

M/S Aurora Botnias driftprofil

En undersökning av driftprofilen samt möjliga energibesparingsmöjligheter för fartyget M/S Aurora Botnia.

Viktor Sten Erik Häggman

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2022

EXAMENSARBETE

Författare: Viktor Sten Erik Häggman

Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa

Inriktning: Elkraftsteknik

Handledare: Ronnie Sundsten

Titel: M/S Aurora Botnias driftprofil

Datum: 16.12.2022 Sidantal: 19

Bilagor: 1

Abstrakt

Följande examensarbete är utfört på uppdrag av NLC Ferry Oy Ab för att analysera energiförbrukningen under drift av deras nybyggda fartyg M/S Aurora Botnia. Samtidigt har undersökts den möjliga optimeringen av energiproduktionen under drift.

Tillvägagångssättet för arbetet har varit att köra rutterna med olika kombinationer av energiproduktion samt genom att teoretiskt beräkna energibehoven för resorna. Säkerheten har ändå beaktats och de olika kombinationerna har fortfarande säkerställt att fartyget har tillräckligt med energi för manövrering, vid möjliga tekniska fel, samt att tidtabellerna har hållits.

Energiförbrukningen som har analyserats har tagits från fartygets egna övervakningssystem, Valmarine IAS, och bränsleförbrukningen har fått från maskindagböckerna. Mätningarna har försökt göras under så likadana väderförhållanden som möjligt för att få så jämförelsevis likvärdiga data och genom att ta ett medelvärde för två likadana resor. Mätningarna har gjorts under hösten 2022.

Arbetet har inte beaktat drift med enbart batterier utan enbart drift med olika hybridlägen.

Resultaten visar att under de långsammare resorna, 3 h 45 min och 4 h, finns det energibesparingsmöjligheter om man manövrerar med hjälp av batterier och har en motor i drift och sedan genom att köra en motor på optimal effekt och använda batterierna för det extra energibehovet tills batterierna är tomma. Därefter använda två motorer för framdrift och för att ladda upp batterierna. Slutliga manövreringen sker med hjälp av en motor och batterier.

Under de snabbaste resorna som fartyget kör, 3 h 30 min, finns det inte mycket att göra med hjälp av den nuvarande batteristorleken för att minska bränsleförbrukningen.

Språk: svenska

Nyckelord: energibesparing, fartygsteknik, batteriteknik, optimering

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Viktor Sten Erik Häggman

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka

Ohjaaja: Ronnie Sundsten

Nimike: M/S Aurora Botnian käyttöprofiili

Päivämäärä: 16.12.2022 Sivumäärä: 19

Liitteet: 1

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty NLC Ferry Oy Ab: toimeksiannosta ja tavoitteena on analysoida energiankulutus käytön aikana heidän uudella M/S Aurora Botnia laivalla. Samanaikaisesti on tutkittu miten voi optimoida energiantuotanto käytön aikana.

Työn toimintatapa on ollut reitin ajaminen eri energiantuotannon yhdistelmillä sekä reittien teoreettisten energiantarpeiden laskeminen. Turvallisuus on kuitenkin huomioitu ja eri käyttöyhdistelmät ovat varmistaneet että laivalla on ollut tarpeeksi energiaa ohjaamiseen ohjaaminen, mahdollisten teknisten vikojen sattuesssa, sekä aikataulujen pitämiseen.

Analysoitu energiankulutus on otettu laivan omasta valvontajärjestelmästä, Valmarine IAS, ja polttoainekulutus on otettu konepäiväkirjasta. Mittaaminen on yritetty tehdä mahdollisin samalaisissa sääolosuhteissa jotta tieto olisi mahdollisimman hyvin verrattavissa toisiinsa. Keskiarvon laskeminen on tehty kahdella mahdollisimman samanlaisella reitillä. Mittaukset on tehty syksyllä 2022.

Työ ei ole huomioinut pelkästään akulla ajamista vaan ainoastaan eri hybridijärjestelmiä on käytetty.

Tulokset osoittavat että hitaimmilla reiteillä, 3 h 45 min ja 4 h, on mahdollista säästää energiaa ohjaamalla akun ja yhden koneen avulla, minkä jälkeen ajetaan yhden koneen optimaalilla teholla ja lisää energiaa tarvittaessa käytetään akkuja kunnes ne on tyhjennetty. Sen jälkeen ajetaan kahdella koneella ja akut lataukseen. Viimeinen ohjaus tehdään yhdellä koneella akun avulla.

Nopeimmilla reiteillä, 3 h 30 min, ei ole paljon mahdollisuuksia polttoainekulutuksen vähentämiseen, kun akut ovat tämän kokoinen.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: energiasäästö, laivatekniikka, akkutekniikka, optimointi

BACHELOR'S THESIS

Author: Viktor Sten Erik Häggman

Degree Programme: Electrical and automation technology, Vasa

Specialisation: Electrical power technology

Supervisor: Ronnie Sundsten

Title: The operational profile of M/S Aurora Botnia

Date: 16.12.2022 Number of pages: 19

Appendices: 1

Abstract

This bachelor thesis is done on behalf of NLC Ferry Ab Oy to analyse the energy consumption under operation of their newly built ferry M/S Aurora Botnia. At the same time, the possibility to optimise the energy production under operation has been analysed.

The approach for the work was to drive the routes using different combinations of energy production and by theoretically calculating the energy need for the routes. Safety has, nonetheless been considered and the different combinations have still ensured that the ship has sufficient energy for manoeuvring, should a technical fault happen, and that the ship has arrived and departed on time.

The energy consumption data that has been analysed has been collected from the ship's own surveillance system, Valmarine IAS, and the routes' fuel consumption has been gathered from the engine diaries. The measurements have been done during similar weather conditions to get as equivalent data as possible and by calculating the average consumption of two equal trips. The measurements have been taken during the autumn of 2022.

This work has not taken into consideration operation when using only batteries, only operation using different hybrid modes.

The result shows that during the slower trips, 3 h 45 min and 4 h, there is possibility for energy savings if you manoeuvre with the help of batteries and one engine running and then by driving one engine on optimal load with the aid of batteries until the battery power is depleted. Thereafter using two engines for propulsion and charging up the batteries. Finally manoeuvring with one engine and batteries.

Driving the faster trips, 3 h 30 min, there is not a lot to do with the current battery capacity to reduce fuel consumption.

Language: swedish

Key words: energy savings, ship technology, battery technology, optimisation

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Fartygets bakgrund	1
3	Driftsscenario.....	3
	3.1.1 Under färd	3
	3.1.2 Manövrering.....	4
	3.1.3 Fartyget förtöjd vid kaj.....	5
4	Teoretisk beräkning och simulering.....	6
	4.1 Energibehovet ombord	6
	4.1.1 Framdriftens behov	6
	4.1.2 Hotellsidans behov.....	8
	4.2 Högsäsong och lågsäsong.....	8
	4.3 Effektmätning beroende på hastigheten	8
	Specifika bränslekonsumtionen, SFOC	11
5	Mätningar	12
	5.1 Genomsnittlig förbrukning över september månad.....	12
	5.2 Skillnad i förbrukning beroende på driftsätt.....	15
6	Diskussion	17
7	Källförteckning.....	18
	Bilagor	
	Bränslekonsumtion	

1 Inledning

Klimatförändringen för med sig utmaningar för den marina sektorn på hur man ska kunna fortsätta med sin verksamhet utan att negativt påverka klimatet både på en global och lokal nivå. Lösningen har varit att nya fartyg utrustas med gasdrift samt att det installeras batteripack ombord för att minska på de skadliga utsläppen som uppstår i traditionella fartyg som använder marindiesel eller tjockolja.

Dieselmotorerna har bästa specifika bränslekonsumtionen (SFOC) och verkningsgrad vid cirka 84 % av maxeffekt (Carlsen, 2014). En möjlighet då fartyget har batteripack är att se vilket driftläge är bäst sett ur en ekonomisk och miljömässig synvinkel samt om det påverkar slitage på motorerna. Med batterierna kan man köra med en konstant last och låta batterierna ta effekttopparna som uppstår då till exempel en stor pump startar, köra enbart med batterierna en kort sträcka i till exempel farlederna och vid manövreringen eller köra med flera motorer samtidigt och ha en lägre bränsleförbrukning för effekttoppar.

Detta arbete kommer att reda ut hur fartyget Aurora Botnia körs med högst verkningsgrad och i vilket driftläge det bäst lämpas att köra för att batterierna och övrig framdrivnings maskineri ska vara så effektiva som möjligt samt att se över de olika driftsprofilerna fartyget har.

2 Fartygets bakgrund

M/S Aurora Botnia är ett nybyggt fartyg som trafikerar Vasa – Umeålinjen och som är specialbyggt för just denna linje. Hon byggdes vid det finska varvet Rauma Marine Constructions beläget i Raumo och överräcktes åt ägarna Kvarken Link i augusti 2021.

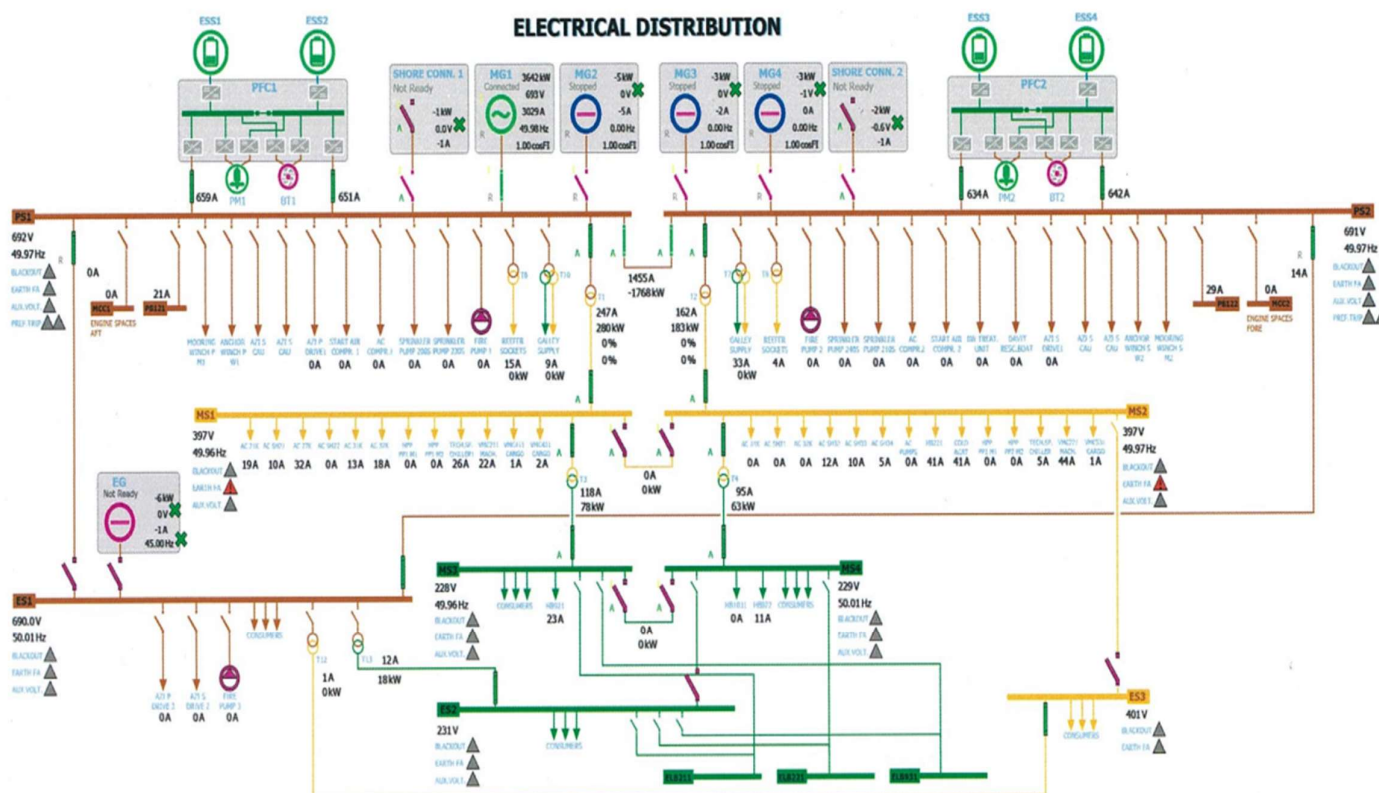
Kvarken Link är ett landsöverskridande företag ägt av Vasa stad och Umeå kommunföretag Ab. Jungfruturen åkte hon 28 augusti från Vasa till Umeå.

Hennes energiproduktion består av fyra Wärtsilä 8V31DF motorer ihopkopplade med WEG generatorer vilka producerar energin. Motorerna har en teoretisk maxeffekt på 4400 kilowatt vid kontinuerlig drift vid ett varvtal på 750 varv per minut.

Wärtsiläs 31-motorer har krediterats av Guinness World Records för att vara världens mest effektiva 4-takts motor med en bränsleförbrukning på 165 g/kWh (Wärtsilä Oyj Abp, 2015).

Detta medför att motorernas SFOC-kurva är lägre än för andra fabrikers motorer och att bränslekonsumtionen blir mindre vid samma energibehov.

Fartyget kan köras med både natur-, biogas samt marindiesel, VGO. Hon är således ett dieselelektriskt fartyg som drivs fram med två ABB Azipod roderpropellrar situerade i aktern och i fören har hon även två bogpropellrar vilka är 1500 kilowatt vardera och avsedda för manövrering. Hon har även två batteripack tillverkade av Leclanche som har en kombinerad kapacitet på 2000 kilowatt.



Figur 1, Fartygets elsystem.

Utifrån figur 1 ses hur fartygets elsystem är uppbyggt med huvudgeneratorerna, frekvensomriktarna och de tre nivåerna på spänningsställverken vilka är 690 volt, 400 volt och 230 volt.

Nere i vänstra hörnet syns även nödgeneratoren, EG, och nödställverket med vilken väsentlig utrustning kan förses med energi vid nödfall. Nödställverket är vid normala fall matat från någondera sida av 690 volt propulsionsställverket och har egna transformatorer kopplade till nödställverken för de lägre spänningsnivåerna, 400 volt och 230 volt.

Varje ställverk är uppdelat med en mellanbrytare för att de vid möjliga fel kunna skiljas från varandra. I normala fall är 690 volt ställverket ihopkopplat med mellanbrytaren medan de lägre spänningsställverken lämnas öppna, detta för att undvika att backeffekt matas tillbaka till de spänningsställverken med högre spänning (Andersson, 2009) en så kallad rundgång.

Frekvensomriktarna ser man också att de är ihopkopplade med var sin sida av 690 volts ställverket samt att de båda har två AC/DC-konverterers.

Varje brytare, transformator och konverter har en viss energiförlust. Transformatorers verkningsgrad är i medeltal ungefär 95 % till 99 % (Team, 2021).

Lastkapaciteten hon har är 800 passagerare samt kapaciteten för 1500 filmeter på däck tre, däck fem och genom att hissa ner en bilhylla på däck 5 avsedd för personbilar.

Denna utrustning möjliggör att fartyget kan klassas som "Clean Design" enligt Der Norske Veritas, DNV:s, regler (Kvarken Link, 2021), (Det Norske Veritas, 2011).

3 Driftsscenario

Fartyget befinner sig under dygnet i tre olika driftscenarion vilka alla kräver olika mängder energi samt olika konfigurationer av energiproduktionen. De tre olika scenarion är manövrering, ruttkörning samt då fartyget ligger vid kaj.

3.1.1 Under färd

Fartyget befinner sig under rutten antingen i skärgården eller på öppet hav vilket syns i figur 2.



Figur 2, Aurora Botnias Rutt Vasa – Umeå (Wasaline, 2022).

Vasa farled är smal och grund (Lillkvist, 2015) vilket kräver att fartyget har hög redundans för att minimera risken vid en möjlig blackout eftersom fartyget snabbt kan stöta på grund genom att driva utanför farleden. Förut krävde det att fartyg med traditionellt framdrivningssystem så som Wasa express körde med två motorer på låg last inne i skärgården för att minimera risken vid ett tekniskt fel, samma problem existerar inte på samma sätt med Aurora Botnia då hon har omedelbar energi från batterierna.

Detta betyder att det ges mera valmöjligheter hur befälet kör fartyget med Aurora Botnia.

3.1.2 Manövrering

Manövreringsfasen i hamn då fartyget ska lägga till kan vara en av de mest kritiska skeden då det i detta skede kan hända stora materiella eller personliga skador om fartyget tappar styrningsförmåga till följd av tekniska problem (Maritime Executive, 2021).

Det tidigare fartyget M/S Wasa Express som körde samma rutt med traditionell propellerdrift och två bogpropellrar använde minst två av sina fyra huvudmotorer vid manövreringsskedet samt en eller två hjälpmotorer.

Med M/S Aurora Botnia kan befälet på bryggan välja mellan att köra med enbart två eller flera huvudgeneratorer, en hybridvariant med en eller flera huvudgeneratorer och batterier eller manövrera enbart med batterierna. Beroende på vädret kan befälet ändå bestämma att använda sig av mera energiproduktion för att manövrera säkert. Vid drift utan batterierna kan de, vid händelse av tekniskt fel med huvudgeneratorerna, kopplas in snabbt och förhindra en möjlig blackout och att större skador sker.

3.1.3 Fartyget förtöjd vid kaj

Då fartyget ligger vid kaj kan landström automatiskt anslutas och kopplas in. Den möjligheten gör att man kan ladda batterierna samt förse fartyget med den energi som krävs för att grundutrustningen ska fungera.

Laddstation har försetts i både Vasa hamn samt Holmsund hamn av det schweiziska företaget Cavotech (Kvarken Ports, 2022). På Umeå sidan finns kapaciteten att förse fartyget med tusen kilowatt, detta på grund av de effektkostnaderna som företaget i Holmsund har (Umeå Energi, 2022). I Vasa hamn kan fartyget förses med två tusen kilowatt eftersom avgifterna är annorlunda Finland än i Sverige och det blir således ekonomiskt lönsamt att ta större effekt (Vasa Elektriska, 2022).

På grund av det nuvarande läget på elmarknaden använder sig vakthavande befälet i kontrollrummet sig av tumregeln att om priset på el är över 400 euro/MWH så producerar fartyget sin el själv. Informationen hämtas från Fingrid och svenska elnätets hemsidor. Orsaken till denna gräns är att då elpriset stiger över denna summa så blir det ekonomiskt lönsammare att producera energin som fartyget kräver med hjälp av generatorerna ombord och de körs då med antingen avkoket från gastankarna eller med diesel.

Li-Ion batterier behöver laddas upp långsamt för att de inte ska skadas av den extra värmen som orsakas av snabb laddning innebär (Tomaszewska, o.a., 2019). Det orsakar att batterierna laddas upp till närmare 100 procent under natten eller under längre hamnpauser, mindre uppladdningar görs ändå under kortare hamnpauser eller med hjälp av generatorerna ombord.

4 Teoretisk beräkning och simulering

Teoretiskt kan man beräkna hur det lönar sig att köra vid olika driftsmoment genom att se hur stor last man i medeltal har och hur mycket energi generatorerna samt batteri packet klarar av att leverera.

Huvudmotorerna ombord är alla av samma modell men huvudgenerator 3, MG3, är en testmotor som Wärtsilä använder för att se hur man kan öka effekten på motorn för att i senare skede kunna uppdatera resten av generatorerna och har således lite annorlunda tillgänglig effekt jämfört mot resten av generatorerna. Nuvarande uppdatering på MG3 ger den en effekt på cirka 4800 kilowatt.

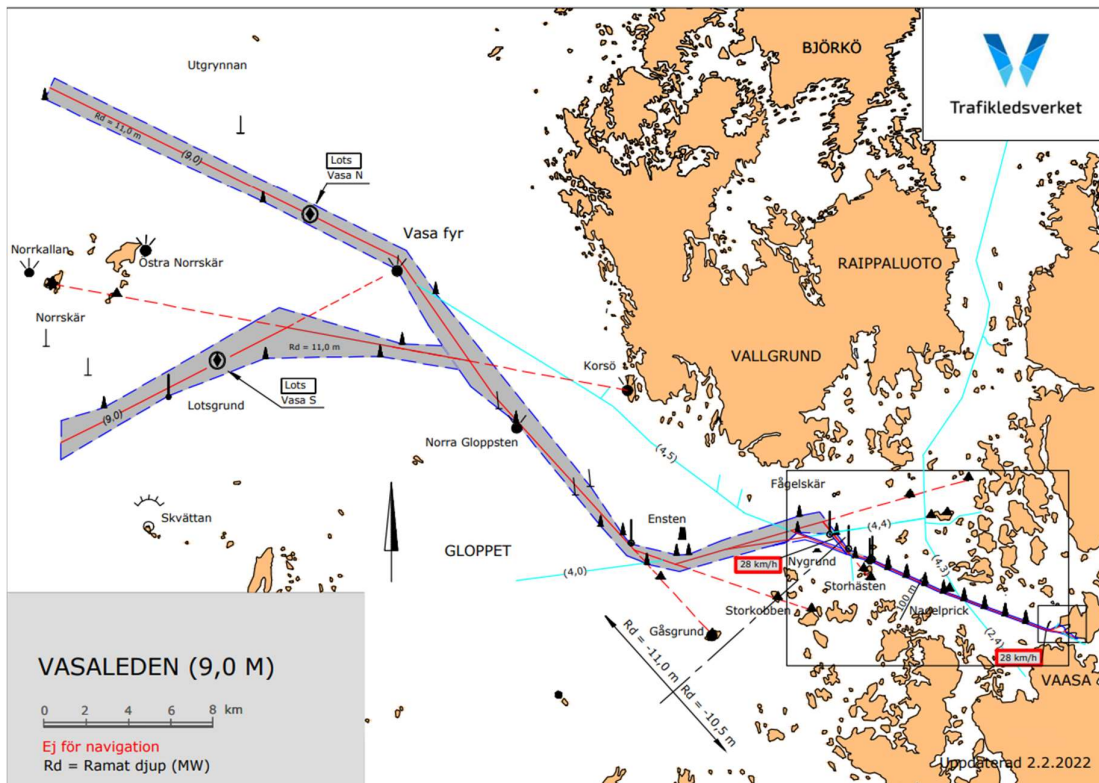
4.1 Energibehovet ombord

Fartygets energibehov är dynamisk och kan delas in i två kategorier, framdriften och hotellsidan. Dessa är också båda två beroende på säsong, väder och lastmängden ombord.

4.1.1 Framdriftens behov

Fartyget har som tidigare nämnts två roderpropellrar av märket ABB Azipod med vilka fartyget accelereras framåt och även manövreras i hamn med assistans av bogpropellrarna. Energibehovet vilka dessa kräver ändras från dag till dag och beror till huvudsakligen på om de kör med 4 h tidtabell eller 3 h 30 min tidtabell eftersom bränsleförbrukningen ökar icke linjärt beroende på hastigheten (Simonsen, Walnum, & Gössling, 2018). Vid manövrerings ögonblicket används även en eller två bogpropellrar vilka båda kan stegvis öka på effekten beroende på vad som krävs.

Fartyget har en max hastighet på 22.5 knop och beroende på var man befinner sig så kör fartyget med olika hastigheter. Vasa farled kan ses i figur 3.



Figur 3, Vasa Farled. (Trafikledsverket, 2022)

Farleden in till Vasa har en hastighetsbegränsning samt rekommendation beroende på var i farleden fartyget befinner sig.

I avsnittet Nygrund till och med Vasklot hamn gäller en maximihastighet om 15 knop medans en fartrekommendation för hela farleden är 8 knop. Fartyget kör här 13 knop i avsnittet Nygrund till och med Vasklot hamn, detta på grund av den så kallade "squat effekten" som skapar en sug-effekt på fartyget vid grunt vatten och smala farleder (Kazerooni & Seif, 2014).

Squat effekten orsakar att fartyget inte accelereras även om befälet ökar på pådraget för propulsjonen, det som däremot ökar är bränsleförbrukningen. I värsta fall kan fartyget sugas ner i botten och grundstötning kan hända (Trinidad, 2011).

I farledens inre delar är hastigheten för större fartyg i praktiken 5 knop.

Farleden in till Holmsund hamn har inte samma hastighetsbegränsningar eftersom hamnen inte ligger så långt inne i skärgården (Sjöfartsverket, 2021).

4.1.2 Hotellsidans behov

Hotellsidan innefattar allting som har med den så kallade inredningen att göra. Till denna kategori hör mer specifikt belysning, luftkonditionering, byssan (köket), media, passagerarkomfort och dylikt. Fartyget har smart belysning ombord vilket släcks då inga människor är i utrymmet vilket gör att denna förbrukning inte är helt statisk utan dynamisk beroende på mängden passagerare och tidpunkt på dygnet. Luftkonditioneringen och värmningen beror mycket på årstiden och säsong och i detta arbete har beaktats lågsäsong under hösten, september till och med november.

4.2 Högsäsong och lågsäsong

Fartyget kör beroende på hög- eller lågsäsong antingen tjugofyra gånger eller tjugotvå gånger per vecka, vissa undantag finns för speciella högtider så som jul, påsk och liknande högtider (Wasaline, 2022). Under högsäsongen går det åt mera energi på hotellsidan eftersom mera passagerare är ombord samt att då kör fartyget oftare 3 h 30 min resor.

De dagar fartyget kör fyra gånger tar rutten tre och en halvtimme till tre timmar och tre kvart, resterande dagar tar rutten 4 h. Då hon kör fortare så betyder det också att hon måste använda mera energi från systemet.

Vinterhalvåret orsakar på grund av väder och vind att fartyget kräver mera energi för framdriften. Kvarken är beroende på år istäckt och det kräver att fartyget pressar sig igenom isen, liknande är det med vindstyrkan och våghöjden vilka båda ökar i styrka under vinterhalvåret (RL, 2021).

4.3 Effektmätning beroende på hastigheten

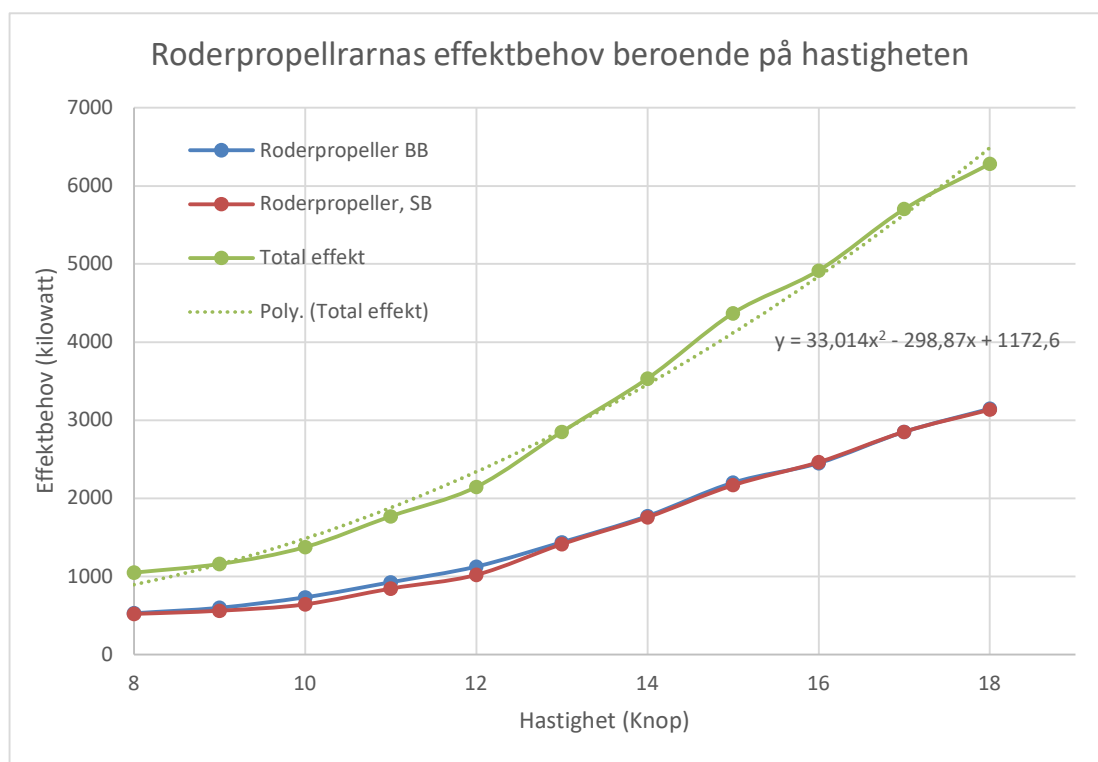
Genom att accelerera fartyget och låta hastigheten vara stabil med jämna intervall, så kan en kurva över hur mycket energi roderpropellrarna kräver för en viss hastighet erhållas. Denna kurva kan sedan användas för att teoretiskt beräkna hur mycket energi framdrivningen under en resa kräver.

I figur 4 ses kurvan som erhålles genom att låta hastigheten stabilisera sig mellan åtta och aderton knop, vilket är hastighetsintervallet som fartyget oftast befinner sig i under rutten,

och därefter mäta effektbehovet på roderpropellrarna. Denna kurva kan sedan approximeras och en ekvation fås för detta intervall med hjälp av Excels trendlinje funktion.

Effektbehovet ökar inte linjärt, vilket ses utifrån den uppmätta kurvan i figur 4, beroende på hastigheten eftersom fartygets resistans i vattnet är beroende på hastigheten i kvadrat (Ahmed, Mohamed, & Akram, 2019) (United States Naval Academy). Högre resistans i vattnet orsakar därför ett större energibehov för att driva fartyget framåt.

Befälet på bryggan försöker därför köra med så låg hastighet som möjligt för att spara bränsle.



Figur 4, Framdrivningens effektbehov beroende på hastigheten.

Hela resan är 53 nautiska mil, Nm, (98,17 kilometer) där cirka 6,4 Nm är i den så kallade rännan i Vasa skärgård, cirka 1,55 Nm är total sträckan i båda hamnarna. Detta betyder att sträckan där det finns mera valmöjligheter hur hårt fartyget kör är cirka 45 Nm.

Tiden det tar att köra i rännan blir således:

$$\frac{6,4 \frac{\text{Nm}}{\text{timme}}}{13 \frac{\text{Nm}}{\text{timme}}} = 0,49 \text{ timmar} = 29 \text{ minuter} \quad (1)$$

Beroende på om fartyget åker från Holmsund till Vasa eller vice versa så tar manövreringen olika länge då fartyget inte måste manövreras runt i hamnen då fartyget kör Holmsund till Vasa. En genomsnittlig manövreringstid tar cirka 10 minuter med båda rutterna beräknade.

Tiden då fartyget har mera valmöjligheter hur hårt de ska köra är då 161, 176 och 191 minuter för 3 h 30 min, 3 h 45 min och 4 h resor respektive. Då kan en teoretisk hastighet beräknas.

$$\frac{45,09 \text{ Nm}}{2,68 \text{ timmar}} = 16,8 \frac{\text{Nm}}{\text{timme}} = 16,8 \text{ knop} \quad (2)$$

$$\frac{45,09 \text{ Nm}}{2,93 \text{ timmar}} = 15,4 \text{ knop} \quad (3)$$

$$\frac{45,09 \text{ Nm}}{3,18 \text{ timmar}} = 14,18 \text{ knop} \quad (4)$$

Med dessa teoretiska hastigheter beräknade kan man med hjälp av ekvationen från figur 4 räknas ut hur mycket kilowattimmar, kWh, varje resa tar.

Manövreringen tas enbart som ett medelvärde av flera manövreringar och har beräknats vid ankomst och avgång i Umeå och Vasa genom att grafiskt se energibehovet under tio minuter och räknat ett medeltal utifrån detta.

Då fås resultat vilka ses i tabell 1 vilket visar den totala effekten i kW och kWh samt de olika delmomentens energibehov.

Tabell 1, Teoretisk beräkning av energibehovet

tid h	Propulsionens totala behov (kW)	Ruttens teoretiska fart	
3,5	5469,5	16,8	knop
3,75	4399,6	15,4	knop
4	3572,8	14,2	knop
	Rännans totala propulsionsbehov (kW)		
29min	2866,7	13	knop
	Manövreringens totala behov (kW)		
10min	1968,23		
	Hotellsidans behov kW		
	741		
	Propulsionens totala behov (kWh)	Ruttens teoretiska fart	
3,5	19 143,1	16,8	knop
3,75	16 498,5	15,3	knop
4	14 291,3	14,1	knop
	Rännans totala propulsionsbehov (kWh)		
0,48	1385,5	13	knop
	Manövreringens totala behov (kWh)		
0,1667	328,10		
10min			
	Hotell kWh		
3,5	2593,5		
3,75	2778,8		
4	2964		
	Totala kWh		
3,5	24 931,4		
3,75	22 472,0		
4	20 450,1		

Specifika bränslekonsumtionen, SFOC

Den specifika bränslekonsumtionen (SFOC) är ett värde som anges i gram per kilowattimme (g/kWh). SFOC kurvan anger relationen mellan SFOC och belastningsgraden för en specifik motor vilket ses i figur 5.

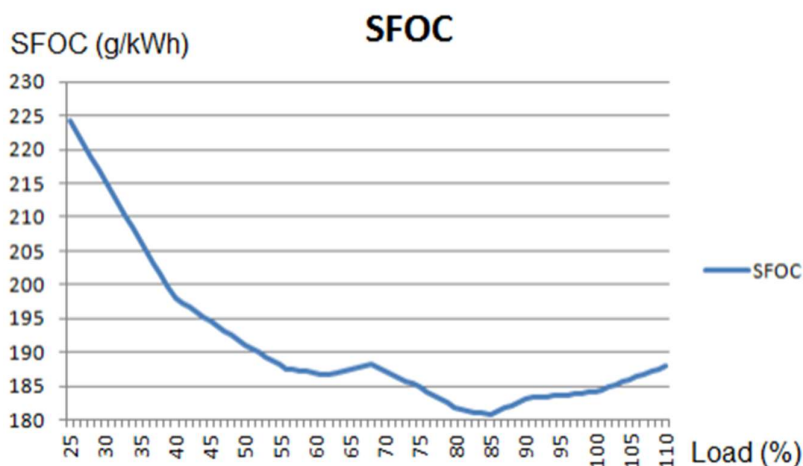


Figure 2 Example of an SFOC curve

Figur 5, Exempel på SFOC-kurva, (Carlsen, 2014)

SFOC-kurvan kommer dock att ändras beroende på åldern och slitage av motorn samt av den specifika motorn självt. Utifrån kurvan kan man se hur mycket bränsle som går åt för att producera en kWh, detta kan användas för att bestämma om fartyget ska köras med en eller flera motorer.

5 Mätningar

Data har tagits från fartygets övervakningssystem, Integrated Automation System IAS, som är tillverkat av Wärtsilä Valmarine. Med hjälp av systemet kan man ta upp gammalt data och logga det över tid.

5.1 Genomsnittlig förbrukning över september månad

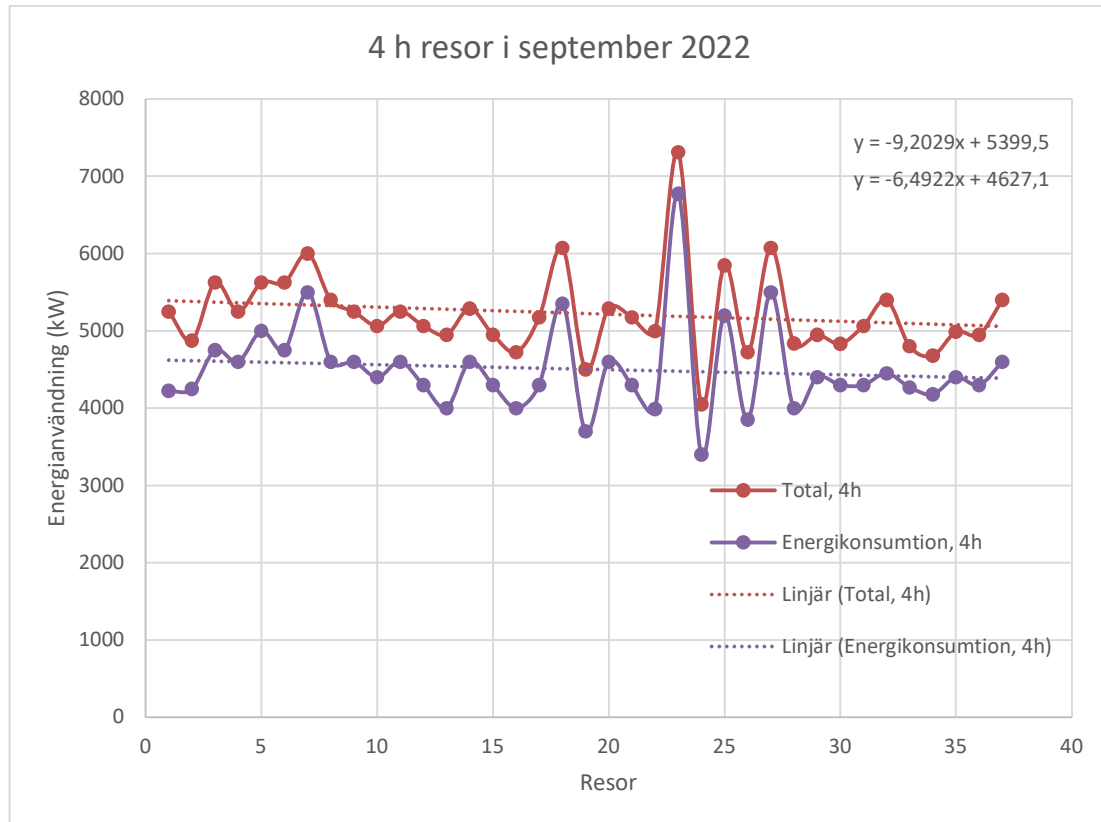
Data har blivit uppmätt för september månad 2022 för att se energikonsumtionen som matas från propulsions el tavlan till frekvensomriktarna, PFC, ett och två. Detta för att få en överblick hur energibehovet ser ut en normal månad.

Båda frekvensomriktarna har två AC/DC-omriktare var med vilka spänningen ändras från växelspanning, AC, till direktspanning, DC. Den totala använda energin som används har även jämförts med energin vilket matas till frekvensomriktarna, detta för att se hur stor andel av energin som används av hotell och interiörsavdelningen.

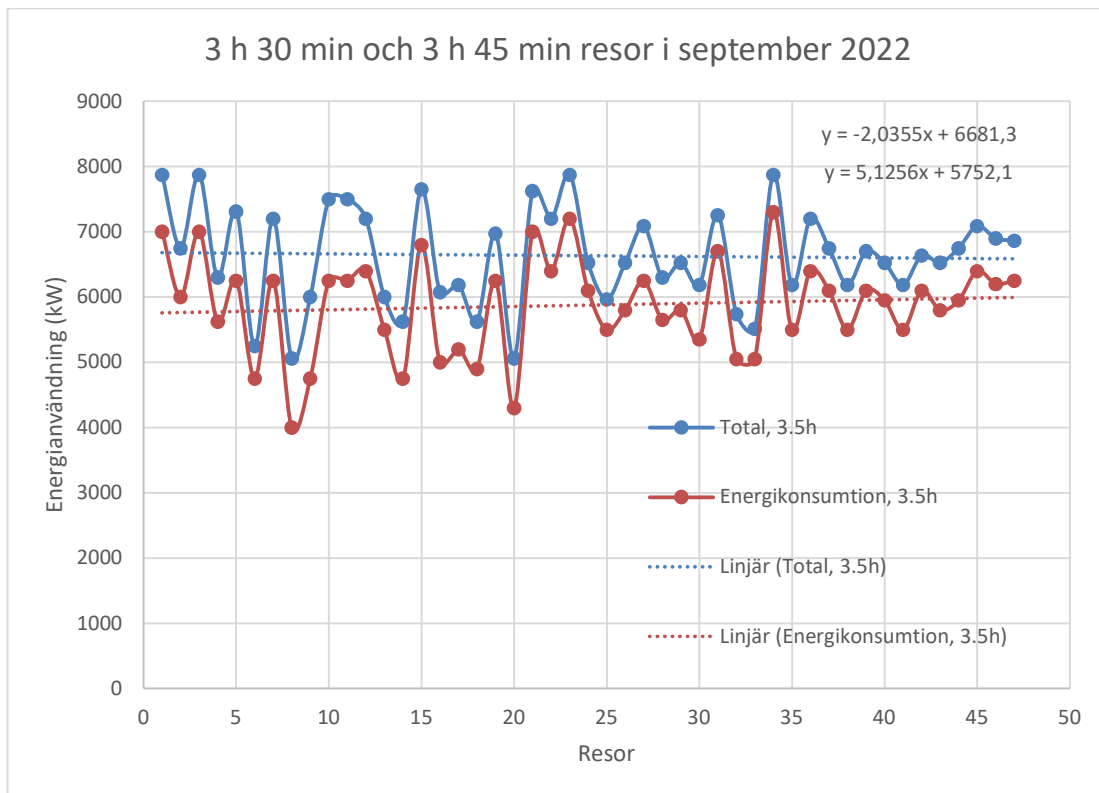
Vid körning med batterier kommer denna energimatning vara mindre eftersom batterierna matar frekvensomriktarna från egna DC/DC-konverterers.

Värdena har fått genom att grafiskt se ett medelvärde för varje resa i september för både den totala använda energin samt för energin som matas genom omriktarna till PFC:n.

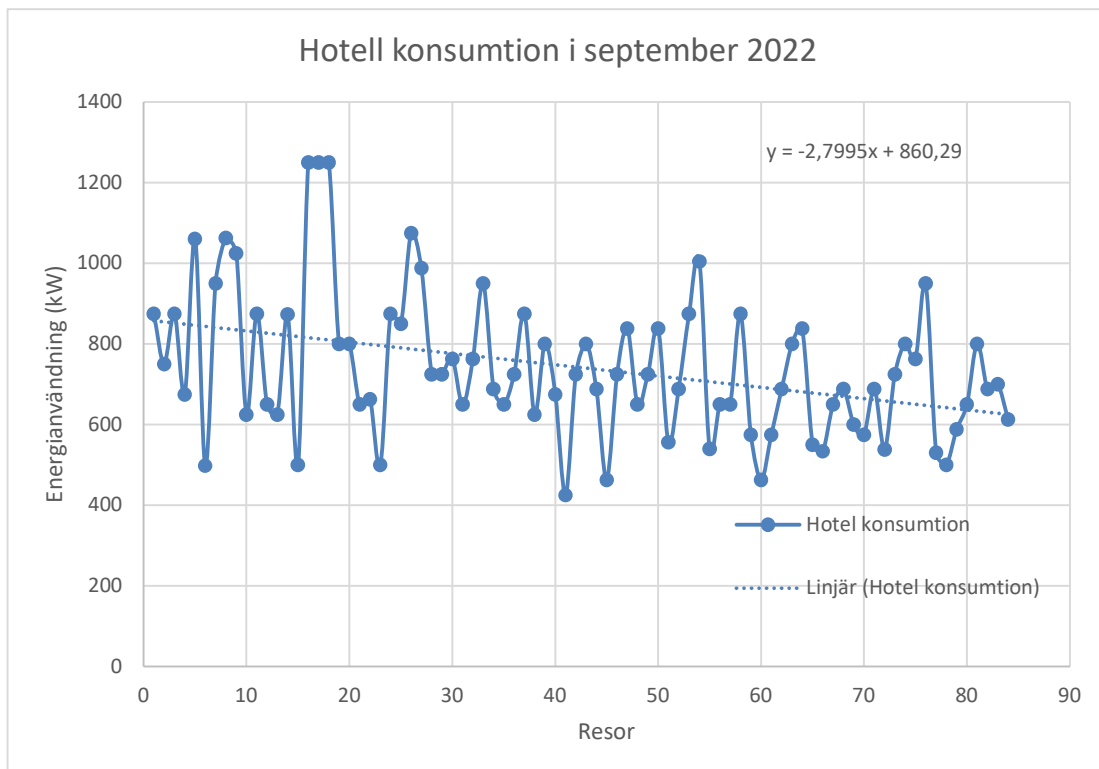
I figurerna sex, sju och åtta ser man den uppmätta datan för 4 h resa, 3 h 30 min, 3 h och 45 min resa samt vad interiörsavdelningen använder.



Figur 6, energianvändning för fyra timmars resor i september 2022.



Figur 7, energianvändning för 3 h 30 min och 3 h 45 min resor i september 2022.



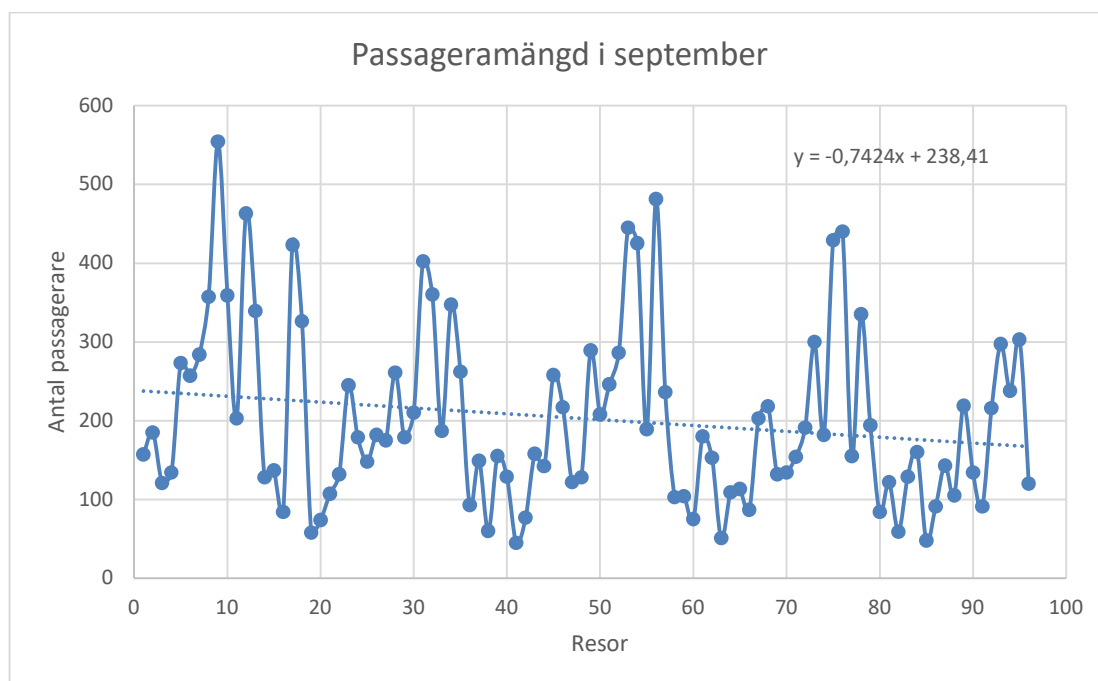
Figur 8, genomsnittliga energianvändningen för hotell och interiörsavdelningen i september 2022.

Utifrån figur 8 kan man se hur stor andel av energin som används i medeltal av interiören genom att ta den totala energikonsumtionen minus vad som matas till frekvensomriktarna från figurerna 6 och 7.

Då fås en genomsnittlig förbrukning av interiören till cirka 741 kilowatt.

Skillnaden syns tydligt på mängden energi som krävs för att köra en halvtimme fortare jämfört med långsammare hastighet. Detta kan förklaras utifrån att energibehovet ökar kraftigt då hastigheten ökar, se kapitel 4.3.

En minskning syns även på interiörssidan vartefter att månaden går, Detta beror högst antagligen på att passagerarmängden minskade under månadens gång vilket syns i figur 9 att passagerarmedeltalet under september månad sjunker. Effektförbrukningen för rutterna hålls mera stabil genom hela månaden.



Figur 9, Passagerarmängd i september.

5.2 Skillnad i förbrukning beroende på driftsätt.

Genom att köra två likadana scenarion i likadana förhållanden har ett medelvärde för mängden förbrukat bränsle kunna mätas.

Sättet energin har producerats har ändrats mellan rutterna för att se om en större skillnad kan märkas i mängden förbrukat bränsle vilket har räknats om till Joule och därefter till kilowattimmar.

Tabell 2 visar tre olika sätt som fartyget kört med under 4 h resorna samt uppmätt data för en 3 h 30 min och en 3 h 45 min resa.

Tabell 2, Uppmätt mängd energi för olika driftsätt

Datum och körsätt	Resetid (h)	Totala mängden förbrukat Joule (LNG och VGO)	Totala kWh
13.11. 2 motorer hela vägen	4	145 284	40 356,8
14.11. 1 motor med batterier, manövrering -> 1 motor, hybrid -> 1 motor med batterier, manövrering	4	139 848	38 846,7
15.11. 2 motorer med batterier	3,5	166 356	46 210,1
16.11. 1 motor med batterier, manövrering -> 1 motor, hybrid -> 2 motorer med batteriladdning -> 1 motor med batterier, manövrering	4	126 643	35 178,5
25.11. 2 motorer manövrering -> 1 motor med batterier -> 2 motorer och laddning, hybrid -> 2 motorer, manövrering	3,75	158 630	44 063,8

Totala mängden bränsle som förbrukas under resorna samt gasen och marindieseln energivärde kan ses i bilaga 1. Bränslets energivärde har fått från bunkersedlarna vilka överlämnas vid bunkring av fartyget. Deras värden skiljer sig anmärkningsvärt mellan bunkringarna.

I ett tidigt skede av mätningarna märktes att den snabbaste resan inte går att köra på så många andra sätt än med minst 2 generatorer. Energioptimeringen kan mest utnyttjas på 4 h resorna samt till viss del på 3 h 45 min resorna.

Utifrån tabellen ses att för 4 h resorna så är det mest ekonomiskt att köra manövreringen med en generator och batterier, köra tomt på batterier och sedan starta upp en andra generator för att ladda och driva fartyget framåt och till sist att manövrera in till hamn med 1 motor och batterier.

6 Diskussion

Energibehovet mellan den teoretiska beräkningen och den uppmätta skiljer sig märkbart vilket kan bero på att den teoretiska beräkningen inte tagit i beaktande accelerationsfasen. Det teoretiska resultatet är också beräknat utifrån perfekta förhållanden. Jämför man då fartyget har haft låg bränsleförbrukning, cirka 2100 kg MGO, så blir energiförbrukningen ungefär 24 000 kWh vilket är närmare den teoretiskt uträknade.

Utifrån mätningarna och de olika körsätten kan även ses att batterierna har en viss påverkan i bränsleförbrukningen men att de skulle behöva ha större kapacitet för att kunna påverka de snabbaste resorna. Detta också för att befälet inte har tillräcklig med energi för att accelerera tillräckligt snabbt med enbart batterier då fartyget kör den snabbaste resan.

Problemet är att då kommer en kostnadsaspekt och utrymmesbrist in i bilden där det finns en gräns för hur stora de kan vara.

Slutsatsen är att jag utifrån mätningarna rekommenderar fartyget att utnyttja batterierna tillsammans med en motor samt att ladda dem under drift för att minska på bränsleförbrukningen.

7 Källförteckning

- Ahmed, G. E., Mohamed, M. E., & Akram, E. Z. (2019). *Numerical study on the hydrodynamic drag force of a container ship model*. Alexandria: Alexandria engineering journal.
- Andersson, R. (den 25 November 2009). Fartygselanläggningar [Kurskompendium]. Mariehamn, Åland, Finland: Högskolan på Åland. Hämtat Hösten 2020
- Carlsen, A. (2014). *Diesel-electric Generator Load Optimization*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Det Norske Veritas. (Januari 2011). *Det Norske Veritas*. Hämtat från Environmental Class: <https://rules.dnv.com/docs/pdf/DNVPM/ruleship/2011-01/ts612.pdf>
- Kazerooni, M. F., & Seif, M. S. (2014). Experimental Study of a Tanker Ship Squat in Shallow Water. *Jurnal Teknologi*.
- Kvarken Link. (2021). *Kvarken Link*. Hämtat från The ferry, Clean Design: <https://aurorabotnia.wasaline.com/the-ferry/clean-design/>
- Kvarken Ports. (2022). *Kvarken Ports, The Ports of Vasa and Umeå*. Hämtat från Färjeterminal och pir: <https://kvarkenports.com/umea/utveckling/byggprojektumea/farjeterminalochpir.4.4117ebf317b9aa1fe012e4.html>
- Lillkvist, M. (den 3 Mars 2015). *Svenska Yle*. Hämtat från Vasa vill fördjupa farleden till hamnen: <https://svenska.yle.fi/a/7-910646>
- Maritime Executive. (den 9 Februari 2021). Updated: Captain, Officers of MSC Opera Sentenced After 2019 Accident. *Maritime Executive*, s. 1.
- RL. (2021). *RL*. Hämtat från RL Månadsdata: <https://rl.se/vadret/period.php>
- Simonsen, M., Walnum, H. J., & Gössling, S. (2018). *Model for Estimation of Fuel Consumption of Cruise Ships*. Sogndal: Western Norway Research Institute.
- Sjöfartsverket. (den 30 Januari 2021). *Sjöfartsverket*. Hämtat från Umeå hamn: <https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/lotsning/lotsomrade-lulea/Reseplanering/rutter/umea/>
- Svenska Kraftnät. (September 2022). *Svenska kraftnät*. Hämtat från Kontrollrummet: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/kontrollrummet/>
- Team, L. C. (den 29 Augusti 2021). *Linquip Technews*. Hämtat från Linquip Technews: <https://www.linquip.com/blog/efficiency-of-transformer/>
- Tomaszewska, A., Chu, Z., Feng, X., O'Kane, S., Liu, X., Chen, J., . . . Marinescu, M. (2019). *Lithium-ion battery fast charging: A review*. Elsevier B.V.
- Trafikledsverket. (den 2 Februari 2022). *Trafikledsverket*. Hämtat från Farledskort, Vasa skärgård: <https://vayla.fi/sv/tjansteproducenter/yrkessjofart/att-fardas-i-farleder/farledskort>
- Trinidad, R. J. (2011). *Ship Squat Effect*.

- Umeå Energi. (den 1 Januari 2022). *Umeå Energi*. Hämtat från Elnätspriser:
<https://www.umeaenergi.se/elnat/priser/priser-elnat>
- United States Naval Academy. (u.d.). *USNA United States Naval Academy*. Hämtat från Chapter 7, Resistance and powering of ships:
https://www.usna.edu/NAOE/_files/documents/Courses/EN400/0207_Chapter_7_Jun20.pdf#search=chapter%207
- Vasa Elektriska. (den 9 September 2022). *Vasa Elektriska*. Hämtat från Priser och villkor: <https://www.vaasansahko.fi/sv/kundtjanst/priser-och-villkor/>
- Wasaline. (2022). *Wasaline*. Hämtat från Wasaline tidtabell:
<https://www.wasaline.com/tidtabell/>
- Wasaline. (2022). *Wasaline*. Hämtat från Wasaline Ruttkarta:
<https://www.wasaline.com/ruttkarta/>
- Wärtsilä Oyj Abp. (den 2 Juni 2015). *Wärtsilä*. Hämtat från Nya Wärtsilä 31-motorn kom in i Guinness rekordbok: <https://www.wartsila.com/fin/sv/lokal-nyhet/02-06-2015-nya-wartsila-31-motorn-kom-in-i-guinness-rekordbok>

Bilagor

Bränslekonsumtion

Scenario	Datum	Konsumtion rutt 1 LNG kg	Konsumtion rutt 1 MGO kg	Konsumtion rutt 2 LNG kg	Konsumtion rutt 2 MGO kg	Avg LNG kg	Avg VGO kg	Net Caloric value LNG MJ/kg	AVG Net Caloric value VGO MJ/kg	MJ LNG	MJ VGO	$1 = 2,77778 \cdot 10^{-7}$ kWh	Totala kWh	Tid
14.11.2022														
	1 maskin med batterier, manövrering -> 1 maskin, hybrid -> 1 maskin med 2 batterier, manövrering	2424	343	2487	565	2455,5	454	49,07	42,65	120485,5	19851,5	0,00000028	38846,7	4 h
	15.11													
	4.2 maskin med batterier 16.11	2997	207	3416	216	3206,5	211,5	49,07	42,65	157336,5	9019,7	0,00000028	46220,1	3,5 h
	1 maskin med batterier, manövrering -> 1 maskin, hybrid -> 2 maskiner med batteriladdning -> 1 maskin med batterier, manövrering	2266	309	2477	173	2371,5	241	49,07	42,65	116364,8	10277,8	0,00000028	35178,5	4 h
	25.11													
	2 maskiner manövrering -> 1 maskin med batterier -> 2 maskiner och laddning, hybrid - > 2 maskiner, manövrering	3001	161	2978	399	2989,5	280	49,07	42,65	146884,8	11941,0	0,00000028	44063,8	3,75 h