



# Høgskulen på Vestlandet

## NAB3030 - Bacheloroppgave

NAB3030

### Predefinert informasjon

**Startdato:** 01-04-2022 12:00  
**Sluttdato:** 04-05-2022 14:00  
**Eksamensform:** Bacheloroppgave  
**Flowkode:** 203 NAB3030 1 PRO-1 2022 VÅR  
**Intern sensor:** (Anonymisert)

**Termin:** 2022 VÅR  
**Vurderingsform:** Norsk 6-trinns skala (A-F + Bestått)

### Deltaker

<b>Naun:</b>	Henrik Habbestad
<b>Kandidatnr.:</b>	417
<b>HVL-id:</b>	586412@hvl.no

### Informasjon fra deltaker

<b>Antall ord *:</b>	12931
----------------------	-------

Sett hake dersom  Ja  
besvarelsen kan brukes  
som eksempel i  
undervisning?:

Egenerklæring \*:  Ja  
Jeg bekrefter at jeg har  Ja  
registrert  
oppgavetittelen på  
norsk og engelsk i  
StudentWeb og vet at  
denne vil stå på  
vitnemålet mitt \*:

### Gruppe

**Gruppenavn:** Enmannsgruppe  
**Gruppenummer:** 8  
**Andre medlemmer i gruppen:** Henrik Løken Beinset, Martin Grønhaug

Jeg godkjenner autalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \*

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \*

Nei

# BACHELOROPPGAVE

Hybrid installasjon på offshorefartøy

Hybrid installation on offshore vessel

Henrik Habbestad - 417

Martin Grønhaug - 434

Henrik Løken Beinset – 410



Bilde 1: Viking Prince til kai ved Garpaskjærskaien i Haugesund. Tatt av Martin Grønhaug

## Bachelor i Nautikk

Høgskolen på Vestlandet/ institutt for maritime studier/ Haugesund

Veileder: Torkel Bjarte-Larsson

Innleveringsdato: 04.05.2022

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, *jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.*

*Hvordan vil rederiene kunne redusere kostnader ved installasjon av batteripakker på sine fartøy?*

X \_\_\_\_\_

Henrik Habbestad

X \_\_\_\_\_

Martin Grønhaug

X \_\_\_\_\_

Henrik Løken Beinset

**FORORD**

Arbeidet med denne oppgaven har gitt oss mulighet til å rette fokus inn mot et relativt nytt og spennende område som handler om installasjon av hybride systemer på fartøy. I løpet av de siste årene har vi sett en økende trend innenfor feltet ettersom dagens samfunn står ovenfor en stor omstilling når det gjelder overgangen fra fossilt brensel til fornybar energi.

Arbeidet med denne oppgaven har vært en lang og utførende prosess, men kunnskapen vi har tilegnet oss ser vi på som en klar fordel inn mot vår fremtidige karriere som styrmenn. Vi håper at du som leser finner oppgaven interessant, og at du sitter igjen med en refleksjon over hvordan og i hvilket omfang hybridteknologi kan redusere kostnader.

Vi vil benytte anledningen til å takke Eidesvik AS som har bidratt med informasjon og kunnskap. Uten deres bidrag hadde vi ikke kunne løse oppgaven slik som vi ønsket. Vi vil også få takket vår veileder Torkel Bjarte-Larsson som har hjulpet oss underveis med konstruktive tilbakemeldinger og inspirert oss med sin evige optimisme. Tusen takk!

Helt til slutt ønsker vi å takke hverandre for et godt samarbeid og en lærerik prosess.

## SAMMENDRAG

Denne oppgaven omhandler temaet hybrid installasjon på offshore-fartøy hvor det har blitt tatt utgangspunkt i følgende problemstilling: *Hvordan vil rederiene kunne redusere kostnader ved installasjon av batteripakker på sine fartøy?*

Hybrid teknologi blir sett på som noe relativt nytt innenfor skipsfarten og ble for første gang installert i 2013. I etterkant har det vært en økende trend innenfor teknologien.

Formålet med denne oppgaven har vært å se i hvilken grad batteriinvestering er lønnsomt for rederiene. Vårt utgangspunkt har vært å sammenligne to like fartøy fra samme rederi, med og uten batteripakke. Vi opprettet kontakt med teknisk ansvarlig i rederiet Eidesvik AS og fikk tilsendt data om fartøyene. Vi brukte denne dataen til å gjøre beregninger rundt drivstofforbruk under forskjellige driftsprofiler med og uten batteripakke. Vi har også sett på kostnadene rundt installasjon og vedlikehold.

For å besvare problemstillingen har det blitt benyttet casestudie sammen med et usystematisk litteratursøk. Vi har brukt casestudie for å studere besparelser ved start/stop og ved spinning reserve i denne oppgaven. Dataene vi innhentet kunne ikke gi svar på drivstoff besparelse ved peak shaving og landstrøm. For å vise til besparelse i drivstofforbruket ved peak shaving og landstrøm har vi gjort et usystematisk litteratursøk.

Resultatene i oppgaven viser at installasjon av batteripakke er lønnsomt og fører til reduksjon av drivstofforbruk og reduserte vedlikeholdskostnader. I driftsprofilen til Viking Princess kom vi frem til totalt 7 % årlig drivstoffreduksjon ved bruk av start/stop modus. I driftsprofilen harbour ser vi en besparelse på 8 % årlig ved bruk av start/stop. Vi ser også ytterligere besparelse av drivstoff og vedlikeholdsutgifter ved bruk av landstrøm.

I driftsprofilen til Viking Princess kom vi frem til totalt 9 % årlig drivstoffreduksjon ved bruk av spinning reserve. I driftsprofilen DP ser vi 9 % besparelse årlig ved bruk av batteri som spinning reserve. En del av den totale årlige besparelsen skyldes redusert toppfart i transit max grunnet et generatorsett mindre.

Ut ifra våre beregninger ser vi at vedlikeholdskostnader på et batteri er betraktelig lavere enn et generatorsett, som gjør at utgiftene til et generatorsett tar igjen utgiftene til et batteri etter ca. 3 år.

## SUMMARY

This bachelor thesis will consider the topic of hybrid installation on offshore vessels where the following thesis question has been considered: *How will companies be able to reduce the costs when installing battery power on their vessels?*

Hybrid technology is relatively new within the shipping industry and was installed for the first time in 2013. Since then, there has been an increasing trend within the technology.

The purpose of this assignment has been to see to what extent battery investment is profitable for the shipping companies. Our starting point has been to compare two similar vessels from the same company; with and without a battery power system. We established contact with the technical manager at the shipping company Eidesvik AS and received data about the vessels. We used this data to make calculations around fuel consumption under different operating profiles. We also looked at the costs of installation and maintenance of batteries.

To answer the topic of this thesis, we have used a case study alongside various supporting literature. The case study was suitable for comparing few units meanwhile the supporting literature.

The results of the task show that installing a battery power system is profitable and leads to a reduction in fuel consumption and reduced maintenance costs. In the Viking Princess operating profile, we reached a total of 7% annual fuel reduction using start/stop mode. In the harbour operating profile, we see savings of 8% annually using start/stop. We also see more savings in fuel and maintenance expenses when using shore power.

In the Viking Princess operating profile, we reached a total of 9% annual fuel reduction using spinning reserve. In the DP operating profile, we see 9% savings annually using battery as a spinning reserve. Part of the total annual savings are due to reduced top speed in transit max due to one generator set less.

Based on our calculations, we see that maintenance costs on a battery are significantly lower than a generator set, which means that the cost of a generator set recovers the cost of a battery after about three years.

**Innholdsfortegnelse**

BACHELOROPPGAVE.....	i
FORORD .....	iii
SAMMENDRAG.....	iv
SUMMARY .....	v
Figurliste .....	ix
Tabelliste.....	ix
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn for valg av oppgave.....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Avgrensning.....	2
1.4 Oppbygging av oppgaven .....	3
2. Systembeskrivelse.....	4
2.1 Hva kjennetegner et forsyningsfartøy? .....	4
2.2 Bruksområder.....	4
2.3 Dynamisk posisjonering.....	5
2.3.1 Reglement og DP-klasser.....	5
2.4 Operasjonene til forsyningsfartøy.....	6
2.5 Klassifikasjoner.....	7
2.6 Gass-Elektrisk fremdriftssystem.....	8
2.7 Wärtsilä Low Loss Concept.....	8
2.8 Litium-ion batteri .....	11
2.8.1 Sikkerhet rundt litium-ion batteri.....	11
3. Teori.....	13
3.1 Teorigjennomgang .....	13



3.1.1 Wärtsilä.....	13
3.1.2 Generatorsett.....	13
3.1.3 DNV.....	14
3.1.4 Enova.....	14
3.2 Bruken av batteri.....	14
3.2.1 Start/stop modus.....	15
3.2.2 Spinning reserve.....	15
3.2.3 Peak shaving.....	15
3.2.4 Landstrøm.....	16
3.3 Brennstoffverdier.....	16
3.4 Drivstofforbruk.....	18
3.4.1 Formel til drivstoffberegning.....	18
4. Metode.....	18
4.1 Valg av metode.....	19
4.2 Styrker og svakheter sett i metodesammenheng.....	19
4.3 Litteratursøk.....	20
4.4 Utvalg.....	20
4.5 Forberedelser.....	20
4.6 Gjennomføring.....	21
4.7 Oppsummering.....	21
5. Resultat.....	22
5.1 Viking Prince og Viking Princess beregnet drivstofforbruk sammenligning.....	23
5.2 Viking Prince beregnet gjennomsnitt drivstofforbruk og reelt drivstofforbruk sammenlignet.....	24
5.3 Viking Princess beregnet gjennomsnitt drivstofforbruk og reelt drivstofforbruk sammenlignet.....	25
5.4 Viking Prince og Viking Princess beregnet gjennomsnittsdrivstofforbruk sammenlignet.....	26

5.5 Drivstofforbruk som funksjon av belastningen.....	27
5.7 Batteri under DP operasjoner.....	29
5.8 Batteri under transit.....	30
5.9 Batteri ved landligge.....	31
5.10 Årlig total kostnad.....	32
6. Diskusjon .....	33
6.1 Start/stop modus.....	33
6.2 Spinning Reserve .....	33
6.3 Peak Shaving.....	34
6.4 Landstrøm .....	34
6.5 Svakheter og styrker rundt egen forskning .....	35
7. Konklusjon.....	36
7.1 Hovedfunn.....	36
7.2 Forslag til videre forskning.....	37
8. Litteraturliste.....	38
Vedlegg 1 .....	41
Vedlegg 2 .....	42
Vedlegg 3 .....	43
Vedlegg 4.....	43
Vedlegg 5 .....	44
Vedlegg 6.....	49
Vedlegg 7 .....	50

**Bildeliste**

Bilde 1 Viking Prince til kai ved Garpaskjærskaien i Haugesund. Tatt av Martin Grønhaug.... i	
Bilde 2 Wärtsilä 6L34DF.....	13

**Figurliste**

Figur 1 Viser generator system om bord på fartøyet Viking Prince. Egenprodusert.....	9
Figur 2 Viser generator systemet om bord på fartøyet Viking Princess. Egenprodusert.....	10
Figur 3 Viser spesifikt drivstofforbruk (gram drivstoff/ kWh).....	18
Figur 4 Sammenligning av beregnet forbruk ved maks belastning på Viking Prince og 85% belastning med start/stop strategi på Viking Princess.....	23
Figur 5 Sammenligning av Viking Prince beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk.....	24
Figur 6 Sammenligning av Viking Princess beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk.....	25
Figur 7 Sammenligning av Viking Prince og Viking Princess beregnet gjennomsnitt drivstofforbruk.. ..	26
Figur 8 Drivstofforbruk som funksjon av belastning av dieselmotoren.. ..	27
Figur 9 Peak shaving.....	29

**Formelliste**

Formel 1 Viser formel for utregning av drivstofforbruk. ....	18
--	----

**Tabelliste**

Tabell 1 Reelt forbruk for Viking Prince og Viking Princess 2021 .....	17
Tabell 2 Sammenligning av beregnet drivstofforbruk ved maks belastning på Viking Prince og 85% belastning med start/stop strategi på Viking Princess. ....	23
Tabell 3 Sammenligning av Viking Prince beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk fra Eidesvik i løpet av et år.. ..	24
Tabell 4 Sammenligning av Viking Princess beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk fra Eidesvik i løpet av et år. ....	25
Tabell 5 Sammenligning av Viking Prince og Viking Princess beregnet gjennomsnittsforkbruk ved bruk av batteri. ....	26

<b>Forkortelser</b>	<b>Betydning</b>
BMS	Battery Management System
CO <sub>2</sub>	Karbondioksid
DNV	Det Norske Veritas
DNV GL	Det Norske Veritas Germanischer Lloyd
DP	Dynamisk Posisjonering
GL	Germanischer Lloyd
IMO	International Maritime Organization
LiB	Litium – Ion Batteri
LLC	Low Loss Concept
NHH	Norges Handelshøyskole
NOK	Norsk Krone
PSV	Platform Supply Vessel
PMS	Power Management System
RPM	Rotation per Minute

<b>Matematiske symboler</b>	<b>Betydning</b>
g	Gram
g/kWh	Gram per kilowatt i timen
h	Time
kJ/kg	Kilojule per kilogram
kr/kg	Kroner per kilogram
kW	Kilowatt (Effekt)
MJ/kg	Megajule per kilogram
t	Tonn

<b>Drivstoff</b>	<b>Betydning</b>
LFO	Light Fuel Oil
LNG	Liquified Natural Gas
MGO	Marine Gassolje

<b>Maskineri</b>	<b>Beskrivelse</b>
Generatorsett	Gassmotor + generator
Hovedmotor (HVM)	2510kW
Hjelpemotor (AUX)	1014kW

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn for valg av oppgave

I offshoreflåten har det i flere år vært diesel-mekaniske fremdriftssystemer som har dominert på fartøy, men med tiden har teknologien utviklet seg og vi ser nå oftere fartøy som blir konstruert med diesel-elektriske fremdriftssystemer. I nyere tid går fokuset stadig mer over mot det grønne skiftet og det blir vanligere å se fartøy som benytter mer miljøvennlige drivstoff og får montert hybridløsninger med batteri for å få ned klimagassutslippene. Et grønt skifte handler om å redusere utslipp av klima og miljøskadelige gasser. (Helseth et al., 2019, s. 11-12). I dagens samfunn ser vi mange forskjellige løsninger på hvordan vi ønsker å operere i en ny og bærekraftig verden. Vi ser stadig nye forslag fra myndigheter og politiske debatteringer rundt hvordan vi skal redusere kostnader og store klimagassutslipp. Vi kan for eksempel se på hvor stor innvirkning el-bil fenomenet har hatt for det grønne skifte.

Teknologien rundt hybride løsninger til sjøs er på full fart fremover og er allerede under utprøving. Det vil alltid stilles spørsmål ved nye og innovative løsninger med tanke på kostnader, troverdighet og suksess. Det er ofte slik at man må teste ut et produkt over tid før man ser produktgevinsten. Når det gjelder sistnevnte ser det ut for at gevinsten ved installasjon av hybridteknologi har vært en stor suksess ettersom flere rederier har besluttet å benytte seg av teknologien. Det er mange forskjellige aspekter og sider som kan diskuteres ved installasjon, spesielt ytelse og forbruk og ikke minst gevinsten av å redusere kostnader og CO<sub>2</sub> utslipp.

Bakgrunnen for valg av oppgave handler om at temaet er spennende og relevant for dagens samfunn. Hybridteknologi blir sett på som en aktuell endring innenfor skipsfarten. Dette kan begrunnes med at fartøyene blir mer ettertraktet med tanke på reduksjon i kostnad og utslipp, som kan medføre større etterspørsel og nye kontrakter for fartøyene.

## 1.2 Problemstilling

I denne oppgaven har vi tatt utgangspunkt i følgende problemstilling:

*Hvordan vil rederiene kunne redusere kostnader ved installasjon av batteripakker på sine fartøy?*

Formålet med oppgaven er å se om det lønner seg å installere batteripakke på forsyningskip. Her har vi valgt å sammenligne to skip fra samme rederi. Vi har innhentet statistikk og informasjon fra fartøyene Viking Princess og Viking Prince fra rederiet Eidesvik AS. I den forbindelse skal vi se nærmere på drivstofforbruket til fartøyene samt driftsprofilene i tiden før Viking Prince fikk installert batteripakke. Videre ønsker vi å se på ulike driftsprofiler som kan knyttes opp mot besparelse av drivstoff. Dette vil bli belyst gjennom formuler og statistikk, og vi vil benytte usystematisk litteratursøk til å belyse andre sentrale poeng.

Det er spesielt fire punkter vi ønsker å se nærmere på som kan være bidragsgivende for kostnadsbesparelse, disse punktene er som følger:

- Start/stop
- Spinning reserve
- Peak shaving
- Landstrøm

## 1.3 Avgrensning

Oppgaven er begrenset og retter seg inn mot ett rederi som befinner seg i vestlandsregionen. Fordelen med dette er at det vil være lettere å opprette kontakt når man har informantene i nærheten. Videre resonnerer vi oss frem til at det ikke ville være nødvendig å involvere flere parter ettersom vårt tema omhandler en sammenligning mellom to fartøy, og hvordan rederiene kan redusere kostnader med batteriinstallasjon. Dermed så vi det hensiktsmessig å forholde oss til få enheter med tanke på oppgavens omfang og tidsfrist.

Videre har vi valgt å avgrense oppgaven til å omhandle fartøy som opererer i offshore-sektoren og som er konstruert for slike operasjoner. Vanligvis er dette fartøy som utfører konstruksjoner, ankerhåndtering og forsyningsoperasjoner. Forsyningsfartøyet Viking Lady fikk installert batteripakke tilbake i 2013 og var det første fartøyet som forsøkte teknologien.

Siden den gang har man sett en økende trend med en slik investering fra flere rederier. Det er spesielt i offshore virksomheten man ser at trenden er økende, dette i hovedsak grunnet at disse fartøyene ikke seiler over store distanser. Tvert imot ligger disse fartøyene store deler av tiden i DP-mode, stand-by, eller i havn og det er dette som er medvirkende for at hybridssystem er høyt ettertraktet i offshoreflåten.

Hybridinstallasjon blir sett på som et banebrytende prosjekt og har så langt hatt en stor innvirkning for det grønne skiftet. Hovedhensikten rundt teknologien er å redusere utslipp, samtidig ser det ut for at det kommer flere gevinster i form av reduksjoner på kostnadsiden. Vi finner det nødvendig å presisere at batteriinstallasjon vil føre til betydelig reduksjon når det gjelder utslipp. Ettersom sistnevnte har blitt forsket på tidligere, ønsker vi i denne oppgaven å fokusere på kostnadsaspektet.

#### **1.4 Oppbygging av oppgaven**

Oppbygging av denne oppgaven har vi basert på oppsettet i IMRoD modellen. Oppgaven er bygd opp av sju kapiteler. Vi ønsker å skape en ryddig og oversiktlig fremstilling av oppgaven. Resultatet legges fram oversiktlig i form av å kartlegge fremgangsmåten som er benyttet til å finne fram til sluttsvaret. Etter at resultatet er lagt fram kommer diskusjons delen, etterfulgt av oppgavens konklusjon. For å skape en ryddig fremstilling for leseren kan det være greit å få en grunnleggende innføring i tematikken.

Kapittel 1. Innledning – Bakgrunn for oppgaven blir presenter sammen med problemstilling.

Kapittel 2. Systembeskrivelse – Her kommer beskrivelsen av forsyningsfartøy og en generell beskrivelse av systemet.

Kapittel 3. Teori – Beskrivelser rundt teorien som er relevant for oppgaven.

Kapittel 4. Metode – Her legges det frem hvordan vi har tenkt å gjennomføre oppgaven.

Kapittel 5. Resultat – Resultatene legges fram.

Kapittel 6. Drøfting – Begrunner problemstilling og hypoteser opp mot resultatene som legges fram. Samtidig stiller vi kritiske spørsmål rundt funnene.

Kapittel 7. Konklusjon – Presenteres konklusjon og forslag til videre forskning.

## 2. Systembeskrivelse

I dette kapittelet skal vi se nærmere på hva som kjennetegner et hybridssystem og hvordan systemet brukes. Videre ønsker vi å se på hva som kjennetegner et forsyningsfartøy og bruksområder. Deretter vil vi gi en forklaring rundt dynamisk posisjonering, klassifikasjoner/ reglement, litium-ion batteri

### 2.1 Hva kjennetegner et forsyningsfartøy?

Like lenge som det har vært offshoreinstallasjoner ute i havet har det også eksistert forsyningsfartøy. Disse fartøyene har en viktig oppgave tilknyttet forsyning av offshoreinstallasjoner med alt de måtte ha bruk for. Slik som bekvemmeligheter for mannskapene på installasjonene som proviant, men også utstyr til operasjonene.

Forsyningsfartøyene er tradisjonelt sett konstruert med et overbygg fremme hvor mannskapet oppholder seg, med unntak av noen få fartøy som har overbygget bak for økt komfort for mannskapet. Normalt sett har et forsyningsfartøy et mannskap på 10-16 personer fordelt på dekk, maskin, forpleining og på bro.

Forsyningsfartøyene største særtrekk er det store laste dekket som kan være over 1000m<sup>2</sup>. Her plasseres dekkslast i form av rør som brukes til boring, borekroner, risere, spesial konstruksjoner og konteinere som kan inneholde nærmest hva som helst. Under lastedekket finner vi lastetanker til pulverlaster, flytende last, og spesialprodukter. Disse tankene er konstruert etter hvilke laster de skal føre. (van Dokkum, 2010, s. 83).

### 2.2 Bruksområder

Forsyningskipene er i hovedsak konstruert for føring av last til og fra offshoreinstallasjoner, men de kan også brukes til andre formål. Mange forsyningsfartøy har beredskapsfunksjon i tillegg til å gå med last. De kan være leid inn som redningsfartøy skulle det skje ulykker ute på feltet. I slike situasjoner er de utstyrt med en såkalt «rescue-klasse» som stiller ekstra krav til sykestue, utstyr til opplukking av personer i sjøen, winch, landemuligheter til helikopter og utstyr til brannslukking. Noen fartøy kan også brukes til oljevernberedskap. Det vil si at de kan utstyres med lenser for oppsamling av olje ved utslipp.



## 2.3 Dynamisk posisjonering

Nyere forsyningsfartøy bruker Dynamisk Posisjonering (DP) for å holde posisjonen sin under lasting og lossing ved installasjoner. Dette systemet går på automatikk og blir kontrollert av de på broen. DP tar utgangspunkt i en matematisk modell av fartøyet som tar hensyn til input fra operatøren. Vind, strøm, og sjøgang estimeres ved hjelp av sensorer og referanser for å holde en bestemt posisjon ved hjelp av thrustere på fartøyet. Vanligvis vil forsyningsfartøy være utstyrt med to azimuth thrustere bak som kan rotere 360° for maksimale manøveregenskaper som også fungerer som fremdrift. Foran vil den også ha en azimuth thruster, men av mindre dimensjon enn de bak. Denne thrusteren er normalt inne i skroget og senkes ned når fartøyet opererer med DP. I tillegg finner vi to tunell thrustere som kan bevege baugen av fartøyet sidelengs. (Fossum & Østervold, 2018, s. 7-8).

### 2.3.1 Reglement og DP-klasser

Det stilles krav til dynamisk posisjonering for å garantere sikkerheten. Kravene er satt av IMO - (International Maritime Organization). Denne konvensjonen stiller krav til DP-klasser, bruk og sikkerhet rundt dynamisk posisjoneringssystemer. Disse kravene blir sett på som en internasjonal standard og gjelder for alle fartøy som benytter seg av dynamisk posisjonering. Det er spesielt to krav IMO har som hovedfokus, (DNV, 2015, s. 20):

- Forhindre tap av posisjon
- Forhindre tap av redundans

Tap av posisjon kan forklares ved at fartøyet mister sin ønskede posisjon og drifter fra ønsket kurs og heading. Dette kan oppstå dersom det forekommer feil i DP-systemet eller ved blackout. Redundans forklares som at systemet kan opprettholde eller gjenopprette funksjonen når en enkel feil har oppstått. (Bray, 2008, s. 21).

Fossum & Østervold (2018) hevder ifølge petroleumstilsynet at alle forsyningsfartøy på norsk sokkel skal ha enten et DP-1 eller DP-2 system. De forskjellige utstyrsklassene vil bli forklart nedenfor:

- DP-klasse 1: Har ingen redundans, og tap av posisjon kan skje ved feil.
- DP-klasse 2: Denne utstyrsklassen har redundans i sitt system, det vil si at fartøyet ikke vil miste posisjon dersom en feil oppstår.
- DP-klasse 3: Skal i tillegg til kravene for DP-2 kunne motstå brann eller

oversvømmelse i et hvilket som helst rom på fartøyet uten at systemet feiler.

En svikt i DP-systemet som medfører tap av posisjon kalles «single point failure». Kravene til DP-2 og DP-3 krever redundans av viktige komponenter som kan medføre «single point failure» (Phillips et al., 1998).

## 2.4 Operasjonene til forsyningsfartøy

Som tidligere nevnt i delkapittel 1.3 Avgrensning ser det ut til at offshore-fartøy har stor etterspørsel av hybridinstallasjoner. For å belyse fordelene med hybridinstallasjon må vi se nærmere på hvordan fartøyene opererer, og hvilken driftsmodus de anvender. De ulike operasjonene kan bli sett på som:

- DP-operasjoner
- Laste og losseoperasjoner
- Standby/ Ankring
- Manouever
- Transit

Videre ønsker vi å gi en kort beskrivelse av driftsprofilene disse fartøyene bruker. Det er spesielt disse vi har som utgangspunkt i beregningene som vil bli presentert senere.

- Harbour: denne driftstypen er i bruk når fartøyet ligger fast fortøyd til kai. Her går generatorsettene normalt på minimal belastning og det er muligheter for å stoppe hvis det er montert landstrøm på kaien.

- Manouever: er driftstypen hvor fartøyet beveger seg til og fra kai eller installasjoner. Denne driftstypen medfører svingninger i belastningen på motoren, og medførende økt forbruk.

- Transit eco: også kalt marsjfart eller service fart er den tiden forsyningsfartøyet beveger seg med en fart som er best i forhold til økonomi og tid mellom destinasjonene.

- Transit max: er den tiden fartøyet går med høyest oppnåelig fart. Typisk i situasjoner hvor det haster å få levert last. Denne driftstypen brukes i mindre grad enn transit eco grunnet høyere drivstofforbruk.

- Stand-by: i driftstypen standby ligger fartøyet med maskineriet i gang og klar til øyeblikkelig manouver.

- Dynamisk Posisjonering: er som beskrevet tidligere et viktig system for forsyningsfartøy. Hensikten med DP-systemet er for å kunne holde eller opprettholde fartøyet i en bestemt posisjon over tid.

I en studie av Norges Handelshøyskole (NHH) og MarinTek i 2016 kommer de frem til at et forsyningskip typisk tilbringer 25% av tiden ved land for lasting og lossing, samt venting. 40% av tiden brukes til seiling til og fra baser og installasjoner med en marsjfart på gjennomsnittlig 10 knop. Siste 35% prosent brukes til lasting og lossing på installasjonene hvor DP blir benyttet (Lindstad et al., 2016).

## 2.5 Klassifikasjoner

Klasseselskapet DNV har satt standard regler rundt det tekniske rundt batteriinstallering, konstruksjon og prosedyrer for skip som benytter batteri. Kvalifiseringen rundt sikkerhet gjelder hovedsakelig for fartøy med store litium-ion batterier installert, og erstattes av kraft der batterier brukes som fremdriftskraft. DNV redegjør for to sentrale punkter rundt batteriinstallasjoner. Disse forklares nedenfor (2018).

**Battery (power)** – Denne notasjonen er obligatorisk for fartøy hvor batteri energien brukes som en del av fremdriftssystemet under normal drift. Videre stilles det obligatoriske krav når det kommer til å bruke batteri som en redundant strømkilde.

**Battery (safety)** – Notasjonen er obligatorisk for fartøy hvor batteriinstallasjonen har en samlet nominell kapasitet som overstiger 20 kWh og som ikke oppfyller kravene fra «battery power».

## 2.6 Gass-Elektrisk fremdriftssystem

Fartøyene Viking Prince og Viking Princess er konstruert med et gass-elektrisk fremdriftssystem. Dette systemet er tilnærmet likt et diesel-elektrisk system, med unntak av drivstoffet. Forsyningsfartøyene vi har tenkt å sammenligne benytter LNG som drivstoff, men har muligheten til å bytte over til diesel ved behov.

Prinsippet bak et gass-elektrisk system er at det er mekaniske motorer som går på gass og produserer elektrisitet ved hjelp av en generator som blir overført til en strømtavle. Her blir elektrisiteten fordelt videre til fremdriftssystemene og annet utstyr ombord, slik som pumper, kompressorer, innredning og mer. Videre vil vi se på kraftgangen fra generatorene til propellene i fremdriftssystemet. Før elektrisiteten blir omgjort til mekanisk energi som driver propellene må den først gjennom en strømtavle som distribuerer elektrisiteten rundt på fartøyet, etter dette går den gjennom en likeretter som gjør om fra vekselstrøm til likestrøm. Til slutt går elektrisiteten gjennom en frekvensomformer som gjør om på frekvensen slik at turtallet på elektromotoren kan reguleres. Til slutt går elektrisiteten inn på elektromotoren som er tilkoblet propellen og gjør den elektriske kraften om til mekanisk kraft og gjør det mulig å forflytte fartøyet.

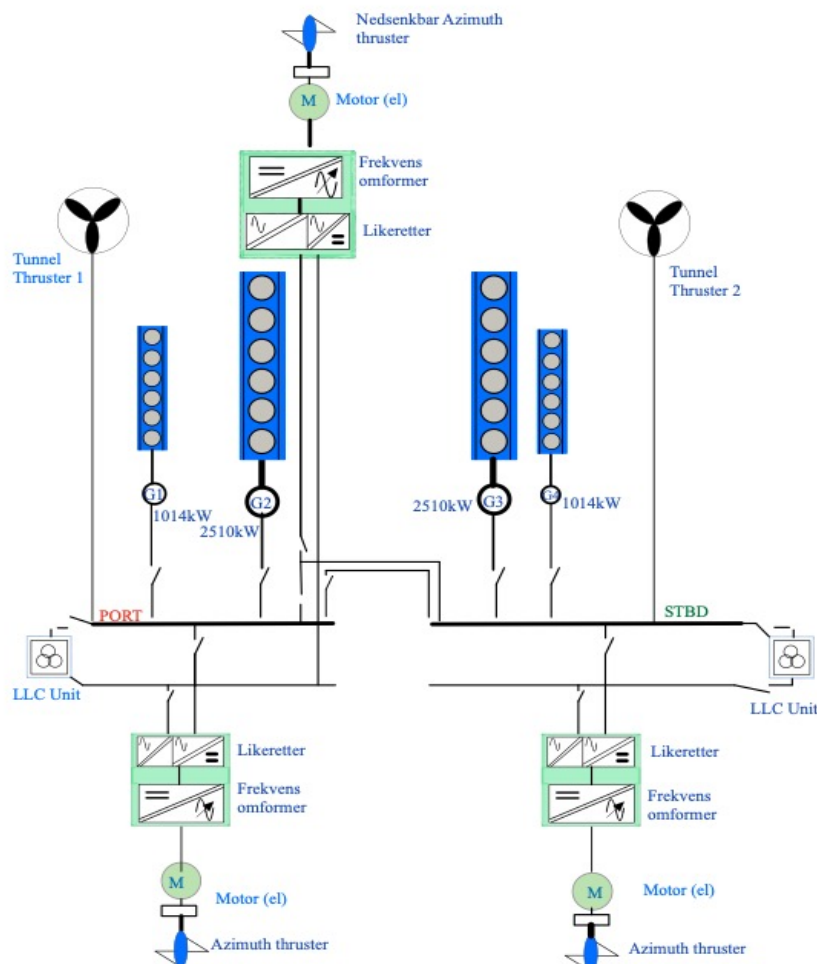
## 2.7 Wärtsilä Low Loss Concept

Viking Prince og Viking Princess er utstyrt med et såkalt Wärtsilä Low Loss Concept (LLC) som er en optimalisert variant av gass/diesel-elektrisk system som byr på flere fordeler. I følge Wärtsilä er dette konseptet mer kompakt enn et tradisjonelt diesel/gass-elektrisk system som gir mer plass i et maskinrom med begrenset volum. Dette designet er lagt opp slik at det ikke er nødvendig med modifikasjoner for montering av batteri på skip, i tillegg til å være effektivt, driftssikkert og lett å vedlikeholde grunnet effektivisert design som vi kommer tilbake til (Wärtsilä, 2015).

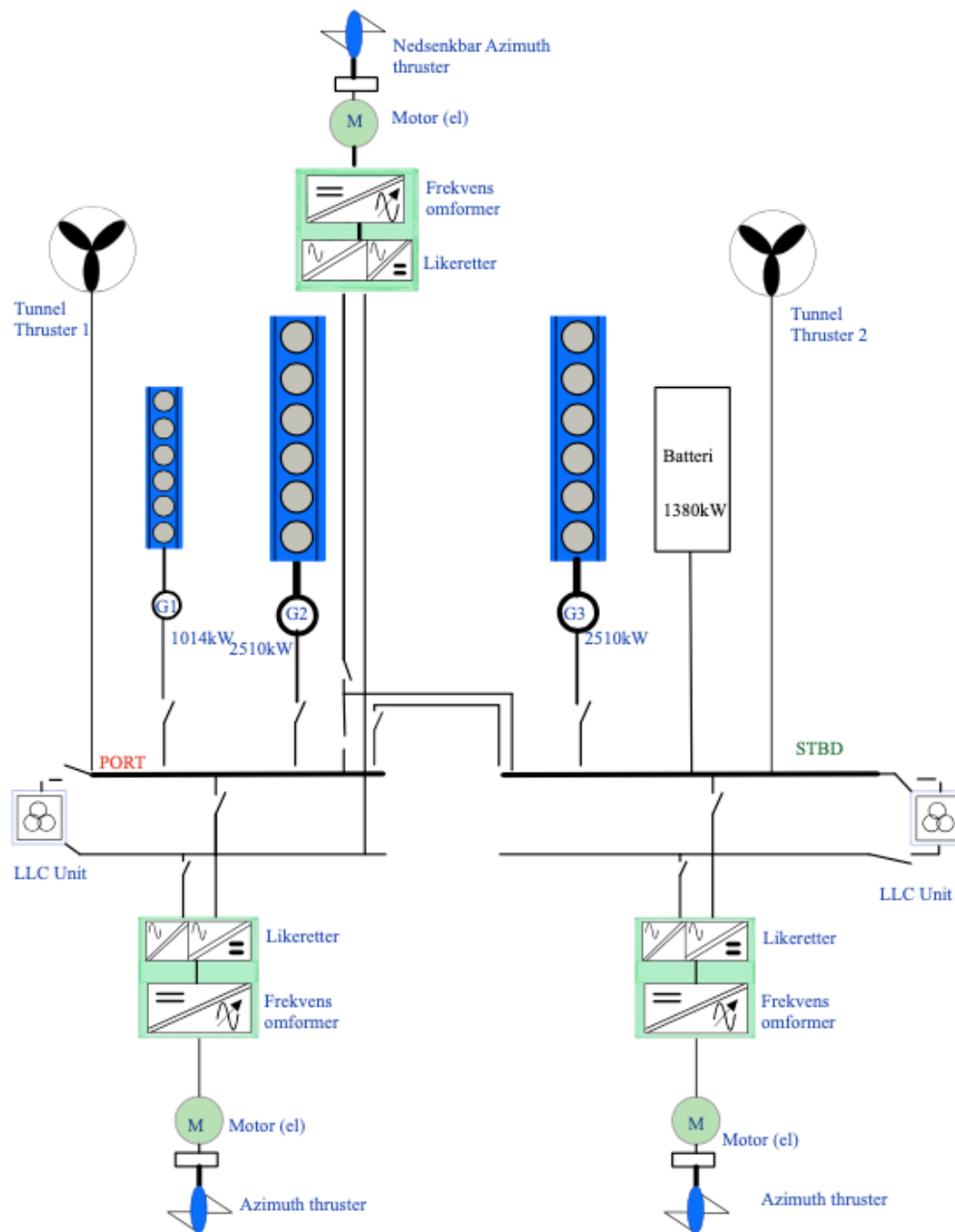
I et tradisjonelt gass-elektrisk fremdriftssystem er det lagt opp slik at hvert posisjonering system trenger sin egen omformer grunnet ujevn kraft produksjon fra de forskjellige generatorsett som gir ulik frekvens. Det resulterer i et behov for mellom 8 og 12 single transformatorer som plasseres mellom generatorene og strømtavlene som er kostbart og tar mye plass. Dette systemet er ikke gunstig grunnet at tap av kraft, økt drivstofforbruk og økt kostnad. Wärtsilä kom opp med en løsning på det ved å introdusere LLC. Her har de redusert i antallet transformatorer til to som plasseres på hver sin tavle. Da dette gir en økt

effektivisering grunnet mindre elektrisk tap påstår Wärtsilä at fartøyet kan spare 7% drivstoff. I tillegg gir dette også mulighet for å kjøre generatorene på høyere last som kan gi ytterligere 2% brennstoffbesparelse i følge Wärtsilä, samtidig som det gir mindre slitasje på generatorene dermed reduserte kostnader (Wärtsilä, 2015).

Wärtsilä LLC er også konstruert slik at det vil være mulig å kjøre 2 til 3 ganger opprinnelig kraft på systemet. Dette er en god egenskap ettersom dagens offshore marked krever mer drivstoffeffektive fartøy og batteriinstallasjon kan være nødvendig. Siden LLC allerede gjør det mulig å ha 2 til 3 ganger mer kraft på systemet gjør det mindre arbeidskrevende og mer kostnadseffektiv, dermed mer attraktivt å installere en batteripakke (Wärtsilä, 2015).



Figur 1 Viser generator system om bord på fartøyet Viking Prince. Egenprodusert.



Figur 2 Viser generator systemet om bord på fartøyet Viking Princess. Egenprodusert.

## 2.8 Litium-ion batteri

Fra tidligere i oppgaven vet vi at hybridisering blir sett på som noe relativt nytt spesielt innenfor skipsfarten. Når vi derimot ser hvordan resultatene har påvirket miljø og kostnader ved biltransport ved å modifisere en drivstoffbil til el-bil har dette virkelig hatt en stor innflytelse for samfunnet. De siste årene har litium-ion batteriene blitt forsket på i forskjellige forhold. Da med tanke på batteriets densitet, kraft densitet, syklus, robusthet, sikkerhet og hvordan batteriet håndterer kalde omgivelser (DNV, 2015).

Fordelene med litium-ion batteriene er at energitettheten er høyere enn andre oppladbare batterier, dette er en av grunnene for at denne typen benyttes hyppig ved installasjoner. Energien et batteri leverer er avhengig av celledensiteter og hvor mye ladning som lagres i elektrodene. Videre blir det nevnt at litium-ion batterier gir en spenning på 3,5 – 4 V, som blir sett på som en verdi langt over hva andre konvensjonelle batterier klarer å oppnå (Ruud, 2018).

Ulemper med denne batteritypen kommer i form av at de trives best i et temperaturvindu mellom 0° C til 40° C. Batteriet kan reagere på høye og lave temperaturer. Når det gjelder førstnevnte kan batteriets elektrolytter dekomponeres dersom batteriet blir utsatt for høye temperaturer over tid. Når batteriet derimot opererer i kalde omgivelser, vil batteriets effekt reduseres betraktelig (Ruud, 2018). Dette kan vises i et eksempel med en el-bil på vinterstid hvor batteriet ikke klarer å opprettholde samme ytelsesevne.

### 2.8.1 Sikkerhet rundt litium-ion batteri

I dette delkapittelet ønsker vi se på sikkerheten rundt bruken av litium-ion batterier. Det vil være naturlig å tenke seg at det vil foreligge farer knyttet til installasjon og bruk av batterier. Vi vil her forsøke og gi en tydelig oversikt over potensielle farer. Det kan tenkes at desto større batteripakken er, desto større er farepotensialet. Det er derfor svært relevant å vite hvilken farer som kan oppstå. DNV har påpekt forskjellige farer sett i denne sammenheng, og stiller derfor sikkerhetskrav.

DNV. GL (2016) har utviklet «Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems», i denne del under punkt 5.1 «safety description» vektlegges de mest sentrale sikkerhetselementene som skal inkluderes i sikkerheten og feilmodusene til batteriet.

Følgende blir nevnt:

- Intern feil i batteri/ kortslutning
- Overladning eller utladning
- Overoppheting
- Overdreven oppvarming eller brann

Videre rettes fokuset inn mot risikoen som kan være bidragsgivende for potensielle farer. Det presiseres følgende fra DNV sin håndbok:

Gassutvikling: Kan forekomme ved kortslutning eller interne feil i batteriet. I slike tilfeller kan dette føre til utvikling av eksplosiver, giftige og brennbare gasser.

Termisk rømling: Skyldes høye temperaturer over tid hvor battericellene kan forvente en temperaturbelastning fra 200° C - 800° C. Dette vil medføre en trykkøkning som elektrolytten ikke vil klare å motstå, dette vil videre føre til fordampning eller dekomponering.

Brannfare: Sett i denne sammenheng vil sjansen øke som en kombinasjon av gass utvikling og temperaturøkning. Desto større temperaturen er desto høyere sannsynlig vil det være for antennelse. Ytre påvirkninger som brennbare gasser kan også være en bidragsyter for at antennelsen vil skje i en tidlig fase.

Eksplosjonsfare: Risikoen for at det forekommer eksplosjonsfare vil være avhengig av gassutviklingen som kommer fra batteriet eller andre former. Dersom det er gass i området, vil sannsynligheten være høy for antennelse og eksplosjonen kan finne sted.



### 3. Teori

I dette kapittelet skal vi se nærmere på teorigrunnet som består av relevante tekster, samt organisasjoner som tilbyr tjenester og salg av hybridteknologi. Videre ønsker vi å rette fokus inn mot hvordan bruken av batteri kan påvirke driftsprofilene om bord på forsyningsfartøy.

#### 3.1 Teorigjennomgang

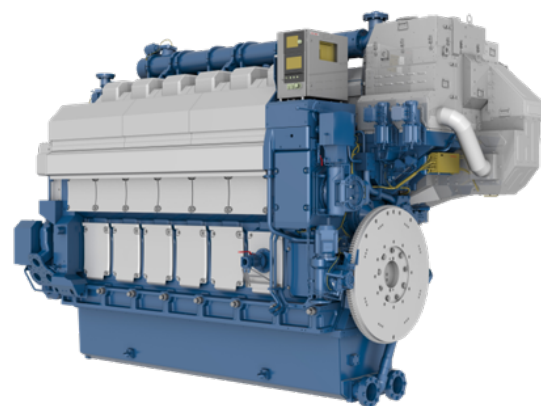
Det finnes en del forskning rundt installasjon av hybride systemer og bruken av batteri som energikilde. Fra tidligere vet vi at forskning som er tilknyttet hybridisering av fartøy er ganske nytt og vi ser stadig forbedringer og nye løsninger, men det er derimot relativt lite forskning på om hybridsystemet vil lønne seg kostnadsmessig. Når det gjelder sistnevnte trenger vi tall og statistikk for å bygge et godt fundament for besvarelsen. I den forbindelse har vi fått tilsendt data og statistikk fra Eidesvik AS som har gitt oss muligheter til å beregne og sammenligne drivstofforbruket mellom fartøyene.

##### 3.1.1 Wärtsilä

Wärtsilä er en global markedsleder innenfor levering av komplette kraftforsyninger til den maritime industri samt energimarkedene rundt om i verden. Selskapet har stasjonert fire baser i Norge hvor de driver aktiviteter som salg av fremdriftssystemer, elektro, automasjonssystemer og navigasjonssystemer for fartøy og offshoreinstallasjoner. Selskapet har videre en stor database som gir en oversikt over hvilke tjenester dem tilbyr. Wärtsilä sine nettsider gjør det mulig å hente ut ønsket informasjon rundt generatorsett og fremdriftssystemer (Wärtsilä, u.å.a.).

##### 3.1.2 Generatorsett

Om bord i forsyningsfartøyene vi har sammenlignet i denne oppgaven er det utstyrt to hovedmaskiner fra Wärtsilä med betegnelsen 6L34DF på 2510 kW. Dette generatorsettet har seks sylindere plassert i rekke, med en motorhastighet på 720 rpm. Disse generatorsettene har mulighet for å driftes på tungolje, diesel og LNG. I tillegg er fartøyene utstyrt med hjelpegeneratorer med betegnelsen 6L20DF på 1014 kW. Den eneste forskjellen er at Viking Princess har en mindre hjelpegenerator en Viking Prince. Ifølge den tekniske



Bilde 2 Wärtsilä 6L34DF

informasjonen fra Wärtsilä har også dette generatorsettet seks sylindere plassert i rekke, med en motorhastighet på 1200 rpm. Drivstoffet denne generatoren drives med er diesel og LNG (Wärtsilä, u.å.b.)<sup>1</sup>.

### 3.1.3 DNV

DNV – Det Norske Veritas er et internasjonalt klassifikasjonsselskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering som opererer i over 100 land med hovedkontoret i Norge. DNV utfører analyser, verifisering og valideringstjenester samtidig som de tilbyr opplæring på maritime hybridløsninger. Det er også verdt å nevne at de fleste fartøy som driftes av LNG eller hybridløsninger er klassifisert av DNV, dette gjelder spesielt fartøyer i offshoreflåten (DNV, u.å.a.).

### 3.1.4 Enova

Enova er en norsk statlig organisasjon som baserer seg på å omstille Norge til et lavutslippssamfunn. Organisasjonens formål er å kutte klimagassutslipp og samtidig skape nye næringslivsverdier. De jobber for å skape innovative løsninger og satser fullt på teknologiutvikling, da spesielt innenfor energi og klima. Baktanken er at samfunnet skal ta i bruk teknologien for å nå sine klimamål mot en bærekraftig fremtid. Videre tilbyr organisasjonen en fast støttesats ved installasjon av batteripakker. Dette inkluderer også støtte til landstrømsystemer om bord på fartøyene. Den 30. April 2021 kom det endringer ved støtteordningen, endringene gjaldt en avvikling rundt støtten til forsyningsfartøy (Enova, u.å.a., u.å.b.).

## 3.2 Bruken av batteri

All electric and hybrid ships with energy storage in large Li-ion batteries can provide significant reductions in fuel cost, maintenance and emissions as well as improved responsiveness, regularity and safety (DNV, u.å.b.).

---

<sup>1</sup> For å finne fram til generatorene, klikk på disse verdiene:

1. Diesel electric
2. 60 Hz
3. Gas – LNG
4. 1000kW - 2900kW
5. IMO Tier 3 (Gas) / IMO Tier 2 (liquid)
6. Informasjonen stammer fra motorene: Wärtsilä 6L20DF og Wärtsilä 6L34DF.

Det er mange måter man kan dra nytte av et batteri. Ettersom det er mange forskjellige driftsprofiler på forsyningsfartøy kan det tenkes at det vil være fordelsgivende å bruke batterier i de forskjellige driftsprofiler. Dette skal vi se nærmere på senere, men først finner vi det nødvendig og presentere fire tilfeller for at bruk av batteri kan føre til et godt resultat.

### **3.2.1 Start/stop modus**

Start/stop modusen baserer seg på at man har mulighet for å stenge ned generatorsettene når fartøyet har installert batteripakke og når maskineriet opererer på lav belastning. Denne modusen er vanligvis benyttet i havn eller stand-by. Hensikten går ut på at man bruker generatorsettene til å lade opp batteriet med en belastning som er optimal for maskineriet, slik at drivstofforbruket reduseres. For å videre stenge ned maskineriet slik at batteriet kan ta over fartøyet energibehov. Denne prosessen blir repetert når batteriet nærmer seg utladet. Da starter maskineriet og prosessen gjentar seg. Fartøyet batteritid vil være avhengig av energibehovet, men ligger vanligvis mellom 10 og 30 minutter. Filosofien blir sett på som en bidragsgivende metode for å spare drivstofforbruk for å ikke nevne reduksjon og slitasje på generatorsettene (Mjølhus, 2017, s. 30).

### **3.2.2 Spinning reserve**

På de fleste offshore fartøy som benytter DP vil det være en fordel dersom fartøyet har et energisystem som har redundans. Det som menes med dette begrepet er i utgangspunktet at batteriet i seg selv skal kunne bistå med å gi reservestrøm dersom det er nødvendig. Ved ekstra redundans kjøres det flere generatorer samtidig med relativ lav belastning på en slik måte at det alltid er en eller flere generatorsett som kan ta over dersom det forekommer svikt i PMS (Power management system). Batteriet kan være en god bidragsyter i form av at batteriet kan erstatte et generatorsett om bord dersom det forekommer systemsvikt. På et generelt grunnlag kan vi tenke oss at et batteri har mulighet for å levere energi umiddelbart dersom det trengs (Geertsma et al., 2017).

### **3.2.3 Peak shaving**

Når man opererer med hybridløsninger på fartøy vil det kunne oppstå et kraftbehov som påvirkes av miljøbelastning og kontinuerlig etterspørsel fra generatorsett. Dette fører til at motorene om bord får en ujevn belastningsfrekvens. Hensikten med peak shaving er at batteriet skal kunne ta belastningen ved belastningsvariasjoner for å spare generatorsettene.

Dette prinsippet går i hovedsak ut på at batteriet skal levere strøm i perioder hvor det kreves høy effekt og lades opp når det trengs mindre effekt. Som et resultat av denne kraftfordelingen vil motorene kunne driftes konstant. Fordelene kommer i form av at man får bedre motorytelse, mindre slitasje og reduksjon i drivstofforbruk (Mjølhus, 2017).

### 3.2.4 Landstrøm

Strengt miljøtiltak har siste tiden blitt implementert i de fleste industrier, spesielt i skipsfarten. Vi skal ikke så langt tilbake før det var mye debattering rundt forsyningskip som lå i havn i påvente av nye oppdrag. Tidligere har utslipp vært en sentral faktor i samfunnsdebatten og blitt sett i flere oppslag. Forsyningskip som idag benytter hybriddrift kan gi betydelige reduksjoner når det kommer til drivstofforbruk, vedlikehold og forurensning. Dersom forsyningskip kan driftes ved landstrøm i havneområder kan nedstengning av maskineri gjennomføres. Prinsippet vil henholdsvis fungere som en plug-in hybrid løsning hvor fartøyets batteri fungerer som en lagringsplattform for energi (Enova, 2015, s. 9).

### 3.3 Brennstoffverdier

Brennverdien til fartøyets drivstoff er energien som frigis ved fullstendig forbrenning. For å kunne oppgi og regne på slike verdier benytter man enhetene kJ/kg eller MJ/kg (SNL, 2018). De ulike drivstofftypene som fartøyene benytter har ulike brennverdi. Drivstoffet LNG er bygd opp av ulike gasser som metan, etan, propan, nitrogen og butan. Slike stoffer er med på å påvirke brennstoff verdien til LNG og gir den en brennverdi på 45 MJ/kg (SNL, 2020). Drivstoffet MGO er svært ofte benyttet på fartøy. Dette drivstoffet har en brennverdi på 42,8 MJ/kg (SNL, 2019). Slik vi har lagt fram denne oppgaven i form av kostnader har vi besluttet at det beste var å benytte Wärtsilä sine generatorsett med tanke på tall fra LFO versjonen til utregningene våre. Derfor blir LFO = MGO + LNG for våre utregninger. LFO har en brennverdi på 43 MJ/kg (Global Combustion, 2022).

$$\frac{\text{LNG Brennstoffverdi}}{\text{LFO Brennstoffverdi}} \rightarrow \frac{45 \text{ MJ/kg}}{43 \text{ MJ/kg}} = 1,04 \approx 4\%$$

$$\frac{\text{MGO Brennstoffverdi}}{\text{LFO Brennstoffverdi}} \rightarrow \frac{42,8 \text{ MJ/kg}}{43 \text{ MJ/kg}} = 0,99 \approx 1\%$$

Ut ifra utregningen konkluderes det med at brennverdien til LNG er 4% større enn LFO, mens brennverdien til MGO er 1% mindre enn LFO. Det betyr at vi må benytte fartøyene sitt drivstofforbruk av tonn LNG og tonn MGO. Vi gjør dette om til et tonn LFO forbruk for å sammenligne utregningen som skal gjennomføres:

Tabell 1 Reelt forbruk for Viking Prince og Viking Princess 2021

Brennstoffvariant	Viking Prince	Viking Princess
LNG	929 tonn	1063 tonn
MGO	1228 tonn	1273 tonn
<b>Total</b>	<b>2157 tonn</b>	<b>2336 tonn</b>

$$\text{Fuel}_{\text{LFO}} = \frac{45 \text{ MJ/kg} * [\text{tonn LNG}] + 42.8 \text{ MJ/kg} * [\text{tonn MGO}]}{43 \text{ MJ/kg}}$$

Viking Prince

$$\text{Fuel}_{\text{LFO}} = \frac{45 \text{ MJ/kg} * 929 \text{ tonn} + 42.8 \text{ MJ/kg} * 1228 \text{ tonn}}{43 \text{ MJ/kg}} = 2194,5 \text{ tonn}$$

Viking Princess

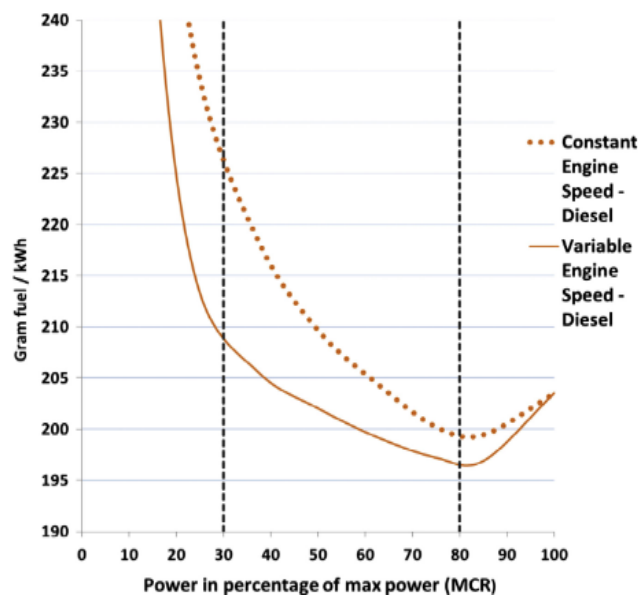
$$\text{Fuel}_{\text{LFO}} = \frac{45 \text{ MJ/kg} * 1063 \text{ tonn} + 42.8 \text{ MJ/kg} * 1273 \text{ tonn}}{43 \text{ MJ/kg}} = 2379,5 \text{ tonn}$$

Grunnen til at vi bruker dette er fordi rederiet har oppgitt forbruket av drivstoff i tonn LNG og tonn MGO. Wärtsilä oppgir drivstofforbruket i gram LFO g/kWh. Når vi bruker tallene fra Wärtsilä i utregningene får vi drivstofforbruket i tonn LFO. For å kunne sammenligne drivstofforbruket oppgitt fra rederiet må vi regne det om til hva det ville tilsvart hvis rederiet hadde brukt LFO.

### 3.4 Drivstofforbruk

Drivstofforbruket per produserte kWh vil variere med hensyn på belastning av turtall på dieselmotoren. Figur 3 i denne del viser en typisk sammenheng mellom drivstofforbruket og belastning av dieselmotoren.

Vi kommer til å ta utgangspunkt i dette diagrammet når vi senere presenterer et egenprodusert diagram for dieselmotorene på Viking Prince og Viking Princess.



Figur 3 Viser spesifikt drivstofforbruk (gram drivstoff/ kWh) som en funksjon av belastningen av dieselmotoren. Prikket linje gjelder for en dieselmotor med konstant drivstofforbruk. Heltrukket linje gjelder for en dieselmotor med variabelt turtall. Figuren

#### 3.4.1 Formel til drivstoffberegning

Videre i artikkel til Lindstad et al. fant vi forskjellige formler som ville være av relevanse. Vi så oss ut en formel som gjør det mulig å beregne drivstofforbruk (2016). Formel presenteres under:

Enheten F representerer drivstofforbruk, mens de resterende verdiene representerer spesifikk brennstofforbruk ( $K_{fp}$ ) kraftbehov ( $P_i$ ) og tid ( $T_i$ ) i de forskjellige driftsprofilene.

$$F = \sum_{i=1}^n K_{fp} \cdot P_i \cdot T_i$$

Formel 1 Viser formel for utregning av drivstofforbruk. Formel hentet fra (Lindstad et al., 2016, s. 410).

## 4. Metode

I dette kapitlet vil metodevalget for oppgaven presenteres og begrunnes. Metode handler om å frambringe gyldig og troverdig kunnskap om virkeligheten. For at forskningsgruppen skal klare dette må vedkommende ha en klar strategi for hvordan han eller hun skal gå fram.

Denne strategien er selve metoden (Jacobsen, 2021, s. 15). Viktigheten med å velge rett metode er å sikre et tilfredsstillende faglig nivå. Feil valg av metode kan resultere i et ugyldig resultat. Derfor vil det være hensiktsmessig og gå systematisk til verks med forskningsmetode, forskningsstrategi samt fordeler og ulemper. Videre vil det være naturlig for oss å beskrive fremgangsmåte med påfølgende beskrivelse av selve gjennomføringen av metoden.

#### **4.1 Valg av metode**

Ved valg av metode var det vanskelig å konkretisere hvilke metodetilnæringer vi skulle bruke. Hovedfokuset har hele veien vært å sammenligne to fartøy, med få enheter. Samtidig har vi vært avhengig av å innhente tall og statistikk. Valg av metode falt derfor på casestudie som supplementeres med et usystematisk litteratursøk. Bakgrunnen for valg av casestudie handler om at tilnærmingen egner seg godt når man forholder seg til få enheter. Vi kunne inkludert flere fartøy for å få et mer nøyaktig resultat, men dette ville blitt urealistisk med tanke på den tiden vi har til å gjennomføre oppgaven. Casestudie kan være vanskelig å definere, men det som er felles for alle definisjoner er at en slik undersøkelse vektlegger få enheter (Jacobsen, 2021, s. 97). Oppgaven bygger på hybridteknologi som blir sett på som noe relativt nytt innfor skipsfarten. I den forbindelse var det helt avgjørende for oss og finne relevant teori på området som kan belyse tema. Den litterære oppgaven handler om å oppsummere eksisterende litteratur og kunnskap innenfor problemområdet (Dalland, 2012, s. 228).

#### **4.2 Styrker og svakheter sett i metodesammenheng**

Fordelen med å benytte casestudie er at det egner seg godt for å gi detaljerte beskrivelser av det valgte caset. Samtidig gir tilnærmingen en god innsikt mellom objektene som sammenlignes og som det forskes på. Ved bruk av casestudier vil denne formen være bidragsgivende til ny forståelse, og dermed gir den også mulighet for å fremme nye hypoteser og teorier på forskningsfeltet. Begrensninger sett i denne sammenheng vil være å generalisere funn fra en case, fordi det trengs data fra andre sammenhenger og funnene som blir gjort må testes i en bredere sammenheng (Jacobsen, 2021, s. 100). Styrkene til litteraturstudie er at man benytter seg av tidligere forskning og funn. Dette vil være med på å fremme ny kunnskap i form av at vi ser på ulike sammenhenger og andre perspektiver ved å bruke tidligere forskning som en del av analysen. Ser vi på begrensningene derimot kan det stilles spørsmål om litteraturens troverdighet og gyldighet.

### 4.3 Litteratursøk

Litteraturgjennomgangen har vært en utfordrende og tidkrevende prosess da det har vært lite å oppdrive grunnet at tidligere forskning i stor grad har basert seg på miljøgevinsten og ikke kostnadsaspektet. For å finne frem til aktuell teori har vi benyttet oss av Scopus. Dette er en akademisk database som henviser til artikler og forskningstidsskrifter. Vi har gjort usystematiske søk i forskjellige databaser, men vi har prøvd å være bevisst på bruk av søkekombinasjoner, ord og språk. Til å vurdere litteraturen har vi sjekket årstall for utgivelse og lest innholdsfortegnelsen. Dette har vært vesentlig ettersom det er gjort lite funn på kostnadsaspektet rundt hybridinstallasjon. I de aller fleste tilfellene var det Scopus sin database som ga mest treff. Vi brukte søkeord som: «batteries in offshore», «power supply», «battery and hybrid ships». Etter mange runder med lesing og innhenting av vitenskapelige artikler fikk vi hjelp av veileder som er dyktig på området. Vi endte opp med en artikkel som var viktig for videre forberedelser. Denne artikkelen var: «Batteries in offshore support vessels – Pollution, climate impact and economics» av Lindstad et al. (2016).

### 4.4 Utvalg

På bakgrunn av oppgavens omfang og tidsfrist gjorde vi en beslutning på å forholde oss til ett rederi og en kontaktperson. Ettersom vårt forskningsprosjekt har basert seg på installasjon av hybridpakke har det ikke vært nødvendig å involvere flere parter. Kontaktpersonen vi har forholdt oss til er teknisk ansvarlig i rederiet og har gitt oss muligheten til å gjennomføre denne forskningen etter å ha gitt oss nødvendig informasjon om fartøyene.

### 4.5 Forberedelser

For å gjennomføre dette forskningsprosjektet var det nødvendig å innhente seg ny kunnskap rundt hybride fremdriftssystemer. Gjennom nautikkstudiet har det ikke blitt lagt vekt på hybride systemer, verken i undervisning eller generelt. Når det er nevnt var det viktig for oss å lese oss opp på emnet før vi gikk i gang med ytterligere forskning og innhenting av data. Videre gikk vi systematisk til verks for å finne relevante spørsmål vi ønsket å stille rederiet. Viktigheten rundt å gjøre gode forberedelser er i hovedsak for å innhente seg mest mulig relevant informasjon i en tidlig fase. Samtidig kan det tenkes at dette vil være med på å fremheve engasjement hos personen i rederiet som skal gi oss informasjonen vi etterspør.



#### 4.6 Gjennomføring

Vi opprettet kontakt med teknisk ansvarlig i rederiet og kommuniserte over telefon og e-post. I startfasen var det viktig å forhøre oss om det var mulig å bruke Eidesvik AS sine forsyningsskip til sammenligning. For å ikke nevne hensikten med forskningen og hva vi ønsket å belyse. Ved gjennomføring av telefonsamtalen var vi tre personer til stede. Selv om en person ledet samtalen var det fortsatt mulighet for alle å gripe inn dersom noe uklart ble sagt. Fra forberedelsesdelen hadde vi en plan for hvilke spørsmål innenfor de ulike temaene vi ønsket å stille. Det kan være verdt å nevne at kommunikasjonen foregikk for det meste over e-post, da det var spesielt viktig for oss og stille presise og konkrete spørsmål. Det er hensiktsmessig å presentere tallene vi har forholdt oss til og hva de består av:

- Tid i de forskjellige modusene i løpet av ett år (DP, transit eco, transit max, harbour, stand-by og manouver).
- Typisk effektforbruk i de ulike modusene
- Årlig drivstofforbruk og bunkerutgifter (Diesel og LNG) for Viking Prince & Princess.
- Kostnad ved installasjon av batteri.

På et senere tidspunkt fikk vi tilsendt effektbalansen som viser effektforbruket i fem av de seks forskjellige modusene. Videre måtte vi finne motorens drivstofforbruk under ulik belastning. Denne informasjonen hentet vi fra Wärtsilä sine nettsider. Wärtsilä har god oversikt på området ettersom de er produsent av motorene på fartøyene vi sammenligner. Etter at nødvendig data var innhentet kunne vi foreta beregninger mellom de to aktuelle fartøyene. For at vi skulle kunne gjøre en bearbeidelse av tallene har vi benyttet Microsoft Excel for våre utregninger. Grunnen for valg av regneprogram ble tatt på grunnlag av at det gir god oversikt og sparte oss for mye tid.

#### 4.7 Oppsummering

For å besvare oppgavens problemstilling: *Hvordan vil rederiene kunne redusere kostnader ved installasjon av batteripakker på sine fartøy?* har det blitt valgt casestudie som forskningsstrategi med usystematisk litteratursøk som tilnærming. Dette kapittelet har tatt for seg hvordan man gjennomfører en oppgavegjennomgang fra start til slutt med å se på forskjellige forskningsstrategier og fremgangsmåter. På bakgrunn av samlet data fra Eidesvik AS samt Wärtsilä har datainnsamlingen vært betydelig, og det har vist seg å være utfordrende

og bearbeide tallene opp mot problemstillingen. For å studere drivstoff besparelse med start/stop strategi eller med spinning reserve har casestudiet blitt valgt i denne oppgaven. For å belyse besparelsen med peak shaving og landstrøm har vi gjort et usystematisk litteratursøk.

## 5. Resultat

I dette kapitlet vil vi presentere data som vi fått tilsendt fra Eidesvik AS og data innhentet fra Wärtsilä sine nettsider, samt utregninger vi har gjort på basis av disse dataene. Vi har valgt oss ut seks driftsprofiler som er relevante for de funnene vi ønsker å belyse. I utregningen har vi tatt utgangspunkt i Lindstad sin modellbeskrivelse for utregning av drivstofforbruk.

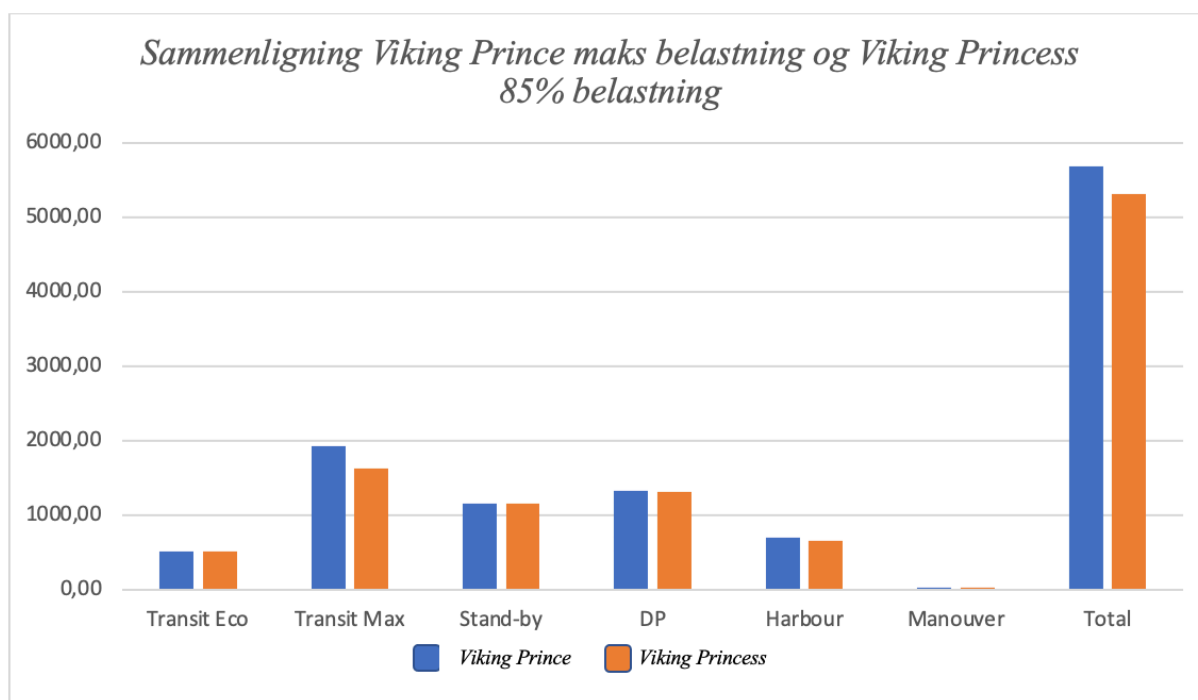
Før presentering vil vi presisere at vi har tatt utgangspunkt i seks forskjellige driftsprofiler. Disse profilene vil bli presentert i dette kapitlet og viser statistikk over hvor mye drivstoff fartøyene bruker i de forskjellige driftsprofilene i løpet av ett år. I disse beregningene har vi ikke omgjort de reelle forbrukstallene om til LFO grunnet at det utgir liten forskjell (< 2%). For å kunne foreta en best mulig sammenligning har vi sett oss nødt til å bruke Viking Prince sine årlige timer for begge fartøy i hver driftsprofil for å kunne dra sammenligningen.

Vi ønsker i denne omgang å ha dynamisk posisjonering, harbour og transit som hovedfokus i tillegg til total årlig kostnad. Det vi ønsker å oppnå ved å se på disse driftsprofilene er hvilke faktorer som er bidragsgivende til drivstoffsparing og reduserte vedlikeholdskostnader.

## 5.1 Viking Prince og Viking Princess beregnet drivstofforbruk sammenligning

Tabell 2 Sammenligning av beregnet drivstofforbruk ved maks belastning på Viking Prince og 85% belastning med start/stop strategi på Viking Princess.

Driftsprofil	Viking Prince beregnet forbruk	Viking Princess beregnet forbruk
	[tonn]	[tonn]
Transit eco	524,07	521,39
Transit max	1931,38	1627,24
Stand-by	1164,60	1158,64
DP	1328,85	1314,48
Harbour	702,01	655,73
Manouver	29,96	29,80
<b>Total</b>	<b>5680,87</b>	<b>5307,29</b>

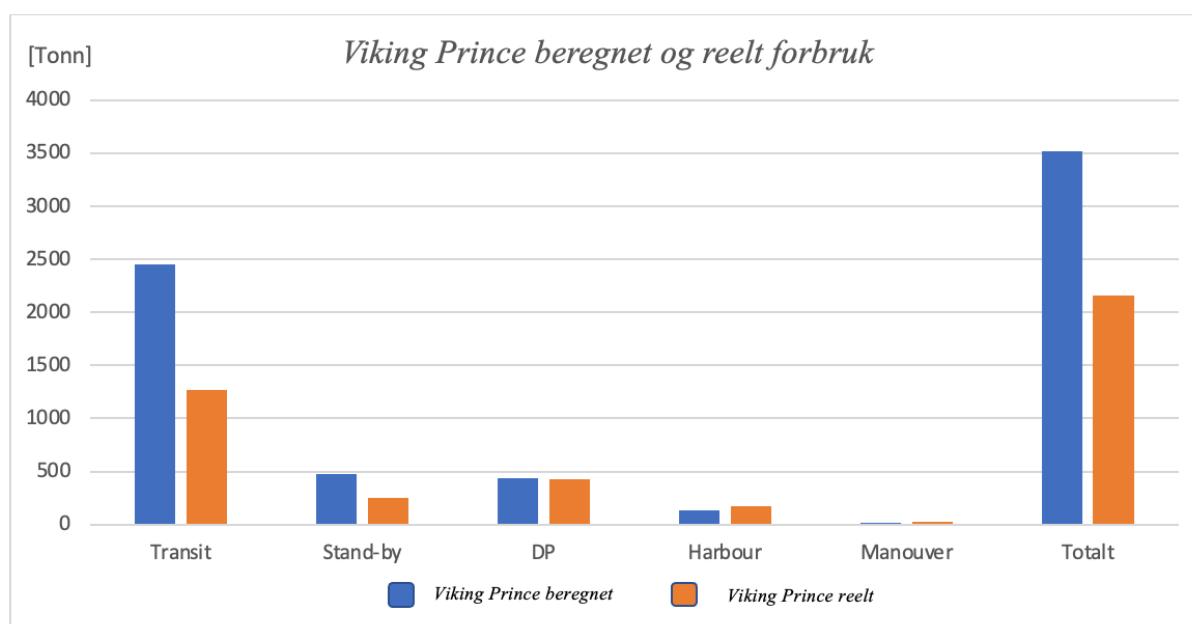


Figur 4: Sammenligning av beregnet forbruk ved maks belastning på Viking Prince og 85% belastning med start/stopp strategi på Viking Princess. Vi ser mest besparelse i transit max grunnet et generatorsett mindre på Viking Princess. Ser også 2 % besparelse i DP ved start/stop strategi i harbour. Total årlig besparelse på 7%

## 5.2 Viking Prince beregnet gjennomsnitt drivstofforbruk og reelt drivstofforbruk sammenlignet

Tabell 3 Sammenligning av Viking Prince beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk fra Eidesvik i løpet av et år. Det reelle forbruket er slått sammen av LNG og MGO og grunnet lite differanse vil det stå som LFO i beregnet og reelt forbruk.

Driftsprofil	Viking Prince beregnet forbruk [tonn]	Viking Prince reelt forbruk [tonn]
Transit (eco+max)	2457,17	1271,00
Stand-by	477,23	255,00
DP	434,68	431,00
Harbour	138,09	178,00
Manouver	15,01	22,00
Total	3522,18	2157,00

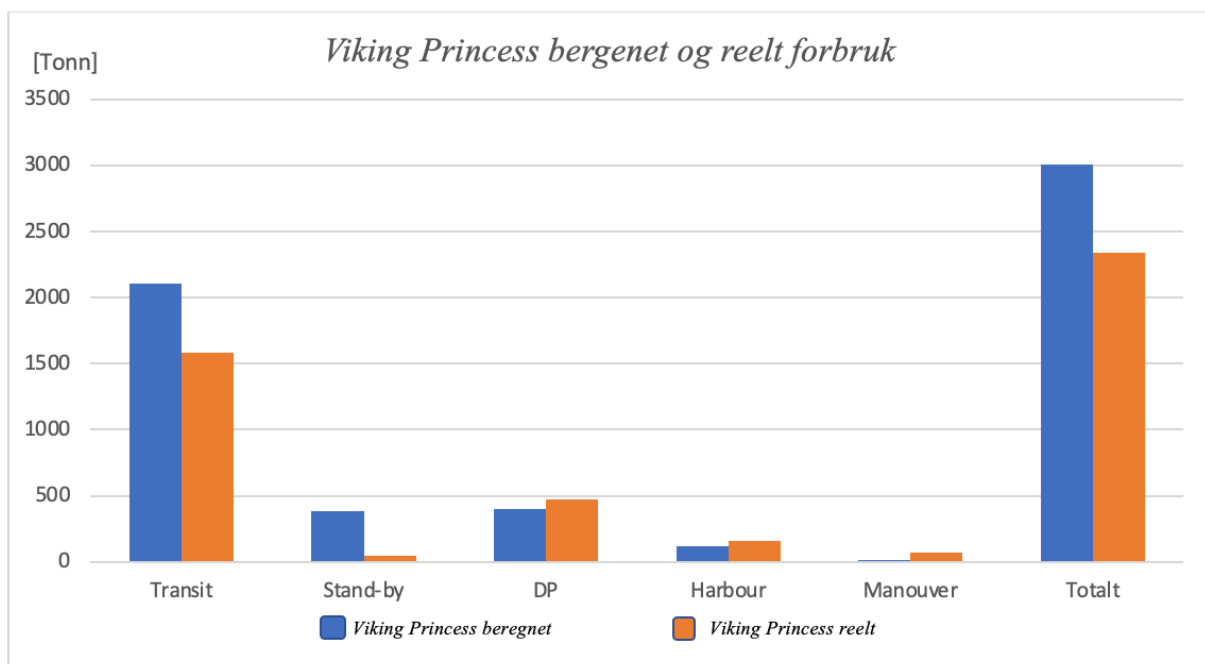


Figur 5 Sammenligning av Viking Prince beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk. Se diskusjonsdel for beskrivelse.

### 5.3 Viking Princess beregnet gjennomsnitt drivstofforbruk og reelt drivstofforbruk sammenlignet

Tabell 4 Sammenligning av Viking Princess beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk fra Eidesvik i løpet av et år. Tidsbruk tatt i Viking Princess sin oppgitte tid i de forskjellige driftsprofilene i løpet av et år. Det reelle forbruket er slått sammen av LNG og MGO og grunnet lite differanse vil det stå som LFO i beregnet og reelt forbruk

Driftsprofil	Viking Princess beregnet forbruk [tonn]	Viking Princess reelt forbruk [tonn]
Transit (eco+max)	1957,40	1584,00
Stand-by	381,78	48,00
DP	473,21	474,00
Harbour	118,08	160,00
Manouver	0,01	70,00
Total	2930,48	2336,00

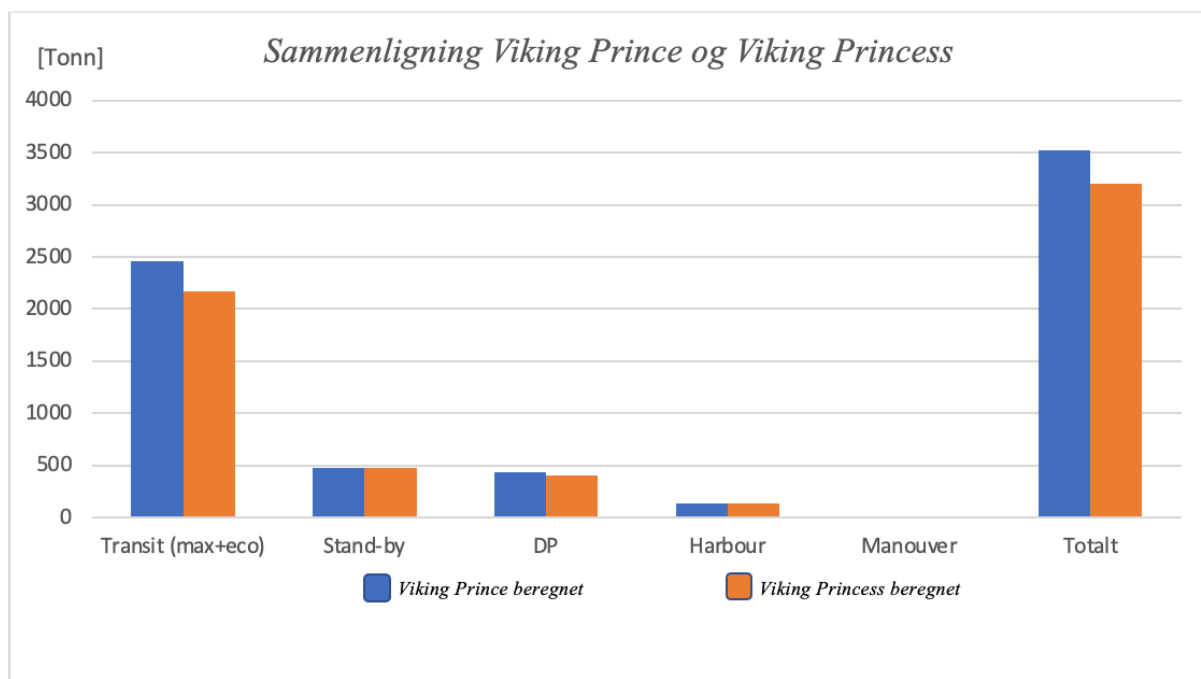


Figur 6 Sammenligning av Viking Princess beregnet gjennomsnittsforkbruk og oppgitt reelt forbruk. Se diskusjonsdel for beskrivelse.

## 5.4 Viking Prince og Viking Princess beregnet gjennomsnitts drivstofforbruk sammenlignet

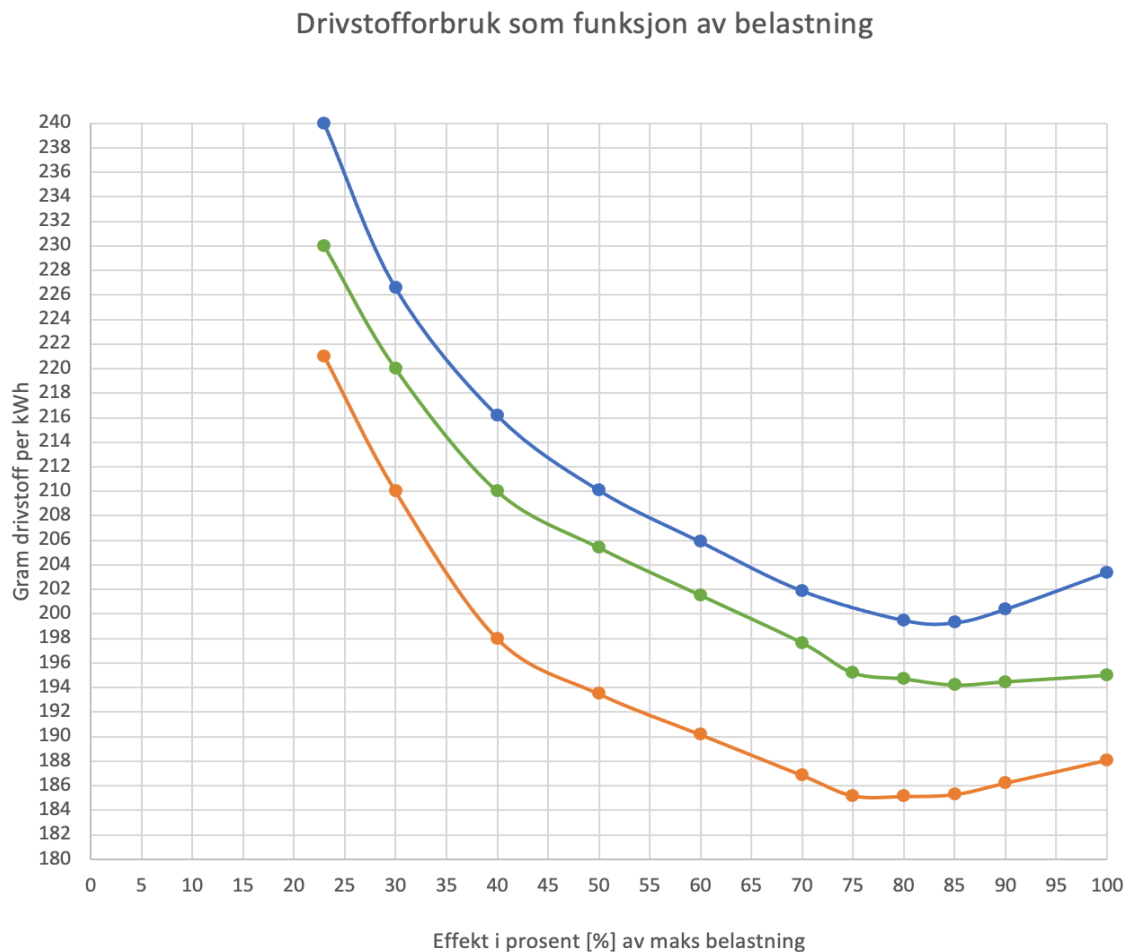
Tabell 5 Sammenligning av Viking Prince (tabell 3) og Viking Princess (tabell 4) beregnet gjennomsnittsforkbruk ved bruk av batteri.

Driftsprofil	Viking Prince beregnet forbruk [tonn]	Viking Princess beregnet forbruk [tonn]
Transit (max+eco)	2457,17	2170,92
Stand-by	477,23	477,23
DP	434,68	398,49
Harbour	138,09	139,17
Manouver	15,01	15,01
<b>Total</b>	<b>3522,18</b>	<b>3200,82</b>



Figur 7 Sammenligning av Viking Prince og Viking Princess beregnet gjennomsnitt drivstofforbruk. For sammenligningens skyld er forbruket på Viking Princess beregnet med tidene til Viking Prince. Totalt drivstoff besparelse i løpet av et år ligger på 9%. Besparelsen på Viking Princess finner vi i transit grunnet et generatorsett mindre, og i DP grunnet spinning reserve fra batteriet.

## 5.5 Drivstofforbruk som funksjon av belastningen



Figur 8 Drivstofforbruk som funksjon av belastning av dieselmotoren. Den blå linjen gjelder for en typisk dieselmotor og er hentet fra (Linstad et al., 2016). Den grønne linjen gjelder for Wärtsilä 6L20DF motoren. Den oransje linjen gjelder for Wärtsilä 6L34DF motoren.

Diagrammet viser drivstofforbruket for Wärtsilä 6L34DF og Wärtsilä 6L20DF motoren. Vi har laget figuren ved å lese av drivstofforbruket for Wärtsilä motorene ved 50 %, 75%, 85% og 100% belastning. For verdiene mellom disse verdiene har vi brukt lineær interpolasjon. For at vi skulle kunne gjøre diagrammet anvendelig for belastninger under 50 % benyttet vi oss av ekstrapolering, dette ved å følge trenden med øyemål som vi ser i linjen for en typisk dieselmotor fra (Lindstad et al., 2016). Da gjaldt følgende prosenttall 23%, 30% og 40%. Dette ble gjort for at variabel linjen skulle følge konstanten til en viss grad (Wärtsilä, u.å.b.)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> For å finne fram til generatorene, klikk på disse verdiene:

1. Diesel electric
2. 60 Hz
3. Gas – LNG
4. 1170kW - 2900kW
5. IMO Tier 3 (Gas) / IMO Tier 2 (liquid)
6. Informasjonen stammer fra motorene:  
Wärtsilä 6L20DF og Wärtsilä 6L3

### **5.6 Utskiftning av generatorsett til fordel for batteripakke.**

Viking Prince og Viking Princess ble opprinnelig konstruert med fire generatorsett i en diesel/gass-elektrisk konfigurasjon. I 2017 ble det besluttet å skifte ut ene generatorsettet på Viking Princess til fordel for å installere batteri. Resultatet av dette er en betydelig reduksjon av vedlikeholdskostnader. Årlig rutinemessig vedlikeholdskostnader av et generatorsett ligger på rundt 100NOK pr. driftstime, tilsvarende rundt 300 000NOK ved 3000timer/år per generatorsett. Dette er ekskludert større overhalingskostnader. Et batteri har derimot betydelig lavere vedlikeholdskostnader som ligger rundt 30 000NOK årlig, som vil si en 90% reduksjon. Dette kommer av at batteripakker har et minimum med bevegelige deler som slites.

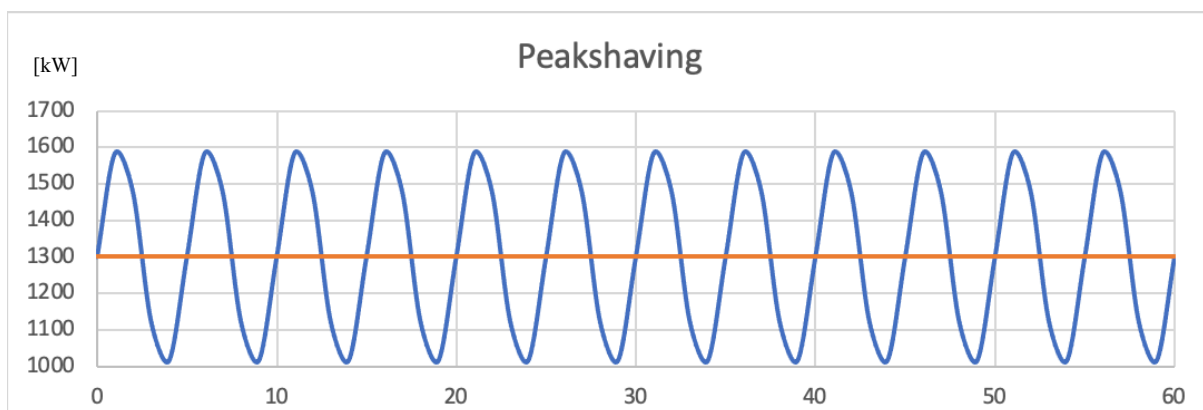
Vi har anslått at det koster rundt 10 000 000NOK å installere et generatorsett kontra installasjon av et batteri som ligger på rundt 20 000 000NOK. Frem til 30. april tilbydde Enova støtteordninger for installasjon av batteriløsning på forsyningskip, men ble etter denne datoen avviklet. På nybygg og fartøy som opplever totalhavari på en generator kan installasjon av batteripakke fremfor et nytt generatorsett være et alternativ, selv etter at Enova støtten har gått ut. Prisforskjellen i dette eksemplet er på 10 000 000NOK. Vi har i denne oppgaven fått oppgitt at et generatorsett koster rundt 300 000NOK i året med normalt vedlikehold. Det vil si at ved installasjon av et generatorsett til 10 000 000NOK vil det ta ca. tre år og fire måneder å ta igjen utgiften til en batteripakke. Etter det vil vedlikeholdsutgiften til generatorsettet fortsette og muligens øke grunnet alder på generatorsettet, mens batteripakken ligger på rundt 30 000NOK i året på vedlikehold. Ettersom generatorsett forventes å vare lengre en tre år og fire måneder kan batteri være det mest lønnsomme alternativet i lengden. Usikkerheten med installasjon av batteripakke er derimot levetiden til batteriet. Levetiden til en slik type batteri er ikke så mye forsket på.

Utfordringene med å installere batteri på skip som opprinnelig ikke var konstruert for batteriløsninger vil møte store utfordringer både teknisk og økonomisk ved installasjon. På forsyningsfartøy med diesel/gass-elektrisk løsning vil installasjonen være lettere gjennomførbart. Viking Prince og Viking Princess er utstyrt med et system som heter Wärtsilä LLC som er beskrevet i systembeskrivelsen i denne oppgaven. Dette systemet som allerede er designet for batteriinstallasjon gjør installasjonen lettere og mer kostnadseffektiv.



### 5.7 Batteri under DP operasjoner

Et forsyningskip er som kjent utstyrt med dynamisk posisjonering som bruker thrustere til å holde posisjonen sin automatisk. Under krevende værforhold vil det medføre store svingninger i kraftbehovet for å kunne holde posisjonen. På et skip som Viking Prince uten batteripakke vil det da være nødvendig å regulere belastningen på motorene ettersom behovet endrer seg. Dette medfører økt drivstofforbruk og slitasje på motorene. På et fartøy som Viking Princess som har batteripakke vil det derimot være mulig å utføre peak shaving ved hjelp av batteriet.



Figur 9 Peak shaving. Egenprodusert.

Når Viking Princess benytter peak shaving ved hjelp av batteriet vil det si at generatorsettene går med en konstant belastning. I figur 9 viser den oransje linjen at generatorsettene går på en konstant belastning på 1300kW. Den blå kurven viser svingningene i belastningen som kan komme av vær- og vindforhold. Det som skjer i figur 9 når kurven går over 1300kW er at batteriet vil ta den ekstra belastningen over 1300kW. Når kurven beveger seg under 1300kW vil den overflødig energi fra generatorsettene brukes til å lade batteriet. Med denne strategien reduseres belastningen på generatorsettene slik at slitasje minimeres, dernest lavere årlig vedlikeholdskostnader.

Et krav for et DP-2 fartøy slik som Viking Prince og Viking Princess er at de skal kunne holde posisjonen sin ved en svikt (single point failure). Det vil i praksis si at de alltid må ha minimum to generatorsett gående for å ha en redundans hvis en generator skulle svikte. Dette kan være ugunstig med tanke på drivstofforbruk under fine værforhold hvor kraftbehovet er lavt, og begge motorene går med lav belastning. Løsningen her er å bruke batteriet som en spinning reserve. Det betyr at det er kun nødvendig med en generator i gang som kan gå på en høyere belastning og dermed mer effektivt, for så å bruke batteriet som redundans en kort tid ved bortfall av et generatorsett. Dette vil også medføre færre driftstimer på motorene og

dermed lavere vedlikeholdskostnader. I forsøket vårt med spinning reserve på Viking Princess har vi sett at det er mulig å redusere til en hovedmotor som kan kjøres på 60% belastning fremfor to hjelpemotorer. Dette viser seg til en besparelse på 36,6 tonn i året, tilsvarende ca. 9%. Se tabell 5 og figur 7.

### **5.8 Batteri under transit**

I denne oppgaven har vi delt opp driftstypen transit i to, transit eco og transit max. I tallene vi har fått oppgitt vises det til den maksimale effekten motorene kan yte og det er dette vi har som utgangspunkt for den maksimale hastigheten Viking Prince og Viking Princess kan oppnå. De oppgitte tallene sier at for å oppnå maksimal hastighet må alle fire generatorsett belastes på 92%, noe som tilsier et relativt høyt drivstofforbruk og er dermed lite økonomisk å bruke i lengden. For å beregne økonomifart har vi brukt forholdet mellom effektforbruk i transit eco og effektforbruk ved maksfart i Lindstad et al. (2016) sitt eksempel. Vi fant da at effektforbruket i transit eco for våre fartøy ligger på 55% av effektforbruket ved maks fart. Denne driftsprofiler gir da rundt om 2/3 besparelse i årlig forbruk for begge fartøy. Se tabell 2 og figur 4.

Vi vil vise frem til to forsøk med to strategier for drivstoffbesparelse i transit eco. Det ene er hybriddrift med start/stop strategi. Det andre er hybriddrift med peak shaving.

I første forsøk bruker vi Viking Prince som utgangspunkt på drivstofforbruk beregnet i transit eco da den ikke har batteri. I forsøket på Viking Princess har vi gjort et forsøk på å beregne forbruket ut ifra at vi har to hovedmotorer på konstant 85% belastning da dette er vist å være det mest effektive i forhold til drivstofforbruk og ytelse. Strategien er at begge hovedmotorene går til batteriet er ladet opp for å så stoppe den ene motoren slik at batteriet tappes. Når det har da gått en nedtappingsperiode på ca. 15 minutter vil motoren starte igjen og lade batteriet. I forsøket viste det frem til kun 2.7 tonn besparelse i året (tabell 2). Her er det også usikkerhet siden forbruk ved oppstart av motor ikke er tatt med i beregningen, og heller ikke andre forhold som vær og vind.

I det andre forsøk i transit eco belastet vi motorene på Viking Princess akkurat nok til å kunne drive fartøyet. Da ligger motorene på 71% belastning, noe som medfører mindre effektivitet, men av minimale proporsjoner. Her er det utfordrende å gjøre beregninger, men vi kan gå ut ifra at motoren går med en konstant belastning og resonnerer oss frem til at batteriet tar belastningen på toppene på grafen og lades i bunnen av grafen (Peak shaving figur 9). Det medfører lavere forbruk da motoren slipper å aktivt regulere belastningen og får mindre slitasje som medfører sparte utgifter i lengden.

### 5.9 Batteri ved landligge

Et forsyningskip ligger store deler av året ved land. Dette under laste/losse operasjoner og under venting. Ved landligge er kraftbehovet lavt som igjen reduserer effektiviteten på generatorsettene. I denne oppgaven har vi sammenlignet Viking Prince og Viking Princess ved landligge hvor vi har gjort beregninger av drivstofforbruk. Som vist i tabell 2 har vi beregnet med utgangspunkt at fartøyet går med maks oppgitt belastning og ser da Viking Prince har et teoretisk forbruk på 702 tonn i året. I sammenligningen har vi brukt en start/stop strategi hvor et generatorsett starter når batteriet nærmer seg utladet og går med 85% belastning til batteriet er fulladet for så å stoppe motoren igjen. Dette ga oss et resultat på rundt 8% besparelse i drivstoff i harbour. Se tabell 2 og figur 4

Et alternativ ved landligge er å bruke landstrøm som energikilde. Da lades batteriet fra land og det vil ikke være nødvendig å ha generatorsett i gang. Da har vi null drivstofforbruk i denne perioden. Og slik som ved Viking Prince og Viking Princess som hadde oppgitt landligge mellom 28% - 33% av tiden i løpet av et år, vil det gi betydelige besparelser i drivstoff. Noe som derimot må tas i betraktning ved beregning av utgifter er strømprisene.

$$\text{NOK/kWh} = \text{Drivstoffpris} \left[ \frac{\text{NOK}}{\text{kg}} \right] * \text{spesifikt drivstofforbruk} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \right] * 1/1000 \text{ kg}$$

Ved å bruke denne formelen kan vi beregne om det lønner seg å bruke landstrøm. Ut ifra vårt eksempel ligger drivstoffprisen på 17NOK/kg, spesifikt drivstofforbruk på 194,2g/kWh når vi går med en hjelpemotor ved land. Resultatet blir da 3,3NOK/kWh. Det vil si at hvis strømprisen er lavere 3,3NOK/kWh vil det lønne seg å gå med landstrøm. Er prisen høyere vil det lønne seg å gå med et generatorsett.

### 5.10 Årlig total kostnad

Totalt sett er det vanskelig å kunne sammenligne to fartøys drivstofforbruk. Dette kommer av mange faktorer slik som forskjellige vær- og vindforhold, arbeidsmengde, seilingsruter og navigatører. Ut ifra de reelle tallene vi har fått oppgitt har Viking Princess et høyere årlig forbruk selv med batteripakke, for å sammenligne har vi brukt Viking Prince sine årlige timer i hver driftsprofil med Viking Princess sine tekniske spesifikasjoner i Viking Princess sin beregning. Ut ifra beregningene våre tilsies det at drivstofforbruket har gått ned 9% ved utskiftning av generatorsett til fordel for batteri. Her er det viktig å bemerke seg at i den beregningen har Viking Princess nesten 15% mindre maskinkraft grunnet et generatorsett mindre. Besparelsen vi ser er i transit max kommer av mindre maskinkraft og dermed en lavere toppfart. Det vil være mulig å nå opprinnelig toppfart på Viking Princess, men kun i kortere perioder grunnet batteriets kapasitet.

Grunnen til at vi ikke ser større besparelse i drivstofforbruk kan sees i sammenheng med termodynamikkens første hovedsetning som sier at energi ikke kan oppstå eller forsvinne. Siden batteriet ikke kan danne energi, men kun oppbevare det motorene genererer så er det tydelig at drivstoff må forbrennes for å kunne dekke energibehovet. Den besparelsen vi ser derimot er effektiviseringen av energiproduksjonen på generatorsettene ved peak shaving og ved spinning reserve.

Ved peak shaving reduseres slitasjen ved belastningsendringer på generatorsettene. Det igjen vil føre til lavere vedlikeholdskostnader. Det samme gjelder for spinning reserve hvor det er gjort mulig å stoppe et generatorsett som ellers måtte vært i gang grunnet DP krav. Det gir lavere driftstimer som fører til mindre slitasje. I vårt eksempel er det gjort mulig ved spinning reserve å stoppe et generatorsett. Sett da i løpet av et år ligger Viking Princess ca.1664 timer på DP. Det med to generatorsett tilsvarer 166 400NOK i vedlikehold hvis det beregnes 100NOK pr. driftstime. Ved å gå fra to generatorsett til en i denne driftsprofilen vil det kunne medføre en 50% reduksjon i utgifter som tilsvarer 83 400NOK i vedlikeholdsutgifter kun i DP. I tillegg kan større overhalinger utsettes grunnet lavere driftstimer per generatorsett årlig.

## 6. Diskusjon

I dette kapittelet skal vi diskutere lønnsomheten med hybridinstallasjon. Vi skal se på hvordan driftsprofilene påvirkes i positiv eller negativ grad med tanke på bruk av batteri. Videre skal vi diskutere de fire punktene som nevnt i delkapittel 1.2 for å se om disse temaene er bidragsgivende til kostnadsreduksjon. Avslutningsvis vil vi diskutere styrker og svakhetene rundt tall og litteratur vi har benyttet for vårt resultat.

### 6.1 Start/stop modus

Ettersom vi har sammenlignet to fartøy med og uten batteripakke har dette medført noen klare skillelinjer for temaene vi ønsker å belyse. Vi kan starte med å se på gevinsten ved bruk av start/stop modus på Viking Princess. Funnene vi har gjort har vist at modusen gir fordeler ved harbour og stand-by. For det første kan fordelene bli sett på som at modusen egner seg godt ved kailigge og stand-by ettersom generatorsettene kan stoppes så lenge batteriet kan levere tilstrekkelig energi til å drifte fartøyets energibehov. For det andre vil modusen være med på å redusere driftstimene på generatorsettene, som igjen er fordelsgivende for vedlikeholdskostnader. Når vi derimot ser på bruken av start/stop i andre moduser var ikke prosentandelen betydelig fordelsgivende ettersom fartøyet opererer med høy belastning ved andre operasjoner, som DP, transit og manouver. Til tross for dette er start/stop modusen i stor grad med på å redusere drivstoffkostnader, dette kommer også til syne gjennom våre beregninger hvor vi kom fram til en årlig drivstoffbesparelse på rundt 7% ved bruk av start/stop modus. Vi har ikke tatt hensyn til slitasje ved termisk ekspansjon og kontraksjon ved start og stopp av generatorsettene.

### 6.2 Spinning Reserve

Ved spinning reserve er det mulighet for å unngå kravet om to generatorsett ved DP å heller bruke batteriet som redundans. Fordelene rundt spinning reserve er redusert belastningen på generatorsettene. Det i kombinasjon med reduserte driftstimer grunnet færre generatorsett i gang som resulterer i lavere årlige vedlikeholdskostnader. I våre beregninger rundt start/stop modus i DP ser vi at batteriet kan holde fartøyet i posisjon i ca. 30 minutter. Det er god nok tid til å få startet et nytt generatorsett eller få flyttet fartøyet vekk fra farer.

### 6.3 Peak Shaving

Det vil være vanskelig å anslå hvor mye et fartøy vil spare ved bruk av peak shaving. Dette grunnet at fartøy går med forskjellig last, men også forskjellige generatorsett som kan ha en innvirkning for mye en vil spare i drivstoff. I denne oppgaven har vi ikke gjort konkrete beregninger rundt besparelse ved peak shaving. Dette kommer av at det er krevende å gjøre beregninger grunnet forskjellige belastninger, samt værforhold som vi ikke har tatt i betraktning i denne oppgaven. Når det er sagt, blir peak shaving sett på som fordelsgivende. En av grunnene for dette er at peak shaving vil kunne ta de ujevne variasjonene for å spare generatorene, så lenge batteriet er koblet opp mot en generator. En annen grunn vil være at når peak shaving brukes for å ta de ujevne variasjonene vil dette være bidragsgivende for å eliminere belastningsvariasjoner som fører til mindre slitasje og lavere drivstofforbruk.

Det er spesielt en faktor som går igjen på de fleste punktene som diskuteres og det er kostnadsreduksjon. Alle punktene er bidragsyttere for å kunne redusere bruken på generatorsettene, peak shaving er et eksempel på dette. Det vil være nødvendig å påpeke at peak shaving alene ikke fører til betydelig kostnadsreduksjon. Det er batteribruken samlet med alle de andre modusene (start/stop, spinning reserve, peak shaving og landstrøm) som gir gevinster på sikt. Dessuten ser vi at bruken ikke alltid egner seg like godt for alle driftsprofilene, tvert imot er bruken særlig sentrert inn mot enkelte operasjoner som går over lengre tid slik som DP og transit. Det er derfor viktig å ikke bare se på et tilfelle som kostnadsreduserende, men å se på bruken av batteri som en helhet.

### 6.4 Landstrøm

Landstrøm i seg selv er en faktor som mange benytter seg av ettersom at dette reduserer slitasjen og drivstofforbruket på generatorsettene. Bruken av landstrøm er begrenset ettersom det kun er mulig å benytte dette når fartøyet er fortøyd til kai. En annen begrensning er at ikke alle kaianlegg er utrustet med landstrømsfasiliteter. Selv om kaianlegget er utrustet med landstrøm er det også et usikkerhetsmoment om landstrømmen kan levere nok energi til å drive tyngre utstyr ombord slik som kraner og vinsjer. Videre er det opp til rederiet og kundene om de vil benytte seg av landstrøm med tanke på kostnader. Vi har regnet på prisen rundt strøm kontra drivstoff og ved å følge med på prisendringene vil man kunne spare betraktelige summer rundt drift og vedlikehold ved å benytte seg av denne muligheten.

## 6.5 Svakheter og styrker rundt egen forskning

I denne oppgaven har vi brukt litteratur og gjort beregninger rundt om det vil lønne seg å installere batteripakke. I den forbindelse ønsker vi å belyse noen svakheter rundt egen forskning. Vi fikk tilsendt data fra Eidesvik AS som viser tall over antall generatorsett, kilowattimer og belastning i de forskjellige driftsprofilene. Det er noe usikkerhet knyttet til validiteten av dataen vi har brukt, ettersom disse tallene rundt belastningene er basert på et nybygg. Videre kan vi være kritiske til om maks ytelsen som er oppgitt i tallene vi har fått kan forventes i de forskjellige driftsprofilene hele tiden. Dette er grunnen for at vi har gjort beregninger på maks ytelse og i tillegg gitt et estimat på gjennomsnittsyttelse.

I beregningen av gjennomsnittsforsbruk har vi måtte anta hvilke generatorsett som blir brukt i de forskjellige driftsprofilene. På Viking Princess og Viking Prince er det installert henholdsvis tre og fire generatorsett med to forskjellige motorkapasiteter. I beregningene våre har vi valgt å bruke de generatorsettene som gir det beste drivstofforbruket i de forskjellige driftsprofilene, men dette stemmer muligens ikke overens med reell praksis. Dette kan ha utslag for drivstofforbruket i resultatet.

Som tidligere nevnt har vi brukt Lindstad et al. (2016) og tatt utgangspunkt i denne artikkelen for å finne verdier for gjennomsnittlig effektforsbruk i transit eco. Dette har vi gjort ved å se på hvor stor andel gjennomsnittseffekten utgjør av max effekten hos Lindstad et al. (2016). Vi har så brukt denne andelen til å regne ut gjennomsnittseffekt i transit eco fra max effekten (for transit) oppgitt fra Eidesvik AS. Begrunnelsen for dette er at vi ikke fikk oppgitt data for gjennomsnittsverdier for transit eco. Når det er sagt har ikke dette estimatet vært helt nøyaktig med tanke på fartøyene vi har sammenlignet. Den største svakheten kan mulig bli sett på som manglende informasjon rundt kilowattimer for hver driftsprofil, tallene vi har brukt er teoretiske og ikke målte verdier som vi har fått fra rederiet.

Resultatets styrker vil være at vi har oppnådd omtrentlig lik trend i de forskjellige driftsprofilene mellom de reelle tallene og våre beregninger, med noen få avvik som må tas i betraktning med svakheterne som er presisert. Se figur 5 og 6.

## 7. Konklusjon

### 7.1 Hovedfunn

I denne bacheloroppgaven har vi studert i hvilken grad batteriinvestering i offshorefartøy er lønnsomt for rederiene. Vårt utgangspunkt har vært å sammenligne to fartøy med og uten batteripakke. Underveis har vi gjort en vurdering på hva som er bidragivende for reduksjon i kostnader og besparelse av batteriinvesteringen. For å undersøke lønnsomheten har vi gjennomført beregninger mellom fartøyene og sett på forskjellene rundt drivstofforbruk. Vi har sett på om installasjon av batteripakke er lønnsomt på lang sikt med tanke på vedlikeholdskostnader. I tillegg har vi diskutert batteribruken i de forskjellige driftsprofilene som (DP, transit eco, transit max, harbour, stand-by og manouver). Ut ifra vår problemstilling: *Hvordan vil rederiene kunne redusere kostnader ved installasjon av batteripakker på sine fartøy?* har vi gjort følgende funn:

Beregningene vi har gjort peker på at utskiftning av et generatorsett med batteripakke på offshore fartøy bidrar til drivstoffreduksjon, spesielt var det besparelse i DP hvor det er mulig å bruke batteripakke som spinning reserve som bortimot halverer drivstofforbruket og halverer driftstimer på generatorsettene. I tillegg er det mulig å bruke peak shaving hvor batteriet tar seg av belastningsendringene slik at generatorsett(ene) kan holde en konstant belastning som gjør at drivstofforbruket optimaliseres og slitasjen på generatorsettene reduseres. I driftsprofilen DP ser vi 9% besparelse årlig ved bruk av batteri som spinning reserve.

Vi ser at fartøy har potensiale for å redusere kostnader ved kailigge (harbour mode). Dette grunnet mulighetene for å kunne stoppe generatorsett. Et alternativ er å bruke start/stop modus på generatorsettet som vi har beregnet til å ha et potensiale på 8% drivstoffreduksjon. Dersom det er mulig å koble seg opp mot landstrøm er det ikke nødvendig å ha generatorsett i gang. Dette medfører et drivstofforbruk lik null og reduserte driftstimer på generatorsett. Her må strømprisene tas i betraktning som vist med formel i denne oppgaven om det er lønnsomt.

Et annet funn som var interessant, er tidsperioden det tar å nedbetale batteriet, sett opp mot investering av generatorsett. Etter våre antakelser med installasjon vil et generatorsett være rimeligere enn investering av batteri, men vi ser at vedlikeholdskostnadene på en batteripakke



ligger på en tiendedel av et generatorsett som gjør at installasjon av batteri blir lønnsomt etter ca. tre år.

## **7.2 Forslag til videre forskning**

Det er fremdeles elementer som kan belyses i form av lønnsomheten av batteriinstallasjon. Et forslag er å gå mer spesifikt inn på hvor mye peak shaving bidrar til drivstoffreduksjon ved å innhente nøyaktig statistikk fra et forsyningsfartøy i operasjon. Det ville også styrket undersøkelsen dersom det ville vært mulig og innhentet drivstofforbruket fra Wärtsilä sine generatorsett når belastningen varierer dynamisk fra bølgetopp til bølgetopp og vindkast til neste vindkast. Dette for å kunne gjøre beregninger på besparelser som peak shaving gir.

## 8. Litteraturliste

Bray, D. (2008). DP Operator`s Handbook. The Nautical Institute.

Dalland, O. (2012). Metode og oppgaveskriving for studenter (5 utg.). Gyldendal Akademisk.

DNV. (u.å.a.). About us. DNV. <https://www.dnv.com/about/index.html>

DNV. (u.å.b.). Battery and hybrid ships. DNV.

<https://www.dnv.com/maritime/advisory/battery-hybrid-ship-service.html>

DNV GL. (2015, 29. mai). In Focus – The future is hybrid. DNV.

[https://issuu.com/dnvgl/docs/in\\_focus-the\\_future\\_is\\_hybrid](https://issuu.com/dnvgl/docs/in_focus-the_future_is_hybrid)

DNV GL. (2016, 19. desember) DNV GL Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems. DNV. [https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/DNV-GL\\_2016-Handbook-maritime-offshore-battery-systems-report.pdf](https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/DNV-GL_2016-Handbook-maritime-offshore-battery-systems-report.pdf)

DNV GL. (2018, januar). Rules for Classification Ships Part 6 Additional class notations Chapter 2 Propulsion, power generation and auxiliary systems. DNV.

<https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNV/RU-SHIP/2018-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>

Eidesvik. (2017, 30. oktober). Viking Princess. Eidesvik. [https://eidesvik.no/wp-content/uploads/2020/06/VIKING-PRINCESS-OUTLINE-SPECIFICATION-VHJ\\_NOV2017.pdf](https://eidesvik.no/wp-content/uploads/2020/06/VIKING-PRINCESS-OUTLINE-SPECIFICATION-VHJ_NOV2017.pdf)

Eidesvik. (2018, 15. februar). Viking Prince. Eidesvik. [https://eidesvik.no/wp-content/uploads/2020/06/VIKING-PRINCE-OUTLINE-SPECIFICATION-VHJ\\_NOV2017.pdf](https://eidesvik.no/wp-content/uploads/2020/06/VIKING-PRINCE-OUTLINE-SPECIFICATION-VHJ_NOV2017.pdf)

Enova. (u.å.a.). Batteri i fartøy. Enova. <https://www.enova.no/bedrift/sjotransport/batteri-i-fartoy/>

Enova. (u.å.b.). Om Enova. Enova. <https://www.enova.no/om-enova/>

Enova SF. (2015, 30. november). Landstrøm i norske havner. Enova.

<https://www.samfunnsbedriftene.no/media/1537/undersokelse-om-markedsgrunnlaget-for-landstroem-oed-enova-dnv-gl.pdf>

Fossum, Ø. B. & Østervold, M. (2018, 10. desember). Risiko knyttet til operasjoner som gjennomføres ved bruk av fartøy i petroleumsvirksomheten på norsk sokkel. Lloyd's Register.

[https://www.ptil.no/contentassets/80f34312b3254e019800a2d19fba6a49/risiko-ved-fartoyoperasjoner-i-petroleumsvirksomheten\\_rapport.pdf?fbclid=IwAR3Ui20YJeBV710GtWLaPrwoJuQD2dE2iYHLBEL65TmjN66iLEHjyeGrXDC](https://www.ptil.no/contentassets/80f34312b3254e019800a2d19fba6a49/risiko-ved-fartoyoperasjoner-i-petroleumsvirksomheten_rapport.pdf?fbclid=IwAR3Ui20YJeBV710GtWLaPrwoJuQD2dE2iYHLBEL65TmjN66iLEHjyeGrXDC)

Geertsma, R.D., Negenborn, R.R., Visser, K. & Hopman, J.J. (2017, 6. februar). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments.

ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917301940>

Global Combustion. (2022). Oil Fuel Properties. Global Combustion Systems.

<http://www.globalcombustion.com/oil-fuel-properties/>

Helseth, A., Fjose, S. & Jacobsen, E. (2019, 20. august). Grønn maritim Status for omsetning, eksport, sysselsetting og investeringer. Menon Economics.

<https://rederi.no/DownloadFile/?file=314545>

Hofstad, K. (2018, 18. desember). Brennverdi. I Store Norske

Leksikon. <https://snl.no/brennverdi>

Hofstad, K. (2019, 19. juni). Gassolje. I Store Norske Leksikon. <https://snl.no/gassolje>

Hofstad, K. (2020, 17. desember). LNG. I Store Norske Leksikon. <https://snl.no/LNG>

Jacobsen, D.I. (2021). Hvordan gjennomføre undersøkelser? (3. utg.). Cappelen Damm Akademisk.

Lindstad, H. E., Eskeland, G. S. & Riialland, A. (2016, 23. november). Batteries in offshore support vessels – Pollution, climate impact and economics. ScienceDirect.

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916302723?fbclid=IwAR0ROPftTzS6DErwMCxlnJMwo-Y0E2uwG1DFvDtrNGRKBQJFSH\\_wN2ud4oI#b0060](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916302723?fbclid=IwAR0ROPftTzS6DErwMCxlnJMwo-Y0E2uwG1DFvDtrNGRKBQJFSH_wN2ud4oI#b0060)

Mjølhus, L. (2017, 17. juli). Evaluation of Hybrid Battery System for Platform Support Vessels. [Masteroppgave]. Universitetet i Stavanger. <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/handle/11250/2460942>

Paulsen, G. (2022, 13. mars). Det Norske Veritas. I Store Norske Leksikon. [https://snl.no/Det\\_Norske\\_Veritas](https://snl.no/Det_Norske_Veritas)

Phillips, D. F. (1998, 13-14. oktober). Classic Single Point Failures of Redundant DP Systems. Dynamic Positioning Committee. <https://dynamic-positioning.com/proceedings/dp1998/Rphillip.pdf>

Rognsaa, Aa. (2015). Bacheloroppgaven skriveråde og regler for utforming. Universitetsforlaget.

Ruud, M. (2018, 25. desember). Hvordan fungerer litiumholdige batterier? TU Elektrisk. <https://www.tu.no/artikler/hvordan-fungerer-litiumholdige-batterier-br/454352>

van Dokkum, K. (2010). Ship Knowledge (10. Utg.). Dokmar

Wärtsilä. (2015, 2. februar). Wärtsilä LLC System Explained. Wärtsilä. <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/ea/systems/presentation-o-ea-2015-low-loss-concept.pdf>

Wärtsilä. (u.å.a.). Om Wärtsilä i Norge. Wärtsilä. [https://www.wartsila.com/nor/om-oss?fbclid=IwAR1eHrVq03bH6Kk1BPzOij0hqIrMKrgFsDhKRW32cUygsSYUm\\_Z-AZtoDkg](https://www.wartsila.com/nor/om-oss?fbclid=IwAR1eHrVq03bH6Kk1BPzOij0hqIrMKrgFsDhKRW32cUygsSYUm_Z-AZtoDkg)

Wärtsilä. (u.å.b.). Engine Online Configurator. Wärtsilä. <https://www.wartsila.com/marine/engine-configurator>



Vedlegg 1  
Viking Princess

Design	VS489 PSV LNG
Eier	Eidesvik Shipping AS
Operatør	Eidesvik AS
Byggeår	2012
<b>Dimensjoner</b>	
LOA	86,6m
LPP	79,20m
Bredde	21,0m
Maks dypgående	7,61m
Gross ton	5381
Dødvekt	6055
Maks fart/marsj fart	16,5kn/10,0kn
<b>Maskineri</b>	
Hovedmotorer <sup>3</sup>	2x Wärtsilä 6L34DF 2510kW 1x Wärtsilä 6L20DF 1014kW
RPM	
Batteri	Wärstilä ESS/Corvus 511kWh/1380kw
Drivstoff	Diesel/LNG
<b>Fremdrift</b>	
Hoved propellere	2x Steerprop Azimuths SP35CRP 2450kW
Tunnelthruster	2x Brunvoll FU74 LTC 2000 1000kW
Nedsenkbar thruster	1x Brunvoll AR63 LNC 1650 880kW
<b>Dynamisk Posisjonering (DP)</b>	
DP2	K-POS DP-22
Integrated Automation system	Wärstsilä IAS

<sup>3</sup> Tall endret etter tilsendt informasjon via e-post.

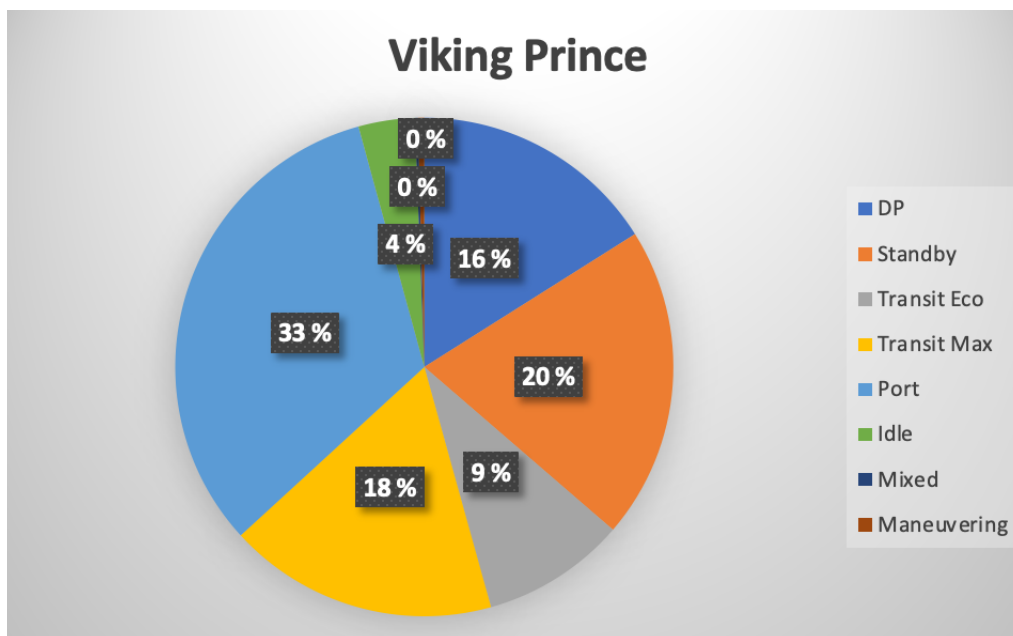


Vedlegg 2  
Viking Prince

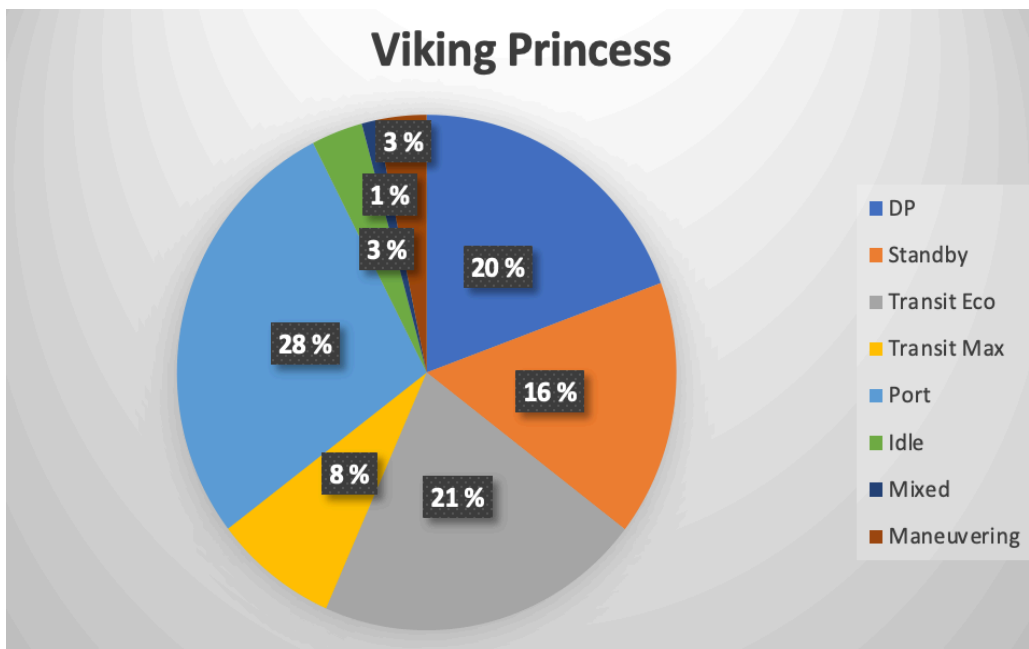
Design	VS489 PSV LNG
Eier	Eidesvik Supply AS
Operatør	Eidesvik AS
Byggeår	2012
<b>Dimensjoner</b>	
LOA	89,6m
LPP	79,20m
Bredde	21,0m
Maks dypgående	7,61m
Gross ton	5321
Dødvekt	6149
Maks fart/marsj fart	16,5kn/10kn
<b>Maskineri</b>	
Hovedmotorer <sup>4</sup>	2x Wärstila 6L34DF 2510kw 2x Wärstila 6L20DF 1014kW
RPM	
Batteri	N/A
Drivstoff	Diesel/LNG
<b>Fremdrift</b>	
Hoved propellere	2x Steerprop Azimuths SP 35CRP 2450kW
Tunnelthruster	Brunvoll FU74 LTC 2000 1000kW
Nedsenkbar thruster	Brunvoll AR63 LNC 1x880kW
<b>Dynamisk Posisjonering (DP)</b>	
DP2	K-POS DP-22
Integrated Automation system	Wärstila IAS

<sup>4</sup> Tall endret etter tilsendt informasjon via e-post.

Vedlegg 3  
 Gjennomsnittlig tid i ulike driftsprofiler på Viking Prince ila. ett år



Vedlegg 4  
 Gjennomsnittlig tid i ulike driftsprofiler på Viking Princess ila. ett år



## Vedlegg 5

## Sammenligning Viking Prince under maks belastning og Viking Princess under 85% belastning og start/stopp modus

## Viking Prince maks belastning

Maskiner	Mode	Effekt [kW]	HVM	AUX	kfp HVM [g/kWh]	kfp AUX [g/kWh]	Belastning	Ti [timer]	Sum [gram]		
2 HVM	Transit Eco	3571	2		2510		186,5	186,5	0,71	788,4	524067849,72
2 HVM 2 AUX	Transit Max	6492	2	2	2510	1014	186,6	194,6	0,92	1576,8	1931375545,80
2 HVM	Stand-by	3556	2		2510		186,5	186,5	0,71	1752	1164595221,60
2 HVM 2 AUX	DP	5033	2	2	2510	1014	186,5	196,8	0,71	1401,6	1328845304,29
1 HVM	Harbour	1228	1		2510		193,5	193,5	0,5	2890,8	702009099,00
2 HVM	Manouver	4592	2		2510		186,2	186,2	0,91	35,04	29804983,35
	sum										5680698003,77

## Viking Princess 85% belastning med start/stopp modus

Mode	Effekt [kW]	HVM	AUX	kfp HVM [g/kWh]	kfp AUX [g/kWh]	Belastning	Ti [timer]	Sum [gram]
Transit Eco								521388650,5
Transit Max	6492	2	2	1014	186,6	194,6	0,92	1627243920
Stand-by								1158641446
DP								1314479236
Harbour								655728895,6
Manouver	4592	2	2	2510	186,2	0	0,91	29804983,35
Sum								5307287131

Transit Eco: se Tabell Transit Eco

Stand-by: se Tabell Standby

DP: Se Tabell DP

Harbour: Se Tabell Harbour

## Forbruk [gram]

Viking Prince 5680853285,42

5680,853285 tonn

Viking Princess 5307287130,82

5307,287131 tonn

Differanse 373566154,60 ≈ 373,5661546 Tonn

Tilsvarende 7 %



## Tabell Harbour

Beregning av drivstofforbruk i driftsprofil harbour med start/stopp modus

	<b>Behov</b>	<b>Produksjon</b>	<b>Belastning [%]</b>	<b>sum</b>		
Harbour	1228					
1 hvnm 85%		2510	0,85	2133,5		
Batt kapasitet	511	kwh				
Overskudd som lader batt	905,5	kw				
sum	0,5643291	timer til oppladet				
Batteri varighet batt kapasitet	511					
kraft behov	1228					
sum	0,416123779	timer				
forbruk per syklus						
	<b>Produksjon</b>	<b>Tid opplading</b>	<b>kfp</b>	<b>sum [g]</b>	<b>Tid per syklus</b>	<b>sum forbruk [g]</b>
	2133,5	0,56	185,3	221389,028	0,976	226833,0205

Årlig Forbruk= 226833,0205 x 2890,8= 655728895,64g

## Tabell Transit Eco

Utrekning av brennstofforbruk i driftsprofil Transit Eco med start/stopp modus

<b>Iodus</b>	<b>Motorer</b>	<b>Belasting [kW]</b>	<b>Antall</b>	<b>Prosjenter [%]</b>	<b>SUM [kW]</b>
ransit Eco	2hvm	2510	2	0,85	4267
<b>Lader batteri med [kW] Forbruk [kW] Effekt til batteri [kW]</b>					
ader batteri med		4267	3571	696	
<b>adedtid batteri</b>					
	<b>Energi reserve [kWh] Effekt til batteri [kW]</b>		<b>Ladetid [h]</b>		
	511	696	0,73		
<b>telseeffekt batteri</b>					
	<b>Transit Eco</b>	<b>1 HVM 0.85</b>	<b>Sum</b>		
	3571	2133,5	1437,5		

## Tabell Stand-by

Beregning av drivstofforbruk i driftsprofil Stand-by med start/stopp modus

Modus	Motorer	Belasting [kW]	Antall	Prosentter [%]	SUM [kW]		
Stand by	2hvm	2510	2	0,85	4267		
Lader batteri med		Lader batteri med [kW] Forbruk [kW] Effekt til batteri [kW]					
		4267	3571	696			
Ladetid batteri	Energi reserve [kWh]		Effekt til batteri [kW]		Ladetid [h]		
	511	696	0,73				
Ytelseseffekt batteri	Transit Eco	1 HVMM 0.85	Sum				
	3571	2133,5	1437,5				
Utladnings tid	Energi reserve [kWh]		Ytelseseffekt batteri [kW]		Sum [h]		
	511	1437,5	0,355478261				
En syklus	Ladetid batteri [h]	Utladnings tid [h]	Sum [h]				
	0,73	0,355	1,085				
Brennstofforbruk pr syklus	HVM 1	HVM 2	belasting [%]	kfp	tid	Sum [g]	
Opplading	2510	2510	0,85	185,3	0,73	577192,823	
Utlading	2510		0,85	185,3	0,355		
Syklus tid	140344,8303				1,085		
Sum						661325,026	
Brennstoff forbruk 1 år Stand by					1752	1158641446	

Tabell DP  
Beregning av drivstofforbruk i DP med start/stop mode

Produisert effekt	4267	861,9	5128,9						
Effektbehov i Dp			5033						
Differanse			95,9						
	<b>Batteri kapasitet [kWh]</b>	<b>Lade effekt [kW]</b>	<b>Tid å lade batteriet [timer]</b>						
Tid å lade batteriet	511	95,9	5,328467153						
	<b>Produisert effekt 85%HVM</b>	<b>kfp HVM [g/kWh]</b>	<b>Produisert effekt 85% AUX [kW]</b>	<b>kfp AUX</b>	<b>Tid å lade batteriet [timer]</b>	<b>Drivstofforbruk pr. Syklus</b>			
2 HVM 1 AUX	2133,5	185,3	861,9	194,2	5,32	5096858,346			
Tid å utlade batteriet									
	<b>Effektbehov i DP</b>	<b>Produisert effekt 85% HVM [kW]</b>	<b>Effekt vi trekker fra batteriet</b>						
Effekt vi trekker fra batteriet	5033	4267	766						
	<b>Batteri kapasitet [kWh]</b>	<b>Effekt vi trekker fra batteriet</b>	<b>Tid vi kan bruke batteriet [timer]</b>						
Tid vi kan bruke batteriet	511	766	0,667101828						
	<b>Produisert effekt 85% HVM [kW]</b>	<b>kfp HVM [g/kWh]</b>	<b>Tid vi kan bruke batteriet [timer]</b>	<b>Drivstofforbruk under lading</b>					
Drivstofforbruk under lading	4267	185,3	0,667	527380,2917					
	<b>Drivstofforbruk pr. Syklus</b>	<b>Drivstofforbruk under lading</b>	<b>Tid å lade batteriet [timer]</b>	<b>Tid vi kan bruke batteriet</b>	<b>Timer i driftsprofil</b>	<b>Årlig drivstofforbruk [g]</b>			
	5096858,346	527380,2917	5,328467153	0,667	1401,6	1314815455			

## Vedlegg 6

## Beregning av årlig gjennomsnitt drivstofforbruk på Viking Prince og Viking Princess

## Viking Prince Gjennomsnittsforbruk

Maskiner	Mode	Gjennomsnitt Effekt [kW]	Gjennomsnitt effekt pr. HVM kfp pr. HVM [g/kWh HVM (antall)]	Gjennomsnitt Effekt pr. AUX [kW]	AUX (antall)	kfp pr. AUX [g/kWh]	Timer	Forbruk [g]
2 HVM	Transit Eco	3571	1785,5	186,5	2		788,4	525067698,6
2 HVM 2 AUX	Transit Max	6492	2309,2	186,7	2	2	194,6	1932103775
1 HVM	Stand-by	1422,4	1422,4	191,5	1		1752	477226579,2
2 AUX	DP	1509,9	0			2	205,4	434683057,5
1 AUX	Harbour	221,04				1	194,5	138091203,4
1 HVM	Manouver	2296	2296	186,6	1		35,04	15012313,34
	sum							3522184627

## Viking Princess Gjennomsnittsforbruk

Maskiner	Mode	Gjennomsnitt Effekt [kW]	Gjennomsnitt effekt pr. HVM kfp pr. HVM [g/kWh HVM (antall)]	Gjennomsnitt Effekt pr. AUX [kW]	AUX (antall)	kfp AUX [g/kWh]	Timer	Forbruk [g]
2 HVM	Transit Eco	3571	1785,5	186,5	2		788,4	525067698,6
2 HVM 1 AUX	Transit Max	6034	2309,2	186,7	2	1	1576,8	1645853950
1 HVM	Stand-by	1422,4	1422,4	191,5	1		1752	477226579,2
1 HVM	DP	1509,9	1509,9	188,3	1		1401,6	398494740,7
1 AUX	Harbour	221,04				1	2890,8	139170373,7
1 HVM	Manouver	2296	2296	186,6	1		35,04	15012313,34
	sum							3200825656

	Årlig forbruk [g]	Årlig forbruk [konn]
Viking Prince	3522184627	3522,184627
Viking Princess	3200825656	3200,825656
Differanse	321358971,3	321,3589713
Årlig Besparelse		9,12 %

Vedlegg 7

Tilsendt data for belastning på motorer i de forskjellige driftsprofilene som er utgangspunkt i beregningene



Drawing No: 346-950-100  
Electrical load balance

NE346 Kjeften Maritim  
VS489 PSV-LNG

Electrical Load balance

	RATING	Sailing		Stand-by		Cargo Load/Dish (DP)		Cargo Load/Dish (Harbour)		Harbour Manoeuvre		ORO		Emergency Mode		
		LOAD	In use	LOAD	In use	LOAD	In use	LOAD	In use	LOAD	In use	LOAD	In use	LOAD	In use	
LOAD CONNECTED TO BUS BAR A1 & A2		3109.6 kW		1562.9 kW		2239.3 kW		408.2 kW		2055.6 kW		2281.4 kW		0 kW		
LOAD CONNECTED TO BUS BAR B1 & B2		3382.4 kW		1983.5 kW		2794.0 kW		819.9 kW		2226.0 kW		2747.5 kW		0 kW		
TOTAL LOAD CONNECTED TO BUSBAR 1 AND 2 MSB	7048 kW	6492.0 kW		3546.4 kW		5033.3 kW		1228.1 kW		4281.6 kW		5028.9 kW		0.0 kW		
% LOAD CONNECTED MAIN SWBD		92 %		50 %		71 %		17 %		65 %		71 %		0 %		
LOAD CONNECTED TO EM/HARBOUR SWBD		56.4 kW		45.2 kW		36.1 kW		29.0 kW		50.1 kW		34.4 kW		287.4 kW		
% LOAD EMERGENCY GENERATOR	300 kW													96 %		
<b>Consumers</b>																
	RATING	%	LOAD	In use	%	LOAD	In use	%	LOAD	In use	%	LOAD	In use	%	LOAD	In use
LARGE GENERATORS CONNECTED	2 510 kW		5020	2		5020	2		2510	1		5020	2		5020	2
SMALL GENERATORS CONNECTED	1 014 kW		2028	2		2028	2		0			1014	1		1014	1
TOTAL LOAD USED	7 048 kW	92 %	6492		71 %	3556		71 %	1228		91 %	4592		83 %	5009	
AVAILABLE CONNECTED POWER		8 %	556		29 %	1464		29 %	1282		9 %	428		17 %	1025	
EMERGENCY/HARBOUR GEN LOAD	300 kW													96 %	287	1