

Optimering av driftprofil

M/S Viking Grace

Gheorghe Linte
Lars Sjölund
Andreas Westerberg



2023:13

Datum för godkännande: 17.05.2023
Handledare: Göran Henriksson

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Maskinteknik
Författare:	Gheorghe Florin Linte Lars Sjölund Andreas Westerberg
Arbetets namn:	Optimering av driftprofil M/S Viking Grace
Handledare:	Göran Henriksson
Uppdragsgivare:	Viking Line Abp, Jonas Rosenqvist

Abstrakt

Syftet med detta examensarbete är att undersöka möjligheten för att minska bränsleförbrukningen på M/S Viking Grace och räkna ut eventuella besparingar. Resultatet baseras på datainsamling, beräkningar och analys av jämförelse mellan:

- Beräkna skillnaden i bränsleförbrukning mellan symmetrisk och osymmetrisk lastfördelning på motorerna
- Skapa en optimal driftprofil för motorerna med avseende på lastfördelningen och dess bränsleförbrukning
- Beräkna eventuella inbesparingar i bränsle och minskade utsläpp med den framräknade optimala driftprofilen

Nyckelord (sökord)

Viking Grace, Optimering, bränsleförbrukning, LNG och diesel, driftprofil,

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2023:13	1458–1531	Svenska	50 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
14.05.2023	16.05.2023	17.05.2023

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Degree Programme:	Mechanical Engineering
Author:	Gheorghe Florin Linte Lars Sjölund Andreas Westerberg
Title:	Optimization of operating profile
Academic Supervisor:	Göran Henriksson
Commissioned by:	Viking Line Abp, Jonas Rosenqvist

Abstract
<p>The purpose of this degree project is to investigate the possibility of reducing fuel consumption at M/S Viking Grace and calculate any savings. The results are based on data collection, calculations and analysis of comparison between:</p> <ul style="list-style-type: none">• Calculate the difference in fuel oil consumption between symmetric and asymmetrical load sharing.• Create an optimal operating profile for the engines regarding the load share and its fuel oil consumption.• Estimated operating profile with respect to reduction in fuel consumption, using the main engines' technical data from Wärtsilä and operating reports from M/S Grace.

Keywords
Viking Grace, Optimization, fuel consumption, Liquefied natural gas and diesel, operating profile

Handed in: 14.05.2023	Date of presentation: 16.05.2023	Approved: 17.05.2023	
Serial number: 2023:13	ISSN: 1458-1531	Language: Swedish	Number of pages: 50 pages

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning.....	6
1.1 Syfte och motivering av ämnesvalet.....	6
1.2 Metod.....	6
1.3 Definitioner.....	7
2. Fakta om M/S Viking Grace.....	8
2.1 M/S Viking Grace data.....	8
2.2 Fartygets rutt.....	9
2.3 Fartygets maskineri.....	9
2.4 Drift av maskineri.....	10
3. Teoretisk bakgrund.....	11
3.1 Samlad data.....	11
4. Tillvägagångssätt.....	12
4.1 Generatorverkningsgrad.....	14
4.2 Teoretisk dieselanalys.....	16
4.3 Blueflow dieselanalys.....	18
4.4 Teoretisk LNG-analys.....	20
4.5 Blueflow LNG-analys.....	21
5. Optimering.....	24
5.1 Teoretisk dieselloptimering.....	25
5.2 Blueflow dieselloptimering.....	29
5.3 Teoretisk LNG-optimering.....	33
5.4 Blueflow LNG-optimering.....	38
6. Varaktighet.....	44
6.1 Varaktighet för lastfördelning.....	44
6.2 Varaktighet för bränsleoptimering Diesel och LNG.....	45
7. Diskussioner och slutsats.....	49

KÄLLFÖRTECKNING.....	50
BILAGOR/APPENDICES.....	51

1. Inledning

I detta examensarbete undersöks bränsleförbrukningen för olika driftprofiler. M/S Viking Grace kör nu med symmetrisk last på sina dieselgeneratorer.

Detta examensarbete kommer att gå ut på att teoretiskt undersöka om det skulle vara ekonomiskt gynnande med avseende på bränsleförbrukning och driftscenarion att använda osymmetrisk last som driftprofil. Detta kommer att göras med hjälp av rederiets bifogade driftdata, egna driftdata tagna från driftövervakningssystemet samt egna beräkningar.

1.1 Syfte och motivering av ämnesvalet

Syftet med detta examensarbete är att ta reda på om det vore ekonomiskt gynnsamt att ändra driftprofil på M/S Viking Grace.

I dagsläget körs huvudmotorerna med symmetrisk lastfördelning vilket betyder att den elektriska lasten delas upp jämnt mellan alla motorer i drift. Vi kommer därför att räkna ut en driftprofil som baserar sig på osymmetrisk lastfördelning för att jämföra med symmetrisk lastfördelning för att kunna beräkna en eventuell minskning av bränsleförbrukningen.

Andra aspekter som hör till samma rubrik är att beräkna hur mycket bränsleförbrukningen eventuellt kommer att minska vid olika årstider och driftförhållanden. En minskning av bränsleförbrukningen leder också till en minskning av utsläppen vilket skulle gynna miljön. Denna undersökning av bränsleförbrukningen ska göras för diesel likaväl som för LNG.

Som motivering av ämnesvalet är bland annat det stora intresset att sträva efter ekonomisk förbättring av drift och mindre förbrukning av bränslemängd samt energi med tanke på osäkerhetsfaktorer som det geopolitiska läget, priset på energi och särskilt på bränsle, den höga inflationen och de stigande räntorna som har påverkat det ekonomiska resultatet ganska mycket inom sjötransportbranschen.

1.2 Metod

Metoden för detta examensarbete är den kvantitativa metoden, det vill säga att data samlas både från realtid samt data från diverse bifogade tekniska motordata för att tillämpa i beräkningar med hjälp av Excel, Matlab och Autocad.

1.3 Definitioner

DF: Dual Fuel

Motorer med dubbla bränslen som har förmågan att drivas antingen på gas med en liten mängd pilotbränsle för marin dieselloolja (MDO) i ”gasläge” eller enbart på MDO i ”dieselläge”.

FOC: Fuel Oil Consumption

Med absolut bränsleförbrukning (FOC, Fuel Oil Consumption) så menar man förbrukningen per tidsenhet. Ofta anges bränsleförbrukningen i kg per timme (kg/h), men för fartygsmotorer är det ofta praktiskt att ange förbrukningen i enheten ton per dygn i stället.

Hi: Värmevärde

Värmevärde är en term som anger hur stor energi som utvecklas vid förbränning av en viss mängd av ett bränsle. Mäts i enheten kJ/kg

LNG: Liquefied Natural Gas

Naturgas, används som bränsle

MDO: Marine Diesel Oil

Destillerad dieselloolja, används som bränsle

HFO: Heavy Fuel Oil

Bränsle bestående av restprodukter från raffinaderierna

SFOC: Specific Fuel Oil Consumption/Specifik Bränsleförbrukning

Hur mycket bränsle en motor förbrukar för att åstadkomma ett visst arbete, vanlig enhet g/kWh och räknas enligt formeln $SFOC = \frac{m_{br}}{P}$ där m_{br} = massflödebränsle och P = generatoreffekt

PMS: Power managementsystem

Kontrollsystem för att monitorera och operera dieselgeneratorerna

Mbr: Massflöde bränsle

Massflöde bränsle är flödet bränsle till motorn och beskriver således motorns bränsleförbrukning likt FOC med enheten kg/h

Skenbar effekt (S):

Skenbar effekt är strömmens och spänningens effektivvärde och räknas som $S=U \cdot I$.

Inom trefassystem räknas det som $S=U \cdot I \cdot \sqrt{3}$ enheten mäts i VA.

U =Spänning och mäts i Volt (V). I = ström och mäts i Ampere (A)

Aktiva effekten P :

Mäts i Watt och räknas som skenbara effekten multiplicerat med effektfaktorn $\cos \varphi$

$P=S \cdot \cos \varphi$. Detta är den nyttiggjorda effekten.

2. Fakta om M/S Viking Grace

Viking Grace är det första stora passagerarfartyg i världen som använder naturgas och är ett av de mest miljöanpassade. Fartyget beställdes 22:a december 2010 av åländska rederiet Viking Line Ab och byggdes i Finland på STX:s varv i Perno och kölsträckningen ägde rum den 6:e mars 2012. M/S Viking Grace blev levererat 10:e januari 2013 och ersatte M/S Isabella. Sedan dess ombesörjer fartyget trafiken - under finsk flagg - ruten Åbo-Åland-Stockholm.

Nedan presenteras data på fartyget.

2.1 M/S Viking Grace data

Huvuddimensioner

Längd överallt:	218 m
Bredd:	31,8 m
Djupgående:	6,8 m
Bruttodräktighet:	57 565
Nettodräktighet:	37 600
Marchfart:	21,8 knop, 85 % av MCR

Tekniskt

Maskineri:	4 x Wärtsilä 8L50DF Huvudmotorer
Effekt:	4 x 7600 kW
Generatorer:	4 x AMG 1120MR12 LSE
Effekt:	4 x 8191kVA
Spänning:	6,6 kV
Framdrivningsmotorer:	2 x ABB AMZ 1600WW12 LSB Propulsionselmotorer
Effekt:	2 x 10 500 kW
Klass:	Lloyd's register of shipping.
Isklass:	1 A Super
	Antal passagerare: 2800 st.
	Hyttplatser: 2980 st.
	Lastmeter: 1275 m

(Viking Line, n.d.)



Figur 1. M/S Viking Grace (Wikipedia contributors, 2023)

2.2 Fartygets rutt

M/S Viking Grace avgår från Åbo klockan 20.55 och anländer till Långnäs klockan 01.05 och fortsätter mot Stockholm klockan 01.10. Fartyget anländer till Stockholm 06.30. Fartyget seglar tillbaka mot Åland klockan 07.45 och anländer i Mariehamn klockan 14.10 och åker vidare till Åbo klockan 14.25 för att anlända 19.50.

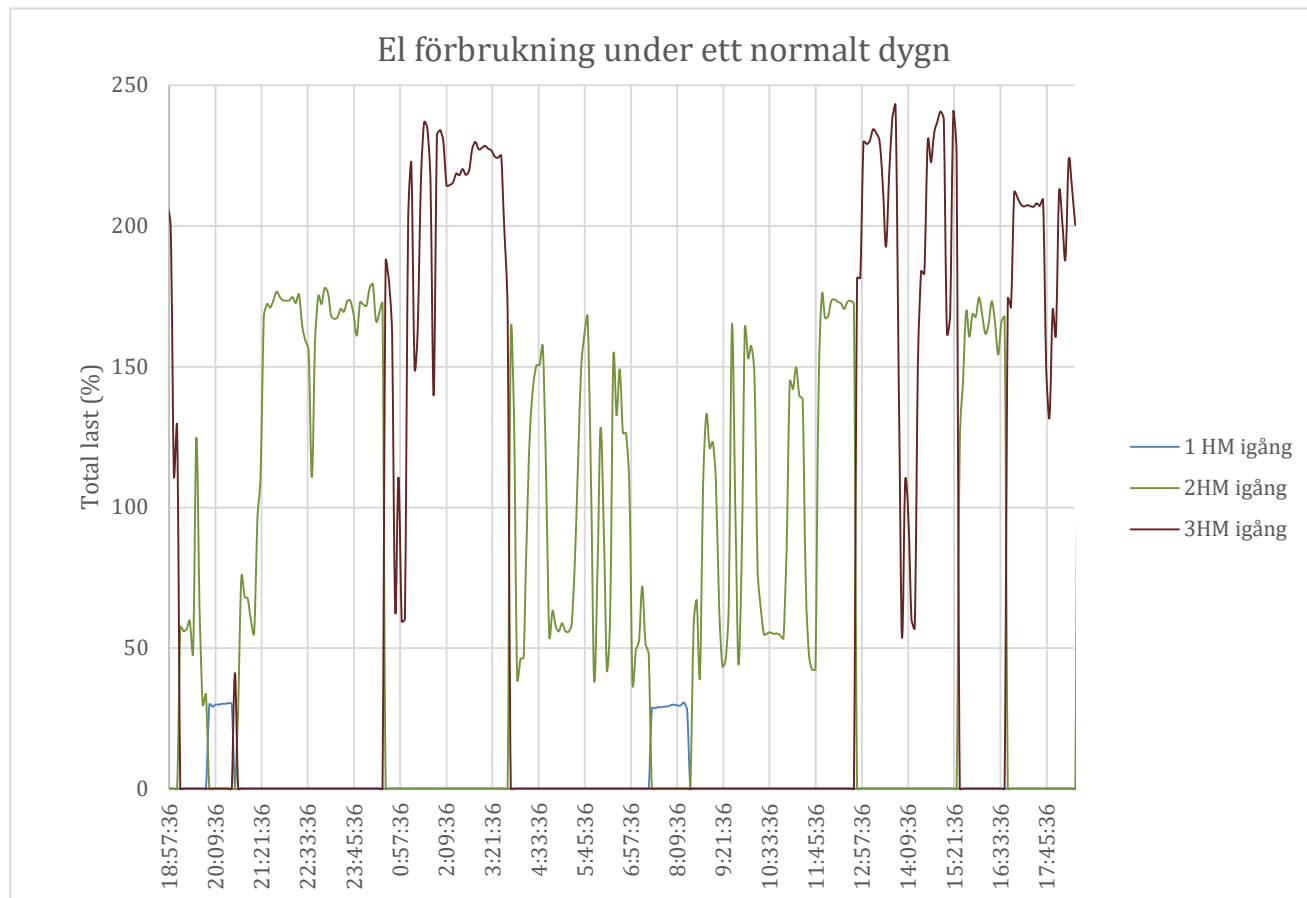
Alla tider är lokala (*Viking Line*, n.d.)

2.3 Fartygets maskineri

M/S Viking Grace framdrivningskraft samt all elproduktion fås från dess 4 stycken Wärtsilä 8L50DF-motorer som är Dual Fuel-motorer. Motorerna kan drivas på LNG, MDO eller HFO. LNG är det primära bränslet för motorerna och drift med HFO bör ses som uteslutet. Fartyget har dieselelektrisk framdrift vilket betyder att motorerna driver elgeneratorer, som i sin tur driver propulsionsmotorerna bestående av en elmotor på bägge propelleraxlar som är direktkopplade till propellrarna. Detta har många fördelar, såsom att hjälpmotorer för elproduktionen inte behövs ombord, och man har en större frihet av driftprofilen med avseende på vilka motorer som kan köras och hur belastningen mellan dessa skall fördelas.

2.4 Drift av maskineri

M/S Viking Grace kör ca. 22 timmar om dygnet. Under normal körning används normalt 2 till 3 motorer beroende på vilken del av ruten fartyget befinner sig på. Nedan visas ett diagram för hur motorbelastningen ser ut under ett normalt dygn.



Figur 2. Normal belastning för 1 dygn

3. Teoretisk bakgrund

Det teoretiska resonemanget i detta examensarbete grundar sig på dieselmotorns verkningsgrad som funktion av lasten, med detta menas alltså dieselmotorns specifika bränsleförbrukning som funktion av lasten. Specifik bränsleförbrukning (SFOC) definieras som hur mycket bränsle en motor förbrukar för att åstadkomma ett visst arbete och har enheten $\frac{\text{gram}}{\text{kilowattimme}}$. Detta är av betydelse då motorns SFOC varierar vid olika motorbelastning, vid låg motorbelastning är SFOC högre och vice versa då motorbelastningen är hög kommer SFOC att minska. Detta då motorn inte arbetar vid sin maximala verkningsgrad vid lägre laster, förbränningsprocessen inte är lika komplett och mera bränsle går till spillo som oförbränt bränsle eller värmeförluster.

Då M/S Viking Grace har relativt låg elektrisk last i förhållande till dieselgeneratorernas storlek och med den symmetriska lastfördelningen kommer detta att leda till att de individuella motorerna har en låg belastning och på så vis en dålig specifik bränsleförbrukning. I ett försök att förbättra bränsleekonomin genom att minska bränslekonsumtionen skall vi som ovan nämnt undersöka hur bränsleförbrukningen påverkas av osymmetrisk lastfördelning, med detta menas att den elektriska lasten fördelas olika mellan motorerna i drift.

Vi kan således belasta en eller flera av motorerna med högre belastning för att minska den specifika bränsleförbrukningen och därför minska bränsleförbrukningen. Det bör dock beaktas att eftersom nu en eller flera av motorerna går på högre belastning kommer även en eller flera att gå på lägre belastning och ha en fortsatt hög specifik bränsleförbrukning.

3.1 Samlad data

Viking Line försedde oss med tekniska data för motorerna och elgeneratorerna, med tekniska data menas olika driftparametrar som loggats då motorerna testkörts hos Wärtsilä vid tillverkning och likaså för elgeneratorernas prestanda.

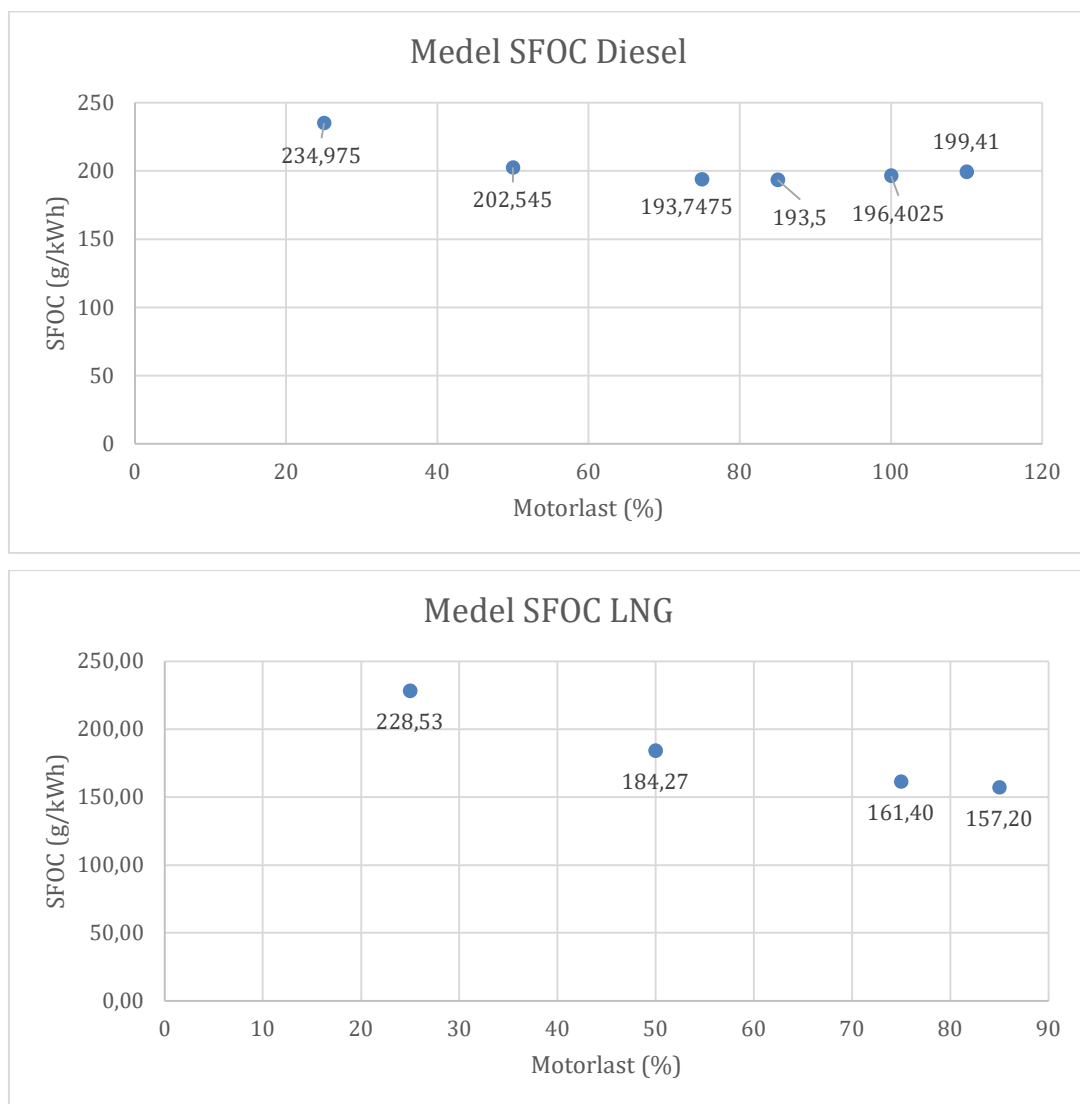
Dessa Wärtsilä 8L50DF-motorer har en märkeffekt på 7600 kW och ett nominellt varvtal på 500 rpm och elgeneratorerna som är av fabrikatet ABB har en märkeffekt på 7550 kW.

Det som lagts fokus på och varit användbart för detta examensarbete i dessa tekniska data är den specifika bränsleförbrukningen vid olika laster på både marindiesel och LNG för motorerna samt verkningsgraden på elgeneratören vid olika el-laster. Varför just dessa parametrar är viktiga kommer att avhandlas längre fram.

För att få fram driftprofilen som används i dagsläget användes bränsleekonomiprogrammet Blueflow som är installerat ombord. Detta program loggar och sparar driftparametrar i realtid, och därav kunde all data för nuvarande bränsleförbrukning vid olika driftfall tas fram för att senare jämföras med de uträknade optimala driftfallen.

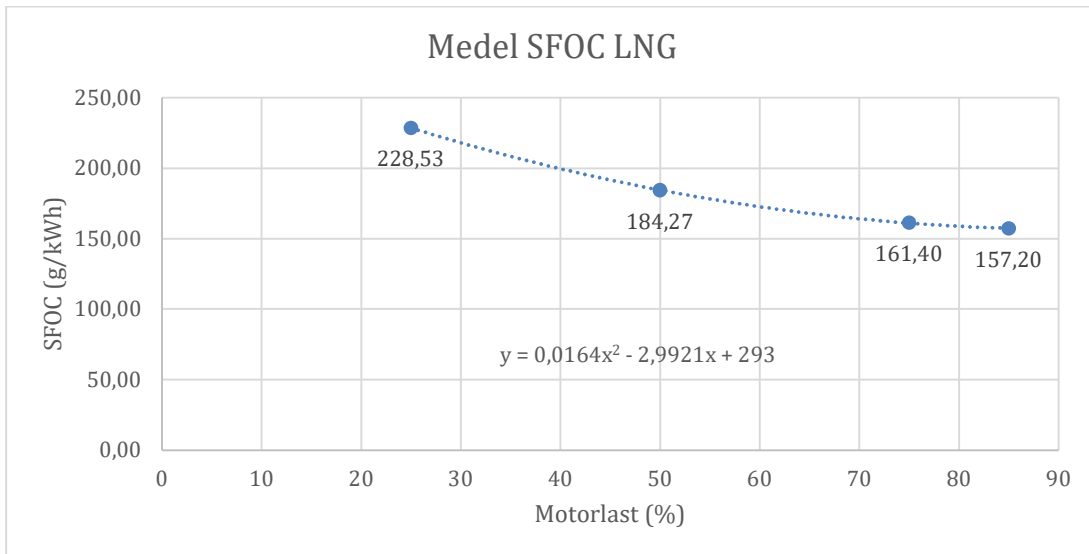
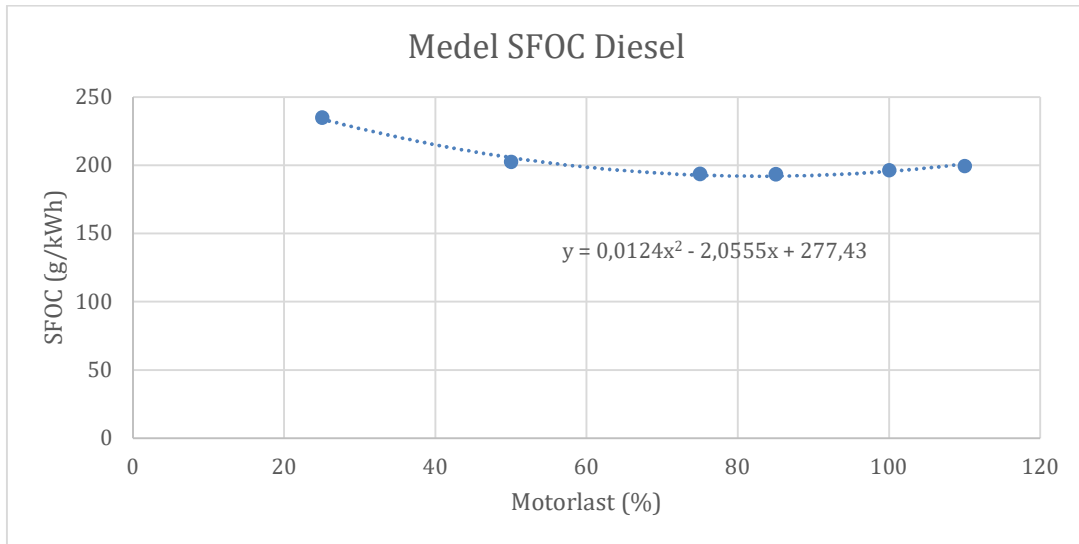
4. Tillvägagångssätt

Vi började med att undersöka den tekniska datan för motorerna för att få fram ett teoretiskt specifikt bränsleförbrukningsdiagram, med teoretiskt menar vi de värden som Wärtsilä loggat då motorerna testkördes i deras tillverkningsfabrik. Detta kunde göras i Excel då de loggat den specifika bränsleförbrukningen vid motorlaster från 25 % till 110 % på diesel och 25 % till 100 % på LNG.



Figur 3. SFOC med bara punkter

Efter detta kunde en polynomkurvanpassning göras med hjälp av Excel. Detta betyder att man tar fram en kurva som går igenom alla punkter i diagrammet och får fram dess tillhörande matematiska funktion på kurvan. Detta gör så att vi kan räkna ut SFOC för motorerna vid vilken motorbelastning som helst mellan start och slutvärde. Då motorernas individuella SFOC skiljer sig lite från varandra tog vi fram ett medeltal som användes för vidare beräkningar.



Figur 4. Medel SFOC med kurvanpassning

4.1 Generatorverkningsgrad

Då de ovanstående diagrammen visar SFOC som funktion av motorlast behöver detta beräknas om till elgeneratorlast. Orsaken till detta är att fartygets PMS och Blueflow visar lasten som elgeneratorlast, så för att praktiskt kunna implementera detta bör SFOC visas som funktion av elgeneratorlasten.

Då det sker vissa förluster mellan motor och elgenerator betyder detta att motorns last kommer att vara högre än den elektriska lasten på generatoren. Verkningsgraden för olika laster är givna i den tekniska datan för elgeneratoren som presenteras nedan från bilaga 1.

EFFICIENCY in %						
load:	110 %	100 %	75 %	50 %	25 %	
Efficiency @ power factor	0.90	97.61	97.64	97.59	97.19	95.46

Figur 5. Teknisk data över verkningsgraden för elgeneratoren

Ovan visas elgeneratorns verkningsgrad som procent vid olika laster vid en effektfaktor på 0,9, vilket är ett förhållande mellan den verkliga effekt som absorberas av belastningen och den skenbara effekt som flyter i kretsen och omvandlas till exempelvis värmeförluster.

Denna data användes för att beräkna generatorns maximala effekt.

$$P_{max} = 8191kVA * 0,90 = 7372kW$$

Räknar man generatoreffekten från värden på bilaga 1 med ekvation $P=U*I*\cos \varphi * \sqrt{3}$ blir det

$$6,6kV * 717A * 0,90 * \sqrt{3} = 7377kW$$

Denna effekt räknas som maxgeneratoreffekt i beräkningarna.

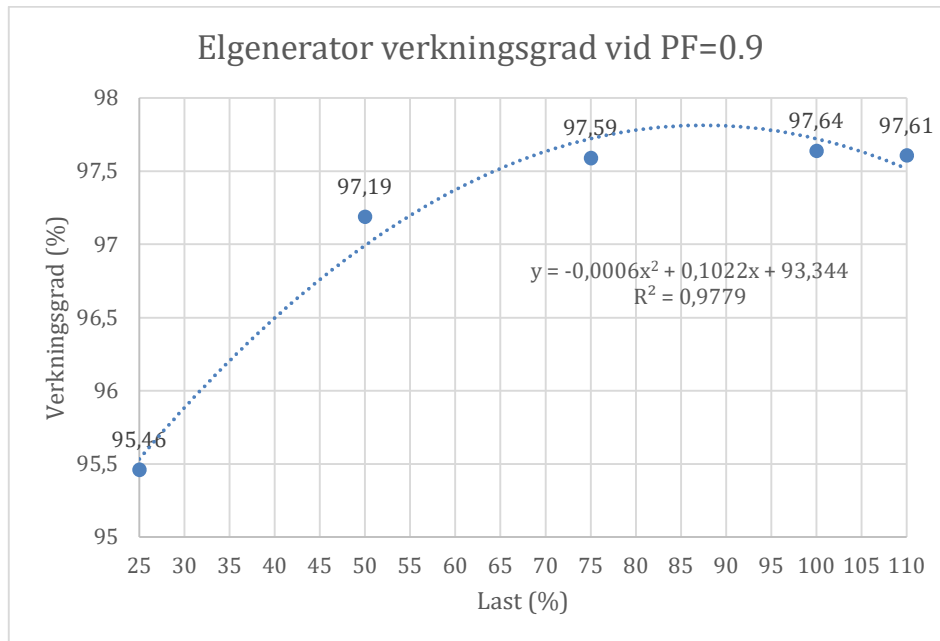
Verkningsgraden η blir då med märkeffekten 7550kW

$$\frac{7372kW}{7550kW} * 100 = 97,64\%$$

Detta visar samma som tekniska datan vid effektfaktorn 0,90.

Generatorverkningsgraden saknade data för 85 % så därför tillämpades en funktion.

För att beräkna generatoreffekten lagades ett diagram för generatorverkningsgraden som funktion av lasten som ses i figuren nedan.



Figur 6. Generatorverkningsgrad som funktion av lasten.

Andragradspolynomekvationen gav tillräckligt noggrann kurvanpassning så denna användes till att räkna generatoreffekten.

4.2 Teoretisk dieselanlys

Från motordata på HM 1–4 som ses i bilaga 2–5 användes bränslemassflöden och motorlaster vid olika effekter för att beräkna medel SFOC-kurva för diesel.

Generatoreffekten vid olika laster beräknas med ekvationen $P_g = \eta_g(\text{lasten}) \cdot P_m$.

Där η_g = generatorverkningsgraden och P_m = motoreffekten

Specifika bränsleförbrukningen kan sedan skrivas om som $SFOC = \frac{m_{brtot}}{P_{gtot}}$

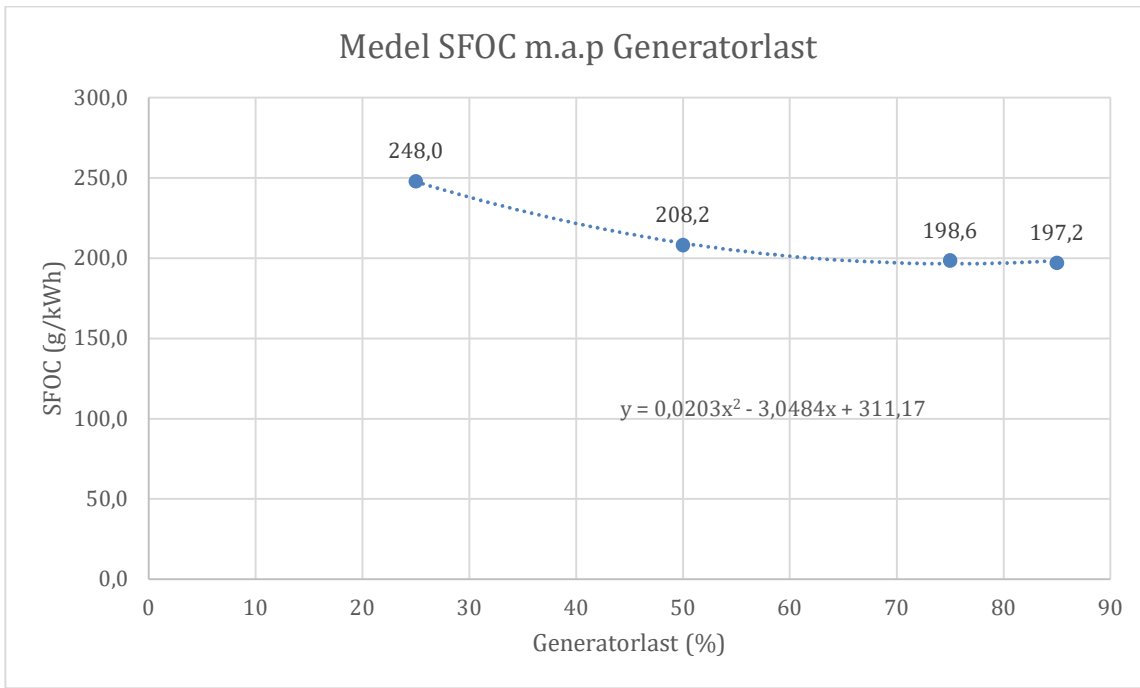
HM 3 saknar data på 85 % och 110 % last. HM 4 saknar data på 110 % last så dessa rutor lämnades tomma.

Nedan ses tabell på beräknade värden med Excel för dieselanlys.

Tabell 1. Motordata för massflöde och effekter vid olika laster.

HM1 Last (%)	HM2 Last (%)	HM3 Last (%)	HM4 Last (%)	HM1 (kW)	HM2 (kW)	HM3 (kW)	HM4 (kW)	DG1 (kW)	DG2 (kW)	DG3 (kW)	DG4 (kW)
25	25	25	25	1900	1900	2000	1900	1816,8	1816,8	1912,4	1816,8
50	50	50	50	3800	3800	3800	3800	3687,9	3687,9	3687,9	3687,9
75	75	75	75	5700	5700	5700	5700	5570,6	5570,6	5570,6	5570,6
85	85	85	85	6460	6460	-	6460	6317,4	6317,4	-	6317,4
100	100	100	100	7600	7600	7600	7600	7422,2	7422,2	7422,2	7422,2
110	110	110	110	8360	8360	-	-	8144,5	8144,5	-	-
Mbr HM1 (kg/h)	Mbr HM2 (kg/h)	Mbr HM3 (kg/h)	Mbr HM4 (kg/h)	SFOC HM1	SFOC HM2	SFOC HM3	SFOC HM4	SFOC medel	SFOC funktion		
455	455	457,9	457	250,4	250,4	239,4	251,5	248,0	247,6		
772	765	762,9	771,4	209,3	207,4	206,9	209,2	208,2	209,5		
1120	1112	1088,9	1104	201,1	199,6	195,5	198,2	198,6	196,7		
1253	1248	-	1236	198,3	197,6	-	195,7	197,2	198,7		
1511	1500	1461,9	1505	203,6	202,1	197,0	202,8	201,4	209,3		
1668	1660	-	-	204,8	203,8	-	-	204,3	221,5		

En kurva lagades för medel specifika bränsleförbrukningen som funktion av lasten som ses i figuren nedan



Figur 7. SFOC som funktion av elgeneratorlasten.

Denna data som lagades jämförs sedan med vad Blueflow visar för specifik bränsleförbrukning vid respektive lastfall.

4.3 Blueflow dieselanalys

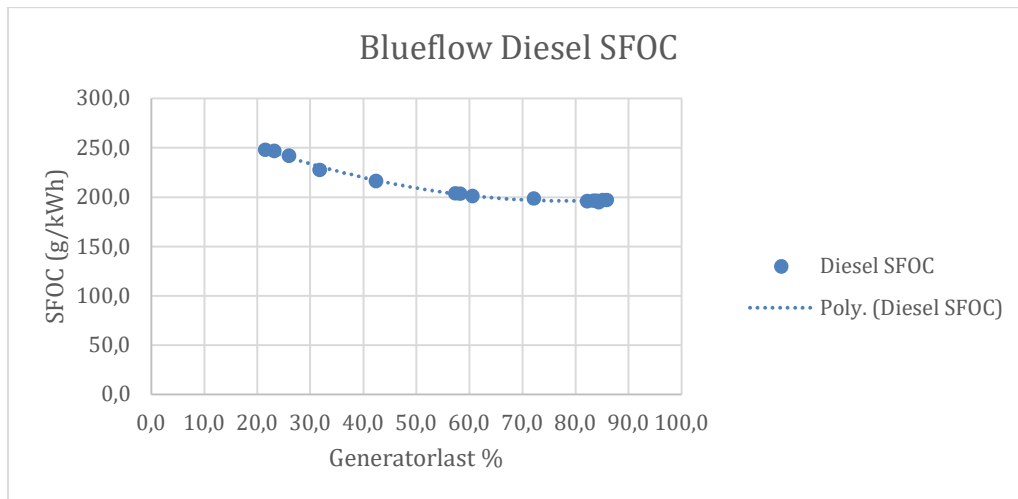
Från Blueflow togs olika lastfall som ses nedan, detta gjordes genom att ta de olika värdena vid stabil last och konstant bränsleförbrukning. Detta är av betydelse för att få så korrekta resultat som möjligt.

Tabell 2. Olika laster och SFOC från Blueflow.

Blueflow			
Last (%)	SFOC (g/kWh)	Ptot (kW)	mbr tot (kg/h)
12,5	294,9	918,6	270,9
12,9	296,0	951,2	281,5
13,5	290,8	995,9	289,6
19,2	256,4	1418,4	363,7
19,8	256,4	1457,5	373,7
21,5	247,9	1582,4	392,3
23,2	246,7	1710,7	422,0
26,0	241,8	1914,5	462,9
31,7	227,6	2341,2	532,9
42,4	216,5	3125,3	676,5
57,3	203,8	4230,0	862,1
58,3	203,5	4297,1	874,5
60,6	201,2	4467,3	898,6
72,2	198,6	5322,5	1057,2
82,1	195,9	6059,2	1187,0
83,4	196,4	6150,8	1207,9
83,9	196,6	6190,8	1217,1
84,4	195,1	6225,8	1214,5
85,1	197,2	6278,9	1238,0
85,9	197,1	6333,9	1248,5

Lasten omvandlas med ekvationen $Last\% = \frac{avl\dd{a}st\ effekt\ (kW)}{7377\ (kW)} * 100$ då maxlasten på generatoren är 7377 kW som tidigare räknades ut. Blueflow beaktar redan elgeneratorlasten i sin mätdata så det behöver ej korrigeras.

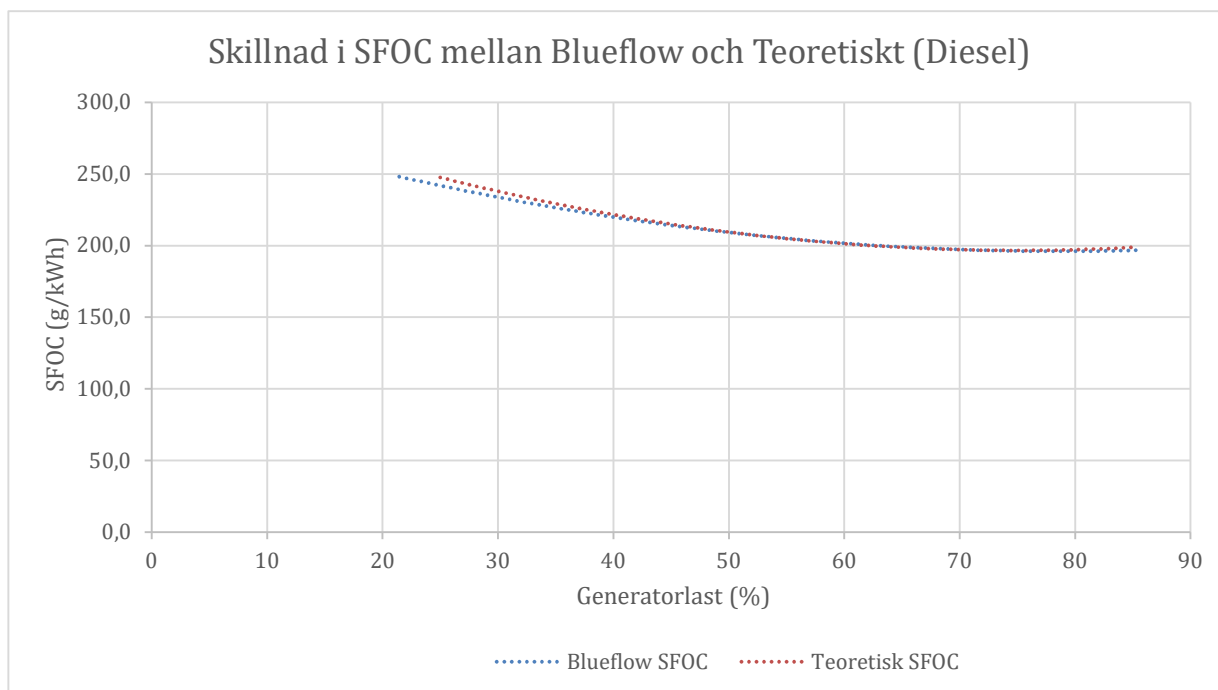
Nedan ses graf på SFOC som funktion av lasten.



Figur 8. Blueflow Diesel SFOC som funktion av elgeneratorlasten.

Både Blueflow teoretiska och dieselanlys stämmer rätt bra överens med beräkningarna.

Nedan presenteras en figur för den specifika bränsleförbrukningen för både den teoretiska och Blueflow för jämförelse.



Figur 9. Jämförelse mellan SFOC för både Blueflow och teoretiska

Som ses i figuren ovan stämmer kurvorna väldigt bra överens, dock kan en liten skillnad noteras vid de lägre lasterna.

4.4 Teoretisk LNG-analys

Till denna del fanns det endast data på volymflödet för LNG. För att beräkna om detta till massflöde används ekvationen $mbr = \rho * \dot{V}$ där ρ (rho) är densiteten som mäts i $\frac{kg}{m^3}$ och \dot{V} är volymflödet som mäts i standard $\frac{m^3}{h}$.

Densitet för metan används från figuren nedan från bilaga 6.

Methane Density	0,70132	kg/m3 at 15°C
Net calorific value	34418	kJ/kg

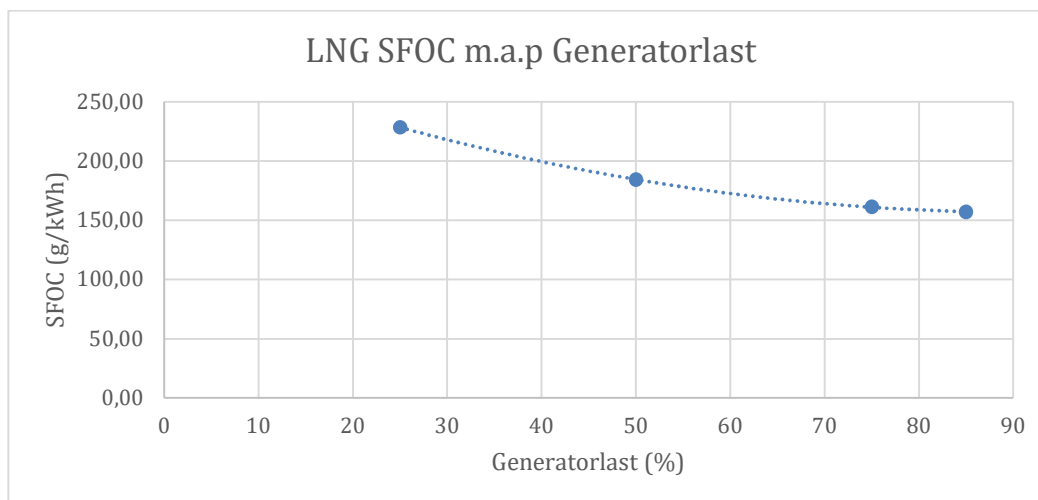
Figur 10. Tabellvärden för metan.

Nedan ses tabell på LNG-beräkning vid olika laster där samma ekvation som tidigare räknats för elgeneratorlasten. Den gula rutan visar SFOC-funktionen

Tabell 3. Olika massflöden vid olika laster för LNG.

LNG							
Densitet (kg/m ³)	Last (%)	gas cons. (m ³ /h)	massflöde (kg/h)	HM Effekt (kW)	Generator last (kW)	SFOC (g/kWh)	Kurvanpassning
0,70132	25	592	415.2	1900	1816.8	228.53	228.45
	50	969	679.6	3800	3687.9	184.27	184.40
	75	1282	899.1	5700	5570.6	161.40	160.84
	85	1416	993.1	6460	6317.4	157.20	157.16
	100	1667	1169.1	7600	7422.2	157.51	157.79

Nedan ses SFOC-kurva som funktion av lasten för LNG.



Figur 11. teoretisk LNG SFOC som funktion av generatorlasten.

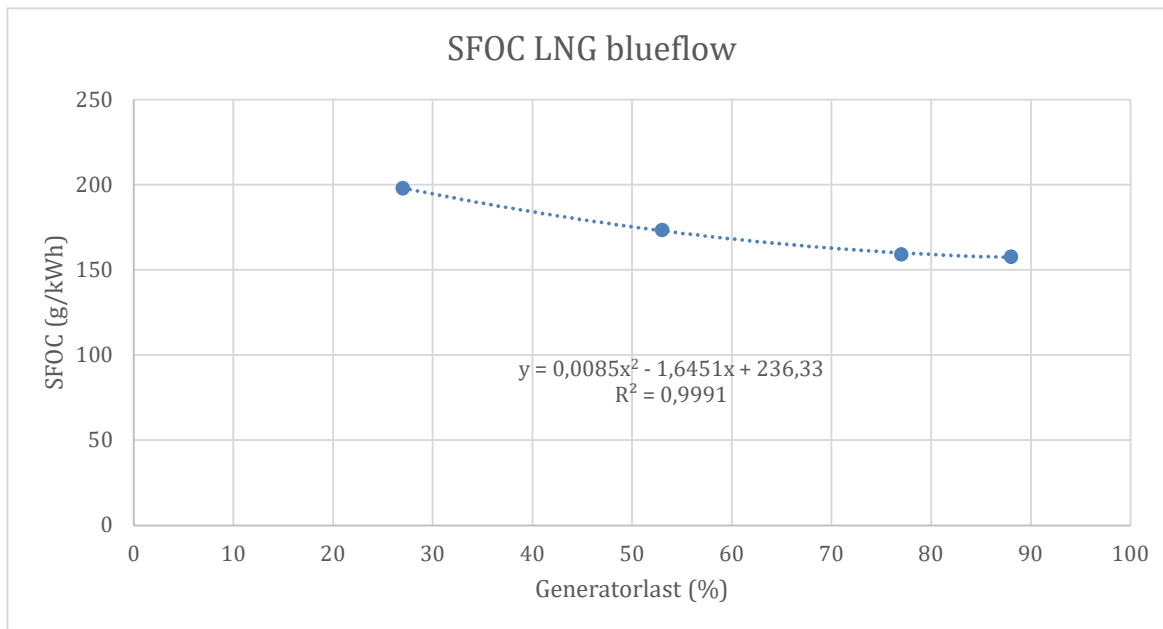
4.5 Blueflow LNG-analys

Här gjordes också en analys på hur bra Blueflows mätvärden stämmer överens med LNG teoretiskt uträknade värden. Som tidigare beaktar Blueflow effekten som elgeneratoreffekt så det behöver ej korrigeras. Nedan ses en tabell på mätdata på analysen.

Tabell 4. Uppmätt data från Blueflow vid olika lastfall på LNG.

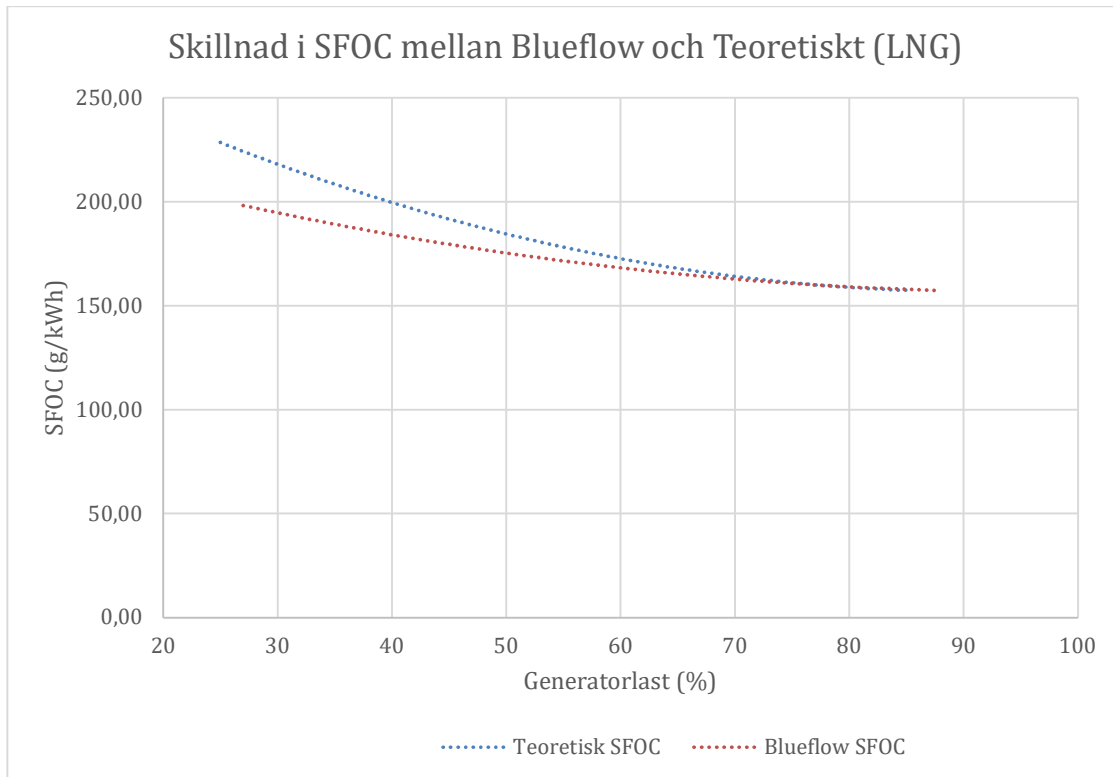
27 %	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	TOTALT	
	0	1960	10	2000	3970	kW
	0	399	0	387	786	massflöde (kg/h)
	-	203,57	0	193,5	197,9849	SFOC avg (g/kWh)
53 %	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	TOTALT	
	3950	3860	10	3970	11 790	kW
	685	685	0	675	2045	massflöde (kg/h)
	173,41	177,46	0	170,02	173,4521	SFOC avg (g/kWh)
77 %	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	TOTALT	
	0	5690	10	5690	11 390	kW
	0	900	0	914	1814	massflöde (kg/h)
	0	158,17	0	160,63	159,2625	SFOC avg (g/kWh)
88 %	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	TOTALT	
	0	6520	10	6480	13 010	kW
	0	1030	0	1020	2050	massflöde (kg/h)
	0	157,97	0	157,40	157,57	SFOC avg (g/kWh)

I figuren nedan ses SFOC-kurva för LNG taget med hjälp av Blueflow



Figur 12. LNG SFOC-kurva som funktion av lasten

Vid vissa mätpunkter kommer det in några extra kW, men det påverkar ej mätresultatet så mycket. Både teoretiska och Blueflows mätvärden ligger ungefär på samma område så det stämmer rätt bra överens vid högre laster, men skiljer sig åt betydligt mera vid lägre laster. Detta kan bero på att massflöden kan skilja sig lite från mätdata och teoretiska delen har ej någon data för mindre än 25 % last.



Figur 13. Jämförelse mellan SFOC för både Blueflow och teoretiska

Som synes i figuren ovanför är det en relativt stor skillnad mellan Blueflows SFOC och den teoretiska, detta beror antagligen på att gaser är svårare att mäta än vätskor och detta ger en större skillnad mellan den teoretiska mätningen som gjordes i testbänken och mätningarna som görs kontinuerligt ombord.

5. Optimering

Till denna del av analysen användes ett hjälpmedel från Excel som är en så kallad solve-funktion som hittar minimivärdet för en funktion. Från totala laster mellan 40 % - 350 % analyserades vilken lastfördelning som är den mest optimala. Detta gjordes för 2 motorer i gång, respektive 3 och 4 motorer för både diesel och LNG. Här jämförs både teoretiska och Blueflow Diesel och LNG-resultat som presenteras i detta kapitel.

Solve-funktionen gav möjlighet att dela upp lasten mellan motorerna i drift med kriteriet att hitta lastfördelningen där det totala bränslemassflödet var som minst. Det totala massflödet multiplicerades med 10 för att kunna söka efter flera punkter inom funktionen. Sedan delades det korrekta massflödet med 10.

Gränserna för generatorerna valdes mellan 20 %-90 % min och max last.

För att omvandla lasten till kW så används ekvation $\frac{last}{100} * 7377kW$

Till exempel 40 % last blir då $\frac{40}{100} * 7377kW = 2951,1kW$

Enheterna nedan är inom []

$mbr \left[\frac{kg}{h} \right] = \frac{SFOC(lasten) \left[\frac{g}{kW} \right] * P[kW]}{1000 \left[\frac{g}{kg} \right]}$ används för att omvandla massflöde till kg/h

5.1 Teoretisk dieselloptimering

I denna del hittades den optimala lastfördelningen med solve-funktionen i Excel.

Endast vid 40 %–100 % total last kommer det att löna sig att köra osymmetriskt med diesel som presenteras i tabellen nedan. Tabeller för förbrukningen med helt symmetrisk lastfördelning är bifogat som bilaga.

Tabell 5. Resultat för optimal lastfördelning.

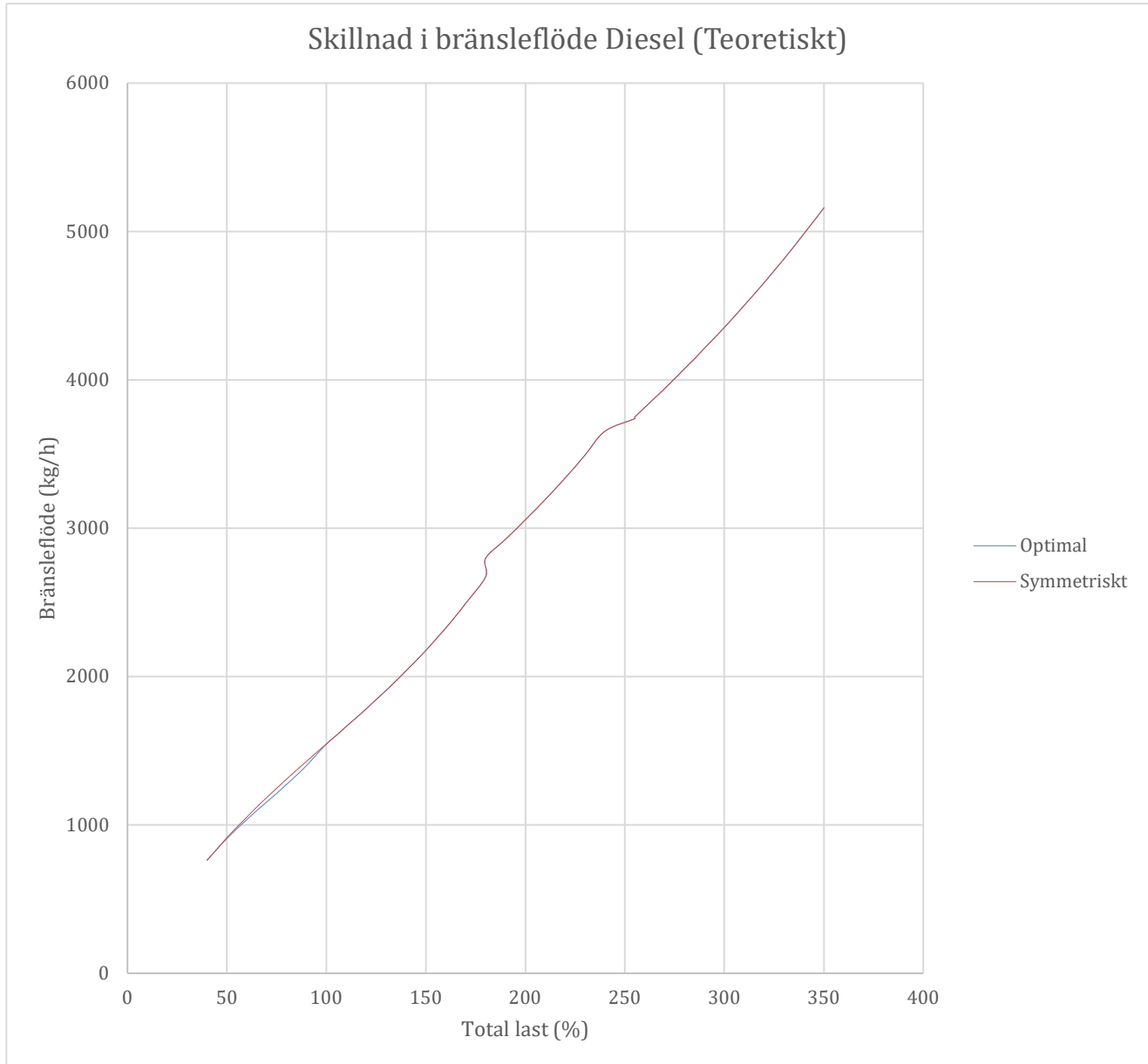
Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2951,1	40	20	20	1475,6	1475,6	258,3	258,3	381,2	381,2	762,34
3688,9	50	20	30	1475,6	2213,3	258,3	238,0	381,2	526,7	907,91
4426,7	60	20	40	1475,6	2951,1	258,3	221,7	381,2	654,3	1035,47
5164,4	70	20	50	1475,6	3688,9	258,3	209,5	381,2	772,8	1153,99
5902,2	80	20	60	1475,6	4426,7	258,3	201,3	381,2	891,3	1272,46
6640,0	90	20	70	1475,6	5164,4	258,3	197,3	381,2	1018,7	1399,86
7377,8	100	50	50	3688,9	3688,9	209,5	209,5	772,8	772,8	1545,64
7746,7	105	52,5	52,5	3873,3	3873,3	207,1	207,1	802,1	802,1	1604,18
8115,5	110	55	55	4057,8	4057,8	204,9	204,9	831,5	831,5	1663
8853,3	120	60	60	4426,7	4426,7	201,3	201,3	891,3	891,3	1782,58
9591,1	130	65	65	4795,6	4795,6	198,8	198,8	953,3	953,3	1906,63
1 032 8,9	140	70	70	5164,4	5164,4	197,3	197,3	1018,7	1018,7	2037,39
1 106 6,7	150	75	75	5533,3	5533,3	196,7	196,7	1088,6	1088,6	2177,12
1 180 4,4	160	80	80	5902,2	5902,2	197,2	197,2	1164,0	1164,0	2328,05
1 254 2,2	170	85	85	6271,1	6271,1	198,7	198,7	1246,2	1246,2	2492,43
1 328 0,0	180	90	90	6640,0	6640,0	201,2	201,2	1336,3	1336,3	2672,52

Slås allt samman och jämförs i ett diagram med massflöde som funktion av totala lasten fås ett resultat som i tabell 6 nedan.

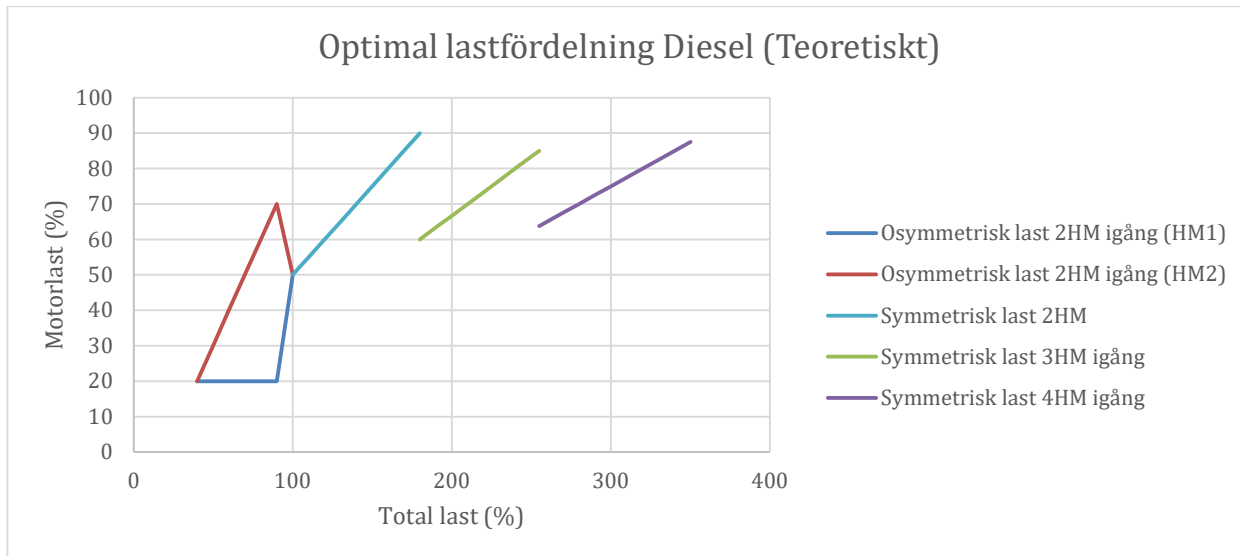
Tabell 6. Skillnad i bränsleförbrukning mellan symmetrisk och optimal lastfördelning.

HM i gång	Total Last (%)	Optimal	Symmetrisk	Skillnad (kg/h)
2	40	762,3	762,3	0,0
2	50	907,9	913,5	5,6
2	60	1035,5	1053,5	18,0
2	70	1154,0	1184,4	30,4
2	80	1272,5	1308,6	36,1
2	90	1399,9	1428,3	28,4
2	100	1545,6	1545,6	0,0
2	105	1604,2	1604,2	0,0
2	110	1663,0	1663,0	0,0
2	120	1782,6	1782,6	0,0
2	130	1906,6	1906,6	0,0
2	140	2037,4	2037,4	0,0
2	150	2177,1	2177,1	0,0
2	160	2328,0	2328,0	0,0
2	170	2492,4	2492,4	0,0
3	170	2673,9	2673,9	0,0
3	180	2797,0	2797,0	0,0
3	190	2924,0	2924,0	0,0
3	200	3056,1	3056,1	0,0
3	210	3194,1	3194,1	0,0
3	220	3339,1	3339,1	0,0
3	230	3492,1	3492,1	0,0
3	240	3654,0	3654,0	0,0
3	255	3738,6	3738,6	0,0
4	255	3750,2	3750,2	0,0
4	270	3942,1	3942,1	0,0
4	280	4074,8	4074,8	0,0
4	290	4212,0	4212,0	0,0
4	300	4354,2	4354,2	0,0
4	310	4502,1	4502,1	0,0
4	320	4656,1	4656,1	0,0
4	330	4816,8	4816,8	0,0
4	340	4984,9	4984,9	0,0
4	350	5160,7	5160,7	0,0

Nedan ses ett diagram med massflöde som funktion av lasten.



Figur 14. Skillnad i bränsleflöde symmetrisk lastfördelning jämfört med osymmetrisk lastfördelning.



Figur 15. Optimal lastfördelning för diesel.

Ovan i figur 14 ser man den optimala driftprofilen för motorerna med avseende på den tekniska datan. Vad denna beskriver är hur lasten fördelas mellan motorerna liksom i tabell 8, men här i diagramformat. Som synes kommer lasten att fördelas osymmetriskt då man kör med två motorer var en går på 20% last kontinuerligt och den andra motorn tar resterande last. Detta fortsätter tills den totala lasten är 90%, dvs en motor går på 70% och den andra går på 20%. Därefter kommer den ena motorn successivt att börja minska på lasten medan den andra ökar på lasten tills lasten blir helt symmetrisk vid 100% total last. Därefter kommer det att löna sig att köra symmetrisk lastfördelning upp till 180% total last på två motorer. För lastfall med resterande motorer lönar det sig endast med symmetrisk lastfördelning.

5.2 Blueflow dieselloptimering

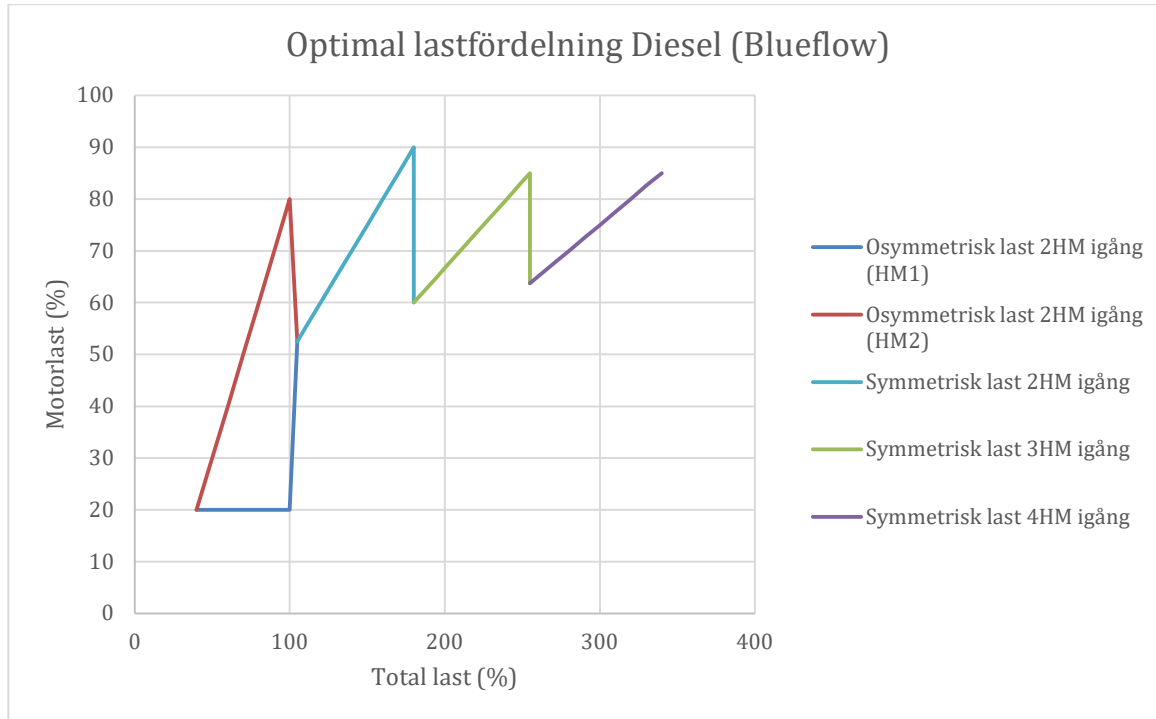
I denna del gjordes samma sak som i den teoretiska delen där man jämför symmetrisk och optimal lastfördelning.

Nedan ses tabell för optimal lastfördelning. Här är det i samma område som teoretiska. Tabeller för förbrukningen med helt symmetrisk lastfördelning är bifogat som bilaga.

Tabell 7. Resultat för optimal lastfördelning

Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2950,7	40	20	20	1475,4	1475,4	250,9	250,9	370,1	370,1	740,2
3688,4	50	20	30	1475,4	2213,0	250,9	233,8	370,1	517,5	887,6
4426,1	60	20	40	1475,4	2950,7	250,9	220,0	370,1	649,1	1019,3
5163,7	70	20	50	1475,4	3688,4	250,9	209,3	370,1	772,1	1142,2
5901,4	80	20	60	1475,4	4426,1	250,9	201,9	370,1	893,4	1263,5
6639,1	90	20,0	70,0	1475,4	5163,7	250,9	197,5	370,1	1020,1	1390,2
7376,8	100	20,0	80,0	1475,4	5901,4	250,9	196,4	370,1	1159,2	1529,3
7745,6	105	52,5	52,5	3872,8	3872,8	207,2	207,2	802,3	802,3	1604,6
8114,4	110	55,0	55,0	4057,2	4057,2	205,2	205,2	832,5	832,5	1665,1
8852,1	120	60,0	60,0	4426,1	4426,1	201,9	201,9	893,4	893,4	1786,8
9589,8	130	65,0	65,0	4794,9	4794,9	199,3	199,3	955,6	955,6	1911,3
1 032 7,5	140	70,0	70,0	5163,7	5163,7	197,5	197,5	1020,1	1020,1	2040,2
1 106 5,2	150	75,0	75,0	5532,6	5532,6	196,6	196,6	1087,6	1087,6	2175,3
1 180 2,8	160	80,0	80,0	5901,4	5901,4	196,4	196,4	1159,2	1159,2	2318,4
1 254 0,5	170	85,0	85,0	6270,3	6270,3	197,1	197,1	1235,6	1235,6	2471,2
1 327 8,2	180	90,0	90,0	6639,1	6639,1	198,5	198,5	1317,7	1317,7	2635,5

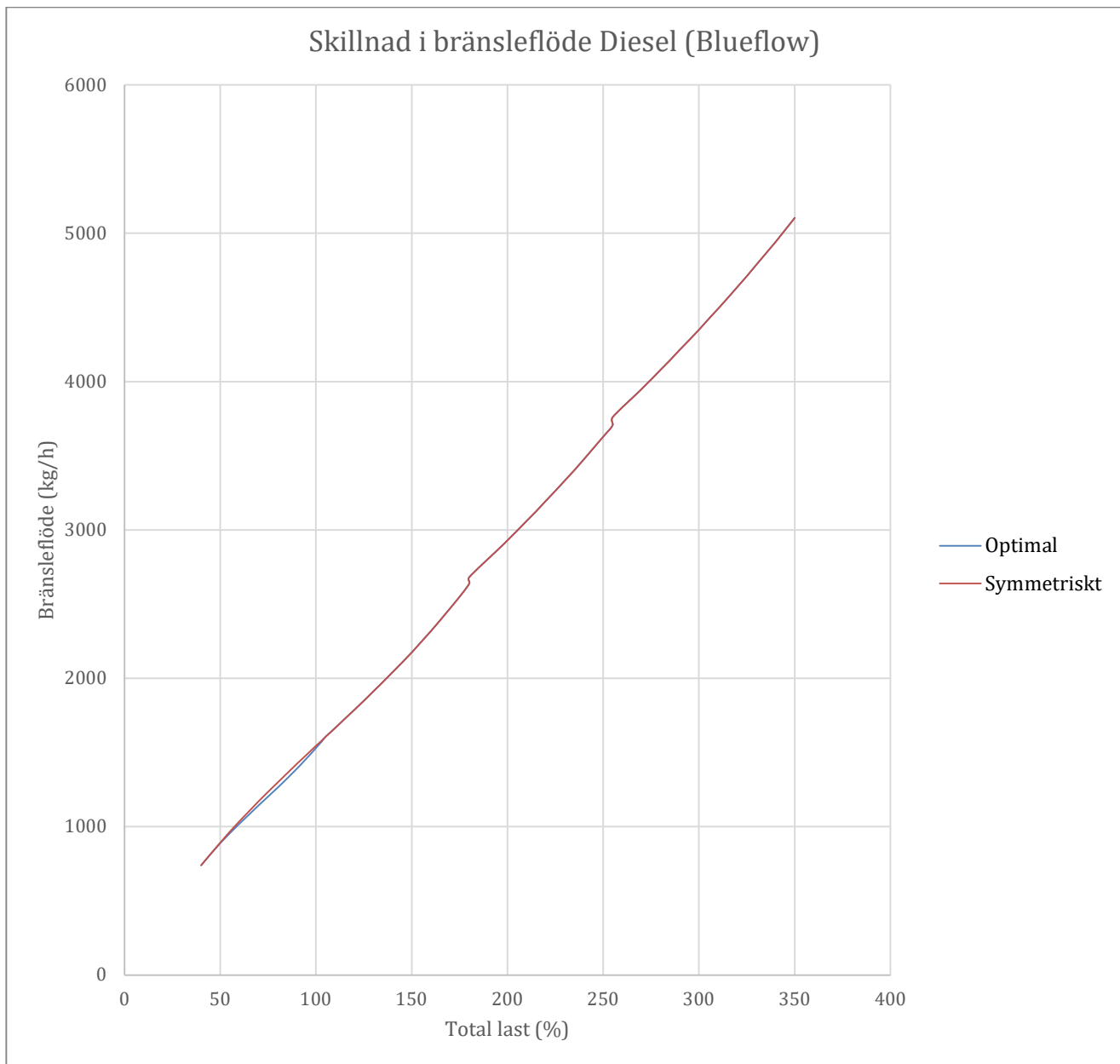
Figur för optimal lastfördelning ses nedan. Områdena där det går rakt ner vid x-axeln visar övergången då en till motor startar eller stannar.



Figur 16. Optimal lastfördelning.

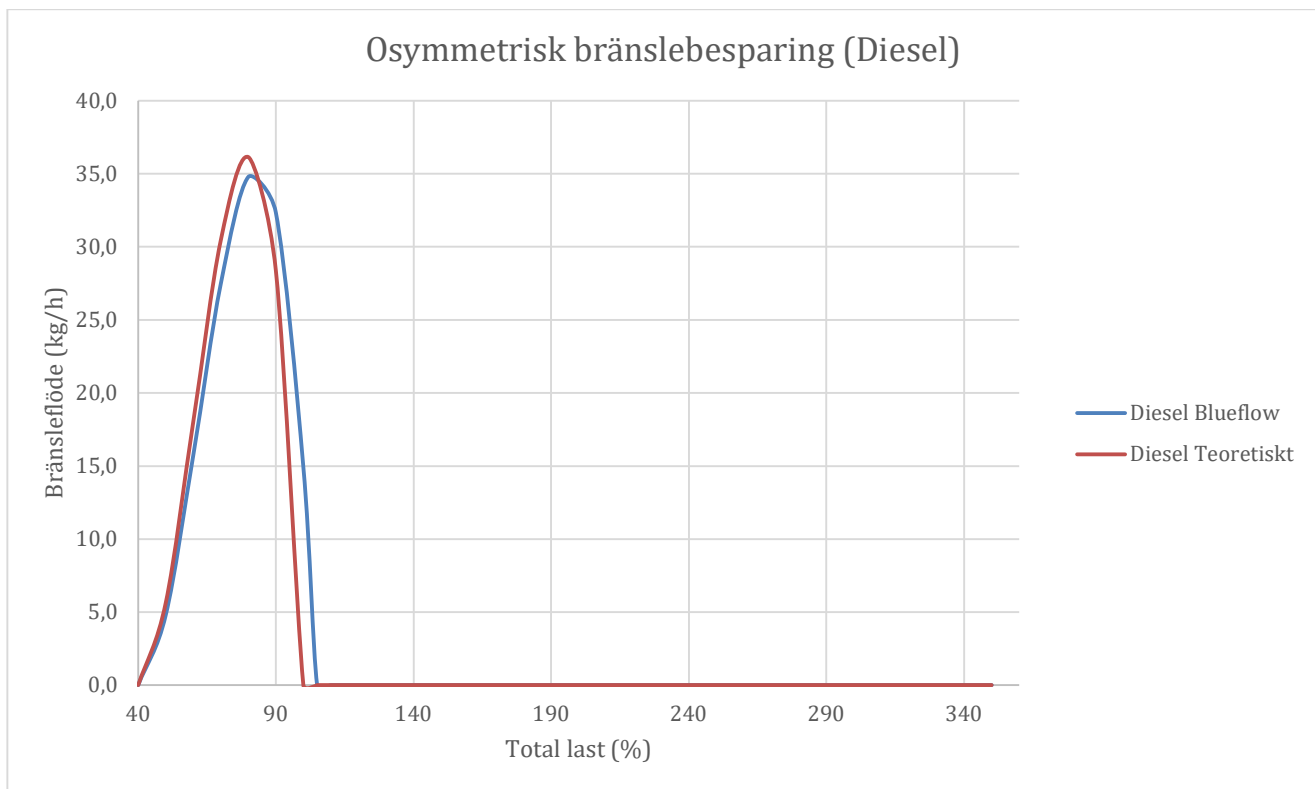
I figuren ovanför syns det att enligt beräkningarna från Blueflow lönar det sig att köra osymmetriskt på två motorer upp till 100% total last, dvs där en motor går på 80% last och den andra motorn går på 20% last. Efter det kommer det även här att löna sig att köra med symmetrisk lastfördelning mellan de båda motorerna upp 180% total last där nästa motor startar. För lastfall med resterande motorer lönar det sig endast med symmetrisk lastfördelning även här.

Nedan ses bränsleförbrukning som funktion av lasten för både symmetrisk och optimal last.



Figur 17. Skillnad mellan symmetrisk och optimal lastfördelning.

För diesel blir resultatet väldigt lika både vid den teoretiska och Blueflow-analysen. Det lönar sig endast att köra osymmetrisk lastfördelning upp till ca 100 % total last på 2 motorer.



Figur 18. Bränslebesparing som funktion av lasten

Ovan presenteras skillnaden i bränslebesparing vid optimal lastfördelning mellan teoretiska och Blueflow-analysen, som synes stämmer de bra överens men med en liten skillnad på hur mycket bränsle som skulle besparas och vid vilka laster besparingen skulle ske.

5.3 Teoretisk LNG-optimering

I denna del gjordes samma optimering som för Diesel.

Nedan ses resultatet för bränsleförbrukningen vid optimal lastfördelning. Tabeller för förbrukningen med helt symmetrisk lastfördelning är bifogat som bilaga.

Tabell 8. Resultat för 2 HM med optimal lastfördelning

Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2948,8	40	20,0	20,0	1474,4	1474,4	239,7	239,7	353,4	353,4	706,9
3686,0	50	20,0	30,0	1474,4	2211,6	239,7	218,0	353,4	482,1	835,6
4423,2	60	20,0	40,0	1474,4	2948,8	239,7	199,6	353,4	588,5	941,9
5160,4	70	20,0	50,0	1474,4	3686,0	239,7	184,4	353,4	679,7	1033,1
5897,6	80	20,0	60,0	1474,4	4423,2	239,7	172,5	353,4	763,1	1116,5
6634,8	90	20,0	70,0	1474,4	5160,4	239,7	163,9	353,4	845,9	1199,3
7372,0	100	20,0	80,0	1474,4	5897,6	239,7	158,6	353,4	935,3	1288,8
8109,2	110	20,0	90,0	1474,4	6634,8	239,7	156,6	353,4	1038,7	1392,1
8846,4	120	30,0	90,0	2211,6	6634,8	218,0	156,6	482,1	1038,7	1520,8
9583,6	130,00	65,0	65,0	4791,8	4791,8	167,8	167,8	804,1	804,1	1608,2
1 032 0,8	140	70,0	70,0	5160,4	5160,4	163,9	163,9	845,9	845,9	1691,7
1 105 8,0	150	75,0	75,0	5529,0	5529,0	160,8	160,8	889,3	889,3	1778,6
1 179 5,2	160	80,0	80,0	5897,6	5897,6	158,6	158,6	935,3	935,3	1870,6
1 253 2,4	170	85,0	85,0	6266,2	6266,2	157,2	157,2	984,8	984,8	1969,6
1 326 9,6	180	90,0	90,0	6634,8	6634,8	156,6	156,6	1038,7	1038,7	2077,4

Nedan ses resultat för 3 HM i gång med optimal lastfördelning.

Tabell 9. Resultat för 3 HM i gång med optimal lastfördelning

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr Totalt (kg/h)
1 326 9,6	180	20,0	80,0	80,0	1474,4	5897,6	5897,6	239,7	158,6	158,6	353,4	935,3	935,3	2224,1
1 400 6,8	190	20,0	85,0	85,0	1474,4	6266,2	6266,2	239,7	157,2	157,2	353,4	984,8	984,8	2323,1
14 744	200	66,7	66,7	66,7	4914,7	4914,7	4914,7	166,4	166,4	166,4	817,9	817,9	817,9	2453,6
1 548 1,2	210	70,0	70,0	70,0	5160,4	5160,4	5160,4	163,9	163,9	163,9	845,9	845,9	845,9	2537,6
1 621 8,4	220	73,3	73,3	73,3	5406,1	5406,1	5406,1	161,8	161,8	161,8	874,6	874,6	874,6	2623,7
1 695 5,6	230	76,7	76,7	76,7	5651,9	5651,9	5651,9	160,0	160,0	160,0	904,3	904,3	904,3	2712,9
1 769 2,8	240	80,0	80,0	80,0	5897,6	5897,6	5897,6	158,6	158,6	158,6	935,3	935,3	935,3	2805,9
1 990 4,4	270	90,0	90,0	90,0	6634,8	6634,8	6634,8	156,6	156,6	156,6	1038,7	1038,7	1038,7	3116,1

Nedan ses resultat för 4 HM i gång med optimal lastfördelning.

Tabell 10. Resultat för 4 HM i gång med optimal lastfördelning.

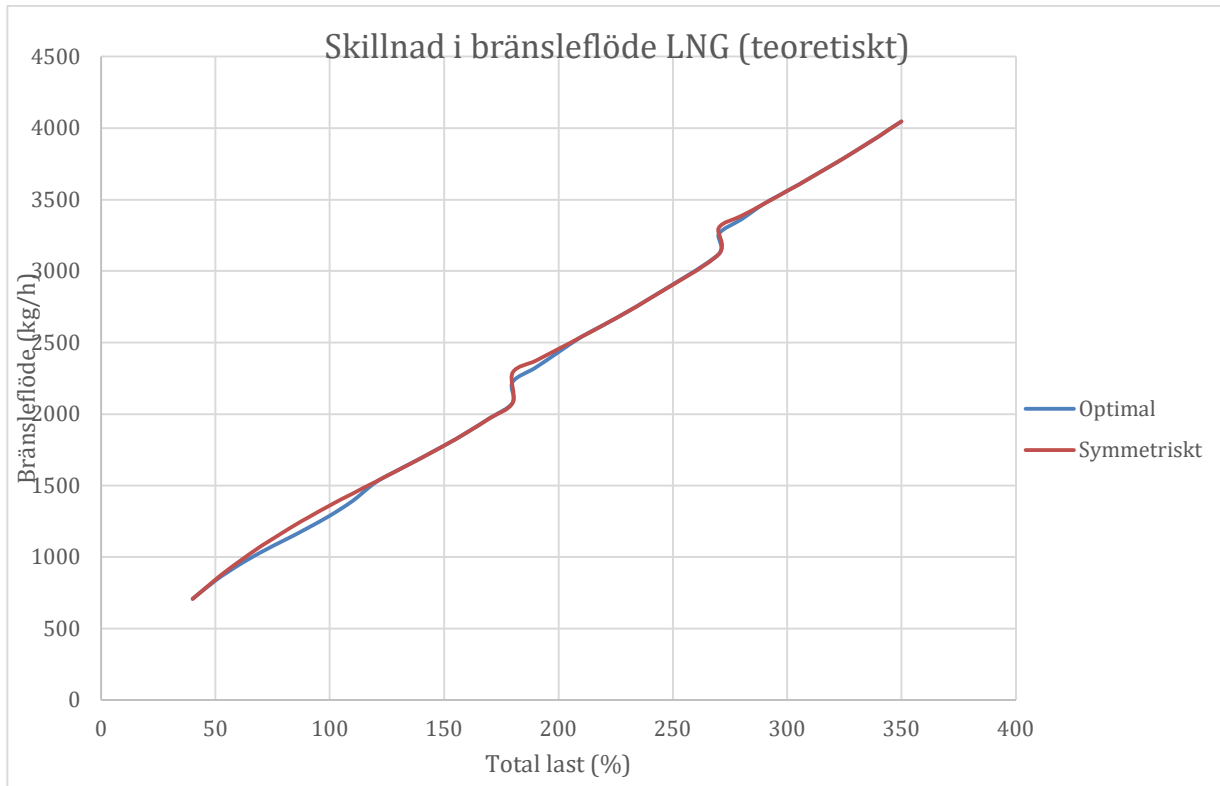
Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)
1 990 4,4	270	20,0	83,3	83,3	83,3	1474,4	6143,3	6143,3	6143,3	239,7	157,5	157,5	157,5
2 064 1,6	280	20,0	86,7	86,7	86,7	1474,4	6389,2	6389,2	6388,7	239,7	156,9	156,9	156,9
2 137 8,8	290	72,5	72,5	72,5	72,5	5344,7	5344,7	5344,7	5344,7	162,3	162,3	162,3	162,3
22 116	300	75,0	75,0	75,0	75,0	5529,0	5529,0	5529,0	5529,0	160,8	160,8	160,8	160,8
2 285 3,2	310	77,5	77,6	77,3	77,6	5716,0	5721,1	5696,2	5719,9	159,6	159,6	159,7	159,6
2 359 0,4	320	80,0	80,0	80,0	80,0	5897,9	5896,6	5897,3	5898,6	158,6	158,6	158,6	158,6
2 432 7,6	330	82,5	82,6	82,4	82,4	6084,8	6089,8	6075,4	6077,6	157,8	157,7	157,8	157,8
2 506 4,8	340	85,0	85,0	85,0	85,0	6266,2	6266,2	6266,2	6266,2	157,2	157,2	157,2	157,2
25 802	350	87,5	87,5	87,5	87,5	6450,5	6450,5	6450,5	6450,5	156,8	156,8	156,8	156,8
HM 1	HM 2	HM 3	HM 4										
Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)									
353,4	967,9	967,9	967,9	3257,0									
353,4	1002,3	1002,3	1002,2	3360,1									
867,3	867,3	867,3	867,3	3469,3									
889,3	889,3	889,3	889,3	3557,2									
912,3	912,9	909,8	912,7	3647,7									
935,3	935,2	935,3	935,4	3741,2									
960,0	960,6	958,7	959,0	3838,3									
984,8	984,8	984,8	984,8	3939,2									
1011,1	1011,1	1011,1	1011,1	4044,6									

Nedan kan tabell ses för skillnad mellan symmetrisk och optimal lastfördelning.

Tabell 11. Skillnad i bränsleförbrukning mellan lastfördelningarna.

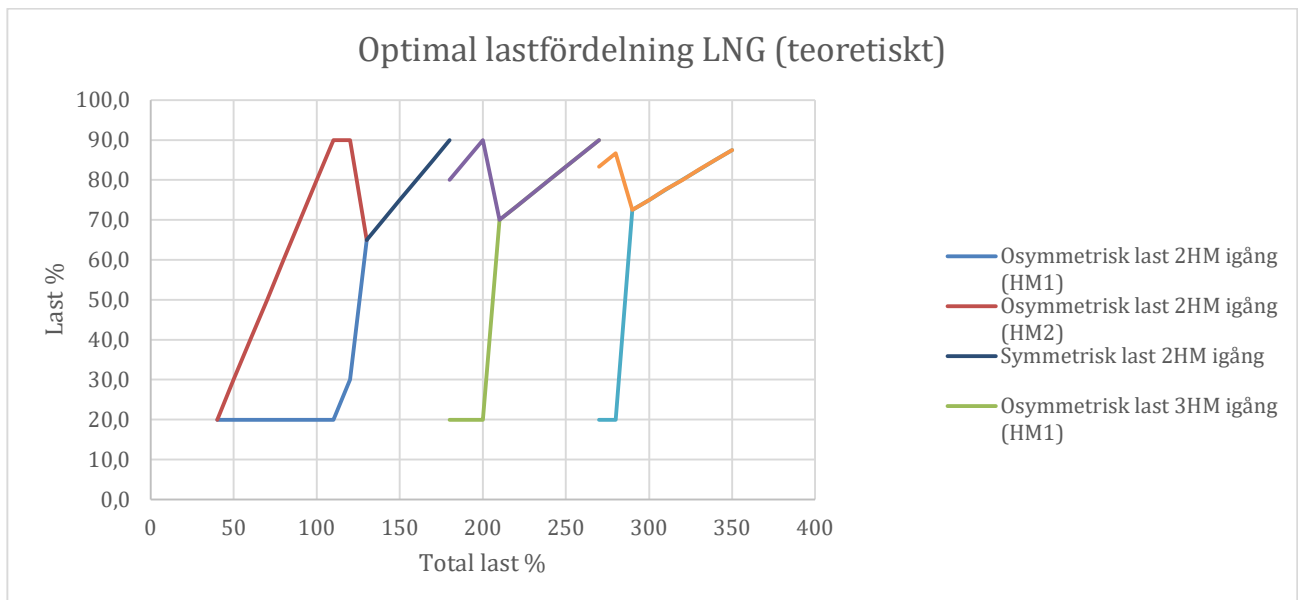
Total Last (%)	Symmetrisk	Optimal	Skillnad (kg/h)
40	706,9	706,9	0,0
50	842,1	835,6	6,5
60	964,2	941,9	22,4
70	1075,3	1033,1	42,1
80	1176,9	1116,5	60,4
90	1271,0	1199,3	71,7
100	1359,4	1288,8	70,6
110	1443,8	1392,1	51,7
120	1526,1	1520,8	5,3
130	1608,2	1608,2	0,0
140	1691,7	1691,7	0,0
150	1778,6	1778,6	0,0
160	1870,6	1870,6	0,0
170	1969,6	1969,6	0,0
180	2077,4	2077,4	0,0
180	2289,2	2224,1	65,1
190	2371,1	2323,1	48,1
200	2453,6	2453,6	0,0
210	2537,6	2537,6	0,0
220	2623,7	2623,7	0,0
230	2712,9	2712,9	0,0
240	2805,9	2805,9	0,0
270	3116,1	3116,1	0,0
270	3299,3	3257,0	42,2
280	3383,4	3360,1	23,3
290	3469,3	3469,3	0,0
300	3557,2	3557,2	0,0
310	3647,7	3647,7	0,0
320	3741,2	3741,2	0,0
330	3838,3	3838,3	0,0
340	3939,2	3939,2	0,0
350	4044,6	4044,6	0,0

Nedan ses diagram på skillnad mellan symmetrisk och osymmetrisk last med massflöde som funktion av lasten.



Figur 19. LNG bränsleflöde som funktion av lasten.

Nedan ses lastfördelning för LNG i diagramformat.



Figur 20. Optimal lastfördelning för LNG

I figuren ovan visas optimal lastfördelning för LNG. Här synes att vid drift upp till 120% total last lönar det sig med osymmetrisk lastfördelning, dvs att en motor kommer att gå på 90% och den andra på 20% fram till 110% varefter en motor kommer att fortsatt gå på 90% och den andra på belastas till 30%. Efter detta kommer det att löna sig med symmetrisk lastfördelning till 180% total last då nästa motor startar. Vid 3 motorer lönar det sig att köra osymmetriskt mellan 180%-190% total last, där en motor har kontinuerligt 20% last och de två andra motorerna delar symmetriskt upp den resterande lasten. Efter detta lönar det sig även här att köra symmetrisk lastfördelning upp till 270% total last då nästa motor startar. Vid drift med 4 motorer i gång lönar det sig här att köra osymmetriskt mellan 270%-280% total last, där även här en motor går på kontinuerligt 20% och de resterande motorerna delar symmetriskt upp lasten. Efter detta kommer även det även här att löna sig köra med symmetrisk lastfördelning.

5.4 Blueflow LNG-optimering.

Här gjordes samma optimering som i de föregående kapitlen.

Tabell 12. Resultat för 2 HM i gång med optimal lastfördelning.

Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2950,7	40	20,0	20,0	1475,4	1475,4	204,4	204,4	301,5	301,5	603,0
3688,4	50	20,0	30,0	1475,4	2213,0	204,4	192,2	301,5	425,4	726,8
4426,1	60	20,0	40,0	1475,4	2950,7	204,4	181,9	301,5	536,6	838,1
5163,7	70	20,0	50,0	1475,4	3688,4	204,4	173,3	301,5	639,2	940,7
5901,4	80	20,0	60,0	1475,4	4426,1	204,4	166,5	301,5	737,1	1038,6
6639,1	90	20,0	70,0	1475,4	5163,7	204,4	161,6	301,5	834,4	1135,9
7376,8	100	20,0	80,0	1475,4	5901,4	204,4	158,4	301,5	935,0	1236,4
8114,4	110	20,0	90,0	1475,4	6639,1	204,4	157,1	301,5	1042,8	1344,3
8852,1	120	30,0	90,0	2213,0	6639,1	192,2	157,1	425,4	1042,8	1468,2
9589,8	130	65,0	65,0	4794,9	4794,9	163,8	163,8	785,6	785,6	1571,2
1 032 7,5	140	70,0	70,0	5163,7	5163,7	161,6	161,6	834,4	834,4	1668,7
1 106 5,2	150	75,0	75,0	5532,6	5532,6	159,8	159,8	884,0	884,0	1768,0
1 180 2,8	160	80,0	80,0	5901,4	5901,4	158,4	158,4	935,0	935,0	1869,9
1 254 0,5	170	85,0	85,0	6270,3	6270,3	157,5	157,5	987,7	987,7	1975,4
1 327 8,2	180	90,0	90,0	6639,1	6639,1	157,1	157,1	1042,8	1042,8	2085,6

Nedan ses resultat för 3 HM i gång med optimal lastfördelning.

Tabell 13. Resultat för 3 HM i gång med optimal lastfördelning.

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
1 327 8,2	180	20,0	80,0	80,0	1475,4	5901,4	5901,4	204,4	158,4	158,4	301,5	935,0	935,0	2171,5
1 475 3,5	200	20,0	90,0	90,0	1475,4	6639,1	6639,1	204,4	157,1	157,1	301,5	1042,8	1042,8	2387,2
1 549 1,2	210	70,0	70,0	70,0	5163,7	5163,7	5163,7	161,6	161,6	161,6	834,4	834,4	834,4	2503,2
1 622 8,9	220	73,3	73,3	73,3	5409,6	5409,6	5409,6	160,3	160,3	160,3	867,4	867,4	867,4	2602,1
1 696 6,6	230	76,7	76,7	76,7	5655,5	5655,5	5655,5	159,3	159,3	159,3	900,8	900,8	900,8	2702,5
1 770 4,2	240	80,0	80,0	80,0	5901,4	5901,4	5901,4	158,4	158,4	158,4	935,0	935,0	935,0	2804,9
1 844 1,9	250	83,3	83,3	83,3	6147,3	6147,3	6147,3	157,8	157,8	157,8	969,9	969,9	969,9	2909,8
1 991 7,3	270	90,0	90,0	90,0	6639,1	6639,1	6639,1	157,1	157,1	157,1	1042,8	1042,8	1042,8	3128,5

Tabell 14. Resultat för 4 HM i gång med optimal lastfördelning.

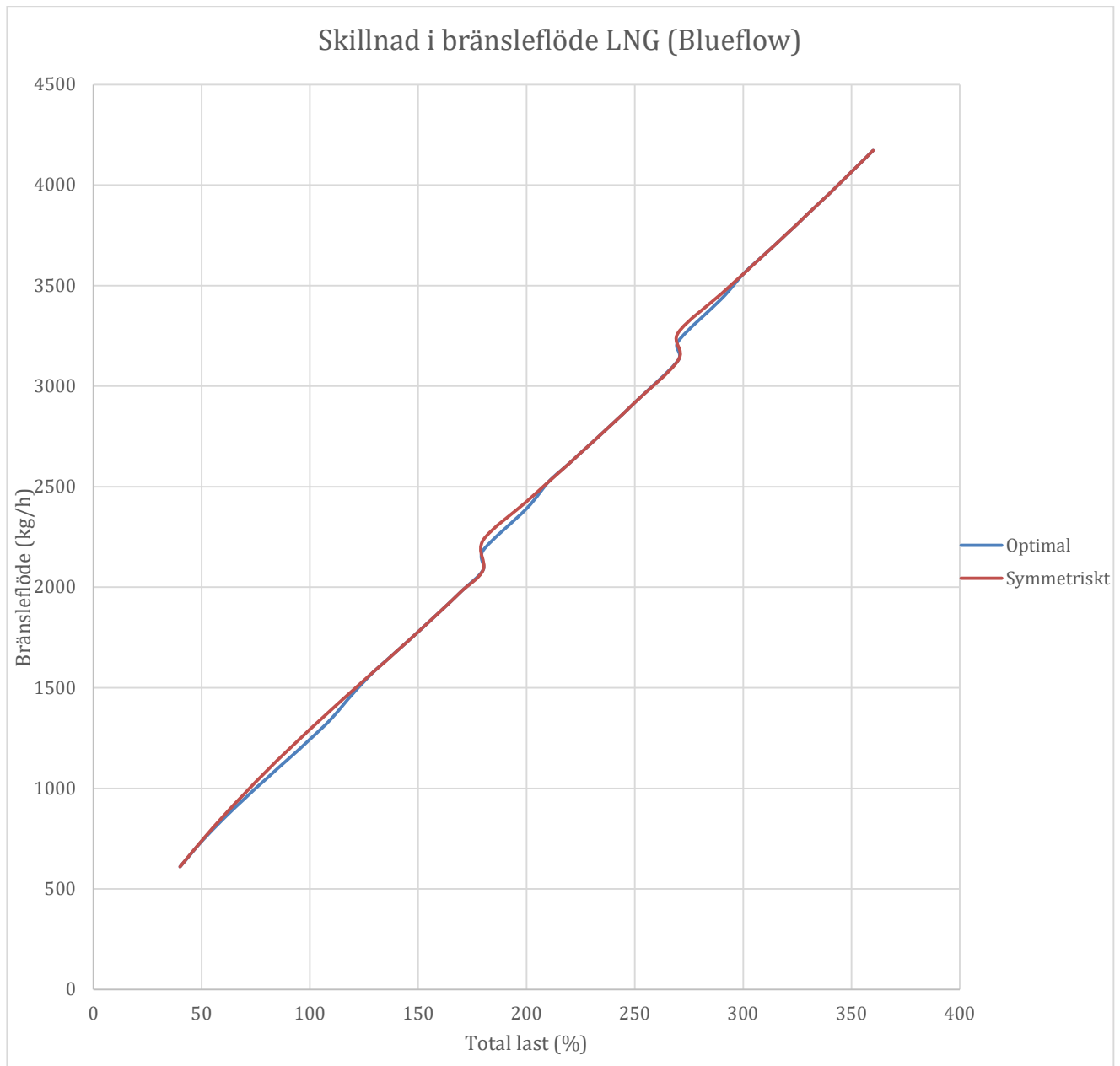
Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)
1 991 7,3	270	20,0	83,3	83,3	83,3	1475,4	6147,3	6147,3	6147,3	204,4	157,8	157,8	157,8
2 139 2,6	290	20,0	90,0	90,0	90,0	1475,4	6639,1	6639,1	6639,1	204,4	157,1	157,1	157,1
2 213 0,3	300	75,0	75,0	75,0	75,0	5532,6	5532,6	5532,6	5532,6	159,8	159,8	159,8	159,8
2 286 8,0	310	77,5	77,5	77,5	77,5	5717,0	5717,0	5717,0	5717,0	159,1	159,1	159,1	159,1
2 360 5,7	320	80,0	80,0	80,0	80,0	5901,4	5901,4	5901,4	5901,4	158,4	158,4	158,4	158,4
2 434 3,3	330	82,5	82,5	82,5	82,5	6085,8	6085,8	6085,8	6085,8	157,9	157,9	157,9	157,9
2 508 1,0	340	85,0	85,0	85,0	85,0	6270,3	6270,3	6270,3	6270,3	157,5	157,5	157,5	157,5
2 581 8,7	350	87,5	87,5	87,5	87,5	6454,7	6454,7	6454,7	6454,7	157,2	157,2	157,2	157,2
HM 1	HM 2	HM 3	HM 4										
Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)									
301,5	969,9	969,9	969,9	3211,3									
301,5	1042,8	1042,8	1042,8	3430,0									
884,0	884,0	884,0	884,0	3536,1									
909,3	909,3	909,3	909,3	3637,2									
935,0	935,0	935,0	935,0	3739,9									
961,1	961,1	961,1	961,1	3844,4									
987,7	987,7	987,7	987,7	3951,0									
1015,0	1015,0	1015,0	1015,0	4059,9									

Tabell 15. Skillnad i bränsleförbrukning mellan lastfördelningarna.

Total last (%)	Symmetrisk	Optimal	Skillnad (kg/h)
40	610,3	610,3	0,0
50	739,6	735,9	3,7
60	861,4	848,4	13,0
70	976,8	951,8	25,0
80	1086,6	1049,7	36,9
90	1191,8	1145,9	45,9
100	1293,3	1244,2	49,1
110	1392,1	1348,3	43,8
120	1489,1	1473,9	15,3
130	1585,3	1585,3	0,0
140	1681,6	1681,6	0,0
150	1778,8	1778,8	0,0
160	1878,1	1878,1	0,0
170	1980,3	1980,3	0,0
180	2086,3	2086,3	0,0
180	2233,71	2183,2	50,5
200	2425,99	2391,4	34,6
210	2522,33	2522,3	0,0
220	2619,35	2619,4	0,0
230	2717,48	2717,5	0,0
240	2817,14	2817,1	0,0
250	2918,73	2918,7	0,0
270	3129,42	3129,4	0,0
270,0	3266,71	3223,9	42,8
290,0	3460,01	3434,6	25,4
300,0	3557,67	3557,7	0,0
310,0	3656,31	3656,3	0,0
320,0	3756,18	3756,2	0,0
330,0	3857,50	3857,5	0,0
340,0	3960,52	3960,5	0,0
350,0	4065,46	4065,5	0,0
360,0	4172,56	4172,6	0,0

Ett diagram lagades för optimal lastfördelning precis som i den teoretiska LNG-delen.

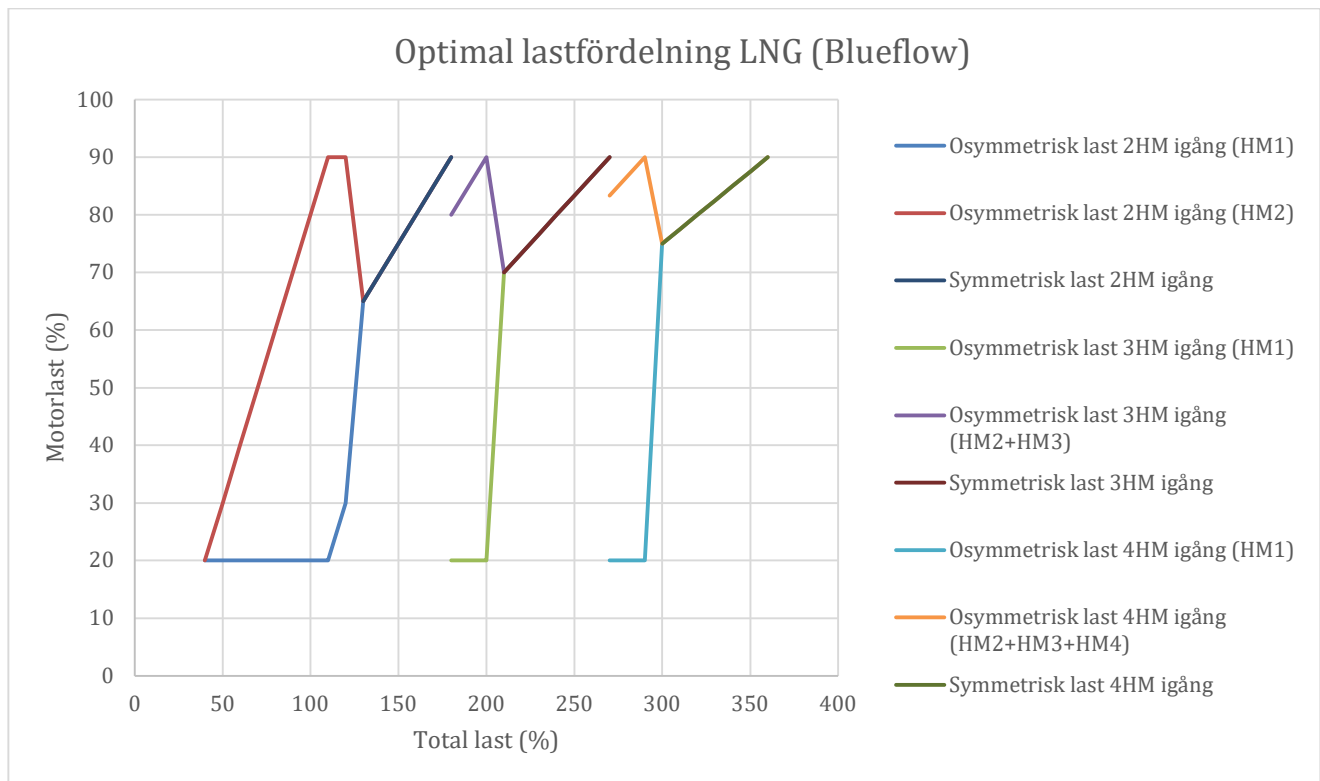
Nedan kan diagram ses för massflödesfördelningen.



Figur 21. Bränsleflöde som funktion av lasten.

I diagrammet ovan ser man att det stämmer rätt bra överens med teorin. Enda skillnaden blir att kurvanpassningarna skiljer sig en del vid lägre laster med LNG för teoretiska och Blueflow. Detta beror antagligen mest på att gaser är svårare att mäta än vätskor. En slutsats som kan dras av diagrammet är att det är endast då en till motor just har startat som det lönar sig med osymmetrisk lastfördelning som beskrivs av de "ojämna" regionerna i diagrammet.

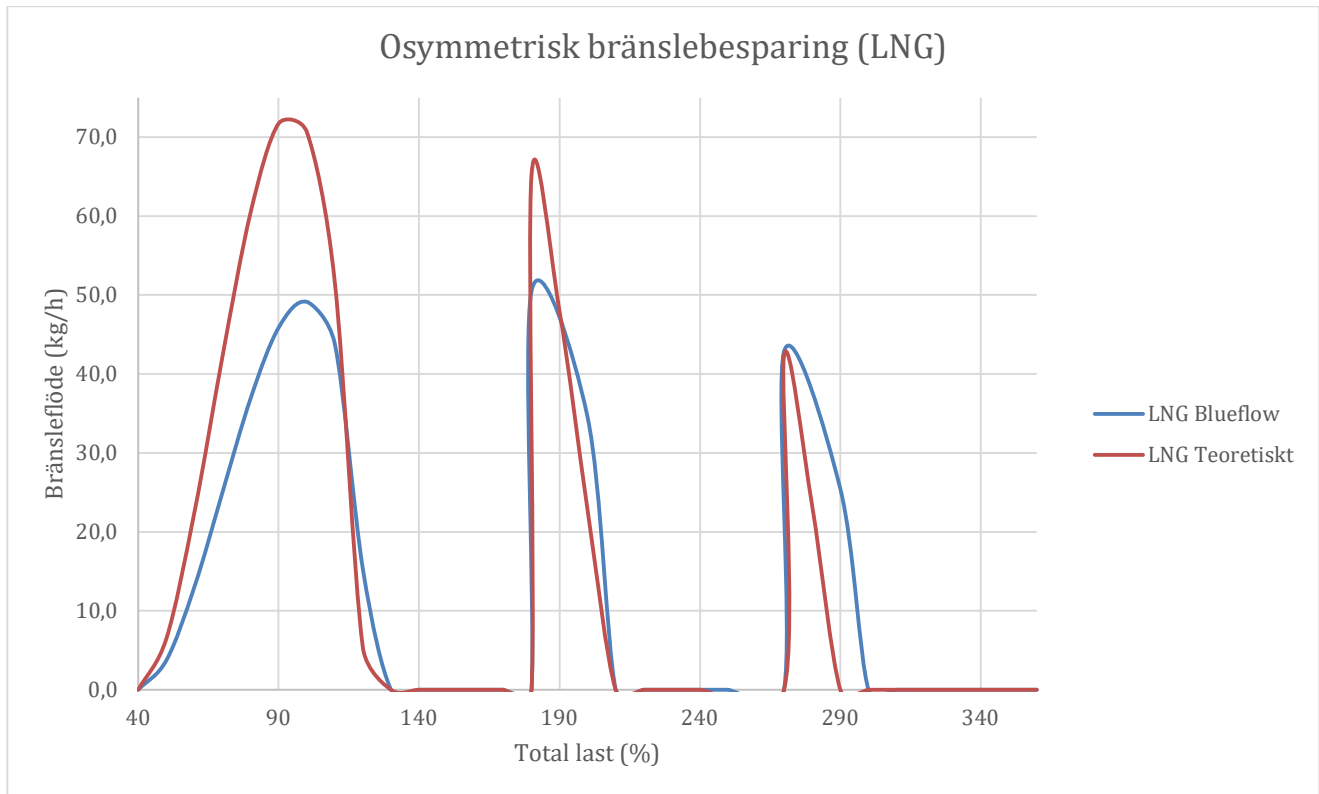
Nedan ses optimal lastfördelning i diagramformat.



Figur 22. Optimal lastfördelning för LNG Blueflow-analys.

I figuren ovanför presenteras det att det lönar sig att köra osymmetrisk lastfördelning med två motorer i gång upp till 120%, där en motor kommer att gå på 90% och den andra på 30%. Efter detta kommer det att löna sig med symmetrisk lastfördelning mellan de båda motorerna upp till 180% då nästa motor startar. Med 3 motorer i drift kommer det att lönas sig med osymmetrisk lastfördelning mellan 180%-200%, där en motor går på 20% och de resterande motorerna delar symmetriskt på resterande lasten, efter detta kommer det även här att löna sig med symmetrisk lastfördelning mellan de 3 motorerna upp till 270% tills den 4:e motorn startar. Med 4 motorer i drift kommer det endast att löna sig att köra med osymmetrisk lastfördelning mellan 270%-290% där även här en motor går på 20% och de resterade motorerna delar upp lasten symmetriskt, efter detta kommer det att löna sig med symmetrisk lastfördelning.

Blueflow-analysen och den teoretiska-analysen stämmer bra överens med avseende på hur lasten bör fördelas och vid vilken total last, med endast små skillnader i var lasten bör gå över från osymmetrisk till symmetrisk last.



Figur 23. Bränslebesparing som funktion av lasten

Ovan visas ett diagram för bränslebesparing för LNG vid den optimerade lastfördelningen. Som kan ses är det en viss skillnad mellan besparingen baserat på den teoretiska-analysen och Blueflow-analysen, detta är dock förväntat då som beskrivits tidigare mätutrustningen för mätandet av gaserna kan inte antas vara samma vid testbänken som ombord samt att de två SFOC-kurvorna skiljde sig åt relativt mycket vid lägre laster.

6.Varaktighet

I denna del i analysen skapades varaktighetsdiagram för effektförbrukningen, bränsleförbrukningen samt optimal lastfördelning för Diesel och LNG under 1 års tid.

Ett varaktighetsdiagram beskriver hur många timmar per år man kör på en viss last eller bränsleförbrukning.

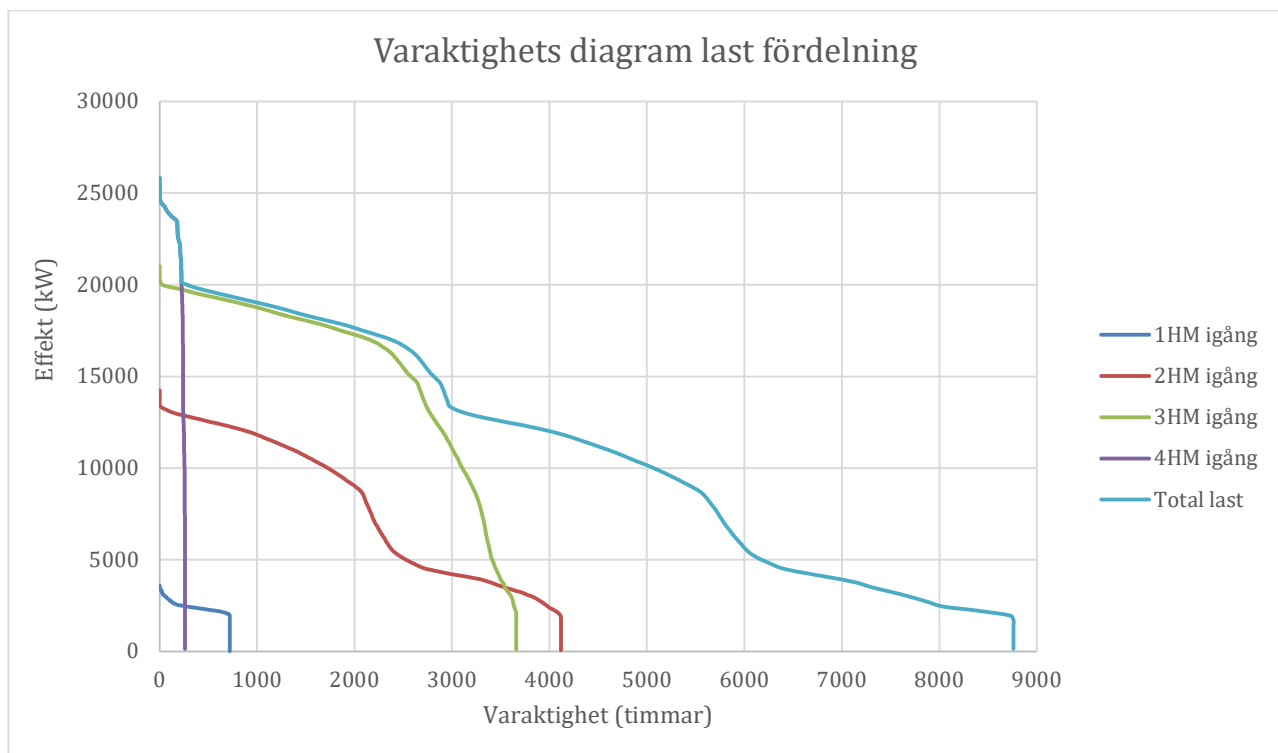
Varaktighetsdiagram brukar vanligtvis användas för temperaturer under 1 års tid, men kan användas för effektmätning och bränsleförbrukning under 1 års tid också.

6.1 Varaktighet för lastfördelning

Från Blueflow loggades effekter på alla 4 huvudmotorer samt totala effekten på 12 dygn. Dygnen som valdes var första dagen varje månad under 2022 förutom december månad där 3.12.2022 valdes. Data som användes fördes in i Matlab där man använder en funktion som kan räkna hur många motorer som är i gång under en viss tid på 1 år. Blueflow har lite missvisande delar som visar ca 10kW på någon maskin fastän den inte är i gång. Med Matlab kan man enkelt ställa in gränser. Gränsen sattes så att en effekt på mindre än 100kW tolkades som att en motor inte är i gång. Själva Number engines-funktionen kördes och gav resultat på 4 olika laster samt total last på året. En annan funktion som kallas duration som visar hur många timmars varaktighet det är på 1 år = 8760 timmar användes för att få effekten som funktion av timmar.

Själva varaktighetsfunktionen kan göra en hel del observationer som kan justeras.

Resultatet för den årliga lastfördelningen kan ses i diagramformat nedan.

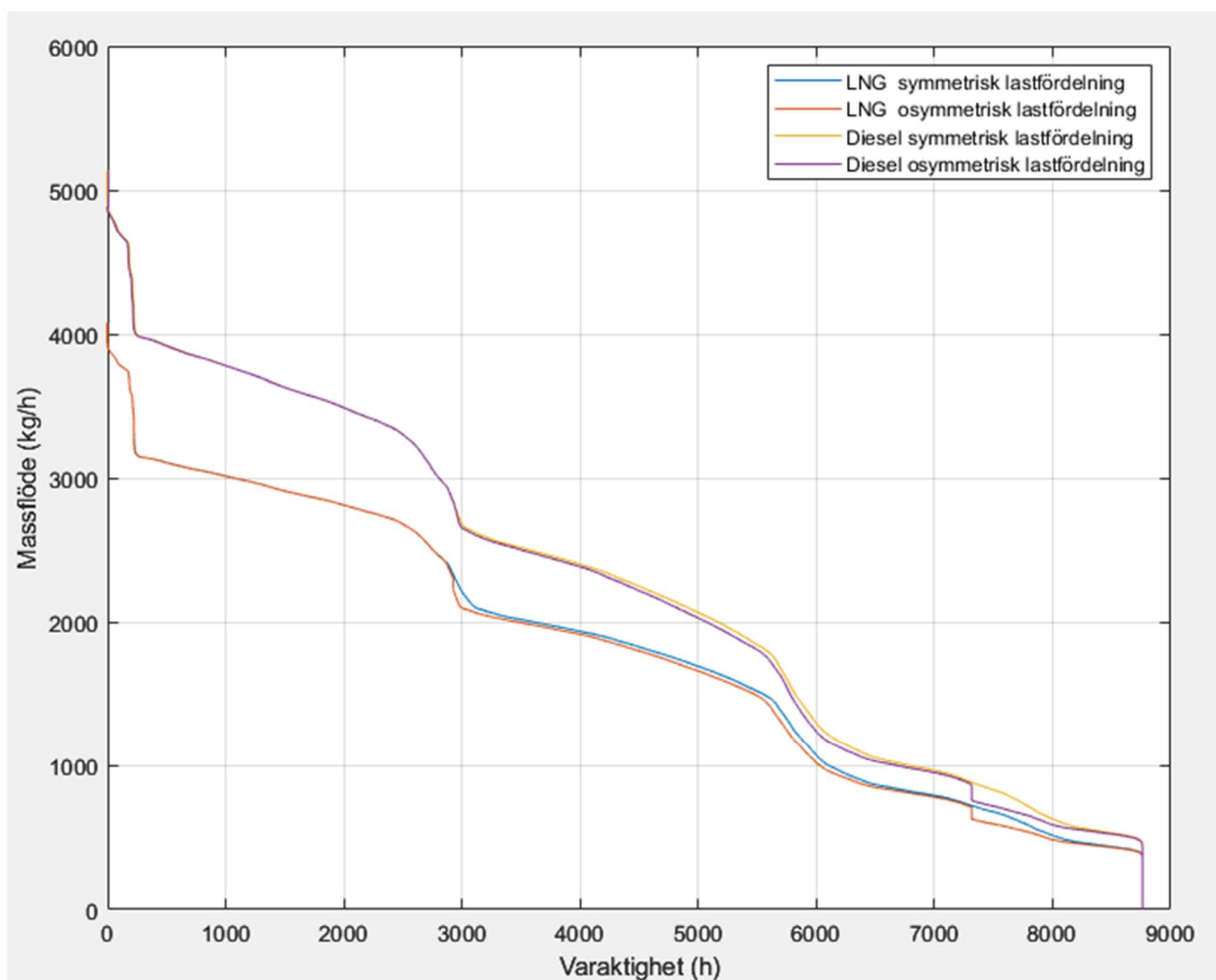


Figur 24. Resultatet för den årliga lastfördelningen

Varaktighetsdiagrammet ovan är en approximering hur det kan se ut på ett år. Detta är nog väldigt nära sanningen eftersom man oftast kör med en motor 2h/dygn i hamn i Åbo och Stockholm, två motorer ca 14h/dygn och 3 motorer ca 8h/dygn även under hamntiderna i Mariehamn och Långnäs under ett normalt dygn. 4 motorer i gång på 1 år är totalt ca 260h.

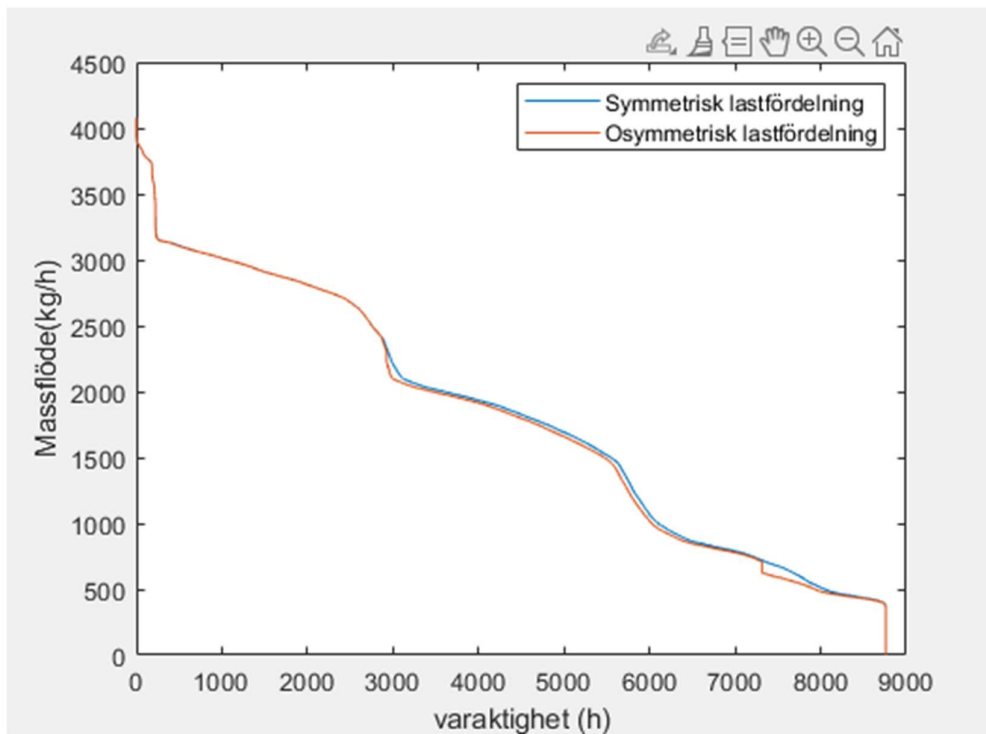
6.2 Varaktighet för bränsleoptimering Diesel och LNG

I denna del användes 12 uppmätta dygn från Blueflow ännu en gång samt Matlab. En funktion inom Matlab som kallas fuel actual mäter upp det totala bränsleflödet med uppmätta effekter som sedan multipliceras med SFOC-funktionen som också går att skapa i Matlab. SFOC-funktionen för Blueflow användes till denna del eftersom det finns flera intervaller att mäta inom. Varaktighetsfunktionen mätte upp med basen på hur många timmar man kör på 1 år vid ett visst massflöde. En fuel optimal-funktion användes för att laga ett varaktighetsdiagram för optimal bränsleförbrukning som sedan gjordes till ett varaktighetsdiagram. Resultatet ses nedan i figuren.

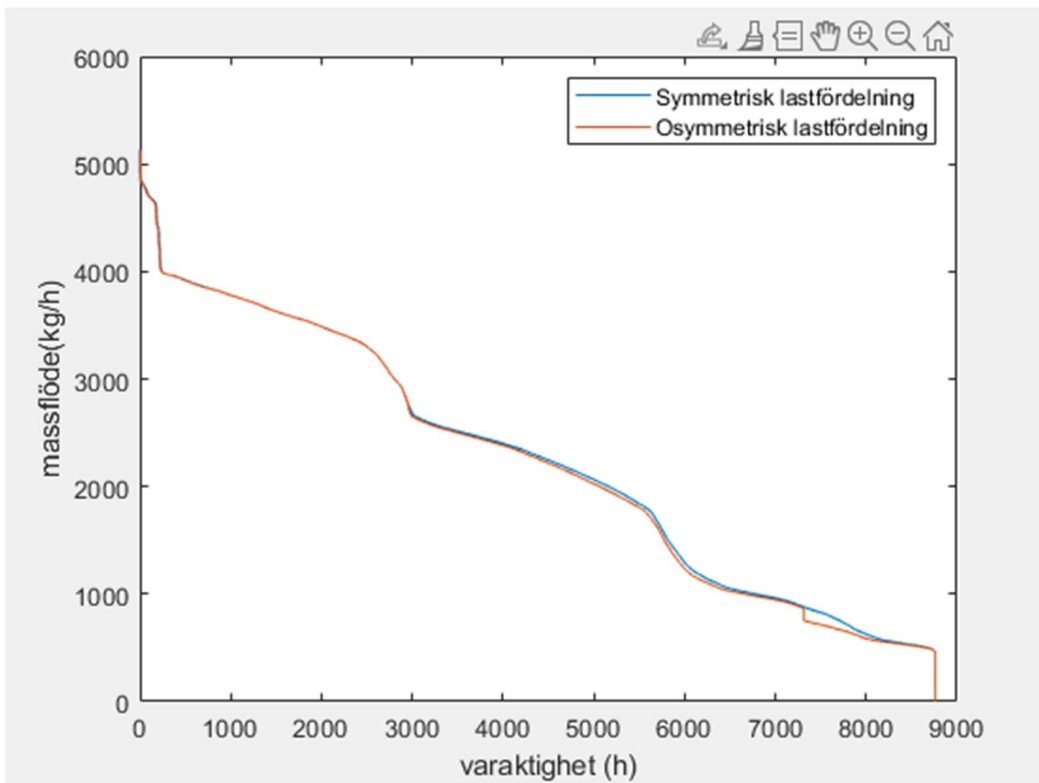


Figur 25. Jämförelse mellan dagens last och optimal last för Diesel och LNG.

Nedan visas varaktighetsdiagrammen skilt för diesel respektive LNG.



Figur 26. Varaktighetsdiagram för LNG vid symmetrisk respektive optimal lastfördelning



Figur 27. Varaktighetsdiagram för diesel vid symmetrisk respektive optimal lastfördelning

Då skillnaden i bränsleflöde är skillnaden i arean mellan de olika lastfördelningarna kan man visuellt se att det finns potential för inbesparingar med denna driftprofil.

Med hjälp av Autocad kan man mäta upp areor som man sedan integrerar arean under kurvan.

För att räkna detta räknar man arean på en ruta som i detta fall motsvarar

$$1 \text{ ruta} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1000 \text{h}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 1000 \text{ton/ruta}$$

En skalfaktor mäts upp för att beräkna hur mycket bränsle som totalt förbrukas på 1 år med ekvation

$$\text{skalfaktor} = \frac{\text{Hela arean [mm}^2\text{]}}{\text{Arean för en ruta i diagrammet [mm}^2\text{]}}$$

$$\text{Total bränsleförbrukning} = \text{skalfaktor} * 1000 \text{ton}$$

$$\text{Besparing räknas som } \frac{\Delta \text{Area [mm}^2\text{]}}{\text{Arean för en ruta i diagrammet [mm}^2\text{]}} * 1000 \text{ ton}$$

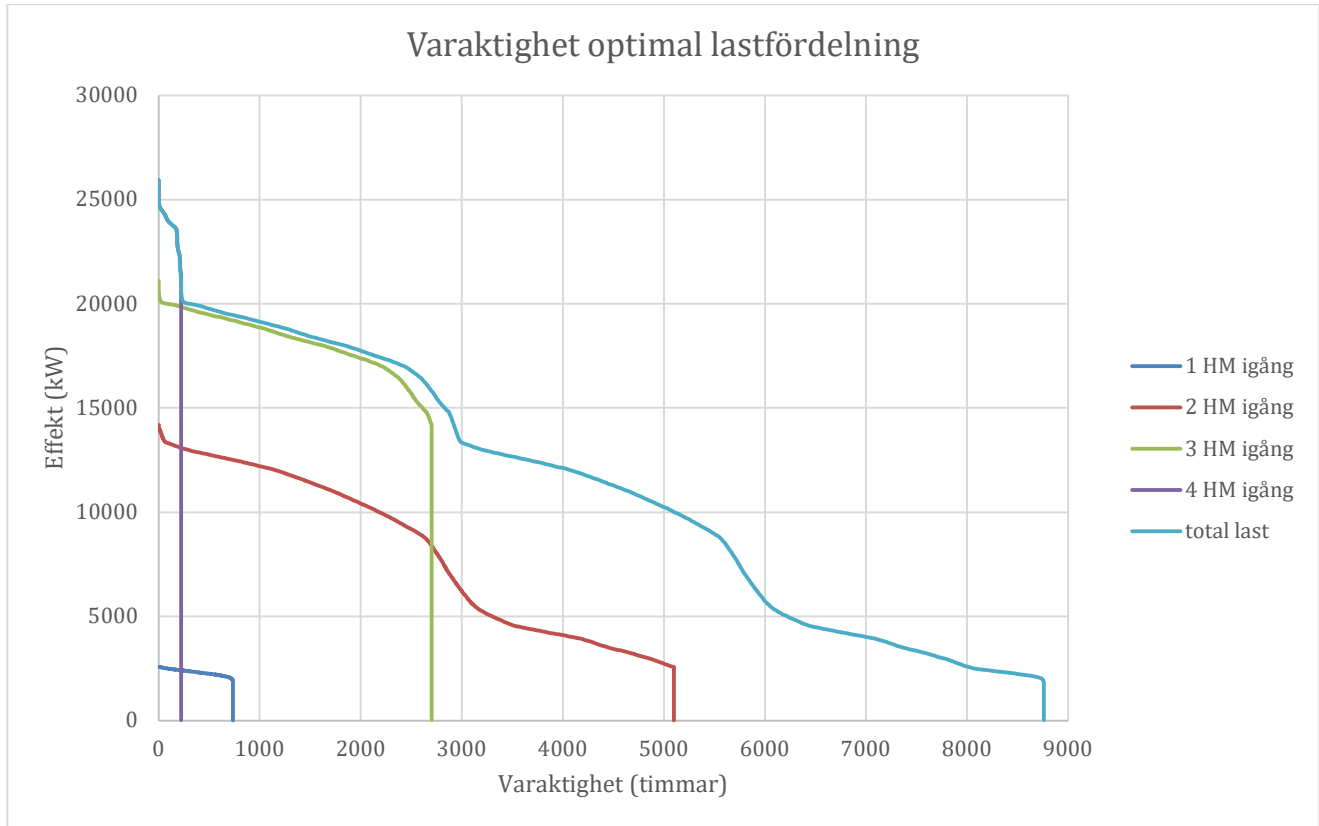
Nedan ses resultat för optimeringen, detta resultat baserar sig på Blueflow-analysen med motivering att om detta implementeras ombord är det endast denna analys som har praktisk betydelse.

Tabell 16. Resultat för optimering.

Diesel förbrukat symmetrisk	19777,6	ton
Diesel förbrukat optimerad last	19540,2	ton
Diesel besparat optimerad lastfördelning	237,4	ton

LNG förbrukat symmetrisk last	15992,4	ton
LNG förbrukat optimerad last	15741,8	ton
LNG besparat optimerad lastfördelning	250,6	ton

Nedan ses optimal lastfördelning under ett års tid.



Figur 28. Varaktighet för optimal lastfördelning.

Jämför man figur 28 med figur 24 så går den optimala lastfördelning en större tid på 2 huvudmotorer i gång och mindre med 3 huvudmotorer i gång än vid dagens driftprofil.

7.Diskussioner och slutsats

Detta examensarbete har gett en uppskattning i potentiella bränslebesparingar som kan göras vid en blandning av symmetrisk och osymmetrisk drift för både diesel och LNG. Med den framtagna driftprofilen kan bränsleförbrukningen minskas med 250 ton för LNG på ett år vilket är en procentuell minskning med 1,56% jämfört med dagens förbrukning och skulle man i stället köra motorerna på diesel kan bränsleförbrukningen minskas med 237 ton på ett år vilket är en procentuell minskning med 1,2% jämfört med dagens förbrukning.

Som framgått i våra beräkningar är en blandning av osymmetrisk samt symmetrisk lastfördelning den optimala driftprofilen för motorerna. Detta då dels en gräns för den maximala belastningen på huvudmotorerna lades på 90 % så när denna belastning är uppnådd sker en lastfördelning som enligt våra beräkningar oftast är symmetrisk. Detta beror sannolikt på att huvudmotorerna då går på så hög last att den specifika bränsleförbrukningen också då är lägst med hänvisning till SFOC-kurvans utformning.

Den sparade bränslemängden med denna driftprofil skulle motsvara en minskning av CO₂-utsläpp på ca 690 ton/år för LNG och 761 ton för diesel/år så denna driftprofil skulle även gynna klimatet.

Då den sparade bränslemängden för diesel är stor i jämförelse till den korta perioden det lönar sig att köra med osymmetrisk lastfördelning kan detta kanske tyckas vara missvisande, men med hänvisning till varaktighetsdiagrammet i figur 27 framgår en större skillnad i sparad bränslemängd. Detta beror på att det skulle löna sig att köra en längre period på färre motorer än i dagsläget, dvs att man kör motorerna på en högre last längre än i dagsläget innan en till motor startas.

En besparing skulle kunna göras vid LNG drift genom att undvika laster där ”hacken” uppstår med hänvisning till förbrukningskurvan i figur 21, detta genom tex. ruttplanering.

Ytterligare studier skulle kunna göras på hur fartyget borde manövreras för att minska bränsleförbrukningen genom att undvika vissa lastfall.

Detta examensarbete har gett en bättre inblick i hur bränsleförbrukningen kan minskas bara genom att ändra på lastfördelningen, vilket är en bra lösning både ekonomiskt och för att sträva mot en grönare sjöfart.

KÄLLFÖRTECKNING

Viking Line. (n.d.). Vikingline.ax. Retrieved May 23, 2023, from <https://www.vikingline.ax/hitta-resa/vara-fartyg/ms-viking-grace/fartygsfakta/>

Wikipedia contributors. (2023, May 22). *MS Viking Grace*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=MS_Viking_Grace&oldid=1156285904

Which emission factors shall be used? (n.d.). Retrieved April 25, 2023, from <https://www.verifavia-shipping.com/shipping-carbon-emissions-verification/faq-which-emission-factors-shall-be-used-110.php>

BILAGOR

Generator		DG 1	DG2	DG 1	DG2	DG 1	DG 2	DG 1	DG 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2951,1	40	20	20	1475,6	1475,6	258,3	258,3	381,2	381,2	762,3
3688,9	50	25	25	1844,4	1844,4	247,6	247,6	456,8	456,8	913,5
4426,7	60	30	30	2213,3	2213,3	238,0	238,0	526,7	526,7	1053,5
5164,4	70	35	35	2582,2	2582,2	229,3	229,3	592,2	592,2	1184,4
5902,2	80	40	40	2951,1	2951,1	221,7	221,7	654,3	654,3	1308,6
6640,0	90	45	45	3320,0	3320,0	215,1	215,1	714,1	714,1	1428,3
7377,8	100	50	50	3688,9	3688,9	209,5	209,5	772,8	772,8	1545,6
7746,7	105	52,5	52,5	3873,3	3873,3	207,1	207,1	802,1	802,1	1604,2
8115,5	110	55	55	4057,8	4057,8	204,9	204,9	831,5	831,5	1663,0
8853,3	120	60	60	4426,7	4426,7	201,3	201,3	891,3	891,3	1782,6
9591,1	130	65	65	4795,6	4795,6	198,8	198,8	953,3	953,3	1906,6
10328,9	140	70	70	5164,4	5164,4	197,3	197,3	1018,7	1018,7	2037,4
11066,7	150	75	75	5533,3	5533,3	196,7	196,7	1088,6	1088,6	2177,1
11804,4	160	80	80	5902,2	5902,2	197,2	197,2	1164,0	1164,0	2328,0
12542,2	170	85	85	6271,1	6271,1	198,7	198,7	1246,2	1246,2	2492,4
13280,0	180	90	90	6640,0	6640,0	201,2	201,2	1336,3	1336,3	2672,5

Bilaga 1. Teoretisk diesel-analys symmetrisk lastfördelning för 2 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
1 328 0,0	180	60	60	60	4426,7	4426,7	4426,7	201,3	201,3	201,3	891,3	891,3	891,3	2673,87
1 401 7,8	190	63,3	63,3	63,3	4672,6	4672,6	4672,6	199,5	199,5	199,5	932,3	932,3	932,3	2796,97
1 475 5,5	200	66,7	66,7	66,7	4918,5	4918,5	4918,5	198,2	198,2	198,2	974,7	974,7	974,7	2924,04
1 549 3,3	210	70	70	70	5164,4	5164,4	5164,4	197,3	197,3	197,3	1018,7	1018,7	1018,7	3056,09
1 623 1,1	220	73,3	73,3	73,3	5410,4	5410,4	5410,4	196,8	196,8	196,8	1064,7	1064,7	1064,7	3194,11
1 696 8,9	230	76,7	76,7	76,7	5656,3	5656,3	5656,3	196,8	196,8	196,8	1113,0	1113,0	1113,0	3339,10
1 770 6,6	240	80	80	80	5902,2	5902,2	5902,2	197,2	197,2	197,2	1164,0	1164,0	1164,0	3492,07
1 844 4,4	250	83,4	83,3	83,3	6152,8	6143,8	6147,9	198,1	198,1	198,1	1219,0	1217,0	1217,9	3654,01
1 881 3,3	255	85	85	85	6271,1	6271,1	6271,1	198,7	198,7	198,7	1246,2	1246,2	1246,2	3738,65

Bilaga 2. Teoretisk diesel-analys symmetrisk lastfördelning för 3 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)
1 881 3,3	255	63,75	63,75	63,75	63,75	4703,3	4703,3	4703,3	4703,3
1 992 0,0	270	67,5	67,5	67,5	67,5	4980,0	4980,0	4980,0	4980,0
2 065 7,8	280	70	70	70	70	5164,4	5164,4	5164,4	5164,4
2 139 5,5	290	72,5	72,5	72,5	72,5	5348,9	5348,9	5348,9	5348,9
2 213 3,3	300	75	75	75	75	5533,3	5533,3	5533,3	5533,3
2 287 1,1	310	77,5	77,5	77,5	77,5	5717,8	5717,8	5717,8	5717,8
2 360 8,9	320	80	80	80	80	5902,2	5902,2	5902,2	5902,2
2 434 6,6	330	82,5	82,5	82,5	82,5	6086,7	6086,7	6086,7	6086,7
2 508 4,4	340	85	85	85	85	6271,1	6271,1	6271,1	6271,1
2 582 2,2	350	87,5	87,5	87,5	87,5	6455,5	6455,5	6455,5	6455,5
HM 1	HM 2	HM 3		HM 4					
Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)		Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)				
937,5	937,5	937,5		937,5	3750,2				
985,5	985,5	985,5		985,5	3942,1				
1018,7	1018,7	1018,7		1018,7	4074,8				
1053,0	1053,0	1053,0		1053,0	4212,0				
1088,6	1088,6	1088,6		1088,6	4354,2				
1125,5	1125,5	1125,5		1125,5	4502,1				
1164,0	1164,0	1164,0		1164,0	4656,1				
1204,2	1204,2	1204,2		1204,2	4816,8				
1246,2	1246,2	1246,2		1246,2	4984,9				
1290,2	1290,2	1290,2		1290,2	5160,7				

Bilaga 3. Teoretisk diesel-analys symmetrisk lastfördelning för 4 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2950,7	40	20	20	1475,4	1475,4	250,9	250,9	370,1	370,1	740,2
3688,4	50	25	25	1844,2	1844,2	242,0	242,0	446,2	446,2	892,4
4426,1	60	30	30	2213,0	2213,0	233,8	233,8	517,5	517,5	1035,0
5163,7	70	35	35	2581,9	2581,9	226,5	226,5	584,9	584,9	1169,7
5901,4	80	40	40	2950,7	2950,7	220,0	220,0	649,1	649,1	1298,3
6639,1	90	45	45	3319,5	3319,5	214,3	214,3	711,3	711,3	1422,6
7376,8	100	50	50	3688,4	3688,4	209,3	209,3	772,1	772,1	1544,2
7745,6	105	52,5	52,5	3872,8	3872,8	207,2	207,2	802,3	802,3	1604,6
8114,4	110	55	55	4057,2	4057,2	205,2	205,2	832,5	832,5	1665,1
8852,1	120	60	60	4426,1	4426,1	201,9	201,9	893,4	893,4	1786,8
9589,8	130	65	65	4794,9	4794,9	199,3	199,3	955,6	955,6	1911,3
1 032 7,5	140	70	70	5163,7	5163,7	197,5	197,5	1020,1	1020,1	2040,2
1 106 5,2	150	75	75	5532,6	5532,6	196,6	196,6	1087,6	1087,6	2175,3
1 180 2,8	160	80	80	5901,4	5901,4	196,4	196,4	1159,2	1159,2	2318,4
1 254 0,5	170	85	85	6270,3	6270,3	197,1	197,1	1235,6	1235,6	2471,2
1 327 8,2	180	90	90	6639,1	6639,1	198,5	198,5	1317,7	1317,7	2635,5

Bilaga 4. Blueflow diesel-analys symmetrisk lastfördelning för 2 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
1 327 8,2	180	60	60	60	4426,1	4426,1	4426,1	201,9	201,9	201,9	893,4	893,4	893,4	2680,2
1 438 4,7	195	65	65	65	4794,9	4794,9	4794,9	199,3	199,3	199,3	955,6	955,6	955,6	2866,9
1 475 3,5	200	66,7	66,7	66,7	4917,8	4917,8	4917,8	198,6	198,6	198,6	976,8	976,8	976,8	2930,5
1 549 1,2	210	70	70	70	5163,7	5163,7	5163,7	197,5	197,5	197,5	1020,1	1020,1	1020,1	3060,3
1 622 8,9	220	73,3	73,3	73,3	5409,6	5409,6	5409,6	196,8	196,8	196,8	1064,7	1064,7	1064,7	3194,2
1 696 6,6	230	76,7	76,7	76,7	5655,5	5655,5	5655,5	196,4	196,4	196,4	1111,0	1111,0	1111,0	3333,0
1 770 4,2	240	80	80	80	5901,4	5901,4	5901,4	196,4	196,4	196,4	1159,2	1159,2	1159,2	3477,6
1 844 1,9	250	83,3	83,3	83,3	6147,4	6147,3	6147,3	196,8	196,8	196,8	1209,5	1209,5	1209,5	3628,6
1 936 4,0	262,5	87,5	87,5	87,5	6454,7	6454,7	6454,7	197,7	197,7	197,7	1275,9	1275,9	1275,9	3827,7

Bilaga 5. Blueflow diesel-analys symmetrisk lastfördelning för 3 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM3	HM4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)
1 936 4,0	262,5	65,6	65,6	65,6	65,6	4841,0	4841,0	4841,0	4841,0	199,0	199,0	199,0	199,0
1 991 7,3	270	67,5	67,5	67,5	67,5	4979,3	4979,3	4979,3	4979,3	198,3	198,3	198,3	198,3
2 065 5,0	280	70	70	70	70	5163,7	5163,7	5163,7	5163,7	197,5	197,5	197,5	197,5
2 139 2,6	290	72,5	72,5	72,5	72,5	5348,2	5348,2	5348,2	5348,2	197,0	197,0	197,0	197,0
2 213 0,3	300	75	75	75	75	5532,6	5532,6	5532,6	5532,6	196,6	196,6	196,6	196,6
2 286 8,0	310	77,5	77,5	77,5	77,5	5717,0	5717,0	5717,0	5717,0	196,4	196,4	196,4	196,4
2 360 5,7	320	80	80	80	80	5901,6	5901,2	5901,3	5901,6	196,4	196,4	196,4	196,4
2 434 3,3	330	82,5	82,5	82,5	82,5	6095,6	6081,4	6081,3	6085,0	196,7	196,6	196,6	196,6
2 508 1,0	340	85	85	85	85	6270,3	6270,3	6270,3	6270,3	197,1	197,1	197,1	197,1
2 581 8,7	350	87,5	87,5	87,5	87,5	6454,7	6454,7	6454,7	6454,7	197,7	197,7	197,7	197,7
HM 1	HM 2	HM 3	HM 4										
Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)									
963,6	963,6	963,6	963,6	3854,2									
987,5	987,5	987,5	987,5	3950,1									
1020,1	1020,1	1020,1	1020,1	4080,4									
1053,4	1053,4	1053,4	1053,4	4213,7									
1087,6	1087,6	1087,6	1087,6	4350,6									
1122,9	1122,9	1122,9	1122,9	4491,5									
1159,2	1159,2	1159,2	1159,2	4636,8									
1198,8	1195,8	1195,8	1196,6	4786,9									
1235,6	1235,6	1235,6	1235,6	4942,4									
1275,9	1275,9	1275,9	1275,9	5103,6									

Bilaga 6. Blueflow diesel-analys symmetrisk lastfördelning för 4 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2948,8	40	20,0	20,0	1474,4	1474,4	239,7	239,7	353,4	353,4	706,9
3686,0	50	25,0	25,0	1843,0	1843,0	228,4	228,4	421,0	421,0	842,1
4423,2	60	30,0	30,0	2211,6	2211,6	218,0	218,0	482,1	482,1	964,2
5160,4	70	35,0	35,0	2580,2	2580,2	208,4	208,4	537,6	537,6	1075,3
5897,6	80	40,0	40,0	2948,8	2948,8	199,6	199,6	588,5	588,5	1176,9
6634,8	90	45,0	45,0	3317,4	3317,4	191,6	191,6	635,5	635,5	1271,0
7372,0	100	50,0	50,0	3686,0	3686,0	184,4	184,4	679,7	679,7	1359,4
8109,2	110	55,0	55,0	4054,6	4054,6	178,0	178,0	721,9	721,9	1443,8
8846,4	120	60,0	60,0	4423,2	4423,2	172,5	172,5	763,1	763,1	1526,1
9583,6	130	65,0	65,0	4791,8	4791,8	167,8	167,8	804,1	804,1	1608,2
1 032 0,8	140	70,0	70,0	5160,4	5160,4	163,9	163,9	845,9	845,9	1691,7
1 105 8,0	150	75,0	75,0	5529,0	5529,0	160,8	160,8	889,3	889,3	1778,6
1 179 5,2	160	80,0	80,0	5897,6	5897,6	158,6	158,6	935,3	935,3	1870,6
1 253 2,4	170	85,0	85,0	6266,2	6266,2	157,2	157,2	984,8	984,8	1969,6
1 326 9,6	180	90,0	90,0	6634,8	6634,8	156,6	156,6	1038,7	1038,7	2077,4

Bilaga 7. Teoretisk LNG-analys symmetrisk lastfördelning för 2 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
1 326 9,6	180	60,0	60,0	60,0	4423,2	4423,2	4423,2	172,5	172,5	172,5	763,1	763,1	763,1	2289,2
1 400 6,8	190	63,3	63,3	63,3	4668,9	4668,9	4668,9	169,3	169,3	169,3	790,4	790,4	790,4	2371,1
14 744	200	66,7	66,7	66,7	4914,7	4914,7	4914,7	166,4	166,4	166,4	817,9	817,9	817,9	2453,6
1 548 1,2	210	70,0	70,0	70,0	5160,4	5160,4	5160,4	163,9	163,9	163,9	845,9	845,9	845,9	2537,6
1 621 8,4	220	73,3	73,3	73,3	5406,1	5406,1	5406,1	161,8	161,8	161,8	874,6	874,6	874,6	2623,7
1 695 5,6	230	76,7	76,7	76,7	5651,9	5651,9	5651,9	160,0	160,0	160,0	904,3	904,3	904,3	2712,9
1 769 2,8	240	80,0	80,0	80,0	5897,6	5897,6	5897,6	158,6	158,6	158,6	935,3	935,3	935,3	2805,9
1 990 4,4	270	90,0	90,0	90,0	6634,8	6634,8	6634,8	156,6	156,6	156,6	1038,7	1038,7	1038,7	3116,1

Bilaga 8. Teoretisk LNG-analys symmetrisk lastfördelning för 3 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)
1 990 4,4	270	67,5	67,5	67,5	67,5	4976,1	4976,1	4976,1	4976,1	165,8	165,8	165,8	165,8
2 064 1,6	280	70,0	70,0	70,0	70,0	5160,4	5160,4	5160,4	5160,4	163,9	163,9	163,9	163,9
2 137 8,8	290	72,5	72,5	72,5	72,5	5344,7	5344,7	5344,7	5344,7	162,3	162,3	162,3	162,3
22 116	300	75,0	75,0	75,0	75,0	5529,0	5529,0	5529,0	5529,0	160,8	160,8	160,8	160,8
2 285 3,2	310	77,5	77,5	77,5	77,5	5713,3	5713,3	5713,3	5713,3	159,6	159,6	159,6	159,6
2 359 0,4	320	80,0	80,0	80,0	80,0	5897,6	5897,6	5897,6	5897,6	158,6	158,6	158,6	158,6
2 432 7,6	330	82,5	82,5	82,5	82,5	6081,9	6081,9	6081,9	6081,9	157,8	157,8	157,8	157,8
2 506 4,8	340	85,0	85,0	85,0	85,0	6266,2	6266,2	6266,2	6266,2	157,2	157,2	157,2	157,2
25 802	350	87,5	87,5	87,5	87,5	6450,5	6450,5	6450,5	6450,5	156,8	156,8	156,8	156,8

HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	
Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
824,8	824,8	824,8	824,8	3299,3
845,9	845,9	845,9	845,9	3383,4
867,3	867,3	867,3	867,3	3469,3
889,3	889,3	889,3	889,3	3557,2
911,9	911,9	911,9	911,9	3647,7
935,3	935,3	935,3	935,3	3741,2
959,6	959,6	959,6	959,6	3838,3
984,8	984,8	984,8	984,8	3939,2
1011,1	1011,1	1011,1	1011,1	4044,6

Bilaga 9. Teoretisk LNG-analys symmetrisk lastfördelning för 4 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	HM 1	HM 2	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
2950,7	40	20	20,0	1475,4	1475,4	204,4	204,4	301,5	301,5	603,0
3688,4	50	25	25,0	1844,2	1844,2	198,1	198,1	365,3	365,3	730,5
4426,1	60	30	30,0	2213,0	2213,0	192,2	192,2	425,4	425,4	850,7
5163,7	70	35	35,0	2581,9	2581,9	186,8	186,8	482,3	482,3	964,6
5901,4	80	40	40,0	2950,7	2950,7	181,9	181,9	536,6	536,6	1073,2
6639,1	90	45	45,0	3319,5	3319,5	177,4	177,4	588,7	588,7	1177,5
7376,8	100	50	50,0	3688,4	3688,4	173,3	173,3	639,2	639,2	1278,4
8114,4	110	55	55,0	4057,2	4057,2	169,7	169,7	688,5	688,5	1377,0
8852,1	120	60	60,0	4426,1	4426,1	166,5	166,5	737,1	737,1	1474,3
9589,8	130	65	65,0	4794,9	4794,9	163,8	163,8	785,6	785,6	1571,2
1 032 7,5	140	70	70,0	5163,7	5163,7	161,6	161,6	834,4	834,4	1668,8
1 106 5,2	150	75	75,0	5532,6	5532,6	159,8	159,8	884,0	884,0	1768,0
1 180 2,8	160	80	80,0	5901,4	5901,4	158,4	158,4	935,0	935,0	1869,9
1 254 0,5	170	85	85,0	6270,3	6270,3	157,5	157,5	987,7	987,7	1975,5
1 327 8,2	180	90	90,0	6639,1	6639,1	157,1	157,1	1042,8	1042,8	2085,7

Bilaga 10. Blueflow LNG-analys symmetrisk lastfördelning för 2 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	HM 1	HM 2	HM 3	
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)
1 327 8,2	180	60,0	60,0	60,0	4426,1	4426,1	4426,1	166,5	166,5	166,5	737,1	737,1	737,1	2211,4
1 475 3,5	200	66,7	66,7	66,7	4917,8	4917,8	4917,8	163,0	163,0	163,0	801,8	801,8	801,8	2405,4
1 549 1,2	210	70,0	70,0	70,0	5163,7	5163,7	5163,7	161,6	161,6	161,6	834,4	834,4	834,4	2503,2
1 622 8,9	220	73,3	73,3	73,3	5409,6	5409,6	5409,6	160,3	160,3	160,3	867,4	867,4	867,4	2602,1
1 696 6,6	230	76,7	76,7	76,7	5655,5	5655,5	5655,5	159,3	159,3	159,3	900,8	900,8	900,8	2702,5
1 770 4,2	240	80,0	80,0	80,0	5901,4	5901,4	5901,4	158,4	158,4	158,4	935,0	935,0	935,0	2804,9
1 844 1,9	250	83,3	83,3	83,3	6147,3	6147,3	6147,3	157,8	157,8	157,8	969,9	969,9	969,9	2909,8
1 991 7,3	270	90,0	90,0	90,0	6639,1	6639,1	6639,1	157,1	157,1	157,1	1042,8	1042,8	1042,8	3128,5

Bilaga 11. Blueflow LNG-analys symmetrisk lastfördelning för 3 HM

Generator		HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4	HM 1	HM 2	HM 3	HM 4
Last (kW)	Total Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (%)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	Last (kW)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)	SFOC (g/kWh)
1 991 7,3	270	67,5	67,5	67,5	67,5	4979,3	4979,3	4979,3	4979,3	162,7	162,7	162,7	162,7
2 139 2,6	290	72,5	72,5	72,5	72,5	5348,2	5348,2	5348,2	5348,2	160,6	160,6	160,6	160,6
2 213 0,3	300	75	75	75	75	5532,6	5532,6	5532,6	5532,6	159,8	159,8	159,8	159,8
2 286 8,0	310	77,5	77,5	77,5	77,5	5717,0	5717,0	5717,0	5717,0	159,1	159,1	159,1	159,1
2 360 5,7	320	80	80	80	80	5901,4	5901,4	5901,4	5901,4	158,4	158,4	158,4	158,4
2 434 3,3	330	82,5	82,5	82,5	82,5	6085,8	6085,8	6085,8	6085,8	157,9	157,9	157,9	157,9
2 508 1,0	340	85	85	85	85	6270,3	6270,3	6270,3	6270,3	157,5	157,5	157,5	157,5
2 581 8,7	350	87,5	87,5	87,5	87,5	6454,7	6454,7	6454,7	6454,7	157,2	157,2	157,2	157,2
HM 1	HM 2	HM 3	HM 4										
Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr (kg/h)	Mbr totalt (kg/h)									
809,9	809,9	809,9	809,9	3239,7									
859,1	859,1	859,1	859,1	3436,3									
884,0	884,0	884,0	884,0	3536,1									
909,3	909,3	909,3	909,3	3637,2									
935,0	935,0	935,0	935,0	3739,9									
961,1	961,1	961,1	961,1	3844,4									
987,7	987,7	987,7	987,7	3951,0									
1015,0	1015,0	1015,0	1015,0	4059,9									

Bilaga 12. Blueflow LNG-analys symmetrisk lastfördelning för 4 HM

1 PERFORMANCE DATA (Calculated values)

TYPE

Type designation: AMG 1120MR12 LSE

RATINGS

Output:	8191	kVA	Direction of rotation	
Duty:	S1		(Facing drive end):	CCW
Voltage:	6600	V	Weight:	32000 kg
Current:	717	A	Inertia:	3335 kgm ²
Power factor:	0.90		Protection by enclosure:	IP54
Frequency:	50	Hz	Cooling method:	IC8A1W7
Speed:	500	rpm	Mounting arrangement:	IM1101
Overspeed:	600	rpm		

STANDARDS

Applicable standard:	IEC
Marine classification:	LRS
Hazardous area classification:	None
Temperature rise stator / rotor:	F/F
Insulation class:	F

ENVIRONMENTAL CONDITIONS (max. values)

Ambient temperature min/max:	10 / 45	°C	Altitude:	1000	masl
Coolant temperature:	36	°C			

ASSUMED DATA

Driving equipment:		
Appr. mec. power:	7550	KW

EFFICIENCY in %

	load:	110 %	100 %	75 %	50 %	25 %
Efficiency @ power factor 0.90		97.61	97.64	97.59	97.19	95.46
Efficiency @ power factor 1.00		98.05	98.06	97.99	97.61	96.04

REACTANCES in %

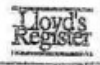
XD (U):	160.2	XD' (S):	29.6	XQ'' (S):	20.5	X0 (U):	10.1
XQ (U):	81.8	XD'' (S):	18.2	X2 (S):	19.3	XP (S):	24.4
X1 (U):	14.2	(S) = Saturated value, (U) = Unsaturated value					

TIME CONSTANTS (SEC.) AT 75 °C

Bilaga 13. Generatordata

		WÄRTSILÄ ITALIA, TRIESTE FACTORY									
		Installation		STX 1376							
		Engine type		8L50DF							
		Engine no		PAAE216486							
TESTRUN REPORT MEASUREMENTS		NO	6	7	8	9	10				
Date			24.1.2012	24.1.2012	24.1.2012	24.1.2012	24.1.2012				
Time			16:00	16:00	16:15	16:45	17:15				
GENERAL DATA											
Power	%		100	110	85	75	50				
Fuel			LFO	LFO	LFO	LFO	LFO				
Nominal Power	kW/m		7600	8360	6460	5700	3800				
Speed	rpm		500	500	500	500	500				
Measured Power Engine flange	kW/m		7625.0	8350.0	6450.0	5725.0	3800.0				
Brake load	kN		152.5	167.0	129.0	114.5	76.0				
Governor position/Fuel rack	pos / mm		7.4 50	7.7 54	6.5 42	6 40	4.8 30				
Waste gate position	C / O %		open 3	open 12	C	C	C				
Fuel oil consumption	kg/h		1511.0	1668.0	1253.0	1120.0	772.0				
Pilot fuel oil consumption	kg/h		2.4	2.4	2.4	2.4	2.4				
Total fuel oil consumption	kg/h		1513.4	1670.4	1255.4	1122.4	774.4				
Measured Specific fuel oil consumption	g/kWh		198.48	200.05	194.84	196.06	203.79				
Specific fuel oil consumption ISO 3046 / 1	g/kWh		198.81	198.30	192.69	194.29	202.04				
Gas consumption	Sm ³ /h										
Total specific consumption at flange	kJ/kWh										
Exhaust back pressure	mmWC										
CHARGE AIR											
Turbocharger speed	rpm		18710	18790	17340	16470	13450				
Barometric pressure/relative humidity	mbar / %		1007 16	1007 15	1007 16	1007 18	1006 16				
Charge air pressure	bar		3.70	3.70	3.15	2.75	1.90				
Inlet air temperature	°C		28	29	29	29	28				
Charge air temperature	°C		50	49	49	49	48				
EXHAUST GAS											
Temperature before turbine	°C		523	589	490	480	474				
Temperature after turbine	°C		336	374	325	326	367				
Temperature after cylinder no 1	°C		492	534	424	427	394				
Temperature after cylinder no 2	°C		471	507	442	406	380				
Temperature after cylinder no 3	°C		485	527	445	422	397				
Temperature after cylinder no 4	°C		493	433	455	433	409				
Temperature after cylinder no 5	°C		504	546	439	437	412				
Temperature after cylinder no 6	°C		487	527	437	419	402				
Temperature after cylinder no 7	°C		461	521	439	423	384				
Temperature after cylinder no 8	°C		491	536	448	434	403				
Mean value	°C		488	529	441	425	399				
CYLINDER LINER											
Cyl. Liner 1, cylinder no 1	°C		111	116	103	101	96				
Cyl. Liner 1, cylinder no 2	°C		109	114	103	100	96				
Cyl. Liner 1, cylinder no 3	°C		109	114	104	102	97				
Cyl. Liner 1, cylinder no 4	°C		110	114	104	102	97				
Cyl. Liner 1, cylinder no 5	°C		109	114	103	100	96				
Cyl. Liner 1, cylinder no 6	°C		109	114	104	101	96				
Cyl. Liner 1, cylinder no 7	°C		110	114	106	104	98				
Cyl. Liner 1, cylinder no 8	°C		112	116	107	104	99				
Mean value	°C		110	115	104	102	97				
COMBUSTION PRESSURE											
Cylinder no 1	bar		141.0	145.0	129.0	115.0	84.0				
Cylinder no 2	bar		144.0	146.0	129.0	118.0	85.0				
Cylinder no 3	bar		143.0	142.0	129.0	117.0	84.0				
Cylinder no 4	bar		143.0	143.0	129.0	118.0	85.0				
Cylinder no 5	bar		143.0	143.0	127.0	117.0	84.0				
Cylinder no 6	bar		142.0	143.0	127.0	117.0	84.0				
Cylinder no 7	bar		142.0	140.0	126.0	118.0	85.0				
Cylinder no 8	bar		144.0	145.0	127.0	119.0	84.0				
Pmax Average	bar		142.8	143.4	128.1	117.1	84.4				
INSTALLATION											
HI-cooling water temperature before engine	°C		78	78	77	76	76				
HI-cooling water temperature after engine	°C		82	83	81	81	80				
HI-cooling water pressure before engine	bar		4.5	4.5	4.5	4.5	4.5				
LI-cooling water temperature before c.a. cooler	°C		46	46	47	47	47				
LI-cooling water pressure before engine	bar		3.4	3.4	3.5	3.4	3.5				
Lube oil pressure before engine	bar		4.7	4.8	4.8	4.8	4.9				
Lube oil temperature before engine	°C		64	64	64	64	63				
Turbocharger lube oil pressure turbine side	bar		2.6	2.5	2.6	2.5	2.2				
Turbocharger lube oil temperature turbine side	°C		96	97	91	86	79				
Fuel oil temperature before engine	°C		24	21	22	23	24				
Fuel oil pressure before engine	bar		8.0	7.5	7.5	7.0	7.6				
Pilot fuel pressure inlet	bar		6.3	6.3	6.3	6.4	6.4				
Main gas pressure	bar		-	-	-	-	-				
Main gas injection duration reference	µs		-	-	-	-	-				
MFI timing ref.	dDeg		-	-	-	-	-				
PFI duration reference	µs		1300	1300	1300	1300	1300				
PFI timing reference	dDeg		250	250	250	250	250				
MAIN BEARINGS											
Bearing no 0, locating bearing	°C		83	84	84	83	83				
Bearing no 1	°C		81	82	80	80	78				
Bearing no 2	°C		87	88	86	84	81				
Bearing no 3	°C		68	69	67	66	63				
Bearing no 4	°C		68	69	67	66	63				
Bearing no 5	°C		66	67	66	65	61				
Bearing no 6	°C		66	67	66	65	62				
Bearing no 7	°C		65	67	65	64	61				
Bearing no 8	°C		68	68	69	66	63				
Bearing no 9	°C		68	68	69	67	63				
Mean value	°C		66.0	66.9	65.7	64.6	61.6				
Crankcase pressure	lloyd's register EMEA		0.9	1.0	0.8	0.8	0.4				

Moham
Trieste Office



Antonio
Wärtsilä Concessionary

Antonio
Wärtsilä Italia S.p.A.

Bilaga 14. data för HM 1

		WÄRTSILÄ ITALIA, TRIESTE FACTORY				
		Installation		STX 1375		
		Engine type		BL50DF		
		Engine no		PAAE218487		
TESTRUN REPORT MEASUREMENTS	NO	6	7	8	9	10
Date		25.1.2012	25.1.2012	25.1.2012	25.1.2012	25.1.2012
Time		13:45	14:45	15:00	15:30	16:00
GENERAL DATA						
Power	%	100	110	85	75	50
Fuel		LFO	LFO	LFO	LFO	LFO
Nominal Power	kWm	7600	8360	6460	5700	3800
Speed	rpm	500	500	500	500	500
Measured Power Engine flange	kWm	7600,0	8350,0	6450,0	5700,0	3800,0
Brake load	kN	152,0	167,0	129,0	114,0	76,0
Governor position/Fuel rack	pos / rtm	7,2 51	8,0 55	6,5 44	5,9 41	4,5 32
Waste gate position	C / O %	open 6	open 17	C	C	C
Fuel oil consumption	kg/h	1500,0	1660,0	1249,0	1112,0	765,0
Pilot fuel oil consumption	kg/h	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Total fuel oil consumption	kg/h	1502,4	1662,4	1251,4	1114,4	767,4
Measured Specific fuel oil consumption	g/kWh	197,68	199,09	193,88	195,51	201,95
Specific fuel oil consumption ISO 3046 / 1	g/kWh	196,03	197,42	192,18	193,87	200,21
Gas consumption	Sm ³ /h					
Total specific consumption at flange	g/kWh					
Exhaust back pressure	mmWC	-	-	-	-	-
Fuel oil leakage	kg/h			11		
CHARGE AIR						
	SIDE					
Turbocharger speed	rpm	18610	18620	17400	16550	13550
Barometric pressure/relative humidity	mbar / %	1013 10	1013 10	1013 10	1013 10	1013 10
Charge air pressure	bar	3,70	3,70	3,21	2,79	1,82
Inlet air temperature	°C	29	29	29	29	28
Charge air temperature	°C	50	50	49	49	49
Pressure drop over CAC	mbar					
EXHAUST GAS						
	SIDE					
Temperature before turbine	°C	520	571	482	469	463
Temperature after turbine	°C	376	371	311	313	350
Temperature after cylinder no 1	°C	487	538	446	424	363
Temperature after cylinder no 2	°C	456	505	422	400	362
Temperature after cylinder no 3	°C	482	532	439	421	386
Temperature after cylinder no 4	°C	495	547	454	432	403
Temperature after cylinder no 5	°C	506	556	487	441	408
Temperature after cylinder no 6	°C	498	550	452	430	404
Temperature after cylinder no 7	°C	500	549	451	431	398
Temperature after cylinder no 8	°C	482	542	448	427	402
Mean value	°C	490	540	447	426	393
CYLINDER LINER						
Cyl. Liner 1, cylinder no 1	°C	110	116	106	103	96
Cyl. Liner 1, cylinder no 2	°C	109	114	105	101	96
Cyl. Liner 1, cylinder no 3	°C	111	118	108	103	96
Cyl. Liner 1, cylinder no 4	°C	111	117	107	103	99
Cyl. Liner 1, cylinder no 5	°C	113	118	107	103	99
Cyl. Liner 1, cylinder no 6	°C	112	119	107	103	100
Cyl. Liner 1, cylinder no 7	°C	112	116	104	100	97
Cyl. Liner 1, cylinder no 8	°C	109	117	107	101	94
Mean value	°C	111	117	106	102	98
COMBUSTION PRESSURE						
Cylinder no 1	bar	135	136	124	110	80
Cylinder no 2	bar	138	138	125	112	81
Cylinder no 3	bar	135	135	123	112	79
Cylinder no 4	bar	137	138	125	113	82
Cylinder no 5	bar	136	138	124	111	81
Cylinder no 6	bar	135	138	123	110	79
Cylinder no 7	bar	135	138	122	110	81
Cylinder no 8	bar	138,0	140,0	124,0	114,0	82,0
Pmax Average	bar	136,1	137,3	123,8	111,5	80,6
INSTALLATION						
	SIDE					
HT-cooling water temperature before engine	°C	78	77	78	78	79
HT-cooling water temperature after engine	°C	82	82	82	81	81
HT-cooling water pressure before engine	bar	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
LT-cooling water temperature before c.a. cooler	°C	46	46	47	46	46
LT-cooling water pressure before engine	bar	3,6	3,6	3,5	3,6	3,6
Lube oil pressure before engine	bar	4,5	4,4	4,5	4,5	4,5
Lube oil temperature before engine	°C	60	61	61	60	60
Turbocharger lube oil pressure turbine side	bar	2,5	2,4	2,4	2,4	2,0
Turbocharger lube oil temperature turbine side	°C	95	96	92	88	78
Fuel oil temperature before engine	°C	35	34	33	41	41
Fuel oil pressure before engine	bar	8,0	8,0	8,0	8,0	8
Pilot fuel pressure inlet	bar	900,0	900,0	900,0	900,0	900
Main gas pressure	bar	-	-	-	-	-
Main gas injection duration reference	us	-	-	-	-	-
MFI timing ref.	dDeg	-	-	-	-	-
PFI duration reference	us	1300	1300	1300	1300	1300
PFI timing reference	dDeg	250	250	250	250	25
MAIN BEARINGS						
Bearing no 0, locating bearing	°C	81	81	81	81	80
Bearing no 1	°C	78	79	78	77	76
Bearing no 2	°C	84	85	84	82	80
Bearing no 3	°C	86	87	85	84	81
Bearing no 4	°C	87	88	86	85	83
Bearing no 5	°C	83	84	83	82	80
Bearing no 6	°C	84	84	83	83	80
Bearing no 7	°C	83	84	83	82	79
Bearing no 8	°C	84	85	83	82	80
Bearing no 9	°C	84	85	83	82	80
Mean value		83,4	84,2	82,9	82,0	79,9
Crankcase pressure	mbar	0,9	1,0	0,7	0,6	0,4

Lloyd's Register EMEA
 Trieste Office
 Lloyd's Register

Wärtsilä Italia S.p.A.
 Wäertsilä Italia S.p.A.

Bilaga 15. data för HM 2

6 Measurement results

Test cycle E2 at 7600 kW@500rpm

Mode	-	1	2	3	4
Start Time	hh:mm	11:24	11:55	12:21	12:55
Power	%	100	75	80	25
Speed	%	100	100	100	100
Engine test data					
Power	kW	7600.0	5700.0	3900.0	2000.0
Speed	rpm	500.0	500.0	500.0	500.0
Fuel consumption	kg/h	1461.9	1088.9	762.9	457.8
Uncorr. specific fuel consumption	g/kWh	192.4	191.0	200.8	229.0
Charge air temperature	°C	49.0	49.0	50.0	49.0
Charge air ref. temperature	°C	50.0	50.0	50.0	50.0
Charge air pressure	bar	3.70	2.80	1.80	0.70
Ambient and gaseous emission					
Exhaust gas temp. at samp. point	°C	306	298	322	325
Barometric pressure of intake air	mbar	1011	1012	1012	1012
Temperature of intake air	°C	22.4	22.5	23.1	23.2
Humidity of intake air	%	6.6	6.9	6.3	6.1
Humidity of intake air	g/kg	1.1	1.2	1.1	1.1
Atmospheric factor (Ia)	-	0.974	0.974	0.977	0.978
NOx (wet)	ppm	830.0	907.0	881.0	710.0
CO (dry)	ppm	33.0	36.0	63.0	125.0
HC (wet)	ppm	90.0	113.0	189.0	211.0
CO2 (dry)	%	5.88	5.52	5.62	5.47
O2 (dry)	%	12.98	13.57	13.44	13.66
Correction factors					
NOx humidity corr. factor (K _{hd})	-	0.894	0.894	0.893	0.895
Dry to wet correction factor (K _{wd})	-	0.956	0.958	0.958	0.958
Calculated gas mass flow					
NOx	kg/h	71.660	55.311	36.858	18.317
CO	kg/h	1.657	1.434	1.723	2.105
HC	kg/h	2.344	2.327	2.676	1.837
CO2	kg/h	4838.4	3452.0	2414.1	1446.8
O2	kg/h	7441.6	6170.3	4197.7	2627.0
Exhaust mass flow: Carbon balance	kg/h	54374.1	42968.6	29557.0	18176.9
Calculated specific emission					
NOx without K _{hd} correction	g/kWh	10.553	10.851	10.868	10.234
NOx	g/kWh	9.429	9.704	9.702	9.158
CO	g/kWh	0.218	0.252	0.453	1.053
HC	g/kWh	0.308	0.408	0.704	0.919
CO2	g/kWh	610.05	605.62	635.30	723.40
O2	g/kWh	979.16	1082.60	1104.86	1313.60
Weighting factors	-	0.20	0.50	0.15	0.15
Specific cycle emission					
Calculation in accordance with IMO NOx Technical Code 2008 and ISO 8178-1:2008					
	NOx	g/kWh	9.59		
	HC	g/kWh	0.44		
	CO	g/kWh	0.31		

		WÄRTSILÄ ITALIA, TRIESTE FACTORY				
		Installation STX 1376				
		Engine type BL50DF				
		Engine no PAAE216489				
TESTRUN REPORT MEASUREMENTS	NO	1	2	3	4	5
Date		8.2.2012	8.2.2012	8.2.2012	8.2.2012	8.2.2012
Time		11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
GENERAL DATA						
Power	%	25	50	75	85	100
Fuel		LFO	LFO	LFO	LFO	LFO
Nominal Power	kWh	1500	3000	4500	5000	6000
Speed	rpm	500	500	500	500	500
Measured Power Engine flange	kWm	1950.0	3800.0	5750.0	6450.0	7850.0
Brake load	kN	39.0	76.0	115.0	129.0	153.0
Governor position/Fuel rack	pos / mm	3.0 21	4.5 30	5.7 33	6.0 44	7.2 50
Waste gate position	C / O %	Closed	Closed	Closed	Closed	open 7%
Fuel oil consumption	kg/h	457.0	771.4	1104.0	1235.0	1505.0
Pilot fuel oil consumption	kg/h	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Total fuel oil consumption	kg/h	459.4	773.8	1106.4	1237.4	1507.4
Measured Specific fuel oil consumption	g/kWh	235.59	203.64	192.42	192.00	197.05
Specific fuel oil consumption ISO 3046 / 1	g/kWh	233.79	202.03	190.87	190.46	195.83
Sea pressure/air	Bar	-	-	-	-	-
Total specific consumption at flange	kg/kWh	-	-	-	-	-
Exhaust back pressure	mmWC	5	15	65	85	120
Fuel oil leakage	kg/h	-	-	-	12.5	-
CHARGE AIR						
Turboccharger speed	rpm	1300	13400	16500	17300	18520
Barometric pressure/relative humidity	mbar / %	1018 8	1018 7	1017 7	1018 7	1018 7
Charge air pressure	bar	0.58	1.54	2.75	3.14	3.70
Inlet air temperature	°C	26	26	27	28	27
Charge air temperature	°C	49	50	50	50	49
Pressure drop over CAC	mbar	16	25	36	36	42
EXHAUST GAS						
Temperature before turbine	°C	438	467	472	484	519
Temperature after turbine	°C	380	361	321	318	329
Temperature after cylinder no 1	°C	380	400	421	441	453
Temperature after cylinder no 2	°C	360	381	405	419	467
Temperature after cylinder no 3	°C	363	362	410	429	476
Temperature after cylinder no 4	°C	378	330	416	431	463
Temperature after cylinder no 5	°C	383	404	431	444	500
Temperature after cylinder no 6	°C	368	394	424	442	492
Temperature after cylinder no 7	°C	354	379	405	422	471
Temperature after cylinder no 8	°C	355	381	410	434	477
Mean value	°C	369	390	417	433	482
CYLINDER LINER						
Cyl. Liner 1, cylinder no 1	°C	92	96	100	102	108
Cyl. Liner 1, cylinder no 2	°C	92	97	101	104	110
Cyl. Liner 1, cylinder no 3	°C	94	96	102	105	111
Cyl. Liner 1, cylinder no 4	°C	92	96	103	104	110
Cyl. Liner 1, cylinder no 5	°C	93	98	104	106	112
Cyl. Liner 1, cylinder no 6	°C	93	97	102	106	111
Cyl. Liner 1, cylinder no 7	°C	93	96	100	104	111
Cyl. Liner 1, cylinder no 8	°C	93	97	101	105	111
Mean value	°C	93	97	102	105	111
COMBUSTION PRESSURE						
Cylinder no 1	bar	52.0	82.0	112.0	124.0	138.0
Cylinder no 2	bar	53.0	82.0	114.0	126.0	141.0
Cylinder no 3	bar	52.0	83.0	114.0	125.0	140.0
Cylinder no 4	bar	52.0	84.0	114.0	127.0	140.0
Cylinder no 5	bar	52.0	83.0	114.0	126.0	138.0
Cylinder no 6	bar	54.0	84.0	113.0	126.0	141.0
Cylinder no 7	bar	55.0	84.0	113.0	127.0	140.0
Cylinder no 8	bar	54.0	84.0	116.0	125.0	141.0
Pmax Average	bar	53.1	83.3	113.8	125.8	139.9
INSTALLATION						
HI-cooling water temperature before engine	°C	75	78	77	76	76
HI-cooling water temperature after engine	°C	79	80	81	80	82
HI-cooling water pressure before engine	bar	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5
LT-cooling water temperature before c.a. cooler	°C	48	49	48	47	45
LT-cooling water pressure before engine	bar	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Lube oil pressure before engine	bar	4.7	4.5	4.5	4.4	4.5
Lube oil temperature before engine	°C	62	63	63	64	61
Turboccharger lube oil pressure turbine side	bar	2.0	2.0	2.3	2.4	2.5
Turboccharger lube oil temperature turbine side	°C	71	79	86	92	96
Fuel oil temperature before engine	°C	27	26	25	25	20
Fuel oil pressure before engine	bar	8.0	8.0	8.0	8.2	8.4
Pilot fuel pressure inlet	bar	900	900	900	900	900
Main gas pressure	bar	-	-	-	-	-
Main gas injection duration reference	µs	-	-	-	-	-
MFI timing ref.	°Deg	-	-	-	-	-
PFI duration reference	µs	1300	1300	1300	1300	1300
PFI timing reference	°Deg	250	250	250	250	250
MAIN BEARINGS						
Bearing no 0, locating bearing	°C	78	78	79	80	79
Bearing no 1	°C	75	77	78	80	79
Bearing no 2	°C	77	80	84	84	86
Bearing no 3	°C	78	81	84	85	86
Bearing no 4	°C	79	83	86	86	87
Bearing no 5	°C	77	81	84	85	84
Bearing no 6	°C	79	83	85	86	86
Bearing no 7	°C	78	82	85	85	85
Bearing no 8	°C	79	82	85	87	87
Bearing no 9	°C	78	82	85	87	87
Mean value	°C	77.8	80.9	83.5	84.5	84.5
Lloyd's Register EMLA	mbar	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8

*Patricio Rodriguez
STX Finland Oy*

M. M. Trieste

Wärtsilä

Urbos Energia

Genencio S.p.A.

Bilaga 17. data för HM 4

ENGINE INFORMATION

Type	8L50DF
Nominal output	7600 kW
Site output	7600 kW
Nominal speed	500 rpm
Direction of rotation	Clockwise

Installation information

Customer	STX Finland Oy.
Owner	VIKING LINE
Installation	Main engine diesel electric
Newbuilding	STX 1376
Classification society(s)	LR
Project number	SP/00267.FS1-P11

Loading

Loading device	Hydraulic brake
Type	ZOLLNER 14N2N110F s.n. 3679
Test bed	TA2

Fuel

LFO	Viscosity	2,56	mm ² /s/40°C
	Density	0,8361	kg/dm ³ at 15°C
	Net calorific value	42600	kJ/kg
Methane	Density	0,70132	kg/m ³ at 15°C
	Net calorific value	34418	kJ/kg

Lubrication

System oil	AGIP CLADIUM 400S SAE 40
Turbo oil	AGIP CLADIUM 400S SAE 40
Governor oil	Agip OTE 68
Turning gear oil	Arnica

LA Malinje

CE John

Viktor Bengtsson

[Signature]
Wärtsilä Italia S.p.A.