

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för maskinteknik

ENERGIOPTIMERING

M/V Exporter

Tim Karlström, Henrik Åberg



01:2019

Datum för godkännande: 10.05.2019
Handledare: Kenneth Andersson, Key Ginman

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Tim Karlström, Henrik Åberg
Arbetets namn:	Energioptimering M/V Exporter
Handledare:	Kenneth Andersson, Key Ginman
Uppdragsgivare:	Rederi Ab Eckerö, Lars-Erik Häggblom

Abstrakt

Syftet med detta examensarbete är att undersöka olika möjligheter för att få ner bränsleförbrukningen på M/V Exporter. Vi har undersökt tre olika möjligheter:

- Installering av ett batteripaket för att klara av korta blackoutsituationer.
- Räkna på eventuella besparingar med att köra huvudmotorn i kombinatordrift med en dieselgenerator istället för att köra med konstant varvtal och axelgenerator.
- Undersöka om det finns möjlighet/behov av att optimera kombinatorkurvan.

Nyckelord (sökord)

Energioptimering, batteripaket, kombinatordrift, kombinatorkurva.

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
01:2019	1458-1531	Svenska	52 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
03.05.2019	10.05.2019	10.05.2019

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Mechanical Engineering
Author:	Tim Karlström, Henrik Åberg
Title:	Energy Optimization M/V Exporter
Academic Supervisor:	Kenneth Andersson, Key Ginman
Technical Supervisor:	Rederi AB Eckerö, Lars-Erik Häggblom

Abstract
<p>The purpose of this thesis is to investigate various possibilities of reducing fuel consumption on M/V Exporter. We have investigated three different possibilities:</p> <ul style="list-style-type: none">• Installing a battery pack to manage short black-out situations.• Calculations of any savings by running the main engine in combination mode with a diesel generator instead of running with constant speed and shaft generator.• Checking if there is a possibility/need to optimize the combinator curve.

Keywords
Energy optimization, battery pack, combination mode, combinator curve.

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
01:2019	1458-1531	Swedish	52 pages

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
03.05.2019	10.05.2019	10.05.2019

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	7
1.1	Syfte	7
1.2	Uppgift och frågeställningar	7
1.2.1	Batteripaket	7
1.2.2	Kombinatordrift	7
1.2.3	Optimering av kombinatorkurvan	8
1.3	Metoder och material	8
1.4	Avgränsningar	8
1.5	Definitioner	8
2	Fakta om M/V Exporter	11
2.1	Fartygsdata	11
2.2	Trafikområden	12
3	Fartygets driftprofil	13
3.1	Hamnläge	13
3.2	Hallstavik-Norrköping-Lübeck-Hallstavik	14
3.3	Hallstavik-Norrköping-Sheerness-Hull-Hallstavik.	14
4	Dieselgeneratorerna	15
4.1	Bränsleförbrukning dieselgeneratorerna	15
4.2	Serviceintervaller/kostnader för dieselgeneratorerna	15
5	Batteripaket	16
5.1	Klassningsregler DNV-GL	16
5.1.1	Batteriutrymmet	16
5.1.1.1	Arrangemang	16
5.1.1.2	Ventilation	16

5.1.1.3	Brandsäkerhet	17
5.1.1.3.1	Brandintegritet	17
5.1.1.3.2	Branddetektering	17
5.1.1.3.3	Brandsläckning	17
5.1.2	Batterisystemet	17
5.1.2.1	Allmänt	17
5.1.2.2	Batteriladdare	17
5.1.2.3	Drift och underhåll	18
5.1.2.4	Battery Management System (BMS)	18
5.1.2.5	Alarm	18
5.2	Dimensionering	18
5.3	Modell & utrustning	20
5.3.1	Batteri	20
5.3.2	Inverter	21
5.3.3	Brytare	22
5.3.4	Isolationstransformator	22
5.4	Inkoppling	22
5.5	Placering	22
5.5.1	Batterirummet	23
5.5.2	Nedre lastrummet	23
5.5.3	Väderdäck	24
6	Kombinator drift	25
6.1	Mätningar	25
6.1.1	Test av drift med kombinator	25
6.1.2	Test av drift med konstant varvtal	26
6.2	Sammanställning av data	27
6.2.1	SFOC	27

6.2.2	Brytpunkt	27
6.3	Möjlighet till förbättring	29
6.3.1	VFD SG	29
6.3.2	Teori	29
6.3.3	Funktion	29
6.3.4	Fördelar och nackdelar	30
7	Propellerkurva	31
7.1	Mätning av propellerkurva	31
7.2	Jämförelse mellan propellerkurva och kombinatorkurva	31
7.3	Möjlighet till förbättring	33
7.3.1	Lean Marine	34
7.3.1.1	FuelOpt -Rpm/Pitch Optimization	34
8	Resultat	35
8.1	Batteripaket	35
8.1.1	Ekonomisk kalkyl	35
8.2	Kombinatordrift	36
8.2.1	Drift vid låg hastighet, trängre farleder	37
8.2.2	Drift på havet	38
8.2.3	Samtliga driftfall och hastigheter	39
8.2.4	VFD SG	40
8.3	Propellerkurva	41
9	Slutsats	42
	Källförteckning	44
	Bilagor	46

1 INLEDNING

Vi kom i kontakt med Lars-Erik Häggblom på rederi AB Eckerö. Efter ett möte med honom hade han ett intressant projekt som handlade om energioptimering på ett av deras lastfartyg, M/V Exporter. Han ville undersöka möjligheterna att spara bunker med tanke på ekonomi och miljö. Exporter har två systerfartyg M/V Shipper och M/V Transporter, så vid eventuella optimeringar kan även dessa utföras ombord på dem. Vi valde detta projekt för att det ämnet är intressant samt att det är relevant för vår utbildning.

1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utreda möjligheterna att få ner bränsleförbrukningen och för att på så vis spara på bunkerkostnaderna och miljön.

1.2 Uppgift och frågeställningar

Uppgiften innefattar tre olika optimeringsmetoder som vi kommer att granska för att se om det finns möjlighet till förbättring.

1.2.1 Batteripaket

Vid körning i skärgårdar, Kielkanalen och andra trånga passager körs det idag med båda dieselgeneratorerna parallellt vilket resulterar i att de går med låg belastning. Detta görs för att undvika blackout ifall ena dieselgeneratoren stannar. Idén skulle då vara att man kör endast en dieselgenerator och ifall den skulle stanna av någon orsak så skulle batteripaketet ta över elförsörjningen. Detta skulle då behöva ske utan avbrott tills standbygeneratoren hunnit starta och tagit över belastningen. På detta sätt skulle då endast en dieselgenerator gå kontinuerligt med en högre belastning och en bättre specifik bränsleförbrukning uppnås. Man skulle även då få betydligt mindre drifttimmar på dieselgeneratorerna vilket också skulle leda till besparingar samt mindre utsläpp. Batteripaketet skulle då behöva vara dimensionerat för att klara av den normala elförsörjningen under en viss tid.

1.2.2 Kombinatordrift

Här har vi räknat på en eventuell besparing med att köra huvudmotorn med kombinatordrift och en dieselgenerator igång. Idag körs huvudmotorn på konstant varvtal med axelgenerator och låg stigning på propellern i bl.a. skärgårdar m.m. Idén skulle då vara att få en bättre

verkningsgrad på propellern genom att sänka på varvtalet och öka propellerstigningen. Vi har även sett på eventuell lönsamhet för att installera en frekvensomriktare till axelgeneratoren.

1.2.3 Optimering av kombinatorkurvan

Vi gjorde olika mätningar för effekten i förhållande till propellerstigningen och jämförde dessa med den nuvarande kombinatorkurvan. Detta gjordes för att se om det finns möjlighet att optimera kurvan och i så fall se vilka möjligheter det finns.

1.3 Metoder och material

Vi kommer i samarbete med uppdragsgivaren att besöka M/V Exporter för att samla data samt göra mätningar som kommer att sammanställas i Excel. Ritningar och gammal kördata kommer studeras för beräkning och planering. Vi kommer även studera klassningssällskapets hemsida för regler och riktlinjer gällande batteriinstallation. Även intervjuer och offertförfrågningar kommer att göras.

1.4 Avgränsningar

För att hålla detta examensarbete inom planerade tidsramar samt storleksmässigt kommer vi att göra vissa avgränsningar. Vi kommer inte att gå in djupare på själva installationen samt integreringen av batteripaketet. Eftersom Eckerö Shipping inte beställt utredning av frekvensomriktare till axelgeneratoren kommer vi inte gå in närmare på denna lösning.

1.5 Definitioner

Batterirum: Ett rum med speciella krav där batteriet placeras.

Battery management system (BMS): Detta är ett system som övervakar laddning och urladdning samt temperatur och cellbalansering på batteripaketet.

CCP-propeller: CCP står för Controllable Pitch Propeller som är en propeller var det är möjligt att justera pitchen. Detta görs genom att rotera bladet kring sin vertikala axel med hjälp av mekaniska och hydrauliska system (Wankhede, 2017).

Continuous load: Last som normalt är under kontinuerlig drift (Leyton, 2016).

Depth of discharge (DOD): *Den kapacitet som tas ut under en urladdning, uttryckt i procent av den nominella kapaciteten (Thoubboron, 2019).*

DNV-GL (Det Norske Veritas- Germanischer Lloyd): *Detta är ett klassningssällskap som Exporter är klassat enligt.*

Energy management system (EMS): *Detta är ett system som styr kraftelektroniken.*

General arrangement (GA): *Schematisk ritning över fartyget.*

Intermittent load: *Last som normalt inte är i drift kontinuerligt, den exakta tidsperioden är vanligtvis inte definierad (Leyton, 2016).*

Kombinatordrift: *Mot varje spakläge på bryggstativet (eller kontrollrumsstativet) svarar ett färdigt inprogrammerat huvudmotor- eller propellervarvtal, samt en likaledes färdigt inprogrammerad propellerstigning. Beordrat varvtal och stigning som funktion av pådragets läge, utgör kombinatorkurvan (Ginman, 2018).*

Konstant varvtal: *Med konstant varvtal menas att huvudmaskinen går på ett förprogrammerat varvtal som passar överens med axelgeneratorn.*

Non-essential load: *Oviktig last, förbrukare som inte anses vara viktiga för fartygets framdrift.*

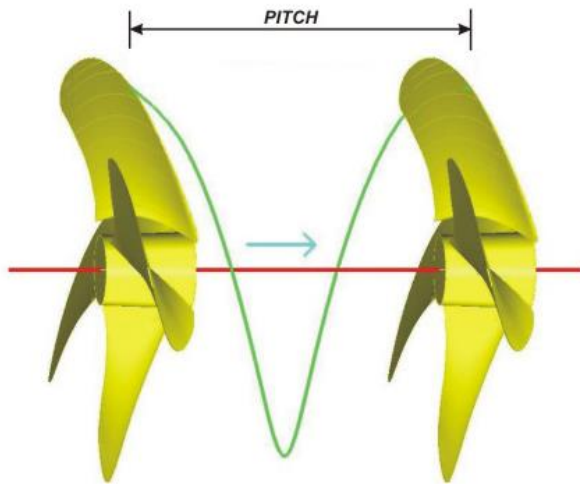
Power Take-Off (PTO): *Ett kraftuttag på reduceringsväxeln som via kuggdrev får en passande rotationshastighet för axelgeneratorn (Wikipedia, 2019).*

Spakläge: *Graderat stativ som finns på bryggan samt kontrollrummet som svarar för ett önskat varvtal.*

Specific Fuel Oil Consumption (SFOC): *Detta är en allmänt använd storhet som anger hur mycket bränsle en motor förbrukar per tidsenhet och per effektenhet (Tikander, 1983).*

State of charge (SOC): *Detta är hur mycket kapacitet det finns i batteriet uttryckt i procent (Wikipedia, 2018).*

Stigning: *Stigningen för ett propellerblad anger sträckan som propellern kommer att röra sig under ett helt varv. Detta kan ses i figur 1 (Reyes, 2019).*



Figur 1 Definitionen av stigning (pitch) i en schematisk bild (Reyes, 2019).

Torp: *Utrymmet som består av bostadsdelen på fartyg.*

Värdäck: *Öppet oskyddat däck där last kan placeras.*

2 FAKTA OM M/V EXPORTER

M/V Exporter (se figur 2) är ett ro-ro-fartyg som är byggd 1991 av Brodogradiliste, Macvanska Miltrovica i Jugoslavien. Hon utrustades vid Fosen Mekaniske Verksted, Fosen, Norge och registrerades 2013 för Eckerö Shipping AB och fick namnet Exporter (Fakta om fartyg, 2018).



Figur 2 M/V Exporter till kaj i Braviken.

2.1 Fartygsdata

(Eckerö Shipping, 2018) :

- Längd 122 m
- Bredd 19 m
- Djupgående 6,16 m
- DWT 5409 t
- GT 6620 t
- Fart 16 knop
- Klassningssällskap DnV-GL

- Isklass 1A
- Huvudmaskin Wärtsilä-Vasa 16V32D, 5920 kW
- Reduktionsväxel Volda ACG, 720/140 rpm
- Propeller Ulstein-Liaaen EACG, cp propeller
- Hjälpmotor 2 x Mitsubishi, S6A2-MPTA, 2 x 328 kW
- Hjälpmotorgeneratorer Leroy Somer LSA 475 M6
- Axelgenerator Leroy Somer LSA 49 L9
- Bogpropeller Brunvoll, 400 kW

2.2 Trafikområden

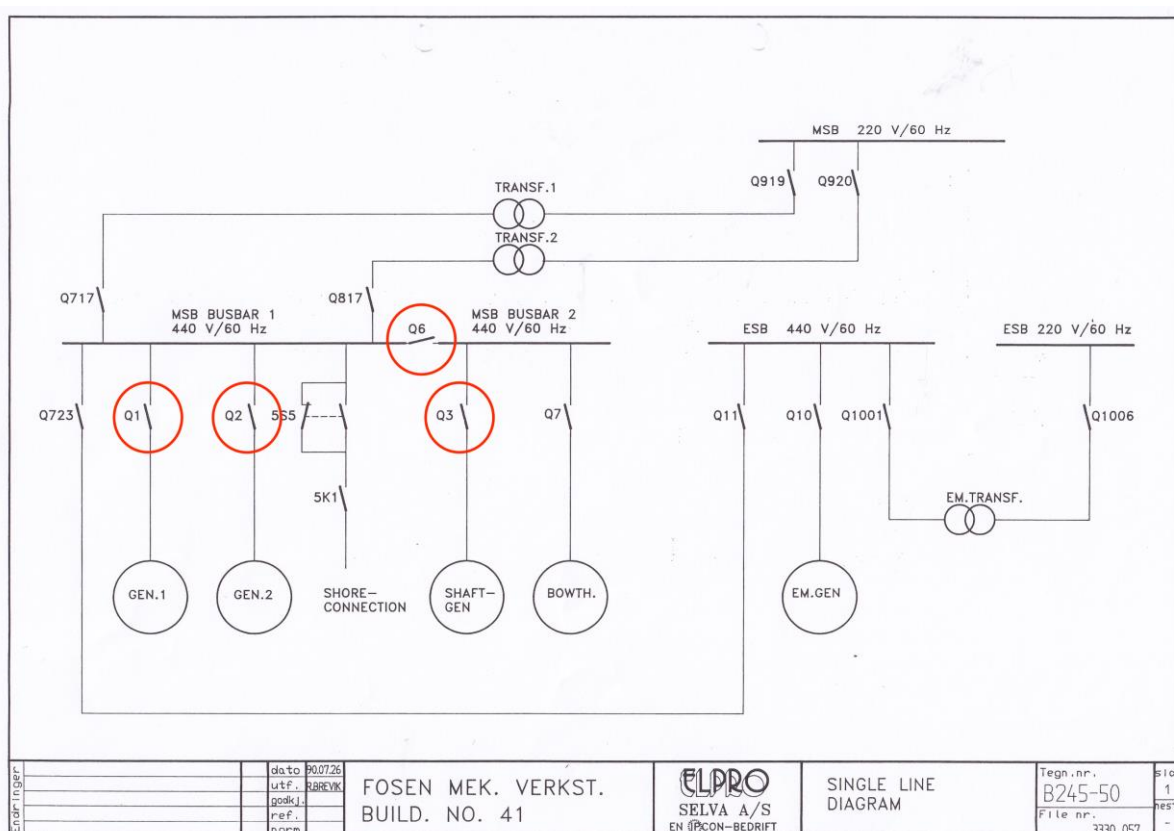
M/V Exporter trafikerar två olika rutter som består av.

- Hallstavik-Norrköping-Lübeck-Hallstavik
- Hallstavik-Norrköping-Sheerness-Hull-Hallstavik.

Dessa rutter tar tillsammans två veckor och körs kontinuerligt.

3 FARTYGETS DRIFTPROFIL

Vid normala driftförhållanden kör fartyget med konstant varvtal och axelgenerator som strömförsörjning d.v.s. brytare Q1, Q2 öppna och Q6, Q3 fast (se figur 3). Delar av ruten som fartyget trafikerar består av trånga passager samt skärgårdar. För att förhindra en blackout situation i dessa områden använder man sig av både axelgenerator och dieselgeneratorer som strömförsörjning d.v.s. brytare Q1, Q2 samt Q3 fast och Q6 öppen (se figur 3). Data över hur mycket fartyget kör med dubbla dieselgeneratorer respektive axelgenerator fick vi från fartyget. Fartyget trafikerar två olika rutter under en två veckors period som nämns nedan, så data kommer därför att tas för denna period.



Figur 3 Elschema M/V Exporter, de rødmarkerade brytarna är de som nämns i texten ovanför.

3.1 Hamnläge

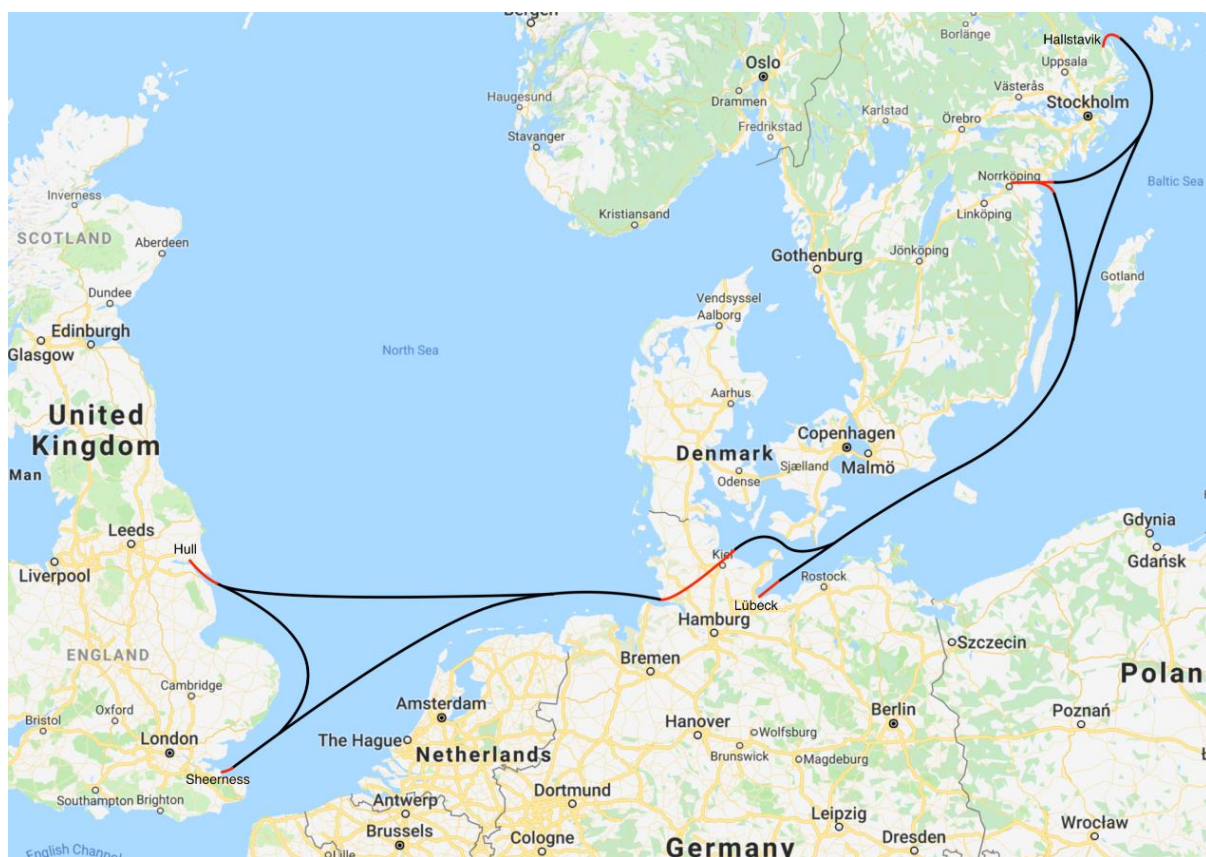
När fartyget ligger till kaj körs det normalt med en dieselgenerator men vid körning av t.ex. luckan till nedre lastrummet blir belastningen så hög att en diesel till startas.

3.2 Hallstavik-Norrköping-Lübeck-Hallstavik

Drifftiden för ruten Hallstavik-Norrköping-Lübeck-Hallstavik (se figur 4) är ca 82 timmar. Det körs idag med konstant varvtal med axelgeneratorn inkopplad ca 72 timmar. Det körs alltså med dubbla dieselgeneratorer ca 10 timmar under denna rutt.

3.3 Hallstavik-Norrköping-Sheerness-Hull-Hallstavik.

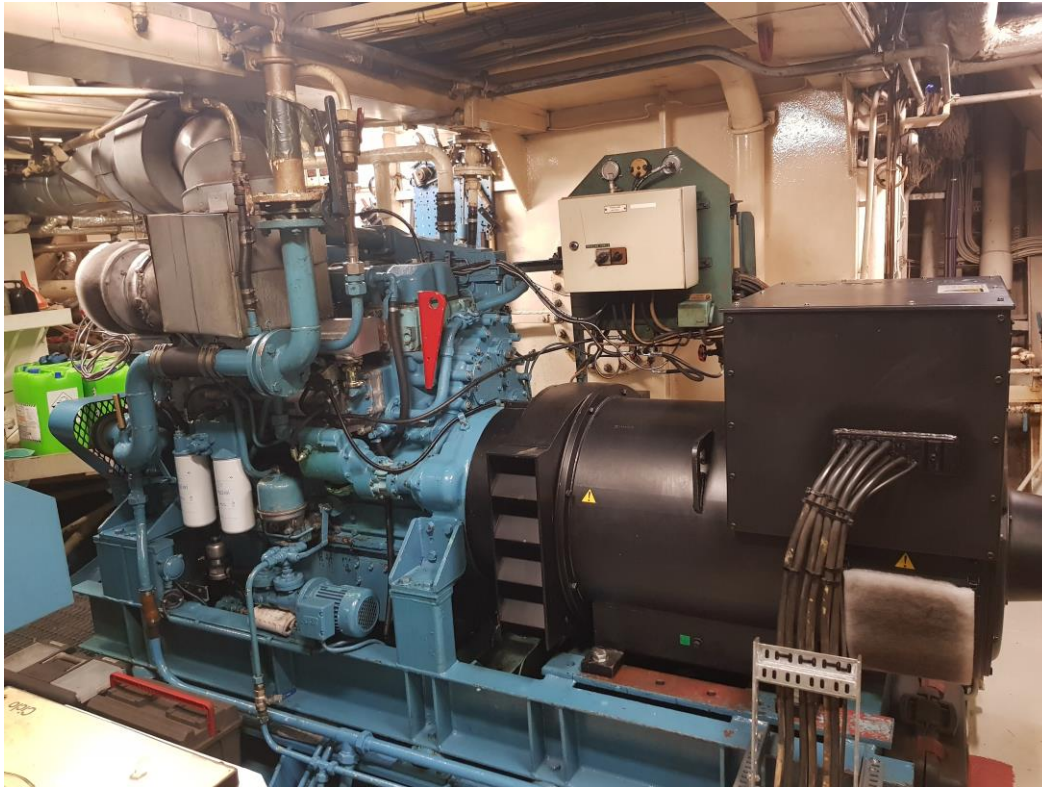
Drifftiden för ruten Hallstavik-Norrköping-Sheerness-Hull-Hallstavik (se figur 4) är ca 172 timmar. Under denna rutt körs det med konstant varvtal och axelgeneratorn inkopplad ca 155 timmar och med dubbla dieselgeneratorer ca 17 timmar.



Figur 4 Överblick på rutterna som M/V Exporter trafikerar, rödmarkerade är sträckor det körs med dubbla dieselgeneratorer (Google, 2019).

4 DIESELGENERATORERNA

Ombord på MV/Exporter finns två dieselgeneratorer som är av märke och modell Mitsubishi, S6A2-MPTA för elproduktionen (se figur 5).



Figur 5 En av dieselgeneratorerna ombord på M/V Exporter.

4.1 Bränsleförbrukning dieselgeneratorerna

Dieselgeneratorerna har en genomsnittlig bränsleförbrukning på 35 kg/h per motor. De körs på MGO med en densitet på 0,86 kg/dm³. Detta betyder att de har en förbrukning på 40,7 l/h.

4.2 Serviceintervaller/kostnader för dieselgeneratorerna

Gångtiden för en dieselgenerator i dagsläget är ca 2400 timmar per år och motor. Från Eckerö Shipping (Hägglom, 2019) fick vi genomsnittliga servicekostnader för dieselgeneratorerna under en längre tidsperiod. Genom att beakta servicekostnaderna i förhållande till gångtimmarna resulterar detta i en genomsnittlig kostnad på 3,17 €/h per dieselgenerator (Hägglom, 2019).

5 BATTERIPAKET

Batteripaketet är tänkt att ligga parallellt tillsammans med en dieselgenerator. Ifall dieselgeneratoren skulle stanna, skall batteripaketet utan avbrott fortsätta att mata effekt till de viktigaste förbrukarna för att hålla fartyget i drift och manöverdugligt. På detta sätt skulle då drifttimmarna på dieselgeneratorerna kunna reduceras. Batteriet kommer att behöva hålla förbrukarna igång tills den andra dieselgeneratoren startats och fasats in på nätet. Önskan från rederiet är att batteriet skall klara av att hålla förbrukarna igång i minst 10 minuter.

5.1 Klassningsregler DNV-GL

DNV-GL har tydliga regler och riktlinjer för vad som gäller vid installation av batterier på fartyg. Reglerna delas upp i två olika tillämpningar. Den ena tillämpningen gäller för fartyg som använder batterier som huvudsaklig framdrivning (Battery power). Den andra tillämpningen gäller för fartyg där batteri används som extra kraftkälla eller för att förbättra den dynamiska effekten med en nominell kapacitet över 20 kWh (Battery safety). I vårt fall är det den senare tillämpningen (Battery safety) som vi kommer att gå efter (DNV-GL, 2018).

5.1.1 Batteriutrymmet

5.1.1.1 Arrangemang

Batteriutrymmet skall placeras bakom kollisionsskottet och utgöra en del av fartygets struktur eller inneslutningar som motsvarar detta. Batteriutrymmet skall inte innehålla andra system som har med fartygets framdrivning eller manövrering att göra. Batteriutrymmet får inte innehålla värmekällor eller höga brandriskobjekt (DNV-GL, 2018).

5.1.1.2 Ventilation

Ventilationssystemet för batteriutrymmet skall vara eget och oberoende av andra ventilationssystem. Om batteriutrymmet är klassat som ett icke farligt område kan tilluften tas från befintligt ventilationssystem med utblås direkt ut (DNV-GL, 2018).

Larm på följande skall ges:

- Hög omgivningstemperatur i batteriutrymmet
- Ventilationsfel

Följande skall övervakas:

- Omgivningstemperatur i batteriutrymmet
- Indikation av att ventilationen är i drift i batteriutrymmet

5.1.1.3 Brandsäkerhet

5.1.1.3.1 Brandintegritet

Batteriutrymmena ska med hänvisning till SOLAS Reg. II-2/3.30 definieras som ett maskinutrymme och med avseende på strukturellt brandskydd enligt SOLAS Reg. II-2/9.2.2.4. Batteriutrymmen anses normalt inte vara bemannade och tillträde skall ske genom normalt stängda dörrar med larm. Batteriutrymmenas brandintegritet skall vara inneslutna av A-0 brandintegritet och ha A-60 brandintegritet mot (DNV-GL, 2018) :

- Maskinrum i kategori A enligt definitionen i SOLAS Reg. II-2/3
- Slutna lastutrymmen för transport av farligt gods
- Samlings- och embarkeringsstationer för passagerarfartyg.

5.1.1.3.2 Branddetektering

Batteriutrymmena ska övervakas med konventionell rökdetektering. Rökdetektering ska överensstämma med den internationella koden för brandsäkerhetssystem (FSS-koden). Brandlarmet skall ges till bryggan (DNV-GL, 2018).

5.1.1.3.3 Brandsläckning

Batteriutrymmena ska skyddas av ett vattenbaserat fast brandsläckningssystem som är godkänt för användning i maskinrum i kategori A enligt SOLAS Reg. II-2/10 och FSS-koden (DNV-GL, 2018).

5.1.2 Batterisystemet

5.1.2.1 Allmänt

Batterisystemet skall utöver kortslutning och överströmsskydd, förses med kopplingsdon för isolerings syfte, så att isolering för underhåll är möjligt. Nödbrytning av batterisystemet skall ordnas intill batterirummet (DNV-GL, 2018).

5.1.2.2 Batteriladdare

Laddaren skall ha en behövlig kapacitet enligt batterisystemets specifikationer. Laddaren skall skydda mot överspänning, underspänning och överström. Dessa skydd skall använda

sensorer som är oberoende av batterisystemet. Larm till kontrollrum skall ges vid laddningsfel (DNV-GL, 2018).

5.1.2.3 Drift och underhåll

Instruktioner för nödsituationer skall finnas ombord och dessa skall innehålla åtgärder som skall göras vid brand kring batteriutrymmet samt vid intern termisk händelse.

En plan för systematiskt underhåll och funktionstestning skall finnas ombord som i detalj visar hur komponenter och system ska testas och vad som ska observeras under dessa (DNV-GL, 2018).

5.1.2.4 Battery Management System (BMS)

Följande skall övervakas (DNV-GL, 2018) :

- Laddning och urladdning
- Överström, överspänning och underspänning
- Hög temperatur
- Cellsbalansering

Följande parametrar skall mätas:

- Cellspänning
- Celltemperatur
- Seriespänning

Följande parametrar skall kunna ses på lokala kontrollpaneler:

- Systemspänning
- Max, min och medelcellspänning
- Max, min och genomsnittlig celltemperatur
- Seriespänning

5.1.2.5 Alarm

Batterisystemet skall integreras i fartygets alarmsystem och alarm skall ges vid onormala tillstånd, dessa skall ges individuellt eller gruppvis (DNV-GL, 2018).

5.2 Dimensionering

Tanken är att batteripaketet skall kopplas in på huvudtavlan och ha en sådan kapacitet att det klarar normal elförsörjning i fall den dieselgenerator som är i drift slås ut. Vid denna dimensionering kommer vi att utgå från fartygets elbalans under läget för ”cruising”. Dessa förbrukare samt effekter kan ses i tabell 1.

Tabell 1 Lista över förbrukare under normal drift.

<i>Förbrukare under normal drift</i>					
<i>Enhet</i>	<i>Totalt Antal</i>	<i>Antal i drift</i>	<i>Continuous/ Intermittent</i>	<i>Non-essential load</i>	<i>Total effekt [kW]</i>
Prop.Lub.oil pump	1	1	C		0,7
Steering gear pump	2	1	C		8,7
F.O. feed pump M.E	2	1	C		1,4
F.O booster pump	2	1	C		1,4
H.F.O Transfer pump	1	1	I		5,1
H.F.O Sep. supply pump	2	1	C		1,6
H.F.O Separator	2	2	C		13,2
Viscometer	1	1	C		0,1
Lub. Oil separator	1	1	C		6,6
Lub. Oil sep. pump	1	1	C		0,8
S.W. pump	2	1	C		28
F.W. pump generator	1	1	C		0,7
S.W, air cond.	1	1	C		2,9
Hydrophore pump	2	1	I		0,2
Feed water pump boiler	2	1	I		1,0
Hot water circ. pump	1	1	C		0,7
Starting air compressor	2	1	I		5,1
Air cond. compressor	1	1	I		6,4
Fan Accom	1	1	C	X	5,3
Fan san. room	1	1	C	X	0,5
Fan galley	1	1	C	X	0,3
Fan CO ₂ . room	1	1	C	X	0,3
Fan eng. room 1	1	1	C		14,8
Fan eng. room 2	1	1	C	X	14,8
Heating fan forecastle	1	1	C	X	5
Heating fan thruster comp	1	1	C	X	5
Air drier lower hold	1	1	C	X	35,7
Air drier upper hold	1	1	C	X	23,5
Air cond. Unit Eng.contr. room	1	1	C		2,3
Sewage plant	1	1	C		1,0
S.W. pump air cond eng. contr. room	1	1	C		0,5
Fan eng.contr.room	1	1	C		0,1
Fan converter room	1	1	C		0,5
Fan incinerator	1	1	C		0,8
Fan weelhouse	1	1	C	X	0,8
Incinerator	1	1	I	X	5,4
Fan exhaust galley	1	1	C	X	0,5
Fan steering gear	1	1	C		0,8
Fan exhaust laundry	1	1	C		0,5
F.W. pump LT	2	1	C		16
F.W. pump HT	2	1	C		16
Prov. Cooling machines	2	2	I		2,6
Equipment galley-mess-laundry	1	1	I		23,4
Navigation equipment	1	1	C		6
Sauna	1	1	I		1,6

Lighting	1	1	C		13,5
Heating	1	1	C		24,7
Fan exh. Public room	1	1	C	X	0,5
Feed water transfer pump	1	1	I		0,2
Total of Continuous load					51,0
Total of Intermittent load					256,5
Total load					307,5
Total of non-essential load					97,6
Total load after non-essential load trip					209,9

Under normala driftförhållanden har fartyget i praktiken en elförbrukning på ca 200 kW.

Batteripaketet kommer dimensioneras utifrån elbalansens totala last på 307,5 kW med en viss säkerhetsmarginal till 350 kW. Batteripaketet behöver alltså klara 350 kW i 10 minuter.

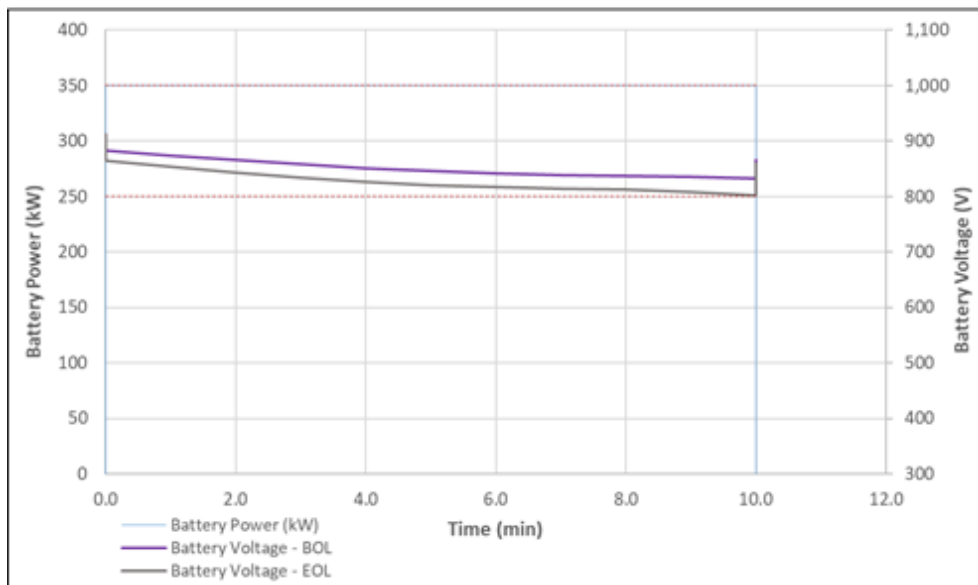
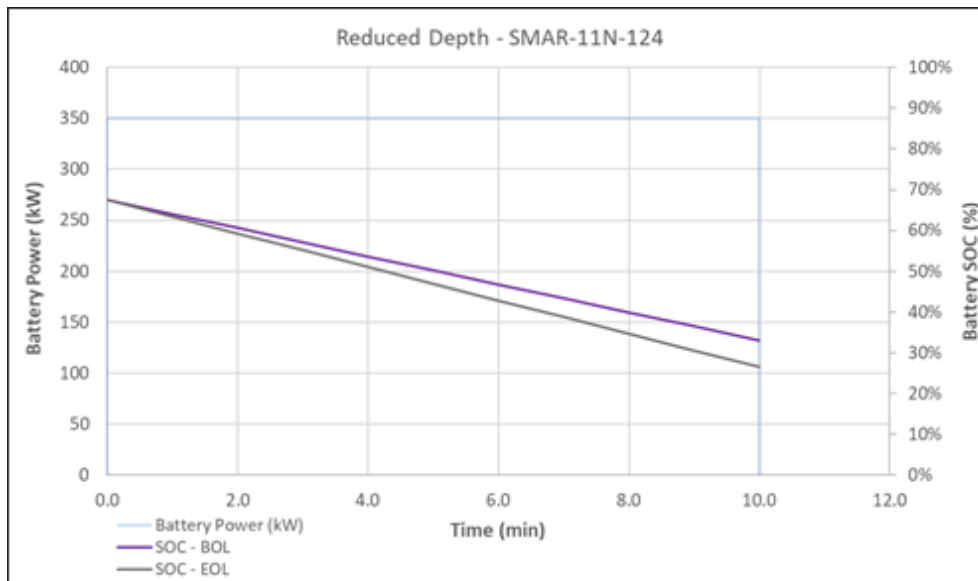
Vilket leder till en behövlig batterikapacitet på ca 58 kWh.

5.3 Modell & utrustning

Vi var i kontakt med Svein Ingvald, Mannes som är *Sales Support Engineer* på Wärtsilä. Han hade sedan vidare kontakt med olika batterileverantörer. Mannes var i kontakt med Spear Power Systems som han tyckte var lämpligt för vårt önskade behov. Spear Power Systems skickade sedan några olika kompletta batterilösningar.

5.3.1 Batteri

Förslaget som lämpade sig bäst var ett batteri av märke/modell SMAR-11N-124. Detta batteri har en kapacitet på 170 kWh och SOC på max 68 % och min 33 %, vilket resulterar i en DOD på 59,5 kWh (se figur 6).



Figur 6 Grafer över batteriets kapacitet.

Dimensionerna för detta batteri inklusive ställningar är:

- Djup 747 mm
- Höjd 1949 mm
- Bredd 492 mm
- Volym 2,1 m³
- Vikt 1729 kg

5.3.2 Inverter

En inverter behövs för att göra om likspänning till växelspänning samt växelspänning till likspänning. Då batteriet har likspänning kommer en inverter att behövas vid urladdning samt uppladdning av batteriet.

5.3.3 Brytare

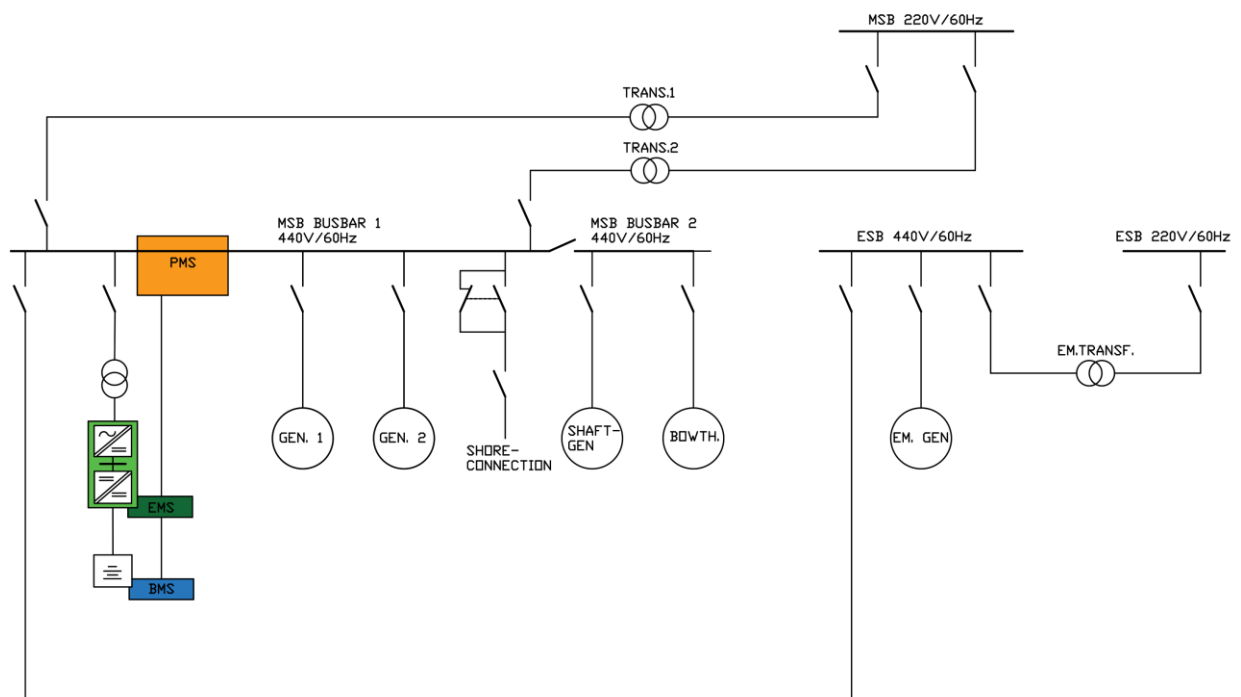
En ny brytare kommer att behöva installeras, denna brytare kommer att behöva vara utrustad med kortslutning samt överströmsskydd.

5.3.4 Isolationstransformator

Isolationstransformatorn används för att galvaniskt skilja elnät- och batterisidan från varandra (Wikipedia, 2013).

5.4 Inkoppling

För inkoppling av batteriet måste detta ske direkt till huvudtavlan. I figuren nedan kan ett förenklat schema ses över hur inkopplingen kunde ske (se figur 7).



Figur 7 Förenklat schema över eventuell inkoppling.

5.5 Placering

För eventuell placering av batteripaketet har vi tittat på två möjligheter. Det krävs att batteripaketet står inuti ett skilt batterirum utformat på ett bestämt sätt enligt grundläggande krav av klassen samt tillverkarens specifikationer.

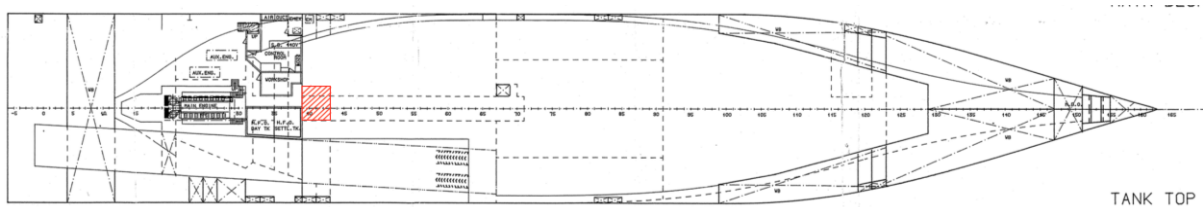
5.5.1 Batterirummet

Det krävs att batterierna placeras i ett batterirum. Kraven för hur batterirum skall utformas samt placeras finns det tydliga regler från klassen samt batteritillverkaren.

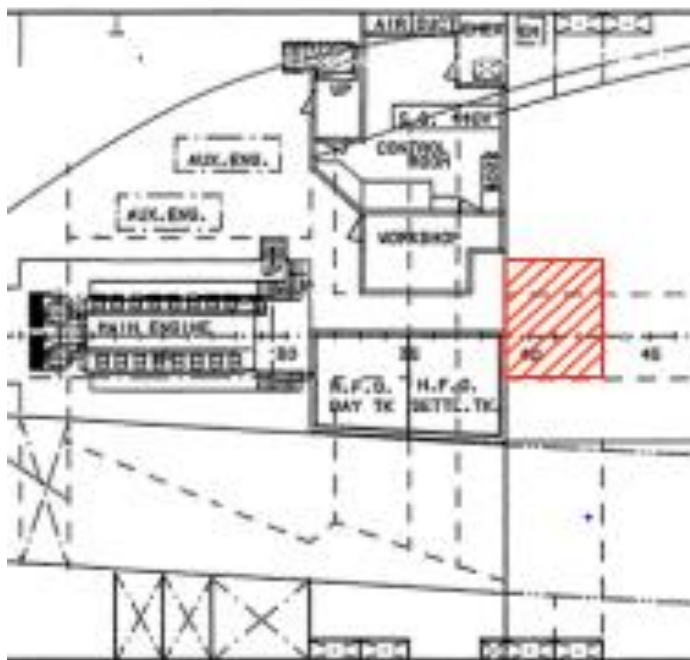
5.5.2 Nedre lastrummet

I nedre lastrummet mot förkant av maskinrummet är det tänkt att ett nytt ballastreningsystem skall placeras, för detta kommer ett enskilt rum att byggas (se figur 8 & 9). Då skulle en möjlighet här vara att rummet skulle avgränsas och delas upp i ett ballast reningsrum samt ett batterirum. Rummet kommer av praktiska skäl vid lastning att byggas från däck till tak.

Ballastreningen kommer endast att uppta en liten del av rummet då skulle det finnas möjlighet till placering av batteripaketet där.



Figur 8 GA-ritning från fartygets tanktopp, det rödmarkerade är var det nya ballastrummet kommer att placeras.



Figur 9 Förstoring: GA-ritning från fartygets tanktopp, det rödmarkerade är var det nya ballastrummet kommer att placeras.

5.5.3 Väderdäck

Ett annat alternativ skulle vara på förkant mot torpet på väderdäck där det finns mycket plats för en eventuell placering av ett batterirum då väderdäck inte används för lasthantering för nuvarande.

6 KOMBINATORDRIFT

M/V Exporter är utrustad med en CPP (Controllable Pitch Propeller) vilket betyder att propellerstigningen justeras med avseende på varvtalet för huvudmaskinen enligt en förbestämd kombinatorkurva vid kombinatordrift.

I dagsläget körs det på havet med konstant varvtal på 720 rpm för huvudmotorn. Detta görs för att man skall kunna använda sig av axelgeneratoren för elproduktionen. Fartygets propeller är ursprungligen optimerat för en fart på ca 16-17 knop men med dagens tidtabell och rutter som fartyget trafikerar efter körs det med varierad fart. Detta betyder att man ibland är tvungen att hålla ett högt varvtal (140 rpm) på propellern och samtidigt dra ner på propellerstigningen för att inte överstiga önskad fart. Detta leder till att propellern får dålig verkningsgrad vid lägre farter men samtidigt behöver ingen dieselgenerator vara i drift.

Tanken är här att man istället skulle köra med kombinatordrift, alltså ett lägre varvtal med en högre (mera optimal) stigning på propellern och ha en dieselgenerator i drift istället. Då skulle man få en bättre verkningsgrad på propellern vilket skulle leda till minskad bränsleförbrukning på huvudmaskinen. Nackdelen här blir att man får en bränsleförbrukning samt ökade servicekostnader på dieselgeneratorerna.

6.1 Mätningar

För att undersöka kombinatordrift gjordes mätningar ombord på M/V Exporter. Vi besökte fartyget och var med på en resa från Hallstavik till Norrköping. Mätningarna utfördes genom att fartyget körde två olika program som vi hade sammanställt i samarbete med Eckerö Shipping (Hägglom, 2019). Programmen bestod av en serie av mätningar för konstant varvtal samt kombinator drift på huvudmaskinen. Testerna utfördes sydgående den 5 februari 2019 med nordlig vind på 12 m/s och ca 1 meters vågor. Fartyget hade ett djupgående på 5,4 m/4,6 m akterligt trim.

6.1.1 Test av drift med kombinator

Detta driftläge används normalt inte ombord på Exporter då det körs med konstant varvtal och axelgenerator. Testet utfördes genom att frånga konstant varvtal och gå ner till ett spakläge som motsvarade ca 10 knop (spakläge 3) då farter under detta inte är aktuellt.

Vidare kördes det ca 10 minuter på varje spakläge från 3 till 10 och noteringar gjordes vid varje läge se tabell 2.

Tabell 2 Sammanställning av data för kombinatordrift.

<i>Combinator mode</i>									
<i>Lever position</i>	<i>Speed (kn)</i>	<i>Prop. shaft power (kW)</i>	<i>Shaft gen. load (kW)</i>	<i>Fuel cons. (kg/h)</i>	<i>ME rpm</i>	<i>Fuel rack (mm)</i>	<i>Exh temp mean value A/B</i>	<i>Pitch (%)</i>	<i>Engine power/cyl. (kW)</i>
3	10,2	720	-	155	585	19	332/297	45	46
4	12,3	1360	-	290	630	22	368/356	63	88
5	14,3	2070	-	434	660	26	381/372	77	133
6	15,7	2760	-	585	700	30	397/392	82	178
7	16,6	3550	-	751	730	34	407/406	87	229
8	17	3930	-	830	730	37	413/414	92	253
9	17,2	4300	-	890	730	39	419/421	96	277
10	17,3	4350	-	930	730	40	422/423	97	280

6.1.2 Test av drift med konstant varvtal

Detta driftläge körs det med dagligen på Exporter då man använder sig av axelgeneratoren.

Här utfördes testet på samma sätt som vid kombinatordrift fast med konstant varvtal.

Noteringarna för detta test kan ses i tabell 3.

Tabell 3 Sammanställning av data för körning med konstant varvtal.

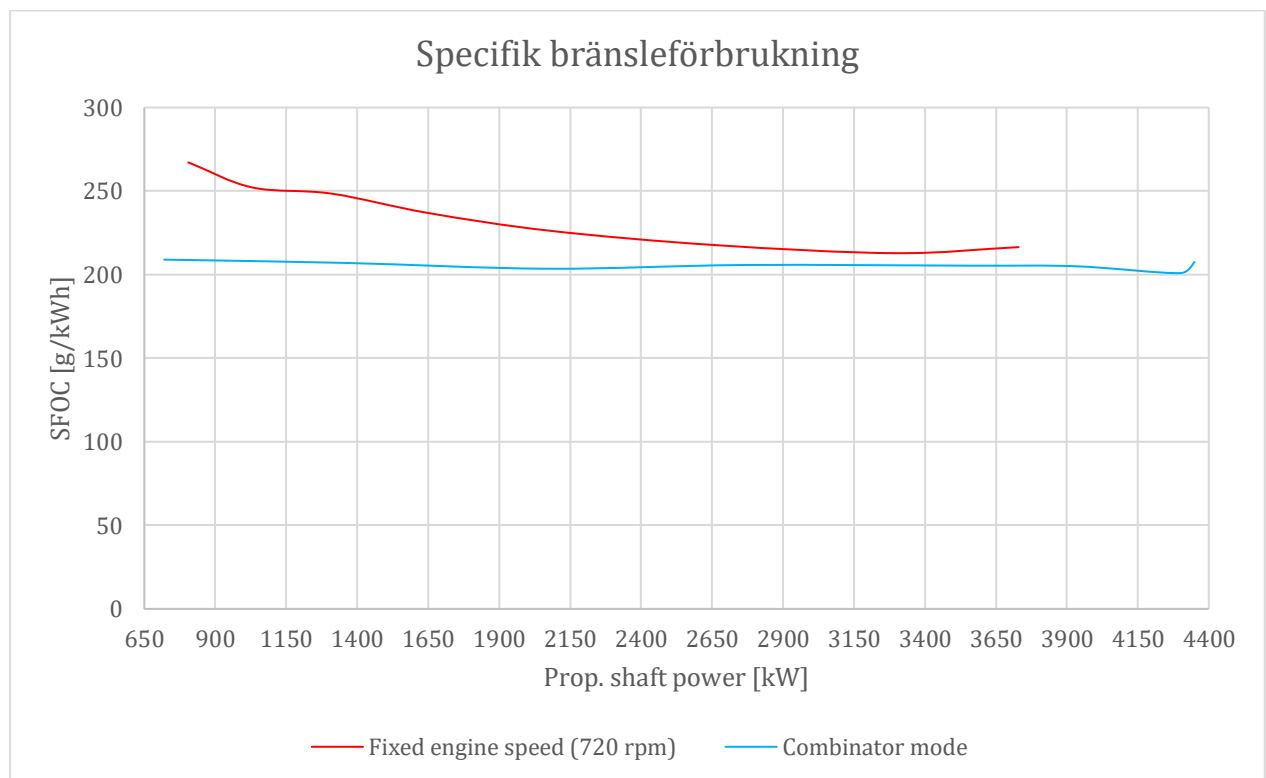
<i>Fixed engine speed (720 rpm)</i>									
<i>Lever pos.</i>	<i>Speed (kn)</i>	<i>Prop. shaft power (kW)</i>	<i>Shaft gen. load (kW)</i>	<i>Fuel cons. (kg/h)</i>	<i>ME rpm</i>	<i>Fuel rack (mm)</i>	<i>Exh temp mean value A/B</i>	<i>Pitch (%)</i>	<i>Engine power/cyl. (kW)</i>
3	9	1005	200	275	720	20,5	364/350	31	52
4	10,2	1230	200	318	720	22	373/365	41	66
5	11,8	1510	200	385	720	24	380/372	51	84
6	13	1850	200	450	720	26	381/372	60	106
7	14,5	2280	200	530	720	28	392/387	71	134
8	15,2	2865	200	641	720	31,5	401/398	80	172
9	16,1	3495	200	765	720	36	411/410	90	212
10	16,5	3930	200	875	720	39	417/417	97	240

6.2 Sammanställning av data

6.2.1 SFOC

För att få en klar bild över hur effektivt motorn arbetar vid körning av fast varvtal- och kombinatordrift beräknas den specifika bränsleförbrukningen ut för de två körningarna. Den specifika bränsleförbrukningen sammanställdes i ett diagram (se figur 10) och beräknades enligt följande.

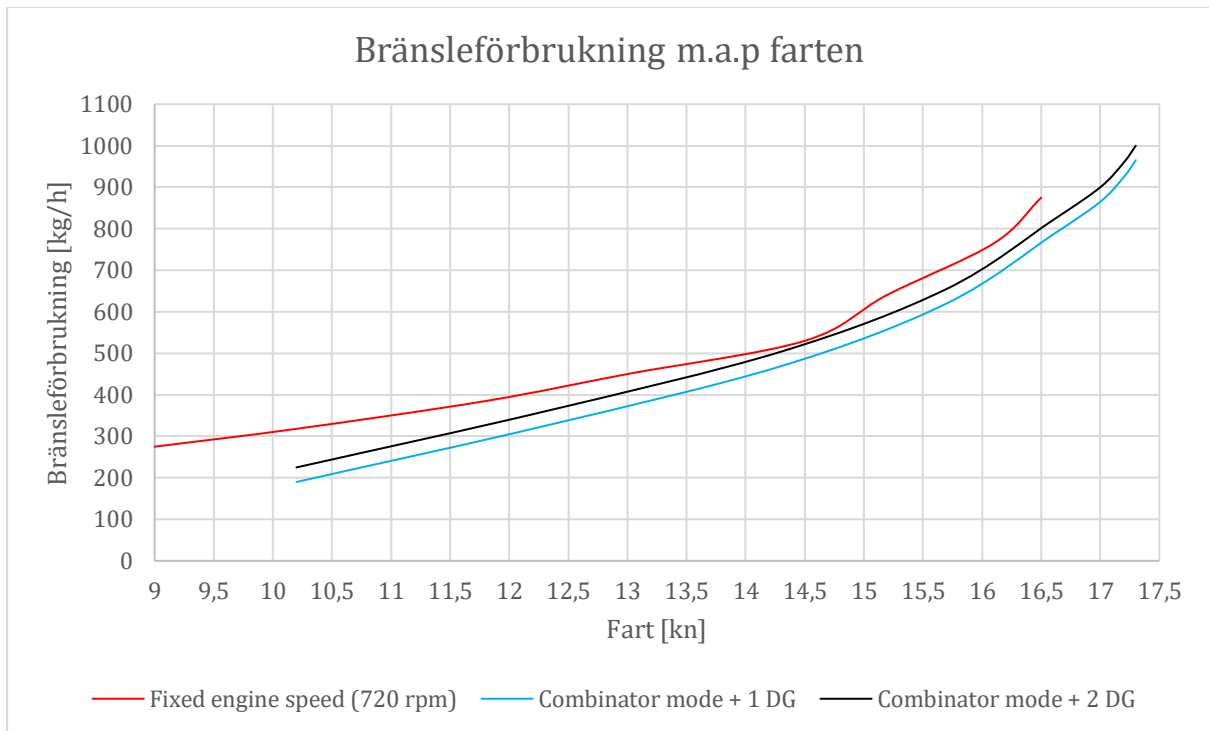
$$SFOC = \frac{B_h}{P_e}$$



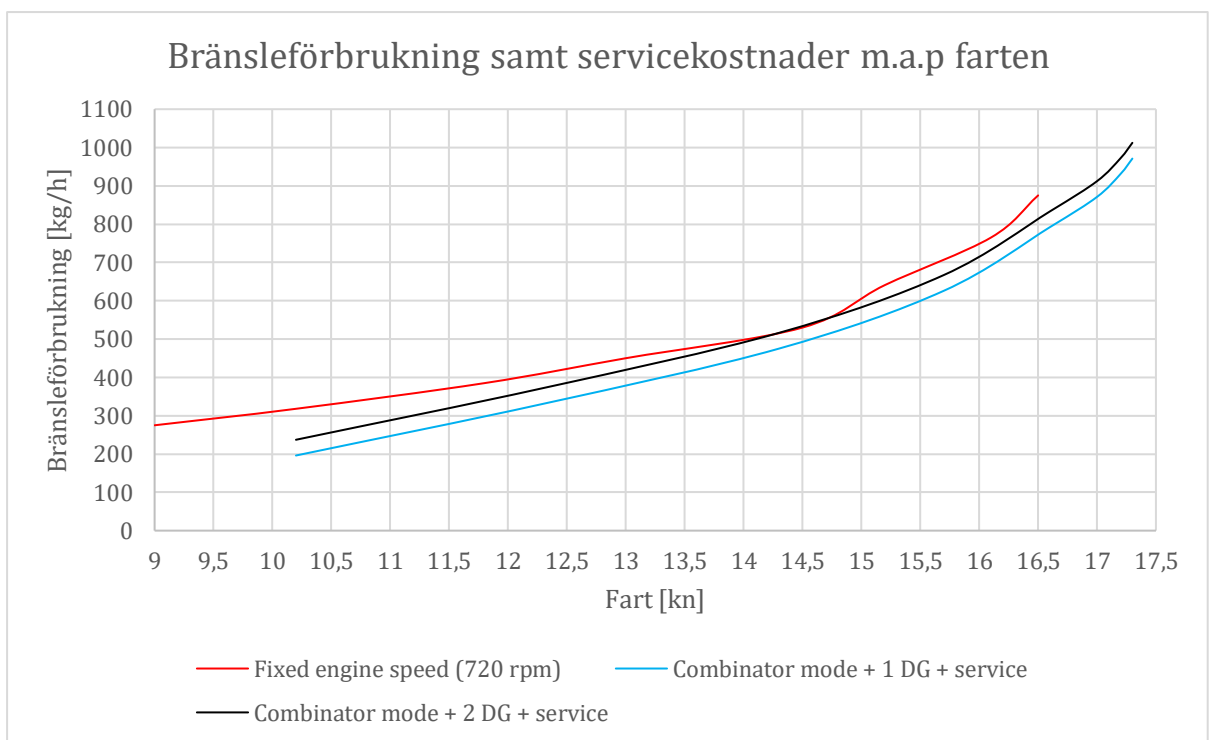
Figur 10 Specifik bränsleförbrukning som funktion av propellereffekten.

6.2.2 Brytpunkt

För att se huruvida det lönar sig att köra kombinatordrift med en/två dieselgeneratorer eller med fast varvtal med axelgenerator och ha dieselgeneratorerna avstängda sammanställdes data i två diagram. Där diagrammet som ses i figur 11 är enbart bränsleförbrukningen med avseende på farten. Diagrammet som ses i figur 12 är bränsleförbrukning samt servicekostnader med avseende på farten.



Figur 11 Bränsleförbrukning som funktion av farten.

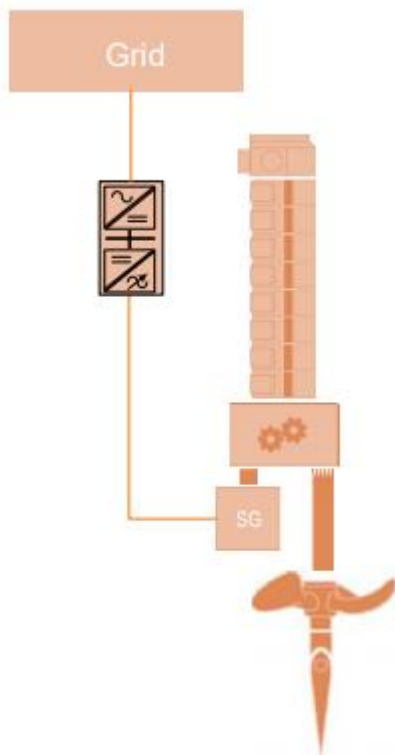


Figur 12 Bränsleförbrukning samt servicekostnader omräknade till bränsleförbrukning som funktion av farten.

6.3 Möjlighet till förbättring

6.3.1 VFD SG

Här har vi sett på ett alternativ som vore värt att fundera över. Alternativet skulle då vara att installera en VFD SG (se figur 13) som är en förkortning på engelska av Variable Frequency Drive Shaft Generator.



Figur 13 Typiskt arrangemang över frekvensomriktare till axelgenerator.

6.3.2 Teori

Med VFD kan man reglera rotationshastigheten för en växelströms elmotor. Detta görs genom att omvandla ingående sinusspänning till likspänning och därefter återskapa sinusvågen med en önskad frekvens till växelspanning. (ABB, 2018)

6.3.3 Funktion

På M/V Exporter sitter axelgeneratoren på reduktionsväxelns PTO uttag. För att få ut rätt spänning (440 V) och frekvens (60 Hz) från axelgeneratoren krävs att motorn håller ett konstant varvtal på 720 rpm för att generatoren skall hålla rätt varvtal (1800 rpm). Med en VFD skulle man här kunna använda sig av variabelt varvtal och ändå bibehålla rätt spänning och frekvens. Man kan då använda sig av kombinatordrift och på så vis uppnå en bra

verkningsgrad på propellern genom hela varvtalsregistret samtidigt som önskad spänning och frekvens bibehålls.

6.3.4 Fördelar och nackdelar

Fördelar med VFD (ABB, 2018):

- Minskar drifttimmar på dieselgeneratorerna.
- Minskar vibrationer och ljud.
- Minskad bränsleförbrukning samt minskade utsläpp.
- Bättre verkningsgrad på propeller och huvudmotor.
- Både konstant och variabelt varvtal kan användas.

Nackdelar med VFD:

- Skrymmande utrustning.
- Dyr investering.
- Krävs tillstånd från klassen och sjöfartsmyndigheten.
- Krävs ombyggnationer.

7 PROPELLERKURVA

Här undersöks om det finns möjligheter att optimera propellerkurvan. Då fartyget aldrig använder sig av kombinatordrift fanns det nu en bra möjlighet att testa detta och mäta upp effekten vid olika varvtal och propellerstigningar.

7.1 Mätning av propellerkurva

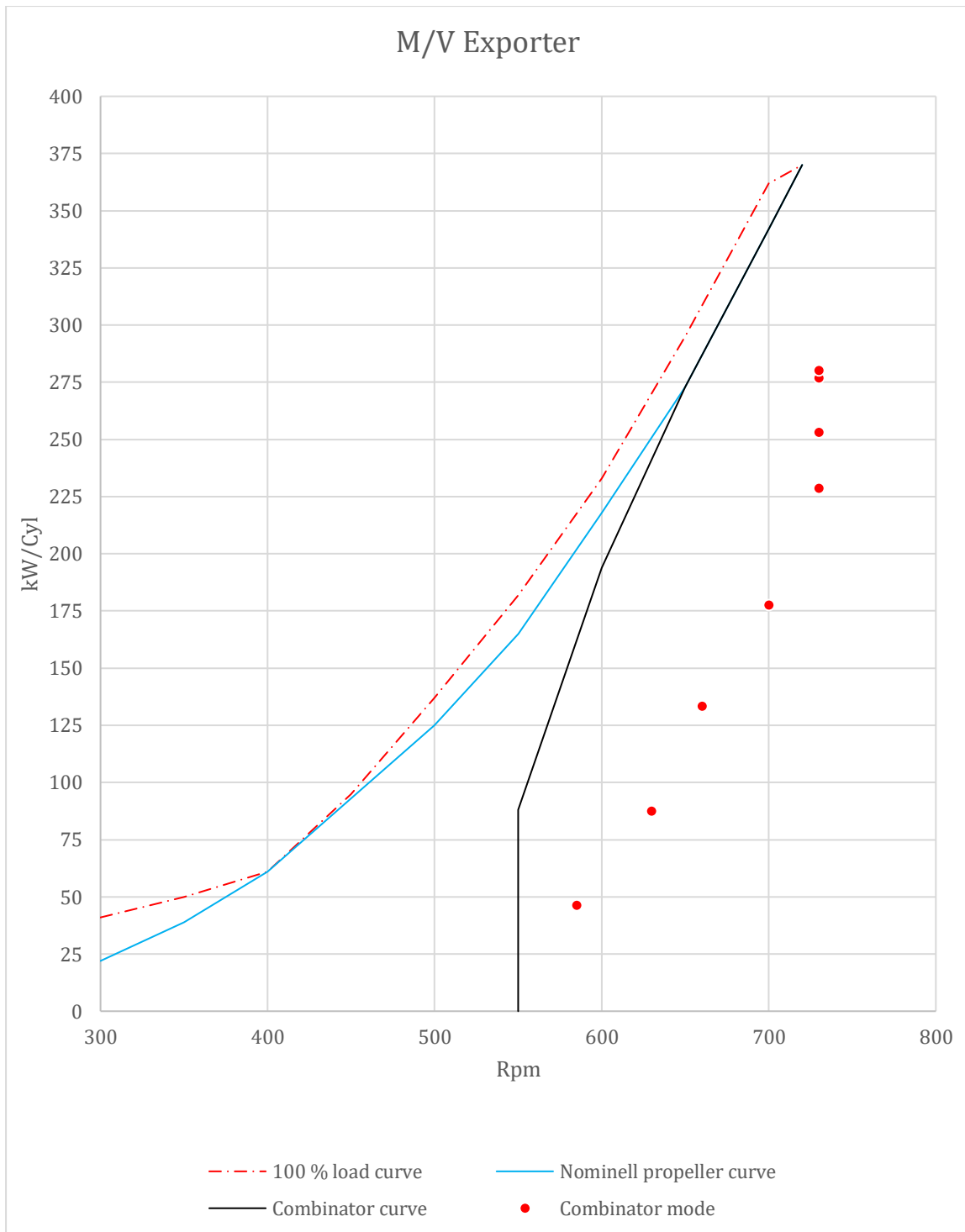
Mätningen gick ut på att notera effekten vid olika varvtal och sedan jämföra dessa värden med original kombinatorkurvan som togs fram då fartyget var nytt. Detta för att se hur mycket effekt man tar ut på respektive varvtal samt hur stor effekt man skulle ha möjlighet att ta ut.

Tabell 4 Avlästa värden vid kombinatordrift.

<i>Data för kombinatordrift</i>		
<i>Varvtal [rpm]</i>	<i>Effekt [kW/Cyl]</i>	<i>Propellerstigning [%]</i>
585	46	45
630	88	63
660	133	77
700	178	82
730	229	87
730	253	92
730	277	96
730	280	97

7.2 Jämförelse mellan propellerkurva och kombinatorkurva

Värdena från original kombinatorkurvan plottades i Excel och fördes över till ett diagram. Även våra värden för propellerkurvan överfördes till diagrammet för att enklare kunna jämföra den nuvarande propellerkurvan mot kombinatorkurvan (se figur 14).



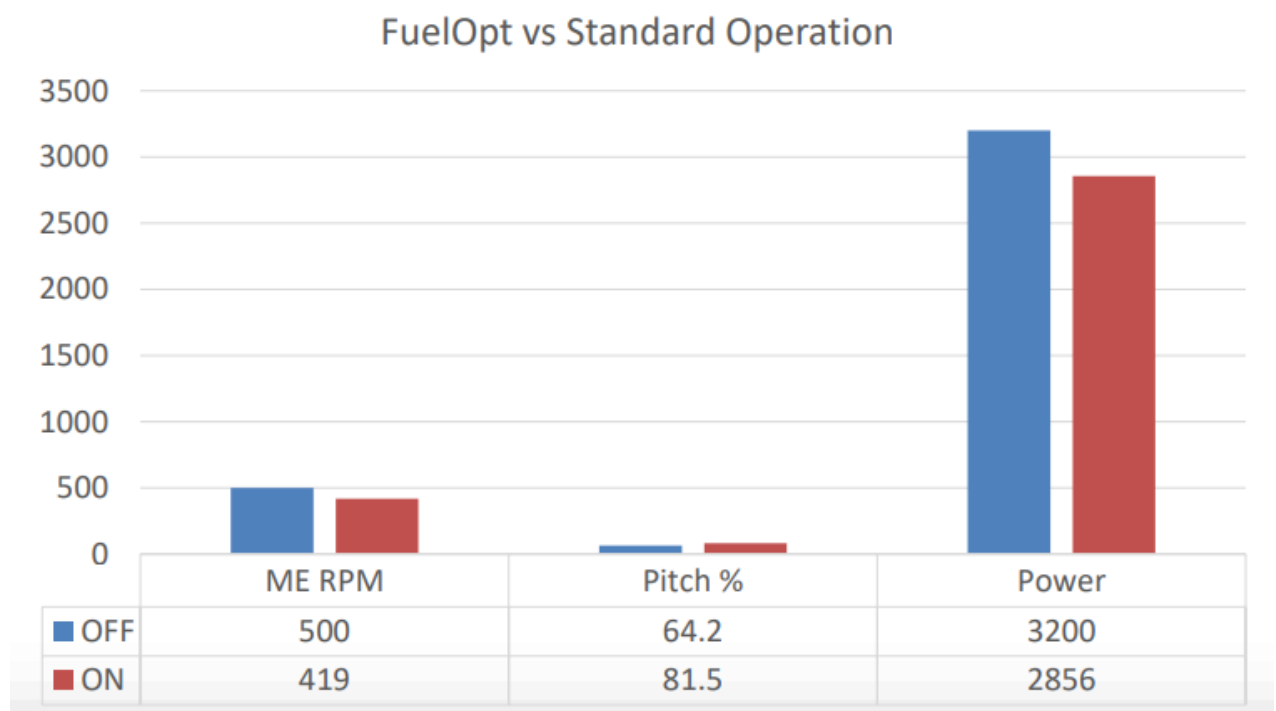
Figur 14 Original samt plottad kombinatorkurva.

I diagrammet ovanför (se figur 14) kan man se den nominella propellerkurvan, 100 % lastkurvan, kombinatorkurvan samt de plottade värdena från mätningen med kombinator drift.

7.3 Möjlighet till förbättring

Som man ser från diagrammet (se figur 14) ligger man väldigt långt under den effekt som är möjlig och mera optimal att använda sig av vid givet varvtal. Möjligheter till förbättringar finns bl.a. med Lean Marines lösning.

Vi var i kontakt med Anders Bergh på Lean Marine för att få en tydligare bild över deras system, riktpris samt besparingsmöjligheter. Eftersom det är omöjligt att veta hur fartyget kommer att påverkas vid en ändring av kombinatorkurvan samt att M/V Exporter inte använder sig av kombinatordrift är det därför svårt att beräkna en eventuell återbetalningstid. Lean marine har dock gjort installationer av deras system på över 100 fartyg i skrivande stund. Så med deras erfarenheter kunde de ge en ungefärlig uppskattning på en besparing samt installationskostnader. Installationskostnader för ett fartyg liknande Exporter skulle ligga runt 100 000 € och skulle kunna ge en bränslebesparing på ca 3-7 % utöver besparingen som uppnås med kombinatordrift. I figuren nedan kan ett exempel på medeldata för ett fartyg vid 11 knops fart ses som använt sig av Lean Marines system. Fartyget har en axeleffekt på 6300 kW och en dödvikt på 14 000 ton.



Figur 15 Jämförelsedata över ett fartyg som använt sig av Lean Marines FuelOpt-Rpm/Pitch Optimization och konventionell kombinatordrift (Lean Marine, 2019).

7.3.1 Lean Marine

Lean Marine är ett svenskt företag med ledande teknik inom bränsleoptimeringssystem, med huvudkontor i Göteborg. Lean Marine levererar kostnadseffektiva lösningar för att säkerställa bränslebesparing och ökad driftsprestanda för fartyg. Deras tjänster inkluderar fartygsbesök för utvärdering av optimeringsförbättringar, integrering av system samt installation och automation (Lean Marine, 2019).

7.3.1.1 FuelOpt -Rpm/Pitch Optimization

Deras system går ut på att säkerställa att propellerns varvtal och stigning alltid är inställda för att få ut största möjliga effekt från motorn och propellern. Detta görs genom att ständigt mäta behövliga parametrar varefter stigningen och varvtalet justeras till den mest optimala för varje driftläge (Lean Marine, 2019).

8 RESULTAT

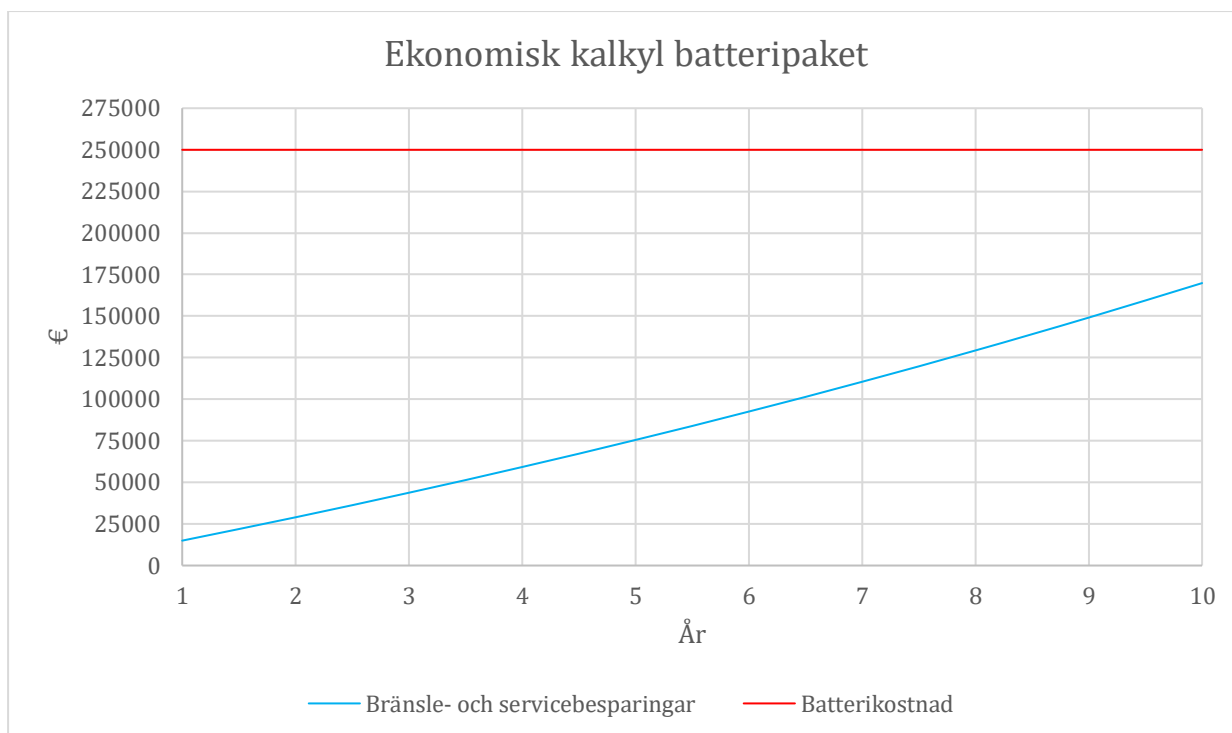
I detta kapitel presenteras och framförs resultaten för de olika mätningar och beräkningar som gjorts för batteripaket, kombinatordrift samt propellerkurva.

8.1 Batteripaket

Det finns goda förutsättningar för installation av ett batteripaket ombord på Exporter. Skulle man fortsättningsvis köra med konstant varvtal och axelgenerator skulle det räcka med en dieselgenerator där det körs med två idag. Idag körs det ca 27h med dubbla dieselgeneratorer på en två veckors period vilket resulterar i en ”onödig” drifttid på ca 700h/år på en av dieselgeneratorerna. Detta skulle även resultera i en bättre specifik bränsleförbrukning på den dieselgenerator som är i drift, då den skulle gå med högre belastning.

8.1.1 Ekonomisk kalkyl

För att utreda om det är ekonomiskt försvarbart har en beräkning på återbetalningstiden gjorts. Bränslebesparingen med dagens bränslepris blir ca 12 740 €/år och servicekostnaden ca 2220 €/år. Vi kommer räkna kalkylen på en tidsperiod på 10 år då det är livslängden för batteripaketet. Bränslepriset som användes i beräkningarna var 0,52 €/kg (Hägglom, 2019) med en årlig prisökning på 3 %. Via vår kontakt på Wärtsilä fick vi prisuppgifter på 250 000 € för ett komplett batteripaket. Priset gäller ett komplett batteripaket, planering, uppstart och idrifttagande vidare tillkommer ombyggnader- och installationskostnader. Besparingarna och kostnaderna sammanställdes i ett diagram för att se om lönsamhet kommer att uppnås (se figur 16).



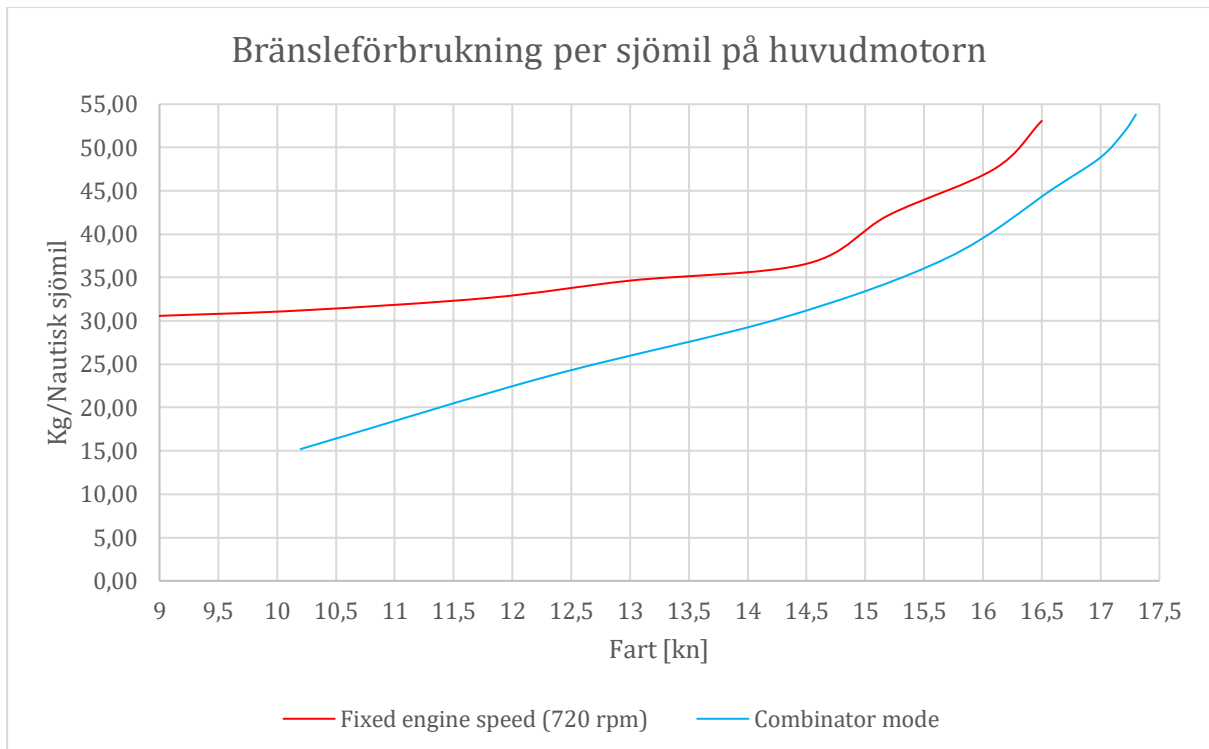
Figur 16 Ekonomisk kalkyl över batterikostnad samt bränsle-servicebesparingar för en tio-årsperiod.

Som man kan se i kalkylen ovan (se figur 16) så är installation av ett batteripaket inte ekonomiskt försvarbart. I denna kalkyl är ombyggnad- och installationskostnader inte medräknade som även tillkommer vilket resulterar i att slutsumman blir ännu högre.

8.2 Kombinatordrift

Här presenteras olika driftfall där vi jämför driftkostnader för körning med konstant varvtal och kombinatordrift. Mätningarna som gjordes här baserar sig endast på en körning, så för noggrannare resultat borde flera undersökningar göras vid olika lastkonditioner samt väderförhållanden. Enligt det som vi kommit fram till borde man undersöka detta då tendensen tyder på att det skulle vara mer optimalt att använda sig av kombinatordrift.

I diagrammet nedan jämförs bränsleförbrukningen per nautisk sjömil på huvudmotorn för olika hastigheter vid drift med konstant varvtal och kombinatordrift. Det bör även beaktas att vid kombinatordrift tillkommer bränsleförbrukning på åtminstone en dieselgenerator (se figur 17).

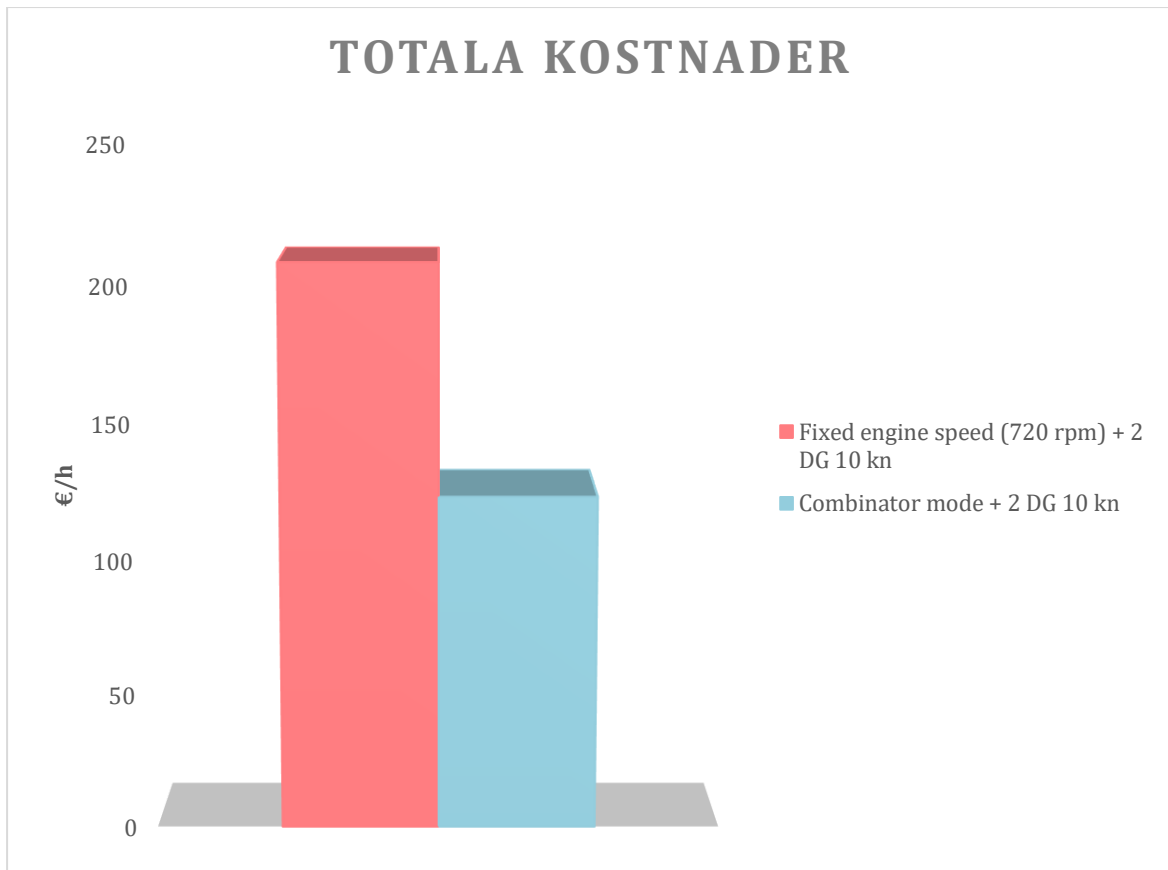


Figur 17 Bränsleförbrukning per nautisk sjömil på huvudmotorn, servicekostnaderna på dieselgeneratorerna är inte beaktade här.

Nedan har vi sammanställt några olika driftfall där man kan se jämförelse mellan olika driftfall som vi anser vara relevanta. Kostnaderna som jämförs nedan innehåller bränslekostnader samt servicekostnaderna på dieselgeneratorerna. Servicekostnaderna på huvudmotorn beaktas inte här då kostnaderna blir densamma vid båda driftlägena.

8.2.1 Drift vid låg hastighet, trängre farleder

Här utgick vi från en hastighet på ca 10 knop då detta är en av de lägre hastigheterna som körs i skärgårdar och trängre passager. Idag körs det på sådana ställen med konstant varvtal och dubbla dieselgeneratorer. Skulle man här istället välja kombinator drift och dubbla dieselgeneratorer så skulle kostnaderna eventuellt kunna sänkas med ca 40 % (se figur 18).

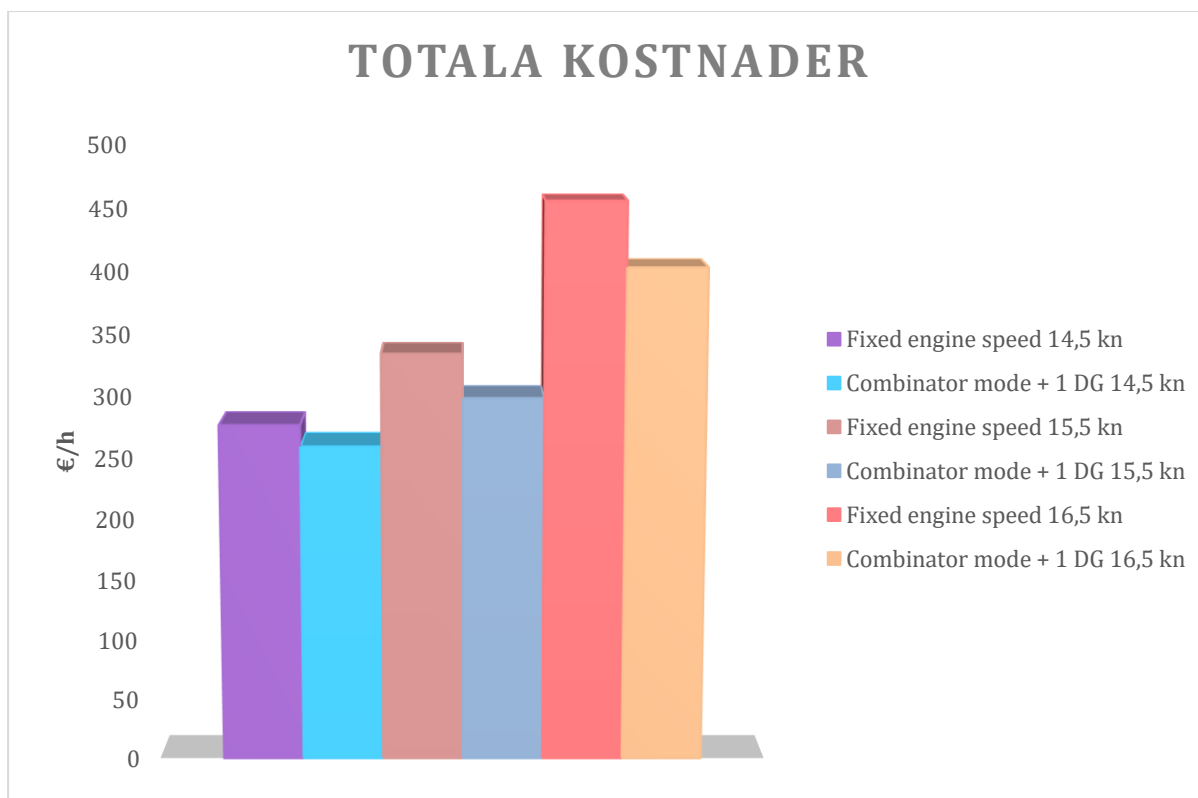


Figur 18 Jämförelse av totala kostnader mellan drift av konstant varvtal samt kombinatordrift vid 10 knop.

En av anledningarna varför det körs med axelgenerator är för att ha snabb tillgång till bogpropellern. Vid kombinatordrift har man även tillgång till bogpropellern men då med endast reducerad effekt.

8.2.2 Drift på havet

Vid drift till havs körs det idag med konstant varvtal och axelgenerator. Eftersom farten varierar beroende på tidtabellen, har vi här jämfört kostnader för tre olika hastigheter med konstant varvtal samt kombinatordrift vid 14,5 kn, 15,5 kn, samt 16,5 kn (se figur 19).



Figur 19 Jämförelse av totala kostnader mellan drift av konstant varvtal samt kombinatordrift vid 14,5 kn, 15,5 kn samt 16,5 kn.

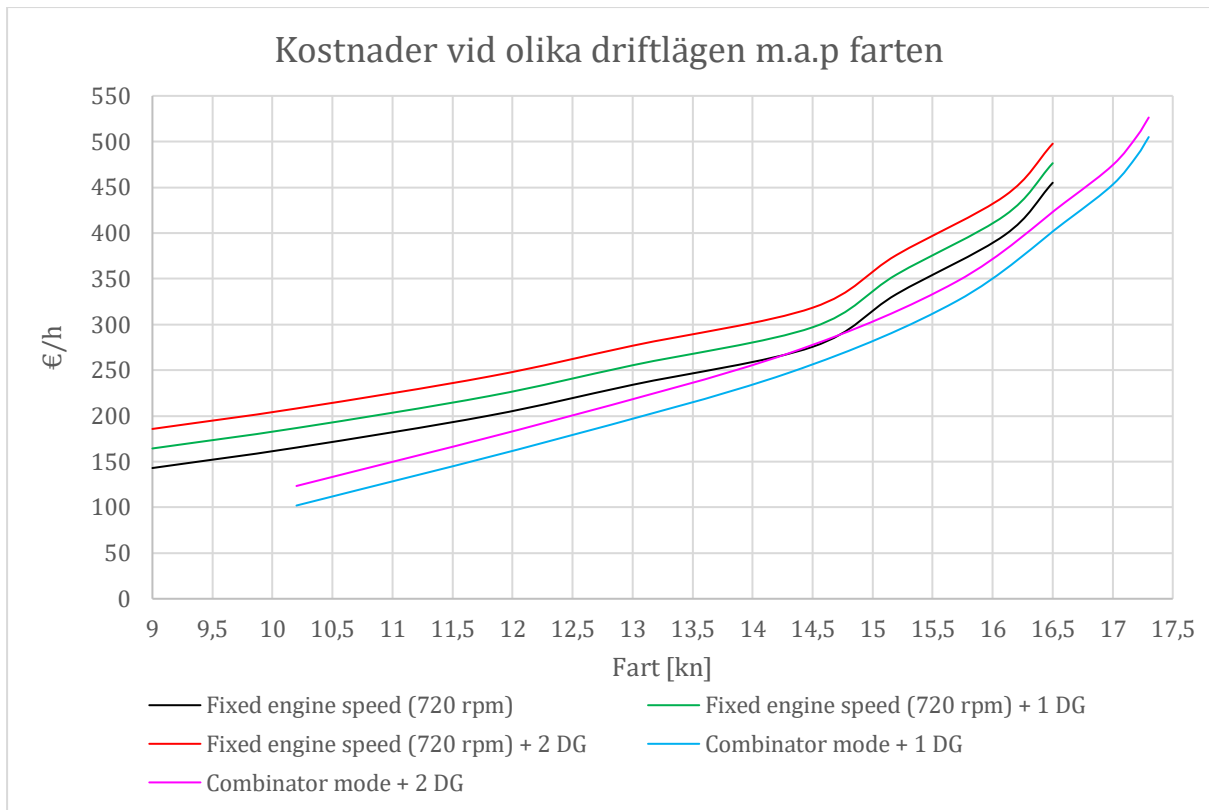
Som man kan se i diagrammet ovan skulle besparingar kunna uppnås om man istället för drift med konstant varvtal och axelgenerator använde sig av kombinatordrift och en dieselgenerator. I tabellen nedan kan en procentuell besparing ses för de olika hastigheterna (se tabell 5).

Tabell 5 Besparingar som kan uppnås med kombinatordrift istället för konstant varvtal.

<i>Eventuella besparingar vid kombinatordrift</i>	
<i>Hastighet [kn]</i>	<i>Besparing %</i>
14,5	6,3
15,5	10,8
16,5	11,6

8.2.3 Samtliga driftfall och hastigheter

Här sammanställdes ett diagram (se figur 20) som visar kostnader per timme för olika kombinationer av driftlägen med avseende på hastigheten. Som man kan se från diagrammet är kombinatordrift ett mer lönsamt alternativ i de flesta fallen. Detta uppnås eftersom propellern får betydligt bättre verkningsgrad vilket avspeglas tydligt i samtliga diagram.

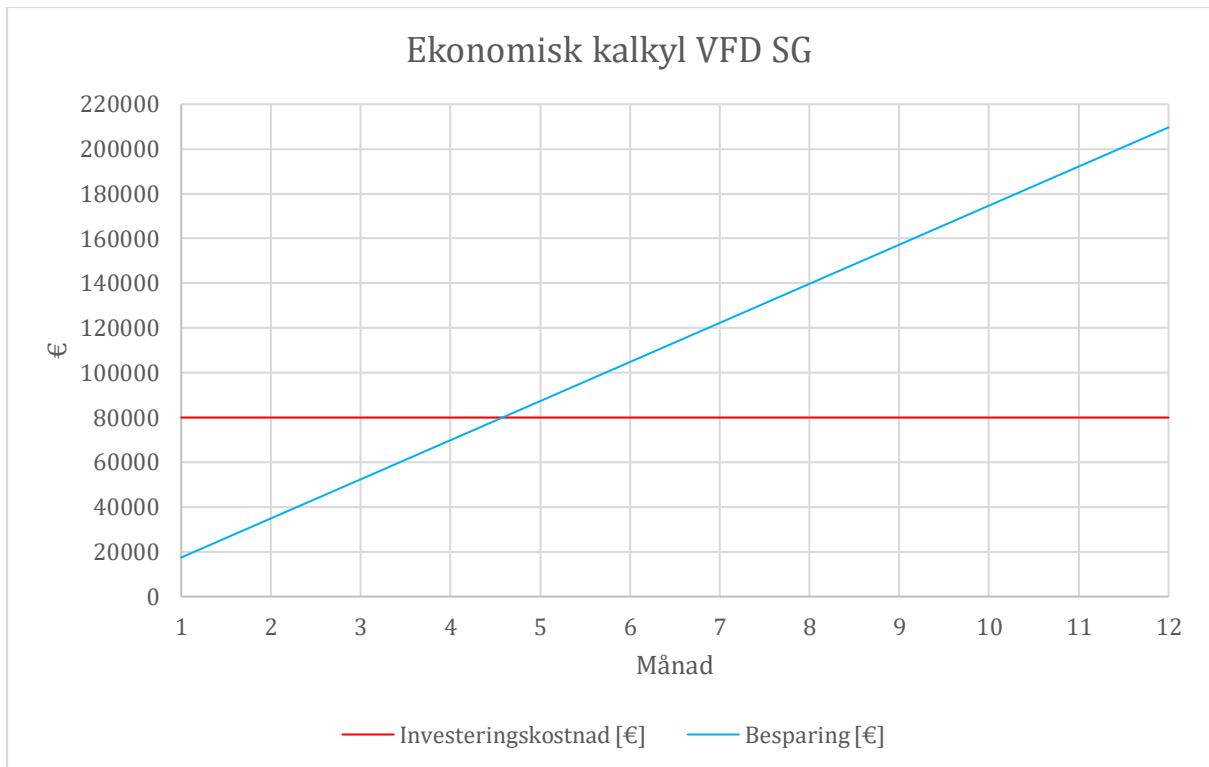


Figur 20 Sammanställning av kostnader vid olika driftkombinationer beroende på hastigheten.

8.2.4 VFD SG

För att göra en kalkyl över huruvida det eventuellt skulle löna sig med en frekvensomriktare utgick vi från en hastighet på 14,5 knop. Denna hastighet valdes dels för att skillnaden på bränsleförbrukningen mellan kombinatordrift och drift med konstant varvtal är som minst här, samt att detta är en vanlig hastighet för fartyget.

Då bränsleförbrukningen på huvudmotorn vid kombinatordrift med axelgenerator är okänd samt svår att mäta på förhand gjordes en approximativ beräkning från körningen med kombinatordrift. Vidare utgick vi från driftdata för fartyget där de använder sig av drift med axelgenerator. Vi var i kontakt med Svein Ingvald, Mannes som är *Sales Support Engineer* på Wärtsilä som gav ett riktpreis på en frekvensomriktare. Priset vi fick var 80 000 € men baseras då endast på utrustningen, så planering, ombyggnationer samt installation tillkommer. Nedan sammanställdes en ekonomisk kalkyl för att se om lönsamhet finns (se figur 21).



Figur 21 Ekonomisk kalkyl över eventuell lönsamhet för en frekvensomriktare till axelgeneratorm.

Kalkylen baseras på skillnaden över bränsleförbrukningen för huvudmotorn mellan drift med fast varvtal och kombinatorldrif för en 12 månaders period där drift med axelgeneratorm använts. Som man kan se från kalkylen i figur 21 skulle återbetalningstiden vara mycket kort. Det bör då även beaktas att planering, ombyggnationer samt installationskostnader tillkommer. Men då potential till inbesparing är såpass stor borde detta utredas vidare.

8.3 Propellerkurva

Från diagrammet (se figur 14) kan man se att våra uppmätta värden för hur mycket effekt som kan tas ut vid de olika varvtalen ligger relativt lågt. När denna mätning gjordes var hon inte fullt lastad och väderförhållandena var goda. Skulle samma mätning göras vid full last, motström samt motvind skulle effekten säkerligen öka vid de olika varvtalen.

Som nämnts tidigare finns t.ex. Lean Marines system som i detta fall skulle justera propellerstigningen så att mera effekt skulle tas ut vid varje varvtal. Deras system mäter olika parametrar och optimerar sedan kombinatorkurvan så man får en så optimal drift som möjligt beroende av lastfall, väder och vind.

9 SLUTSATS

Vi kan efter detta arbete konstatera att det finns möjligheter till förbättringar. Ur det tekniska perspektivet kan vi konstatera att de alternativ till optimeringar vi sett på skulle vara fullt genomförbara att förverkliga. M/V Exporter har även två systerfartyg M/V Shipper samt M/V Transporter som samma optimeringar kunde genomföras på.

Batteripaketet skulle vara fullt genomförbart och leda till färre drifttimmar, lägre bränsleförbrukning samt minskade utsläpp. Även specifika bränsleförbrukningen skulle förbättras på dieselgeneratoren. En kombination av ett batteripaket och kombinatordrift skulle här kunna bli riktigt optimalt. Detta för oss då vidare till de ekonomiska aspekterna som tyvärr visar att besparingarna för de minskade driftskostnaderna skulle vara mindre än investeringskostnaderna. Dessa beräkningar baseras på en tio års period då det är batteriets livslängd och då en av anledningarna till att lönsamhet inte uppnås.

Gällande kombinatordrift har vi för M/V Exporter kunnat konstatera att de flesta fall skulle vara mera lönsamt. Man skulle då använda sig av kombinatordrift med dieselgeneratorer istället för konstant varvtal med axelgenerator som används idag. Oberoende av driftkombination kommer kombinatordrift oftast vara det mest lönsamma. Den stora fördelen med detta är att investeringskostnaden är noll. Dock krävs det rutinförändringar ombord samt att det blir tätare serviceintervaller på dieselgeneratorerna. Mätningarna som gjordes och som tidigare nämnts är endast baserade på en lastkondition samt ett väderförhållande. Så för noggrannare resultat borde flera undersökningar göras vid olika lastkonditioner samt väderförhållanden. Dock ser tendensen av drift med kombinator mycket lovande ut.

Gällande frekvensomriktare till axelgeneratoren kan man konstatera att det finns goda möjligheter till minskade bränslekostnader. Detta tack vare att man skulle kunna använda sig av optimalt förhållande mellan stigning och varvtal för propellern och samtidigt använda axelgenerator för elproduktion. Det bör då beaktas att resultatet vi kommit till här baserar sig på hur de kör idag. Om de går över till kombinatordrift skulle man få ett helt nytt utgångsläge att beräkna lönsamheten med VFD. Detta genom att då beräkna skillnaden mellan förbrukningen på huvudmaskin samt dieselgeneratorerna och enbart förbrukningen på huvudmaskin med VFD installerat för axelgenerator.

Beträffande optimering av propellerkurvan finns det möjligheter till optimering i form av att använda sig av t.ex. Lean Marines system. Deras system mäter ständigt behövliga parametrar varefter stigningen justeras till den mest optimala för varje driftläge.

KÄLLFÖRTECKNING

- ABB. (2018). *Variable frequency drive for shaft generator* . Retrieved from ABB Asea Brown Boveri Ltd:
https://new.abb.com/docs/librariesprovider91/articles/abb_energy_efficiency_guide_variable-frequency-drive-for-shaft-generator_detailed-description222d12e4c1f463c09537ff0000433538.pdf?sfvrsn=2
- DNV-GL. (2018). *RULES FOR CLASSIFICATION Part 6 Additional class notations*. Retrieved from DNV-GL: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2018-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch2.pdf>
- Eckerö Shipping. (2018). *M/V Exporter*. Retrieved from Eckerö Shipping:
<http://www.eckeroshipping.com/>
- Fakta om fartyg. (2018). *M/S Granö*. Retrieved from Fakta om fartyg:
http://www.faktaomfartyg.se/grano_1991.htm
- Ginman, K. (2018). *Fartygsautomation*. Retrieved from Classroom:
<https://classroom.google.com/c/Nzk2NDUwMDYxMVpa>
- Google. (2019). *Google Maps*. Retrieved from Google:
<https://www.google.com/maps/@54.3248153,9.7659509,6z>
- Hägglom, L.-E. (2019, januari). Teknisk inspektör Eckerö Shipping. (T. Karlström, & H. Åberg, Interviewers)
- Lean Marine. (2019). *About us*. Retrieved from Lean Marine:
<http://leanmarine.com/company/>
- Lean Marine. (2019). *Lean Marine fuel optimization systems*. Retrieved from Lean Marine:
<http://leanmarine.com/propeller-pitch-rpm-optimization/>
- Leyton, M. (2016). *The Electrical Load List*. Retrieved from IEEE-CED:
<http://sites.ieee.org/houston/files/2016/01/Preliminary-Electrical-Analysis-Day-1.pdf>
- Reyes, E. (2019). *What is Propeller Pitch*. Retrieved from Propellerpages:
http://www.propellerpages.com/?c=articles&f=2006-03-08_what_is_propeller_pitch
- Thoubboron, K. (2019). *What does the depth of discharge (DoD) of a battery represent?*
Retrieved from Energysage: <https://news.energysage.com/depth-discharge-dod-mean-battery-important/>
- Tikander, B. (1983). *Kraftmaskiner*.

Wankhede, A. (2017). *Propeller, Types of Propellers and Construction of Propellers*.

Retrieved from Marine insight: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/propeller-types-of-propellers-and-construction-of-propellers/>

Wikipedia. (2013). *Isolationstransformator*. Retrieved from Wikipedia:

<https://sv.wikipedia.org/wiki/Isolationstransformator>

Wikipedia. (2018). *State of charge*. Retrieved from Wikipedia:

https://en.wikipedia.org/wiki/State_of_charge

Wikipedia. (2019). *Power take-off*. Retrieved from Wikipedia:

https://en.wikipedia.org/wiki/Power_take-off

BILAGOR

Bilaga 1: Avläst mätdata från testkörningarna som utfördes.

Bilaga 2: Elschema M/V Exporter.

Bilaga 3: Elbalans M/V Exporter.

Bilaga 4: Propeller och kombinatorkurva M/V Exporter.

Bilaga 5: Grafer över batteripaketets effekt.

Bilaga 6: Teknisk data för batteripaketet.

Bilaga 1.

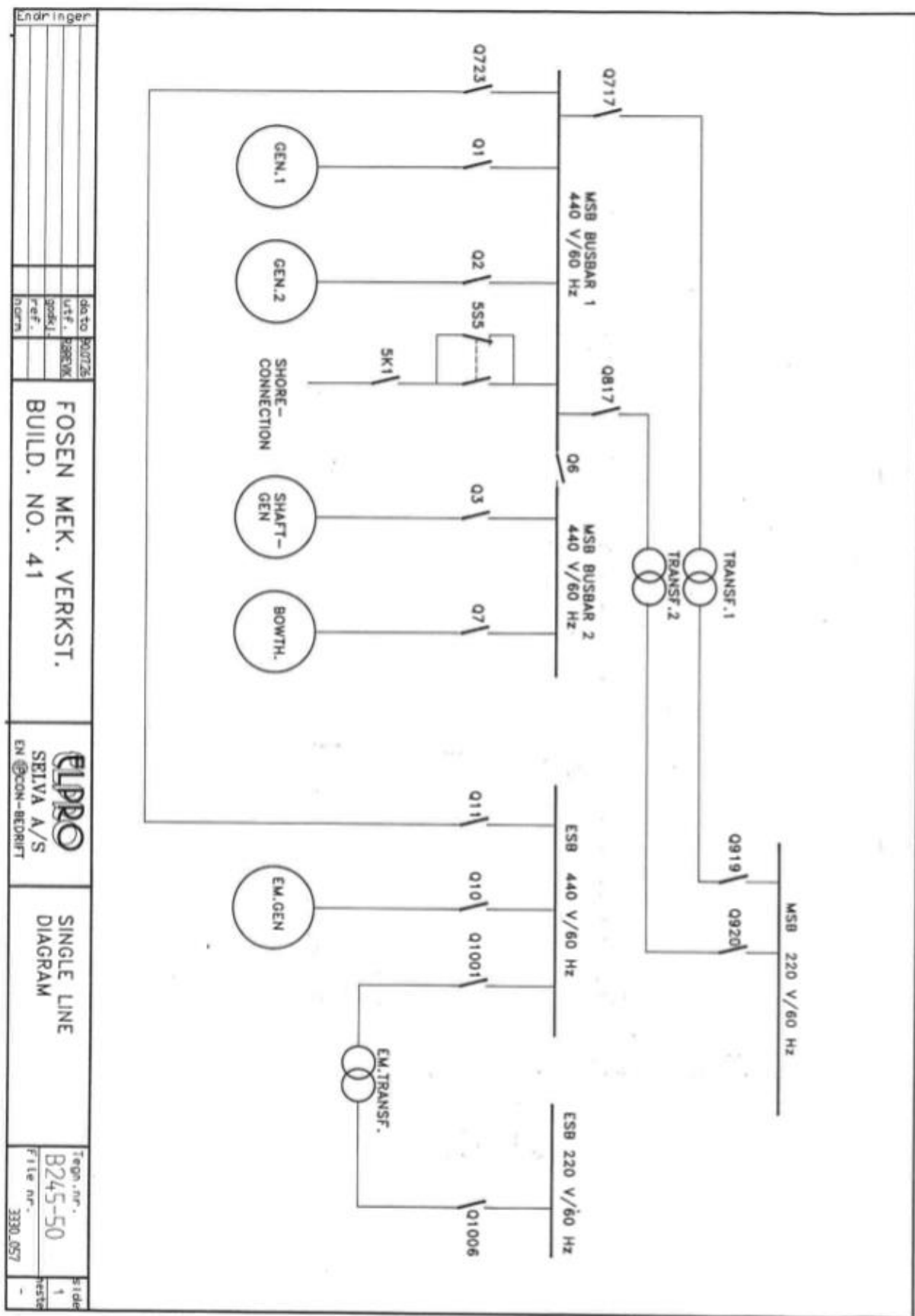
Fixed engine speed (720 rpm)									
Lever pos.	Speed (kn)	Prop. shaft power (kW)	Shaft gen. load (kW)	Fuel cons. (kg/h)	ME rpm	Fuel rack (mm)	Exh temp mean value A/B	Pitch (%)	Engine power/cyl. + 3% gear losses
3	9	1005	200	275	720	20,5	364/350	31	52
4	10,2	1230	200	318	720	22	373/365	41	66
5	11,8	1510	200	385	720	24	380/372	51	84
6	13	1850	200	450	720	26	381/372	60	106
7	14,5	2280	200	530	720	28	392/387	71	134
8	15,2	2865	200	641	720	31,5	401/398	80	172
9	16,1	3495	200	765	720	36	411/410	90	212
10	16,5	3930	200	875	720	39	417/417	97	240

Combinator mode									
Lever pos.	Speed (kn)	Prop. shaft power (kW)	Shaft gen. load (kW)	Fuel cons. (kg/h)	ME rpm	Fuel rack (mm)	Exh temp mean value	Pitch (%)	Engine power/cyl. + 3% gear losses
3	10,2	720	-	155	585	19	332/297	45	46
4	12,3	1360	-	290	630	22	368/356	63	88
5	14,3	2070	-	434	660	26	381/372	77	133
6	15,7	2760	-	585	700	30	397/392	82	178
7	16,6	3550	-	751	730	34	407/406	87	229
8	17	3930	-	830	730	37	413/414	92	253
9	17,2	4300	-	890	730	39	419/421	96	277
10	17,3	4350	-	930	730	40	422/423	97	280

LIS set to 100% during tests.
 Fuel rack position xx mm checked to correspond to 100% power in Rolls-Royce system.

Fuel rack 43 mm - 100% power with bunker density 0,98
 Fuel rack 40 mm - 100% power with bunker density 0,96

Prop. shaft power - readings from Kyma instrument

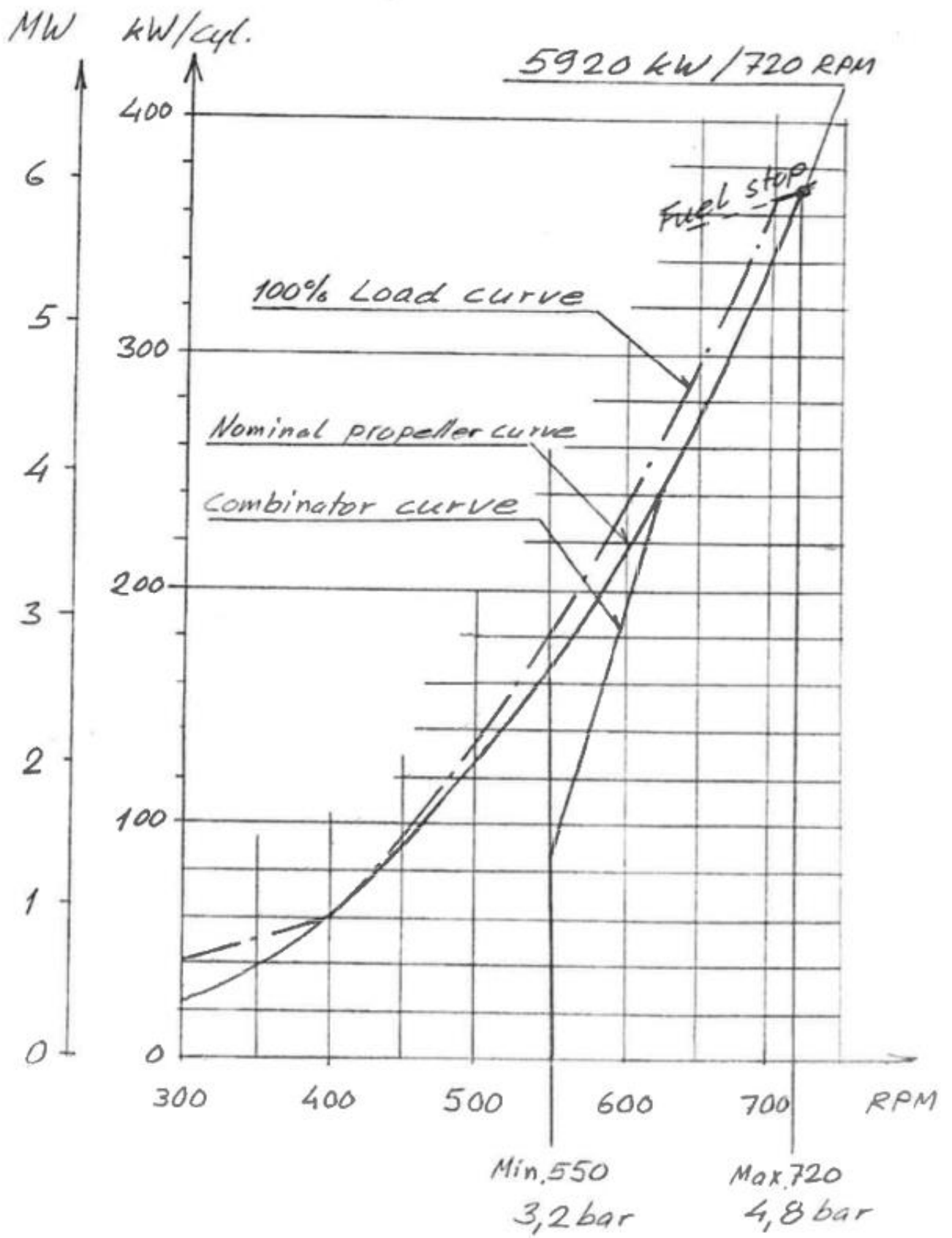


Endringer		dato		FOSEN MEK. VERKST.		ELPRO		SINGLE LINE		Figur nr.		side	
			200725	BUILD. NO. 41		SELVA A/S		DIAGRAM		B245-50		1	
			2883VK			EN				File nr.		1	
			ref.			CON-BEDRIFT				3330.057		1	
			norm									1	

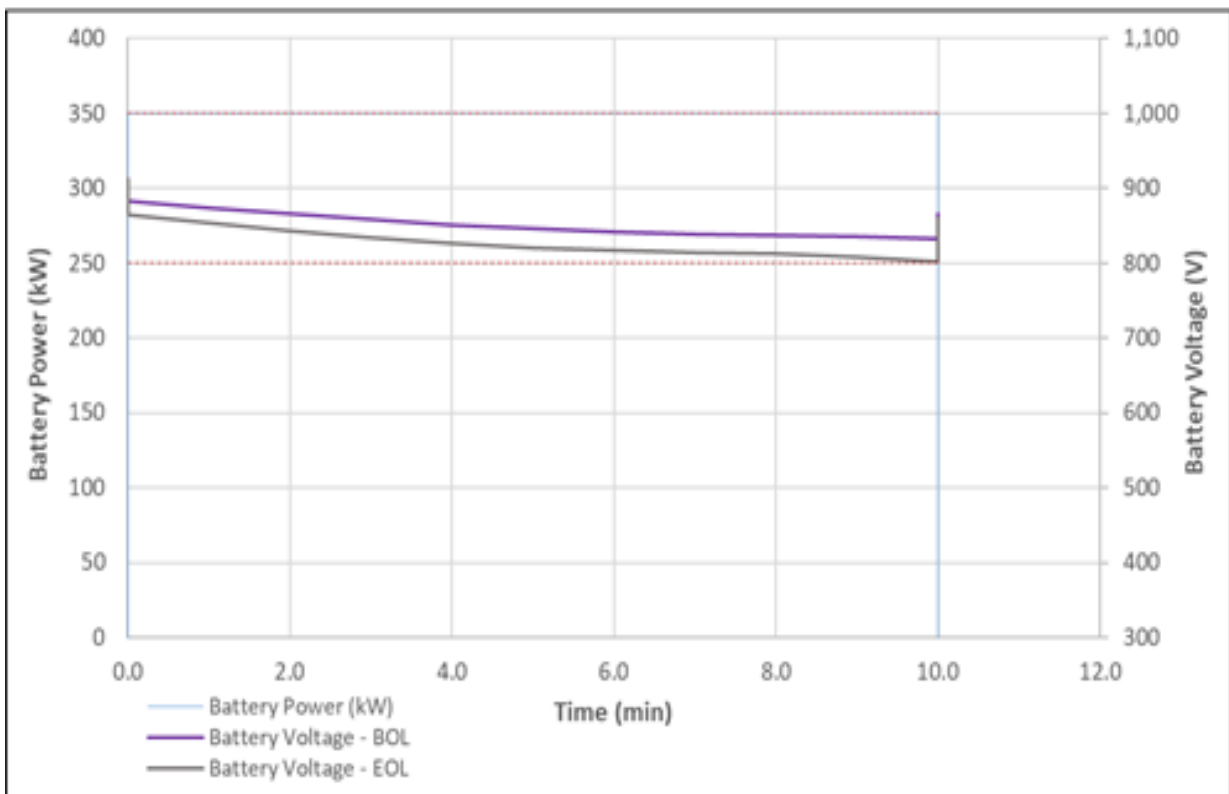
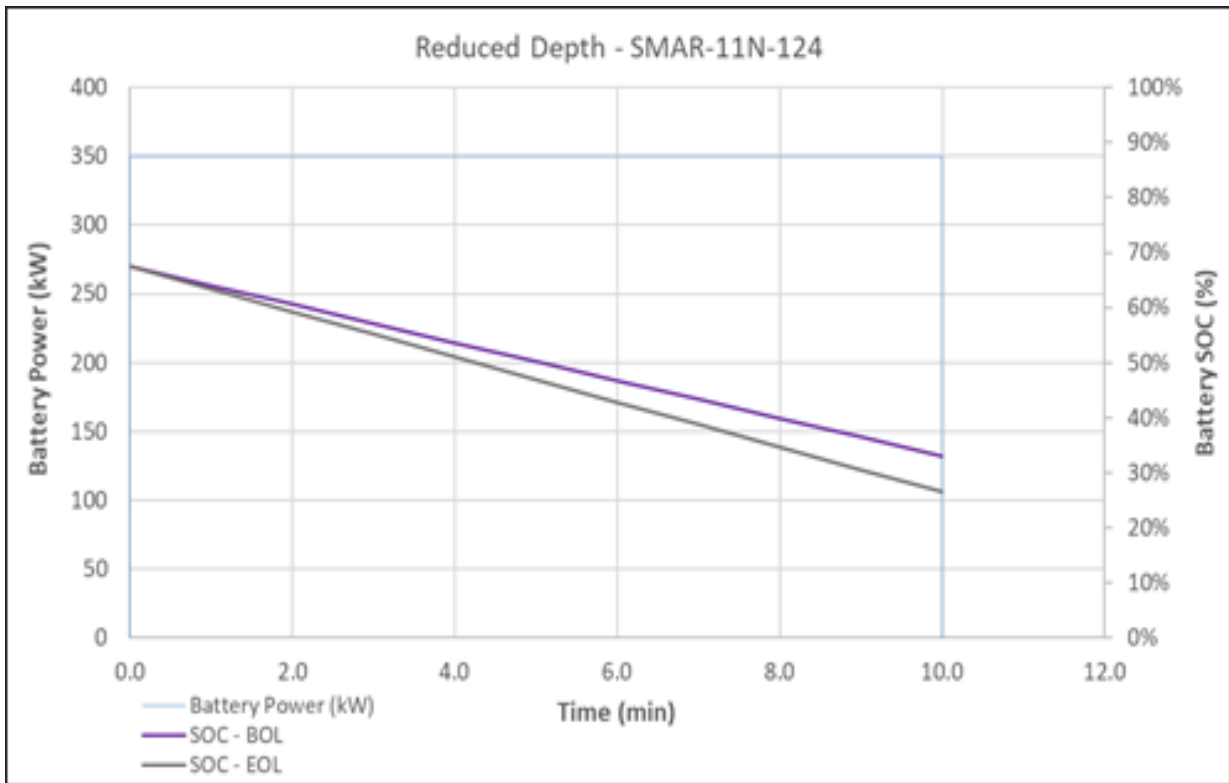
Bilaga 3.

CONSUMER	INST.	IDLE	LOADING-UNLOADING				MANOEUVERING				CRUISING			
			Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt	Wt
L.O. POWER PUMP NO. 1	3													
L.O. POWER PUMP NO. 2	30													
L.O. POWER PUMP NO. 3	18													
NO. 1 WATER PUMP	287													
NO. 2 WATER PUMP	26													
STEERING GEAR PUMP #1	273													
STEERING GEAR PUMP #2	270													
K.O. POWER PUMP NO. 1	18													
K.O. POWER PUMP NO. 2	18													
K.O. POWER PUMP NO. 3	18													
K.O. POWER PUMP NO. 4	18													
K.O. POWER PUMP NO. 5	18													
K.O. POWER PUMP NO. 6	18													
K.O. POWER PUMP NO. 7	18													
K.O. POWER PUMP NO. 8	18													
K.O. POWER PUMP NO. 9	18													
K.O. POWER PUMP NO. 10	18													
K.O. POWER PUMP NO. 11	18													
K.O. POWER PUMP NO. 12	18													
K.O. POWER PUMP NO. 13	18													
K.O. POWER PUMP NO. 14	18													
K.O. POWER PUMP NO. 15	18													
K.O. POWER PUMP NO. 16	18													
K.O. POWER PUMP NO. 17	18													
K.O. POWER PUMP NO. 18	18													
K.O. POWER PUMP NO. 19	18													
K.O. POWER PUMP NO. 20	18													
K.O. POWER PUMP NO. 21	18													
K.O. POWER PUMP NO. 22	18													
K.O. POWER PUMP NO. 23	18													
K.O. POWER PUMP NO. 24	18													
K.O. POWER PUMP NO. 25	18													
K.O. POWER PUMP NO. 26	18													
K.O. POWER PUMP NO. 27	18													
K.O. POWER PUMP NO. 28	18													
K.O. POWER PUMP NO. 29	18													
K.O. POWER PUMP NO. 30	18													
K.O. POWER PUMP NO. 31	18													
K.O. POWER PUMP NO. 32	18													
K.O. POWER PUMP NO. 33	18													
K.O. POWER PUMP NO. 34	18													
K.O. POWER PUMP NO. 35	18													
K.O. POWER PUMP NO. 36	18													
K.O. POWER PUMP NO. 37	18													
K.O. POWER PUMP NO. 38	18													
K.O. POWER PUMP NO. 39	18													
K.O. POWER PUMP NO. 40	18													
K.O. POWER PUMP NO. 41	18													
K.O. POWER PUMP NO. 42	18													
K.O. POWER PUMP NO. 43	18													
K.O. POWER PUMP NO. 44	18													
K.O. POWER PUMP NO. 45	18													
K.O. POWER PUMP NO. 46	18													
K.O. POWER PUMP NO. 47	18													
K.O. POWER PUMP NO. 48	18													
K.O. POWER PUMP NO. 49	18													
K.O. POWER PUMP NO. 50	18													
K.O. POWER PUMP NO. 51	18													
K.O. POWER PUMP NO. 52	18													
K.O. POWER PUMP NO. 53	18													
K.O. POWER PUMP NO. 54	18													
K.O. POWER PUMP NO. 55	18													
K.O. POWER PUMP NO. 56	18													
K.O. POWER PUMP NO. 57	18													
K.O. POWER PUMP NO. 58	18													
K.O. POWER PUMP NO. 59	18													
K.O. POWER PUMP NO. 60	18													
K.O. POWER PUMP NO. 61	18													
K.O. POWER PUMP NO. 62	18													
K.O. POWER PUMP NO. 63	18													
K.O. POWER PUMP NO. 64	18													
K.O. POWER PUMP NO. 65	18													
K.O. POWER PUMP NO. 66	18													
K.O. POWER PUMP NO. 67	18													
K.O. POWER PUMP NO. 68	18													
K.O. POWER PUMP NO. 69	18													
K.O. POWER PUMP NO. 70	18													
K.O. POWER PUMP NO. 71	18													
K.O. POWER PUMP NO. 72	18													
K.O. POWER PUMP NO. 73	18													
K.O. POWER PUMP NO. 74	18													
K.O. POWER PUMP NO. 75	18													
K.O. POWER PUMP NO. 76	18													
K.O. POWER PUMP NO. 77	18													
K.O. POWER PUMP NO. 78	18													
K.O. POWER PUMP NO. 79	18													
K.O. POWER PUMP NO. 80	18													
K.O. POWER PUMP NO. 81	18													
K.O. POWER PUMP NO. 82	18													
K.O. POWER PUMP NO. 83	18													
K.O. POWER PUMP NO. 84	18													
K.O. POWER PUMP NO. 85	18													
K.O. POWER PUMP NO. 86	18													
K.O. POWER PUMP NO. 87	18													
K.O. POWER PUMP NO. 88	18													
K.O. POWER PUMP NO. 89	18													
K.O. POWER PUMP NO. 90	18													
K.O. POWER PUMP NO. 91	18													
K.O. POWER PUMP NO. 92	18													
K.O. POWER PUMP NO. 93	18													
K.O. POWER PUMP NO. 94	18													
K.O. POWER PUMP NO. 95	18													
K.O. POWER PUMP NO. 96	18													
K.O. POWER PUMP NO. 97	18													
K.O. POWER PUMP NO. 98	18													
K.O. POWER PUMP NO. 99	18													
K.O. POWER PUMP NO. 100	18													
TOTAL OF CONTINUOUS CONSUMERS														
TOTAL OF INTERMITTENT CONSUMERS														
TOTAL POWER														
TOTAL POWER FOR														

Bilaga 4.



Bilaga 5.



Specification	Standard	Reduced Depth	Notes
Trident® Model Chemistry	S MAR-11N-22-4-1002 NMC	S MAR-11N-124-1.003 NMC	
Modules in Series/String	10	10	Spiera SBMS support a charge voltages up to 290 VDC
Strings in Parallel/Battery	2	3	
Electrical Specifications			
Embedded Battery Energy	22.6 kWh	17.0 kWh	
Absolute Maximum Battery Voltage	1003 VDC	1003 VDC	If fully charged to 80% SOC, Spiera does not recommend due to calendar aging effect at end of life (EOL), capacity loss and DCIR growth have been accounted for
Maximum Charge Battery Voltage	912 VDC	912 VDC	at 50% SOC
Nominal Battery Voltage	883 VDC	883 VDC	at EOL, capacity loss and DCIR growth have been accounted for
Minimum Battery Voltage	828 VDC	801 VDC	at EOL, capacity loss and DCIR growth have been accounted for
Max. Cont. Discharge String Current (Rate)	211 A(1.65C)	146 A(2.27C)	at EOL, capacity loss and DCIR growth have been accounted for
Average (RMS) String Current (Rate)	208 A(1.62C)	142 A(2.22C)	at EOL, capacity loss and DCIR growth have been accounted for
Average Dissipated Power Losses	17.2 kW	24.0 kW	at EOL, capacity loss and DCIR growth have been accounted for
Operating SOC Range (BOJ)	41% - 68%	33% - 68%	at beginning of life (BOL)
Operating SOC Range (EOL)	36% - 68%	26% - 68%	at EOL, capacity loss has been accounted for
Design Life	> 10 years	> 10 years	
Battery Management System Interface	CANBus (CAN2.0B)	CANBus (CAN2.0B)	Spiera SBMS
Mechanical Specifications			
Cooling Method	Forced Air	Forced Air	Spiera support both to rear of air and liquid-cooled systems, available upon request
Rack Depth	1233 mm	747 mm	includes vent channel to collect back of rack, does not include neck clearance
Rack Height	1949 mm	1949 mm	includes SCU ¹ , custom rack configurations are possible to optimize battery space(s)
Rack Width	492 mm	492 mm	
Rack Volume	1.18 m3	0.72 m3	includes SCU ¹ , does not include neck clearance
Rack Weight	1027 kg	576 kg	includes SCU ¹ , cable weights, coolant weight internal to battery (if applicable)
Total Battery Volume, including Racks	2.4 m3	2.1 m3	does not include neck clearance
Total Battery Weight, including Racks	2,053 kg	1,729 kg	includes SCU ¹ , cable weights, coolant weight internal to battery (if applicable), does not include SCU or BCU weight (if applicable)
System-Level Energy Density	96 Wh/L	79 Wh/L	industry-leading energy density by > 8%
System-Level Specific Energy	110 Wh/kg	98 Wh/kg	industry-leading specific energy by > 3%