



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave

NAB3030

Predefinert informasjon

Startdato:	19-04-2018 16:22	Termin:	2018 VÅR
Sluttdato:	02-05-2018 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Prosjektoppgave		
SIS-kode:	203 NAB3030 1 PRO-1 2018 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 36

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Dieselelektrisk fremdrift

Tro- og loverklæring *: Ja

**Inneholder besvarelsen
konfidensiell materiale?:** Nei

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

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)

Gruppenummer: 9

**Andre medlemmer i
gruppen:** 26, 28

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

BACHELOROPPGAVE

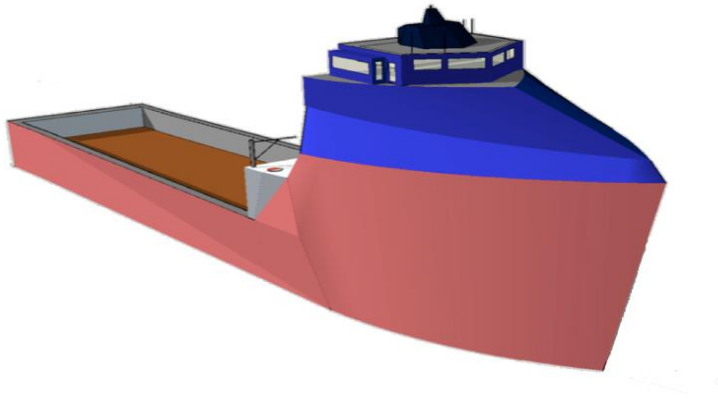
Dieselelektrisk fremdrift

Diesel-electric propulsion

Erik Hylseng Bø, kandidatnummer: 26

Øyvind Schultz Finnanger, kandidatnummer: 36

Ole Petter Svalland, kandidatnummer: 28



Bachelor i nautikk
Økonomi og samfunnsvitenskap
HVL Haugesund- Nautikk
Veileder: Egil Bergersen
02.05.2018

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, § 10.

Forord

Høsten 2017 gjennomførte to av medlemmene av denne oppgaven et praksisprogram om bord på «Viking Energy». Viking Energy ble i 2016 verdens første platform supply vessel (PSV) med batteri som energilagring, dette vekket interessen rundt ett nytt og spennende tema. Resultatet var å benytte bacheloroppgaven til å opparbeide oss mer kunnskap om dette emne. Etterhvert ble oppgaven snevret inn til evaluering av dieselektriske fremdriftssystem med batteri hybride løsninger. På bakgrunn av tekniske fag i studie ønsket gruppen å løse oppgaven teknisk, ved å vurdere systemene mot samme parametere med hensyn på operasjonell effektivitet, miljøkonsekvens og energiutnyttelse.

Oppgaven ble løst ved å benytte oppdatert forskningsmateriale og anerkjente kilder i maritim næring. Tillegg til dette har brukere og leverandører av systemene vært behjelpelige med å supplere med praktisk kunnskap som underbygger det teoretiske.

Vi vil av den grunn rette en stor takk til Wärtsilä for flere møter under hele perioden, og at vi fikk bygge oppgaven vår rundt en av deres motorer. Videre vil vi takke Eidesvik og Solstad shipping for skipsbesøk og møter, og for å vise hvordan systemene er utarbeidet i praksis. Vi vil også takke Westcon for samtaler og forklaringer om batteri.

Av oppgavens natur uten formelle intervju har dette gjort arbeidet krevende, men læringsutbytte har vært stort. Gruppen anser arbeidet lagt ned som høyst relevant for fremtidig karriere og som del av Nautikk-studie.

Til slutt vil vi takke vår veileder Egil Bergersen, for effektive og informative møter med god veiledning.

Kilde henvisning er gjennomført etter APA standard, ved at kildene er referert til underveis i oppgaven, og ved referanseliste etter kapittel 10. Henvisninger i oppgaven er gjort på følgende måte, utregninger er henvist med «(tall)» og kapittelhenvisning er «(kap.tall)»

Sammendrag

I denne oppgaven drøftes det forskjellige dieselelektriske system som i dag benyttes til fremdrift på PSV. De ulike systemene som det er sett nærmere på er: dieselelektrisk, diesel-batteri hybrid og dual-fuel-batteri hybrid. Gjennom prosessen ble det gjennomført møter med aktører i markedet, både leverandører og rederier, samt innhenting av data fra vitenskapelige artikler og fagbøker. I tillegg til dette, utformet gruppen en 3D-modell av en konseptuell PSV, som tilfredsstilles blant annet Statoils preferanse om >950 m² dekk. Denne modellen ble anvendt i oppgaven for å enkelt illustrere ulike aspekter med operasjonell drift av PSV. Det ble også gjennomført beregninger av virkningsgrad, batteriets tilbakebetalingstid for de to batteri hybrid systemene og pris for brennstoff. Videre ble systemene sammenlignet på økonomi, miljøpåvirkning, virkningsgrad og bunkringsmuligheter. Til slutt ble det valgte systemet gjennomgått videre utgreiing under operasjonell anvendelse.

Dual-fuel-batteri hybrid systemet viste seg å være langt mer miljøvennlig, sammenlignet med de to andre systemene. Forbrenning av LNG hadde langt lavere utslipp, og anvendelse av batteri reduserte brennstofforbruket, som resulterte i ytterligere reduksjon i klimagassutslipp. Virkningsgraden for dette systemet var noe lavere enn det dieselelektriske systemet, men totalt brennstofforbruk gikk ned som følge av at batteriet kunne supplere kraft ved lastvariasjoner, som igjen førte til at forbrenningsmotorene kunne operere jevnere. Systemet byr på utfordringer innen infrastrukturen ved LNG bunkring. Dette gjør systemet mindre fleksibelt grunnet et mindre antall stasjoner som muliggjør bunkring av LNG. Tilgang på LNG bunkring ligger derfor som premiss for å velge dual-fuel-batteri systemet.

Ved operasjonell anvendelse av systemet ble det tydelig at det oppsto problematikk når batteriet skal lades. Dette innebærer at hovedmotorer starter opp for å lade batteriet. Denne operasjonen kan lede til termisk belastning på hovedmotorens konstruksjon, som et resultat av hyppig start av forbrenningsmotor over lengre perioder.

Videre ble det også vurdert batteriets plassering ombord, og gjennomført utregninger på hvor stort tapet i kablene vil være dersom distansen fra batteriet ville økt. Gruppen konkluderte her med at den beste plasseringen av batteriet er aktenfor overbygning. Dersom batteriet blir integrert i konstruksjonen vil plassering av batteri i maskinrom, eller umiddelbar nærhet til hovedtavle være en mer gunstig plassering.

Summary

This bachelor thesis will contain a presentation and evaluation of different diesel-electric configurations used on board present-day platform supply vessels. The systems of interest in this paper will be diesel-electric, diesel-battery hybrids, and dual-fuel-battery hybrids.

Our data was gathered through scientific articles and relevant textbooks. We added practical knowledge through arranged meetings with manufactures of engines and batteries, as well as shipping companies. This was done to understand the view of the relevant markets on the developing technology being employed today. Furthermore, a 3D-model of a conceptual PSV was designed to illustrate said configurations. The 3D-model PSV adequately satisfies Statoil's preferences for cargo deck areas of $>950\text{m}^2$.

To make a decision on preference of configuration, a set of evaluation segments were established. The evaluation of the configuration was based on environmental impact, cost, fuel efficiency and the configuration flexibility. Calculations of fuel efficiency, payback time for the battery, emission and fuel cost were conducted for the individual configurations. The results from these calculations show that dual-fuel-battery hybrids have reduced emission by a large margin compared with the other systems. The reduction in emission is due to the usage of Liquid Natural Gas (LNG) in the combustion engine. The battery applied in this configuration makes the combustion engine run at a constant load, which further reduces emissions due to electric energy stored in the battery instantly supplying power during load variations.

Dual-fuel-battery configurations comes with restrictions when it comes to bunkering. There is only a limited number of bunker stations in Norway, which in turn means that this configuration has a limited area of operation. The system can run on diesel as well, but this will eliminate the benefit of using LNG. Taking these factors into account the dual-fuel-battery hybrid configuration was the chosen system to undergo further evaluation.

The combustion engine is used to charge the battery. When the battery reaches a state of charge (SOC) equal to 80%, the engine will shut down. After using the energy stored in the battery, the engine will once again start, and run until the battery is charged to SOC 80%. This results in frequent start/stop procedures of the engine, which can result in a reduction of the engines lifespan due to alternating thermal load.

In this thesis, questions have been raised concerning battery placement, where shipping companies tend to place the battery near muster stations. This process can present a hazard if thermal runaway occurs in the battery. Calculations were performed to see to what effect an

increase in distance between battery and the generators have. The results show that there are substantial losses to heat in the cables when the distance is increased. If the battery is not integrated in the construction, the most favorable placement is behind the superstructure.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iii
Summary	iv
Tabell- og figurliste	viii
1. Innledning	1
1.1 Problemstilling og avgrensning	2
1.2 Oppgavens oppbygging og metodikk	3
1.3 Forkortelser og «subscript»	4
2. PSV	5
2.1 Operasjonsfaser	5
2.2 DP klasser og krav til redundans	8
3. Motor med tilhørende generator	9
3.1 Teknisk data	9
3.2 Utregning av virkningsgrad	10
3.3 Kraftbehov	11
4. Batteri	12
4.1 Oppbygging av batteri	12
4.2 Li-ion batteri	14
4.3 Sikkerhet	15
5. Dieselelektrisk	17
5.1 Komponenter	19
5.1.1 Generatorsett	19
5.1.2 Hovedtavle	20
5.1.3 Transformator	21
5.1.4 Frekvensomformer	21
5.1.5 Elektromotor	21
5.2 Virkningsgrad	22
5.3 Totalvurdering	22
6. Diesel-batteri hybrid	24
6.1 Operasjonell anvendelse	25
6.2 Brennstofforbruk	26
6.3 Økonomi	27
6.4 Miljøpåvirkning	29
6.5 Virkningsgrad	29
6.6 Totalvurdering	30

7. Dual-Fuel-batteri hybrid.....	31
7.1 LNG	31
7.2 Dual fuel motor	31
7.3 Arbeidsprinsipp for dual-fuel motor	32
7.3.1 Batteri.....	32
7.4 Bunkringsmuligheter og oppbevaring	33
7.5 Økonomi.....	34
7.6 Miljøpåvirkninger	35
7.7 Totalvurdering.....	36
8. Sammenligning av systemene med påfølgende valg.....	37
8.1 Generelt	37
8.2 Økonomi.....	37
8.3 Miljøpåvirkning.....	38
8.4 Virkningsgrad	39
8.5 Bunkringsmuligheter	40
8.6 Resultat.....	41
9. Evaluering av valgt system ved operasjonell anvendelse	43
9.1 Plassering av batteri	47
9.2 Bus-tie	49
10. Konklusjon og forlag til videre arbeid.....	50
Referanseliste	52

Tabell- og figurliste

TABELL 1 1. FORKORTELSER.	4
TABELL 2. 1. BØLGEHØYDE (NØRLUND, GRIBKOVSKAIA, & LAPORTE, 2015).....	6
TABELL 2. 2. UTSTYRSKLASSER (IMO, 2013).....	8
TABELL 3. 1. TEKNISK DATA (WÄRTSILÄ, U.D.).	9
TABELL 5. 1. BESKRIVELSE AV KOMPONENTER I KONSEPTSKISSE.	18
TABELL 6. 1. BRENNSTOFFORBRUK I ULKE FASER (HENNINGSGÅRD, 2016).	27
TABELL 6. 2. UTSLIPPSDATA FOR DIESEL (MOCHAMAD FURQON ROCHYANA, 2014, S. 33).	29
TABELL 7. 1. BRENNSTOFFORBRUK I ULIKE FASER LNG (ENOVA) (UPUBLISERT).	34
TABELL 7. 2. UTSLIPPSDATA FOR LNG (MOCHAMAD FURQON ROCHYANA, 2014, S. 33).	35
TABELL 8. 1. ENERGITETTHET, PRIS, OG DENSITET FOR DIESEL OG LNG (SHIP & BUNKER, U.D.) (GASNOR, U.D.) (VERMEIRE, 2012) (GASNOR, U.D.) (UNITROVE, U.D.).....	37
TABELL 8. 2. UTSLIPPSTALL FRA DIESEL OG LNG (MOCHAMAD FURQON ROCHYANA, 2014).....	38
FIGUR 2. 1. DP OPERASJON.	5
FIGUR 2. 2. OPERASJONSFASER PSV (LINDSTAD, ESKELAND, & RIALLAND, 2016).	5
FIGUR 2. 3. FRIHETSGRADER.	7
FIGUR 3. 1. ILLUSTRASJON AV MOTOR MED TILHØRENDE GENERATOR (WÄRTSILÄ, U.D.).....	9
FIGUR 3. 2. KRAFTBEHOV (LINDSTAD, ESKELAND, & RIALLAND, 2016).	11
FIGUR 4. 1. BATTERIMODUL (CORVUS, U.D.).	12
FIGUR 4. 2. LADING OG UTLADING AV BATTERI (DNV GL, 2016).	14
FIGUR 5. 1. KONSEPTSKISSE – DIESELELEKTRISK (GEERTSMA, NEGENBORN, VISSER, & HOPMAN, 2017).	17
FIGUR 5. 2. KJEMISKENERGI TIL MEKANISKENERGI (MAN, U.D.).	19
FIGUR 5. 3. TAP I ELEKTRISKE KOMPONENTER (MAN, U.D.).	22
FIGUR 6. 1. KONSEPTSKISSE – DIESEL-BATTERI HYBRID (GEERTSMA, NEGENBORN, VISSER, & HOPMAN, 2017).	24
FIGUR 6. 2. ANVENDELSE AV KONSEPTSKISSE – DIESEL BATTERI HYBRID (GEERTSMA, NEGENBORN, VISSER, & HOPMAN, 2017).	25
FIGUR 6. 3. SPECIFIC FUEL OIL CONSUMPTION – WÄRTSILÄ 4 STROKE ENGINE (J.-P. JALKANEN, 2011).....	26
FIGUR 7. 1. DIESEL INNSPRØYTNING (WÄRTSILÄ, U.D.) (UPUBLISERT)	31
FIGUR 7. 2. DUAL-FUEL INNSPRØYTNING (WÄRTSILÄ, U.D.) (UPUBLISERT).....	31
FIGUR 7. 3. OVERSIKTSBILDE BUNKRINGSSTASJONER LNG (DNV GL, 2014).	33
FIGUR 8. 1. BUNKRINGSSTASJONER (MARTINSEN, DNV GL , 2014).....	40
FIGUR 9. 1. ALTERNATIVE KONFIGURASJONER.	43
FIGUR 9. 2. ENERGIFORBRUK KONVENJONELL KONFIGURASJON VS BATTERI KONFIGURASJON.	44
FIGUR 9. 3. BATTERIUTNYTTELSE VES STORE LASTVARIASJONER.	45
FIGUR 9. 4. LADING MED START/STOP FUNKSJON.....	46

1. Innledning

Bruken av forsyningskip i Nordsjøen kom som et resultat av at det på slutten av 1960-tallet vokste frem olje- og gassnæring i Norge (Norsk Petroleum, u.d.). Offshore installasjonene var den gang, og er fremdeles helt avhengige av å få levert forsyninger til områdene hvor de opererer.

Tøffe værforhold i Nordsjøen førte til bygging av spesialiserte fartøy med hensyn på sjødyktighet, størrelse og maskin kraft (Skipet, u.d.). Det er disse forsyningskipene en i dag kjenner som Plattform supply fartøy (PSV).

En PSV blir vurdert etter hvor godt skipet presterer under ulike operasjonelle faser.

De operasjonelle fasene har store variasjoner i energibehov, og det er derfor utarbeidet et mangfold av konsepter for hvordan oppgavene best kan løses. I denne oppgaven blir det foretatt en evaluering av ulike konsepter med dieselektrisk fremdrift på PSV.

DNV GL har utarbeidet en rapport på vegne av miljø- og klima departementet, hvor de skriver at «*For fartøytyper som har begrenset plass og/eller svært varierende operasjons og kraftbehov kan det være uhensiktsmessig med en eller to store hovedmaskiner*» (Martinsen, DNV GL , 2014). Dieselektrisk konfigurasjon løser dette ved å anvende flere mindre motorer som kun driver generatorer til produksjon av strøm. Dette skjer ved at forbrenningsmotoren omdanner kjemisk energi til mekanisk energi (Leif Lundby, 2014).

1.1 Problemstilling og avgrensning

Hybride systemer har gjort stor suksess i andre deler av transportnæringen, gruppen fant det derfor interessant å vurdere hvor godt hybride løsninger egner seg for PSV. Problemstillingen for denne oppgaven er som følger:

Evaluering av dieselelektriske fremdriftssystem på PSV med hensyn på operasjonell effektivitet, miljøkonsekvens og energiutnyttelse.

Gruppen har begrenset tid og ressurser, samt begrenset omfang på oppgaven. Det vil derfor være nødvendig å avgrense oppgaven for å kunne gi et best mulig resultat. Oppgaven er avgrenset til punktene som er nevnt under:

- Oppgaven tar for seg tre ulike fremdriftssystem. Dieselelektrisk, diesel-batteri hybrid og dual-fuel-batteri hybrid. Grunnen for dette er at alternativt brennstoff, og batteriteknologi til bruk i skipsfarten, er områder hvor det forskes mye for å finne nye operasjonelle løsninger. De valgte systemene kan derfor anses å være dagsaktuelle fremdriftssystemer.
- Motortypen 6L32 er en sekssylindret fire-takts rekkemotor som skal benyttes i oppgaven.
- Oppgaven er avgrenset til Norge med tilhørende havområder. IMO gjennom MARPOL har innført i Annex VI utslippsgrenser på maksimum 0,1 prosent svovelinnhold i brennstoff for ECA områdene (IMO, u.d.). «Emission Control Areas», (ECA-områder) omfatter Østersjøen, Nordsjøen og kystområdene utenfor USA og Canada (Norges Rederiforbund , u.d.). Grunnet Annex VI er brennstoff avgrenset til diesel og LNG (Liquid Natural Gas).

1.2 Oppgavens oppbygging og metodikk

I henhold til problemstillingen vil det foretas en evaluering av ulike dieselelektriske fremdriftssystem på PSV.

I første del av oppgaven er de operasjonelle fasene til fartøyet beskrevet. I neste del av oppgaven vil det bli tatt for seg hvert system, hvor det er ønskelig å måle hvor godt systemene presterer med hensyn på operasjonell effektivitet, miljøkonsekvens og energiutnyttelse. Konsekvenser på miljøet, total virkningsgrad, økonomi og fleksibilitet er parameter systemene blir vurdert etter. Det systemet som her gir det beste resultatet vil gruppen gi en grundigere analysing opp mot operasjonell anvendelse. Til slutt skal gruppen presentere mulige spørsmål til eksisterende praksis, og komme forslag til videre arbeid.

For å løse oppgaven benyttes PATAK-modellen (Rognsaa, 2016). PATAK- modellen er en anerkjent metode for å løse teoretisk vinklede problemstillinger. Modellen for oppsettet blir da som følger, Problemstilling, Avgrensing, Teori, Argumentasjon og Konklusjon. Metoden tillater gruppen å bruke dagsaktuelt forskningsmateriale så vel som fagbøker, dette blir oppgavens hovedkilde til informasjon. Det vil bli gjennomført møter med motor- og batteri produsenter, rederier, samt skips besøk på aktuelle skip for å se utformingen av systemene i praksis. Informantene blir brukt til egen forståelse, ikke til innhenting av informasjon.

1.3 Forkortelser og «subscript»

Tabell 1 1. Forkortelser.

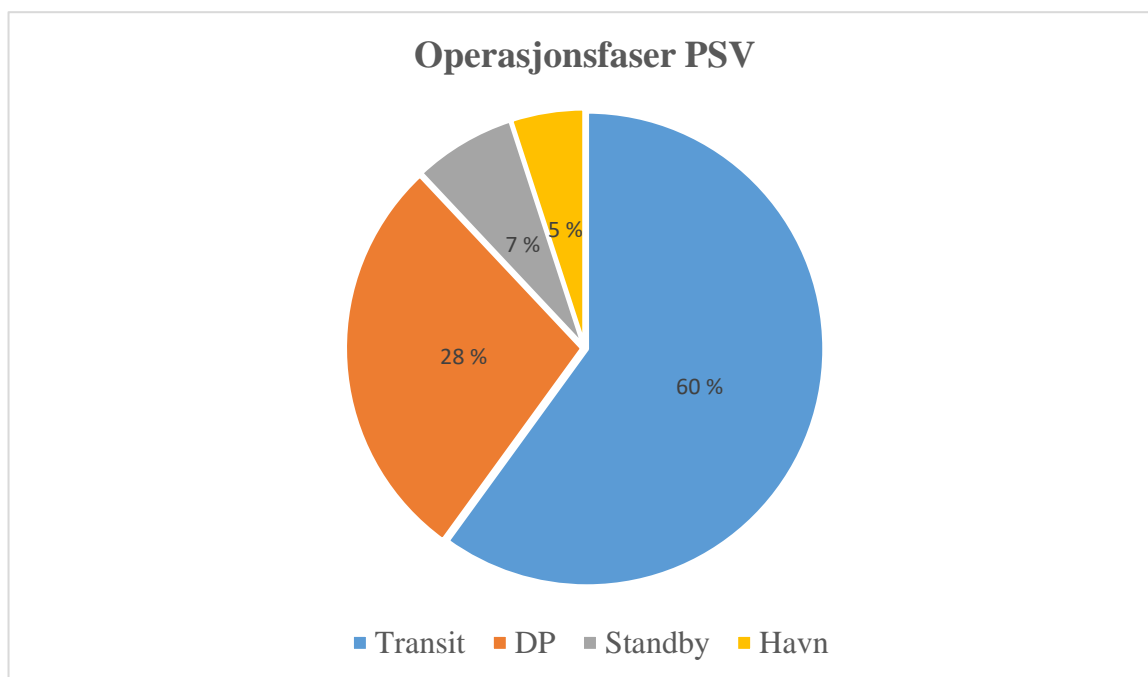
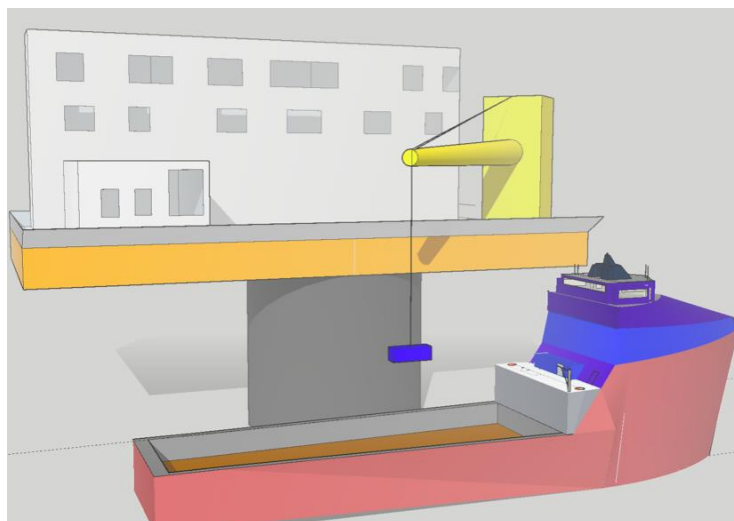
Forkortelse	Forklaring
PSV	Platform supply vessel
IMO	International Maritime Organization
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MSC	Maritime Safety Committee
ECA	Emission Control Area
DP	Dynamic Positioning
WOW	Waiting on weather
GPS	Global positioning system
PRS	Position reference system
MRU	Motion reference unit
Genset	Generatorsett
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatttime
V	Volt
Hz	Hertz
BMS	Battery management system
PMS	Power management system
EMS	Energy management system
Li-ion	Litium-ion
C-rate	Coloumb rate
AC	Vekselstrøm (alternating current)
DC	Likestrøm (direct current)
SOH	State of health
SOC	State of charge
SFOC	Specific fuel oil consumption
LNG	Liquid natural gas
LPG	Liquid petroleum gas
NTP	Normal trykk og temperatur (normal temperature and pressure)
RPM	Omdreiningar per minutt (revolutions per minute)
M³	Kubikkmeter
A	Ampere
USD	Amerikanske dollar (US Dollar)
NOK	Norske kroner
η_e	Effektiv termisk virkningsgrad motor
η_{TOT}	Total virkningsgrad for systemet
η_G	Virkningsgrad generator
η_H	Virkningsgrad hovedtavle
η_T	Virkningsgrad transformator
η_F	Virkningsgrad frekvensomformer
η_{EL}	Virkningsgrad elektromotor
η_B	Virkningsgrad batteri
η_{DE}	Virkningsgrad dieselelektrisk system

2. PSV

2.1 Operasjonsfaser

Figur 2. 1. DP operasjon.

For å besvare problemstillingen med hensyn på operasjonell effektivitet, er det viktig å belyse de ulike utfordringene en PSV måtte overkomme. En PSV starter typisk med å laste ved lastebase, etterfulgt av *transit* til en offshore installasjon for å losse/laste, og deretter tilbake til lastebase. Under laste/losse operasjoner ved offshore installasjon anvendes fartøyets *dynamiske posisjonerings system* (DP). I enkelte operasjoner hvor installasjonen behøver kontinuerlig forsyninger, vil det være mulig for en PSV å være stasjonert på oljefeltet i flere uker av gangen for å supplere plattformen, da ligger skipet i *standby*.



Figur 2. 2. Operasjonsfaser PSV (Lindstad, Eskeland, & Rialland, 2016).

Transit

Når skipet er i transit menes distansen fartøyet seiler fra lastebase til offshore installasjon, mellom installasjonene, og distansen tilbake til lastebasen (Bottema, Gro, Ladeur, & Post, 2015). Som vi ser fra diagram i figur 2.2, utgjør transit 60% av operasjonstiden av en PSV. På figur 3.2 i kapittel 3, ser vi at det gjennomsnittlige kraftbehovet i denne fasen ligger på rundt 3200 kWh.

Standby

Standby er den tiden fartøyet venter på oppdrag ute på feltet. Tidsforbruket i standby vil variere mye fra kontrakt til kontrakt. Figur 2.2 viser at et gjennomsnittlig supply fartøy bruker ca 7% av tiden i denne fasen. Når et fartøy er i standby, blir fartøyets dynamiske posisjoneringssystem (DP) anvendt for at fartøyet skal opprettholde posisjonen. Dette blir gjort ved at operatørene velger et gitt område hvor fartøyet kan drifte fritt. Når fartøyet overskrider grenseverdier satt av operatørene, vil DP-systemet gi rolig thrust med propeller for å få skipet i senter av sirkelen (Bray, 2015, s. 14). På denne måten vil brennstofforbruket reduseres i forhold til å konstant holde en gitt posisjon.

Tabell 2.1 viser tap av fremdrift ved eksponering av bølger, samt maksimal bølgehøyde før arbeid ved installasjon må avbrytes (WOW). Ved værtilstand lik 4, betyr dette i praksis at skipet må ligge i standby for å vente til det blir muligheter for å gjennomføre arbeidet.

Tabell 2. 1. Bølgehøyde (Norlund, Gribkovskaia, & Laporte, 2015).

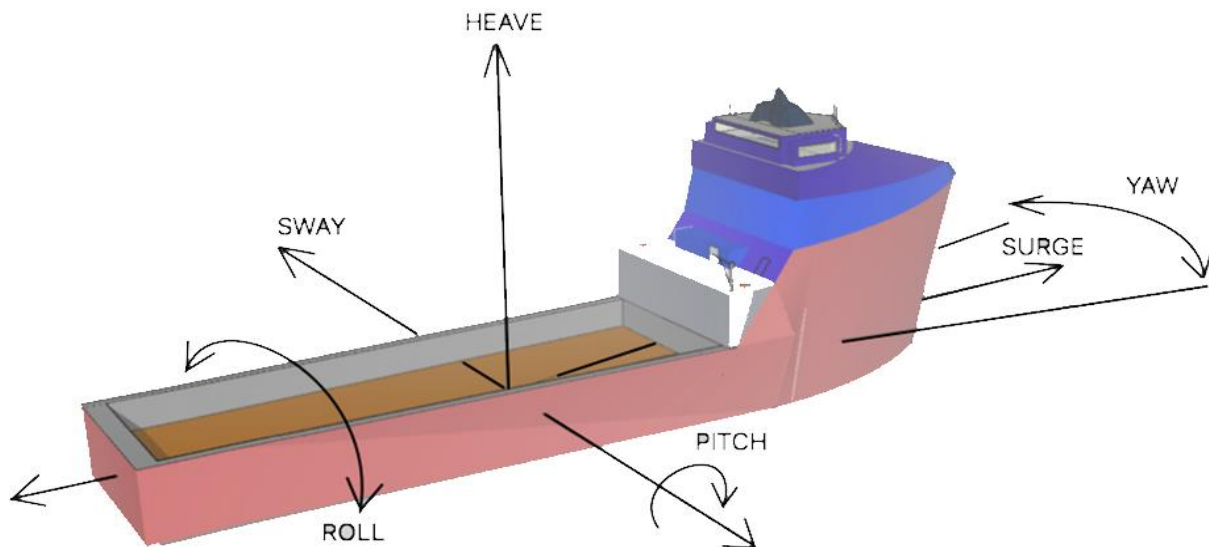
Værtilstand	Signifikant bølgehøyde	Redusert seilingstid	Økning i seilingstid
1	< 2.5	0	0
2	(2.5, 3.5)	0	20
3	(3.5, 4.5)	2	30
4	≥ 4.5	3	WOW

Operasjonelle grenseverdier ved arbeid for en PSV i sikkerhetssonen ved rigg, sier at alt arbeid stanses ved signifikant bølgehøyde på 4,5m (Statoil, 2000).

Dynamisk posisjonering

Dynamisk posisjonering er ikke et system som kan installeres om bord i et fartøy, men en rekke enkelt komponenter som sammen gir fartøyets evne til å holde sin posisjon (Bray, 2015). David Bray definerer dynamisk posisjonering som (Bray, 2015, s. 3) *“A system which automatically controls a vessel’s position and heading exclusively by means of active thrust”*.

Denne definisjonen forteller oss at DP systemet utnytter fartøyets maskineri til å kontrollere tre av fartøyets seks frihetsgrader, surge, sway og yaw. Figuren under illustrerer fartøyets 6 frihetsgrader.



Figur 2. 3. Frihetsgrader.

For at DP systemet skal kunne holde fartøyets posisjon vil en kontinuerlig strøm av data om de rådende forhold være nødvendig. GPS, position-reference system (PRS), vindmåler og motion reference unit (MRU) er kilder til slik informasjon (Bray, 2015). Systemet predikerer fartøyets posisjon, heading og hastighet ved å se på data fra disse kildene og vurdere det opp mot en matematisk modell av fartøyet. En slik modell er unikt for hvert fartøy, og vil inneholde statistisk data om fartøyets parameter (Bray, 2015).

Ved å kjenne til fartøyets statiske parameter og de eksterne kreftene som virker på fartøyet, vil computere kalkulere og iverksette korrigerende kraft på propeller og thrustere.

På figur 3.2 ser man at en DP operasjon i gjennomsnitt vil ha et kraftbehov på ca. 1800 kWh. Dette er et relativt lavt energibehov sammenlignet med andre operasjoner, men last variasjonene i denne fasen kan variere i stor grad, grunnet sesongbaserte meteorologiske forhold.

2.2 DP klasser og krav til redundans

Som internasjonalt organ i maritim sektor har IMO gjennom MSC/Circ.645 definert tre DP-utstyrsklasser (IMO, 2013). Klassene representerer individuelle krav til utstyret for DP systemet.

De ulike utstyrsklassene handler i stor grad om DP systemet innfrir operasjonelle krav til redundans. Dette er fordi redundans i et DP system er en vesentlig barriere for å hindre sammenstøt med installasjon (Bray, 2015).

I tabellen under er det illustrert hvilke områder de forskjellige utstyrsklassene er begrenset til. Tabellen er utarbeidet på bakgrunn av informasjon hentet fra (IMO, 2013).

Tabell 2. 2. Utstyrsklasser (IMO, 2013).

	Plattform supply fartøy DP utstyrsklasse 1	Plattform supply fartøy DP utstyrsklasse 2	Plattform supply fartøy DP utstyrsklasse 3
Lav risiko	X	X	X
Medium risiko		X	X
Høy risiko			X

Plattform supply fartøy er normalt utstyrt med DP utstyrsklasse 2. Dette er et sikkerhetskrav som er satt av oppdragsgivere i næringen (Bray, 2015, s. 39). DP utstyrsklasse 2 må derfor legges til grunn for valg av fremdriftssystem og utformingen av maskinrom. David Bray mener at en dieselelektrisk konfigurasjon vil være foretrukket med tanke på redundans, og på grunn av systemets høye fleksibilitet og pålitelighet (Bray, 2015, s. 29).

3. Motor med tilhørende generator

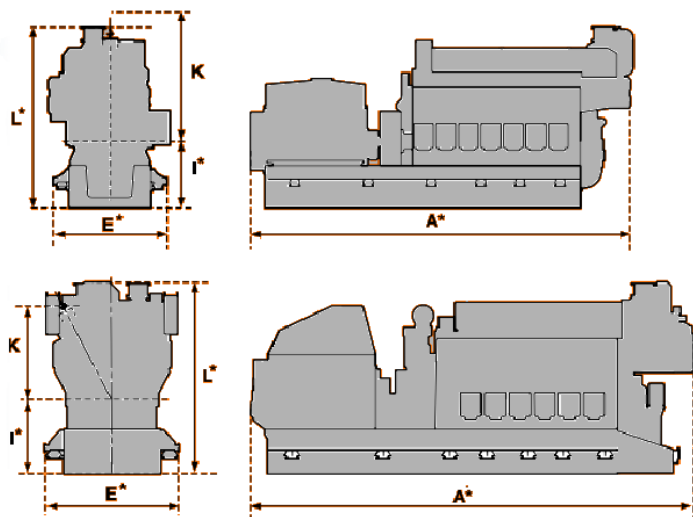
Motortypen 6L32 er en sekssylindret firetakts rekkemotor som opererer med konstant turtall på 720RPM. Denne motoren vil bli benyttet videre i oppgaven til utregninger og sammenligninger. Sammenligning av systemene blir mest mulig korrekt dersom samme forbrenningsmotor anvendes i alle systemene.

3.1 Teknisk data

Tabell 3. 1. Teknisk data (Wärtsilä, u.d.).

Type	Motor (Kw)	Generator (Kw)	Effekt pr. sylinder (Kw)	Sylinder Ø (mm)	Slaglengde (mm)
6L32 - 60Hz/720 rpm	2880	2760 $\eta = 96\%$	480	320	400

Dimensjoner i mm	A*	E*	I*	K	L*
inkl. generator.	8 375	2 290	1 450	2 345	3 940



Figur 3. 1. Illustrasjon av motor med tilhørende generator (Wärtsilä, u.d.).

3.2 Utregning av virkningsgrad

Teknisk data fra produsent (Wärtsilä, u.d.):

Sylinder diameter (D):	320 mm
Slaglengde (S):	400 mm
Stempelhastighet:	10 m/s
Brennstofforbruk, 100%:	9,04 L/min
Tetthet Diesel (ρ):	0,83 t/m ³
Brennverdi Diesel (h):	42 MJ/kg
Antall sylinder (i):	6
Rotasjonsfrekvens(n):	720 o/min
Effektivt middeltrykk (p_{me})	24,9 bar = 2490000 Pa

Formler er hentet fra (Pedersen, Gustavsen, Kaasa, & Olsen, 2013)

(1) Finner massestrøm diesel (\dot{m}_B)

$$9,04 \text{ L/min} \cdot 0,83 \text{ t/m}^3 = 7,5 \text{ kg/min} = 0,125 \text{ kg/s} \quad (3.1)$$

(2) Finner sylvindervolum (V_h)

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} = \frac{\pi \cdot 320^2 \cdot 400}{4} = 32,15 \text{ dm}^2 = 0,032 \text{ m}^2 \quad (3.2)$$

(3) Finner akseleffekt for firetaktsmotor (P_e) (3.3)

$$P_e = i \cdot V_h \cdot p_{me} \cdot \frac{n}{2}$$

$$P_e = 6 \cdot 0,032 \text{ m}^2 \cdot 2490000 \text{ Pa} \cdot \frac{720/60}{2} = 2868480 \text{ W} = 2868 \text{ kW}$$

(4) Finner effektiv termisk virkningsgrad (η_e)

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{P_e}{\dot{m} \cdot h} \quad (3.4)$$

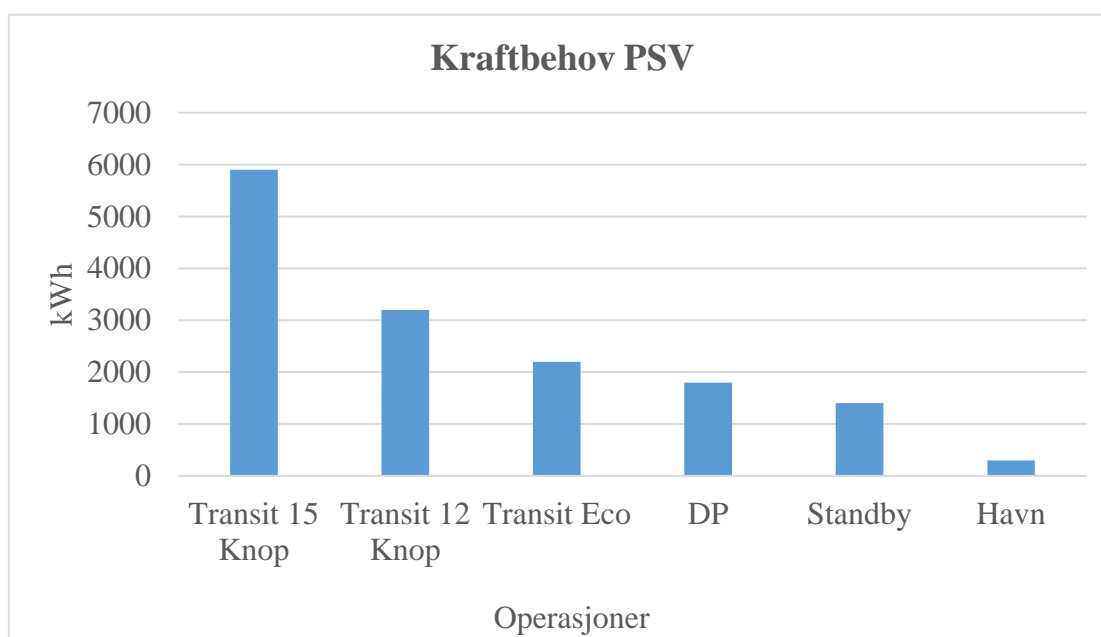
$$\eta_e = \frac{2868480 \text{ W}}{0,125 \cdot 42000000 \text{ J}} = 0,54$$

$$\eta_e = 0,54$$

Moderne diesel forbrenningsmotorer som anvendes om bord i skip i dag har en virkningsgrad på 45-50%. Utregningene våre viser en virkningsgrad som er noe høyere. Den samme virkningsgrad vil bli anvendt for utregninger i alle systemene. Dette er en faktor som multipliseres med andre virkningsgrader for å finne total virkningsgrad for systemet. Dersom det anvendes lik virkningsgrad for alle systemene under utregning, vil dette ikke ha påvirkning på grunnlag for sammenligning. Videre i oppgaven vil virkningsgraden fra utregningen blir brukt.

3.3 Kraftbehov

Antallet installerte motorer må dimensjoneres etter effektbehov under de ulike operasjonsfasene. Et gjennomsnittlig effektbehov ved de ulike operasjonelle områder er definert på figur 3.2. Tallene fra figuren vil bli benyttet videre i oppgaven til utregninger og sammenligninger.



Figur 3. 2. Kraftbehov (Lindstad, Eskeland, & Riialand, 2016).

4. Batteri

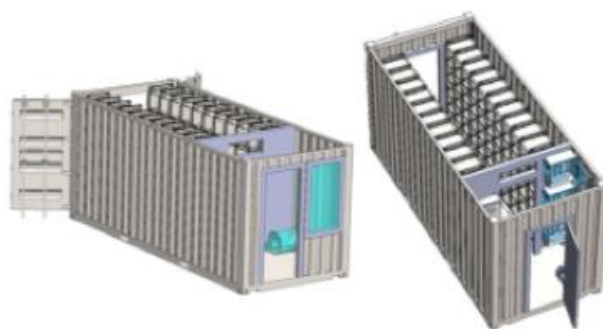
Dette kapittel omhandler batteri som benyttes i forbindelse med fremdriften av skipet. Det vil herunder bli sett på oppbygningen av batteriet og tilhørende systemer, og hvordan batteriet benyttes ved fremdrift. Det vil også bli presentert sikkerhet rundt batteri implementering.

4.1 Oppbygging av batteri

Ivar Gunvaldsen, Steinar Mathiesen og Knut A. Rosvold definerer batteri i Store norske leksikon som «*Et batteri er en innretning som omformer kjemisk energi direkte til elektrisk energi*» (Gunvaldsen, Mathiesen, & Rosvold, 2018). Batterier som anvendes som energilagring på PSV er sekundærbatterier, som betyr at batteriet er oppladbart (Rosvold, 2015).

Første del i oppbyggingen av batterier er celler, som er den kjemiske og minste enheten i systemet (Mjølhus, 2017). Battericellene er satt sammen til moduler, og for å oppnå ønsket spenning i batteripakken er disse modulene seriekoblet. Videre er modulene satt sammen i kabinett som er parallellkoblet for å oppnå ønsket strømstyrke.

Viking Energy ble den første PSV-en med installert batteri i 2016. Batteriet er bygget opp av to rader med syv kabinett i hver rad (Mjølhus, 2017). Viking Energy har installert et 653kWh/1600kW batteri. Batteriet er plassert i en 20 fots kontainer, som overvåkes av et Battery management system (BMS) (Mjølhus, 2017).



Figur 4. 1. Batterimodul (Corvus, u.d.).

Ved implementering av batteri om bord er det hovedsakelig to alternative måter å benytte batteriet, henholdsvis Battery Safety og Battery Power Notation.

Battery Safety

Ved dette alternativet er batteriet kun et supplement til den operasjonelle driften, og kan ikke anses å være en uavhengig kraftkilde. Batteriet benyttes i forbindelse med last variasjoner, hvor det avgir energi ved økende behov og får tilført overskuddsenergien når last behovet synker, dette resulterer i jevnere last på motorene (Mjølhus, 2017).

Battery Power Notation

Ved Power Notation fungerer dette alternativet på lik linje som battery Safety, men i tillegg til dette erstatter batteriet en hovedmotor, og kan dermed fungerer som en uavhengig kraftkilde. Denne kraftkilden vil ha samme krav til redundans som andre deler av fremdriftssystemet. Dette resulterer i at man kan redusere antall aktive motorer, og dermed redusere operasjonstid for motorene. Ved å redusere antall aktive motorer vil også de resterende motorene arbeide med en belastning som fører til høyere effektivitet (Mjølhus, 2017). Dette forklares nærmere i (kap.6.2).

Battery Management System (BMS)

BMS er innført som et beskyttelsessystem for batteriet. Systemet overvåker spenning og temperatur, State of Health (SOH) og kontrollerer State of Charge (SOC) i batteriet (DNV GL, 2015, s. 6).

Power Management System (PMS)

PMS er innført som et kontrollsystem for alle energi-forbruker komponenter ombord. Systemet er designet for å samhandle med andre kontrollsystemer som BMS for å unngå overbelastning som kan føre til en blackout (Jalel, et al., 2016).

Energy Management System (EMS)

EMS er en utvidet funksjon for PMS. EMS overvåker og kontrollerer energimengde slik at det blir utnyttet på en energieffektiv måte (Ådnanes, 2003, s. 33).

Start/stopp funksjon

Ved lading av batteriet vil dette gjøres ved en "Start/stopp" funksjon. Den benyttes når fartøyet ligger i havn. Funksjonen gjør at man hever lasten på motoren til optimal belastning, som er omlag 80% (figur 6.3) (Mjølhus, 2017). Motoren leverer da mer effekt enn hva skipet har behov for. Denne overskuddsenergien lader batteriet opp til den når en SOC 80% – deretter stenges maskineriet ned automatisk og skipet driftes kun på batteriet. Når batteriet når en SOC 20% startes motoren opp igjen og gjentar hele syklusen (Mjølhus, 2017).

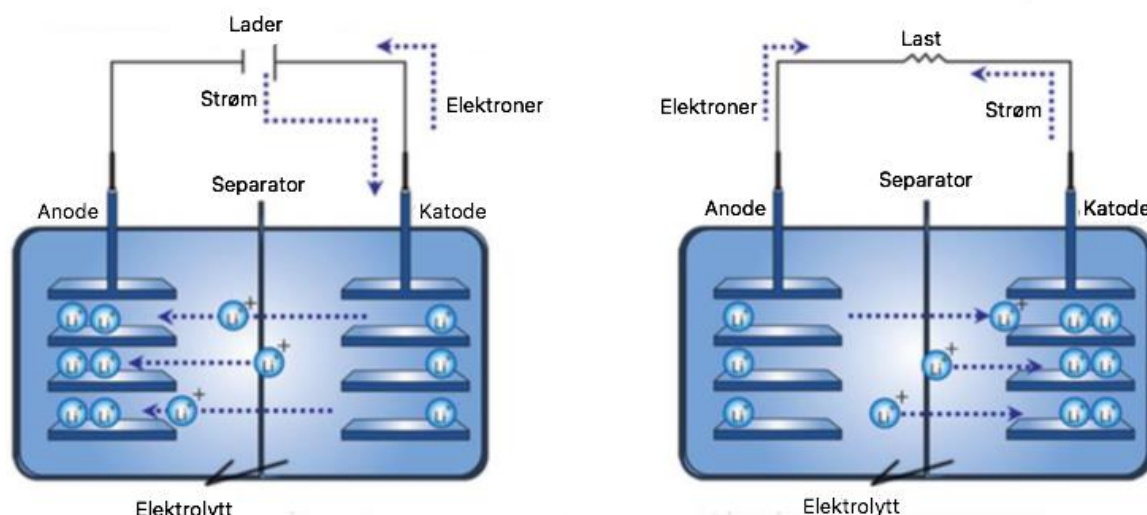
4.2 Li-ion batteri

De vanligste batteriene i dag er lithium ion batterier. Det finnes mange forskjellige variasjoner, men det vanligste er å benytte lithium ion celler med nikkel-mangan-kobolt katoder og grafitt anoder (DNV GL, u.d.).

På figur 4.2 ser vi et oppladbart lithium ion batteri, som viser hvordan battericellen avgir og får tilført strøm.

Til venstre ser man at battericellen tilføres strøm, dette skjer ved en oksidasjon i (-) anoden og en reduksjon i (+) katoden. Energien skapes ved at positive ioner oksideres fra katoden, går gjennom separatorene og reduseres av anoden.

Til høyre avgir cellen strøm (energien brukes). Energien brukes ved at tidligere reaksjon reverseres. Det vil si at de positivt ladede ionene oksideres i (-) anoden, de går gjennom separatorene og reduseres i (+) katoden.



Figur 4. 2. Lading og utlading av batteri (DNV GL, 2016).

C-rate

C-rate er en måling for å beskrive hvor hurtig batteriet benytter den lagrede energien relativt til maks lagret kapasitet (DNV GL, 2015, s. 6). Ved dimensjonering og bruk av batterier er *coulomb rate* eller *C-rate* en viktig faktor å ta stilling til.

Eksempel: C-rate. Hentet fra (MIT, 2008, s. 1).

Et 1C batteri vil utlade hele batteriets kapasitet på 1 time.

Dersom dette batteriet har kapasitet på 100Ah vil 100Ah gå ut av batteriet på 1 time.

Følgelig vil dette batteriet ha en C-rate lik 5, dersom batteriet har 500Ah og utlades på 1 time. (MIT, 2008)

Av operasjonelle hensyn er det ønskelig med en høy C-rate, da det tilsvarer at mest mulig energi kan benyttes raskest mulig. På den andre siden vil C-raten også representere et energitap i form av varme, og vil føre til at energi tapet øker eksponentielt med C-raten (DNV GL, 2015) (DNV GL, 2016) (MIT, 2008, s. 1).

4.3 Sikkerhet

Ved implementering av batteri medfører dette en risiko for gassutvikling, brann og eksplosjonsfare. Dette er en effekt av “thermal runaway” (DNV GL, 2016). Thermal runaway er når batteriet får en temperaturøkning som kan føre til en ukontrollert videre temperaturøkning, og dermed resultere i brann og gassutvikling (Outlast, u.d.).

Av batteriets kompleksitet er det mange faktorer knyttet til sikkerhet av batteriet.

DNV GL gjennom «Rules for classification, Pt6 Ch2» definerer plassering på Battery Power Notation og Battery Safety med hensyn til brann integritet som følgende;

Battery Power Notation skal være brannisolert og motstå brann mot mønstring- og evakuerings-stasjon inntil 60 min. Tillegg til dette skal systemet motstå brann inntil 60 min mot maskinrom med påfølgende forbrenningsmotorer og lasteområde som inneholder farlig last (DNV GL, 2015, s. 17).

Battery Safety skal være brannisolert og motstå brann mot mønstring- og evakuerings-stasjon inntil 60 min. Tillegg til dette kan hverken battery Power Notation eller Safety plasseres

fremfor forre kollisjonsskott (DNV GL, 2015, s. 17).

I de foregående kapitler er det presentert ulike operasjonelle faser, teknisk data om forbrenningsmotor og teori knyttet til batteri på PSV. Dette er ment som et teoretisk grunnlag for de systemer som inngår i oppgavens problemstilling. Videre i oppgaven vil det foretas en gjennomgang av de ulike dieselektriske systemene.

5. Deselelektrisk

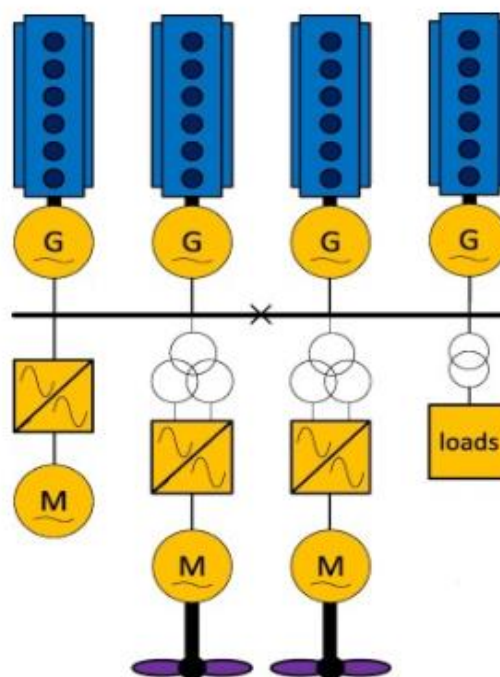
Kapitlet vil introdusere de ulike komponentene som til sammen utgjør fremdriftssystemet, og systemets totale virkningsgrad. En oppsummering av systemet vil bli presentert i kapittel 5.3, med hensyn på at konfigurasjonen skal prestere best mulig i de ulike operasjonene, og minimere miljøskadelige utslipp til best mulig pris.

Deselelektrisk fremdriftssystem baserer seg på produksjon av elektrisk energi. Se figur 5.2. Hvor energien blir produsert ved at kjemisk energi omdannes i forbrenningsmotor til bevegelsesenergi på en aksling som driver generatoren. Strømmen som blir produsert går videre til hovedtavlen, som igjen distribuerer strømmen (Geertsma, Negenborn, Visser, & Hopman, 2017). Figur 5.1 illustrerer et typisk oppsett ved en deselelektrisk konfigurasjon. Tabell 5.1 viser forklaring av komponentene.

Gary D. Burch definerer hybrid system som (Burch, 2001) *“Hybrid power systems combine two or more energy conversion devices, or two or more fuels for the same device”*

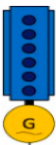










Hensikten med et hybrid system er å lage et system som er mer fleksibelt, har mindre utslipp, lavere brennstofforbruk, krever mindre vedlikehold, tar mindre plass og veier mindre etc. (Rolls Royce, u.d.). I følge Gary D. Burch er et hybrid system ikke begrenset til å omhandle kombinasjoner av ulike fremdrifts alternativ, men kan også oppnås ved å kombinere brennstoff i samme system, også kjent som *Dual Fuel*.

Dermed gir Gary Burch grunnlag for å definere deselelektrisk system som hybrid (Burch, 2001). Kraftkilden i et deselektrisk system kommer fra to komponenter, nemlig forbrenningsmotor og elektro motor.

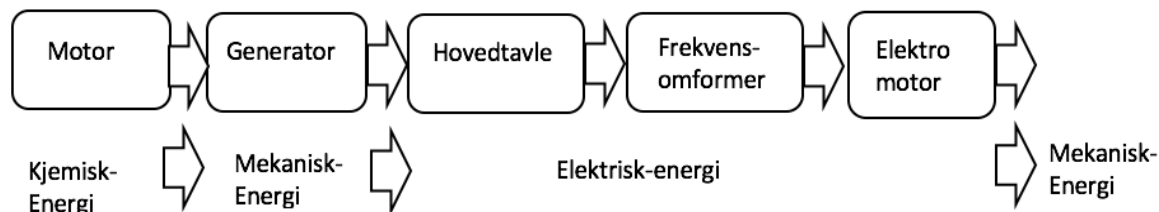


Figur 5. 1. Konseptskisse – deselelektrisk (Geertsma, Negenborn, Visser, & Hopman, 2017).

Tabell 5. 1. Beskrivelse av komponenter i konseptskisse.

Komponenter	Forklaring
	Forbrenningsmotor med tilhørende generator
	Hovedtavle
	Bus-tie
	Transformator, 3-vikling
	Transformator, 2-vikling
	Frekvensomformer AC/AC
	Energi til andre komponenter som hotell, kran etc.
	Elektromotor
	Propell
Konfigurasjon med batteri vil ha følgende ekstra komponenter (figur 6.1 og 6.2)	
	Frekvensomformer DC/AC
	Batteri

5.1 Komponenter



Figur 5. 2. Kjemiskenergi til mekaniskenergi (Man, u.d.).

5.1.1 Generatorsett

Forbrenningsmotor med tilhørende generator er definert som generatorsett (gen-set) i et dieselelektrisk system. Det er i denne delen av fremdriftssystemet hvor kjemisk energi blir omdannet til bevegelsesenergi, som igjen driver generatoren ved hjelp av motorens veivaksling (Leif Lundby, 2014). Forbrenningsmotoren er fundamentet i dieselelektriske fremdriftssystem, det er også her energitapet er størst. Moderne diesel forbrenningsmotorer som anvendes om bord på skip i dag har en virkningsgrad på 45-50%. Dette betyr i praksis at 50-55% av den kjemiske energien i brennstoff har gått tapt til ulike kilder, som varme (Leif Lundby, 2014).

Forbrenningsmotoren i denne oppgaven har en virkningsgrad utregnet (3.4) til å være:

$$\eta = 0,54$$

For å finne virkningsgrad til systemet som helhet vil det følgelig være nødvendig å inkludere virkningsgradene fra alle komponentene i et dieselelektrisk system. Som utført i utregning (5.1)

Kraftkilden til et fartøy som benytter dieselelektrisk fremdrift kan bestå av flere forbrenningsmotorer, og dermed blir tilsvarende antall generatorer drevet ved at motorens veivaksling er direkte koblet på generatoren.

Mekanisk energi, i form av rotasjonsarbeid, blir her omdannet til elektrisk energi i form av vekselstrøm (AC) ved elektromagnetisk induksjon (Leif Lundby, 2014). Knut Hofstad skriver i en artikkel publisert av Store norske leksikon, hvordan induksjon oppstår (Hofstad, 2018) «Induksjon skjer i en elektrisk strømkrets når den omgis av en varierende magnetisk fluks»

Variasjonen i magnetisk fluks skjer i en generator ved at spolen i generatoren roterer i et magnetfelt, denne rotasjonen er lik veivakslingens rotasjon i forbrenningsmotoren. (Dokkum, 2016) (Leif Lundby, 2014). Rotasjonsfrekvensen på generatoren benyttet i denne oppgaven ligger på 60Hz. Ved generatorsettet som er presentert i (kap.3), inkluderer en generator med virkningsgrad $\eta = 0,96$

5.1.2 Hovedtavle

Oppgaven til hovedtavlen er å samle inn og distribuere strømmen videre til andre komponenter i systemet. Oppgaven gjennomføres av hovedtavlen for å beskytte generatorene, kabler og andre elektriske komponenter mot skade fra kortslutning og høyspenning (Dokkum, 2016, s. 319). Tavlen er bygget opp av vertikale seksjoner, hvor det er minst en seksjon for hver generator og to for de andre elektriske komponentene (Dokkum, 2016, s. 319).

Tavlen splittes ofte i to identiske deler hvor likt antall generatorer og thrustere er koblet på hver side (A & B). Tavlen splittes ved hjelp av en "bus tie-breaker", og dette utgjør tavlens evne til redundans. Man kan da splitte tavlen og koble fra en side av tavlen mens den andre er aktiv. Ved å splitte tavlen med bus tie-breaker muliggjør man også at mannskapet kan utføre vedlikehold og arbeid på tavlen under drift uten å måtte stenge ned hele operasjonen (Dokkum, 2016, s. 320).

Hovedtavlen er en nødvendig del i en dieselelektrisk konfigurasjon, tavlen leverer normalt strøm med spenning lik 690V AC, 50/60Hz. Rene Prenc, Aleksandar Cuculić & Ivan Baumgartner skriver i artikkelen «*Advantages of using DC power system on board ships*» at hovedtavlen ikke nødvendigvis trenger å levere strøm med AC, 50/60Hz. De mener at det kan være store fordeler knyttet til bruk av DC tavle. Fordelene med DC tavle er at tavlen opererer på 0Hz, altså vil det ikke være nødvendig for generatorsettet å operere med konstant rotasjonsfrekvens (fixed-speed) for å supplere tavlen med 50/60Hz. En variabel forbrenningsmotor kan da anvendes i stedet, og muliggjør optimalisering av turtall etter kraftbehovet (Prenc, Cuculić, & Baumgartner, 2016).

5.1.3 Transformator

Strømmen distribueres videre fra hovedtavlen til transformatorer. Hensikten med transformatorer er å isolere komponenter som krever mindre spenning enn den gitte spenning i tavlen. Transformatoren omgjør spenningen fra normalt 690V AC til 440V AC (Ådnes, 2003).

5.1.4 Frekvensomformer

En frekvensomformer er en elektrisk komponent som omgjør frekvensen produsert av generatorene til en annen frekvens. Elektromotorens pådrag blir regulert av den frekvensen produsert i frekvensomformer. Den vil få signaler fra bro ved pådrag på hendlene om ønsket frekvens av operatørene. Omformeren vil da justere frekvensen mellom 0-60Hz, avhengig av ønsket pådrag på elektromotor. Rotasjonshastighet på elektromotoren vil være proporsjonalt med frekvensøkningen. (Babicz, 2015) (Powersystems International, u.d.).

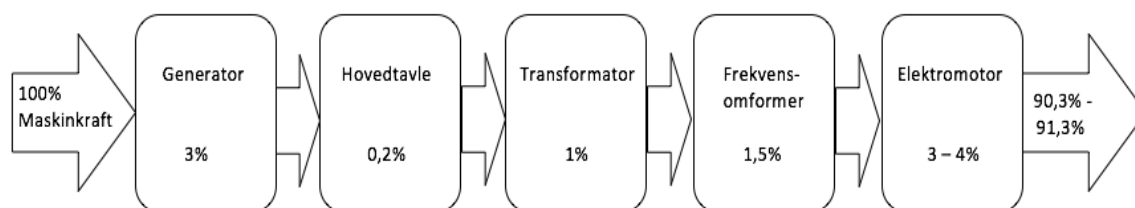
Vekselstrøm fra transformatoren vanskeliggjør frekvensomforming, den må derfor først gjøres om til DC av en likeretter før frekvensen endres, også tilbake til AC. Dette blir gjort av en AC/DC/AC likeretter (Gozuk, u.d.) (Prenc, Cuculić, & Baumgartner, 2016).

5.1.5 Elektromotor

Ved å ta i bruk en dieselektrisk konfigurasjon, erstatter man akslingen som driver propellen med de førnevnte komponenter (Rodomista, u.d.). Elektromotoren gjør det motsatte av en generator, hvor den omgjør elektriske energien(AC) tilbake til mekanisk energi.

Elektromotoren driver som nevnt propellen proporsjonalt med økning av frekvens i frekvensomformer (Dokkum, 2016, s. 318) (Babicz, 2015).

5.2 Virkningsgrad



Figur 5. 3. Tap i elektriske komponenter (Man, u.d.).

Totalvirkningsgraden for komponentene i et dieselelektrisk system, ekskludert kabler samt mindre komponenter:

$$\begin{aligned}\eta_{TOT} &= \eta_e \cdot \eta_G \cdot \eta_H \cdot \eta_T \cdot \eta_F \cdot \eta_{EL} & (5.1) \\ &= 0,54 \cdot 0,97 \cdot 0,998 \cdot 0,99 \cdot 0,985 \cdot 0,97 \\ \eta_{TOT} &= 0,495\end{aligned}$$

5.3 Totalvurdering

Dette kapittelet tok for seg utgreiing av dieselelektrisk fremdrift. Som problemstillingen tilsier vil det foretas en evaluering av de ulike dieselelektriske systemene på en PSV. Dermed er den dieselelektriske konfigurasjonen grunnlaget for de andre systemene som skal gjennomgås. Det ble videre foretatt en forklaring av de komponenter som i helhet utgjør et dieselelektrisk system. Virkningsgraden for systemet ble så presentert som en avsluttende del på komponentene, $\eta = 0,495$. Den vil også være med videre som grunnlag for virkningsgrad gjennom de andre system, som η_{DE} .

Dieselelektrisk fremdrift på PSV er stort sett den eneste utformingen som er gunstig nok til å drive skipet. En vanlig mekanisk løsning for PSV byr på mange utfordringer, da dette krever en propell-aksling direkte koblet på motoren (Rodomista, u.d.).

På grunn av skipets naturlige utforming med overbygning forut, er en gunstig plassering av motorene nettopp under overbygningen, dette gjør at avgass rørene som eksos har en naturlig vei ut fra motorene (Rodomista, u.d.).

I tillegg til dette får man større lastekapasitet ombord når man slipper å ha en propell-aksling som strekker seg gjennom hele skipet (Rodomista, u.d.).

Ved dieselektrisk fremdrift oppnår man både redundans i maskinene ombord og pålitelighet i systemet da det typisk er installert fire til seks hovedmaskiner. Pålitelighet og redundans er vesentlig for PSV for å minimere konsekvensene ved at tap av en motor (Rodomista, u.d.).

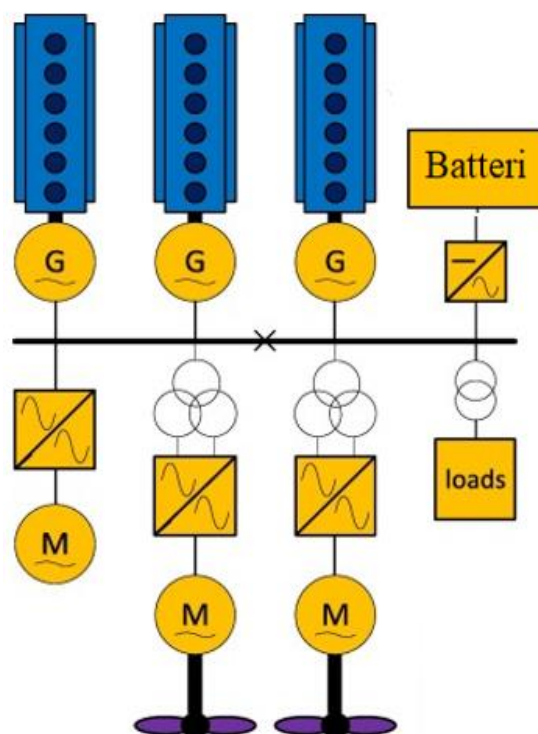
6. Diesel-batteri hybrid

Diesel-batteri hybrid system er, som definert tidligere i oppgaven et dieselelektrisk system hvor batteri er installert som energikilde. Dette baserer seg på systemet forklart i (kap.5), og har samme prinsipp for fremdrift. Forskjellene i systemene ligger i implementering av elektrisk energilagring i form av batteri.

Utformingen av diesel-batteri hybrid er vist på figur 6.1 (Geertsma, Negenborn, Visser, & Hopman, 2017). Forklaringer for komponentene er beskrevet i tabell 5.1.

I dette diagrammet er det installert tre forbrenningsmotorer og ett batteri. I et konvensjonelt dieselelektrisk system vil det være installert fire eller flere forbrenningsmotorer.

Systemets oppbygging er likt et dieselelektrisk, ved at kjemisk energi omdannes i forbrenningsmotorer som driver generatorer til produksjon av strøm. I likhet med dieselelektrisk blir strømmen forvaltet av tavle og omdannes i en elektrisk motor til mekanisk energi.



Figur 6. 1. Konseptskisse – Diesel-batteri hybrid
(Geertsma, Negenborn, Visser, & Hopman, 2017).

Ved implementering av batteri vil den elektriske lagrede energien (DC) anvendes som vist på figur 6.1 fra batteriet gjennom en DC\AC transformator som sender energien videre til samme tavle som allerede distribuerer energien fra forbrenningsmotorene. Konseptskissen viser at ved installering av batteri vil det konvensjonelle dieselelektriske systemet få to ekstra komponenter, batteri og transformator. Verken batteri eller transformator har virkningsgrad på 100% (Man, u.d.) (kap.5.2). Dette vil medføre en reduksjon i systemets totale virkningsgrad.

6.1 Operasjonell anvendelse

Som forklart i (kap.4.1) finnes det to alternative konfigurasjoner for batteri, henholdsvis, Battery Power Notation og

battery safety. Forskjellene i de to konfigurasjonene ligger i energilagringens kapasitet. Følgelig vil

infrastrukturen som kreves for anvendelse av batteri være lik for begge konfigurasjonene.

Som forklart i (kap.4.1), vil installering av batteri som Power

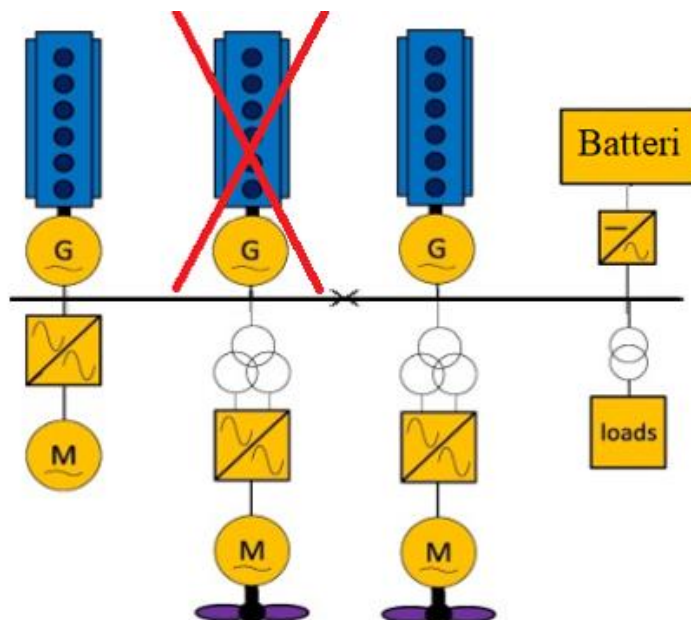
Notation åpne muligheten for å redusere antallet aktive

forbrenningsmotorer.

Dette vil føre til redusert

brennstofforbruk og operasjonstid.

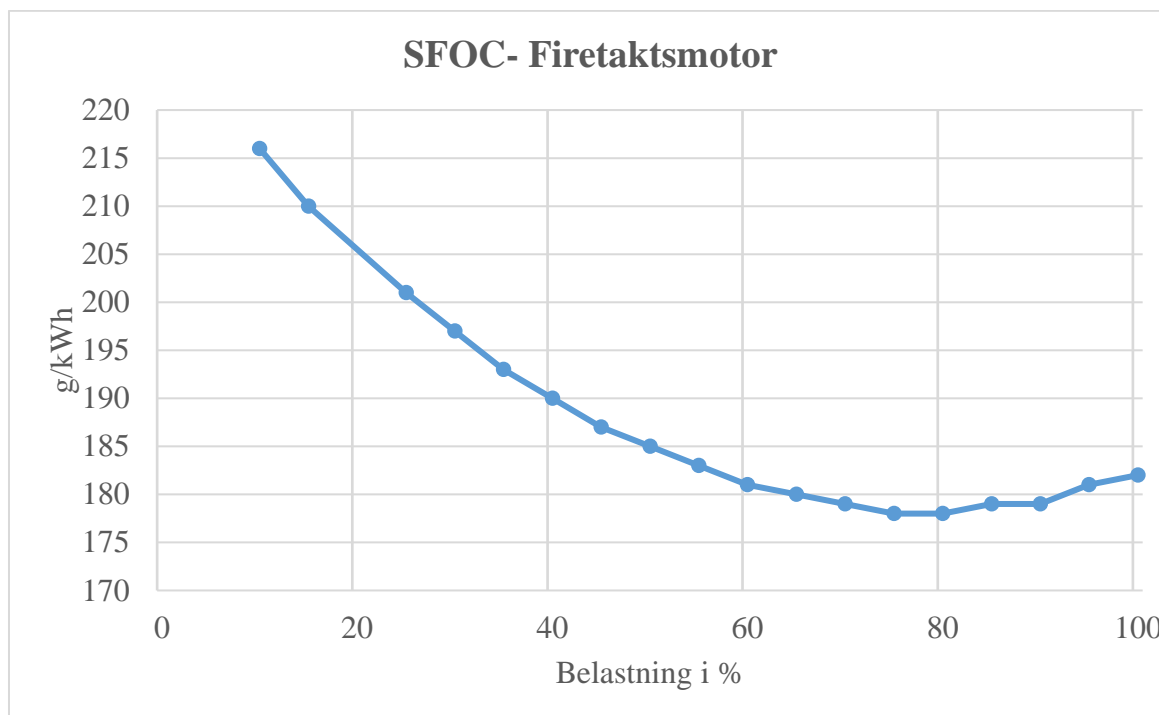
Grunnen for denne reduksjonen forklares i (kap.6.6).



Figur 6. 2. Anvendelse av konseptskisse – Diesel batteri hybrid (Geertsma, Negenborn, Visser, & Hopman, 2017).

6.2 Brennstofforbruk

Reduksjon av brennstofforbruket kommer av motorenes spesifikke brennstofforbruk ved ulike belastninger. Figur 6.3 illustrerer forbruk målt i g/kWh.



Figur 6.3. Specific fuel oil consumption – Wärtsilä 4 stroke engine (J.-P. Jalkanen, 2011).

Figur 6.3 viser at lavest forbruk i g/kWh oppnås ved motorbelastning på 70%-80%. Største besparelsen i g/kWh får man ved å endre belastning fra område 10% til område over 50%. I området 55%-80% belastning er gevinsten pr prosent belastning avtagende.

Ved implementering av batteri som Power Notation erstatter batteriet en forbrenningsmotor. Dette tillater de resterende motorene å arbeide på en høyere belastning.

Som vist på figur 6.3 vil dette resultere i lavere brennstofforbruk. Ifølge Bjørn Johan Vartdal gjennom rapporten «Hybrid Ships» vil et typisk PSV fartøy operere på belastning under 50%, i 75% av tiden (Vartdal, 2013). Vartdal tilføyer at implementering av batteri i et fartøy med denne operasjonsprofilen vil være en ideell løsning, da et batteri vil gi forbrenningsmotoren mulighet til å arbeide på høyre belastning (Vartdal, 2013). I tillegg til bedring av brennstofforbruk vil også batteriet utnytte dets evne til momentan kraft supplering i situasjoner hvor det oppstår brå variasjoner i energibehov (Statoil, u.d.). Dette medfører at forbrenningsmotoren kan operere på en jevnere belastning.

6.3 Økonomi

Ved installering av batteri i et dieselelektrisk system har Sondre Henningsgård estimert gjennom rapporten *Life cycle analysis of batteries in maritime sector* en brennstoffbesparelse på 300 tonn (Henningsgård, 2016). Tabell 6.1 viser årlig besparelse for en typisk PSV under operasjonsfasene som er beskrevet i (kap.2.1).

	Tidsforbruk operasjons- faser i %	Forbruk uten batteri		Reduksjon Med batteri	Besparelse med batteri
Operasjon		Tonn/24t Diesel	Tonn/år Diesel		Tonn/år Diesel
Transit LO	21%	7,89	605		16
DP	38%	10,45	1450		154
Standby	16%	5,99	350		23
Transit HI	2%	27,39	200		1
Havn	23%	2,32	195		106
Total diesel			2800	10%	300

Tabell 6. 1. Brennstofforbruk i ulike faser (Henningsgård, 2016).

Tabell 6.1 viser at besparelsene er størst når fartøyet opererer i DP. Grunnen for dette mener Statoil at batteri gir størst utbytte i operasjoner hvor det oppstår hurtig variasjon i kraftbehov (Statoil, u.d.). Dette er også forklart i (kap.2.1)

Ved installering av batteri om bord viser rapport (upublisert) utarbeidet av ENOVA at prisen for batteri fra leverandør er omlag 13.8 millioner NOK. Rapporten legger også til at flere aktører i markedet ville være en del av dette banebrytende prosjektet, og at konkurransen blant aktørene derfor kan ha vært med på å nedjustere prisen (ENOVA).

Ved installering av batteri om bord i en PSV er det store forskjeller mellom fartøy for hva som er nødvendig utrustning, samt prisforskjeller hos leverandør. For at gruppen skal kunne estimere tilbakebetalingstid for et batteri, er det tatt utgangspunkt i kostnadene i en upublisert rapport fra ENOVA.

Pris diesel/tonn er 600 USD (Ship & Bunker, u.d.).

Brennstoffbesparelse pr. år med batteri er 300 tonn (Henningsgård, 2016).

$$300 \text{ tonn} \cdot 600 \text{ USD} = 180\,000 \text{ USD} = 1,41 \text{ MNOK}$$

(6.1)

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{13,9 \text{ MNOK}}{1,41 \text{ MNOK pr år}} = 9,85 \text{ år}$$

Tilbakebetalingstiden vil avhenge av prisen på diesel under tenkt tilbakebetalingsperiode. Dersom brennstoff prisen er lik dagens nivå vil besparelsene føre til en tilbakebetalingstid på ca.10år. Utregningen ekskluderer inflasjonsjustering (Norges Bank, 2006) , støtte fra NO_x - fondet (NHO, 2017), ENOVA (ENOVA, u.d.), eller andre organisasjoners bidrag. Dette blir gjort for å tydeliggjøre investerings potensiale gjennom forbruk og pris, uten midlertidige insentiver fra organisasjoner, som ved senere anledning kan gi et urealistisk bilde.

Det er verdt å nevne at investeringskostnaden for installasjon av batteri vil tilhøre reder, men den økonomiske gevinsten vil være befrakters. Dette er fordi i offshore markedet er det ofte betrakter som betaler brennstoff (DNV GL, 2016, s. 86).

6.4 Miljøpåvirkning

Diesel-batteri hybrid system utnytter diesel i forbrenningsmotor som kraftkilde, noe som leder til utslipp av ulike klimagasser som produkt av forbrenningsprosessen. For en typisk PSV vil forbrenning av 1 tonn diesel produsere 3,1 tonn CO_2 og 0,044 tonn NO_x (Henningsgård, 2016).

Brennstoffbesparelse på 300 tonn vil da redusere CO_2 utslipp med 930 tonn, og 13,2 tonn reduksjon i NO_x -utslipp. Tabellen som her er blitt presentert ekskludere utslipp knyttet til produksjon av diesel.

Brennstoff	SO _x (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	Partikler (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Diesel	2	8-11	0,25-0,5	580-630

Tabell 6. 2. Utslippsdata for diesel (Mochamad Furqon Rochyana, 2014, s. 33).

6.5 Virkningsgrad

Alle batterier har tap, og hvor hurtig batteriet utlades, altså batteriets C-rate, har påvirkning på virkningsgraden (Battery University, 2017). I følge Grenland Energy, som er leverandør av batteri til maritim sektor, kan batterier ha virkningsgrad på opptil $\eta = 0,98$ (Grenland Energy, u.d.). I likhet med tidligere utregninger av virkningsgrad, ekskluderer også denne utregningen tap i kabler, tap i kabler vil derimot bli tatt for seg i (kap.9) dette er gjort med hensyn på batteriplassering.

Figur 5.3 viser at et en typisk transformator som anvendt til industrielt bruk har en virkningsgrad på $\eta = 0,99$

$$\begin{aligned}
 \eta_{TOT} &= \eta_{DE} \cdot \eta_B \cdot \eta_T & (6.2) \\
 &= 0,495 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \\
 \eta_{TOT} &= 0,48
 \end{aligned}$$

6.6 Totalvurdering

I dette kapitlet har det blitt gjennomført en utgreiing av diesel-batteri hybrid system. Som nevnt er forskjellene fra dieselektrisk system i hovedsak implementering av batteri. Ved å implementere batteri som Power Notation i fremdriftssystemet kan antallet forbrenningsmotorer reduseres. I systemet som er tatt for seg i denne oppgaven har gruppen regnet ut virkningsgrad til å være $\eta = 0,48$. På figur 6.3 kan man se at motorens belastning har innvirkning på brennstofforbruket. Det vil følgelig være mer gunstig å drive to motorer med høyere belastning, enn fire på relativt lav belastning.

Et annet resultat av reduksjon i antall aktive forbrenningsmotorer er vedlikeholds besparelser knyttet til reduksjon i operasjonstiden. Det eksakte tallet for besparelse i vedlikeholdskostnader vil være påvirket av flere ukjente faktorer, og vil av den grunn være vanskelig å beregne, men det kan antas at det vil foreligge en besparelse.

Til tross for prisøkningen og den reduserte virkningsgraden som forekommer ved implementering av batteri til et dieselektrisk fremdriftssystem, mener gruppen at det kan sees på som hensiktsmessig system.

7. Dual-Fuel-batteri hybrid

Dual-fuel motorer benytter både gass og diesel til brennstoff (DNV GL, 2014). I denne sammenhengen kan det benyttes LNG, LPG og Biogass. I kapittel 1.4 avgrenses oppgaven til bruk av LNG som alternativt brennstoff.

7.1 LNG

Jarle Johannessen definerer naturgass etter følgende måte (Johannessen, 2005, s. 250); *“Mengdemessig er naturgass den viktigste formen for gass til bruk som brennstoff. Naturgass er et rent brennstoff uten aggressive bestanddeler av betydning”* han tilføyer også at *“LNG har et høyt energiinnhold og meget god forbrenningseffekt i en motorsylinder.”* (Johannessen, 2005, s. 250)

Naturgass oppstår naturlig ved organisk forråtnelse, og har en typisk egenvekt på 450kg/m³ (Sivertsvik, 2014). Av dette utgjør metan omlag 90% av sammensetningen i LNG (Johannessen, 2005, s. 251)

7.2 Dual fuel motor

Ved benyttelse av LNG som brennstoff, vil det ikke utgjøre en stor forskjell på utformingen av motoren, og virkningsgrad vil ikke ha en signifikant endring ved bruk av LNG (Johannessen, 2005, s. 252) (Wagemakers & Leermakers, 2012, s. 2).

Utformingen av dual-fuel er illustrert ved figur 7.1. Til sammenligning viser figur 7.2 konvensjonell diesel innsprøyting (Wärtsilä, u.d.).

Som Figur 7.1 illustrerer er det tre muligheter for innsprøyting av brennstoff, ett for LNG og to for diesel. To av systemene benyttes i kombinasjon, der LNG og diesel kombineres. Det tredje er et selvstendig diesel system og er det redundante systemet for brennstoff (Johannessen, 2005, s. 253).



Figur 7. 2. Dual-fuel innsprøyting (Wärtsilä, u.d.). (upublisert)



Figur 7. 1. Diesel innsprøyting (Wärtsilä, u.d.). (upublisert)

7.3 Arbeidsprinsipp for dual-fuel motor

Ved oppstart av en dual-fuel motor benyttes diesel. Når forbrenningen i alle sylindrene har stabilisert seg, og motoren har nådd et jevnt turtall reduseres automatisk innsprøytning av diesel til ca 1%, samtidig som LNG kobles inn elektronisk. Diesel anvendes som “pilotfuel” til start av forbrenningen i sylindrene. Dette er nødvendig fordi LNG har en relativt høy selvantenningsstemperatur, og klarer ikke å starte forbrenningen alene (DNV GL, 2014). Selv om skipet i prinsipp benytter LNG som brennstoff vil diesel alltid være tilstedeværende for å starte forbrenningsprosessen (Johannessen, 2005).

Dual-fuel systemet benytter gass og trykk-regulatorer som koordinerer mengde LNG mot effektbehovet på skipet. Når motoren belastes 100% vil gassens innsprøytningsstrykk maksimalt være 3,5 bar (Johannessen, 2005). Til sammenligning vil innsprøytningsstrykket på diesel være 1200-1800 bar (Broman, 2000, s. 9). Verken innsprøytningsstrykket eller brennstoff vil ha påvirkning på motorens avgitt effekt og virkningsgrad (Johannessen, 2005) (Wagemakers & Leermakers, 2012).

7.3.1 Batteri

Batteri vil ha samme virkemåte som forklart i (kap.6). Uavhengig av brennstoff vil batteri yte samme effekt til systemet. Men der det konvensjonelle dual-fuel systemet ville benyttet diesel i tilfeller med hurtige lastvariasjoner, vil man kunne benytte energi fra batteriet istedenfor i et dual-fuel-batteri hybrid system (Sintef, 2015). Dette er kjent som peak shaving og er forklart i (kap.4.1).

7.4 Bunkringsmuligheter og oppbevaring

Bunkringsmuligheter for LNG er vesentlig faktor for å kunne benytte LNG som brennstoff. Som figur 7.3 viser er ikke bunkringsmulighetene mange (grønn). De blå punktene viser planlagte bunkringsstasjoner for LNG.

Bunkringsmulighetene for LNG er illustrert på bildet 7.3. Bildet er hentet fra DNV GL «Global LNG bunkering infrastructure» av 2014 (DNV GL, 2014)

Jarle Johannessen skriver i boken Maskinlære og maskinromssystemer 2005 (Johannessen, 2005, s. 257) at det vil nok ta mange tiår før skip i virkelig langfart kan montere motorer som går på gass, til fremdriftsanlegg. Han tilføyer også at dette er på grunn av både lagerkapasiteten om bord og på land. (Johannessen, 2005, s. 275)

Om bord oppbevares LNG i en vakuumisolert gasstank plassert i et brannisolert rom. På grunn av den høye energitettheten i LNG ved NTP (DNV GL, u.d.) skal tanken opprettholde et trykk på 5,5 bar med temperatur på -140 °C (Johannessen, 2005).



Figur 7.3. Oversiktsbilde bunkringsstasjoner LNG (DNV GL, 2014).

7.5 Økonomi

Virkningsgraden er som nevnt den samme ved bruk av LNG og diesel. Men økonomisk er det per i dag positive argumenter ved å velge gass fremfor diesel (Wagemakers & Leermakers, 2012, s. 16).

Tallene under er forventet besparelse på LNG for en gitt PSV ved implementering av batteri. Rapporten hvor tallene er hentet fra, er utarbeidet av ENOVA som sluttrapport (ENOVA).

Operasjon	Tidsforbruk faser (%)	Forbruk uten batteri			Red. m/ batteri	Besparelse LNG	Besparelse diesel
		Tonn/24h LNG	Tonn/år LNG	Tonn/ år diesel			
Transit LO	27,7%	10,1	1021,5			122,5	
DP	40%	5,8	869,4			69,5	
Standby	1,7%	4,3	27,6			6,91	
Transit HI	0,6%	15,3	37,4			3,7	
Havn	29,1%	2,5	274,6			68,6	
Total LNG			2230,6		12%	271,4	
Total Diesel				549	12%		68,2

Tabell 7. 1. Brennstofforbruk i ulike faser LNG (ENOVA) (upublisert).

Det er viktig å påpeke at besparelsen i brennstoff varierer etter operasjonsprofilen til en PSV. Tabellen er derfor kun egnet for å gi et overblikk over besparelse ved benyttelse av LNG med diesel som pilot fuel, kombinert med batteri.

Som nevnt tidligere er kostnaden ved installering av batteri varierende fra leverandører.

Alle forbrukstall for LNG og diesel er hentet fra ENOVA rapport (ENOVA).

Ved tall hentet fra Gasnor for bunkring ved Mongstad forsyningsbase, er det oppgitt pr. 2018 en kostpris for bunkring av LNG ved havn på 4348 kr/tonn (Gasnor, u.d.).

Bunkerspris på diesel er hentet fra (Ship & Bunker, u.d.).

13 800 000 kr for kostnad av batteri (ENOVA).

LNG Brennstoffbesparelse 271,44 tonn/år.

Diesel Brennstoffbesparelse 68,22 tonn/år.

$$\text{LNG } 4.348 \text{ kr/tonn } \quad 271,44 \cdot 4348 = 1\,180\,221 \text{ NOK} \quad (7.1)$$

$$\text{Diesel } 4.697 \text{ kr/tonn } \quad 68,22 \cdot 4697 = 320\,429 \text{ NOK}$$

Kostnadmessige besparelser totalt ved redusert brennstofforbruk per år = 1 500 650 kr

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{13\,800\,000}{1\,500\,650} = 9,2 \text{ år} \quad (7.2)$$

Tilbakebetalingstiden er som vist omlag 9 år. Utregningen har samme forutsetninger som tilbakebetalingstiden for diesel-batteri hybrid i (kap.6.3).

7.6 Miljøpåvirkninger

Høye internasjonale krav til utslipp, og norske rederiers ønske om å ta i bruk nye fremtidsrettede løsninger for å senke miljøskadelige utslipp, har resultert i 35 skip i norsk nærskipfart som benytter gass til brennstoff pr. 2014 (Norges Rederiforbund, 2014).

Brennstoff	SOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Partikler (g/kWh)	CO2 (g/kWh)
LNG	0	2	~0	430-480

Tabell 7. 2. Utslippsdata for LNG (Mochamad Furqon Rochyana, 2014, s. 33).

7.7 Totalvurdering

Som nevnt i (kap.7.6) er det store fordeler ved anvendelse av LNG som brennstoff når det gjelder miljøskadelige utslipp. Videre utover dette viser det seg å være positive økonomiske sider ved å benytte gass, sammenlignet med diesel. Som nevnt i introduksjonen til kapittel 7 opererer dual-fuel motorer både på diesel og gass (LNG), og vil dermed være fleksibelt i forhold til type brennstoff (Jensen, 2006). Dual-fuel motorer har tre forskjellige system for innsprøyting av brennstoff (kap.7.2), og kan skifte mellom brennstoffene uten merkbare endringer på motor eller skip (Woodyard, 2004, s. 51).

Ved å ha flere brennstoffsystem medfører dette følgelig økte vedlikeholdskostnader. Diesel blir som nevnt redundant i dual-fuel motorer, og systemet skifter automatisk over på diesel når lastnivået for motoren ligger på <15% (Stensvold, LNG-produsentene dypt uenige om totaktsmotorer, 2014).

Til slutt i dette kapittelet er det vist med tall fra ENOVA (ENOVA) en tiltenkt tilbakebetalingstid ved implementering av batteri.

8. Sammenligning av systemene med påfølgende valg

8.1 Generelt

Hittil i oppgaven er det blitt utført en vurdering av de ulike systemene. Systemene har mer likhet enn hva som ble antatt ved start av oppgaven. Det er likevel fordeler og ulemper for systemene som er verdt å trekke frem. Fordeler og ulempene i de forskjellige systemene vil i denne delen av oppgaven bli belyst. Dette gjør gruppen i stand til å ta et valg av det systemet som utmerker seg på de punktene som er valgt i denne oppgaven.

8.2 Økonomi

Det vil ikke bli gjort noen vurdering på kostnad av enkeltkomponenter i disse systemene, grunnet systemenes likheter. Det vil derimot sammenlignes brennstoffbesparelse ved utnyttelsen av batteri. Dette er fordi kostnadene for implementering av batteri vil være det samme om det gjøres i diesel-batteri hybrid systemet (kap 6) eller dual-fuel-batteri hybrid (kap 7).

De økonomiske forskjellene ligger imidlertid i besparelsen av brennstoff og kostnadene av brennstoffet. Som vist i oppgaven ligger prisen på LNG og diesel henholdsvis 4348 kr/tonn og 4697 kr/tonn - prisforskjellen er 349 kr/tonn. Dette utgjør en 7,5% lavere pris for LNG, sammenlignet med diesel. Forskjellene vil derimot øke om brennstoffenes energitetthet blir inkludert i utregningen.

Produkt	Tetthet kg/m ³	Energitetthet kWh/KG	Pris Kr/tonn
Diesel	860	11,9	4697
LNG	468,1	13	4348

Tabell 8. 1. Energitetthet, pris, og densitet for diesel og LNG (Ship & Bunker, u.d.) (Gasnor, u.d.) (Vermeire, 2012) (Gasnor, u.d.) (Unitrove, u.d.).

$$\text{Diesel: } \frac{4697 \text{ kr/tonn}}{11900 \text{ kWh/tonn}} = 0,39 \text{ kr/kWh} \quad \text{LNG: } \frac{4348 \text{ kr/tonn}}{13000 \text{ kWh/tonn}} = 0,33 \text{ kr/kWh} \quad (8.1)$$

$$\text{Besparelse i prosent: } \left(\frac{0,39 - 0,33}{0,39} \right) \cdot 100 = 18,18 \% \quad (8.2)$$

8.3 Miljøpåvirkning

Skipsfarten er en betydelig bidragsyter til luftforurensning og klimagassutslipp, både nasjonalt og internasjonalt. Utslipp av SO_x , NO_x og partikler bidrar til helse og miljøskader, mens CO_2 utslipp er den viktigste klimagassen produsert av skipsfarten (Martinsen, DNV GL, 2014, s. 4).

Hvor stor påvirkning de ulike systemene har på miljøet vil være vanskelig å regne ut nøyaktig, da dette avhenger av flere ukjente variabler. For å regne ut dette vil det være nødvendig å se på miljøutslipp knyttet til alle ledd i verdikjeden.

Det er en signifikant besparelse ved anvendelse av batteri, både for dual-fuel-batteri hybrid, og diesel-batteri hybrid systemet. Utslippstall presentert i tabellen under er en sammensetning av tabell 6.2, og 7.2. På bakgrunn av at det dielelektriske systemet ikke har batteri, er det tydelig at det kommer dårligere ut på punktet miljøpåvirkning.

Brennstoff	SO_x (g/kWh)	NO_x (g/kWh)	Partikler (g/kWh)	CO_2 (g/kWh)
LNG	0	2	≈ 0	430-480
Diesel	2	8-11	0,25-0,5	580-630

Tabell 8. 2. Utslippstall fra diesel og LNG (Mochamad Furqon Rochyana, 2014).

Tabell 8.2 viser at LNG har mindre utslipp av SO_x , NO_x , partikler og CO_2 . Vi kan ut fra denne tabellen konkludere men at dual-fuel-batteri hybrid system som anvender LNG i forbrenningsprosessen vil være mer miljøvennlig enn diesel-batteri hybrid systemet. Bruken av LNG som brennstoff i skip forventes av mange å øke vesentlig verden over, spesielt i nærskipsfarten (Martinsen, DNV GL, 2014).

8.4 Virkningsgrad

I dette kapitlet blir virkningsgraden for de forskjellige systemene sammenlignet. Som nevnt bygger både diesel-batteri hybrid og dual-fuel-batteri hybrid på en dieselelektrisk konfigurasjon. Dette vil resultere i at virkningsgraden for de to systemene vil avta noe i forhold til dieselelektrisk. Dieselelektriske konfigurasjonen vil ha en virkningsgrad på $\eta = 0,495$.

Ser man derimot på diesel-batteri hybrid vil virkningsgraden avta noe, dette er på grunn av de ekstra komponenter som medfølger ved implementering av batteriet, og virkningsgraden ender på $\eta = 0,48$. Virkningsgraden for dual-fuel-batteri hybrid vil, som presentert, være den samme som diesel-batteri hybrid.

Dersom vi bare tar virkningsgraden i betraktning, vil det være det dieselelektriske systemet som kommer best ut.

8.5 Bunkringsmuligheter

En forutsetning for å gjennomføre produksjon av nybygg i dag, er at det skal kunne operere 20-30 år frem i tid (Martinsen, DNV GL , 2014). I lys av nåtidens teknologiutvikling er fleksibiliteten til systemet og hvor godt det er rustet for å takle denne utviklingen helt avgjørende.

Bildet viser at deknningen av MDO/MGO (diesel) langs norskekysten er god, infrastrukturen er på plass og det er god grunn for å tro at dette er et tilbud som vil bestå. Ved bunkring av LNG er tilbudet i dag noe dårligere, og det er ni LNG bunkringsstasjoner pr. 2014. Det er forklart av Kjetil Martinsen, gjennom (Martinsen, DNV GL , 2014) at dette kan skyldes at det er en dyr investering for tilbyder av kaianlegg.

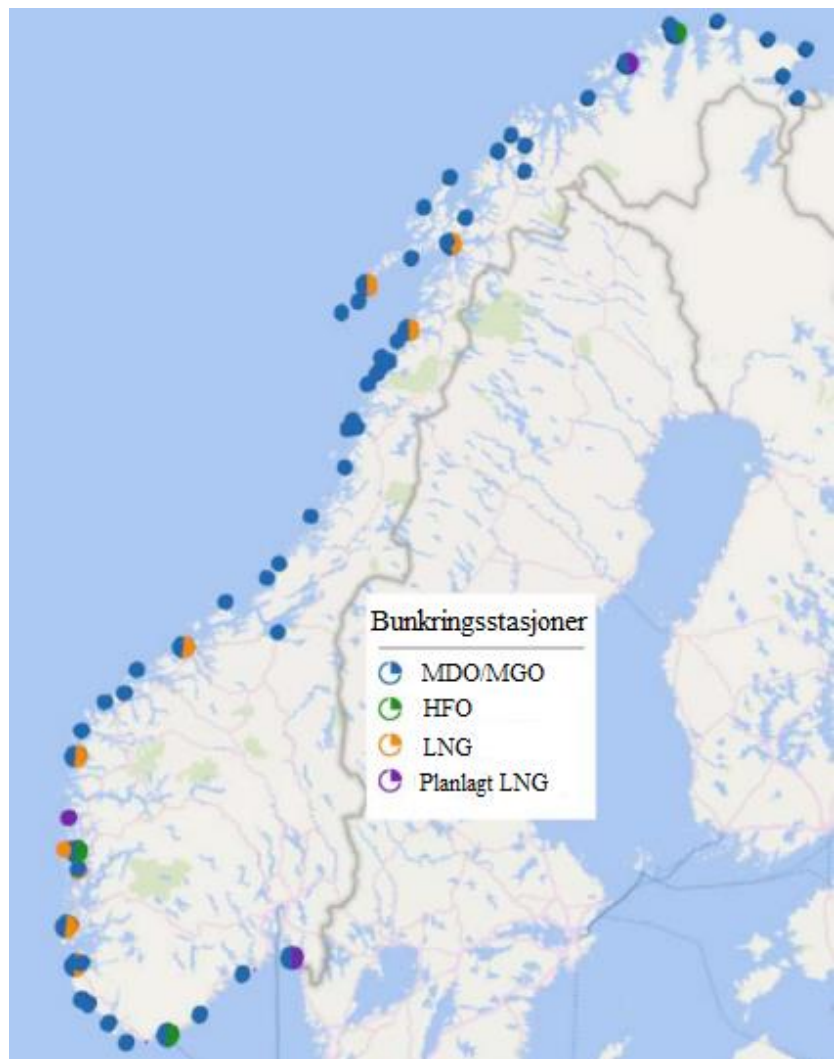
Investeringen i ny infrastruktur ikke vil være lønnsom før flåten av LNG drevne båter blir større.

På den andre siden vil ikke rederiene investere i brensel som LNG før infrastrukturen er på plass.

Kjetil Martinsen sier at «LNG kan likevel anses å være en moden teknologi, men distribusjon av drivstoffet er enda en utfordring mange steder» (Martinsen, DNV GL , 2014, s. 15)

Batteri vil sees på som en relativt trygg investering da det i hovedsak lades av hovedmotor som benytter LNG eller diesel. Utbygging av landstrøm vil ha en positiv effekt på batteriet og spare hovedmotor for running hours. ENOVA ga i 2017 tilskudd på totalt 300 mill nok til utbygging av landstrømanlegg til 20 norske havner (Stensvold, Teknisk ukeblad, u.d.).

Landstrøm blir ikke evaluert som eget punkt i denne oppgaven.



Figur 8. 1. Bunkringsstasjoner (Martinsen, DNV GL , 2014).

Ved nåtidens bunkringsmuligheter vil diesel komme best ut, og blir sett på som det tryggeste alternativet med tanke på fleksibiliteten et slikt system vil gi. Batteri Power Notation vil også komme godt ut da det i prinsippet ikke direkte er avhengig av tilkoblingsmuligheter til land, og dette tilbudet ser ut til å bedres i fremtiden. LNG er ansett som et økende marked, men pr. i dag innebærer begrensninger i operasjonsområdet for en PSV.

8.6 Resultat

Skipsfarten er en betydelig bidragsyter til luftforurensing og klimagassutslipp. Det forskes i dag mye på alternative brennstoff til skipsfarten. Det er derfor grunn til å tro at infrastruktur for alternativt brennstoff vil utbedres, samt at prisen for batteriteknologi kan bli konkurransedyktig med tradisjonell forbrenningsmotor.

Ved valg av fremdriftssystem har gruppen lagt stor vekt på at systemer er rustet for teknologisk utvikling i fremtiden. På bakgrunn av dette er det dual-fuel-batteri hybrid systemet som utmerker seg. Virkningsgraden på $\eta = 0,48$ er lavere enn et dieselelektrisk system (kap.5.3), men brennstoffbesparelsene ved å anvende batteriet gir systemet gevinst til tross for redusert virkningsgrad. Det reduserte brennstoffforbruket kombinert med lavere miljøutslipp ved forbrenning av LNG gjør at miljøpåvirkningen fra dual-fuel-batteri hybrid systemet er redusert, sammenlignet med de to andre systemene.

På en annen side vil valg av dual-fuel-batteri hybrid medføre redusert fleksibilitet. Med dette menes at fartøyets operasjonsområder er begrenset til områder hvor det eksisterer utviklet infrastruktur for supplering av LNG på industriell skala.

Som nevnt tidligere vil forbrenningsmotoren kunne veksle sømløst mellom LNG og diesel uten endring av forbrenningsmotorens virkningsgrad. Dette betyr at i områder hvor LNG ikke er tilgjengelig vil det kunne benyttes diesel.

Dette systemet vil da kunne direkte sammenlignes med diesel-batteri hybrid system, og derfor ha likt utslippstall.

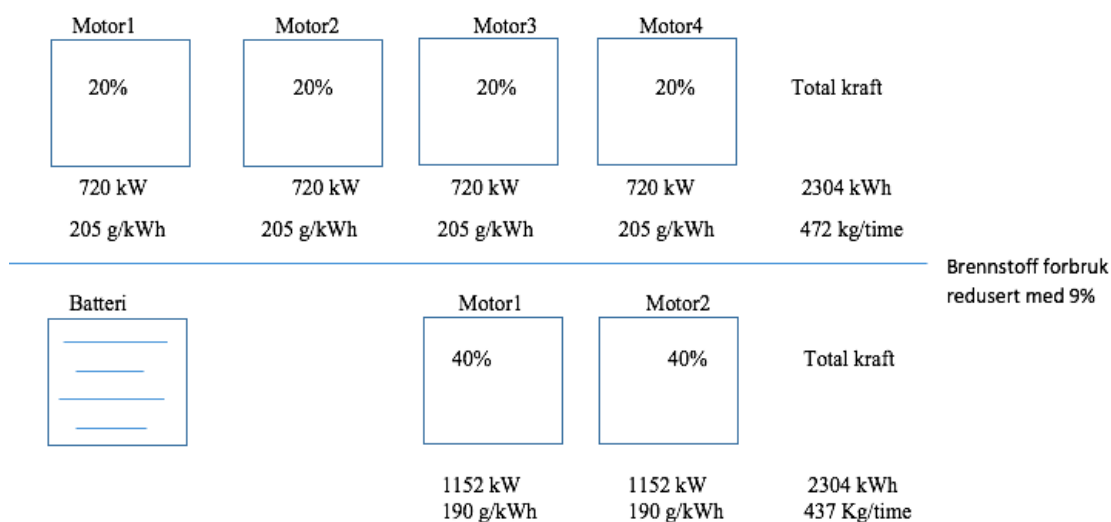
Når det kommer til anvendelsen av batteri i hybrid systemene, viser beregninger at tilbakebetalingstiden med dagens batteriteknologi og pris vil være omlag 10 år for både

diesel-batteri hybrid (6.1), og dual-fuel-batteri hybrid (7.2). Dr. Lars Ole skriver i rapporten *Batterier som energilagingsmedium for transportsektoren* at (Valøen, u.d.) «*En forventer at innen 10 år vil energitettheten øke signifikant, samt at prisen pr. kWh lagringskapasitet vil synke*». Ved forventet levetid på et batteri lik 10 år, vil altså det neste batteriet som et gitt fartøy tar i bruk, ha en kortere tilbakebetalingstid enn det vi ser i dag. Næringen er avhengig av at redere investerer i prosjektene i tidlig fase av utviklingen for å fremme videre forskning og utvikling.

Hybrid systemene som anvender batteri i operasjonen vil naturligvis være dyrere enn det dieselektriske systemet, men det kan tenkes at hybrid systemene er mer attraktive for befrakter, grunnet lavere brennstofforbruk, som kjent er en utgift som tilfaller befrakter. På bakgrunn av disse punktene mener grupper at det er dual-fuel-batteri hybrid systemet som er det best egnede fremdriftssystemet for PSV.

9. Evaluering av valgt system ved operasjonell anvendelse

DP operasjoner krever høy presisjon og maskinkraft for å holde fartøyets posisjon over lengre perioder. Det er i denne fasen hvor fartøyet blir utsatt for størst og hyppigst lastvariasjon. Det vil følgelig være i denne fase hvor dual-fuel-batteri hybrid systemet har størst utbytte av batteri. Spesielt utmerker batteri implementert som Power Notation seg, ettersom at dette tilfredsstiller krav til redundans, og operatørene derfor har mulighet til å redusere antall forbrenningsmotorer. Figur 9.1 illustrerer besparelser ved å utnytte redusert antall forbrenningsmotorer.



Figur 9. 1. Alternative konfigurasjoner.

Figur 9.1 viser et redusert brennstofforbruk på 9%. Grunnet ulike meteorologiske forhold vil det være umulig å regne ut nøyaktig reduksjon uten å se på reelle data fra et fartøy under denne operasjonen. Det er likevel grunn til å anta at besparelsene vil være større ettersom at disse utregningene er gjort med konstant belastning.

I en reell situasjon vil batteriet supplere kraft ved lastvariasjoner som fører til ytterligere besparelser, tabell 7.1.

Figur 6.3 viser at desto nærmere belastningen er motorens “sweet-spot”, desto bedre er motorens brennstofføkonomi. Dette kan oppnås ved å ytterligere redusere antall forbrenningsmotorer, men krav til redundans ved operasjoner i nærheten av installasjon setter

begrensninger for antall aktive motorer. Det handler derfor om å optimalisere systemets brennstofføkonomi til tross for relativt ineffektiv belastning på motoren.

I transit har ikke fartøyet samme krav til redundans som i DP. Dette gjør operatørene friere til å velge hvilke, og hvor mange motorer man trenger relativt til effekt behovet.

Effektbehovet ved gjennomsnittlig operasjon i transit ligger gjerne på omlag 2200 kWh, som vist på figur 3.2. Ved implementering av batteri i denne fasen er det illustrert ved figur 9.2 en besparelse på ca 7%, forutsatt at man i eksemplene tar utgangspunkt i at brennstoffbruket er likt ved både LNG og diesel.

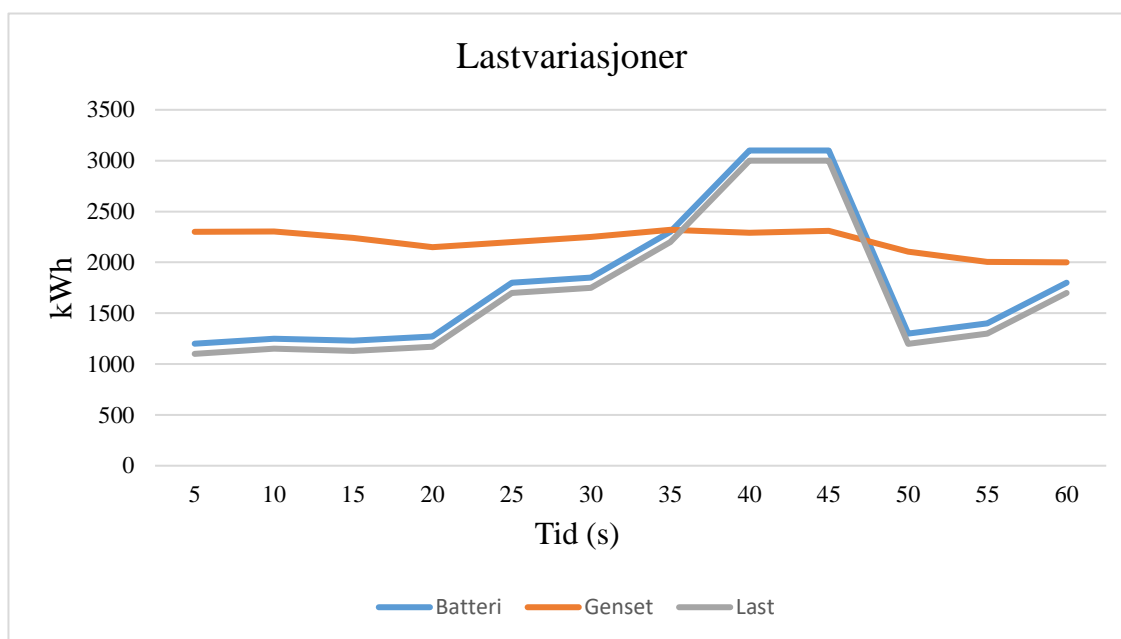
Alternativ 1 viser et typisk oppsett av motorer under transit. I dette tilfelle ser man at det er to aktive motorer med individuell belastning på 40% som tilsvarer 190 g/kWh. Dette utgjør tilsammen 437 kg brennstoff på en time.

Alternativ 1	Motor1	Motor2	Total kraft	Brennstoff forbruk reduisert med 7%
	40%	40%		
	1152 kW 190 g/kWh	1152 kW 190 g/kWh		
Alternativ 2	Batteri	Motor1	Total kraft	Brennstoff forbruk reduisert med 7%
	— — —	80%		
		2304 kW 178 g/kWh		

Figur 9. 2. Energiforbruk konvensjonell konfigurasjon vs batteri konfigurasjon.

Alternativ 2 inkluderer batteri som Power Notation og dermed får man en dobbel belastning på resterende motor, tilsvarende 80%. Ser man på figur 6.2 viser denne at motorens *sweet spot* er ved 80% belastning. Dette utgjør altså et brennstofforbruk på 178 g/kWh som tilsvarer 410 kg brennstoff per time. Besparelsen på 7% tar heller ikke her hensyn til lastvariasjoner ved peak shaving, og meteorologiske forhold.

Ved lastvariasjoner i transit som vist på figur 9.3 benyttes batteriet ved å avgi energi ved økende behov og får tilført overskuddsenergien når last behovet synker, da vil batteriet lades. Dette resulterer i jevnere last på motorene som igjen fører til at vedlikeholdskostnadene vil avta. En firetakts skipsmotor er designet for et høyt last nivå, som kan forstås fra SFOC-kurven på figur 6.2.



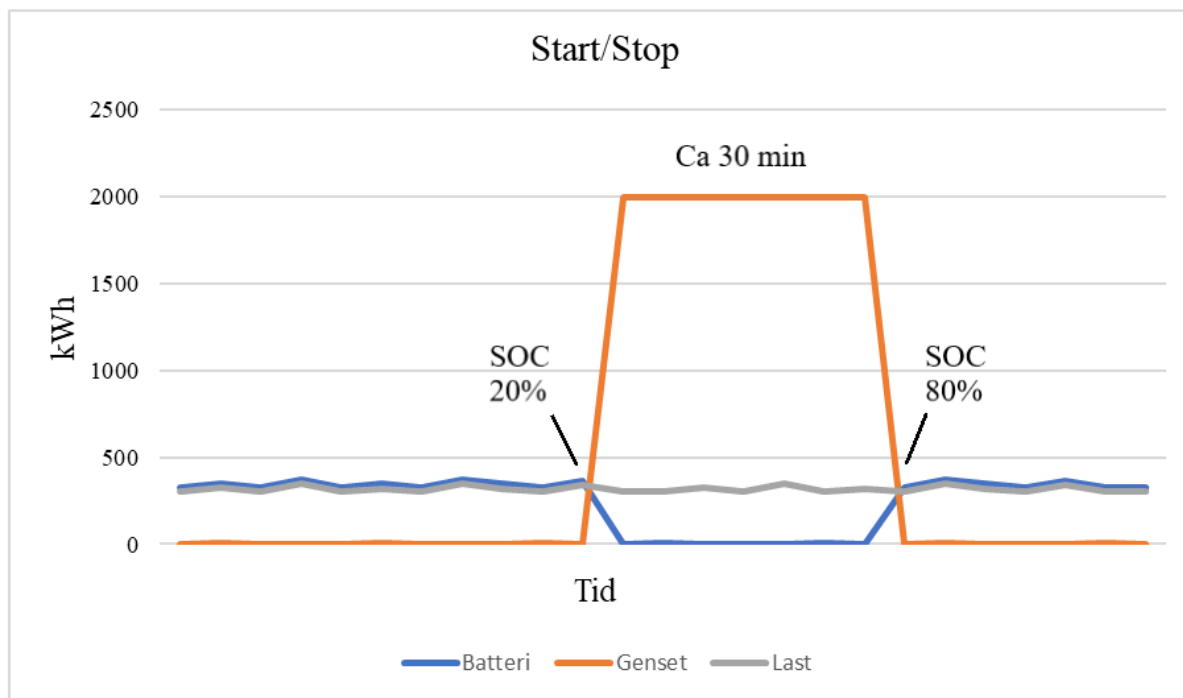
Figur 9. 3. Batteriutnyttelse ves store lastvariasjoner.

Når skipet ligger til kai med en dual-fuel-batteri hybrid konfigurasjon, er det som i alle andre operasjoner ønskelig å minske klimagass utslipp så mye som mulig.

I havn vil de lokale utslippene bli enda tydeligere enn ute på havet, og ha en direkte påvirkning på lokalbefolkning.

Som hybrid løsning har konfigurasjonen mulighet til å benytte batteriet i havnemodus.

Energi behovet i havn vil være relativt lavt sammenlignet med andre operasjoner, noe som gir gode forutsetninger for å utnytte potensialet til batteriet.



Figur 9. 4. Lading med start/stop funksjon.

Ved å la batteriet arbeide som vist på figur 9.4 illustrerer, benyttes energien lagret i batteriet til å drifte kraftbehovet til skipet. Når batteriet når en SOC 20%, startes en motor med lastnivå til 80%, batteriet vil lades av overskuddsenergien fra generatorsettet.

Denne funksjonen gjør at hovedmotoren gjentatte ganger blir startet opp og stoppet ned.

Batteri utnyttelse ombord på PSV er et relativt nytt fenomen, og pr. i dag er det uvisst hvilke konsekvenser dette har for motoren. Men det er grunn til å tro at hyppig start og stop av motoren vil føre til termisk belastning av store temperaturforskjeller. Store temperaturforskjeller kan føre til sprekkdannelse eller deformasjon i støpejernet som utgjør motorens konstruksjon. (Lund & Hellevik, 2016)

Effektene kan reduseres ved benyttelse av landstrøm, men per i dag er ikke tilgjengeligheten for landstrøm i norske havner god nok (Martinsen, DNVGL, 2015). Og det er grunn til å tro at selv ved installering av landstrøm, vil den termiske belastningen fremdeles være tilstede i faser som standby.

Det foreligger lite forskningsmateriale på området enda, og gruppen velger derfor å la dette punktet stå som alternativ til videre utvikling av oppgaven.

9.1 Plassering av batteri

Plassering av batteri har påvirkning på virkningsgraden for systemet grunnet tap i kabler. Det ser ut til at batteri om bord på PSV i dag blir plassert med hensyn til tap i kabler. For hvor batteriet ikke er integrert i maskinrom, er det i flere tilfeller plassert aktenfor overbygningen. Plasseringen av maskinrom er som nevnt tidligere under overbygningen for å forenkle avgass transport fra forbrenningsmotor. Ved å plassere batteriet over maskinrom vil distansen fra generatorsett og hovedtavle til batteri være relativt kort, og tapet i kabler blir på den måten redusert.

Gruppen stiller her spørsmål til denne plasseringen, ettersom at evakueringsstasjon for mannskap på PSV er lokalisert bak overbygningen. Potensiell gass utvikling, eksplosjonsfare og brann i maskinrom som truer batteriets brannintegritet, er eksempler på faremomenter som er en risiko for mannskap.

Gruppen ser på plassering av batteri forut på fartøyet som en mulig løsning. Dette er fordi distansen fra generator til batteri ikke øker signifikant, men man øker distansen nok til å gjennomføre en tryggere evakuering dersom det skulle oppstå brann i batteri.

Den økte distansen vil føre til et større tap i kabler.

I kapittel 4.1 ble det presentert teknisk data for batteriet som er anvendt på Viking Energy. Gruppen mener at dette er et representativt fartøy for supply næringen i dag. Det vil av den grunn bli brukt samme verdier for utregningen under, henholdsvis 653kWh/1600kW.

Utgreiingen under viser hvor stort tap det er i kablene dersom batteriet er aktenfor overbygning, og fartøyet opererer utelukkende på batteri. Dette vil da være en nødsituasjon, og batteriet skal derfor kunne levere tilstrekkelig kraft for å avbryte og forflytte seg fra operasjonsområdet. I denne type operasjon vil batteriet hurtig utlades grunnet det relativt store kraftbehovet. Av den grunn er virkningsgraden for batteriet, i denne utregningen, satt til $\eta = 0,9$.

Tap i kabel

Teknisk data for kabel

Antall faser:	3
Stoff:	Kobber (Cu)
Motstand Cu	0,0175 mΩ/mm ²
Spenning:	690 V
η _{kabel} :	0,9
P:	1600 kW
Distanse:	50 m

Formler er hentet fra (Pedersen, Gustavsen, Kaasa, & Olsen, 2013)

(1) Finner Ampere (I) for 3 fase vekselstrøm (AC)

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (9.1)$$

$$I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}$$

Ved hurtig utladning faller batteriets virkningsgrad til 0,9. Verdien er lagt inn i formel under

$$I = \frac{1600 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 0,9}{690 \text{ V} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,9} = 1338 \text{ A}$$

Antall kabler som kreves for å levere 1338 A er 4 á 240 mm² (Nexans, u.d.)

(2) Finner resistens i Cu-kabel

Vi legger til antall faser og hvor mange kabler som anvendes, henholdsvis 3 og 4.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} = 0,0175 \cdot \frac{3 \cdot 4 \cdot 50 \text{ m}}{240 \text{ mm}^2} = 0,043 \Omega \quad (9.2)$$

(3) Finner spenningsfallet for 50m

$$\Delta U = R \cdot I \quad (9.3)$$

$$\Delta U = 0,043 \Omega \cdot 1338 \text{ A} = 57 \text{ V}$$

(4) Finner effekt tapt i kabel

$$P = \Delta U \cdot I = 57 \cdot 1338 \quad (9.4)$$

$$P = 76266 \text{ W} = 76,266 \text{ kW}$$

$$P_{inn} = 1600\text{kW} \cdot 0,9 = 1440 \text{ kW}$$

$$P_{ut} = 1440 - 76,266 \approx 1363 \text{ kW}$$

$$\frac{1440}{1363} = 0,94 = 94 \% \quad (9.5)$$

Totalt tap i kabel: 6 %

Utrekningen viser et totalt tap på 6% under utladningsperioden med 50 m distanse.

Ved å følge samme formel, men øker distansen til 100m vil tapet øke til 11%.

Gruppen anser ikke plasseringen av batteriet ved mønstring stasjon til å være en så stor fare at det skal gå på bekostning av effekten i så stor grad.

Alternativt kunne spenningen vært økt for å bære strømmen over lengre distanser, men det kan lede til at det anvendes høyspenning (>1000V). Det vil da kreve utbedring av infrastruktur, tavler, samt lukkede høyspent områder i fartøyet. Mannskapet trenger utvidet kurs for å entre dette området. Dette vil da resultere i økt kostnad for reder.

Som nevnt tidligere, skal batteri ivareta brannintegritet i 60 min når batteriet er plassert ved evakueringsstasjon. Gruppen anser at dette skal være tilstrekkelig tid til å evakuere fartøyet. Av disse grunnene ser gruppen det som beste løsning å plassere batteriet aktenfor overbygning.

9.2 Bus-tie

Bus-tie er som nevnt en bryter som deler hovedtavlen i to eller flere deler. I DP sammenheng er det store spørsmålet om bryteren skal være åpen eller lukket.

Er bryteren lukket, kan lasten fordeles mellom alle aktive generatorer som tilhører tavlen, som gir større fleksibilitet. Er bryteren derimot åpen gir dette større redundans. Grunnen for dette er at ved en eventuell feil vil ikke den forplante seg til alle komponenter via tavlen, men vil kun ramme komponenter som er koblet til den siden av tavlen hvor feilen oppsto. Dermed oppnår man høyere redundans.

Ved å bruke batteri som Power Notation må bus bryteren være lukket. Dette er fordi batteriet skal kunne overta lasten fra motoren ved eventuelle feil, uavhengig av hvilke side batteriet eller forbrenningsmotor er koblet til tavlen.

For å utnytte batteriet på optimal måte vil dette gå på bekostning av redundans.

10. Konklusjon og forlag til videre arbeid

Med skipsnæringens – og politiske organisasjoners ønske om å minske miljøskadelige utslipp fra skip, viser oppgaven gjennom en teoretisk forklaring at dual-fuel-batteri hybrid systemet kan vurderes som det best egnede. For å løse de miljømessige utfordringene knyttet til PSV i dag, kan konfigurasjonen vise til sterkt redusert klimagass- og partikkelutslipp sammenlignet med anvendelse av tradisjonell dieselelektrisk konfigurasjon.

Implementering av flere komponenter i systemet vil føre til en redusert virkningsgrad, men konfigurasjonen vil bestå tekniske- og miljøkrav i næringen. LNG, diesel og batteri vil sammen levere ønsket effekt, utslippet av miljøskadelige gasser vil gå ned, og krav til redundans blir opprettholdt.

For at konfigurasjonen skal få vist sitt fulle potensial, er man avhengig av at tilbudet av landstrøm og LNG får bedre dekning i norske havner. Videre er det forventet i at energitettheten i batteriet vil øke de neste ti årene.

Det vil bedre systemets fleksibilitet for allerede aktive fartøy, og kan føre til at flere rederier er villige til å gjøre investeringer i nye systemer. LNG er et fossilt brennstoff, og derfor ikke en optimal løsning. Men med dagens teknologi ser gruppen det som hensiktsmessig å anvende LNG.

Med dagens teknologi vil start/stopp funksjonen til batteriet ha en termisk påvirkning på motoren, og trenger derfor videre forskning og analysering. Dersom termisk belastning skulle vise seg å ha en signifikant effekt på forbrenningsmotorens levetid, kan landstrøm være del av en mulig løsning. Landstrøm kan være med på å ytterligere redusere utslipp når fartøyet ligger i havn, dette forutsetter selvsagt at den elektriske energien har blitt produsert av fornybar energikilde.

I norsk offshore virksomhet er det vanlig at befrakter betaler brennstoffet, og rederiene vil naturlig nok bli mer attraktive dersom fartøyet er utstyrt med et system som reduserer forbruket. Resultater fra denne oppgaven viser at det er brennstoffbesparelse ved anvendelse av dual-fuel-batteri hybrid, en besparelse som vil tilfalle befrakter.

Gjennom arbeidet med denne oppgaven har gruppen kommet over flere interessante tema, som kan være aktuell gjenstand for videre arbeid. Da denne oppgaven la motoren 6L32 til

grunn, resulterte det i at hovedtavle med AC konfigurasjon falt naturlig. På den andre siden hadde det vært interessant om det ble benyttet en «variable speed engine» med DC tavle. For så å undersøke om resultatene samsvarte, om det forbedrer systemet, eller om dual-fuel-batteri hybrid konfigurasjon gir best resultat med «fixed speed» og AC tavle.

Referanseliste

- Babicz, J. (2015). *Encyclopedia of ship technology*. Retrieved from Wärtsilä:
https://www.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/encyclopedia/wartsila-o-marine-encyclopedia.pdf?utm_source=web&utm_medium=web&utm_term=marine&utm_content=encyclopedia&utm_campaign=encyclopedia
- Battery University. (2017, Oktober 25). *Columb and Enegy Efficiency with the Battery*. Retrieved from Battery University:
http://batteryuniversity.com/learn/article/bu_808c_coulombic_and_energy_efficiency_with_the_battery
- Bottema, H., Grol, E., Ladeur, V., & Post, K. (2015, 02 20). *Offshore cargo handling*. Retrieved from Maritime symposium: <http://www.maritimesymposium-rotterdam.nl/uploads/Route/OFFSHORE%20CARGO%20HANDLING.pdf>
- Bray, C. D. (2015). *DP Operator`s Handbook*. London: Nautical institute.
- Broman, C. (2000). *The diesel engine & the environment*. Retrieved from Wärtsilä:
https://www.marad.dot.gov/wp-content/uploads/pdf/NMREC_E_and_E_Workshop_-_broman.pdf
- Burch, G. D. (2001, August 21). *Hybrid Renewable Energy Systems*. Retrieved from Office of Power Technologies, U.S. Department of Energy :
<https://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/hybrids/Gary%20Burch%208.21.01.pdf>
- Chenkachorn, K., Poompipatpong, C., & Ho, C. G. (2013, 05 01). *Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (Liquid natural gas)*. Retrieved from Science direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213001412>
- Corvus. (n.d.). *Containerized Energy Storage System*. Retrieved from Corvus energy:
<http://corvusenergy.com/containerized-energy-storage-system/>
- DNV GL. (2014). *Engines for gas-fuelled ships*. Retrieved from DNVGL, LNG as ship fuel:
<https://www.dnvgl.com/maritime/lng/engines-for-gas-fuelled-ships.html>
- DNV GL. (2014). *Global LNG bunkering infrastructure*. Retrieved from Slideshare:
<https://www.slideshare.net/teriax/global-lng-bunkering-infrastructure>
- DNV GL. (2015). *Class programme, Type approval, Lithium batteries*. Retrieved from Rules DNV GL: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CP/2015-12/DNVGL-CP-0418.pdf>
- DNV GL. (2015, Oktober). *Rules for classification, ships, Part 6 Additional class notations, Chapter 2, Propulsion, power generation and auxiliary systems*. Retrieved from Rules DNV GL: http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf?_ga=2.61752292.914820521.1523375676-455908888.1515420805
- DNV GL. (2016, Desember 19). *Battery and hybrid ships, Handbook for Maritime and Offshore Battery Systems*. Retrieved from DNV GL:
<https://www.dnvgl.com/maritime/advisory/battery-hybrid-ship-service.html>
- DNV GL. (2016, desember 22). *Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip*. Retrieved from ENOVA SF:
https://www.enova.no/upload_images/5CA0E9A81AD54C4C94C3B313AB238A27.pdf
- DNV GL. (n.d.). *LNG safety*. Retrieved from DNVGL:
<https://www.dnvgl.com/maritime/lng/lng-safety.html>

- DNV GL. (n.d.). *The future is hybrid - A guide to use of batteries in shipping*. Retrieved from DNV GL, publications: <https://www.dnvgl.com/maritime/publications/future-is-hybrid-download.html>
- Dokkum, K. v. (2016). Ship knowledge : ship design, construction and operation. In K. v. Dokkum, *Electrical installations* (p. Vlissingen). Dokmar.
- ENOVA. (n.d.). *Maritim transport - Energi- og klimatiltak på skip*. Retrieved from ENOVA: <https://www.enova.no/bedrift/maritim-transport/energi--og-klimatiltak-i-skip/>
- ENOVA. (n.d.). *Sluttrapport Viking Energy*. ENOVA (upublisert).
- Gasnor. (n.d.). *Noen typiske data for energibærere*. Retrieved from Gasnor: <https://gasnor.no/naturgass/typiske-data-energi/>
- Gasnor. (n.d.). *Tariff*. Retrieved from Gasnor: <https://gasnor.no/tariff/>
- Geertsma, R., Negenborn, R., Visser, K., & Hopman, J. (2017, Mars 8). *Design and controll of hybrid Power and propulsion system for smart ships: A review of development*. Retrieved from Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917301940>
- Gozuk. (n.d.). *What is frequency converter? How it works*. Retrieved from Gozuk: <http://www.frequencyinverter.org/what-is-frequency-converter-how-it-works-631601.html>
- Grenland Energy. (n.d.). *The New Battery Technology*. Retrieved from Grenland energy: http://grenlandenergy.com/?page_id=10350
- Gunvaldsen, I., Mathiesen, S., & Rosvold, K. A. (2018, 02 20). *Batteri*. Retrieved from Store norske leksikon: <https://snl.no/batteri>
- Henningsgård, S. (2016, September 30). *Life cycle analysis of batteries in maritime sector*. Retrieved from Maritime battery forum, c/o DNV GL, Næringslivets handelsorganisasjon: https://www.nho.no/siteassets/nhos-filer-og-bilder/filer-og-dokumenter/nox-fondet/dette-er-nox-fondet/presentasjoner-og-rapporter/life-cycle-analysis-for-batteries-in-maritime-sector_final_v_0.1.pdf
- Hofstad, K. (2018, Februar 20). *Generator - energiomformer*. Retrieved from Store norske leksikon: https://snl.no/generator_-_energiomformer
- IMO. (2013). *MSC/Circular.645 - Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems (Adopted 1994)*. Retrieved from IMO: <http://imo.udhb.gov.tr/dosyam/EKLER/MSC-Circ.645.pdf>
- IMO. (n.d.). *Prevention of Air Pollution from Ships*. Retrieved from IMO: <http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/air-pollution.aspx>
- J.-P. Jalkanen, L. J. (2011, August). *Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide*. Retrieved from Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/252392578_Extension_of_an_assessment_model_of_ship_traffic_exhaust_emissions_for_particulate_matter_and_carbon_monoxide
- Jalel, A. H., Devassy, G., Vincent, M. C., Rose, N., Raphel, R., & C.M, R. S. (2016). *Power management system in vessel*. Retrieved from HVL, bibliotek, Oria: https://bibsys-almaprimo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/fulldisplay?docid=TN_ieee10.1109/GET.2016.7916666&context=PC&vid=HIB&search_scope=default_scope&tab=default_tab&lang=nn_NO
- Jensen, S. (2006, Desember). *Converting Diesel Engines to Dual Fuel - The Pros and Cons of Common Gas Engine Types*. Retrieved from Energy Conversions Inc.: <https://www.energyconversions.com/whitepaperdualfuelengines.pdf>
- Johannessen, J. (2005). In J. Johannessen, *Maskinlære og maskinromssystemer* (pp. 90-92, 250-257). Oslo: Yrkeslitteratur as.

- Leif Lundby, V. Æ. (2014). *Produksjon av mekanisk og elektrisk energi til havs* . Retrieved from NTNU: <http://www.marin.ntnu.no/havromsteknologi/Bok/Kapittel%207.pdf>
- Lindstad, H. E., Eskeland, G. S., & Riialand, A. (2016, 12 8). *Batteries in offshore support vessels - Pollution, climate impact and economics*. Retrieved from Science direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916302723>
- Lund, A., & Hellevik, L. (2016, Desember 20). *Skipsmaskineri, kapittel 3, Drift av marint maskineri*. Retrieved from Marfag: <http://www.marfag.no/k08/3-drift-av-marint-maskineri-2>
- Man. (n.d.). *Diesel-electric Drives, A brief guideline how to engineer a diesel-electric propulsion system*. Retrieved from Man dieselturbo : <https://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/marine-broschures/diesel-electric-drives-guideline.pdf?sfvrsn=0>
- Martinsen, K. (2014, 12 22). *DNV GL* . Retrieved from Miljø og klimadepartementet. Teknisk vurdering av skip og av infrastruktur for forsyning av drivstoff til skip: https://www.regjeringen.no/contentassets/cffd547b30564dd9a2ae616042c22f26/teknisk_vurdering_av_skip_og_av_infrastruktur_for_forsyning_av_drivstoff.pdf
- Martinsen, K. (2015). *DNVGL*. Retrieved from Landstrøm i norske havner (Rapport nr. 2015-1214, Rev. 1).
- MIT. (2008, Desember). *A Guide to Understanding Battery Specifications* . Retrieved from MIT Electric Vehicle Team: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf
- Mjøllhus, L. B. (2017, Juli 15). *Evaluation of Hybrid Battery System for Platform Support Vessels (Mastergradsavhandling)*. Retrieved from Universitetet i Stavanger: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2460942>
- Mochamad Furqon Rochyana, M. Y. (2014, Juli 7). *MGO and LNG as fuel (Dual fuel) to suport sustainable maritime transport (A case study in K.M Ciremai)*. Retrieved from International Refereed Journal of Engineering and Science: <http://www.irjes.com/Papers/vol3-issue7/F373238.pdf>
- Nexans. (n.d.). *Kabelboka, Håndbok for e-verkskabler*. Retrieved from Nexans: https://www.nexans.no/eservice/Norway-no_NO/fileLibrary/Download_540200470/Norway/files/Nexans_Kabelboka_e-verk_2014.pdf
- NHO. (2017, september 9). *NOx-fondet*. Retrieved from Støtteprogram for batteripakker på PSV: <https://www.nho.no/Prosjekter-og-programmer/NOx-fondet/Nyhetsarkiv/2017/nytt-stotteprogram-for-batteripakker-pa-psv/>
- Norges Bank. (2006, Juni 29). *Inflasjon*. Retrieved from Norges Bank: <https://www.norges-bank.no/Statistikk/Inflasjon/>
- Norges Rederiforbund . (n.d.). *Ren luft*. Retrieved from Norges Rederiforbund: <https://www.rederi.no/om-oss/fagomrader/sikkerhet-miljo-og-innovasjon/miljo/strategi/ren-luft/>
- Norges Rederiforbund. (2014, Mars). *Miljø, Blått hav - Grønn fremtid*. Retrieved from Norges Rederiforbund, Download link: <https://www.rederi.no/DownloadFile/?file=684>
- Norlund, E. K., Gribkovskaia, I., & Laporte, G. (2015, 06 01). *Supply vessels planning under Cost, environment and robustness considerations*. Retrieved from Science direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048315001061#bib31>
- Norsk Petroleum. (n.d.). *Felt* . Retrieved from Norsk Petroleum: <https://www.norsketroleum.no/fakta/felt/>
- Outlast. (n.d.). *Thermal runaway*. Retrieved from Outlast: <https://outlastlhs.com/thermal-runaway/>

- Pedersen, S. E., Gustavsen, J., Kaasa, S., & Olsen, O. (2013). *Teknisk formelsamling - med tabeller*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Powersystems International. (n.d.). *Frequency converters*. Retrieved from Powersystems International: <https://www.powersystemsinternational.com/frequency-converters/>
- Prenc, R., Cuculić, A., & Baumgartner, I. (2016, August 6). *Advantages of using DC power systems on board ships*. Retrieved from University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Download link: <https://hrcak.srce.hr/file/251458>
- Rodomista, V. (n.d.). *Diesel Electric Propulsion for Offshore Vessels*. Retrieved from Suntec Convention Centre, ABR Company Ltd: <http://seaways.net.au/wp-content/uploads/2015/11/D3P9.pdf>
- Rognsaa, A. (2016). *Bachelor-oppgaven*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Rolls Royce. (n.d.). *Hybrid and electric propulsion systems*. Retrieved from Rolls Royce: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/hybrid-electric-propulsion-systems.pdf>
- Rosvold, K. A. (2015, Mars 2). *Sekundærbatteri*. Retrieved from Store norske leksikon: <https://snl.no/sekund%C3%A6rbatteri>
- Ship & Bunker. (n.d.). *World Bunker Prices, MGO*. Retrieved from Ship&Bunker: <https://shipandbunker.com/prices#MGO>
- Sintef. (2015, Mai 19). *Hybrid vessels will soon be on the market*. Retrieved from Sintef: <https://www.sintef.no/en/latest-news/hybrid-vessels-will-soon-be-on-the-market/>
- Sivertsvik, K. (2014). *Fiskale målinger av LNG*. Retrieved from Kongsberg Maritime As: <https://nfoqm.no/wp-content/uploads/2014/04/Fiskale-M%C3%A5linger-av-LNG.pdf>
- Skipet. (n.d.). *De første forsyningskip*. Retrieved from Skipet: <http://www.skipet.no/maritimt/offshore/de-forste-forsyningskip>
- Statoil. (2000, 03 6). *Reduserer produksjonen i Nordsjøen*. Retrieved from Statoil: <https://www.statoil.com/no/news/archive/2000/03/06/WeatherCutsOutput.html>
- Statoil. (n.d.). *Batteri hybrid supply ship*. Retrieved from Statoil: <https://www.statoil.com/no/magasin/battery-hybrid-supply-ship.html>
- Stensvold, T. (2014, Februar 24). *LNG-produsentene dypt uenige om totaktsmotorer*. Retrieved from Teknisk ukeblad: <https://www.tu.no/artikler/lng-produsentene-dypt-uenige-om-totaktsmotorer/228148>
- Stensvold, T. (n.d.). *Teknisk ukeblad*. Retrieved from Disse 20 havnene får landstrøm-støtte fra ENOVA: <https://www.tu.no/artikler/disse-20-havnene-far-landstrom-stotte-fra-enova/396612>
- Unitrove. (n.d.). *LNG density calculator*. Retrieved from Unitrove: <http://unitrove.com/engineering/tools/gas/liquefied-natural-gas-density>
- Valøen, D. L. (n.d.). *Batterier som energilagringsmedium for transportsektor*. Retrieved from Grenland Energy: <https://www.ntva.no/wp-content/uploads/2014/01/Batteri-Val%C3%B8en.pdf>
- Vartdal, B. J. (2013). *Hybrid ships*. DNV, Research & innovation.
- Vermeire, M. B. (2012, Juni). *Everything You Need to Know About Marine Fuels*. Retrieved from Chevron Marine Products : http://www.chevronmarineproducts.com/content/dam/chevron-marine/Brochures/Chevron_EverythingYouNeedToKnowAboutFuels_v3_1a_DESKTOP.pdf
- Wagemakers, A., & Leermakers, C. (2012, Januar 1). *Review on the effects of dual-fuel operation, using diesel and gaseous fuels, on emissions and performance*. Retrieved from University of Technology, Eindhoven DOI: 10.4271/2012-01-0869: <https://pure.tue.nl/ws/files/3488531/687342011684710.pdf>

- Woodyard, D. (2004). *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines, Eighth edition* .
Oxford: Elsevier Ltd.
- Wärtsilä. (n.d.). *Technical data 6L32*. Retrieved from Download link:
www.wrk.ru/forums/attachment.php?item=318826
- Wärtsilä. (n.d.). *W31-externals-presentation*. Retrieved from (upblisert).
- Ådnanes, A. K. (2003, April 22). *Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion* . Retrieved from ABB: http://www.trpa.org/wp-content/uploads/ABB-AS_2003.pdf