrisk fremdrift uten ESS. Først testes simuleringsmodellens funksjonalitet, for å undersøke om modellen gir ønsket respons. Deretter benyttes EMS-modellen til å undersøke drivstoffbesparelser og utslipp for de ulike driftsoperasjonene. Dette gjøres ved å laste driftsdata for de ulike operasjonene inn i EMS-modellen, denne genererer da en ny generatorbelastning som kan sammenlignes med den ordinære generatorbelastningen fra driftsdata. Ved å simulere de ulike operasjonene over tid kan det gi svar på hvilke besparelser og miljøgevinst et energilagringssystem kan gi om bord på et forsyningsfartøy (PSV). Til slutt undersøkes det hvordan ulike batteristørrelser vil påvirke systemet og det gis et estimat på hva den optimale batteristørrelsen er for dette fartøyet basert på ytelse og kostnad.

### 4.1 Funksjonalitet til EMS-modell

#### 4.1.1 Peak shaving

En av oppgavene til EMS-modellen er peak shaving, som beskrevet i seksjon 2.5.4. For å undersøke responsen til modellen må driftsdata med variasjoner lastes inn. Et godt eksempel på dette er driftsdata fra DP-operasjoner, hvor lasten har store variasjoner. I figur 4.1 har modellen blitt presentert med et kort utdrag med driftsdata fra en DP-operasjon. Her er driftsdata merket i rødt og illustrerer det totale forbruket til fartøyet. Fra figuren kan man tydelig se hvordan batteriet reduserer toppene til forbruket og dermed gir en mye jevnere belastning for generatorene. Dette er den ønskede responsen, og indikerer at peak shaving fungerer i EMS-modellen.



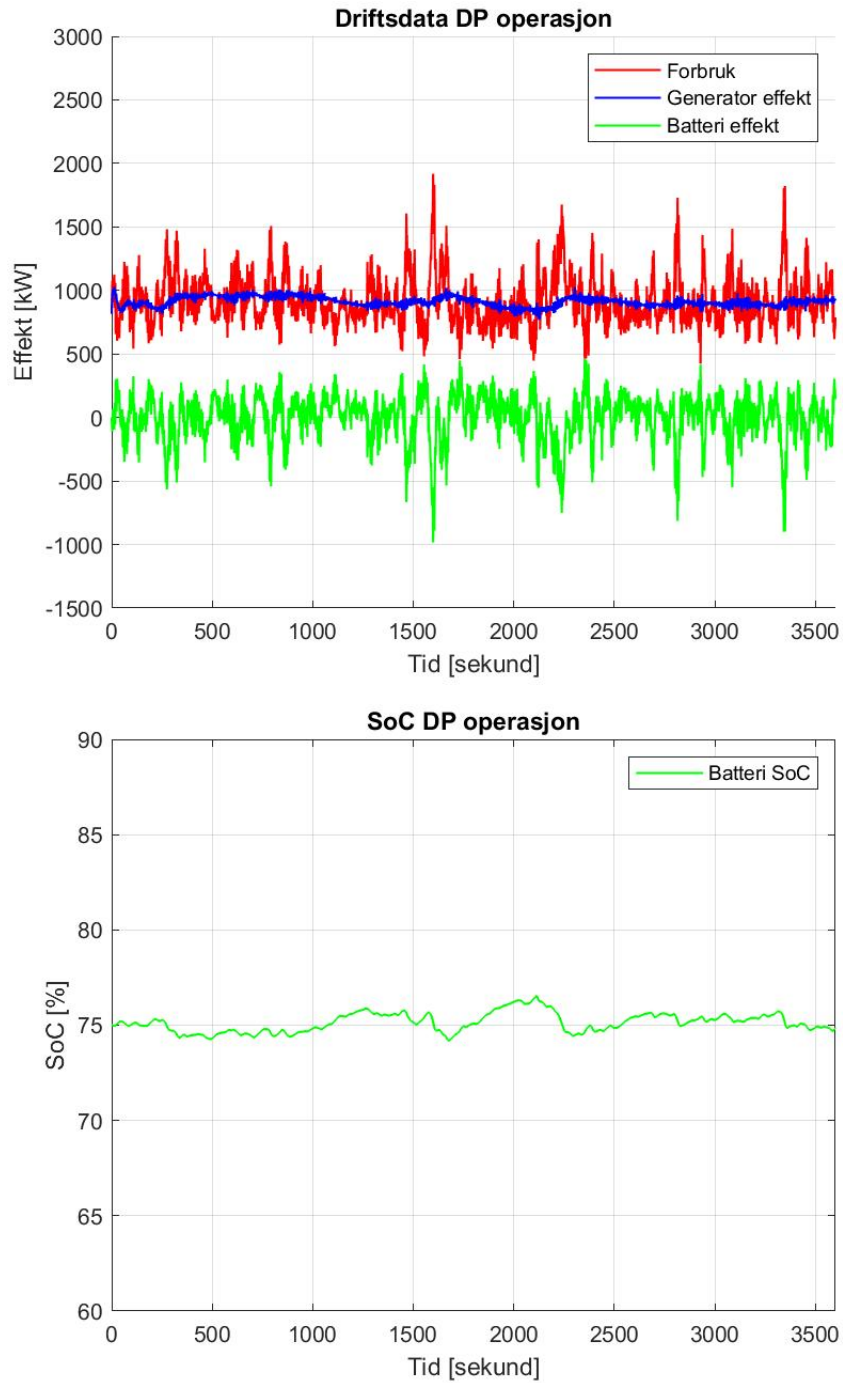
Figur 4.1: Peak shaving respons til EMS-modell

#### 4.1.2 Effektreserve

En annen viktig oppgave til EMS-modellen er å kunne opprettholde batteriets ladestatus (SoC) til angitt settpunkt. Dette er viktig for å kunne benytte batteriet som en effektreserve (seksjon 2.5.5) dersom en feil eller uønsket situasjon skulle oppstå med generatordriften. For å kontrollere EMS-modellens funksjon til å opprettholde batteriets SoC, presenteres den med driftsdata for en DP-operasjon i en periode på en time. Driftsdata og respons er presentert i figur 4.2. EMS-modellen har blitt gitt følgende parametere:

- Batteristørrelse: 500kWh
- Ladegrense: 750 kW
- Utladningsgrense: -1500 kW
- Initial SoC: 75%
- SoC-settpunkt: 75 %





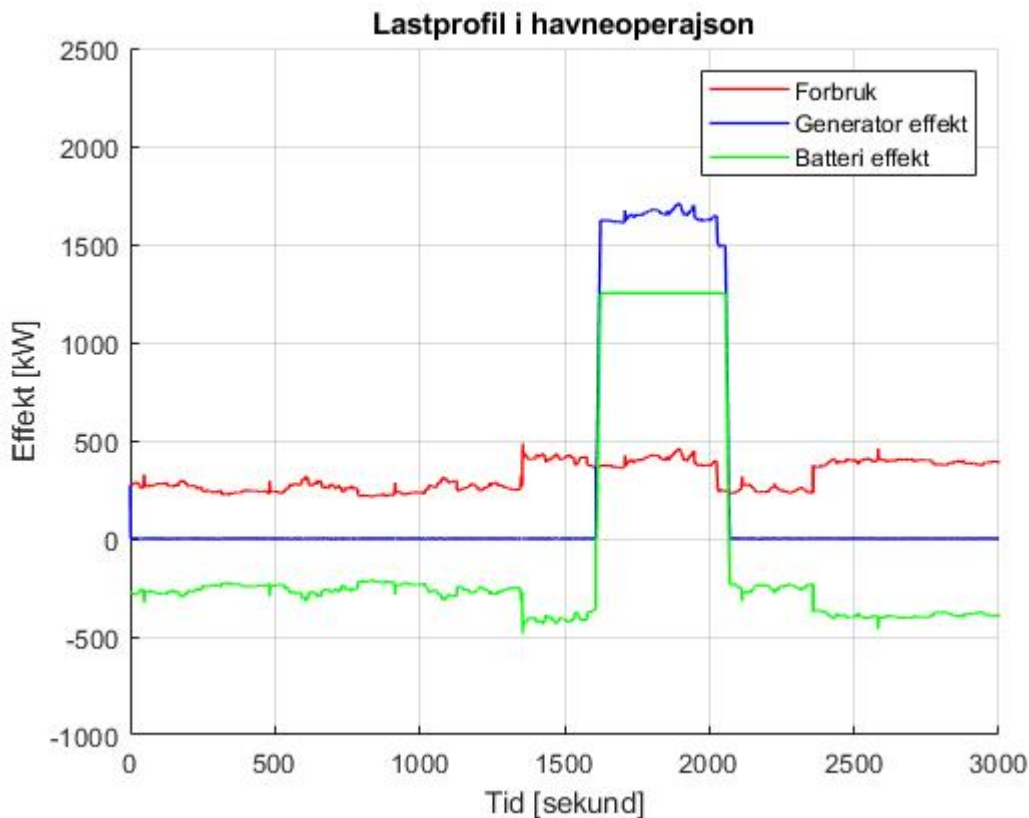
Figur 4.2: Driftsdata og SoC DP-operasjon

I figur 4.2 illustreres også batteriets SoC for gitt driftsdata. Denne viser at modellen responderer som ønsket, og arbeider innenfor gitt settpunkt med et lavt DoD-område.

### 4.1.3 Start/stopp-modus

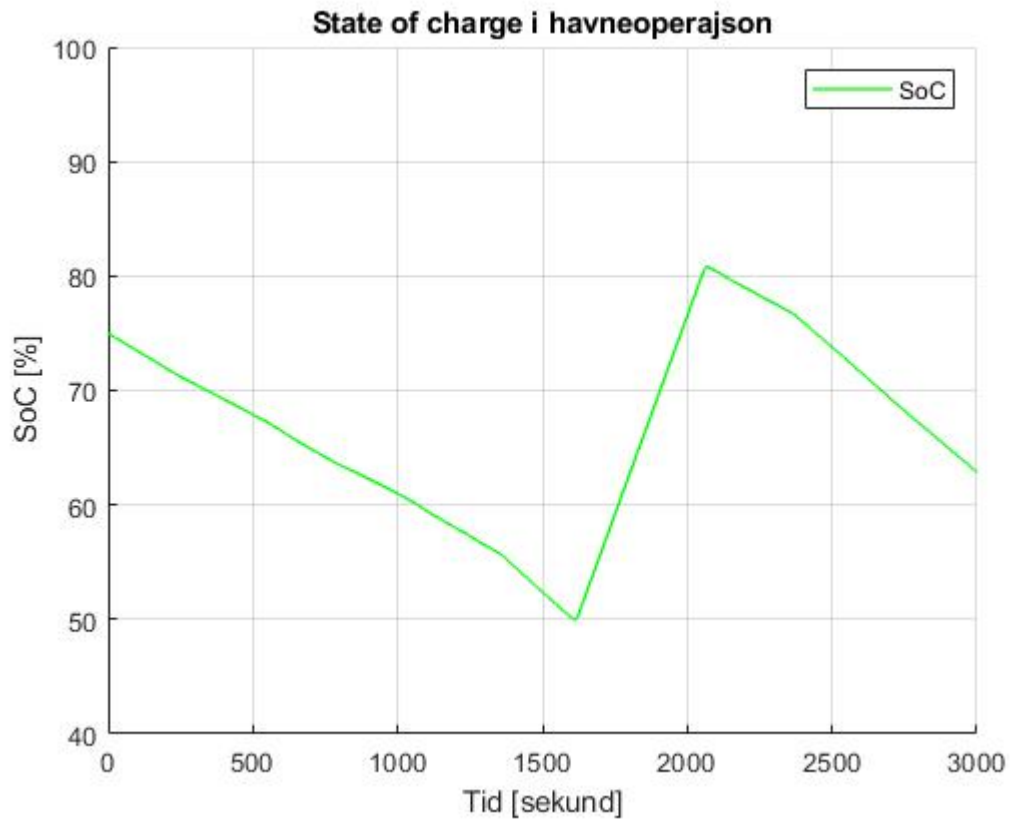
EMS-modellen har også en alternativ oppgave til peak shaving, hvor batteriet benyttes som en energikilde for fartøyet. Dette gir mulighet til å stoppe hele eller deler av generatordriften i kortere perioder for å benytte seg av batteriets kapasitet. Når nedre grense for batteriet er nådd vil det startes opp en generator for å gjøre en oppladning av batteriet, for så å stoppe generatoren igjen. For å undersøke modellens funksjonalitet lastes den med et utdrag fra en havneoperasjon til et forsyningsfartøy, illustrert i figur 4.3. Batteriet har blitt gitt følgende spesifikasjoner.

- Batteristørrelse: 500kWh
- Ladegrense: 1250 kW
- Utladningsgrense: -1500 kW
- Initial SoC: 75%
- SoC-arbeidsområde: 50-80%



Figur 4.3: Lastprofil start/stopp-modus i havneoperasjon

Figur 4.3 viser at generatoreffekten ligger på 0 kW frem til batteriet når en ladestatus på 50%, batteriets ladestatus for lastprofilen er illustrert i figur 4.4. Da vil generatoren starte opp og lade batteriet opp til 80 % før den stopper igjen. Dette er den ønskede responsen for start/stopp-modus og indikerer at modellen fungerer som planlagt.



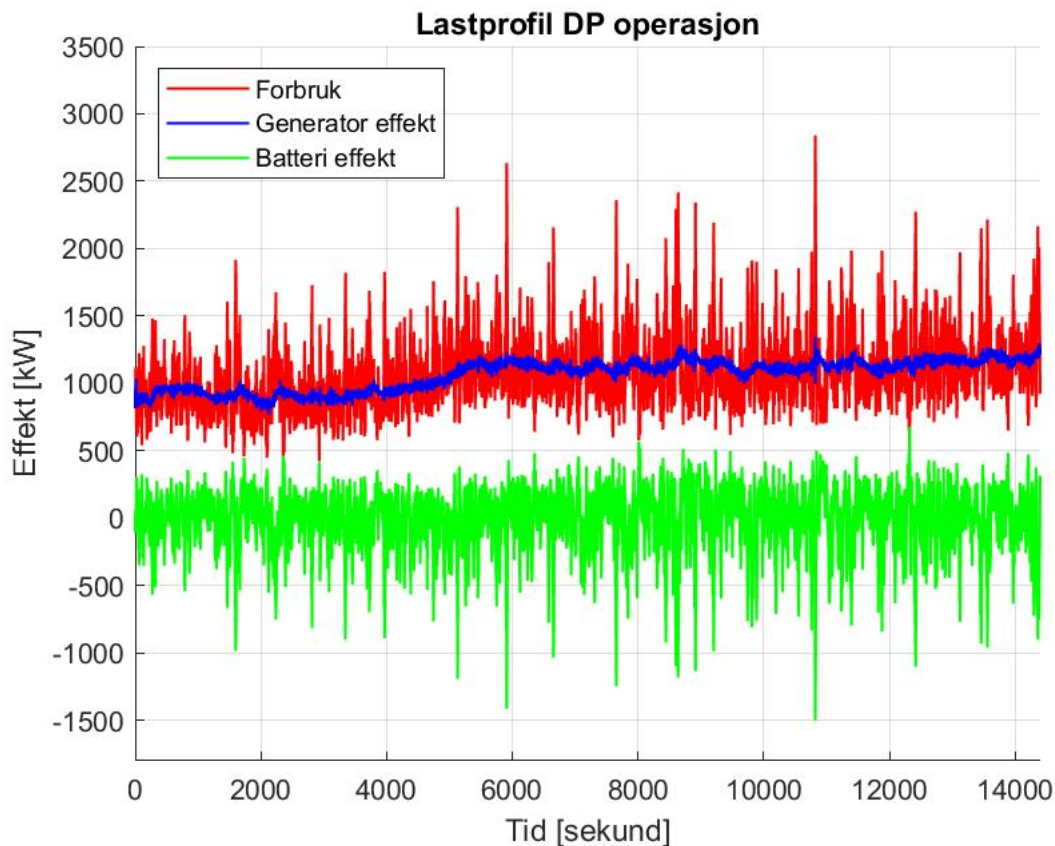
Figur 4.4: Batteriets SoC for lastprofil i figur 4.3

## 4.2 Drivstoffbesparelse og utslipp i DP-operasjon

I følgende delkapittel vil det bli utført to forskjellige estimeringer av drivstofforbruk og utslipp for en DP-operasjon til et forsyningsfartøy. Det utføres først en simulering på fire timer i peak shaving-modus for å gi et pålitelig resultat på hvilke besparelser som kan være forventet å oppnå for fartøyet. Deretter utføres det en simulering av en kortere tidsserie med lavere lastvariasjoner for å vise at forbruket og utslippet vil variere i henhold til lastprofilen.

### 4.2.1 Peak shaving-modus

For å oppnå et pålitelig resultat simuleres en sammenhengende DP-operasjon i en periode på fire timer. Det utføres først en simulering uten energilagringssystem med to aktive generatorer for å gi et estimat av drivstofforbruk og utslipp. Deretter utføres det en simulering med energilagringssystem og en aktiv generator, dette gir et nytt estimat på drivstofforbruk og utslipp som sammenlignes. I figur 4.5 illustreres lastprofilen som blir benyttet i simuleringen.



Figur 4.5: Lastprofil til en PSV i DP-operasjon generert av EMS-modell

Batteriet i simuleringen har følgende spesifikasjoner:

- Batteristørrelse: 500kWh
- Ladegrense: 750 kW
- Utladningsgrense: -1500 kW
- Initial SoC: 75%
- SoC-settpunkt: 75 %

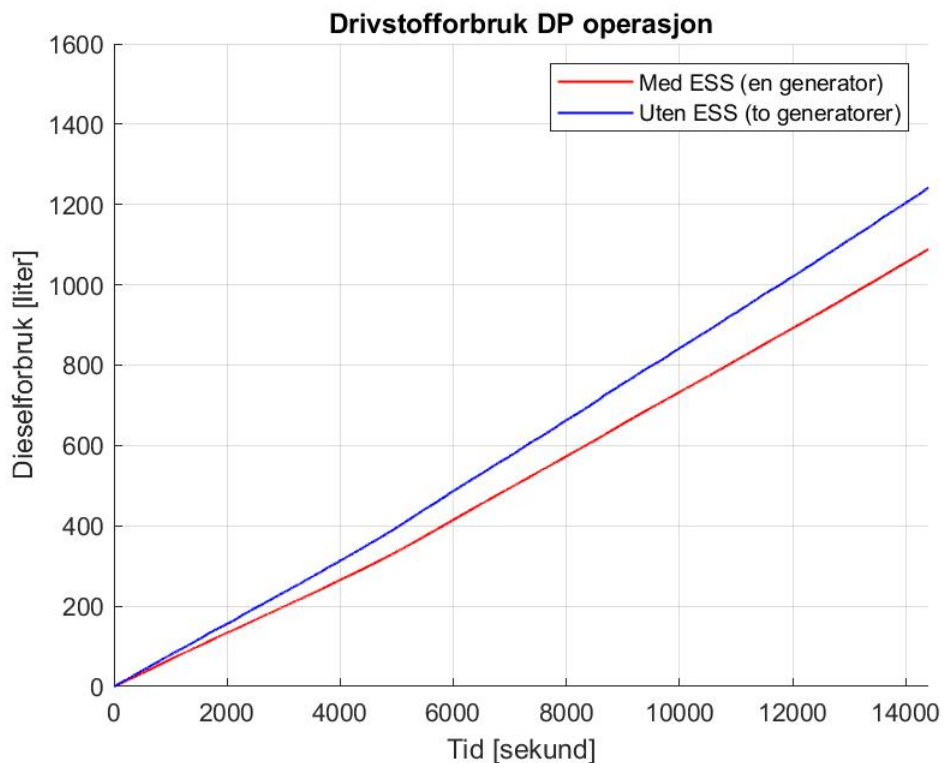
I figur 4.6 illustreres drivstofforbruket for lastprofilen i figur 4.5 . Denne viser en betydelig besparelse ved å benytte batteriet og en generator, sammenlignet med å benytte to generatorer uten energilagringssystem.

Drivstoffbesparelse i løpet av fire timer:

$$1242,63 \text{ l} - 1088,75 \text{ l} = 153,88 \text{ liter} \quad (4.1)$$

Drivstoffbesparelse i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{1242,63 \text{ l} - 1088,75 \text{ l}}{1242,63 \text{ l}} \cdot 100 = 12,38\% \quad (4.2)$$



Figur 4.6: Drivstofforbruk for lastprofil figur 4.5

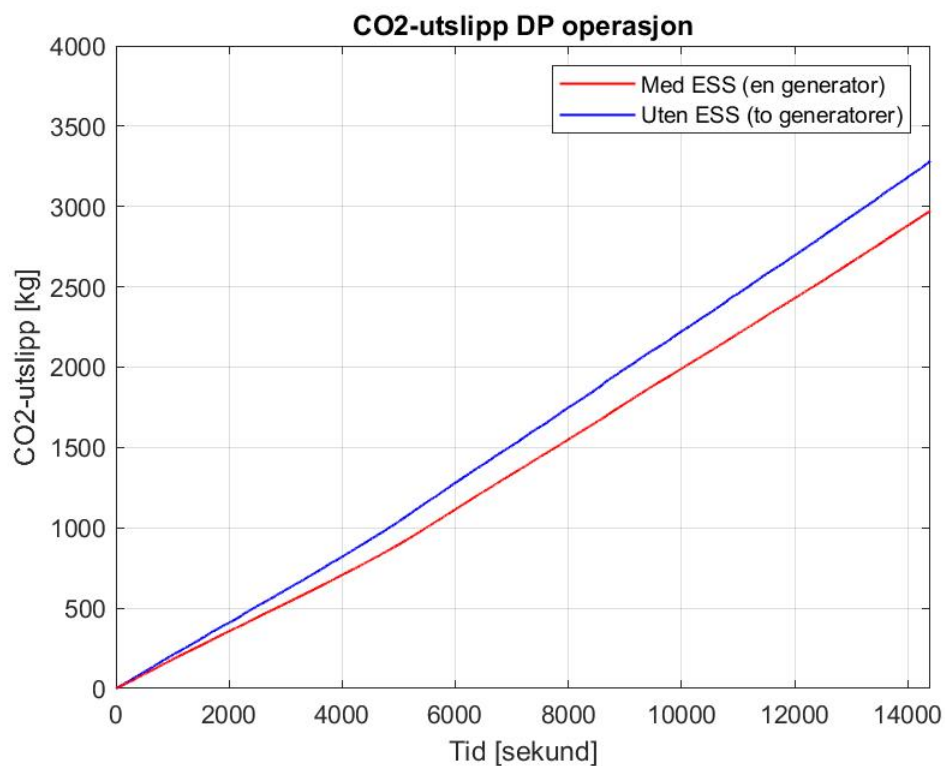
I figur 4.7 illustreres CO<sub>2</sub>-utslippet for lastprofilen. Denne følger samme mønster og viser en tydelig reduksjon av utslipp ved å benytte ESS sammen med en generator.

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$3284,71 \text{ kg} - 2973,36 \text{ kg} = 311,35 \text{ kg} \quad (4.3)$$

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{3284,71 \text{ kg} - 2973,36 \text{ kg}}{3284,71 \text{ kg}} \cdot 100 = 9,48\% \quad (4.4)$$



Figur 4.7: CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofil figur 4.5

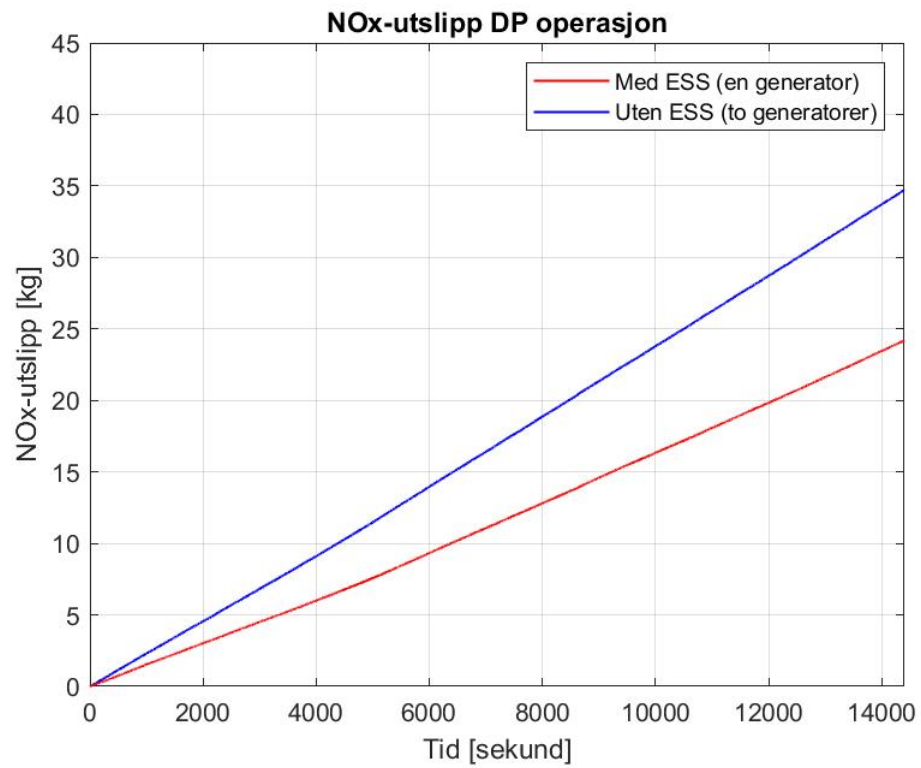
I figur 4.8 illustreres NO<sub>x</sub>-utslippet for lastprofilen. Denne viser også en betydelig reduksjon ved å benytte ESS sammen med en generator, kontra to generatorer uten ESS.

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet fire timer:

$$34,73 \text{ kg} - 24,19 \text{ kg} = 10,54 \text{ kg} \quad (4.5)$$

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

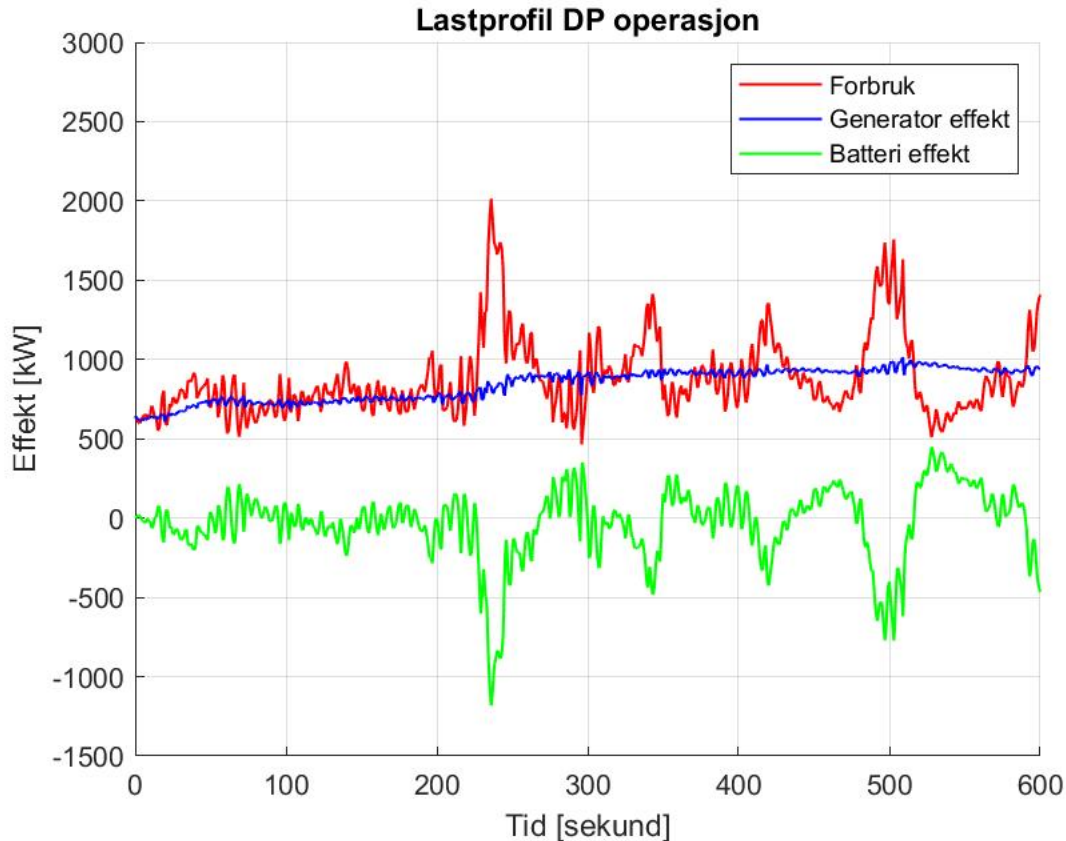
$$\frac{34,73 \text{ kg} - 24,19 \text{ kg}}{34,73 \text{ kg}} \cdot 100 = 30,34\% \quad (4.6)$$



Figur 4.8: NOx-utslipp for lastprofil i figur 4.5

### 4.2.2 Lastvariasjoner peak shaving-modus

I tillegg til simuleringen på fire timer ble det utført en simulering av en kortere tidsserie med mindre og lavere lastvariasjoner. I slike situasjoner vil systemet være ekstra besparende grunnet muligheten til å kjøre en generator på en mer effektiv belastning, i stedet for to generatorer med mindre effektiv belastning. I figur 4.9 illustreres lastprofilen for simuleringen.



Figur 4.9: Lastprofil til en PSV i DP-operasjon

Batteriet i simuleringen har følgende spesifikasjoner:

- Batteristørrelse: 500kWh
- Ladegrense: 750 kW
- Utladningsgrense: -1500 kW
- Initial SoC: 75%
- SoC-settpunkt: 75 %



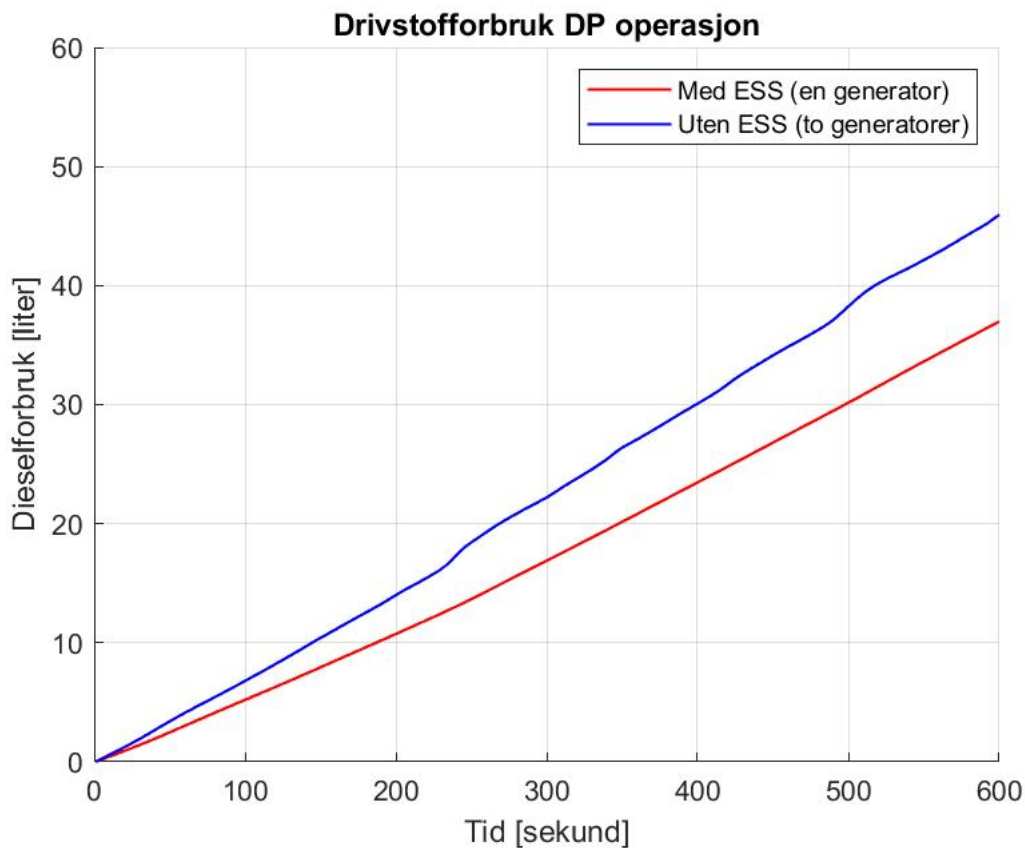
I figur 4.10 illustreres drivstofforbruket for lastprofilen. Denne viser en ytterligere reduksjon på følgende.

Drivstoffbesparelse i løpet av 600 sekunder:

$$46,05 \text{ l} - 37,05 \text{ l} = 9 \text{ liter} \quad (4.7)$$

Drivstoffbesparelse i løpet av 600 sekunder i prosent:

$$\frac{46,05 \text{ l} - 37,05 \text{ l}}{46,05 \text{ l}} \cdot 100 = 19,54\% \quad (4.8)$$



Figur 4.10: Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.9

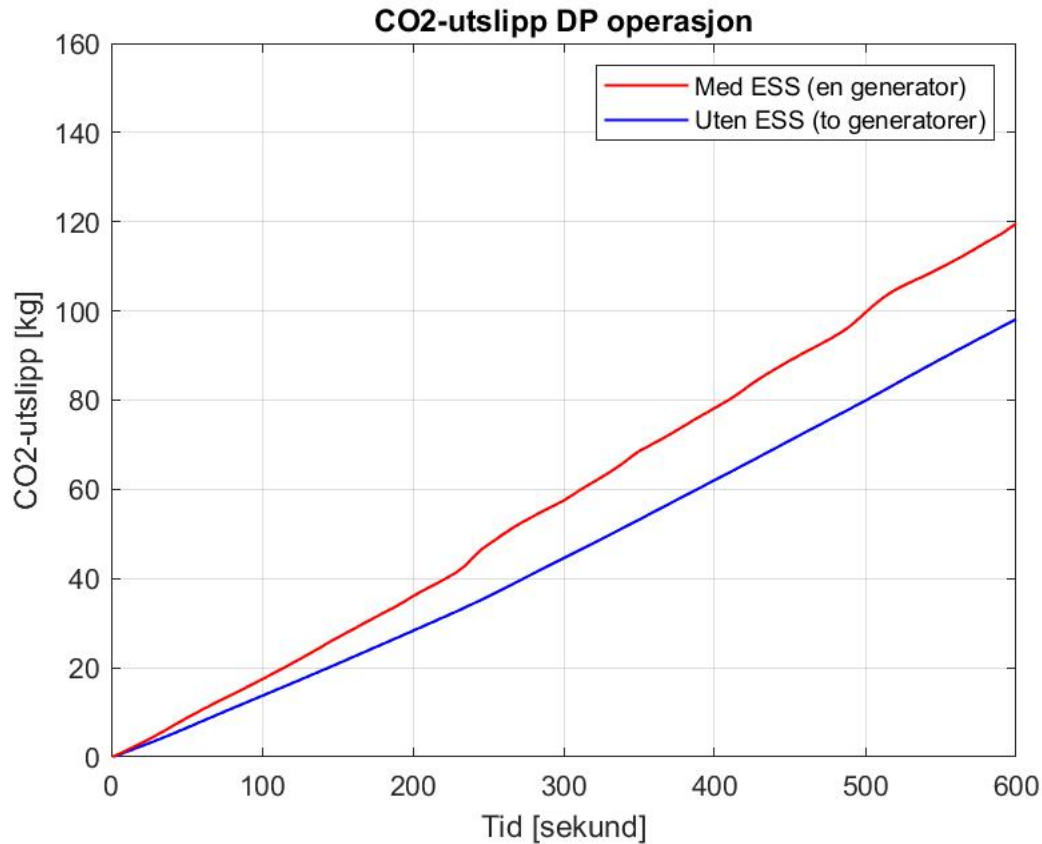
I figur 4.11 illustreres CO<sub>2</sub>-utslippet for lastprofilen. Denne viser en betydelig forbedring med følgende reduksjon.

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av 600 sekunder:

$$119,1 \text{ kg} - 98,367 \text{ kg} = 20,733 \text{ kg} \quad (4.9)$$

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av 600 sekunder i prosent:

$$\frac{119,1 \text{ kg} - 98,367 \text{ kg}}{119,1 \text{ kg}} \cdot 100 = 17,4\% \quad (4.10)$$



Figur 4.11: CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofil i figur 4.9

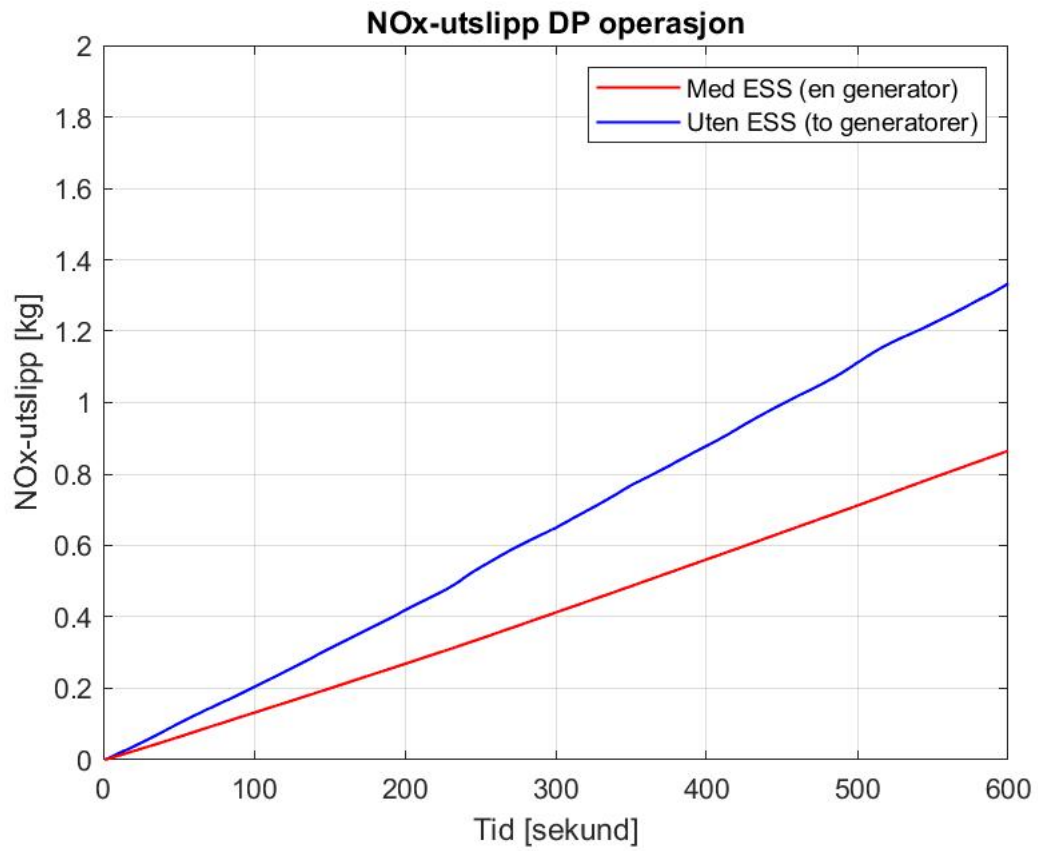
I figur 4.12 illustreres NO<sub>x</sub>-utslippet for lastprofilen. Denne viser en reduksjon på følgende.

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet 600 sekunder:

$$1,335 \text{ kg} - 0,866 \text{ kg} = 0,469 \text{ kg} \quad (4.11)$$

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet 600 sekunder i prosent:

$$\frac{1,335 \text{ kg} - 0,866 \text{ kg}}{1,335 \text{ kg}} \cdot 100 = 35,13\% \quad (4.12)$$



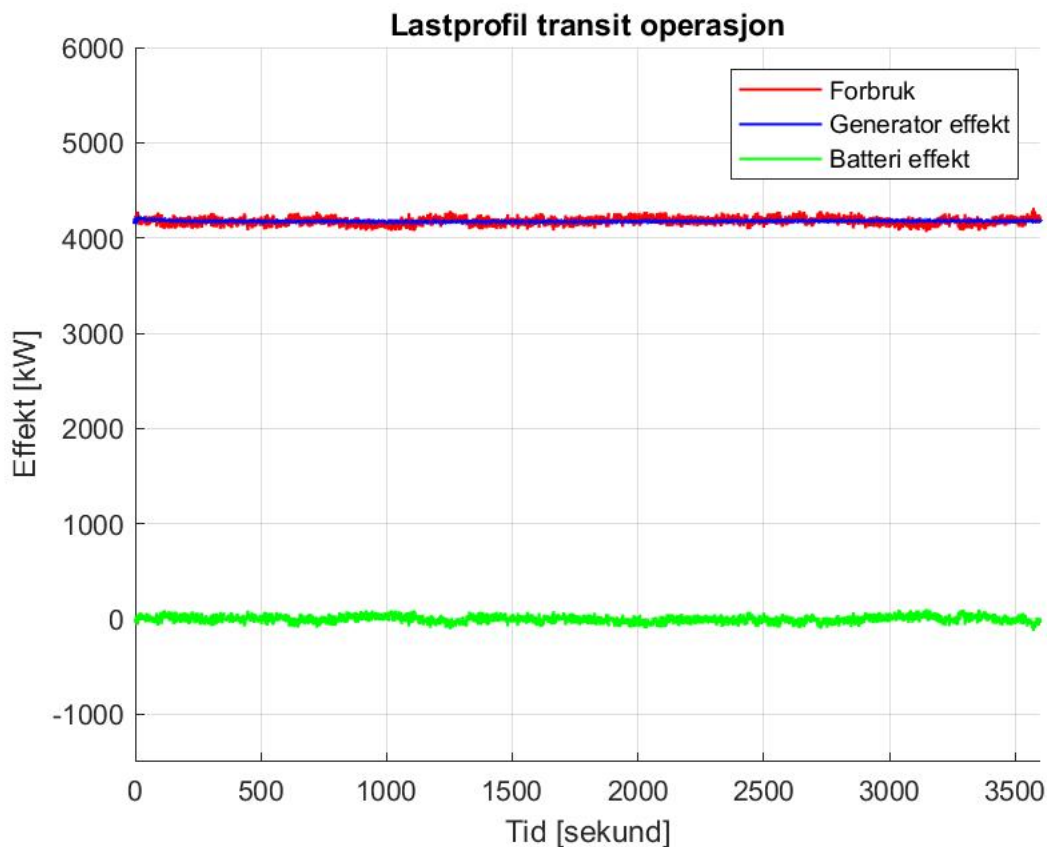
Figur 4.12: NOx-utslipp for lastprofil i figure 4.9

## 4.3 Drivstoffbesparelse og utslipp i transittoperasjon

I følgende delkapittel utføres det to estimeringer av drivstofforbruk og utslipp for et forsyningsfartøy i transittoperasjon. Det utføres først en estimering av forbruk og utslipp i peak shaving-modus, som gir et tilnærmet likt resultat grunnet den stabile belastning til fartøyet i transittoperasjon. Deretter utføres det en estimering av forbruk og utslipp i start/stopp-modus hvor en generator stoppes i en periode og batteriet benyttes som en konstant energikilde frem til det trenger oppladning. Da vil en generator starte opp igjen og lade batteriet til angitt settpunkt og deretter stoppe igjen.

### 4.3.1 Peak shaving-modus

For å undersøke drivstoffbesparelse og utslipp i peak shaving-modus lastes modellen med driftsdata, og det utføres to simuleringer som sammenlignes. Først kjøres det en simulering med tre generatorer uten energilagringssystem, og deretter en simulering med tre generatorer med energilagringssystem. I figur 4.13 vises lastprofilen som blir benyttet i simuleringene.



Figur 4.13: Lastprofil til en PSV i transittoperasjon

Batteriet i simuleringen har følgende spesifikasjoner:

- Batteristørrelse: 500 kWh
- Ladegrense: 500 kW
- Utladningsgrense: -500 kW
- Initial SoC: 50 %
- SoC-settpunkt: 50 %

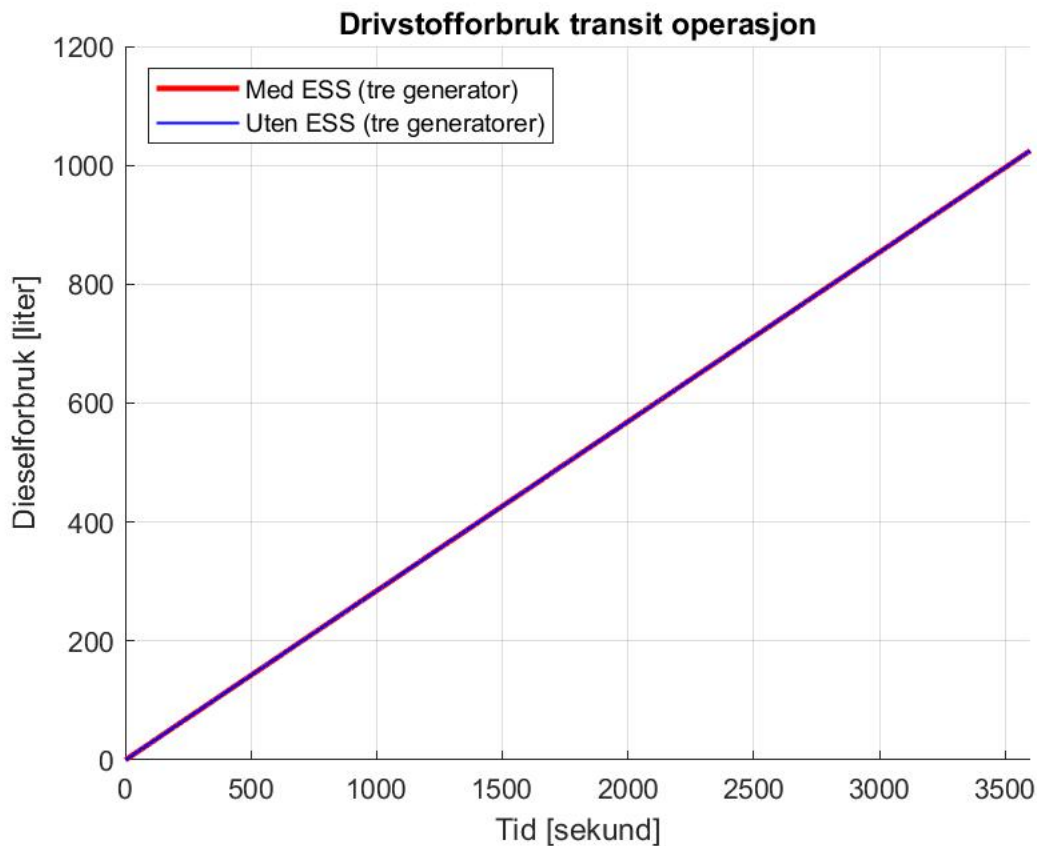
I figur 4.14 illustreres drivstofforbruket for lastprofilen. Denne viser at drivstofforbruket er tilnærmet lik både med og uten energilagringssystem.

Drivstoff spart i løpet av en time:

$$1025,3 - 1024,8 = 0,5 \text{ liter} \quad (4.13)$$

Drivstoff spart i løpet av en time i prosent:

$$\frac{1025,3 - 1024,8}{1025,3} \cdot 100 = 0,05\% \quad (4.14)$$



Figur 4.14: Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.13

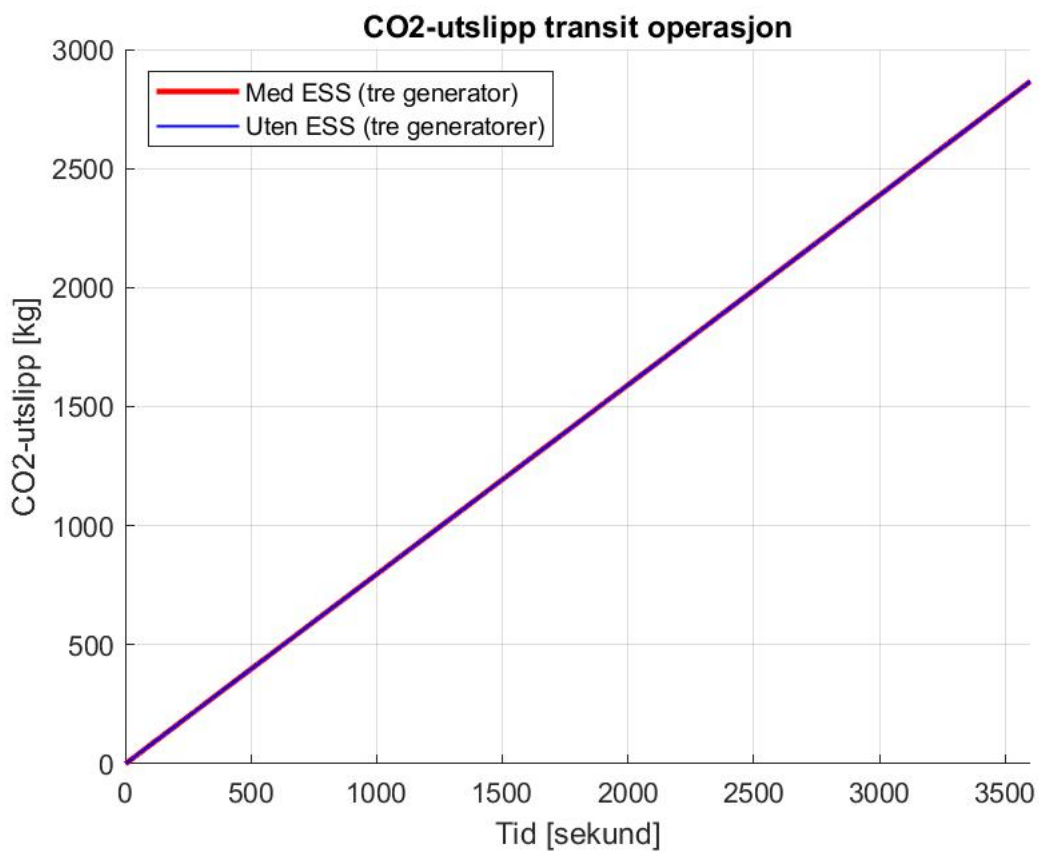
I figur 4.15 illustreres CO<sub>2</sub>-utslippet for lastprofilen. Denne følger samme mønster som drivstofforbruket og har nærmest identisk besparelse.

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av en time:

$$2867,4 \text{ kg} - 2866,2 \text{ kg} = 1,2 \text{ kg} \quad (4.15)$$

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av en time i prosent:

$$\frac{2867,4 \text{ kg} - 2866,2 \text{ kg}}{2867,4 \text{ kg}} \cdot 100 = 0,04\% \quad (4.16)$$



Figur 4.15: CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofil i figur 4.13

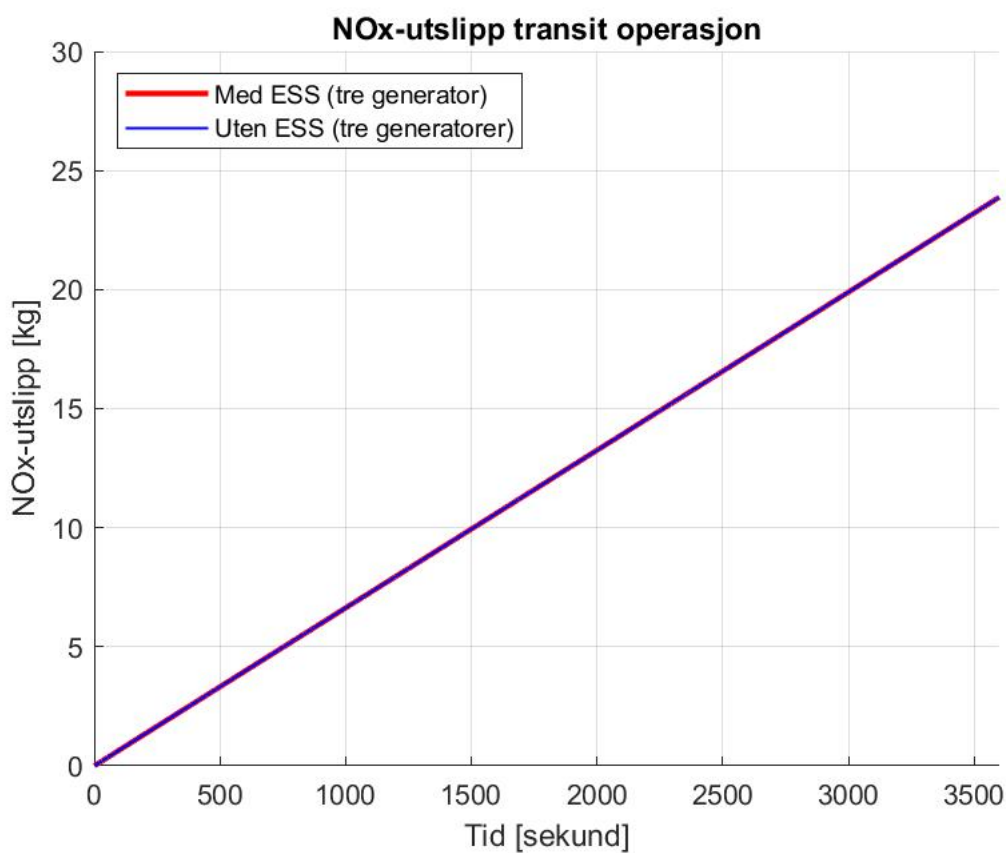
I figur 4.16 illustreres NO<sub>x</sub>-utslippet for lastprofilen. Her vises også en minimal besparelse ved å benytte batteriet til å ta lastvariasjoner i transittoperasjon.

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av en time:

$$23,9 \text{ kg} - 23,8 \text{ kg} = 0,1 \text{ kg} \quad (4.17)$$

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av en time i prosent:

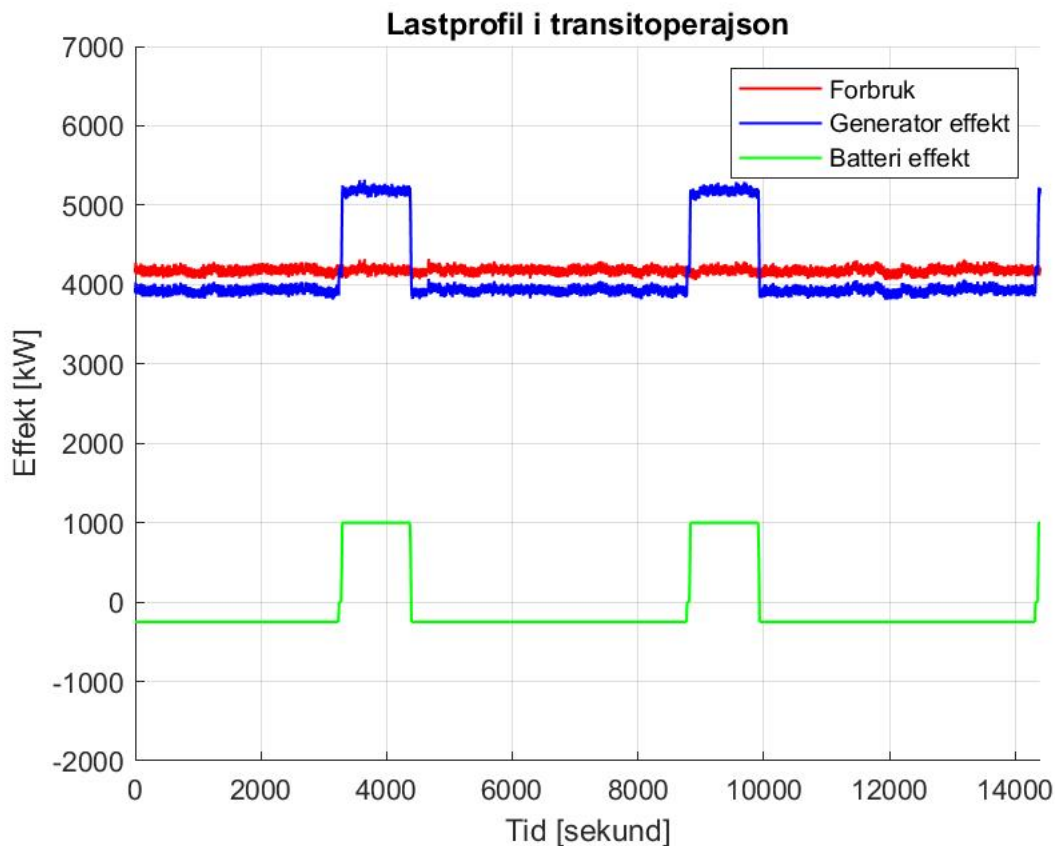
$$\frac{23,9 \text{ kg} - 23,8 \text{ kg}}{23,9 \text{ kg}} \cdot 100 = 0,42\% \quad (4.18)$$



Figur 4.16: NO<sub>x</sub>-utslipp for lastprofil i figur 4.13

### 4.3.2 Start/stopp-modus

Siden peak shaving-modus viste seg å være lite besparende i transittoperasjon, ble det også utført en simulering i start/stopp-modus for å undersøke hvilke besparelser en slik funksjonalitet kan gi. Her stoppes en generator i en periode og batteriet benyttes som en konstant energikilde frem til det trenger oppladning. For å kunne stoppe en generator så leverer batteriet en konstant last på 250 kW, slik de resterende generatorene har en belastning under 90%. Når batteriet når sin nedre ladegrense vil den tredje generatoren starte opp igjen og lade batteriet tilbake til sin øvre ladegrense, for så å stoppe igjen. I figur 4.17 illustreres lastprofilen for simuleringen.



Figur 4.17: Lastprofil for transittoperasjon i start/stopp-modus

Batteriet i simuleringen har følgende spesifikasjoner:

- Batteristørrelse: 500 kWh
- Ladegrense: 1000 kW
- Utladningsgrense: -250 kW
- Initial SoC: 75 %
- SoC-arbeidsområde: 30-90%



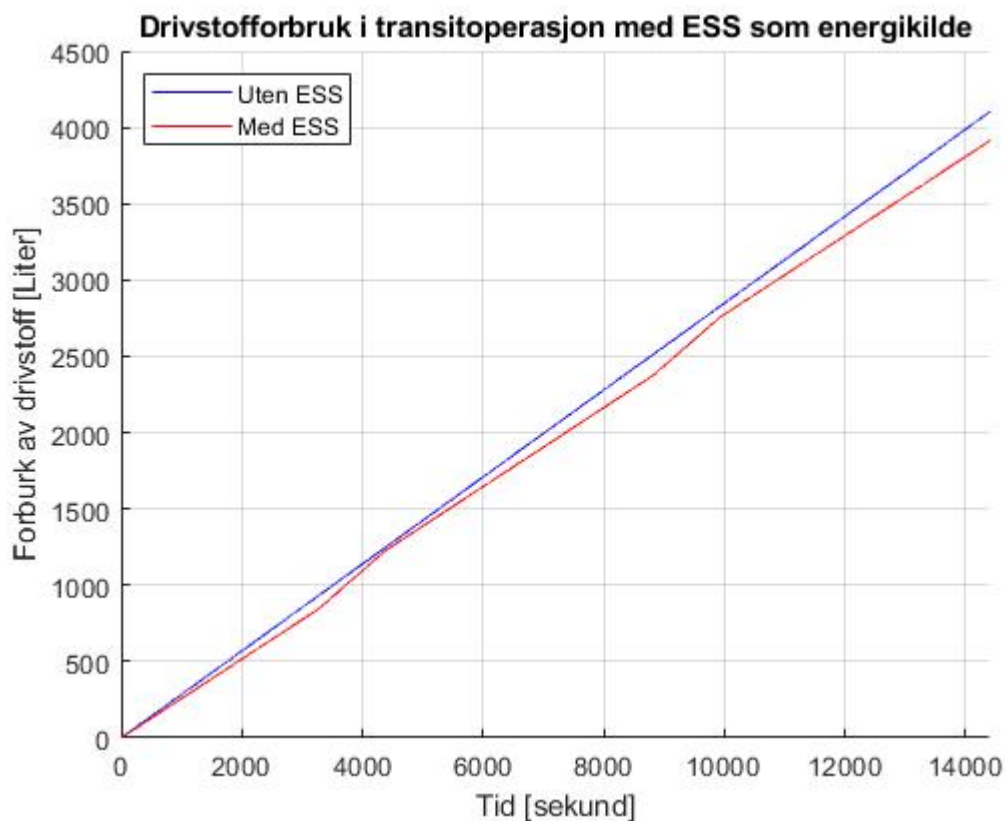
I figur 4.18 illustreres drivstofforbruket for lastprofilen. Denne viser en reduksjon av drivstoff ved å benytte batteriet som energikilde på følgende.

Drivstoff spart i løpet av fire timer:

$$4102,32 \text{ l} - 3916,28 \text{ l} = 186,04 \text{ liter} \quad (4.19)$$

Drivstoff spart i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{4102,32 \text{ l} - 3916,28 \text{ l}}{4102,32 \text{ l}} \cdot 100 = 4,5\% \quad (4.20)$$



Figur 4.18: Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.17

I figur 4.19 illustreres NO<sub>x</sub>- og CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofilen. Denne viser en økning av NO<sub>x</sub>-utslipp ved å benytte energilagringssystem, men gir til gjengjeld en betydelig reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp.

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$95,64 \text{ kg} - 109,96 \text{ kg} = -14,32 \text{ kg} \quad (4.21)$$

NOx-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

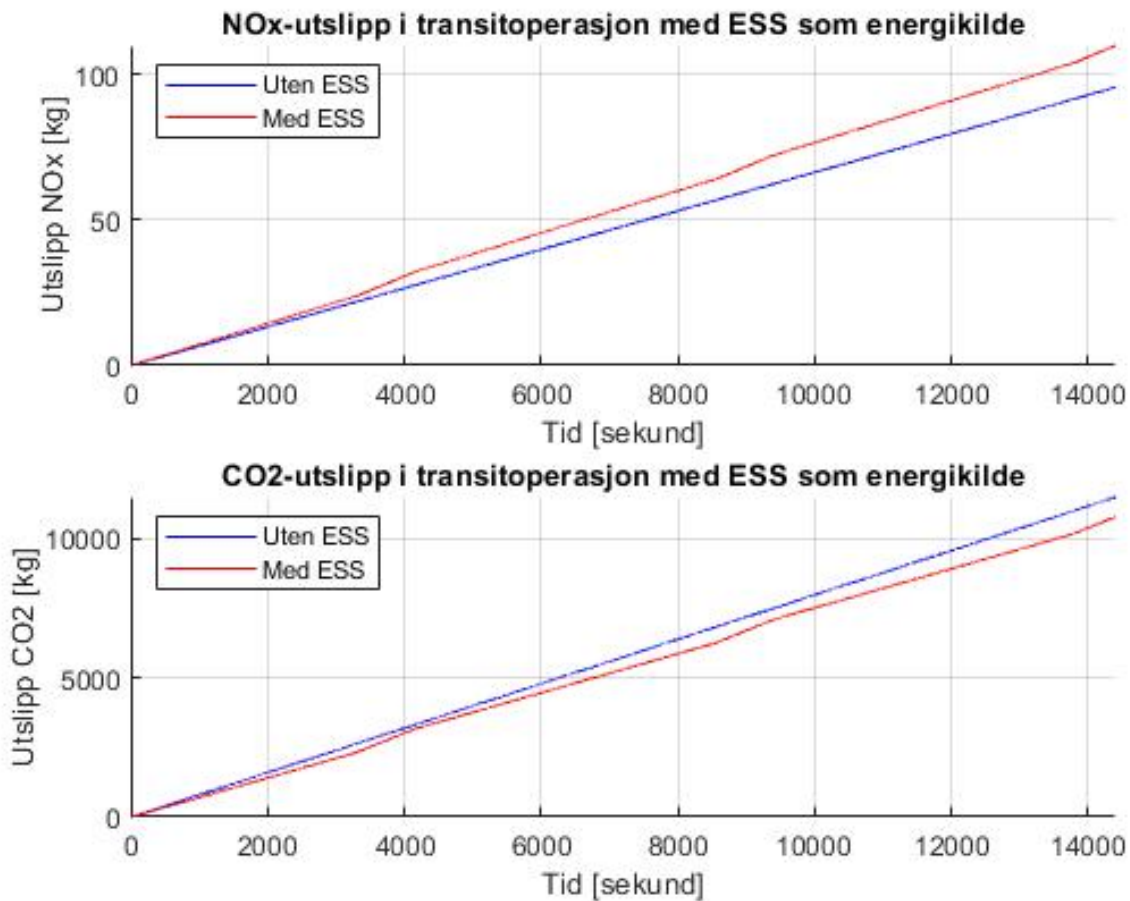
$$\frac{95,64 \text{ kg} - 109,96 \text{ kg}}{95,64 \text{ kg}} \cdot 100 = -14,97\% \quad (4.22)$$

CO2-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$11472,70 \text{ kg} - 10764,44 \text{ kg} = 708,26 \text{ kg} \quad (4.23)$$

CO2-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{11472,70 \text{ kg} - 10764,44 \text{ kg}}{11472,70 \text{ kg}} \cdot 100 = 6,17\% \quad (4.24)$$



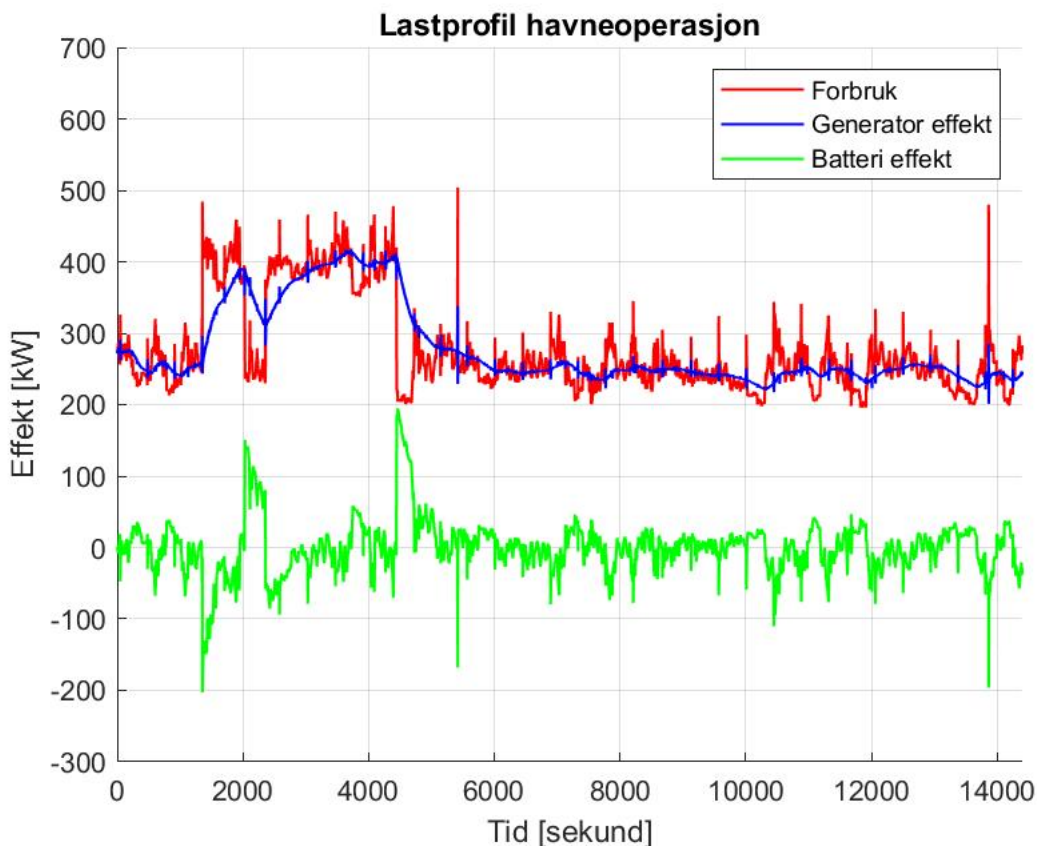
Figur 4.19: NOx- og CO2-utslipp for lastprofil i figur 4.17

## 4.4 Drivstoffbesparelse og utslipp i havneoperasjon

I dette delkapittelet utføres det to forskjellige estimeringer av drivstofforbruk og utslipp for et forsyningsfartøy i havneoperasjon. Først undersøkes besparelser i peak shaving-modus, hvor resultatene viser en liten økning av forbruk og utslipp. Dette skyldes at motorene er mer effektive ved en høyere belastning, til gjengjeld gir systemet motorene en mer stabil belastning som kan redusere slitasje. Videre utføres det en ny estimering av besparelser i start/stopp-modus, hvor fartøyet driftes alene av energilagringssystemet i kortere perioder.

### 4.4.1 Peak shaving-modus

For å få et nøyaktig estimat av drivstoffbesparelse og utslipp for et forsyningsfartøy i havneoperasjon, simuleres det en sammenhengende havneoperasjon på fire timer. Det utføres først en simulering uten energilagringssystem som sammenlignes med en simulering med energilagringssystem. I figur 4.20 illustreres lastprofilen i peak shaving-modus som blir benyttet i simuleringen.



Figur 4.20: Lastprofil til en PSV som ligger ved havn

Batteriet i simuleringen har følgende spesifikasjoner:

- Batteristørrelse: 500kWh
- Ladegrense: 500 kW
- Utladningsgrense: -500 kW
- Initial SoC: 75%
- SOC-settpunkt: 75 %

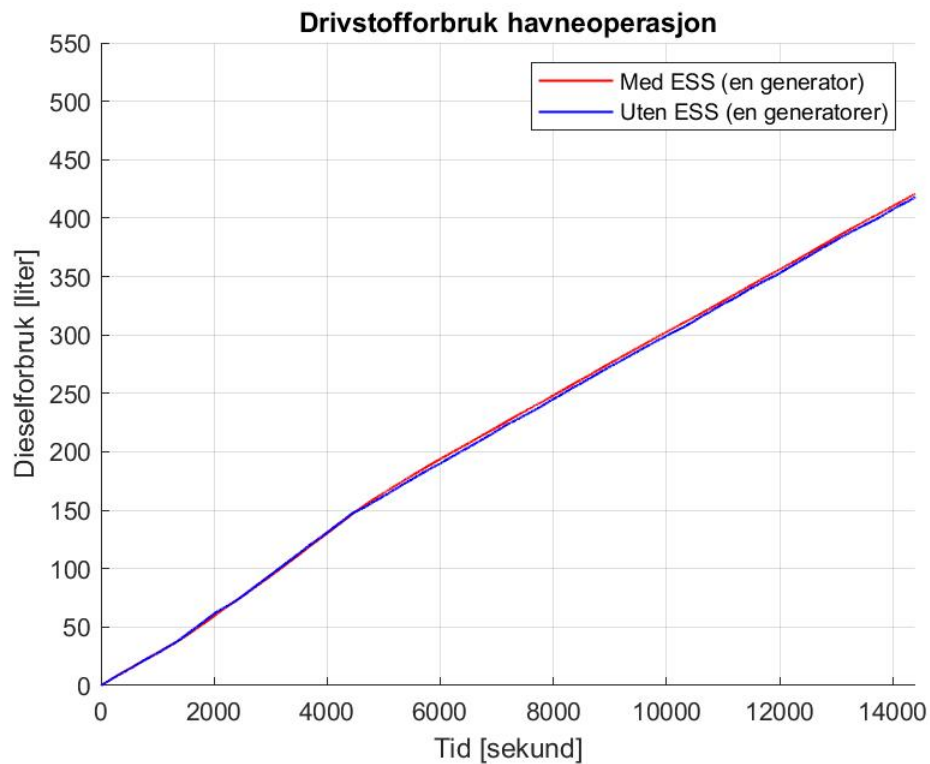
I figur 4.21 illustreres drivstofforbruket for lastprofilen. Denne viser et tilnærmet likt forbruk, men med en liten økning av forbruk ved å benytte ESS.

Drivstoff spart i løpet av fire timer:

$$418,07 \text{ l} - 420,89 \text{ l} = -2,82 \text{ liter} \quad (4.25)$$

Drivstoff spart i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{418,07 \text{ l} - 420,89 \text{ l}}{418,07 \text{ l}} \cdot 100 = -0.67\% \quad (4.26)$$



Figur 4.21: Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.20

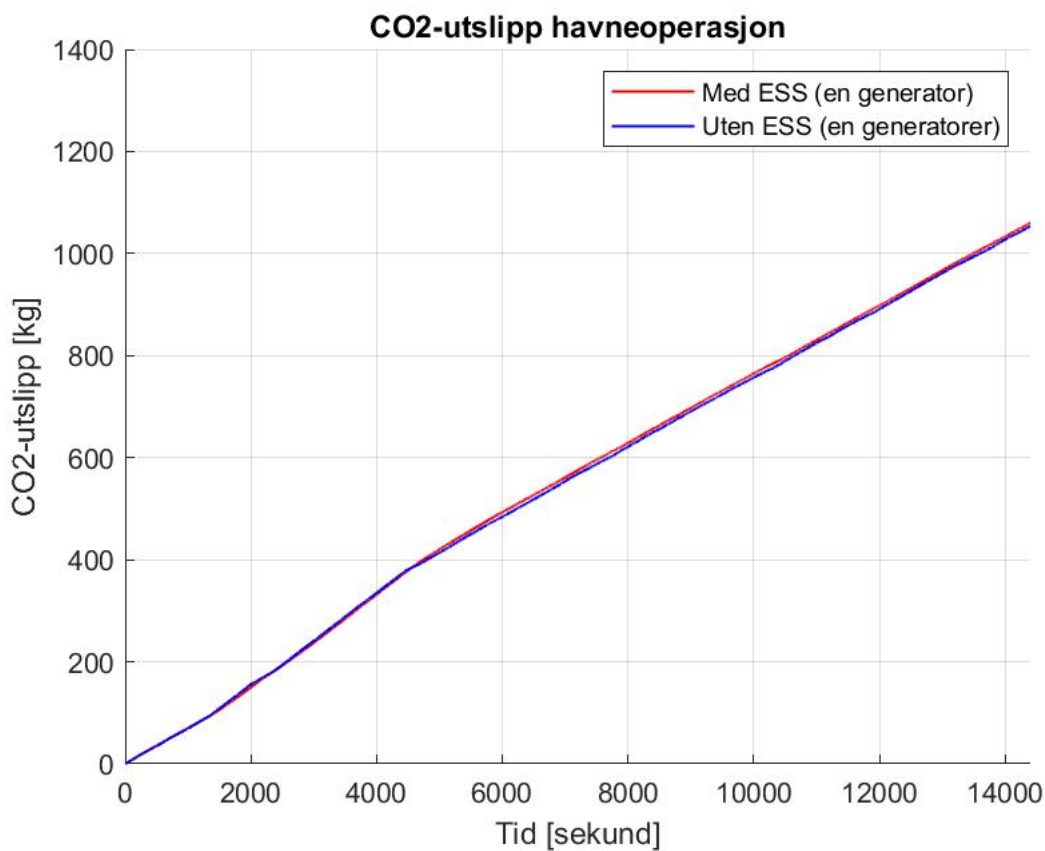
I figur 4.22 illustreres CO<sub>2</sub>-utslippet for lastprofilen. Denne viser samme mønster og har en liten økning ved å benytte ESS.

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$1054 \text{ kg} - 1059,88 \text{ kg} = -5,88 \text{ kg} \quad (4.27)$$

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{1054 \text{ kg} - 1059,88 \text{ kg}}{1054 \text{ kg}} \cdot 100 = -0,55\% \quad (4.28)$$



Figur 4.22: CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofil i figur 4.20

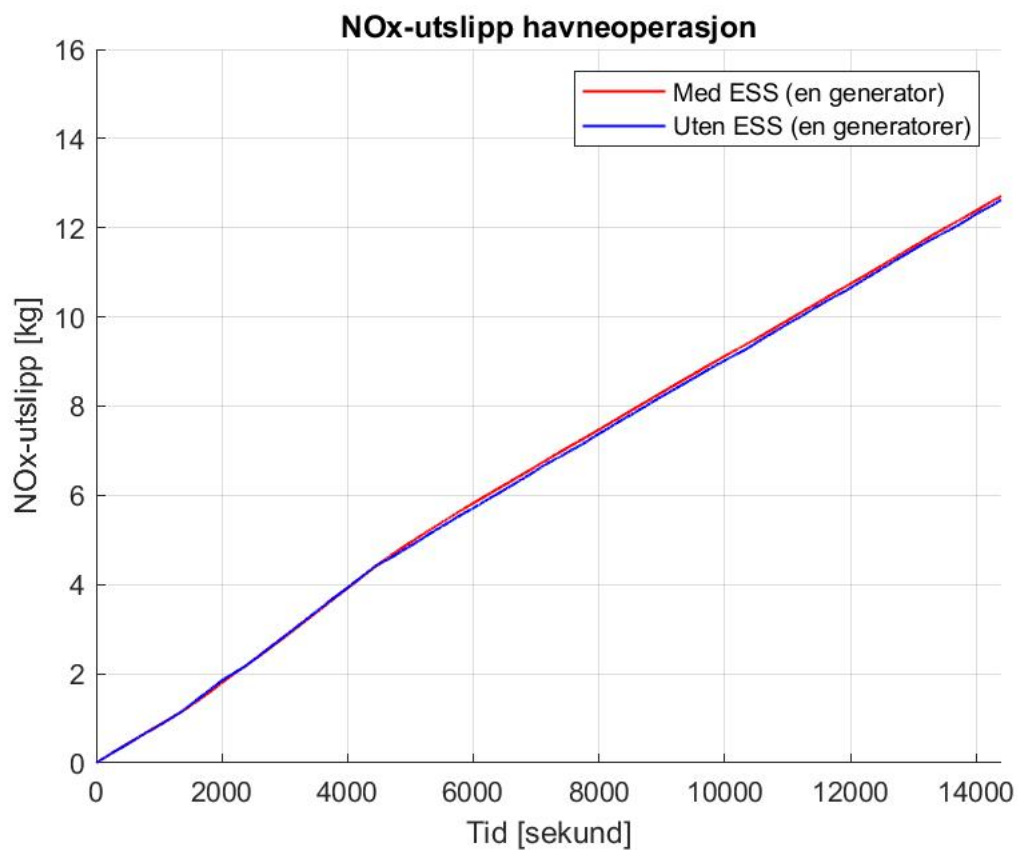
I figur 4.23 illustreres NO<sub>x</sub>-utslippet for lastprofilen. Her vises også en liten økning av utslipp ved å benytte ESS.

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$12,626 \text{ kg} - 12,70 \text{ kg} = -0,074 \text{ kg} \quad (4.29)$$

NOx-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

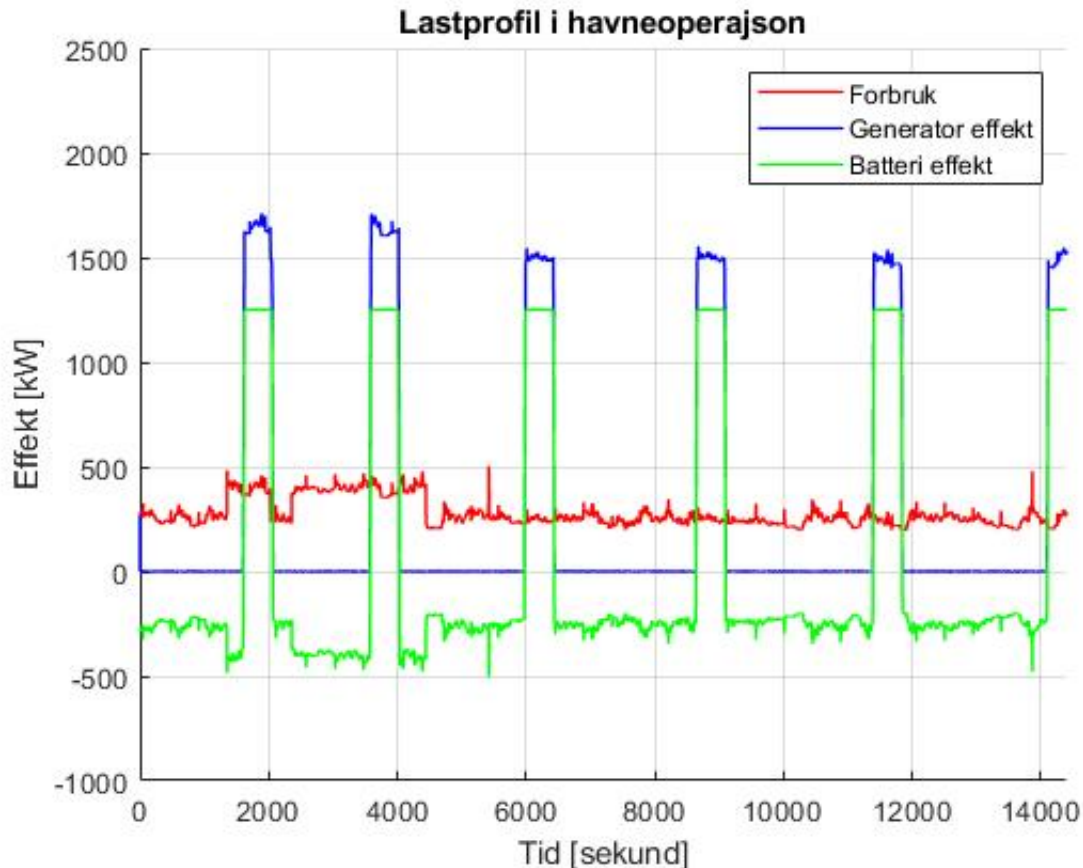
$$\frac{12,626 \text{ kg} - 12,70 \text{ kg}}{12,626 \text{ kg}} \cdot 100 = -0,58\% \quad (4.30)$$



Figur 4.23: NOx-utslipp for lastprofil i figur 4.20

### 4.4.2 Start/stopp-modus

I denne simuleringen undersøkes start/stopp-modus i havneoperasjon for et forsyningsfartøy. Generatordriften stoppes og fartøyet driftes kun av batteriet frem til nedre grense for arbeidsområde er nådd. Da starter en generator opp og lader batteriet opp til øvre grense for arbeidsområdet, og deretter stopper den igjen. For å få et nøyaktig estimat av forbruk og utslipp simuleres en sammenhengende havneoperasjon på fire timer. Lastprofilen for simuleringen er illustrert i figur 4.24.



Figur 4.24: Lastprofil for havneoperasjon i start/stopp-modus

Batteriet i simuleringen har følgende spesifikasjoner:

- Batteristørrelse: 500kWh
- Ladegrense: 1250 kW
- Utladningsgrense: -1500 kW
- Initial SoC: 75%
- SoC-arbeidsområde: 50-80%

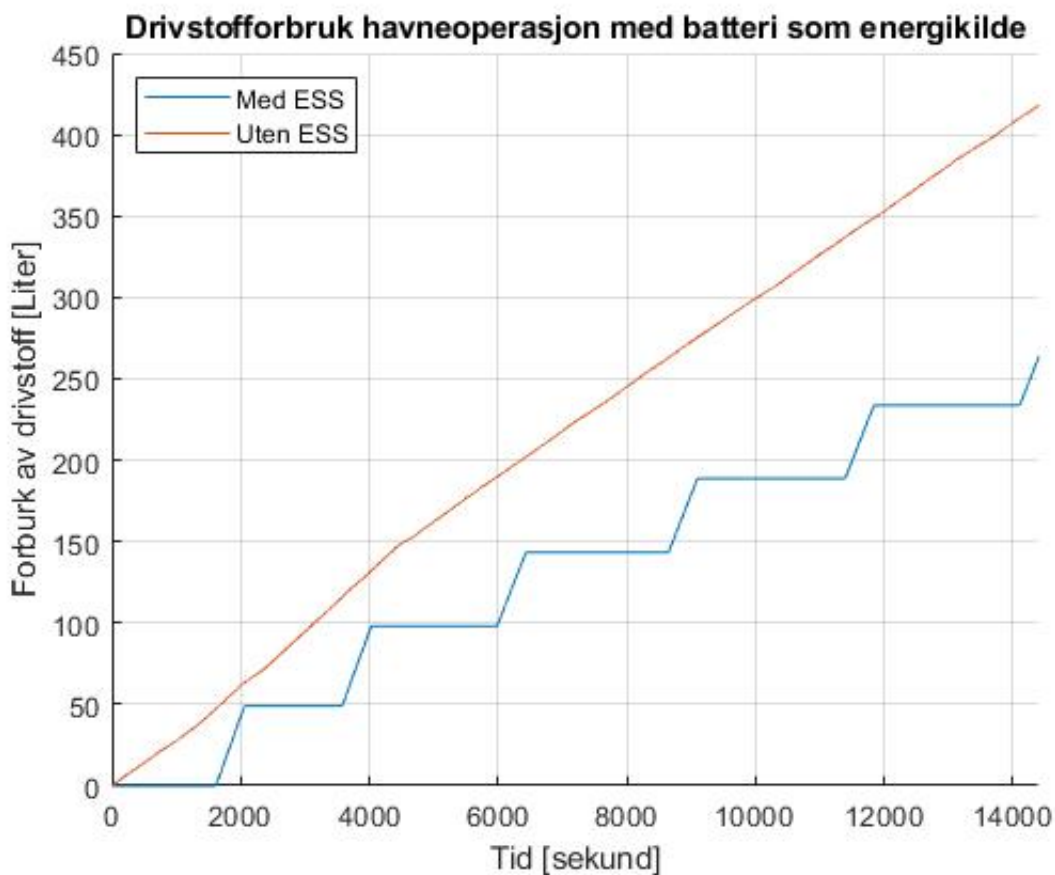
I figur 4.25 illustreres drivstofforbruket for lastprofilen. Denne viser en betydelig besparelse ved å benytte batteriet i start/stopp-modus under havneoperasjoner.

Drivstoff spart i løpet av fire timer:

$$418,07 \text{ l} - 263,63 \text{ l} = 154,44 \text{ liter} \quad (4.31)$$

Drivstoff spart i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{418,07 \text{ l} - 263,63 \text{ l}}{418,07 \text{ l}} \cdot 100 = 36,94\% \quad (4.32)$$



Figur 4.25: Drivstofforbruk for lastprofil i figur 4.24

I figur 4.26 illustreres NO<sub>x</sub>- og CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofilen. Denne viser en tydelig reduksjon av utslipp ved å benytte batteriet i start/stopp-modus under havneoperasjon.

NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$12,63 \text{ kg} - 6,50 \text{ kg} = 6,13 \text{ kg} \quad (4.33)$$



NO<sub>x</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

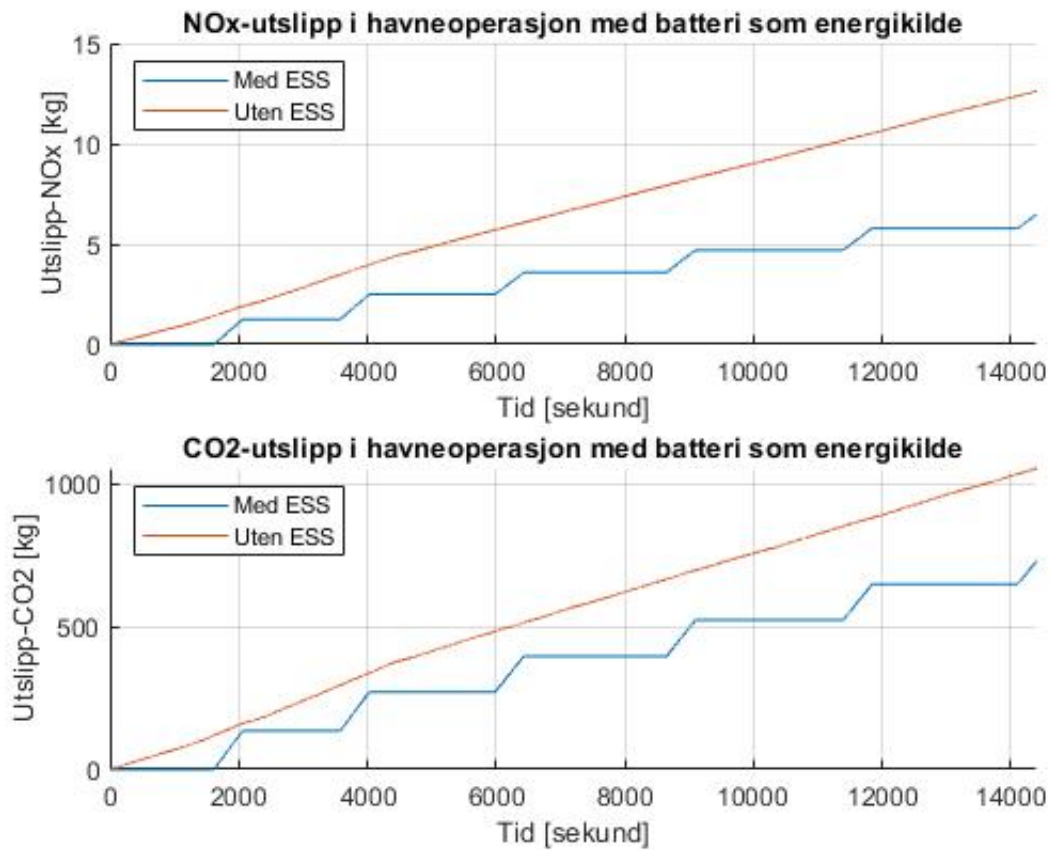
$$\frac{12,63 \text{ kg} - 6,50 \text{ kg}}{12,63 \text{ kg}} \cdot 100 = 48,54\% \quad (4.34)$$

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer:

$$1054,02 \text{ kg} - 731,28 \text{ kg} = 322,74 \text{ kg} \quad (4.35)$$

CO<sub>2</sub>-utslipp redusert i løpet av fire timer i prosent:

$$\frac{1054,02 \text{ kg} - 731,28 \text{ kg}}{1054,02 \text{ kg}} \cdot 100 = 30,61\% \quad (4.36)$$



Figur 4.26: NO<sub>x</sub>- og CO<sub>2</sub>-utslipp for lastprofil i figur 4.24

## 4.5 Summering av resultater

### 4.5.1 Summering av drivstoff- og utslippsreduksjon fra simuleringer på fire timer

For å få en oversikt over resultatene fra tidligere simuleringer er det laget følgende ulike tabeller for drivstofforbruk, CO<sub>2</sub>-utslipp og NO<sub>x</sub>-utslipp.

Tabell 4.1 viser resultater fra simulering av drivstofforbruk på fire timer fra 4.1, 4.31 og 4.19:

Operasjon	Forbruk uten ESS (liter)	Forbruk med ESS (liter)	Besparelse i prosent (%)
Transitt	4102,32	3916,28	4,5
DP	1242,63	1088,75	12,38
Havn	418,07	263,63	36,94
<b>Totalt</b>	<b>5763,02</b>	<b>5268,66</b>	<b>8,58</b>

Tabell 4.1: Oversikt over drivstofforbruk med og uten ESS ved simulering på fire timer

Resultatet fra 4.1 viser at på tolv timer (fire i hver operasjon) kan fartøyet redusere drivstofforbruket med 8,58%

Lager tabell 4.2 med CO<sub>2</sub>-utslipps resultater fra 4.4, 4.24 og 4.36:

Operasjon	CO <sub>2</sub> -utslipp uten ESS (kg)	CO <sub>2</sub> -utslipp med ESS (kg)	Besparelse i prosent (%)
Transitt	12 472,22	11 540,30	7,5
DP	3284,71	2973,36	9,48
Havn	1054,02	731,28	30,61
<b>Totalt</b>	<b>16 810,95</b>	<b>15 244,94</b>	<b>9,32</b>

Tabell 4.2: Oversikt over CO<sub>2</sub>-utslipp med og uten ESS ved simulering på fire timer

Resultatet fra 4.2 viser at på tolv timer (fire i hver operasjon) kan faartøyet redusere CO<sub>2</sub>-utslippet med 9,32%.

Lager tabell 4.3 med NO<sub>x</sub>-utslipps resultater fra 4.6, 4.22 og 4.34.

Operasjon	NO <sub>x</sub> utslipp uten ESS (kg)	NO <sub>x</sub> utslipp med ESS (kg)	Besparelse i prosent (%)
Transitt	95,64	109,96	-14,97
DP	34,73	24,19	30,34
Havn	12,63	6,50	48,54
Totalt	143	140,65	1,64

Tabell 4.3: Oversikt over NO<sub>x</sub>-utslipp med og uten ESS ved simulering på fire timer

Resultatet fra 4.3 viser at på tolv timer (fire i hver operasjon) kan fartøyet redusere NO<sub>x</sub>-utslippet med 1,64%.

#### 4.5.2 Årlig drivstoff- og utslippsreduksjon

For å lage tabell 4.4 brukes utregningene fra 3.2 , 3.41 og 3.21 til å se hvor mange timer fartøyet opererer i de ulike operasjonene, videre hentes simuleringutregningene fra 4.25, 4.19 og 4.1.

Operasjon	Tid(t)	Drivstoff spart per time(l)	Drivstoff spart per år (l)	Besparelse(%)
Transitt	2251,32	46,51	104 708,89	4,5
DP	2750,64	38,47	105 817,12	12,38
Havn	1997,28	38,61	77 114,98	36,94
Totalt	6999,24	123,59	287 640,99	8,58

Tabell 4.4: Drivstoffbesparelser i løpet av ett år

Total drivstoffbesparelse ved simulering av operasjonene transitt, DP og ved havn i løpet av ett år:

$$104708,89 + 105817,12 + 77114,98 = 287640,99 \text{ liter} \quad (4.37)$$

Bruker tetthetsfaktor for diesel til å beregne hvor mange tonn drivstoff som spares i året:

$$\frac{0,850 \text{ kg/l} \cdot 287640,99 \text{ liter}}{1000} = 244,49 \text{ tonn} \quad (4.38)$$

Bruker drivstoffpris fra 3.1 til å beregne årlig inntjening:

$$244,49 \cdot 4368,24 = 1067991 \text{ NOK} \quad (4.39)$$

Simuleringene viser tydelig at det lønner seg å installere ESS på offshorefartøyet. Videre vil det være ønskelig for skipsrederiet å vite hvor lang tid det vil ta å tjene inn igjen investeringen ved å installere ESS. For å beregne dette brukes utregninger av driftskostnader og drivstofforbruk fra 3.3, 3.23, 3.43 og 4.39

Mulige besparelser ved å installere ESS

- Driftskostnad ved havn: 856 085 NOK
- Driftskostnad DP: 1 375 320 NOK
- Driftskostnad transitt: 900 575 NOK
- Totalt drivstofforbruk: 1 068 012,15 NOK

For å se om det kan lønne seg må det settes en pris for hele ESS-installasjonen. Vard oppgir en estimert pris på:

- 15 000 000 NOK for drives og installasjonsarbeid
- 650 USD per kwh for batteripakken

Hvis et fartøy installerer ESS med et 500 kWh batteri vil det da koste 17 707 250 NOK.

Totalt mulige besparelser i året med ESS er:

$$856085 + 1375320 + 900575 + 1068012,15 = 4199992,15 \text{ NOK} \quad (4.40)$$

Total tid før ESS med 500 kWh er nedbetalt:

$$\frac{17707250}{4199992,15} = 4,21 \text{ år} \quad (4.41)$$

Det vil ta rundt 4,2 år før ESS-installasjonen med et 500 kWh-batteri vil være nedbetalt. Med støtte fra NOx-fondet som tidligere forklart under spørsmål tre i 3.1, kunne inntjeningstiden vært enda mindre.

Tabellene 4.5 og 4.6 viser en oversikt over reduksjonen av utslipp av CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> ved å installere ESS over en periode på ett år.

Operasjon	Tid(t)	CO2-reduksjon pr time(kg)	CO2-reduksjon pr år(tonn)	Reduksjon(%)
Transitt	2251,32	232,98	524,51	7,5
DP	2750,64	77,84	214,11	9,48
Havn	1997,28	80,69	161,16	30,61
Totalt	6999,24	391,51	899,78	9,32

Tabell 4.5: CO2-utslippsreduksjon ved installasjon av ESS i løpet av ett år

Tabell 4.5 viser en reduksjon på 899,72 tonn CO2 på ett år.

Operasjon	Tid(t)	NOx-reduksjon pr time(kg)	NOx-reduksjon pr år(tonn)	Reduksjon(%)
Transitt	2251,32	-3,58	-8,06	-14,97
DP	2750,64	2,64	7,26	30,34
Havn	1997,28	1,53	3,06	48,54
Total	6999,24	0,59	2,26	1,64

Tabell 4.6: NOx-utslippsreduksjon ved installasjon av ESS i løpet av ett år

Tabell 4.6 viser en total NOx-reduksjon på 2,26 tonn over et år.

## 4.6 Forskjellige batteristørrelser

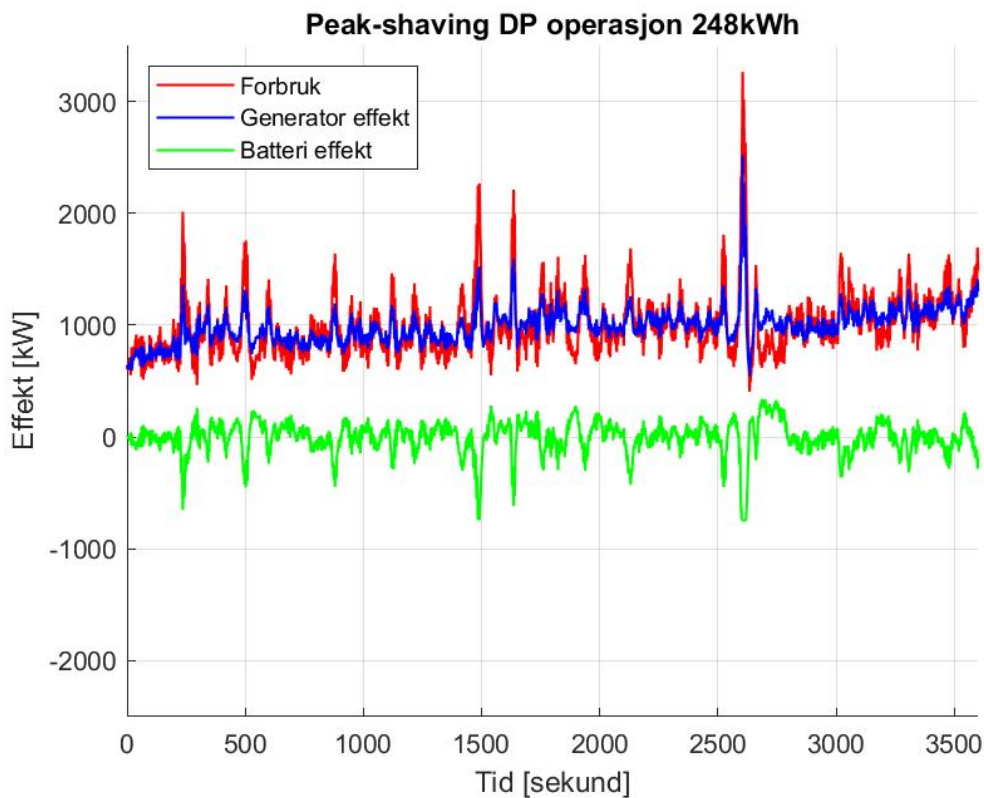
I dette delkapittelet blir det gjennomført simuleringer av flere ulike batteristørrelser, for å undersøke hvordan dette påvirker systemet. Dette kan gi relevant informasjon for å fastslå hva optimal batteristørrelse er, basert på ytelse og kostnad. Simuleringene blir gjennomført med ulike antall batterihyller som har en størrelse på 124 kWh hver. Dette er en av størrelsene som batterileverandøren Corvus leverer [8].

### 4.6.1 DP-operasjon

Batteriene i simuleringene har følgende spesifikasjoner innstilt:

- Ladegrense: 2,5 C
- Utladningsgrense: 3 C
- Initial SoC: 75%
- SOC-settpunkt: 75 %

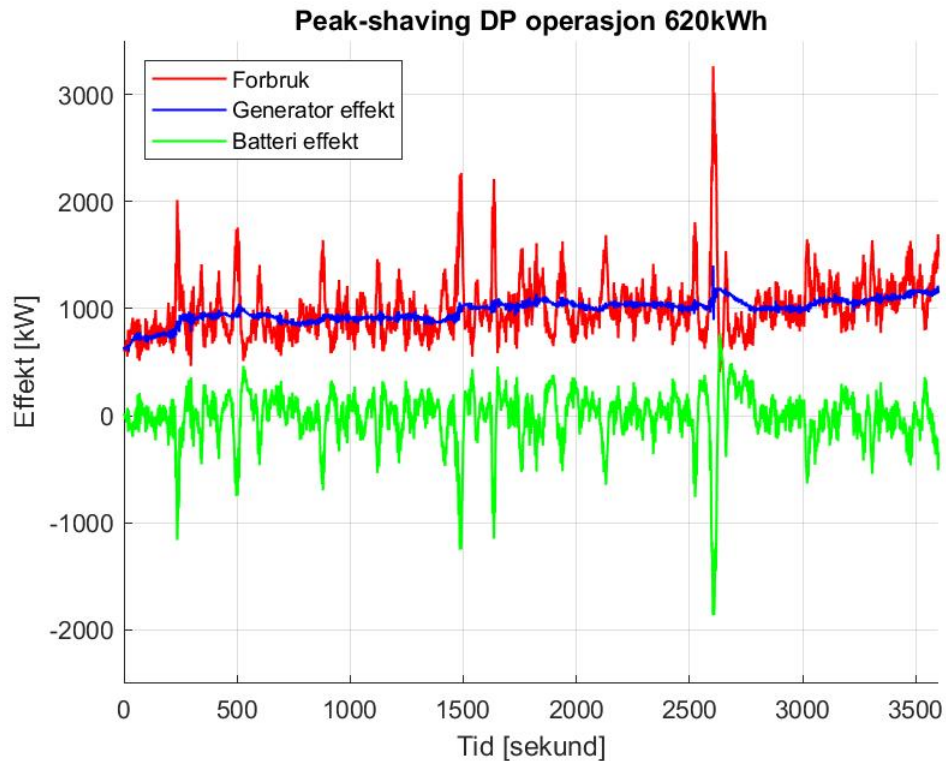
I figur 4.27 ser man generatorlasten med et batteri med størrelse på 248 kWh. Figuren viser at generatoreffekten fremdeles har mye variasjoner, og peak-shaving fungerer ikke optimalt.



Figur 4.27: Lastprofil med 248 kWh-batteri

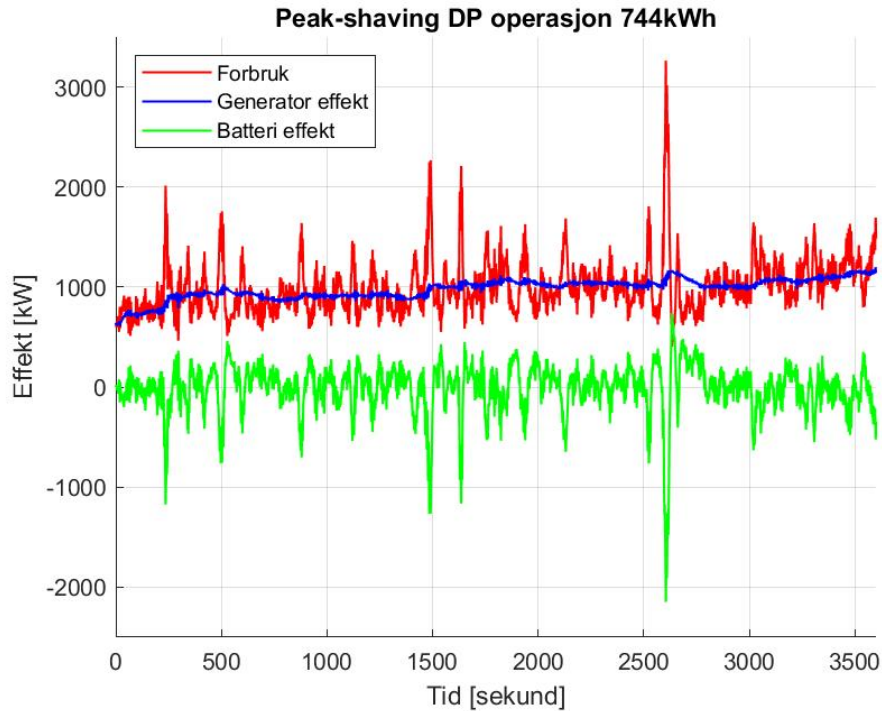
Til sammenligning så vil et større batteri kunne operere med en høyere last. Dette gjør generatorlasten mer stabil, som illustrert i figur 4.28.

Ser også at generatorlasten med peak-shaving ligger rundt 1400 kW på det høyeste i figur 4.27. For å kunne redusere antall aktive generatorer i DP-operasjon må batteriet ha en utladningsgrense som er større enn denne lasten. Så den minste størrelsen batteriet kan ha er på 496 kWh. De toppene som er over dette er korte, og man ville dermed ikke trenge å starte en ny generator. Skulle man vært beskyttet fra disse også så må størrelsen på batteriet være 868 kWh.



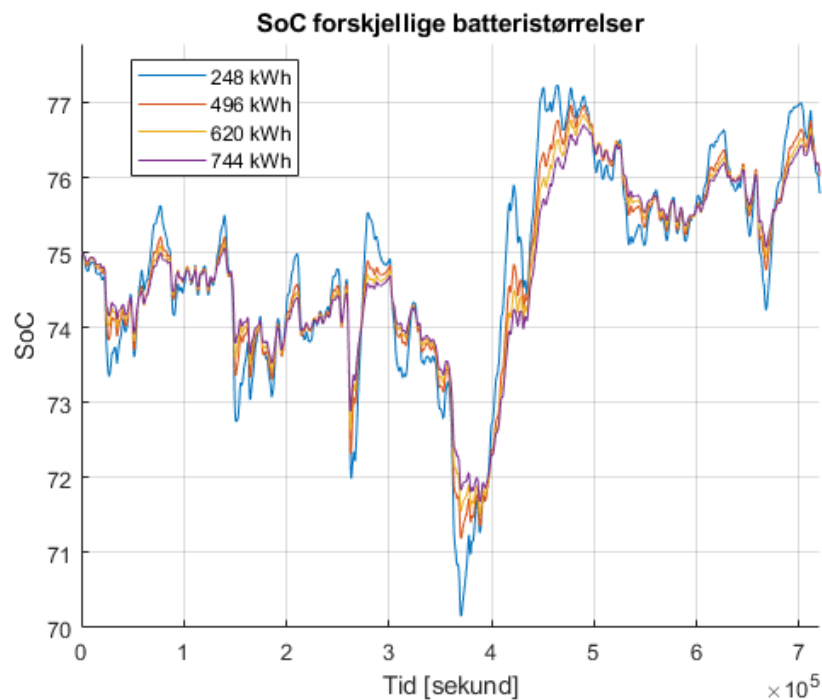
Figur 4.28: Lastprofil med 620 kWh-batteri

Lastprofilen til en simulasjon der batteristørrelsen er på 744 kWh illustreres i figur 4.29. Sammenligner vi denne med figur 4.28 ser man en liten gevinst i å gå fra et batteri med en størrelse på 620 kWh til et batteri med en størrelse på 744 kWh. Ved å øke størrelsen på batteriet ytterligere var det ikke en merkbar forskjell på lastprofilen.



Figur 4.29: Lastprofil med 744 kWh-batteri

I figur 4.30 illustreres SoC for ulike batteristørrelser i en simulering på to timer. Her ser man at større størrelser vil gi et mindre DoD, og i tillegg gi et mindre lastavvik.



Figur 4.30: SoC med forskjellige batteristørrelser



For å undersøke hvordan ulike batteristørrelser påvirker drivstoffbesparelser, ble det utført en simulering på åtte timer fra en sammenhengende DP-operasjon. Hvor aktive generatorer ble redusert fra to til en. I tabell 4.7 illustreres resultatene for simuleringene.

Batteristørrelse	Drivstofforbruk		CO2-utslipp		NOx-utslipp	
Uten ESS	2475,95 L		6542,23		69,28kg	
248 kWh	2175,54 L	12,13%	5934,07 kg	14,78%	48,87kg	29,46%
496 kWh	2178,60 L	12,01%	5949,07 kg	14,65%	48,59kg	29,86%
620 kWh	2179,86 L	11,96%	5953,65 kg	14,52%	48,48kg	30,02%
744 kWh	2180,70 L	11,92%	5956,79 kg	14,51%	48,43kg	30,09%
868 kWh	2181,25 L	11,90%	5958,91 kg	14,50%	48,40kg	30,01%
992 kWh	2181,57 L	11,89%	5959,87 kg	14,49%	48,40kg	30,01%

Tabell 4.7: Forbruk i DP-operasjon med forskjellige batteristørrelser

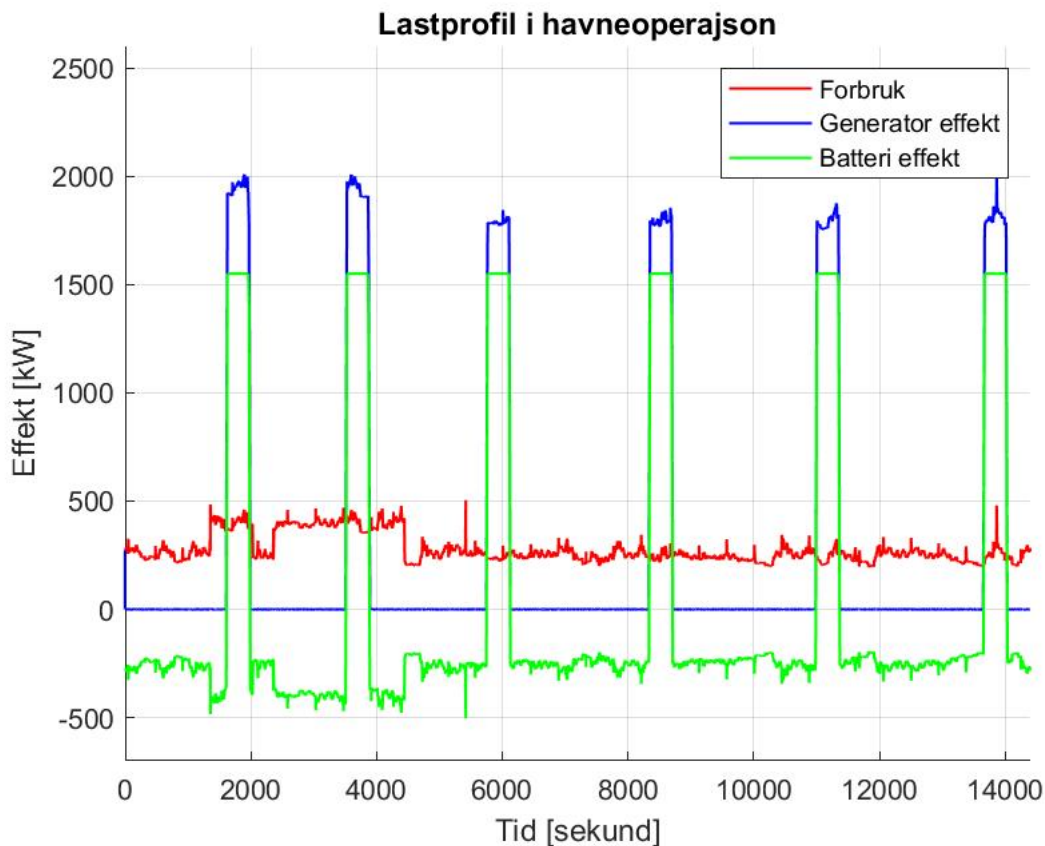
I tabell 4.7 ser man at batteristørrelsen med størst besparelse er 248 kWh. Denne størrelsen er ikke egnet til peak-shaving som illustrert i figur 4.27. Den optimale batteristørrelsen for denne DP-operasjonen vill derfor være 496 kWh, basert på ytelse er det også lite gevinst med å øke til 620 kWh.

## 4.6.2 Havneoperasjon

Batteriene i simuleringene har følgende spesifikasjoner innstilt:

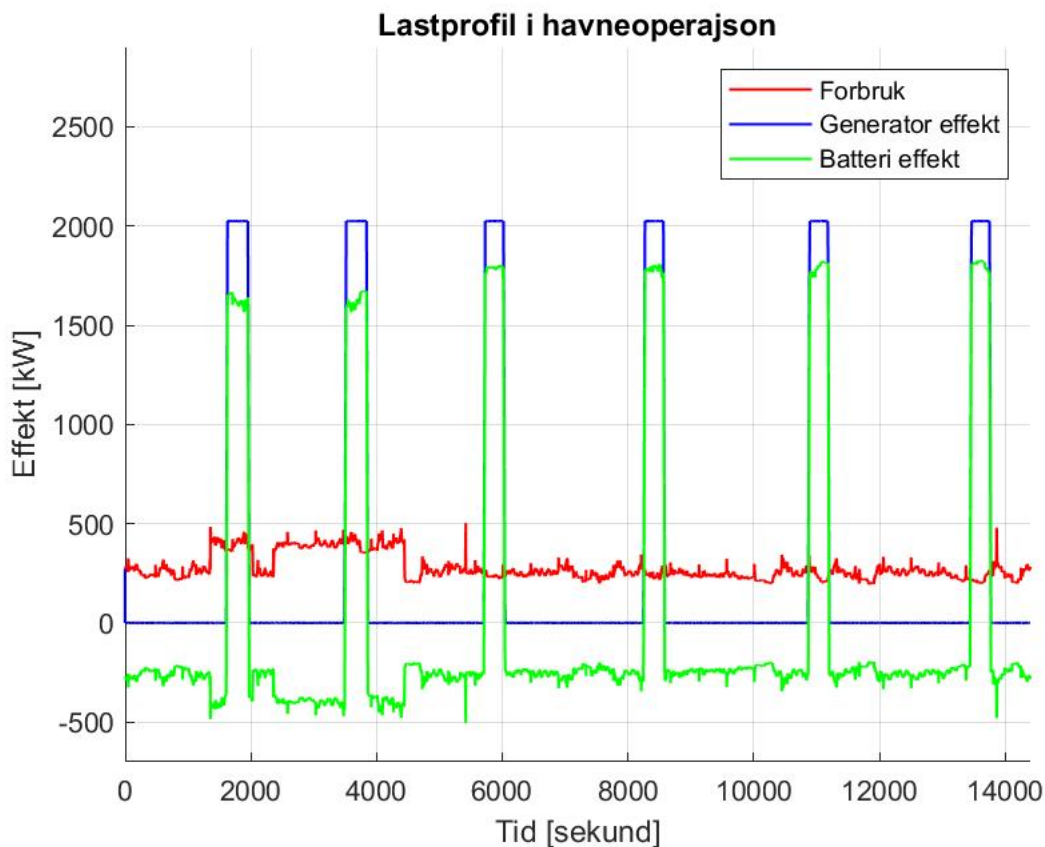
- Ladegrenser: 2,5 C
- Utladningsgrenser: 3 C
- Initial SoC: 75%
- Maksimal generatorlast: 2025 kW
- SoC-arbeidsområde 50-80%

I figur 4.31 illustreres lastprofilen til en havneoperasjon med batteristørrelse på 620 kWh. Toppene til forbruket ligger rundt 500 kW, den minste batteristørrelsen som kan levere dette innefor 2,5 C er derfor 258 kWh.



Figur 4.31: Lastprofil havneoperasjon 620 kWh

I figur 4.32 illustreres lastprofilen til en havneoperasjon med en batteristørrelse på 744 kWh. Her ser man at generatorlast er flat, og at det blir levert varierende effekt til batteriet. Dette betyr at generatorsettet har nådd den maksimale generatorlasten, og dermed er det ikke mer ubrukt kapasitet å hente ved å øke batteristørrelsen ytterligere.



Figur 4.32: Lastprofil havneoperasjon 744 kWh

For å undersøke hvordan ulike batteristørrelser påvirker drivstoffbesparelser, ble det utført en simulering på åtte timer fra en sammenhengende havneoperasjon. I tabell 4.8 illustreres resultatene for simuleringene.

Batteristørrelse	Drivstofforbruk		CO <sub>2</sub> -utslipp		NO <sub>x</sub> -utslipp	
Uten ESS	852,67 L		2160,26kg		25,49kg	
248 kWh	605,30 L	29,01%	1619,60kg	25,02%	13,87kg	45,59%
496 kWh	564,63 L	33,78%	1563,59kg	27,62%	14,03kg	44,96%
620 kWh	555,02 L	34,91%	1511,27kg	30,04%	15,10kg	40,76%
744 kWh	513,07 L	39,83%	1390,41kg	35,64%	14,50kg	43,11%
868 kWh	529,07 L	37,95%	1433,97kg	33,62%	14,97kg	41,27%
992 kWh	521,96 L	38,79%	1414,38kg	34,53%	14,78kg	42,02%

Tabell 4.8: Forbruk og utslipp i havneoperasjon med forskjellige batteristørrelser

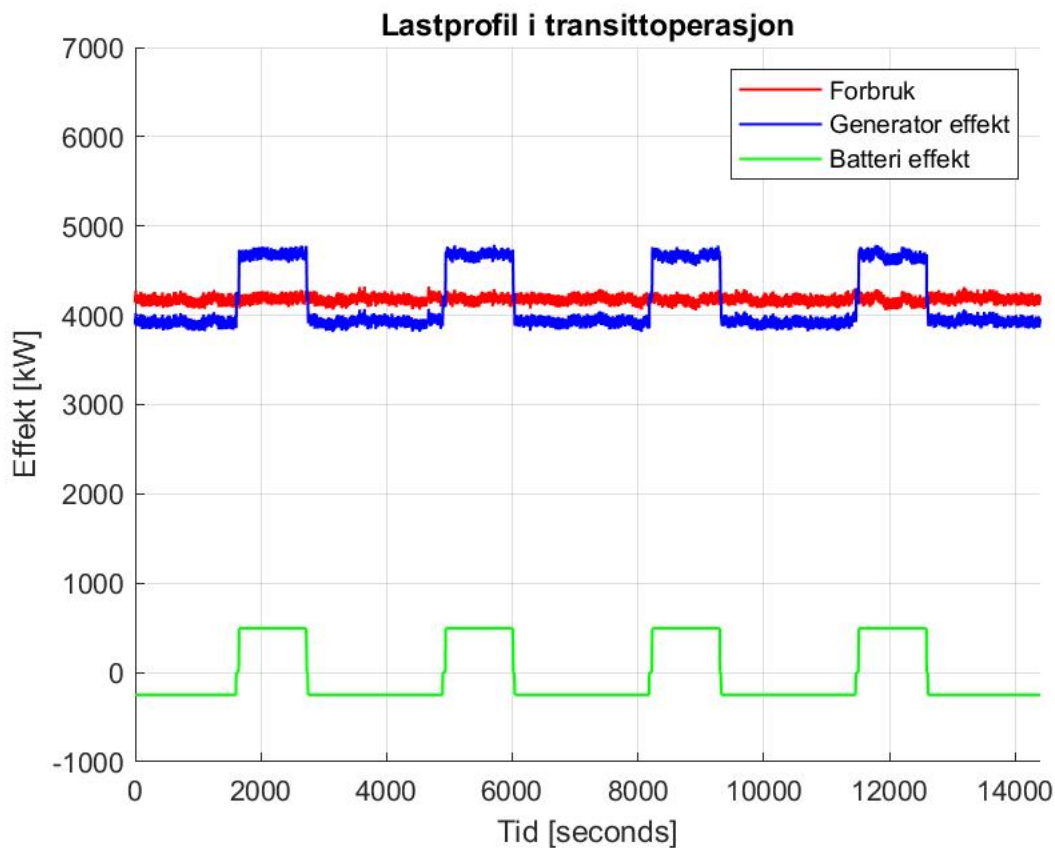
I havneoperasjon gir det ikke bedre ytelse ved å øke batteristørrelse mer enn 744 kWh. Den minste batteristørrelsen som kan gjennomføre operasjonen er på 248 kWh, men dette gir da en lav utladningstid.

### 4.6.3 Transittoperasjon

Batteriene i simuleringene har følgende spesifikasjoner innstilt:

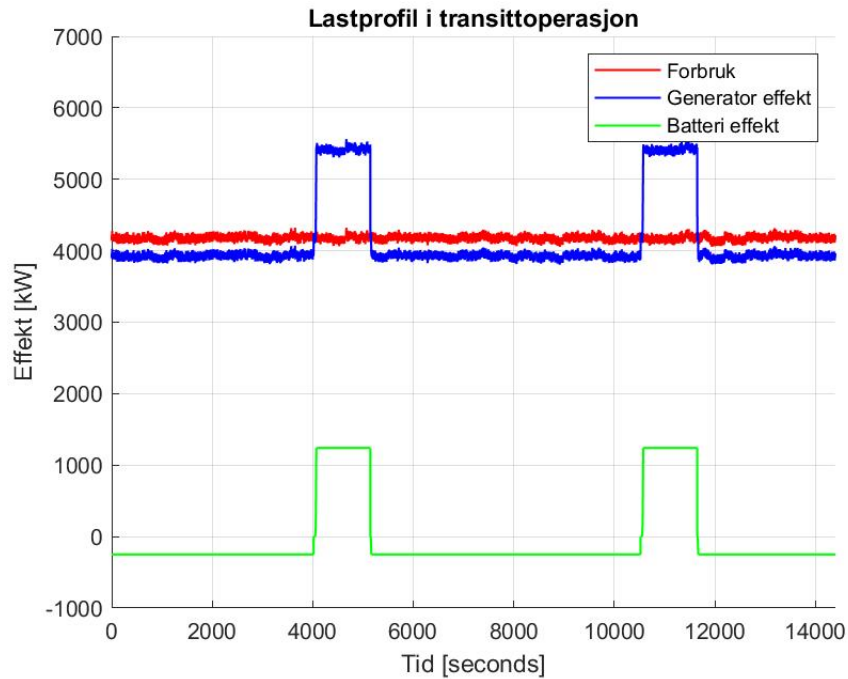
- Ladegrenser: 2 C
- Utladningsgrense: 250kW
- Initial SoC: 75%
- Maksimal generatorlast: 2025 kW per generator, 6075 kW totalt
- SoC-arbeidsområde: 30-90%

I figur 4.33 illustreres lastprofilen til en transittoperasjon med batteristørrelse på 248 kWh. Når batteriet lades er det mer tilgjengelig kraft fra generatorene.



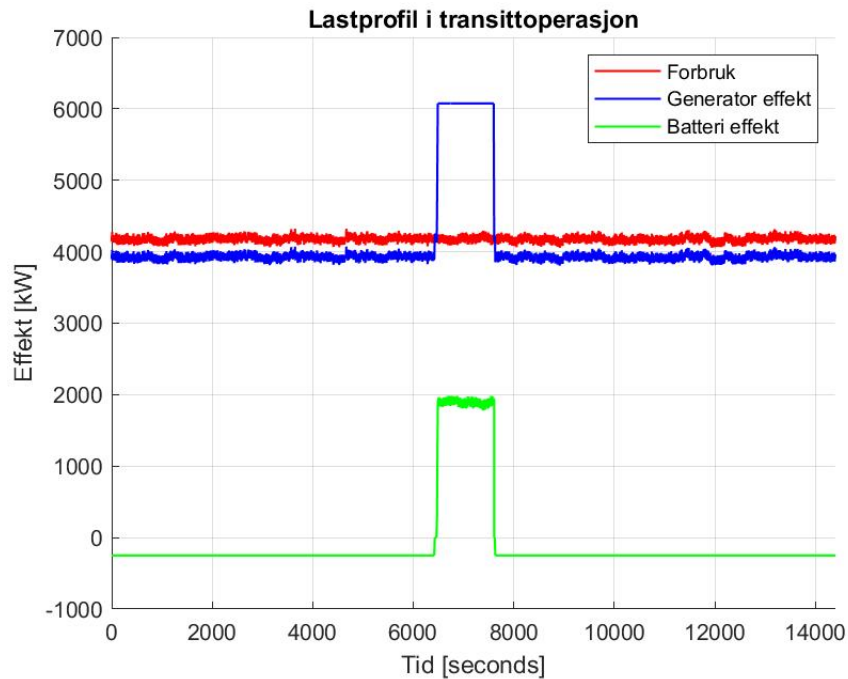
Figur 4.33: Lastprofil transittoperasjon 248 kWh

Sammenlignes figur 4.33 og 4.34 ser man at et større batteri øker syklustiden til neste lading. I tillegg er det en høyere generatoreffekt ved oppladningen av batteriet. Det er fremdeles mer ubrukt kapasitet fra generatorene når batteriet lades.



Figur 4.34: Lastprofil transittoperasjon 620 kWh

Figur 4.35 viser at generatoreffekten er flat når batteriet lades, dette er siden den maksimale totale generatorlasen er nådd. Å øke batteristørrelsen ytterligere vil ikke gi bedre ytelse av generatorene.



Figur 4.35: Lastprofil transittoperasjon 992 kWh

For å undersøke hvordan ulike batteristørrelser påvirker drivstoffbesparelser, ble det utført en simulering på åtte timer fra en sammenhengende transittoperasjon. I tabell 4.9 illustreres resultatene for simuleringen.

Batteristørrelse	Drivstofforbruk		CO2-utslipp		NOx-utslipp	
Uten ESS	8198,53 L		22,92 tonn		191,03kg	
248 kWh	7980,21 L	2,66%	21,85 tonn	4,67%	213,34kg	-11,68%
496 kWh	7905,20 L	3,58%	21,51 tonn	6,15%	217,81kg	-14,02%
620 kWh	7876,27 L	3,93%	21,40 tonn	6,63%	218,73kg	-14,50%
744 kWh	7916,89 L	3,44%	21,49 tonn	6,24%	221,89kg	-16,15%
868 kWh	7863,63 L	4,08%	21,35 tonn	6,85%	220,11kg	-15,22%
992 kWh	7915,76 L	3,45%	21,48 tonn	6,28%	222,05kg	-16,24%

Tabell 4.9: Forbruk og utslipp i transittoperasjon med forskjellige batteristørrelser

Simuleringene viser at i transittoperasjon gir det ikke en bedre ytelse å øke batteristørrelsen større enn 992 kWh. En batteristørrelse på 992 kWh har høyest drivstoffbesparelse, men gir også en økning av NOx-utslipp. Batteristørrelsen påvirker hvor lang syklustiden er per ladning, et større batteri gir lengre syklustid.

#### 4.6.4 Kostnadssammenligning av batteristørrelser

Kostnaden for å installere et energilagringsystem uavhengig av batteristørrelse er 15 millioner kroner. I tillegg kommer kostnadene for selve batteriet på 650 USD per kWh, som med dagens USD-pris på 8,22 er 5343 kr per kWh.

Batteristørrelse	Kostnad
248 kWh	16,3 millioner NOK
496 kWh	17,7 millioner NOK
620 kWh	18,3 millioner NOK
744 kWh	19,0 millioner NOK
868 kWh	19,7 millioner NOK
992 kWh	20,3 millioner NOK

Tabell 4.10: Kostnader for energilagringsystem

Bruker driftstimer fra hver operasjon i delkapittel 3.1. Driftstimene blir multiplisert med drivstoffbesparelsen i prosent fra tabellene 4.7, 4.8 og 4.9. Dette gir et resultat på hvor mye drivstoff som kan spares hvert år.

Batteristørrelse	DP	Transitt	Havn	Totalt drivstoff spart	Prosent spart
248 kWh	87,84 tonn	55,11 tonn	52,47 tonn	195,42 tonn	6,82%
496 kWh	86,96 tonn	68,79 tonn	61,12 tonn	216,92 tonn	7,57%
620 kWh	86,55 tonn	75,68 tonn	63,17 tonn	225,41 tonn	7,87%
744 kWh	86,32 tonn	65,29 tonn	72,07 tonn	223,67 tonn	7,81%
868 kWh	86,18 tonn	78,82 tonn	68,67 tonn	233,68 tonn	8,15%
992 kWh	86,11 tonn	66,61 tonn	70,19 tonn	222,91 tonn	7,78%

Tabell 4.11: Drivstoff spart i løpet av et år

Deretter blir drivstoffbesparelsen multiplisert med kostnaden for drivstoff, for å gi en oversikt over totale kostnadsbesparelser. Informasjon om drivstoffkostnader finnes i seksjon 3.1.

Batteristørrelse	Drivstoff spart	Prosent spart	NOK spart
248 kWh	195,42 tonn	6,82%	853641 NOK
496 kWh	216,92 tonn	7,57%	947558 NOK
620 kWh	225,41 tonn	7,87%	984644 NOK
744 kWh	223,67 tonn	7,81%	977044 NOK
868 kWh	233,68 tonn	8,15%	1020770 NOK
992 kWh	222,91 tonn	7,78%	973724 NOK

Tabell 4.12: Total drivstoff og NOK spart i løpet av et år

For å vise hvilken batteristørrelse som gir mest årlig besparelse, ble batterikostnad fra tabell 4.10 delt med hvor mye NOK som blir spart årlig fra tabell 4.12. Dette gir da et forhold mellom drivstoffbesparelse og batterikostnad illustrert i tabell 4.13.

Batteristørrelse	Kostnadsforhold
248 kWh	19,09
496 kWh	18,67
620 kWh	18,59
744 kWh	19,45
868 kWh	19,29
992 kWh	20,84

Tabell 4.13: Kostnadsforhold ved forskjellige batteristørrelser

Fra tabell 4.13 ser man at en batteristørrelse på 620kwh har det laveste kostnadsforholdet. Denne batteristørrelsen har da en estimert kostnad på 18,3 millioner NOK, som i forhold til prisen gir den største drivstoff- og utslippsbesparelsen.

# Kapittel 5

## Diskusjon

I dette kapitlet redegjøres funnene som har blitt gjort, basert på simuleringene og teorien som er oppnådd. Først drøftes simuleringen av EMS-modellen, hvor det påpekes styrker og anbefalinger for videre utvikling. Deretter diskuteres resultatene for de ulike driftsoperasjonene, hvor positive og negative sider blir presentert. Til slutt drøftes resultatene for hvordan ulike batteristørrelser vil påvirke de ulike operasjonene.

### 5.1 Simulering av EMS

EMS-modellen, som beskrevet i seksjon 3.4, oppnådde de grunnleggende funksjonene som var ønsket, men har potensial for videre utvikling. Slik modellen er nå kan den utføre peak-shaving på lastprofilen, hvor den samtidig opprettholder batteriets ladestatus og beregner drivstofforbruk og utslipp for både med og uten energilagringssystem. Modellen arbeider også innenfor gitte begrensninger som lade- og utladningsgrenser samt batteristørrelse. I tillegg har modellen en fungerende start/stopp-modus, som benyttes i havn og transittoperasjon hvor belastningen er relativt stabil.

For å benytte modellen i de ulike operasjonene og modusene har det blitt laget en simuleringsmodell for hver operasjon og hver modus, dette er lite gunstig. Grunnen til at det ble gjort slik er at hver operasjon lastes med ulik driftsdata og har forskjellige parametere, i tillegg fjernes peak shaving-regulatoren i start/stopp-modus. Som en videre utvikling kan det designes et grafisk brukergrensesnitt i simuleringsmodellen, for enkelt å kunne bytte mellom peak-shaving og start/stopp-modus, samt bytte mellom ulike driftsoperasjoner.

Batteriet i simuleringsmodellen betraktes som et perfekt batteri, uten noen tap som følge av temperaturvariasjoner, motstand og alder. Temperaturen har en direkte tilknytning til hvor mye batteriet kan lade eller utlades med, siden BMS (seksjon 2.8) regner ut sine begrensninger fra faktorer som blant annet temperatur. Ved en høyere effekt vil temperaturen i batteriet øke, og dermed begrense kapasiteten. Som en videre utvikling hadde det vært interessant å se på hvordan tap som følge av temperatur, spenningsfall og alder vil påvirke systemet og hvilke begrensninger dette kan gi.



## 5.2 Start/stopp-modus

I resultatkapittelet viste simuleringene at peak-shaving ga liten til ingen besparelse i transitt- og havneoperasjon. Dette var som forventet, og skyldtes at lasten i disse operasjonene var relativt stabile med små variasjoner. Det ble derfor undersøkt andre metoder for å kunne oppnå en potensiell besparelse i disse operasjonene.

### 5.2.1 Start/stopp-modus i transittoperasjon

Ved å benytte start/stopp-modus i transittoperasjon ga simuleringene en besparelse på hele 4.5% (seksjon 4.3.2), noe som var en betraktelig økning fra 0.05% i peak shaving-modus (seksjon 4.3.1). Dette utgjør en stor kostnadsbesparelse siden transitt er den operasjonen med størst forbruk av drivstoff, med god margin. Det ble også avdekket at NO<sub>x</sub>-utslippene viste en økning på 15% i denne modusen, dette kommer av at motoren har et varierende utslipp av NO<sub>x</sub>, og ikke er på sitt mest effektive ved en høy belastning (figur 2.7). Til gjengjeld gir modusen en reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp på hele 6,17%.

Svakheten med denne metoden i en transittoperasjon er at det krever mye av batteriet siden det blir benyttet et stort arbeidsområde på 30-90% SoC. Batteriet har et begrenset antall lade- og utladningssykluser gjennom levetiden, og et stort arbeidsområde (DoD) vil kunne påvirke batteriets levetid. En løsning på dette kan være å installere en større batteripakke enn det på 500 kWh som ble benyttet i simuleringen for å kunne redusere batteriets arbeidsområde.

### 5.2.2 Start/stopp-modus i havneoperasjon

Ved å benytte start/stopp-modus i havneoperasjon gir det muligheten til å stoppe generatorene og drifte fartøyet kun på batteriet, frem til det trenger en oppladning. Simuleringene gav her en stor reduksjon av drivstofforbruket på hele 36.94% (seksjon 4.4.2), noe som var en forbedring fra peak shaving-modus, som faktisk viste en liten økning i forbruk på 0.67% (seksjon 4.4.1). Simuleringen i seksjon 4.4.2 viste også at en batteristørrelse på 500 kWh vil være en fungerende batteristørrelse for å opprettholde et gunstig arbeidsområde til batteriet på 50-80% SoC.

En annen løsning som vil være mye gunstigere er at fartøyet benytter seg av landstrøm i havner hvor dette er tilgjengelig. Når dette benyttes vil det redusere forbruket med 100%.

## 5.3 Driftsdata DP-operasjon

I denne oppgaven ble det benyttet tre sett med driftsdata for en sammenhengende DP, transitt- og havneoperasjon fra et forsyningsfartøy. En faktor som har stor betydning for resultatet er lastprofilen som blir benyttet i simuleringene, dette gjelder spesielt i DP-operasjoner som resultatet i seksjon 4.2.2 viste. Denne viste at ved mindre og lavere lastvariasjoner var systemet ekstra besparende. Årsaken til dette er at energilagringssystemet gir mulighet for å kunne operere med en generator og batteriet, i stedet for å operere med to generatorer. Dette betyr at generatoren

får arbeide på en mye mer effektiv belastning, som betraktelig reduserer forbruket.

Lastprofilen i DP-operasjon vil ha konstante variasjoner på grunn av ytre påvirkninger som vær, vind og strøm. Jo mer fartøyet blir forsøkt flyttet ut av posisjon, desto mer må maskineriet jobbe for å motvirke dette. Dette vil føre til hyppige og store lastvariasjoner ved dårlig vær, men vil også ha motsatt effekt når sjøen er rolig og været fint. Det er i slike rolige situasjoner vi ser en størst potensiell drivstoffbesparelse i DP-operasjon, med en potensiell drivstoffbesparelse på opp mot 20%.

Det hadde av den grunn vært interessant som en videre undersøkelse å se nærmere på hvordan ulike værforhold påvirker besparelser i DP-operasjoner. I driftsdataen som ble benyttet i oppgaven har vi tilgjengelig informasjon på dato og tidspunkt, fart, operasjonsmodus og belastning på hver thruster. Vi har ikke GPS-informasjon eller navn på forsyningsfartøyet, det er derfor vanskelig å si noe om hvordan værforholdene var under denne operasjonen. Dette kunne gitt et klarere svar på hvor mye drivstoff som kan forventes spart under ulike forutsetninger. For å få et mer nøyaktig estimat på besparelse kunne lastprofilen vært sammensatt av flere operasjoner under ulike værforhold, over en lengre periode.

## 5.4 Drivstoffbesparelser og utslipp

### 5.4.1 Utrekning av potensielle besparelser

I utregningene ble det benyttet en gjennomsnittlig operasjonsprofil for forsyningsfartøy i norske farvann (seksjon 3.1). Operasjonstiden i de ulike operasjonene varierer nok fra fartøy til fartøy. Resultatene fra drivstoffbesparelsen kan være annerledes, da det faktiske fartøyet mest sannsynlig har en annen operasjonstid i de ulike operasjonene. Videre viser også nedbetalingstiden både i hypotesen og i simuleringene en ganske lik besparelse.

Ett annet usikkerhetsmoment for utregningene er driftkostnaden for en dieselgenerator per time. Denne kostnaden varierer veldig, det er derfor vanskelig å sette en nøyaktig pris.

### 5.4.2 Drivstoffbesparelser

For å undersøke om hypotesene i seksjon 3.1 stemte for drivstoffbesparelser, sammenlignes de med resultatene fra seksjon 4.5.2.

Operasjon	Hypotese årlige drivstoffbesparelser (tonn)	Resultat årlige drivstoffbesparelser (tonn)
Transit	50,25	89
DP	89,12	89,94
Havn	28,5	65,55
Totalt:	167,87	244,49

Tabell 5.1: Sammenligning av hypoteser og resultat for årlig besparelse av drivstofforbruk.

Tabell 5.1 viser en tilnærmet lik besparelse for hypotesen og de faktiske estimatene fra simuleringen i DP-operasjon, og en økt besparelsene i transitt- og havneoperasjon i forhold til hypotesen.

I oppgaven ble ikke standby-operasjon tatt med i beregningene for drivstoffbesparelse og utslipp, siden vi ikke fikk tak i driftsdata for denne operasjonen. Ifølge operasjonsprofilen som ble benyttet i beregningene, opererer et forsyningsfartøy i standby operasjon 15.5% av året. I denne operasjonen ligger fartøyet vanligvis utenfor 500 meter-sonen til oljeplattformen og venter på videre instruks. Operasjonen ligner mye på en DP-operasjon, men har ikke de samme kravene for redundans og posisjonsnøyaktighet. Fartøyet ligger gjerne på en motor i en delvis DP-operasjon som kun er basert på retningen til fartøyet for å unngå bølger på slagsiden. Siden denne operasjonen er veldig lik en DP-operasjon, kan det med stor sannsynlighet sies at det vil kunne gi en ytterligere besparelse, basert på resultatene som ble oppnådd i en ordinær DP-operasjon.

### 5.4.3 Utslipp

For å se om hypotesene for utslipp i seksjon 3.1 stemte, sammenlignes disse med resultatene fra seksjon 4.5.2.

Operasjon	Hypotese CO2-utslippsreduksjon (tonn)	Resultat CO2-utslippsreduksjon (tonn)
Transit:	314,48	524,51
DP:	101,1	214,11
Havn:	44,41	161,16
Totalt:	459,99	899,78

Tabell 5.2: Oversikt over CO2-utslipp fra hypoteser og simuleringer over en periode på ett år.

Som tabell 5.2 viser var det faktiske resultatet nesten det doble av hva hypotesene viste for CO2-utslipp. Det er utfordrende å beregne en nøyaktig hypotese grunnet variasjonene på last og utslippskurve, dermed vil en simulering gi et mye mer riktig estimat.

Videre sammenlignes hypotesene for NOx-utslipp med resultat produsert fra simuleringsmodellen, denne vises i tabell 5.3.

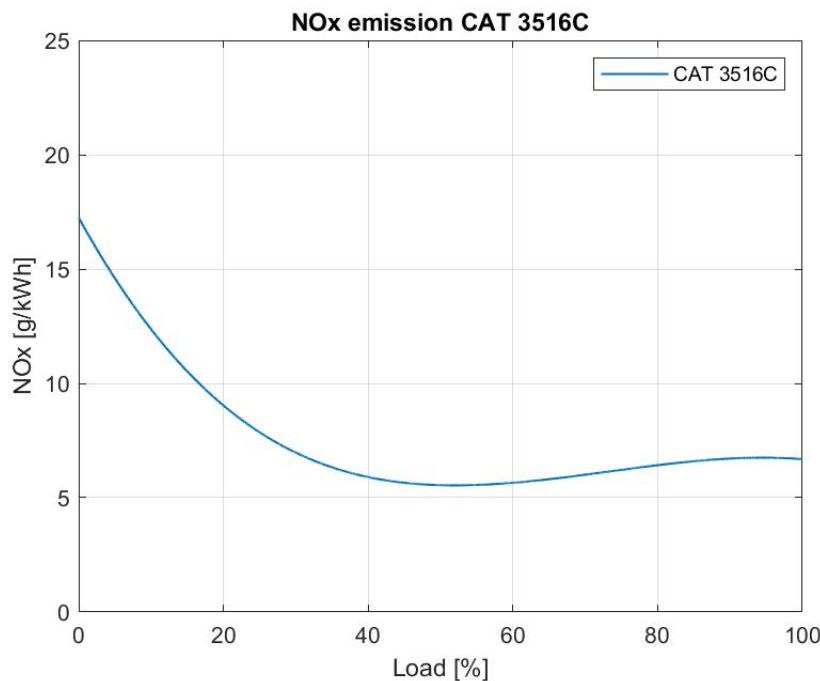
Operasjon	Hypotese NOx-utslippsreduksjon (tonn)	Resultat NOx-utslippsreduksjon (tonn)
Transit	-6,16	-8,06
DP	5,45	7,25
Havn	1,41	3,06
Totalt:	0,7	2,25

Tabell 5.3: Oversikt over NOx-utslipp fra hypoteser og simuleringer over en periode på ett år.

I tabell 5.3 ser vi at hypotesene ikke var så langt unna de resultatene som simuleringen viste. Det ble også estimert i hypotesen at vi kom til å se en økning av NOx-utslipp i transittoperasjon, noe som stemte godt med resultatet gitt fra simuleringen.

NOx er en kjemisk forbindelse av oksygen og nitrogen som potensielt kan føre til alvorlige helseskader hos mennesker. Det kan også føre til sur nedbør og dannelse av bakkenær ozon som kan skade økosystemer [21]. En metode som ytterligere kan redusere utslippene av NOx er Selective Catalyst Reduction (SCR). Dette er et NOx-rensenanlegg som virker ved å injisere urea i eksosstrømmen, som vil reagere med en katalysator som omdanner NOx til nitrogen og vann-damp [2].

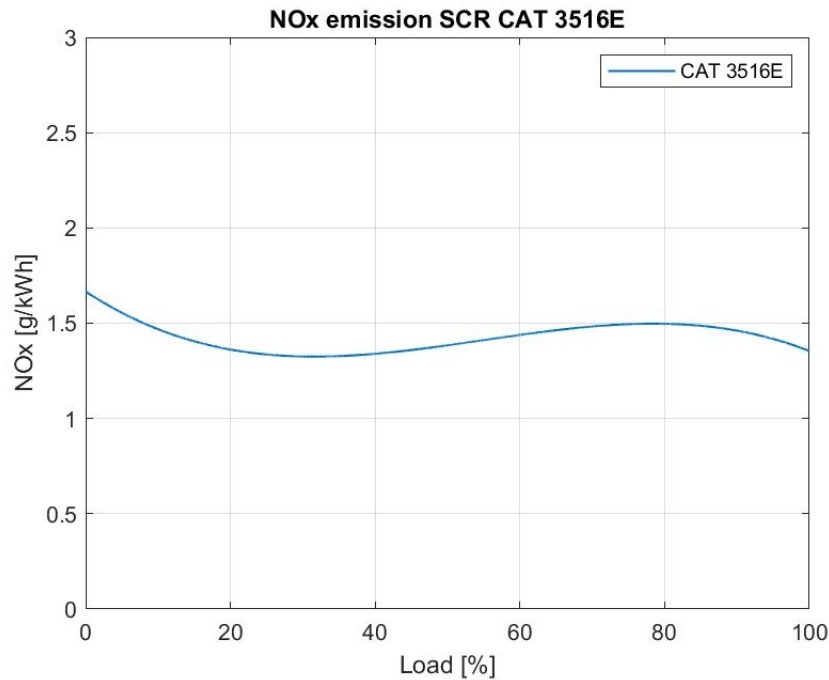
I figur 5.1 vises utslippskurven for NOx til en CAT 3516C-dieselmotor, som er den samme som ble benyttet i simuleringene.



Figur 5.1: NOx-utslipp for CAT 3516C uten rensenanlegg [3].

I figur 5.2 vises utslippskurven for NOx til en CAT 3516E, denne har blitt generert med ut-

slippsdata hentet fra datablad til motortypen [1]. Dette er den samme motoren som 3516C, eneste forskjellen er at denne har SCR NO<sub>x</sub>-rensing fra CAT. Denne kurven ligger langt lavere på grunn av rensesystemet. Et SCR-anlegg kombinert med energilagringssystem har derfor et potensial for nærmest å eliminere utslippet av NO<sub>x</sub> for denne motortypen.



Figur 5.2: NO<sub>x</sub>-utslipp for CAT 3516E med renselanlegg [1].

## 5.5 Batteristørrelser

Forskjellige batteristørrelser påvirker samtlige operasjoner. I peak shaving-modus påvirker størrelsen på batteriet lade- og utladningsgrenser, samt hvor mye avvik det er fra SoC-settpunktet. I start/stop-modus påvirker batteristørrelsen hvor lang utladningstiden er, og om lade grensen til batteriet blir større enn den tilgjengelige kraften. Dette er nærmere vist i figurene 4.27 og 4.28. Et større batteri kan lades med en større effekt, og det vil da ta lengre tid før batteriet utlades. Dette fører til mindre driftstimer for generatorene, samt også en mer effektiv generatorlast. Dette kan man se ved å sammenligne figurene 4.33 og 4.34.

Utslipp fra fartøyet varierer også etter hvilken størrelse det er på batteriet. I havneoperasjoner gir det mindre NO<sub>x</sub> reduksjon ved å øke batteristørrelsen som kan sees i tabell 4.8. I transittoperasjon er det en øking i NO<sub>x</sub>-utslipp ved å installere et større batteri som illustrert i tabell 4.9. CO<sub>2</sub>-utslipp blir i både transitt og havneoperasjoner redusert i større grad ettersom batteristørrelsen øker. Når man skal velge batteristørrelse så må utslipp også bli vurdert.

I resultatene fra seksjon 4.6.4 ser man hvilken batteristørrelse som er mest økonomisk gunstig. Resultatene viser at størrelse på 620 kWh vil være den mest gunstige, økonomisk sett. Resultatene viser at størrelse på 620 kWh vil være den mest gunstige, økonomisk sett. Resultatene viser at størrelse på 620 kWh vil være den mest gunstige, økonomisk sett.

tatet har kun tatt utgangspunkt i drivstoffbesparelser, og ikke driftstimer.

I fremtiden kan man anta at teknologien utvikler seg, og dermed blir billigere. For å sammenligne resultatet av batterikostnadene og installeringen, og hvordan dette endrer seg så testes forskjellige priser. Prisene antas å være den samme for installasjonen på 15 millioner og batterikostnaden antas å reduseres fra 650 USD til 500 USD per kWh.

Batteristørrelse	Dagens kostnad	Kostnadsforhold	Ny kostnad	Nytt kostnadsforhold
248 kWh	16,3 millioner NOK	19,09	16,02 millioner	18,77
496 kWh	17,7 millioner NOK	18,67	17,03 millioner	17,97
620 kWh	18,3 millioner NOK	18,59	17,54 millioner	17,81
744 kWh	19,0 millioner NOK	19,45	18,05 millioner	18,47
868 kWh	19,7 millioner NOK	19,29	18,56 millioner	18,18
992 kWh	20,3 millioner NOK	20,84	19,07 millioner	19,58

Tabell 5.4: Kostnadsforhold basert på drivstoffbesparelse.

I tabell 5.4 kan man se at det fremdeles er et 620 kWh-batteri som er mest gunstig. En ser også at kostnadene for de større batteriene har gått ned. Etter hvert som kostnaden på selve batteripakkene går ned grunnet ny teknologi, så har den totale besparelsen mer å si.

I tillegg til den batteristørrelsen som ga best drivstoffbesparelse for kostnadene så er det ønskelig å vite den minste størrelsen et batteri kan ha for å gjennomføre de forskjellige operasjonene. I DP-operasjoner er det kritisk å en effektreserve, for å kunne redusere antall aktive generatorer. Resultatene fra seksjon 4.6.1 viste at batteristørrelsen må være 496 kWh for å kunne redusere antall aktive generatorer for dette fartøyet. I transitt- og havneoperasjon så gir en lavere batteristørrelse kortere tid mellom ladesyklusene, og fører til en økning driftstimer sammenlignet med et større batteri.

Det var også interessant å undersøke når batteristørrelsen ikke lenger ga en bedre ytelse til systemet. I transittoperasjon så vi en økning av ytelse frem til 992 kWh, og i havneoperasjon økte ytelsen fram til 744 kWh. I DP-operasjoner var det minimal forbedring av ytelse etter 620 kWh.

Basert på en totalvurdering anslår gruppen at en batteristørrelse på 620 kWh vil være den mest gunstige størrelsen, basert på kostnad og ytelse.

# Kapittel 6

## Konklusjon

Formålet med dette prosjektet var å undersøke ulike tilnærminger for bruk av energilagringssystem om bord på et forsyningsfartøy, med fokus på økonomiske og miljømessige gevinster.

For å kunne gi svar på dette ble det utviklet en simuleringsmodell av EMS. I seksjon 4.1 ble EMS-modellen presentert med reelle driftsdata fra et forsyningsfartøy for å verifisere funksjonalitetene. Resultatene viser at EMS-modellen oppfyller de ønskede funksjonene som ble presentert innledningsvis, men den har også potensial for videre utvikling. EMS-modellen utfører peak-shaving på lastprofilen, hvor den samtidig holder seg innenfor begrensningene den blir gitt. I tillegg har modellen en fungerende start/stopp-modus som benyttes i havne- og transittoperasjoner.

I seksjon 4.5.2 ble de potensielle besparelsene summert, basert på resultatene fra simuleringsmodellen og operasjonsprofilen i figur 3.1. Resultatene viste at ved å installere et energilagringssystem på 500 kWh om bord på dette forsyningsfartøyet vil det kunne redusere fartøyet totale drivstofforbruk med 8,58%. I DP-operasjon vil systemet gi en besparelse på 12,38%, mens i transitt- og havneoperasjoner hvor start/stopp-modus benyttes vil besparelsen være 4,5% i transitt og 36,94% for havn. Til sammen vil dette redusere forurensningen til fartøyet med 899,78 tonn CO<sub>2</sub> og 2,26 tonn NO<sub>x</sub>, noe som tilsvarer 1573,26 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter årlig.

I tabell 6.1 vises estimatene for årlig besparelse for forsyningsfartøyet, basert på operasjonsprofilen i figur 3.1. I seksjon 4.5.2 ble de årlige kostnadsreduksjonene estimert til 4,2 millioner NOK, noe som vil gi en inntjeningsstid på 4,21 år uten støtteordninger.

Type	Besparelse	Besparelse (%)
Drivstoff	244,49 tonn	8,58
CO <sub>2</sub>	899,78 tonn	9,32
NO <sub>x</sub>	2,26 tonn	1,64
Driftstimer	6201,59 timer	43,5
Årlig kostnadsreduksjon	4 199 992,15 NOK	7,9

Tabell 6.1: Årlige besparelser ved å installere energilagringssystem

I seksjon 4.6 ble EMS modellen presentert med ulike batteristørrelser for å undersøke hvordan dette påvirker ytelsen til systemet. Resultatene viser at en batteristørrelse på 620 kWh vil være den mest gunstige størrelsen, basert på ytelse og kostnad. I tillegg har resultatene vist at minste batteristørrelse fartøyet kan ha for å oppnå ønsket funksjonalitet til systemet er på 496 kWh.

De samlede resultatene viser at en ettermontering av et energilagringssystem vil være en lønnsom oppgradering for dette forsyningsfartøyet. Det vil redusere drivstofforbruket, minske utslippene og gi betraktelig lavere driftskostnader. I tillegg vil det gi fartøyet en ekstra sikkerhet ved ha en tilgjengelig effektreserve dersom en feil skulle oppstå med generatordriften.

## 6.1 Videre arbeid

I kapittel 5 drøftes funnene som har blitt gjort og det gis en detaljert beskrivelse for videre arbeid. I korte trekk er anbefalingene følgende:

- Samle inn driftsdata over en lengre periode for å få mer riktig lastprofil. Det bør også undersøkes nærmere hvordan ulike værforhold vil påvirke besparelser i DP-operasjon.
- Utvikle et grafisk brukergrensesnitt i simuleringsmodellen for enkelt å kunne bytte mellom moduser og operasjoner.
- Inkludere «standby»-operasjon i estimeringene for besparelse. Denne operasjonen ble ikke inkludert i denne oppgaven.
- Undersøke hvordan tap som følge av temperatur, spenningsfall og alder vil påvirke batteriet.



# Vedlegg

## **A Forprosjektrapport**

## **B Gantt diagram**

## **C Timelister**

Timeliste Even

Timeliste Tom

Timeliste Åsmund

## **D Møtereferat**

Møtereferat uke 7

Møtereferat uke 8

Møtereferat uke 9

Møtereferat uke 11

Møtereferat uke 12

Veiledningsmøte uke 12

Møtereferat uke 15

Møtereferat uke 16

Møtereferat uke 17

Møtereferat Vard uke 17

Veiledningsmøte uke 17

Møtereferat uke 18

Veiledningsmøte uke 19

# Bibliografi

- [1] Caterpillar. 3516e generator set, performance data em4219. *Caterpillar*, 11. desember 2019.
- [2] Caterpillar. Selective catalyst reduction (scr), 2021. URL <https://www.pon-cat.com/no/pon-power/produkter/cat-produkter/marine-spesiallosninger/cat-scr-ststem>.
- [3] Caterpillar. 3516c generator set, performance data dm837. *Caterpillar*, 23. oktober 2015.
- [4] DNV. Rules for classification of ship, part 4 chapter 8. electrical installations juli 2016, . URL <http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnv/ruleship/2016-07/ts408.pdf>.
- [5] DNV. Rules for classification of ship, part 6 chapter 26 juli 2016. dynamic positioning system with enhanced reliability, . URL <http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnv/ruleship/2016-07/ts626.pdf>.
- [6] DNV-GL. Class programme lithium-ion batteries edition september 2018. URL <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CP/2018-09/DNVGL-CP-0418.pdf>.
- [7] DNVGL. Part 6 additional class notations chapter 2 propulsion, power generation and auxiliary systems, 2015. URL <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>.
- [8] Corvus Energy. Corvus orca energy technical specifications. URL <https://corvusenergy.com/products/corvus-orca-energy/>.
- [9] Corvus Energy. Orca energy storage system technical introduction. 2020.
- [10] Corvus Energy. Why energy storage. 2021. URL <https://corvusenergy.com/sustainability/why-battery/>.
- [11] Offshore Engineering. Introduction to dynamic positioning 2021. URL <https://www.offshoreengineering.com/education/dynamic-positioning-dp/what-is-dynamic-positioning>.
- [12] Enova. Enova justerer støttesatsene tilknyttet sjøtransport, 2021. URL [https://presse.enova.no/news/enova-justerer-stoettesatsene-tilknyttet-sjoetransport-423775?\\_ga=2.85919377.962890616.1619513032-980658792.1616153116](https://presse.enova.no/news/enova-justerer-stoettesatsene-tilknyttet-sjoetransport-423775?_ga=2.85919377.962890616.1619513032-980658792.1616153116).
- [13] Enova. Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip, 22 desember 2016. URL [https://www.enova.no/upload\\_images/5CA0E9A81AD54C4C94C3B313AB238A27.pdf](https://www.enova.no/upload_images/5CA0E9A81AD54C4C94C3B313AB238A27.pdf).

- [14] Universitetet i Oslo Helmer Fjellvåg. Bilavgasser. *Store Norske Leksikon*, 21. august 2020. URL <https://snl.no/bilavgasser>.
- [15] IMO. Fourth greenhouse gas study 2020. *International Maritime Organization*, 2020. URL <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>.
- [16] Mesta Electronics Inc. Application decision making: Active harmonic filters vs. active front ends. URL <http://www.mesta.com/AHFs%20vs%20AFEs%20White%20Paper.pdf>.
- [17] Miljødirektoratet. Tabeller for omregning fra energivare til kwh, 2020. URL <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>.
- [18] Martin Murnane and Adel Ghazel. A closer look at state of charge(soc) and state of health (soh) estimation techniques for batteries, 2017. URL <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/a-closer-look-at-state-of-charge-and-state-health-estimation-techniques.pdf>.
- [19] Tore M. Undeland Ned Mohan and William P. Robbins. *Power Electronics : Converters, Applications, and Design 2003*.
- [20] NOx-fondet. Veiledning versjon 3.4 søknad om støtte under nox-avtalen 2018-2025, 12 oktober 2020. URL <https://www.nho.no/siteassets/nox-fondet/soknader-og-egenerklaringer/nox-veiledning-norsk-versjon-3.4-oktober2020.pdf>.
- [21] NOx-fondet. Hva er nox?, 2021. URL <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/artikler/hva-er-nox/>.
- [22] Lars Alvestad og Lasse Karlsen. Guidelines for chemical energy storage - maritime battery systems. *Sjøfartsdirektoratet*, 2016. URL <https://www.sdir.no/en/shipping/legislation/directives/guidelines-for-chemical-energy-storage---maritime-battery-systems/>.
- [23] Arthur Sarsten og Øyvind Ellingsdale. Dieselmotor. *Store Norske Leksikon*, 11. juni 2019. URL <https://snl.no/dieselmotor>.
- [24] Ivar Gunvaldsen Steinar Mathiesen Knut A Rosvold. Batteri. *Store Norske Leksikon*, 24. juli 2019. URL <https://snl.no/batteri>.
- [25] Merethe Ruud. Hvordan fungerer litiumholdige batterier? *Teknisk ukeblad*, 25 Desember 2018. URL <https://www.tu.no/artikler/hvordan-fungerer-litiumholdige-batterier-br/454352>.
- [26] Vidar Selen. Modeling, simulation and implementation of energy management system for hybrid offshore vessels. *NTNU*, 29. juni 2018.

- [27] Kerem Dedebyraktar Mubarak Rahiman Swapnil Bhosle, Guraz Buhariwala. Engineering a hybrid system. *Coventry univervity*, April 2014. URL [https://www.researchgate.net/publication/264696777\\_ENGINEERING\\_A\\_HYBRID\\_SYSTEM](https://www.researchgate.net/publication/264696777_ENGINEERING_A_HYBRID_SYSTEM).
- [28] Vacon. Design guide hybridization, 24 oktober 2016. URL <https://files.danfoss.com/download/Drives/Vacon-Hybridization-Guide-DPD01887A-UK.pdf>.
- [0]

A

TITTEL:

**Energy Storage Systems (ESS) on offshore vessels.**

KANDIDATNUMMER(E):

**Even Mork Vatneødegård**  
**Tom Andre Helvig**  
**Åsmund Winje**

DATO:	EMNEKODE:	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
<b>28.01.2021</b>	<b>IE303612</b>	<b>Bacheloroppgave</b>	<b>Åpen</b>
STUDIUM:	ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:	
<b>AUTOMATISERINGSTEKNIKK OG ELKRAFTTEKNIKK</b>	<b>19 / 0</b>	<b>Ikke i bruk</b>	

Oppdragsgiver: **VARD Electro.**

Veiledere:

- **Ottar L. Osen**
- **Robin Trulssen Bye**
- **Tor Arne Myklebust**

OPPGAVE/SAMMENDRAG:

I denne forprosjektrapporten har gruppen planlagt hvordan prosjektet skal utføres og bestemt hvilke mål som er ønsket oppnådd. Gruppen benytter seg av ulike typer verktøy og hjelpemidler for å sørge for et effektivt og resultatfokusert arbeid innenfor tidsrammen.

I prosjektet skal det undersøkes om hvor store drivstoff besparelser en hybrid løsning kan ha om bord i et offshore fartøy. Gruppen ønsker å lage en simulink modell som skal kunne simulere effekt fra batterier, generatorer og belastning på hovedtavle. Her vil gruppen bruke innhentende data fra fartøy og undersøke hvordan peak shaving vil påvirke ulike operasjoner.

Gruppen vil også undersøke hvordan ulike begrensninger på batteriene vil påvirke forskjellige driftsprofiler til fartøyet. Her ønsker gruppen å lage et simulert batteri hvor batteristørrelse og begrensninger kan endres for å se nærmere på hvordan dette påvirker driften av fartøyet.

*Denne oppgaven er en forprosjektrapport utført av student(er) ved NTNU i Ålesund.*

## INNHold

<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>2 BEGREPER .....</b>	<b>3</b>
<b>3 PROSJEKTORGANISASJON.....</b>	<b>3</b>
3.1 PROSJEKTGRUPPE .....	3
3.2 STYRINGSGRUPPE (VEILEDER OG KONTAKTPERSON OPPDRAGSGIVER) .....	4
<b>4 AVTALER.....</b>	<b>4</b>
4.1 AVTALE MED OPPDRAGSGIVER .....	4
4.2 ARBEIDSTED OG RESSURSER .....	4
4.3 GRUPPENORMER – SAMARBEIDSREGLER – HOLDNINGER .....	4
<b>5 PROSJEKTBESKRIVELSE .....</b>	<b>4</b>
5.1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING - HENSIKT .....	4
5.2 KRAV TIL LØSNING ELLER PROSJEKTRESULTAT – SPESIFIKASJON .....	4
5.3 PLANLAGT FRAMGANGSMÅTE(R) FOR UTVIKLINGSARBEIDET – METODE(R) .....	4
5.4 INFORMASJONSINNSAMLING – UTFØRT OG PLANLAGT .....	5
5.5 VURDERING – ANALYSE AV RISIKO .....	5
5.6 HOVEDAKTIVITETER I VIDERE ARBEID .....	5
5.7 FRAMDRIFTSPLAN – STYRING AV PROSJEKTET .....	5
5.8 BESLUTNINGER – BESLUTNINGSPROSESS .....	6
<b>6 DOKUMENTASJON .....</b>	<b>6</b>
6.1 RAPPORTER OG TEKNISKE DOKUMENTER .....	6
<b>7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER.....</b>	<b>6</b>
7.1 MØTER.....	6
7.2 PERIODISKE RAPPORTER .....	6
<b>8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING .....</b>	<b>6</b>
<b>9 REFERANSER .....</b>	<b>7</b>
<b>VEDLEGG .....</b>	<b>7</b>

## 1 INNLEDNING

Grønn teknologi har aldri vært mer relevant. Norge har som mål å redusere utslippet av klimagasser med 50 til 55 prosent innen 2030. Det er nå stort fokus, spesielt i oljebransjen, på hvordan man kan redusere utslipp av klimagasser.

I denne oppgaven skal gruppen undersøke hvordan utslipp og forbruk av drivstoff reduseres på offshore fartøy med batterisystem (ESS) kontra fartøy med vanlig diesel elektrisk fremdrift. Gruppen ønsker å lage en Simulink modell som skal kunne simulere effekt fra batterier, generatorer og belastning på hovedtavle. Med denne modellen ønsker gruppen å undersøke hvordan peak shaving vil påvirke ulike operasjoner om bord i et offshore fartøy. Gruppen ønsker også å sammenligne hvordan ulike begrensninger på batteriene vil påvirke driftsprofilen til fartøyet.

Oppgaven gjøres i samarbeid med Vard Electro som blant annet installerer hybrid systemer til ulike typer offshore fartøy, både på ny-bygg og eldre offshore fartøy.



## 2 BEGREPER

- **ESS:** Energy Storage System.
- **Hybrid drift:** Kombinert fremdrift med både dieselmotorer og batteridrift.
- **Peak shaving:** Redusere topper av et signal for å få en jevn bølge.
- **Spinning reserve:** Reservestrøm for generatorer inne på hovedtavle.
- **SOC:** State of Charge

## 3 PROSJEKTORGANISASJON

### 3.1 Prosjektgruppe

Studentnummer(e)
- Åsmund Winje, studentnummer: <b>484223</b>
- Tom André Helvig, studentnummer: <b>509278</b>
- Even Mork Vatneødegård, studentnummer: <b>253054</b>

#### 3.1.1 Oppgaver for prosjektgruppen - organisering

Gruppen vil benytte seg Microsoft Teams og Gantt-skjema til å følge fremdriften av prosjektet. Der vil det bli fordelt arbeidsoppgaver og gitt tidsfrister som må følges. Ukentlige gruppemøter skal arrangeres hvor mål for uken diskuteres og fremdrift planlegges.

NAVN	ROLLE
Åsmund Winje	Prosjektleder
Tom André Helvig	Prosjektsekretær
Even Mork Vatneødegård	Prosjektmedlem

#### 3.1.2 Oppgaver for prosjektleder

- Hovedkontakt.
- Lede prosjektet på dag-til-dag basis.
- Følge opp tidsfrister og sørge for progresjon.

#### 3.1.3 Oppgaver for sekretær

- Vara for prosjektleder.
- Planlegge og kalle inn til gruppemøter.
- Skrive referat fra hvert møte.

### 3.1.4 Oppgaver for alle gruppemedlemmer

- Hvert medlem er ansvarlig for at utdelt oppgave har progresjon og blir utført.
- Hvert medlem skal føre timeliste og skrive daglig logg over utført arbeid.
- Arbeidstid for prosjektet er mandag til fredag fra kl. 9:00 – 16:00. Det gjøres unntak for undervisninger i andre obligatoriske fag.

### 3.2 Styringsgruppe (veileder og kontaktperson oppdragsgiver)

Navn	E-post	Rolle
<b>Ottar L. Osen</b>	ottar.osen@ntnu.no	Førstelektor, automatiseringsteknikk.
<b>Robin T. Bye</b>	robin.t.bye@ntnu.no	Professor, Institutt for IKT og realfag.
<b>Tor Arne Myklebust</b>	tor.arne.myklebust@vard.com	Product Manager, Vard Electro AS.

## 4 AVTALER

### 4.1 Avtale med oppdragsgiver

Gruppen kontaktet først Gjermund Tomta i Vard Electro, som videresendte forespørselen vår til Tor Arne Myklebust, som også jobber i Vard Electro. Vi fikk svar om at ett samarbeid var svært ønskelig. En muntlig avtale ble laget, noe som kan være til god hjelp for både gruppen og Vard Electro.

### 4.2 Arbeidssted og ressurser

Grunnet pandemien som foregår vil mye av prosjektarbeidet utføres fra hjemmekontor, og mange møter utføres digitalt. NTNU Ålesund vil være arbeidsplassen til gruppen, hvor gruppen vil arrangere møter. Gruppen er forberedt på mye hjemmekontor og digitale møter grunnet restriksjonene vi har med den foregående korona pandemien.

### 4.3 Gruppenormer – samarbeidsregler – holdninger

#### Arbeidstid for prosjektet:

- Mandag til fredag mellom klokken 09:00-16:00.

#### Planlagt ferie:

- Påskeferie fra mandag 29. mars til mandag 5. april, 2021.

#### Frist for innlevering av bacheloroppgave:

- Torsdag 20. mai, 2021.

#### **Samarbeidsregler**

1. Det skal arrangeres gruppemøte i starten av hver uke. Gruppen går igjennom hva som ble utført uken før og planlegger arbeid for den kommende uken.
2. Hvert gruppemedlem skal skrive en daglig logg over arbeid som er utført.
3. Arbeidstid skal loggføres hver uke.
4. Dersom et gruppemedlem ikke kan møte til gitt arbeidstid må dette informeres om til gruppen på forhånd.
5. Undervisning i Industri 4.0 vil bli prioritert over prosjektmøter, da dette har obligatorisk oppmøte.

6. Det er viktig at tildelte oppgaver blir utført i henhold til fremdriftsplan. Hvert gruppemedlem må derfor være innstilt på å jobbe overtid for å kunne oppnå gitte tidsfrister. Dette er et ansvar hvert enkelt gruppemedlem har.
7. Dersom et gruppemedlem har utfordringer med en oppgave slik at arbeidsflyt hindres må dette gis beskjed om til ansvarlig eller øvrige gruppemedlemmer for å hindre en brems i fremdriften. Dette er for å sikre en god arbeidsflyt gjennom hele prosjektet.

Akkurat nå er hele verden rammet av en pandemi grunnet et utbrudd av COVID-19. Dette må gruppen ta stilling til og sørge for å følge alle nasjonale regler og retningslinjer for å forhindre smitte. Dette medfører at mye av arbeidet vil gjøres hjemmefra og de fleste møter må holdes digitalt.

Prosjektet skal utføres på en sikker måte slik at liv og helse ikke står i fare. I arbeidet som en ingeniør skal sikkerhet alltid komme først. Kan ikke en jobb utføres forsvarlig eller sikkert så må arbeidet stoppes og en ny risikovurdering utføres. God planlegging er viktig for å hindre at ulykker kan oppstå.

Som en ingeniør er det også viktig å ta hensyn til etiske og moralske aspekter under utvikling av nye teknologier. Dette er viktig å reflektere over slik at man ikke bidrar til å produsere noe som kan være med på å skade helse, miljø eller sikkerhet for samfunnet.

## 5 PROSJEKTBEKRIVELSE

### *5.1 Problemstilling - målsetting - hensikt*

Gruppen har som hovedmål med prosjektet å undersøke om batteriløsninger (ESS) om bord offshore fartøy er en lønnsom løsning. Vi ønsker å finne ut hvor mye drivstoff man kan spare med en hybrid løsning sammenlignet med ordinær diesel elektrisk fremdrift. I tillegg til dette vil gruppen også undersøke hvilke andre fordeler et ESS kan ha om bord i et offshore fartøy.

Gruppen har som mål å lage en Simulink modell som vil brukes som et verktøy til å kunne estimere forbruket av drivstoff til hovedmotorene under forskjellige operasjoner. Simulink modellen skal kunne simulere effekt fra batterier, generatorer og forbruk på hovedtavle. Dette vil gi gruppen relevant informasjon om lastfordelingen som vill gjøre det mulig å beregne hvor mye drivstoff hovedmaskinene forbruker i ulike operasjoner. Gruppen vil da kunne danne seg et bilde av hvordan forbruket er på et offshore fartøy med en batteriløsning sammenlignet med et fartøy uten.

Gruppen ønsker også å undersøke hvordan ulike begrensninger på batteriene vil påvirke driftsprofilen til fartøyet. Her ser gruppen for seg å lage en modell i Simulink hvor ulike batteristørrelser, discharge og charge rate samt SOC kan simuleres. Simuleringer fra dette kan da kjøres med ulike driftsprofiler for å se på hvordan dette påvirker for eksempel peak shavingen.

Fordelene med ESS om bord i et offshore fartøy kan være mange. Det gir blant annet fartøyet en effektreserve ved å ha batteripakken liggende som en «spinning reserve». Dette gir mulighet for å ha færre generatorer inne på hovedtavlen ved å bruke batteripakken som en ressurs når man har større kortvarige belastninger på hovedtavlen. Dette er med på å redusere antall driftstimer på hovedmotorene, som vil gi reduserte vedlikeholdskostnader. Batteripakken vil også kunne operere som en kortvarig reserve dersom generatorene skulle svikte, dette gir fartøyet en effektreserve til å hurtig avbryte operasjonen de holder på med og flytte seg til en sikker posisjon. Dette er også punkt som gruppen ønsker å undersøke nærmere i løpet av prosjektet.

Hensikten med oppgaven er å kunne bidra med forskning til det grønne skiftet. Gruppen ønsker å bidra med undersøkelser om hvordan batterisystemer kan være med på å redusere utslippet av klimagasser. I tillegg til dette så kan en hybrid løsning være med på å redusere driftskostnadene til fartøyet, noe som vil gi reduserte utgifter til redere og oljeselskap som hyrer inn fartøyene.

Som en videre utvidelse av oppgaven ønsker gruppen gjerne innspill fra VARD om hva som kan forbedres eller undersøkes nærmere når det kommer til ESS om bord i offshore fartøy.

## **5.2 Krav til løsning eller prosjektresultat – spesifikasjon**

Gruppen har som krav etter fullført prosjekt:

- Bekrefte muligheten for å lage en Simulink modell som kan gi simuleringer for batterieffekt, generatoreffekt og belastning på hovedtavle i et gitt tidsrom.
- Bekrefte at simuleringen kan gi et nøyaktig estimat på hvor store drivstoff besparelser et ESS kan gi om bord i et offshore fartøy under ulike operasjoner.
- Undersøke hvordan ulike batteribegrensninger vil påvirke driftsprofilen til fartøyet.
- Undersøke hvilke andre muligheter et ESS kan gi om bord i et offshore fartøy.
- Undersøke om ESS om bord i offshore fartøy har en økonomisk og klimatisk gevinst.

Gruppen vil se på ulike metoder og løsninger for å oppnå målene som er gitt. Gruppen ønsker å sitte igjen med en kompetanse om hvordan simuleringer lages og benyttes til å løse praktiske utfordringer. Samt danne seg en detaljert forståelse av hvordan et ESS er oppbygd, og hvilke funksjoner dette gir om bord i et offshore fartøy med diesel elektrisk fremdrift.

### **5.3 Planlagt framgangsmåte(r) for utviklingsarbeidet – metode(r)**

Gruppen vil benytte seg av Microsoft Teams og Gantt skjema til å planlegge fremdriften av prosjektet. I Teams vil gruppen kunne fordele arbeidsoppgaver, føre arbeidstimer og logger, arrangere møter og dele informasjon. Dette er et veldig nyttig verktøy som gir gruppen en god struktur over prosjektet.

I Gantt skjema skal prosjektet deles opp i ulike moduler med forskjellige delmål under hver modul. Modulene i prosjektet består av:

- Oppbygging av fartøy og distribusjonssystemer.
- Beskrivelse av ESS.
- Simulink modell for effektsimulering.
- Simulink modell for batteribegrensning.
- Estimere drivstofforbruk fra effektberegninger.

Hver av disse modulene har ulike delmål som gruppen har gitt planlagte tidsfrister.

Gruppen ønsker å komme tidlig i gang med Simulink modellen for effektsimulering da dette vil være en tidkrevende del av prosjektet. Samtidig vil det arbeides med beskrivelsen av ESS for å innhente kunnskap om hvordan et slikt system fungerer. Gruppen vil jobbe med forskjellige moduler til samme tid for å sikre en effektiv arbeidsflyt i prosjektet.

Når effektsimuleringen begynner å ta form vil gruppen starte med Simulink modellen for batteribegrensninger. Her ser gruppen for seg å lage et simulert batterisystem hvor det kan settes ulike begrensinger for å se hvordan dette påvirker ulike driftsprofiler. Denne modellen ønsker gruppen å implementere i effektsimuleringen for så å kjøre ulike simuleringer og undersøke dette.

Gruppen vil underveis skrive rapporten til prosjektoppgaven. Rapporten skal skrives i Overleaf og vil inneholde en introduksjon, teori, fremgangsmetoder, resultat og konklusjon samt alt annen relevant informasjon.



#### **5.4 Informasjonsinnsamling – utført og planlagt**

Informasjon gruppen har funnet:

- Funnet tidligere prosjekter om emne som ligger tilgjengelig på nett.
- Lest diverse nyhetsartikler om temaet.

Informasjon som gjenstår å finne:

- Finne informasjon om simuleringer i Simulink.
- Gruppen trenger data som kan benyttes i Simulink modellen.
- Gruppen ønsker også tilgang til master oppgave som ble gjort i 2018 av Vidar Selen om samme emne, dersom dette er mulig.

### 5.5 Vurdering – analyse av risiko

Konsekvens: Sannsynlighet:	1.Ubetydelig	2.Mindre alvorlig	3.Betydelig/kritisk	4.Alvorlig/farlig	5.Svært alvorlig
5.Svært sannsynlig	5	10	15	20	25
4.Meget sannsynlig	4	8	12	16	20
3.Sannsynlig	3	6	9	12	15
2.Mindre sannsynlig	2	4	6	8	10
1.Lite sannsynlig	1	2	3	4	5
<p>Hendelse <b>Rødt 15-25:</b> <b>Høy risiko</b>              Hendelse <b>Gult 5-15:</b> <b>Middels risiko</b>              Hendelse <b>Grønt 15-25:</b> <b>Lav risiko</b></p>					

Hendelse	Aktuelt?	Sansynlig	Konsekvens	Risiko	Kommentar/tiltak
Oppgaven er for omfattende	Ja		4	4	Bli på forhånd enig om et realistisk mål, eventuelt redusere omfanget av oppgaven
Full nedstenging av NTNU	Ja		4	2	8 Sammarbeide digitalt.
Gruppen setter seg fast i prosjektet	ja		4	3	12 Spør om hjelp fra rådgivere.
Sykdom	ja		4	2	8 Person som blir syk holder seg unna resten av gruppen
Uforutsette problemer	ja		4	3	12 Planlegg prosjektet godt i forkant. Sette av tid til eventuelle slike problemer. Spør eventuelt om råd fra rådgivere.
Viss av ulike årsaker rådgiver ikke skulle være tilgjengelig	ja		4	2	8 Ha flere kontaktpersoner. Se eventuelt etter mulighet for å kontakte andre ressurspersoner eksternt

## 5.6 Hovedaktiviteter i videre arbeid

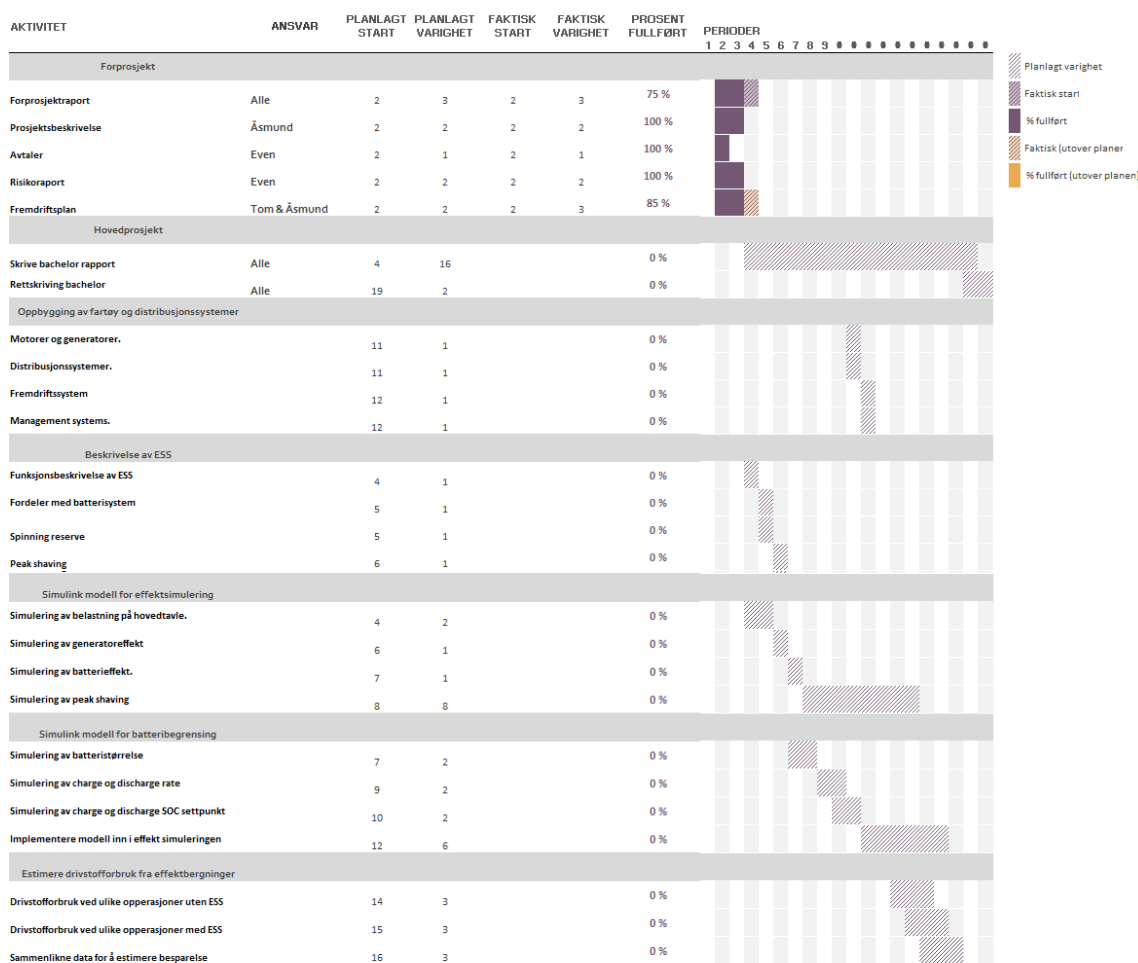
NR	HOVEDAKTIVITET	ANSVAR	TID/OMFANG I UKER
<b>1</b>	<b>Forprosjekt</b>	Alle	3
1.1	Risikorapport	E	2
1.2	Fremdriftsplan	T	2
1.3	Prosjektbeskrivelse	Å	2
<b>2</b>	<b>Hovedprosjekt</b>	Alle	16
2.1	Skrive bachelor rapport	Alle	2
2.2	Rettskriving bacheloroppgaven		
<b>3</b>	<b>Oppbygging av fartøy og dist. systemer</b>		2
3.1	Motorer og generatorer		1
3.2	Distribusjonssystemer		1
3.3	Fremdriftssystem		1
3.4	Management systems		1
<b>4</b>	<b>Beskrivelse av ESS</b>		3
4.1	Funksjonsbeskrivelse av ESS		1
4.2	Fordeler med batterisystem		1
4.3	Spinning Reserve		1
4.4	Peak Shaving		1
<b>5</b>	<b>Simulink modell for effektsimulering</b>		12
5.1	Simulering av belastning på hovedtavle		2
5.2	Simulering av generatoreffekt		1
5.3	Simulering av batterieffekt		1
5.4	Simulering av peak shaving		8
<b>6</b>	<b>Simulink modell for batteribegrensning</b>		11
6.1	Simulering av batteristørrelse		2
6.2	Simulering av charge og discharge rate		2
6.3	Simulering av charge og discharge SOC settpunkt		2
6.4	Implementere modell inn i effekt simuleringen		6
<b>7</b>	<b>Estimere drivstofforbruk fra effektberegninger</b>		5
7.1	Drivstofforbruk ved ulike operasjoner uten ESS		3
7.2	Drivstofforbruk ved ulike operasjoner med ESS		3
7.3	Sammenlikne data for å estimere besparelser		3

## 5.7 Framdriftsplan – styring av prosjektet

### 5.7.1 Hovedplan

Gruppen har laget et Gantt skjema over planlagte arbeidsoppgaver med en planlagt tidsfrist for hver oppgave. Denne vil gruppen følge nøye for å sikre en god progresjon. Ansvaret for arbeidsoppgavene vil bli fordelt underveis under gruppemøter, dette er for å få en mest mulig lik arbeidsbelastning mellom gruppemedlemmene. Mindre arbeidsoppgaver vil bli laget i Teams hvor man også kan sette en tidsfrist og delegere ansvar.

### Gantt skjema Bacheloroppgave



Figur 1. Gantt skjema

### **5.7.2 Styringshjelpemidler**

Gruppen vil benytte seg av Microsoft Teams, OneDrive og SharePoint. I Teams vil gruppen føre daglig logg og timelister, delegere arbeidsoppgaver og dele informasjon. Teams er et veldig godt verktøy for gruppen med mange funksjoner som hjelper gruppen med å få en god struktur rundt prosjektet.

Gruppen vil også benytte seg av OneDrive til å dele alt av filer og informasjon som blir relevant for oppgaven. Alle dokumenter og filer vil da bli samlet i SharePoint da dette er tilknyttet både Teams og OneDrive.

I tillegg til dette så benytter gruppen seg av et Gantt skjema hvor planlagte arbeidsoppgaver er listet med en gitt tidsfrist.

### **5.7.3 Utviklingshjelpemidler**

Gruppen vil benytte seg av Simulink til simuleringer og analyser som vil bli utført i prosjektet. Simulink er et MATLAB-basert grafisk programmeringsmiljø som baserer seg på blokk diagram. Det er viktig at gruppen fastslår hvilken versjon som skal brukes og har god kodelstil som er godt dokumentert.

### **5.7.4 Intern kontroll – evaluering**

Gruppen vil ha et møte hver mandag hvor progresjonen i arbeidet vil gjennomgås. Her vil gruppen diskutere hva som må prioriteres og legge en plan for den kommende uken.

Dersom et gruppelem sitter fast på en oppgave vil gruppen sammen finne en løsning slik at vi sikrer progresjon og har en god flyt i arbeidet.

## ***5.8 Beslutninger – beslutningsprosess***

Større beslutninger vil bli tatt i samråd med veiledere i prosjektet, mindre beslutninger vil gruppen løse internt. Gjøres det en beslutning om å endre deler av prosjektet så vil dette oppdateres i Gantt skjema.

## **6 DOKUMENTASJON**

### ***6.1 Rapporter og tekniske dokumenter***

Det vil bli laget en mal for møtereferat som skal fylles ut etter hvert møte. I referatet skal det stå hvem som var til stede på møte, hva som ble diskutert og status på prosjektet.

Dokumenter og filer vil være lagret på OneDrive og SharePoint, gruppen vil også ha kopi av viktige filer og dokument lagret lokalt på PC dersom en feil med skytjenestene skulle oppstå.

Alt av informasjon, bilder og dokumenter som er hentet fra andre kilder som brukes i prosjektet skal refereres til kilde og inngå i bibliografien.

## **7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER**

### **7.1 Møter**

#### **7.1.1 Møter med styringsgruppen**

Etter hvert møte med styringsgruppen blir det gjort en gjennomgang med gruppa for å diskutere det som var diskutert. Dette gjøres for å skape en felles forståelse av det som var gjennomgått, og den beste måten å implementere tiltak for å oppnå det som ble diskutert.

#### **7.1.2 Prosjektmøter**

Hver mandag klokken 9 møtes gruppen for et statusmøte. Her skal vi diskutere hva som ble gjort tidligere uke, samt diskutere hva som gjenstår av påbegynte oppgaver, og hva som skal til for å oppnå dem. Skal også bli en gjennomgang av tidligere oppgavers påvirkning på kommende uke. Når det er industri 4.0 forelesning blir dette møte holdt senere på dagen.

Disse møtene skal loggføres, og blir lagret på SharePoint.

#### **7.1.3 Framdriftsrapporter (inkl. milepæl)**

Framdriftsrapporter vill bestå av møter med styringsgruppen, og prosjektmøter samt andre møter som blir holdt. Rapporten skal inneholde hvor langt vi har kommet med de forskjellige målene sammenlignet med planen. Framdriftsrapport skal bli skrevet til den første hver måned.

## **8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING**

Dersom et gruppemedlem møter en utfordring som hindrer fremdrift av arbeidsoppgaven skal vedkommende gjøre følgende:

1. Gi beskjed til resten av gruppen om utfordringen.
2. Kontakte veiledere eller annen hjelp dersom gruppen ikke får løst det selv på en effektiv måte.

Alle endringer skal dokumenteres samt det skal vurderes hvilke konsekvenser dette gir for prosjektet. Ved endringer av prosjektet skal dette informeres om til veiledere og oppdragsgiver.

## **9 REFERANSER**

## **VEDLEGG**



B





C

# Timeliste for student

Studentens navn: Even Mork Vatnødegård

E-post: [evenmv@ntnu.no](mailto:evenmv@ntnu.no)

Totalt hittil i år:

Leder: \_\_\_\_\_

Telefon: \_\_\_\_\_

Vanlige timer: **423,00**

Overtidstimer: **35,00**

Totalt: **458,00**

## Januar, februar, mars Timeliste for student: per dag, per uke, per måned

Januar	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag							09-00-15.00			
Tirsdag							10.00-15.00			
Onsdag					15.00-18.00		15..00-18.00			
Torsdag			08.00-15.00				12.00-16.00			
Fredag			08.00-15.00				09.00-15.00			
Lørdag										
Søndag										
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>14,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>24,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Jan. totalt: Vanlige timer</b>	<b>41,00</b>	<b>Jan. totalt: Overtid</b>		<b>0,00</b>						

Februar	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag			09.00-15.00		09.00-15.00		10.00-14.00			
Tirsdag			09.00-15.00		08.00-13.00		09.00-15.00			
Onsdag			10.00-15.00		09.00-16.00		10.00-16.00			
Torsdag			09.00-16.00		10.00-15.00		09.00-16.00			
Fredag			10.00-14.00		09.00-15.00		10.00-15.00			
Lørdag										
Søndag						14.00-17.00				
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>28,00</b>	<b>0,00</b>	<b>29,00</b>	<b>3,00</b>	<b>27,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Feb. totalt: Vanlige timer</b>	<b>84,00</b>	<b>Feb. totalt: Overtid</b>		<b>3,00</b>						

Mars	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag					10.00-15.00		09.00-15.00			
Tirsdag					10.00-15.00		10.00-15.00			
Onsdag					10.00-16.00	16.00-19.00	09.00-15.00			
Torsdag	10.00-13.00				10.00-16.00		09.00-16.00			
Fredag					11.00-15.00		09.00-16.00			
Lørdag										
Søndag										
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>26,00</b>	<b>3,00</b>	<b>31,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Mars totalt: Vanlige timer</b>	<b>60,00</b>	<b>Mars totalt: Overtid</b>		<b>3,00</b>						

## April og mai Timeliste for student: per dag, per uke, per måned

April	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
-------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------

Mandag					09.00-16.00		09.00-16.00		10.00-17.00	
Tirsdag			09.00-14.00		10.00-18.00		10.00-16.00		09.00-16.00	
Onsdag			09.00-16.00		09.00-16.00		09.00-17.00		10.00-16.00	
Torsdag			09.00-16.00		09.00-16.00		10.00-17.00		10.00-15.00	
Fredag	18.00-24.00		11.00-15.00		09.00-15.00		09.00-14.00	16.00-18.00	10.00-16.00	
Lørdag										
Søndag										17.00-20.00
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>6,00</b>	<b>0,00</b>	<b>22,00</b>	<b>0,00</b>	<b>35,00</b>	<b>0,00</b>	<b>33,00</b>	<b>2,00</b>	<b>31,00</b>	<b>3,00</b>
<b>Apr. totalt: Vanlige timer</b>	<b>127,00</b>	<b>Apr. totalt: Overtid</b>		<b>5,00</b>						

<b>Mai</b>	<b>Uke 1</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 2</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 3</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 4</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 5</b>	<b>Overtid</b>
Mandag	10.00-16.00		10.00-19.00		14.00-20.00					
Tirsdag	10.00-16.00		10.00-18.00		11.00-20.00	22.00-04.00				
Onsdag	10.00-17.00		09.00-15.00	22.00-02.00	10.00-19.00	21.00-24.00				
Torsdag	09.00-17.00		10.00-15.00	18.00-23.00						
Fredag	10.00-14.00		10.00-23.00							
Lørdag			10.00-18.00							
Søndag		22.00-24.00	11.00-18.00	21.00-01.00						
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>31,00</b>	<b>2,00</b>	<b>56,00</b>	<b>13,00</b>	<b>24,00</b>	<b>9,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Mai totalt: Vanlige timer</b>	<b>111,00</b>	<b>Mai totalt: Overtid</b>		<b>24,00</b>						

# Timeliste for student

Studentens navn: Tom André Helvig

E-post: [tomahe@ntnu.no](mailto:tomahe@ntnu.no)

Totalt hittil i år:

Leder: \_\_\_\_\_

Telefon: \_\_\_\_\_

Vanlige timer: **450,00**

Overtidstimer: **50,00**

Totalt: **500,00**

## Januar, februar, mars Timeliste for student: per dag, per uke, per måned

Januar	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag							10:00 - 16:00			
Tirsdag							12:00-17:00			
Onsdag							12:00-16:00			
Torsdag					08.00-15.00		10:00-16:00			
Fredag					08.00-15.00		09:00-15:00			
Lørdag										
Søndag										
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>14,00</b>	<b>0,00</b>	<b>27,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Jan. totalt: Vanlige timer</b>	<b>41,00</b>	<b>Jan. totalt: Overtid</b>		<b>0,00</b>						

Februar	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag			09.00-15.00		09.00-14.00		10.00-16.00			
Tirsdag			10.00-16.00		10.00-16.00		08.00-15.00			
Onsdag			09.00-14.00		09.00-15.00		11.00-16.00			
Torsdag			11.00-15.00		10.00-16.00					
Fredag					11.00-15.00					
Lørdag										
Søndag		12.00-18.00				12.00-15.00				
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>0,00</b>	<b>6,00</b>	<b>22,00</b>	<b>0,00</b>	<b>26,00</b>	<b>3,00</b>	<b>17,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Feb. totalt: Vanlige timer</b>	<b>65,00</b>	<b>Feb. totalt: Overtid</b>		<b>9,00</b>						

Mars	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag	20.00-22.00				10.00-16.00		09.00-15.00			
Tirsdag	20.00-22.00				09.00-16.00		09.00-14.00			
Onsdag	20.00-23.00				09.00-17.00		11.00-16.00			
Torsdag	08.00-14.00				10.00-16.00		09.00-15.00			
Fredag					09.00-15.00		09.00-13.00			
Lørdag										
Søndag							17.00-22.00			
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>13,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>33,00</b>	<b>0,00</b>	<b>31,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Mars totalt: Vanlige timer</b>	<b>77,00</b>	<b>Mars totalt: Overtid</b>		<b>0,00</b>						

## April og mai Timeliste for student: per dag, per uke, per måned

April	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
-------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------

Mandag					09.00-16.00		08.00-15.00		07.00-16.00	20.00-22.00
Tirsdag			21.00-22.00		10.00-18.00		09.00-15.00		08.00-16.00	
Onsdag			07.00-15.00	20.00-21.00	09.00-15.00		08.00-16.00	19.00-21.00	09.00-16.00	19.00-21.00
Torsdag			08.00-16.00		09.00-16.00	19.00-22.00	21.00-23.00		07.00-15.00	
Fredag	10.00-15.00		09.00-16.00		09.00-16.00		19.00-22.00		08.00-16.00	
Lørdag					21.00-22.00					
Søndag					19.00-21.00		17.00-20.00		12.00-16.00	
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>5,00</b>	<b>0,00</b>	<b>24,00</b>	<b>1,00</b>	<b>39,00</b>	<b>3,00</b>	<b>29,00</b>	<b>3,00</b>	<b>44,00</b>	<b>5,00</b>
<b>Apr. totalt: Vanlige timer</b>	<b>141,00</b>	<b>Apr. totalt: Overtid</b>		<b>12,00</b>						

<b>Mai</b>	<b>Uke 1</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 2</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 3</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 4</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 5</b>	<b>Overtid</b>
Mandag	07.00-16.00		07.00-17.00		06.00-15.00	17.00-20.00				
Tirsdag	09.00-16.00	20.00-22.00	08.00-16.00		08.00-15.00	17.00-01.00				
Onsdag	08.00-16.00	20.00-00.00	07.00-12.00	21.00-01.00	08.00-16.00	18.00-24.00				
Torsdag	09.00-16.00	20.00-22.00	10.00-18.00							
Fredag	09.00-16.00		08.00-16.00							
Lørdag			10.00-18.00							
Søndag	16.00-23.00		08.00-18.00							
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>45,00</b>	<b>8,00</b>	<b>57,00</b>	<b>4,00</b>	<b>24,00</b>	<b>17,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Mai totalt: Vanlige timer</b>	<b>126,00</b>	<b>Mai totalt: Overtid</b>		<b>29,00</b>						



# Timeliste for student

Studentens navn: Åsmund Winje

E-post: [aasmunw@ntnu.no](mailto:aasmunw@ntnu.no)

Totalt hittil i år:

Leder: \_\_\_\_\_

Telefon: \_\_\_\_\_

Vanlige timer: **535,00**

Overtidstimer: **85,00**

Totalt: **620,00**

## Januar, februar, mars Timeliste for student: per dag, per uke, per måned

Januar	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag					10:00 - 16:00		10:00 - 15:00	18:00 - 21:00		
Tirsdag					10:00 - 16:00		10:00 - 15:00			
Onsdag					14:00 - 20:00		17:00 - 22:00			
Torsdag			07:00 - 15:00				10:00 - 16:00			
Fredag			10:00 - 16:00							
Lørdag										
Søndag										
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>13,00</b>	<b>0,00</b>	<b>18,00</b>	<b>0,00</b>	<b>21,00</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Jan. totalt: Vanlige timer</b>	<b>52,00</b>	<b>Jan. totalt: Overtid</b>		<b>3,00</b>						

Februar	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag	10:00 - 16:00		10:00 - 16:00		10:00 - 17:00		10:00 - 15:00			
Tirsdag	10:00 - 16:00		09:00 - 16:00		11:00 - 16:00	18:00 - 22:00	12:00 - 18:00			
Onsdag	10:00 - 16:00		10:00 - 16:00		10:00 - 14:00		10:00 - 16:00			
Torsdag			12:00 - 18:00		10:00 - 17:00		10:00 - 16:00			
Fredag					12:00 - 16:00		10:00 - 16:00			
Lørdag										
Søndag			10:00 - 18:00							
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>18,00</b>	<b>0,00</b>	<b>33,00</b>	<b>0,00</b>	<b>27,00</b>	<b>4,00</b>	<b>29,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Feb. totalt: Vanlige timer</b>	<b>107,00</b>	<b>Feb. totalt: Overtid</b>		<b>4,00</b>						

Mars	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
Mandag	12:00 - 16:00		10:00 - 16:00		10:00 - 15:30	19:00 - 22:00	10:30 - 15:30	18:00 - 21:00		
Tirsdag			10:00 - 17:00		13:00 - 16:00	18:00 - 22:00	07:00 - 13:00			
Onsdag	10:00 - 16:00	19:00 - 21:00	10:00 - 18:00		10:00 - 18:30		13:00 - 17:00			
Torsdag	10:00 - 15:00				12:00 - 18:00		12:00 - 18:00			
Fredag	10:00 - 15:00		10:00 - 16:00		14:00 - 16:00					
Lørdag			14:00 - 17:00				18:00 - 23:00			
Søndag			18:00 - 20:00				18:00 - 20:00			
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>20,00</b>	<b>3,00</b>	<b>32,00</b>	<b>0,00</b>	<b>25,00</b>	<b>7,00</b>	<b>28,00</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Mars totalt: Vanlige timer</b>	<b>105,00</b>	<b>Mars totalt: Overtid</b>		<b>13,00</b>						

## April og mai Timeliste for student: per dag, per uke, per måned

April	Uke 1	Overtid	Uke 2	Overtid	Uke 3	Overtid	Uke 4	Overtid	Uke 5	Overtid
-------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------

Mandag					11:00 - 17:00		12:00 - 17:00		10:00 - 17:00	20:00 - 23:00
Tirsdag					08:00 - 18:00				10:00 - 16:00	12:00 - 20:00
Onsdag			09:00 - 16:00		08:00 - 16:00	20:00 - 22:00	10:00 - 16:00	21:00 - 24:00	10:00 - 16:00	19:00 - 24:00
Torsdag	10:00 - 14:00		11:00 - 16:00		11:00 - 16:00		09:30 - 16:30		10:00 - 16:00	
Fredag	09:00 - 15:00	19:00 - 22:00	08:00 - 15:00		10:00 - 16:00		10:00 - 17:00		10:00 - 16:00	
Lørdag	10:00 - 13:00				10:00 - 15:00					
Søndag			19:00 - 22:00						20:00 - 24:00	
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>13,00</b>	<b>3,00</b>	<b>21,00</b>	<b>0,00</b>	<b>40,00</b>	<b>2,00</b>	<b>31,00</b>	<b>4,00</b>	<b>37,00</b>	<b>8,00</b>
<b>Apr. totalt: Vanlige timer</b>	<b>142,00</b>	<b>Apr. totalt: Overtid</b>		<b>17,00</b>						

<b>Mai</b>	<b>Uke 1</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 2</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 3</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 4</b>	<b>Overtid</b>	<b>Uke 5</b>	<b>Overtid</b>
Mandag	10:00 - 20:00		10:00 - 16:00	18:00 - 24:00	10:00 - 14:00	19:00 - 24:00				
Tirsdag	10:00 - 16:00	18:00 - 23:00	11:00 - 18:00	22:00 - 24:00	10:00 - 19:00	20:00 - 04:00				
Onsdag	10:00 - 15:00	18:00 - 23:00	10:00 - 24:00		10:00 - 24:00					
Torsdag	10:00 - 16:00	19:00 - 23:00	10:00 - 19:00							
Fredag	10:00 - 16:00	21:00 - 23:00	10:00 - 17:00	18:00 - 01:00						
Lørdag	20:00 - 24:00		12:00 - 18:00	20:00 - 24:00						
Søndag	18:00 - 24:00		10:00 - 20:00							
<b>Totalt antall timer per uke</b>	<b>43,00</b>	<b>16,00</b>	<b>59,00</b>	<b>19,00</b>	<b>27,00</b>	<b>13,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Mai totalt: Vanlige timer</b>	<b>129,00</b>	<b>Mai totalt: Overtid</b>		<b>48,00</b>						

D

# Møtereferat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 15.02.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Gjennomgang av arbeid fra forrige uke
- Planlegging av arbeid for kommende uke
- Deling av arbeid på OneDrive.

## **Hva som ble diskutert:**

Gruppen har fått fullført Simulink kurs på Udemy og startet på EMS simulering. Det ble fastslått at Even tar ansvar for å lage en peak shaving simulering og starter på effekt og fuel beregning. Åsmund vil se om han får tak i skikkelig data som kan benyttes i simuleringen, data som gruppen mottok fra Vard var ikke god. Deretter vil Åsmund starte på PID reguleringen i Simulink. Tom vil lage et batteri i Simulink med parameter som kan endres og benyttes i EMS simuleringen.

Det ble også diskutert viktigheten med å dele alt som blir produsert og annen relevant informasjon på OneDrive slik at alle har tilgang til dette.

# Møtereferrat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 22.02.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Gjennomgang av arbeid fra forrige uke
- Planlegging av arbeid for kommende uke

## **Hva som ble diskutert:**

Gruppen har fått fullført peak shaving eksempelet i Simulink som demonstrerer hvordan peak shaving fungerer. Fuel beregning er også fullført og gruppen har mottatt SFOC fra Vard som kan benyttes i simuleringen. Målet for denne uken er å få en fungerende EMS modell men kun enkel charge / discharge funksjon uten regulering. Når denne er fullført vil gruppen starte på reguleringen.

Alle gruppedlemmer vil fokusere på dette denne uken.

# Møtereferat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 04.03.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Hva som har blitt gjort.
- Planlegging av videre arbeid og fordeling av oppgaver.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## **Hva som ble diskutert:**

Gruppen har fullført målet med å lage en simpel EMS modell som peak shaver ut ifra effektverdi og beregner drivstoff forbruk. Neste steg er å lage en modell med PID regulering. Åsmund har startet å se på PID reguleringen og fått laget til en modell som peak shaver en sinus kurve, denne vil så implementeres i modellen. Tom har fått laget en batterimodell som kan benyttes i modellen. Tom og Even vil arbeide med SoC reguleringen til batteriet og få laget til en output fra batteriet som kan benyttes i modellen. Åsmund forsetter med PID reguleringen.

Gruppen ønsker også å ha et veiledningsmøte snart. Dette vil gruppen planlegge.

Det ble diskutert viktigheten av å skrive en detaljert daglig logg, der alle skriver spesifikt hva som ble gjort hver dag. Dette er for å gjøre det enkelt for oss selv når vi skal lage fremgangsmåte i rapporten.

# Møterefereat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 15.03.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## Handling på møtet:

- Hva som har blitt gjort.
- Planlegging av videre arbeid og fordeling av oppgaver.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## Hva som ble diskutert:

Even og Tom har hatt Industri 4.0 forrige uke og har derfor ikke hatt tid til å jobbe med prosjektet. Åsmund har fullført Peak Shaving reguleringen og implementert denne i EMS modellen. I tillegg til dette har det blitt laget en ny batteri modell med parametere som kan endres i EMS modellen. Gruppen har også mottatt ny driftsdata over ulike operasjoner fra Vard, samt ny SFOC kurve til denne motor typen.

For kommende uke vil gruppen lage til arbeidsområde til SoC for batteriet, her vill gruppen ha et setpunkt og min/max verdier for SoC. Det må også lages en løsning på hvordan dette kan samkjøres med peak shaving reguleringen. Forholdet mellom SoC og Volt på den nye batterimodellen er også ikke korrekt, denne følger nå SoC lineært, noe som ikke er riktig.

Ny SFOC data må også legges inn på modellen, gruppen har diskutert og ønsker å få verdi ut i l/h som gjør det enklere å estimere forbruket av drivstoff. Gruppen vil også komme i gang med å skrive rapporten.

Tom får hovedansvaret for å lage arbeidsområde til SoC samt å lage korrekt forhold mellom SoC og Volt på batterimodellen. Even får ansvaret for SFOC kurve og sørger for at EMS modell gir korrekt drivstoff forbruk i l/h eventuelt l/s. Even vil deretter bistå Tom med arbeidsområde for SoC. Åsmund vil start å skrive om oppbygging av fartøy og distribusjonssystemer og bistå de andre dersom det trengs.

Gruppen ønsker veiledningsmøte enten i slutten av denne uken eller starten av neste, gruppen må planlegge eventuelle spørsmål de ønsker å ta opp.

# Møtereferat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 22.03.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Hva som har blitt gjort.
- Planlegging av videre arbeid og fordeling av oppgaver.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## **Hva som ble diskutert:**

Møtet denne uken foregår på Discord i stedet for ved NTNU som vanlig. Grunnet et større Korona utbrudd i Ålesund har det nå blitt krav om hjemmeundervisning og hjemmekontor.

Tom har fått laget til et SoC setpunkt som sender en offset inn på Peak Shaving regulatoren. Åsmund og Even har kommet godt i gang med rapport skriving.

Fokus denne uken vil bli å skrive rapport, samt å finjustere Simulink modell. Det er også planlagt å utføre et veiledningsmøte denne uken, mail til veiledere har blitt sendt.



# Veiledningsmøte referat

**Dato og klokkeslett:** 25.03.2021, 14:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje, Robin T. Bye

## **Handling på møtet:**

- Status på prosjektet.
- Videre fremdrift og planlegging.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## **Hva som ble diskutert:**

Møtet ble holdt på zoom sammen med prosjektgruppen og veileder Robin Bye. Vi startet møte med å gå igjennom Simulink modellen og ta opp noen problemstillinger. Ved lav discharge rate på batteriet sammen med høy belastning på tavle fører dette til noen uønskede svingninger på generator lasten. Men ved en normal høy discharge rate fungerer modellen veldig bra. Robin kom med tips om å lage et script hvor vi kjører mange forskjellige kombinasjoner av PID parameterne for å finne de optimale verdiene.

Det ble også diskutert arbeidsområde for SoC til batteriet. Hvor det ble gitt noen gode tips til hvordan dette kan løses.

Videre ble det diskutert fremgang og lagt plan om neste veiledningsmøte. Da ønsker vi gjerne å ha med Ottar på møte for å få noen innspill fra han også. Det ble også lagt fram et ønske om at det sendes et utkast av rapporten til veiledere før neste møte.

# Møtereferat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 12.04.2021, 13:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Hva som har blitt gjort.
- Planlegging av videre arbeid og fordeling av oppgaver.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## **Hva som ble diskutert:**

Siden det er fremdeles hjemmekontor grunnet korona restriksjoner, så hadde gruppen gruppemøte over discord.

Det som har gjort siden sist:

Gruppen har skrevet nesten ferdig på teori, hvor det har blitt gjennomført

- Åsmund har skrevet om: Peak-Shaving, Hovedtavle, Generatorsett, PMS og IAS
- Even har skrevet om: Litium-ion batterier, transformatorer, og DP
- Tom Andre har skrevet om: Frekvensomformer, BMS, og EMS

Gruppen har også begynt på metode

- Åsmund har begynt på: Beskrivelse av EMS modellen
- Even Har begynt på: Potensielle besparelser
- Tom Andre har skrevet om: Verktøy brukt, og begynt på Systembeskrivelse

Denne uken skal gruppen fokusere på metode, og få gjennomført dette, samt ferdigstille teori. Det skal også være et veiledningsmøte på fredag, hvor et utkast av rapporten blir sendt på onsdag.

# Møtereferat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 19.04.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Hva som har blitt gjort.
- Planlegging av resultat.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## **Hva som ble diskutert:**

Metode nærmer seg fullført, det mangler å skrive om drivstoff estimering i EMS modell som Åsmund vil fullføre.

I resultatdelen vil gruppen fokusere på å undersøke besparelser i de ulike operasjonene, samt å kontrollere de ulike hypotesene laget i metode. Det vil også undersøkes hvordan ulike batteristørrelser vil påvirke EMS modellen. Til slutt vil vi sammenligne forbruk og utslipp med og uten ESS.

Even starter med å se på besparelser i ulike operasjoner, Tom vil se på ulike og batteristørrelser og Åsmund fullfører metode nå i første omgang. Gruppen setter som mål og være nærmest fullført til slutten av uken.

# Møtereferat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 26.04.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Hva som har blitt gjort forrige uke.
- Planlegging av videre fremdrift.
- Generell diskusjon om prosjektet.

## **Hva som ble diskutert:**

Gikk igjennom hva som ble gjort forrige uke. Even har fullført besparelser over ulike driftsoperasjoner, Åsmund har fullført metode for drivstoffkalkulering og startet på respons til EMS modell i resultater. Tom har begynt på å se på hvordan ulike batteristørrelser påvirker systemet.

Denne uken vil Åsmund og Tom fullføre sine påbegynte oppgaver og deretter vil Åsmund starte på introduksjon, Tom og Even vil begynne på diskusjon og drøfte. Gruppen vil satse på å nærmest fullføre rapporten denne uken slik vi har god tid til rettskriving.

Gruppen hadde også et møte med Vard i dag hvor det ble diskutert status på prosjektet og hva det kan være interessant og undersøke. Møte ble tatt opp, og eget referat vill bli skrevet.

# Møte med Vard

**Dato og klokkeslett:** 26.04.2021, 13:00 – 13:30

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje, Ulrik Havnsund, Tor Arne Myklebust

## **Handling på møtet:**

- Status på prosjektet.
- Presentere og få innspill EMS modellen.
- Batterikostnad
- Batteristørrelser

## **Hva som ble diskutert:**

Møtet ble holdt digitalt på Zoom sammen med prosjektgruppen og Ulrik Havnsund og Tor Arne Myklebust fra Vard

Vi startet møtet med å fortelle hvordan fremgangen i prosjektet er, og hvordan vi ligger an. Etter dette så gjennomgår gruppen hvordan EMS modellen fungerer, og beskrevet hvordan PID regulatoren. Det ble også tatt opp resultater fra denne. Ble diskutert litt om bedre operasjon på generator fra peak-shaving. Videre ble det diskutert effektreserve som tillate å skru av en generator, som var det som ga mest besparelse i DP.

Det ble diskutert om batterikostnader, slik gruppen kunne få regnet ut inntjeningstid, og bedt om nye tall på batterikostnader.

Det ble videre diskutert litt om ulike batteristørrelser, og om hvordan dette påvirker modellen, og det ble bedt om hvor store batteriene kan økes for å gi en bedre størrelse og hvor store batteriene må være for å gjennomføre operasjoner.

# Veiledningsmøte referat

**Dato og klokkeslett:** 30.04.2021, 12:00 – 12:45

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje, Robin Bye og Ottar Osen.

## Handling på møtet:

- Status på prosjektet, gjennomgang av resultat kapittel.
- Innspill til forbedringer og saker som kan undersøkes.
- Planlegging av video som skal lages til fremføringen.

## Hva som ble diskutert:

Møtet ble holdt digitalt på Zoom sammen med prosjektgruppen og veiledere Robin Bye og Ottar Osen.

Vi startet møtet med å gå igjennom de foreløpige resultatene i rapporten. Det ble gitt et innspill om hvordan gruppen kunne økt drivstoffbesparelse i transit operasjon. Dette innebærer å kjøre generatorene på en høyere belastning ved å stoppe ned en motor, og benytte batteriet som energikilde. Dette trenger nødvendigvis ikke å simuleres, men heller gjøre en enkel kalkulerings.

Det ble videre diskutert litt om ulike batteristørrelser, og om hvordan dette påvirker modellen. Gruppen lurte også på om det er mulig å benytte seg av YouTube klipp av ESS i presentasjonsvideoen som skal lages, dette går fint an å bruke i følge Robin og mente det var en god ide.

Neste veiledningsmøte vil bli avholdt 10. Mai 13:00.

# Møterefertat ukentlig statusmøte om hovedprosjekt

**Dato og klokkeslett:** 03.05.2021, 10:00

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje

## **Handling på møtet:**

- Status på prosjektet.
- Gjenstående arbeid og fordeling av oppgaver.

## **Hva som ble diskutert:**

Det begynner å nærme seg innleveringsfrist og Åsmund har laget en liste med gjøremål over hva som må fullføres før levering. De ulike oppgavene har blitt fordelt mellom gruppemedlemmene med gitt tidsfrist.

Even vil implementere NOx beregning i EMS modellen og summere resultatene i rapport. Tom vil beregne drivstoffbesparelser ved å stoppe en motor i transit, og drivstoffbesparelse ved å stoppe alle motorer i havneoperasjon. Åsmund vil fullføre innledning, skrive en introduksjon i teori kapittel og inkludere teori om NOx. Når dette er fullført vil gruppen starte på konklusjon.

Gruppen har som mål å fullføre rapporten denne uken, slik vi har god tid rettskriving og kontroll.

# Veiledningsmøte referat

**Dato og klokkeslett:** 10.05.2021, 13:00 – 13:30

**Deltagere:** Even Vatneødegård, Tom Andre Helvig, Åsmund Winje, Robin Bye og Ottar Osen.

## Handling på møtet:

- Oppbygningen av rapporten.
- Praktisk informasjon.
- NOx.
- Forskjellige kostnadsestimat

## Hva som ble diskutert:

Møtet ble holdt digitalt på Zoom sammen med prosjektgruppen og veiledere Robin Bye og Ottar Osen.

Det ble diskutert litt om oppbygningen i rapporten. Hvor i rapporten skal fremtidig arbeid være, det ble også spurt om hvordan fremtidig arbeid fungerer. Veilederen spurte om referanser hadde blitt oppdatert. Diskusjon rundt størrelse på figurer, få figurene større og tydeligere. Liten innledning til hvert delkapittel.

Det ble tatt opp litt rundt praktisk informasjon. Plan for når presentasjonsvideoen skal leveres. Veilederen spurte om publisering fra vard sin side. Gruppen spurte om hvordan man skal vedlegge modellene, og hvor mange hvis det som er annerledes fra modellene er variablene og datasettene.

Det ble diskutert forskjellige kostnader på batteri. Fra de to verdiene gruppen hadde fått oppgitt fra Vard, ble det tatt opp om å øke og minske disse med 20% og 30%.

Gruppen syntes NOx kurven var problematisk, hvor resultatet på NOx-utslipp var mer ved installasjon av ESS enn uten. Der veilederne snakket om CO2 er et globalt problem NOx regionalt problem, ulikt på hvordan man vektlegger dette, og derfor gir det gruppen noe å diskutere.