

Examensarbete, Högskolan på Åland, Utbildningsprogrammet för Elektroteknik och
Maskinteknik

BATTERIPACK

Hannes Rundberg & Lucas Sjögren



2018:24

Datum för publicering: 4.4.2019
Handledare: Key Ginman

EXAMENSARBETE

Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Elektroteknik & Maskinteknik
Författare:	Hannes Rundberg & Lucas Sjögren
Arbetets namn:	Batteripack
Handledare:	Key Ginman
Uppdragsgivare:	Viking Line AB

Abstrakt:
<p>Syftet är att undersöka potentialen att installera ett batteripack på M/S Cinderella. Konsekvenserna av att åtgärder gjorts på M/S Cinderella för att minska elförbrukningen har i sin tur uppdagat problem med låg belastning på hjälpmotorerna.</p> <p>Uppdraget är att undersöka om det finns någon lönsamhet att installera batteripack och en plan om hur detta skulle förverkligas.</p> <p>Frågeställningar:</p> <ul style="list-style-type: none">- Vilken storlek på batteripack och var ska det placeras ombord på fartyget?- Hur omfattande styrsystem kommer behövas?- Besparingsmöjligheter?

Nyckelord (sökord):
Batteripack

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2018:24	1458-1531	Svenska	34

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
31.10.2018	30.09.2018	19.03.2019

DEGREE THESIS

Åland University of Applied Sciences

Study program:	Electro-technical Engineering & Marine Engineering
Author:	Hannes Rundberg & Lucas Sjögren
Title:	Powerpack
Academic Supervisor:	Key Ginman
Technical Supervisor:	Viking Line AB

Abstract:
<p>The purpose is to investigate the possibility to install a powerback onboard M/S Cinderella. The consequence of lowering electrical consumption has resulted in lower efficiency on the generators.</p> <p>The assignment is to research the if there is any profitability in installing a powerpack and make a project plan.</p> <p>Issues:</p> <ul style="list-style-type: none">- Dimensions and placement of powerpack?- How extensive control system is needed?- Possible savings?

Key words:
Powerpack

Serial number:	ISSN:	Language:	Number of pages:
2018:24	1458-1531	Swedish	34

Handed in:	Date of presentation:	Approved on:
31.10.2018	30.09.2018	19.03.2019

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	5
1.1 Syfte	5
1.2 Problem	5
1.3 Uppdragsgivare	6
1.4 Tillvägagångssätt	6
1.5 Avgränsningar	7
1.6 ordlista	7
2. M/S CINDERELLA	8
2.1 M/S Cinderellas Historia	8
2.1.1 Teknisk specifikation	8
2.2 Rutten för fartyget	9
3. ANVÄNDNING	11
3.1 Scenarier	11
3.1.1 Stockholms skärgård	11
3.1.2 Hamnanlöp/körning av bogar	11
3.1.3 Batteridrift hela fartyget	11
4. MÄTNINGAR	12
4.1 Blueflow	12
5. BATTERIPAKETET OCH UTRUSTNING	15
5.1 Typ av batterier	15
5.2 Corvus Energy Storage system, ESS	15
5.3 Inverter	16
5.4 Dieselgenerator	16
5.5 Komponenter landström	17
5.6 Brytare	17
5.7 Placering	18
5.8 Laddning/Urladdningshastighet (C-faktor)	20
5.6 Laddning/Urladdning	21
6. KLASSREGLER	23
7. BERÄKNINGAR	26
7.1 Bunkerbesparing	26
7.2 Reducerade driftstimmar	29
7.3 Total besparing	29
7.4 Kostnader	30
7.5 Avbetalningstid	30

8. SLUTSATS	32
KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING	33
BILAGOR	34

1. INLEDNING

1.1 Syfte

Genom åren har åtgärder gjorts åt M/S Cinderella för att minska elförbrukningen vilket resulterat i att det blir väldigt låg belastning på hjälpmotorerna.

Detta leder till väldigt dålig verkningsgrad, synnerligen i skärgården och de områden där Viking Lines egen policy är att använda två hjälpmotorer för omedelbar redundans.

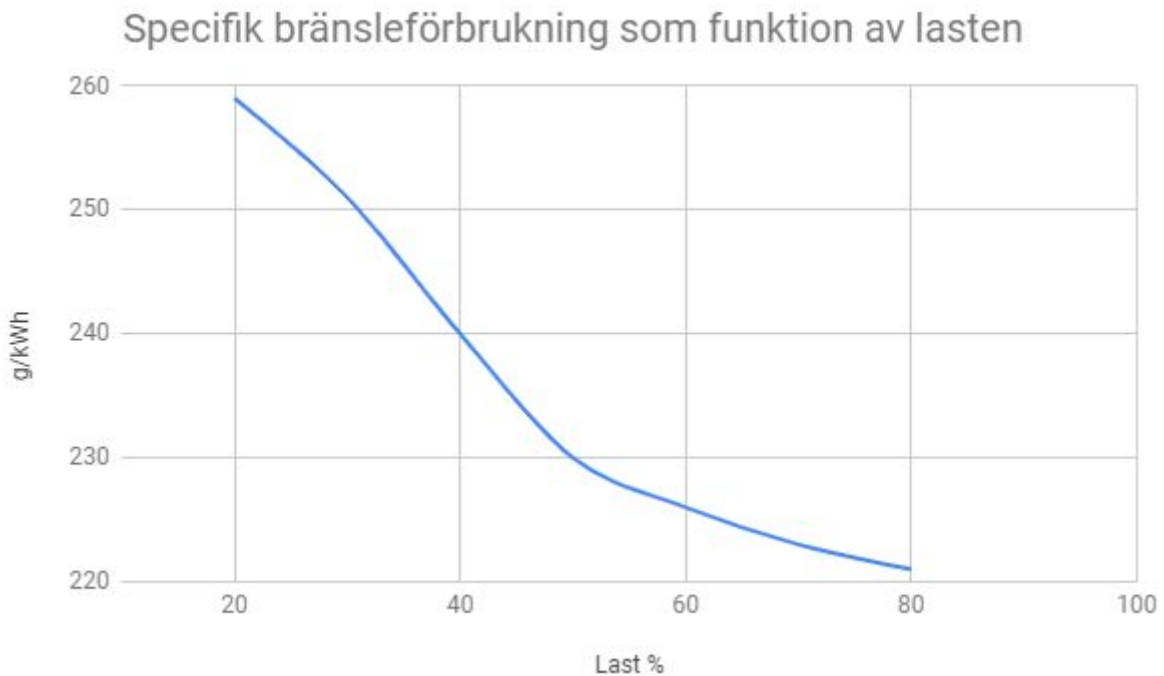
Under natten när Cinderella är ute på öppet hav så kan belastningen stundtals sjunka under 1 MW vilket är för låg belastning till och med för en hjälpmotor om den ska ha bra verkningsgrad. Syftet är därför att undersöka möjligheten att installera ett batteripack på fartyget för att då få en förbättrad verkningsgrad.

1.2 Problem

En dieselmotor är designad att arbeta med en viss belastning. Ökar eller minskar belastningen kommer verkningsgraden (SFOC) att minska. (fig1) (Carlsen, 2014) Hittills har bland annat dessa energisparprojekt gjorts på M/S Cinderella. (Pettersson, 2018)

- Lysrör har bytts ut och ersatts med LED-armaturer.
- Frekvensomvandlare på kylvattenpumpar.
- Optimering av golvvärmen i hytterna med hjälp av tidur.
- Nytt effektivare ventilationssystem.

Dessa förbättringar har lett till att energibehovet har minskat, men nu är dieselgeneratorerna "för stora" för det elbehov som finns. Att byta ut dieselgeneratorer är ett dyrt och omständigt projekt, samtidigt som det under vissa perioder finns ett stort elbehov, såsom på sommaren och vid hamnanlöp.



Figur 1. SFOC diagram över Cinderellas hjälpmotorer

1.3 Uppdragsgivare

Viking Line AB är ett finskt rederi som inriktar sig på passagerarfartyg. Rederiet startades 1959, och i nuläget har de 6st fartyg, ett med estnisk flagg, ett med svensk flagg samt fyra med finsk flagg. Fartygen trafikerar främst Finland-Sverige med hamnanlöp på Åland, både i Långnäs och Mariehamn. Det estniskflaggade fartyget trafikerar Finland-Estland.

Viking Line AB ligger i framkant vad gäller miljömedvetenhet och teknologi, till exempel var M/S Grace den första passagerarfärjan i världen med LNG-drift och moderna heat recovery systems¹. Ett nytt passagerarfartyg med samma drivmedel är beställt till år 2020.

Deras befintliga fartyg optimeras kontinuerligt med modern teknik och övervakningssystem för att få en så effektiv framdrift som möjligt.

1.4 Tillvägagångssätt

Vi har varit ombord och bildat oss en uppfattning om hur fartyget är konstruerat samt var batteripaketet skall placeras och samla in data för att göra kalkyler för dimensionering. Vi har

¹ System som omvandlar överskottsvärme till energi (tex Climeon)

använt oss av BlueFlow övervakningssystem som loggar all data vi behöver och använde oss sedan av Excel för beräkningar.

1.5 Avgränsningar

Detta examensarbete kommer behandla den minskade bunkerförbrukningen och reducerade driftstimmar av en installation och samt investeringskostnader som uppstår vid en installation. Vi kommer att ta upp en del av de klassregler som gäller men inte gå in på djupet. Vi kommer även att utesluta stabilitetsberäkningar.

1.6 ordlista

ESS = Energy Storage System (Batteripaketet)

HJM = Hjälpmaskin (Dieselgenerator)

HM = Huvudmaskin

SFOC = Specific Fuel Oil Consumption (Specifika bränsleförbrukningen)

DG = Diesel Generator (samma som HJM)

FW = Fresh Water (Färskvatten)

HFO = Heavy Fuel Oil (Tjockolja)

LNG = Liquefied Natural Gas (Flytande naturgas)

Bunker = Drivmedelsförråd (bränsle) på fartyg

MSWB = Main Switchboard (Huvudtavla)

UPS = Uninterruptible Power Supply (Avbrottsfri Strömförsörjning)

BB = Babord

SB = Styrbord

BMS = Battery Management System

MCR = Maximum Continuous Rating (Maximala effekten en generator klarar av att leverera)

AE = Auxiliary Engine (samma som HJM)

Thermal Runaway = Termisk Rusning

SOH = State of Health (batteriernas skick)

DC = Direct Current (likström)

AC = Alternating Current (växelström)

Avg = Average (medel)

2. M/S CINDERELLA

2.1 M/S Cinderellas Historia

M/S Cinderella byggdes 1989 i Åbo, på beställning av ett annat kryssningsrederi, men rederiet sade upp kontraktet. Därför fick SF line (Viking Line) köpa M/S Cinderella förmånligt. M/S Cinderella har gått linjerna Helsingfors- Stockholm, Helsingfors-Tallinn samt en del andra kryssningar. Idag går hon Stockholm-Mariehamn.

2.1.1 Teknisk specifikation

Byggd: 1989, Wärtsilä, Åbo, Uppgraderad 2003

Isklass; 1A SUPER

GT/NT: 46.398/29.223

Längd: 191 m

Bredd: 29 m

Djupgång: 6,74 m

Fart: 21,5 knop

Passagerare: 2560

Bäddplatser: 2500

Personbilar: 100

Filmeter: 760 m

Huvudmotorer:

4 x Wärtsilä Sulzer 12 V ZA 40 S

28.800 kW (ca 38 600 hk totalt)

Hjälpmotorer:

4 x Wärtsilä Vasa 6 R 32 E

4 x 2460 kW (ca 13 195 hk totalt)

2 x Ångpannor

8 x Avgaspannor

2 x Fenstabilisatorer

Propelleraxel 2 st: diameter 48 cm, längd 34 m, vikt 43 000 kg

Propeller 2 st: diameter 5,2 m, vikt 27 250 kg

Katalytisk avgasrening på alla hjälp- och huvudmotorer

Genomsnittsförbrukning HFO 34 t/dygn

Elförbrukning 32 000 - 48 000 kWh/dygn

FW förbrukning / Grävatten, ca 200 ton/dygn

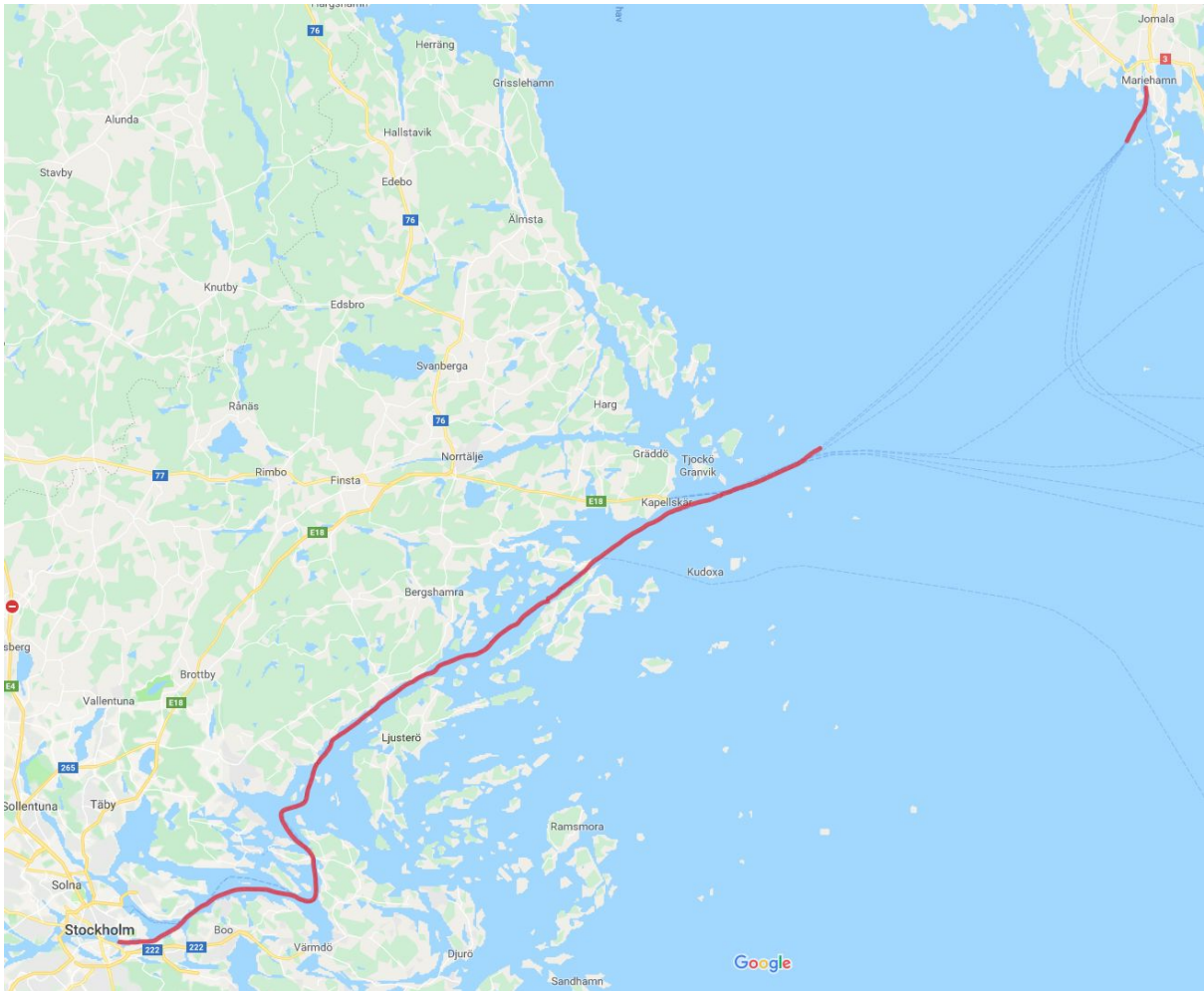
2.2 Rutten för fartyget

M/S Cinderella kör dygnskryssningar från Stockholm med följande tidtabell.(tab 1)

Tabell 1. Turlista för M/S Cinderella

Stockholm		Mariehamn		Fartyg
18.00	>	07.15		Cinderella
15.15	<	09.00		Cinderella

Tanken är att Batteripacket ska ersätta en av DG vid röda områden i figuren nedan.(fig 2)



Figur 2. M/S Cinderella går mellan Stockholm och Mariehamn. Inom skärgården används 2 DG

3. ANVÄNDNING

3.1 Scenarier

Vi använder oss av tre olika driftsituationer för användning av ESS. Dessa utgör grundidén och kan sedan vidareutvecklas med storleken på ESS.

3.1.1 Stockholms skärgård

Viking Line har som krav att använda två DG i skärgården, även om det teoretiskt skulle vara möjligt att använda en. Med ett batteripack som UPS kan man köra en DG och således få ner den specifika bränsleförbrukningen.

3.1.2 Hamnanlöp/körning av bogar

Vid hamnanlöp används Bow thrusters² för att kunna manövrera fartyget lättare. Dessa kräver impulsivt mycket ström och behöver då en extra DG för att kunna användas. Ett batteripack skulle kunna användas som peak shaving³ där man låter batteriet ta last när förbrukningen är hög under en kort stund.

3.1.3 Batteridrift hela fartyget

Nattetid driver M/S Cinderella på havet med HM avstängda och endast en DG igång för elförsörjningen. Med ett batteripack kunde man stänga av HJM och låta batteriet ta all belastning under en viss tid.

² Bogpropeller är placerade i fören och används för att kunna flytta fartyget i sidled.

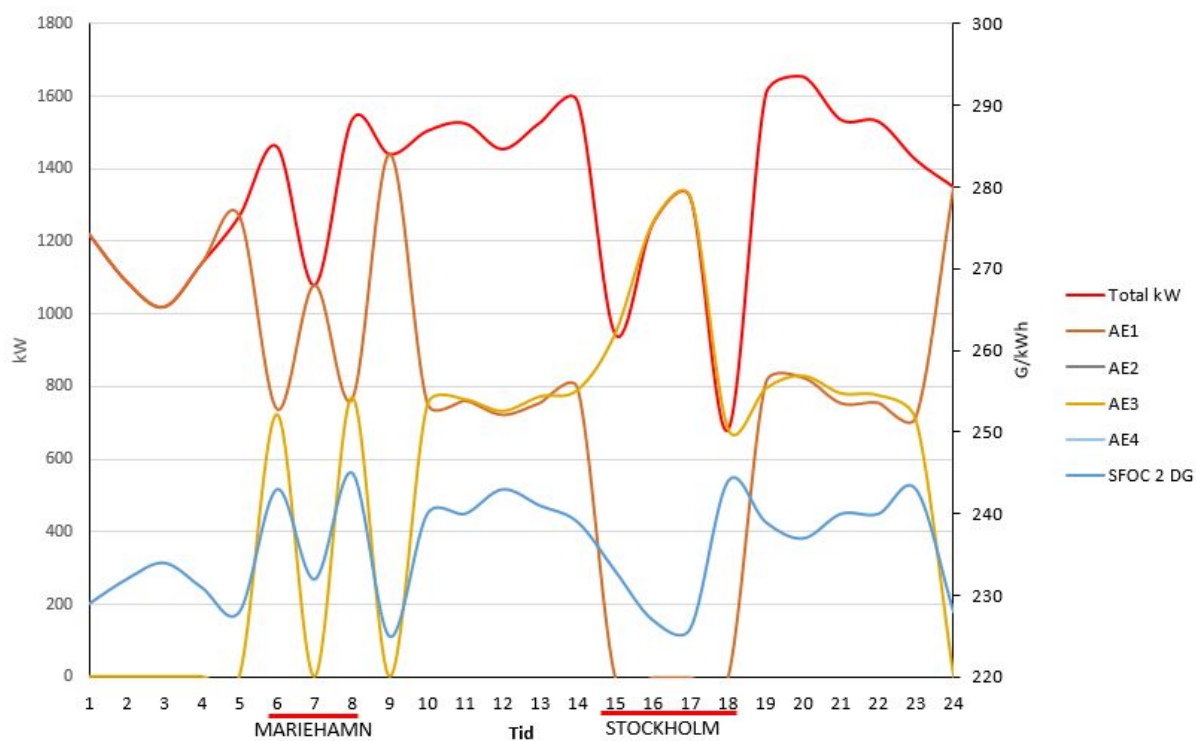
³ Peak shaving låter batteriet ta en del av den höga belastningen för att dieselgeneratorerna i drift inte skall bli överbelastade.

4. MÄTNINGAR

4.1 Blueflow

Ombord har BlueFlow Management system installerats vilket loggar och sparar erforderlig data. Vi använder oss av dessa värden för våra beräkningar.

Dessa mätningar användes nedan till att skapa en driftprofil under ett dygn (16.3.2018) (fig 5)



Figur 5. Ett dygn loggad data över både DG belastning samt SFOC för 2 st DG

Som synes i diagrammet stiger den specifika bränsleförbrukningen direkt då fartyget kommer in i Stockholms skärgård (ca kl 10) och startar upp en till DG.

Som lägst har vi mätt upp SFOC till ca 225 g/kWh, vilket uppnås med en DG i drift och med hög belastning. I medeltal var SFOC 235,8 g/kWh under denna resa (fig 6)(tab 2), och 236,3 g/kWh utslaget på en ettårsperiod.(tab 2)



Figur 6. Ett skärmsklipp från BlueFlow där all erforderlig data är sparad

Tabell 2. Loggad data över perioden 01.11.2017-31.10.2018 samt under 16 mars 2018

	01.11.2017-31.10.2018		16.3.2018	
Month	SFOC g/kWh avg	Days	SFOC g/kWh	TID
Nov	244	30	229	01.00
Dec	238	31	232	02.00
Jan	239	31	234	03.00
Feb	236	28	231	04.00
Mar	237	31	228	05.00
Apr	238	30	243	06.00
May	234	31	232	07.00
Jun	230	30	245	08.00
Jul	234	31	225	09.00
Aug	234	31	240	10.00
Sep	235	30	240	11.00
Oct	237	31	243	12.00
Avg:	236,3		241	13.00
			239	14.00
			233	15.00
			227	16.00
			226	17.00
			244	18.00
			239	19.00
			237	20.00
			240	21.00
			240	22.00
			243	23.00
			228	00.00
			235,8	

5. BATTERIPAKETET OCH UTRUSTNING

5.1 Typ av batterier

I dag finns det främst två typer av batterier att tillgå, bly samt litiumbatterier, där båda har sina för och nackdelar. Vi har i detta fall helt uteslutit blybatterier eftersom det skulle bli alldeles för tunga och stora för att få plats.

5.2 Corvus Energy Storage system, ESS

Corvus Energy är ett kanadensiskt bolag som startade 2009. De fokuserar på marina battery management system BMS för lagring av energi. Idag använder mer än 90% av alla stora kommersiella hybridfartyg Corvus ESS.

Till dessa hör Bland MF Ampere, världens första helelektriska bilfärja. Rederiet Scandlines som trafikerar i Östersjön har i dagsläget m.h.a Corvus ESS 6st hybridfärjor.

Corvus ESS har två lösningar.

En av dessa är att investera i en container som kommer färdigt med batterier och elektronik för övervakning av BMS.

Den andra är att ha batterierna och elektronik lösa i moduler vilket möjliggör bättre anpassningsmöjligheter.

I Cinderellas fall kommer en container medföra stora modifikationer för att få på plats, därför bör befintligt rum (STORE) göras om och förberedas med rack för batterimodulerna.

Corvus ESS innehåller endast batterimoduler och övervakning av dessa. Resterande Inverter och ev. transformator förses från annan leverantör.

Batterimodulernas storlek är 870 mm x 710 mm. Höjden på ett pack är beroende på max likströmsspänning. På det pack vi har valt är höjden 2200 mm och kapaciteten är 125 kWh. 9 av dessa kommer åtminstone att behövas, 1125 kWh totalt. Detta standardpack har Max spänning 1100 VDC, nominell spänning 980 VDC och minimum spänning 870 VDC samt vikt 1,55 ton. Det finns både i luftkylda och vattenkylda format. Fördelen med vattenkyllning är att då kommer inte extra ventilation vara ett krav från klassen. ("Orca ESS Solutions", 2018).

5.3 Inverter

En inverter är en elektronisk enhet som omvandlar likström till växelström. Invertern i sig producerar ingen effekt, utan effekten kommer ifrån likströmskällan. Eftersom fartygets nät är växelström och ESS är likström, behövs en inverter för att koppla dessa två tillsammans. Invertern styrs sedan via ett avancerat plc-system som samtidigt ligger och övervakar hela fartygets olika parametrar. Styrning av invertern gör det möjligt att fördela lasten mellan ESS och HJM. I detta fall vill vi att HJM ska arbeta på så optimal belastning som möjligt, alltså ska HJM ta största delen av lasten. Tanken är då att invertern kör batteriet på så nära 0% last som möjligt och att invertern och batteriet är inkopplat och redo för ett eventuellt bortfall av en HJM då Cinderella kör i skärgården.

Invertern bör reagera snabbt utifall en HJM skulle av någon anledning lösa ur. Invertern måste snabbt kunna ta över all last som HJM tidigare har haft. Ett sådant här system kallas för "Black-out prevention". (Personlig kommunikation med Robert Wittback, Sales Manager Electrical & Automation, Callenberg Technology Group). Batterierna Vi har undersökt kan vanligtvis leverera 3C upp till 12min vilket ska räcka gott och väl tills man fått tillbaka en DG. (Personlig kommunikation med Håvard Frøland, Technical Sales Engineer CORVUS ENERGY INC)

Inverter klarar av att justera utgående AC spänning inom ett visst intervall. Varje typ av inverter har olika kapaciteter till detta. Detta behövs eftersom vartefter batteripaketet laddas ur sjunker även spänningen. Vanligt är då att invertern har en cut-off voltage för att skydda batteriet mot för djup urladdning.

5.4 Dieselgenerator

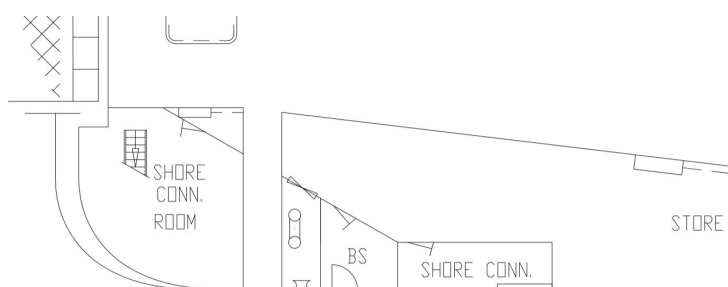
4 x Wärtsilä Vasa 6 R 32 E är installerade ombord, med en teoretisk eleffekt på 2460 kW. Om en DG belastas med 85% i mer än 5 sekunder eller 95% i mer än 1 sekund skickar PMS startkommando att starta upp och fasa in en DG till. Således kan vi låta en DG belastas med ca 2MW ensam på nätet.

5.5 Komponenter landström

I dagens läge ser landströmsanslutningen ut så här. (fig 3.) En förlig landströmsanslutning är tillbyggd och tanken är den skall fungera som den ordinarie landströmsanslutningen, så kan vi använda den aktra för att ansluta batterierna till MSWB via “shore connection”. (fig 4.)



Figur 3. Den befintliga landströmsanslutningen i aktern.



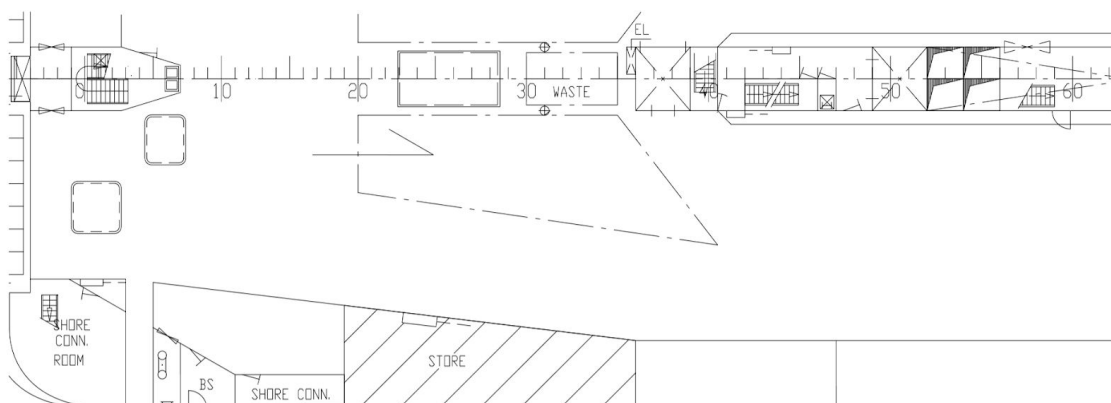
Figur 4. Ritning över landströmsanslutning på bildäck SB-sida.

5.6 Brytare

En brytare utan backeffektsskydd är nödvändig, för att batteriet skall kunnas laddas och laddas ur. Den befintliga brytaren saknar backeffektsskydd men bör enligt rekommendationer ändå bytas om en installation görs då dom befintliga är original. (Personlig kommunikation med Ronny Karlsson, Superintendent Electro Technical Superintenden, Viking Line)

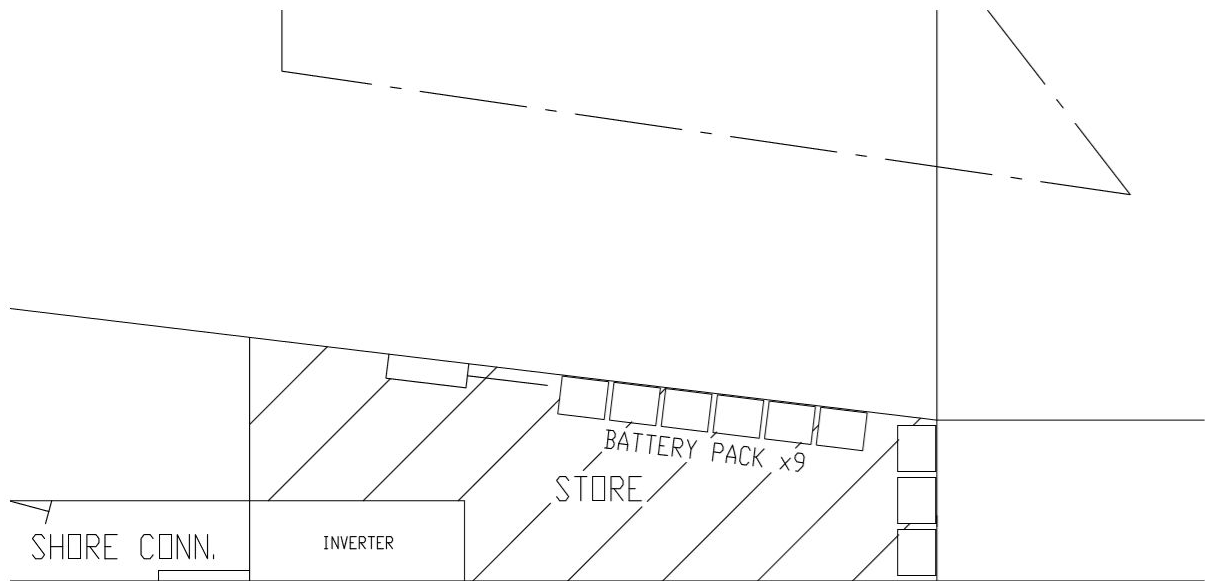
5.7 Placering

Lämpligaste stället att placera batteripaketet skulle vara styrbords sida på bildäck (DK 3) enligt rederiets önskemål. Där finns torr tankar, sk. Voidar som skulle lämpa sig då dessa utrymmen nu är förråd (STORE). Det är dessutom nära till landströmsanslutningen som kan användas för att koppla in batteriet (fig 7). För eventuell framtida utveckling med större batterikapacitet eller för att kompensera för slagsida som ges av en installation på SB-sida, finns motsvarande voidar på BB-sida.



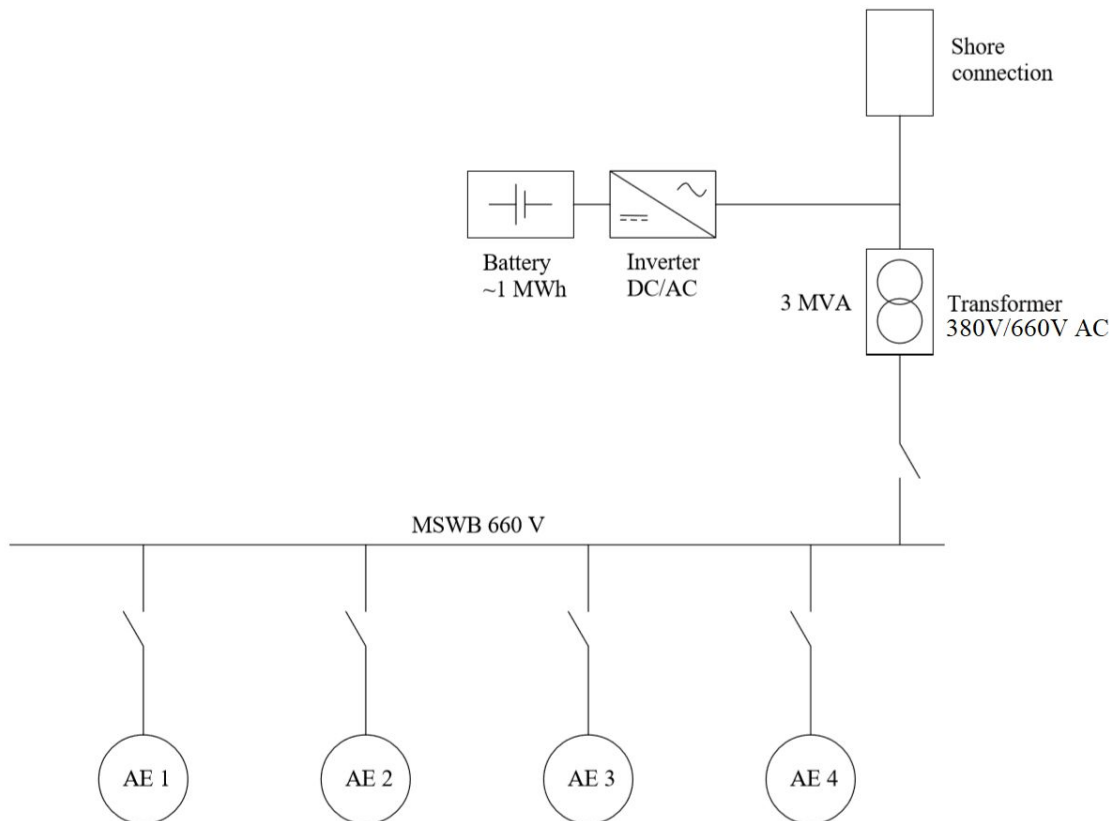
Figur 7. Ritning över bildäck SB-sida, aktern.

Ett upplägg med 9 st moduler och inverter/transformator kunde se ut på följande sett: (fig 8)



Figur 8. Ritning över bildäck SB-sida, aktern med batterier installerade.

Nedan har vi gjort en schematisk bild över hur inkopplingen av batteriet kunde ske.(fig 9)



Figur 9. Power management med batterier installerade på samma brytare som är för landström.

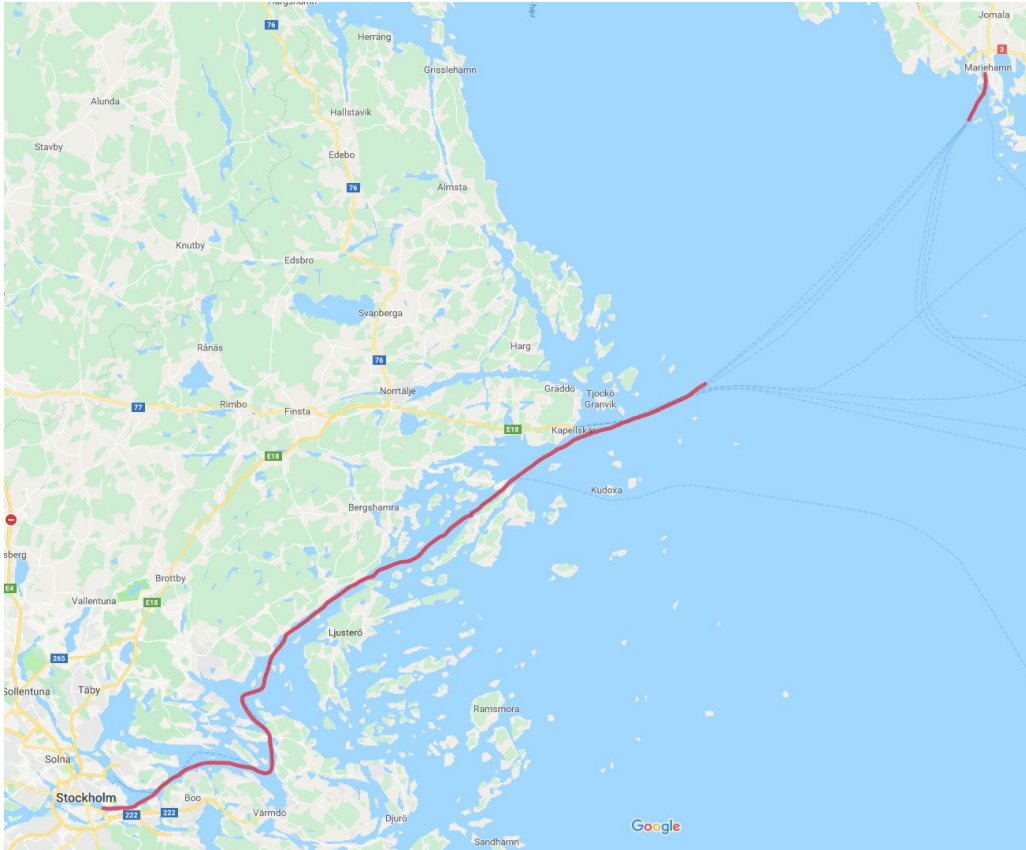
5.8 Laddning/Urladdningshastighet (C-faktor)

C-faktor anger hur snabbt laddning/urladdning sker. Som exempel om vi laddar ur ett 1,0 MWh batteri med 1000 W momentan last kommer batteriet laddas ur på 1h och således är C-faktorn 1 C. Skulle vi ladda ur det på ½h blir faktorn 2 C, vilket fortfarande är väl inom rekommenderade urladdningsgränser för moderna litiumbatterier. ([What Is C rate 2017](#)) Corvus batterier klarar av 6 C.

Samma räkneregler gäller för laddning, som exempel kan ges att om en DG går med 1500 W belastning finns teoretiskt ca 500 W tillgängligt av MCR som kan användas för att ladda batterier. Detta skulle ge en C-faktor på ½ C.

5.6 Laddning/Urladdning

Beroende på var fartyget befinner sig kan batteripaketet användas på lite olika sätt. (fig 4)



Figur 4. M/S Cinderella går mellan Stockholm och Mariehamn. Inom skärgården används 2 DG

Som exempel kunde denna strategi gå att använda:

- Laddning Mariehamn

En stor del av batteriladdningen skulle kunna ske i Mariehamn under hamnuppehållet (2 h), då är den övriga strömförbrukningen relativt låg.

- Efter hamnuppehållet kunde batteriet användas för “peak shaving” när bogarna körs. Här skulle batteriet bli urladdat till en viss del.

- Resterande laddning kunde ske på havet från Mariehamn in till Stockholms skärgård, vilket tar ca 1 ½ h.

Laddningshastigheten skulle här kunna anpassas så att batteriet laddas med det överskott som finns tillgängligt, till exempel om lasten är 1200 kW kunde batteriet laddas med resterande 200 kW. Även om batteriet här inte hinner bli fulladdat alla gånger blir det såpass mycket laddat att det klarar av att driva alla viktiga förbrukare under en viss tid ifall den enda DG som är inkopplad hoppar ur när fartyget navigerar i Stockholms skärgård.

- Ingående Stockholms skärgård.
Här används batteriet som backup ifall den enda DG som är inkopplad hoppar ur.
- Hamnanlöp Stockholm.
Här används batterierna som “peak shaving” för körning av bogar, och under hamnuppehållet kan sedan full laddning ske under ca 3 h.
- Utgående Stockholms skärgård.
Här används batteriet som backup ifall den enda DG som är inkopplad hoppar ur.
- Drift på havet.
Här kan batterierna vara den enda strömkällan under ca 1h, då huvudmaskinerna är avstängda.

6. KLASSREGLER

Klassen ställer stora krav på att konfigurationen av ett batteripack skall följa regler och standarder för att säkerställa säker drift.

Ett batterirum klassas som maskinrumsutrymme och har därför krav på bland annat konstruktion, brandisolering och släcksystem. Här är ett par punkter som måste följas för att en installation och användning av batterier skall vara möjligt:(DNVGL, 2015)

2.2.1 Batterirummet skall placeras akter om kollisionskottet. Batterirummets struktur skall vara en del av fartyget och med samma hållfasthet.

2.2.2 Batterirummet skall inte innehålla andra system , kablar eller rör som hör till fartygets drift för att undvika förlorad framdrift eller styrförmåga i händelse av “thermal runaway”

2.2.3 Batterirummet skall inte innehålla värmekällor eller föremål med hög brandrisk.

2.3.1.2 Följande skall ge larm vid en bemannad station:

- Hög omgivningstemperatur
- Fel i ventilationssystemet (Ej nödvändigt för vätskekylda batterier, 2.3.1.1.)

2.4.1.1 Batterirummet ska klassas som ett maskinrumsutrymme.

2.4.1.2 Batterirummet skall ha A-0 brandintegritet som omsluter hela utrymmet, samt ha A-60 brandintegritet mot övriga maskinrumsutrymmen.

2.4.1.4 Batterierna skall placeras med tillräckligt skydd (avskilningsplattor eller tillräckligt långt ifrån varandra) för att undvika eskalerande brand i händelse av termisk rusning.

2.4.1.5 Tillträde skall ske genom normalt stängda dörrar med alarm, eller självstängande dörrar.

2.4.2.1 Rökdetektor skall finnas i batterirummet och brandlarm skall ges till bryggan.

2.4.3.1 Ett fast släckninssystem skall finnas som är godkänt för maskinrum

2.5 Safety assessment

Följande skall man gå igenom i en säkerhetsbedömning:

- Risk identifiering
- Riskbedömning
- Riskkontroll (åtgärder för att kontrollera och minska riskerna)
- Åtgärder i händelse av tillbud.

3.2.3.1 Energy Management System (EMS) skall finnas.

3.2.3.4 Följande parametrar skall kunna övervakas från bryggan:

- Batteriernas tillgängliga energi
- Batteriernas tillgänglig effekt
- Återstående tid batterierna kan användas

3.4.1 Användningsföreskrifter skall finnas ombord och skall innehålla

- Laddningsprocedur
- Normala användningsprocedurer för batterisystemet
- Lokal drift av systemet

3.4.2 Underhåll

Underhållsplan skall finnas ombord och skall innehålla verifierade procedurer med hänsyn till SOH

4.1.2.1 Alla faror skall beskrivas i ett säkerhetsdatablad och åtgärder för att minska riskerna skall finnas. Säkerhetsdatabladet skall täcka alla potentiella faror som det kemiska innehållet i batterierna har och åtminstone täcka:

- Gasutveckling
- Brandrisk
- Dränkningsrisk
- Explosionsrisk
- Nödvändig detektions och larmutrustning
- En vedertagen släckningsmetod
- Fel i battericeller / thermal runaway
- Intern och extern kortslutning
- Extern upphettning / brand
- Säker laddning/urladdnings karaktär

4.1.4 Battery alarms

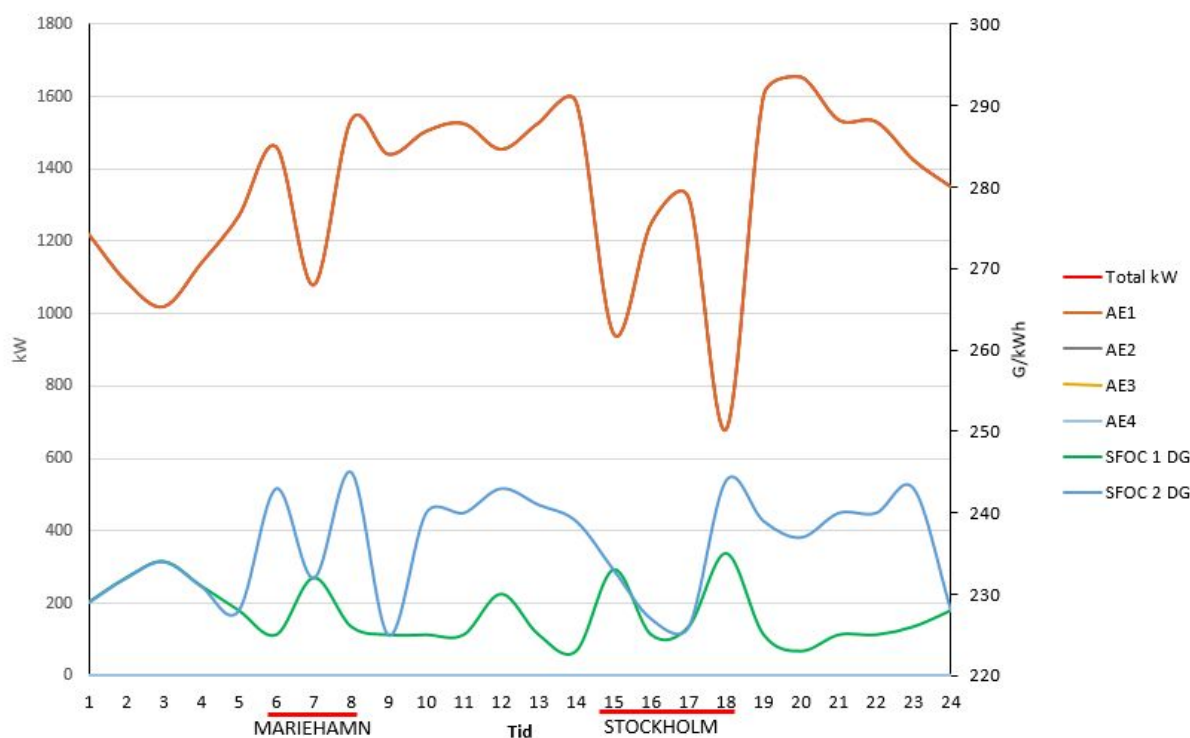
4.1.4.3 Följande skall ge alarm

- Hög celltemperatur
- Över- och underspänning
- Battery shutdown
- Obalanserad cellspänning
- Trippar för batteribrytare
- Övriga säkerhetsfunktioner

7. BERÄKNINGAR

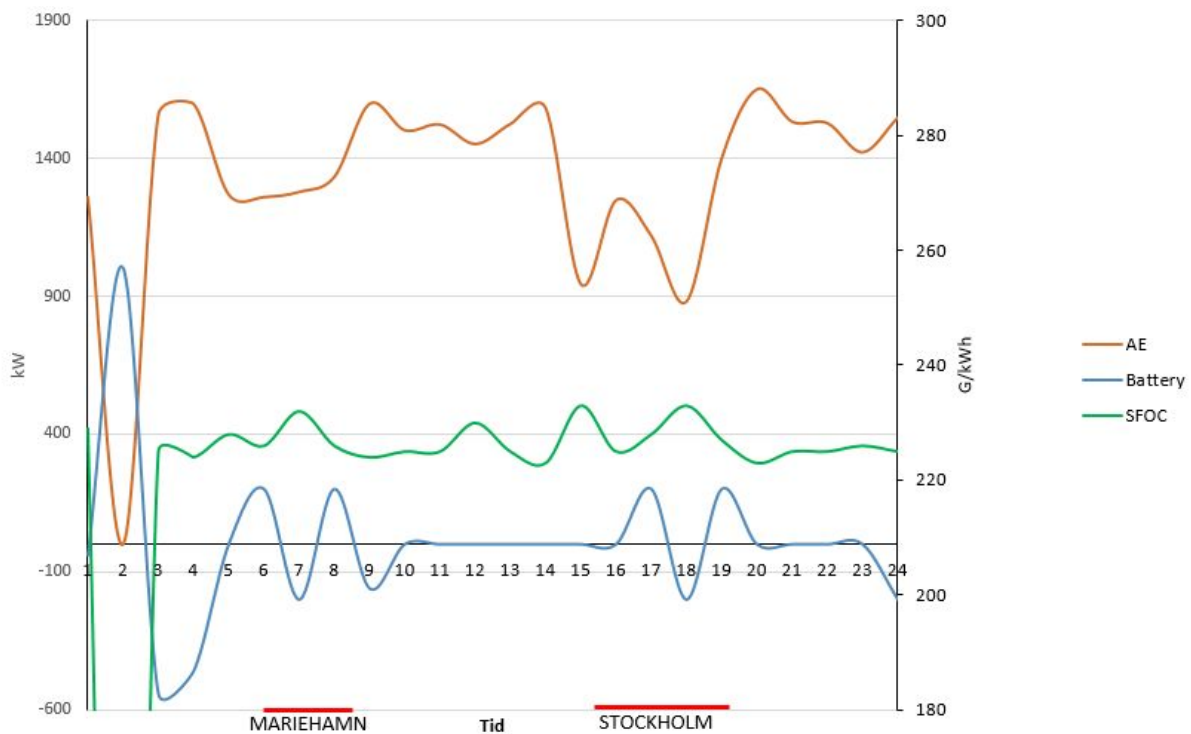
7.1 Bunkerbesparing

Här är en resa simulerad med 1 DG i drift. SFOC är taget ur Blueflow vid andra tillfällen med liknande lastförhållanden och endast en DG i drift, som jämförelse har vi med SFOC för 2 DG i drift. (fig 10)



Figur 10. Simulerad driftprofil där endast 1 DG är i drift

Vid den simulerade resan med 1 DG var den specifika förbrukningen i medeltal 227,5 g/kWh. Vidare simulerade vi en resa med 1 DG i drift och laddning/urladdning av batterier. (fig 11) SFOC är taget ur blueflow med liknande lastförhållanden. Eftersom laddning av batterierna gör att belastningen ökar, minskar SFOC ytterligare. Den delen av batterikurvan som är negativ är när batteriet laddas.



Figur 11. Simulerad driftprofil där endast 1 DG är i drift och batterierna är aktivt inkopplade.

Vid den simulerade resan med 1 DG i drift och laddning/urladdning av batterier sjönk SFOC ytterligare lite, till 226,6 g/kWh. Detta beror på att vi kan ladda batterierna under vad som annars vore låglastförhållanden. Vidare kan vi utnyttja den lagrade energin i batterierna och få ner topplaster samt köra helt på batteridrift 1h under natten. Räknan vidare i vårt exempel för 16.03.2018 skulle vi få en bunkerbesparing på ca 300 kg/dygn. (tab 3)

Tyvärr är lasten olika hög från dag till dag så detta är inget vedertaget sätt att beräkna på, därför har vi istället valt att använda Blueflows logg för att månatligen räkna ut den minskade bunkerkonsumtionen. (tab 4)

Tabell 3. Beräknad besparing utgående från våran simulering

Total consumption	32052	kWh
SFOC normal (2x DG)	235,8	g/kWh
SFOC battery + 1x DG	226,6	g/kWh
Savings	9,2	g/kWh
Saving/day	295	kg
Saving/year	108	ton
Saving/year	56829	€

Vi kan anta att detta system kan användas fullt ut 8 månader i året (September - April) när ej AC-kompressorerna och dylikt som har en hög kontinuerlig strömförbrukning är i drift, vilket kräver att 2 DG används. (tab 4)

Tabell 4. Beräknad besparing utgående från dom månader vi kan använda systemet.

<i>Month</i>	<i>Energy AE all (kWh)</i>	<i>Bunker savings (kg)</i>
Oct	1110000	10212
Nov	1000000	9200
Dec	1010000	9292
Jan	1030000	9476
Feb	945000	8694
Mar	1030000	9476
Apr	1040000	9568
May	1250000	
Jun	1210000	
Jul	1490000	
Aug	1440000	
Sep	1220000	11224
<u>Summa</u> <u>Sep-Apr</u>	<u>8385000</u>	<u>77142</u>
	Bunkerkostnad €/ton	Årlig besparing
	528	40 712€

7.2 Reducerade driftstimmar

Ytterligare en fördel med att bara köra en DG är betydligt mindre driftstimmar vilket direkt kan kopplas till halnings- och serviceintervaller, något som kostar både arbetstid och pengar. Vi har räknat med en genomsnittlig kostnad för turbin, kolv och övriga reparationer på 3 €/h. (Tab 5)

Tabell 5. Beräknad besparing av reducerade driftstimmar.

Turbinhalning		60 000€	60 000 h
Övriga halningar		60 000€	30 000 h
Start	Stopp	Tid i drift (h)	Plats
05:20	06:05	0,75	in till Mariehamn
07:45	08:15	0,5	ut från Mariehamn
10:00	15:10	5,2	in till Stockholm
17:55	23:30	5,6	ut från Stockholm
	Summa	12,05	h/dygn
	Extra DG i drift	2892	h/år
	Halningskostnad	3	€/h
	Årlig inbesparing	8676	€

7.3 Total besparing

Tabell 6. Beräknad total besparing per år

Reducerade bunkerkonsumtion	77,14	ton	å	528	40 712€
Reducerade driftstimmar	2892	h	å	3	8 676€
Total					49 388€

7.4 Kostnader

Det kommer behövas 4 huvudkomponenter för att en installation skall bli möjlig:

- Batterier
- Brytare
- Inverter
- Styrsystem

Batterier har vi fått pris på 730 000\$ för 9 st moduler. Brytarna ombord har undersökts och dessa saknar bakeffektskydd och skulle därför teoretiskt kunna användas, Dock kommer det troligtvis att behöva bytas till modernare brytare. Inverter och styrsystemet har vi ej lyckats få någon offert på, men vi estimerar kostnaden till 100 000€(tab 7)

Tabell 7. Total investeringskostnad

	Antal	å	total
Batterier	9	72 000€	648 000€
Inverter/Styrsystem		100 000€	100 000€
Brytare	-	-	-
Kablar/ övrigt			100 000€
Summa			848 000€

7.5 Avbetalningstid

Avbetalningstiden styrs till stor del av bunkerkostnaden. Över en tid har kostnaderna stigit för bunkerolja men nu nyligen sjönk priset kraftigt. Detta gör det svårt att göra någon exakt kalkyl för avbetalningen, men en hänvisande går alltid att göra. Här nedan är en kalkyl räknat på 10 år, vilket är batteriernas förväntade livslängd. (tab 8)

Tabell 8. Besparingar under 10 år.

Reducerade bunker och drifttimmar		49 388€	10	493 885€
Investeringskostnad		84 800€	10	848 000€
Total				-354 115€

Som synes kommer en installation med 9 batterier aldrig att återbetala sig i om dess förväntade livslängd på 10 år. Det skulle krävas ett orimligt högre bunkerpris för att få en återbetalningstid innan batterierna .

Ett alternativ till att ha ett aktivt batteripack med 9 moduler skulle vara att använda 3st moduler och endast använda dom ifall dieselgeneratormen slår ur. Isåfall sjunker investeringskostnaden betydligt medans den årliga besparingen endast minskar nämnvärt. (tab 9)

Tabell 9. Besparingar med mindre moduler.

Reducerade bunker och drifttimmar		45 406€	10	454 057€
Investeringskostnad		41 600€	10	416 000€
Total				38 057€

Detta alternativ skulle ge en lite mindre årlig besparing, men samtidigt sjunker investeringskostnaden med över hälften. Efter just under 10 år är installationen återbetald, men då är det även dags att byta ut batterierna.

8. SLUTSATS

Avbetalningstiden styrs till största delen av den fluktuerande bunkerkostnader samt att batterierna håller under hela sin förväntade livslängd och inte behöver bytas ut i förtid. Ett problem med att bara använda batterier för elförsörjning 1h på havet och sedan köra 1 HJM med batterierna som backup är att man inte vinner så mycket i förbättrad bränsleekonomi som vi kanske trodde från början, en klar förbättring skulle vara om man kunde använda enbart batterier under flera perioder men då saknas redundans som är vitalt när man navigerar i trånga farvatten.

Ett alternativ till vårt arbete kunde vara att enbart ha tillräckligt stor batterikapacitet att man klarar nödvändig last, och låta non-essential förbrukare trippa tills man fått igång en DG igen. Detta skulle bli en betydligt mindre investeringskostnad, samtidigt som man kan köra en DG istället för två. Men även en sådan installation har en lång återbetalningstid, och det krävs ett betydligt högre bunkerpris för att komma ner i återbetalningstid. Möjligheten att få stöd har inte tagits upp i detta arbete, då bär sig inte helt själv enligt våra kalkyler kunde det vara ett sett att möjliggöra en installation.

Ett sådant här projekt har förutom den mätbara ekonomiska aspekten, en "omätbar" miljövänlig aspekt som kan användas i positivt syfte att locka passagerare. Den reducerade bunkeranvändningen påverkar tex direkt till minskade utsläpp.

KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING

Carlsen, A. (2014). Diesel-Electric Generator Load Optimization. Hämtad från

<https://core.ac.uk/download/pdf/154675690.pdf>

DNVGL. (2015). RULES FOR CLASSIFICATION, 15.

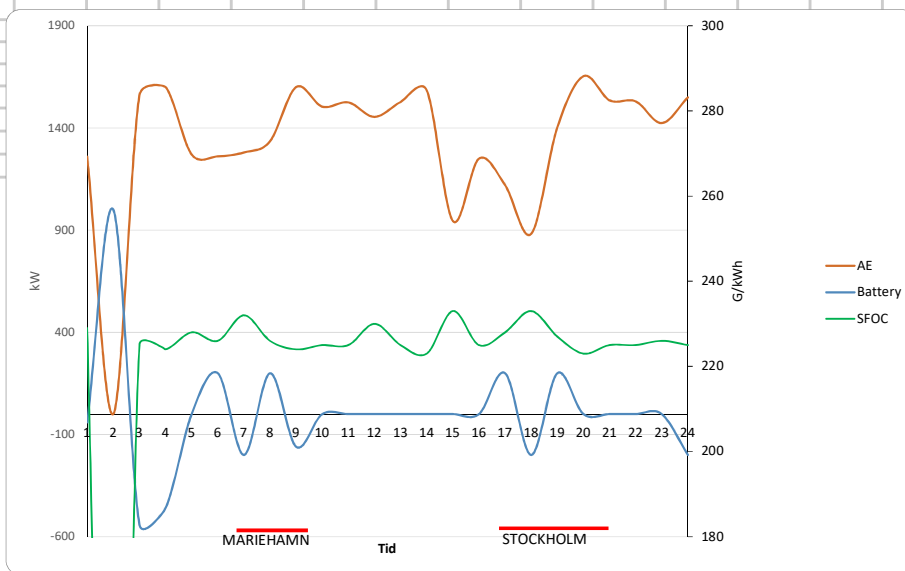
Orca ESS Solutions. (2018). Hämtad från <https://corvusenergy.com/technology-specifications/>

Pettersson, J. (2018, februari 27). Ålands Sjöfart, s. 24.

BILAGOR

Neste RMB 30 Stockholm		
Månad	€/ton	
jan.-18	497,64	
feb.-18	468,43	
mars-18	468,45	
apr.-18	504,19	
maj-18	559,23	
juni-18	553,48	
juli-18	554,8	
aug.-18	561,76	
sep.-18	581,88	
okt.-18	-	
nov.-18	-	
dec.-18	-	
Medelpris -18	527,76	€

Driftsprofil 16.3.2018																									
Summa 24 h																									
AE	32052	1260	0	1560	1600	1270	1261	1280	1335	1600	1504	1525	1454	1527	1584	945	1250	1120	882	1403	1653	1535	1530	1424	1550
AE without	32052	1220	1000	1020	1140	1270	1461	1080	1535	1440	1504	1525	1454	1527	1584	945	1250	1320	682	1603	1653	1535	1530	1424	1350
Battery loading	1800	40		540	460			200		160									200						200
Battery unloading	1800		1000				200		200									200		200					
Battery		-40	1000	-540	-460	0	200	-200	200	-160	0	0	0	0	0	0	0	200	-200	200	0	0	0	0	-200
SFOC 1 DG		229	232	234	231	228	225	232	226	225	225	225	230	225	223	233	225	226	235	225	223	225	225	226	228
SFOC		229	0	225	224	228	226	232	226	224	225	225	230	225	223	233	225	228	233	227	223	225	225	226	225
SFOC 2 DG		229	232	234	231	228	243	232	245	225	240	240	243	241	239	233	227	226	244	239	237	240	240	243	228
TID EXCEL		01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	00.00
SFOC norm	235,8																								
SFOC BAT	217,2																								
Savings	18,6																								
Dygnsförbr	7558																								
batt	6961																								
Savings	597																								



Start	Stopp	Tid i drift (h)	Plats
05:20	06:05	0,75	in till Mariehamn
07:45	08:15	0,5	ut från Mariehamn
10:00	15:10	5,2	in till Stockholm
17:55	23:30	5,6	ut från Stockholm
		12,05	h/dygn
	Extra DG i drift	2892	h/år

2.2 Arrangement

2.2.1 Battery spaces shall be positioned aft of collision bulkhead. Boundaries of battery spaces shall be part of vessels structure or enclosures with equivalent structural integrity.

2.2.2 The battery space shall not contain other systems supporting essential vessel services, including pipes and cables serving such systems, in order to prevent loss of propulsion or steering upon possible incidents (e.g. thermal runaway) in the battery system, unless the potential loss of essential services is within the acceptance criteria stated in Pt.4 Ch.1 Sec.3 [2.3.4].

2.2.3 The battery space shall not contain heat sources or high fire risk objects.

Guidance note:

High fire risk objects are objects similar to those listed in SOLAS Reg. II - 2/3.31. Heat sources are sources with temperature higher than 220 °C as used in SOLAS Reg. II-2/4.2.2.6.1.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.3 Operational environment control

2.3.1 Temperature control

2.3.1.1 Battery systems shall be arranged within a space with ventilation that can provide air with temperature control of the ambient temperature. The temperature control (max/min temperature) shall follow recommendations given by the battery maker. For liquid cooled battery system, such ventilation system is not required.

Guidance note:

The lifetime of the batteries is temperature dependent.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.3.1.2 The following shall give an alarm at a manned control station:

- high ambient temperature in battery space
- failure of ventilation.

2.3.1.3 The following shall be monitored and presented at a manned control station:

- ambient temperature of battery space
- indication of ventilation running.

2.3.1.4 The ventilation system for battery spaces shall be independent ducting system from any other heat and air condition system (HVAC) serving other spaces and arranged with mechanical air supply.

2.3.1.5 The ventilation systems shall be arranged with automatic stop upon confirmed fire within the battery space.

Fail-safe arrangement of the automatic stop shall be provided.

Guidance note:

The safe state is considered as fans running.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.3.1.6 Local operation of ventilation shall be possible upon any failure in the remote or automatic control system.

2.3.1.7 If liquid cooled batteries are used, independent mechanical exhaust ventilation system is required for extracting possible battery vapour in an abnormal situation.

2.3.2 Hazardous area

2.3.2.1 Depending on the chemistry of the batteries as defined by the safety description given in [4.1.2] it may be needed to classify the battery space, where flammable gas may arise, according to the zones definitions given in IEC 60079-10-1. This classification shall be used as a basis to support the proper selection and installation of equipment for use in the hazardous area. The hazardous area plan for the battery space, shall be a part of the complete hazardous area plan for the vessel.

2.3.2.2 If explosion protected equipment (Ex equipment) is needed then the equipment selection shall comply with the zone requirements given in Pt.4 Ch.8 Sec.11.

2.3.2.3 If a failure/damage of the batteries can lead to release of flammable gases, then gas detection shall be arranged.

The air at the exhaust outlet shall be monitored and give an alarm at 30 % LEL and interlocked to ensure automatic disconnection of the batteries. It shall de-energise any electrical circuit within the space upon detection exceeding 60% LEL (lower explosion limit) These LEL conditions shall give alarm at bridge.

A fail-safe arrangement of the 60% LEL trip shall be provided.

Guidance note:

A failure in the gas detection system should not lead to disconnection or de-energising of the batteries.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.3.2.4 In cases where batteries will cause flammable atmosphere upon leakage/damage, an additional emergency mechanical exhaust fan and emergency inlet direct from open air shall also be arranged. The exhaust fan shall be of non-sparking type and have capacity of not less than 6 air changes per hour. The emergency fan shall be manually operated and possible to operate even when a fire is detected in the battery space.

2.4 Fire safety for battery spaces

2.4.1 Fire integrity

2.4.1.1 Battery spaces shall with reference to SOLAS Reg. II-2/3.30 be defined as a machinery space. With respect to structural fire protection as given in SOLAS Reg. II-2/9.2.2.4 and 2.2.3 the battery room shall be defined as other machinery spaces with the additional requirements given in sub-sections [2.4.1.2] and [2.4.1.3]. Battery spaces are considered as not normally manned.

For High Speed Light Crafts (HSLC) a fire safety assessment, to ensure levels of safety which are equivalent to the conventional SOLAS regulations / definitions used in this sub-section, shall be presented to the Society with respect to Fire Safety in HSC Code Chapter 7.

2.4.1.2 Fire integrity of battery spaces for class notation **Battery(Power)** shall be enclosed by A-0 fire integrity and have A-60 fire integrity towards:

- machinery spaces of category A as defined in SOLAS Reg. II-2/3
- enclosed cargo areas for carriage of dangerous goods.

2.4.1.3 Fire integrity of battery spaces for class notation **Battery(Safety)** shall be enclosed by A-0 fire integrity with additional A60 insulation towards muster stations and evacuation stations.

2.4.1.4 Battery systems within the battery space shall be arranged with sufficient protection (partition plates or sufficient distance in accordance with maker recommendation) to prevent escalation between battery modules in case of a thermal runaway.

2.4.1.5 Access to the space shall be through normally closed doors with alarm or self-closing doors.

2.4.2 Fire detection

2.4.2.1 Battery spaces shall be monitored by conventional smoke detection within the spaces. Smoke detection shall comply with the international code for Fire Safety Systems (FSS Code).

Guidance note:

The thermal management by the BMS, for the battery cells, is the primary indicator of incidents which may lead to possible overheating and fire.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.4.2.2 Battery space fire alarm shall be given at the bridge. The alarm shall comply with the FSS Code.

2.4.3 Fire extinguishing

2.4.3.1 Battery spaces shall be protected by a water-based fixed fire extinguishing system approved for use in machinery spaces of category A as given in SOLAS Reg. II-2/10 and the FSS Code.

Guidance note:

As there are no established test criteria or approved fire extinguishing systems for battery spaces/protection of battery installation in accordance with SOLAS or the FSS Code, an alternative fire extinguish system could be considered.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.4.3.2 If automatic release of fire extinguishing media is designed, the activation shall be based on a voting principle (e.g. 2 out of N).

2.5 Safety assessment

The arrangement of the battery spaces shall be such that the safety of passengers, crew and vessel is ensured. This shall be documented by a safety assessment with the following steps:

- identification of hazards (a list of all relevant accident scenarios with potential causes and outcomes)
- assessment of risks (evaluation of risk factors)
- risk control options (devising measures to control and reduce the identified risks)
- actions to be implemented.

Conformance and non-conformance with the requirements in [2.2], [2.3] and [2.4] shall also be included in the safety assessment.

Guidance note:

The safety assessment should cover all potential hazards represented by the type (chemistry) of battery and cover at least:

- gas development risk (toxic, flammable, corrosive)
- fire risk
- explosion risk
- necessary detection and alarm systems (gas detection, fire detection etc.) and ventilation
- external risks (fire, water ingress etc.)
- loss of propulsion or auxiliary power for essential or important services.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

The safety assessment shall be based on the actual battery that is going to be used. The safety description for the battery, as required in [4.1.2.1], shall be used as a basis.

For High Speed Light Crafts (HSLC) the safety assessment shall be a part of the fire safety assessment of the vessel.

2.6 System design

2.6.1 General

2.6.1.1 The outgoing circuits on a battery system shall, in addition to short circuit and over current protection, be provided with switchgear for isolating purposes so that isolating for maintenance is possible.

2.6.1.2 Emergency disconnection of the battery system (as required in [4.1.2.4]) shall be arranged at the following locations:

- adjacent to (outside of) the battery space
- navigation bridge (for **Battery(Power)** class notation).

2.6.1.3 Emergency disconnection shall be arranged as hardwired circuit and separated from cables used for control, monitoring and alarm functions.

Guidance note:

Requirements in Pt.4 Ch.8 Sec.2 are applicable.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.6.2 Battery charger

2.6.2.1 The charger shall communicate with and operate within the limits given by the battery management system.

2.6.2.2 The charger shall be designed with the needed capacity specified by the battery application.

2.6.2.3 The charger shall be designed to prevent exceedance of the specified current level (C-rates) and voltage level.

Guidance note:

The limitation of current and voltage levels from the charger is in addition to the BMS limitations.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.6.2.4 Charging failure shall give alarm at a manned control station.

2.7 Testing

2.7.1 Testing

A test plan for the installation on-board the vessel shall be submitted for approval. This plan shall include:

- test of correct interface between the charger and the battery system
- test of alarms and safety functions
- test of functions in the battery space (e.g. possible ventilation, liquid cooling, gas detection, fire detection, leakage detection) as installed.

2.8 Operation and maintenance

2.8.1 Operation

Instructions for emergency operation shall be kept on-board.

The emergency operation procedures shall include actions for handling the batteries in case of an external fire and the event of an internal thermal incident in one battery module.

2.8.2 Maintenance

A plan for systematic maintenance and function testing shall be kept on-board showing in detail how components and systems shall be tested and what shall be observed during the tests.

3 Design principles for Battery(Power) notation

3.1 General

The requirements given for **Battery(Safety)** in [2] shall be fulfilled.

3.2 System design

3.2.1 Battery system

3.2.1.1 When the main source of power is based on batteries only, the main source of power shall consist of at least two independent battery systems located in two separate battery spaces.

3.2.1.2 The cables from the battery system to the main switchboard shall follow the routing requirements as given in Pt.4 Ch.8 Sec.2 [9.5].

3.2.1.3 A battery system shall be able to supply the short circuit current necessary to obtain selective tripping of downstream circuit breakers and fuses.

3.2.1.4 It shall be possible to operate the battery system locally. This local operation shall be independent from any remote control systems.

3.2.2 Battery capacity

3.2.2.1 When a battery system is regarded as main source of power (replaces one of the required main source of power in Pt.4 Ch.8 Sec.2 [2.1.1] b), then the capacity of the battery shall be sufficient for the intended operation of the vessel. The design capacity shall be stated in the appendix to the class certificate as an operational limitation.

3.2.2.2 When battery systems are used as redundant power sources for dynamic positioning, the capacity (available power and available energy) of the battery systems shall be sufficient for the planned operation.

3.2.2.3 The SOC and SOH of the battery systems shall be monitored and available for the operator.

3.2.2.4 In case of over-temperature in a battery system, a request for manual load reduction shall be issued both visually and acoustically on the bridge. Alternatively an automatic load reduction can be arranged.

3.2.3 Energy Management System, EMS

3.2.3.1 Energy Management System (EMS) shall be installed.

3.2.3.2 For battery systems providing power to main and/or redundant propulsion or dynamic positioning, the energy management system shall provide a reliable measure of the available energy and power, taking into consideration the batteries SOH and SOC.

3.2.3.3 The EMS system shall be designed in such a way that the battery temperatures are kept within specified limits. This shall be done by limiting the:

- maximum charge and discharge current rates (C-rates)
- maximum and minimum battery voltages, i.e. over charging and excessive discharge.

3.2.3.4 The following parameters shall be provided with remote monitoring at the navigating bridge:

- available energy of the batteries
- available power of the batteries
- remaining time or range that the battery can supply energy for the planned operation/voyage

3.2.3.5 An individual alarm shall be given at the navigating bridge when the battery reaches minimum capacity as required for intended operation or voyage of the vessel.

3.3 Testing

3.3.1 Testing

The following additional tests, supplementary to the tests stated in [2], shall be included in the test plan:

- verification of SOH. This shall be performed by a complete charge/discharge cycle or other method as documented by the manufacturer
- charging and discharging capacities to verify maximum C-rates as specified for the intended operation of the vessel.

3.4 Operation and maintenance

3.4.1 Operation

Operating instruction shall be kept on-board and shall include the following in addition to the emergency procedures stated in [2]:

- charging procedure
- normal operation procedures of the battery system
- local operation procedure.

3.4.2 Maintenance

A maintenance plan for the battery system shall be kept on-board and shall include verification procedures for SOH in addition, to the elements stated in [2]

4 Battery system

4.1 Battery system design

4.1.1 General

The requirements given in this section are related to lithium battery systems.

Guidance note:

Battery systems with other chemistries will be considered on a case by case basis. The main principles in this section will be applied.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

4.1.2 Safety

4.1.2.1 All hazards shall be described in a safety description. Safety precautions mitigating the identified risks shall be included.

The safety description shall cover all potential hazards represented by the type (chemistry) of battery and at least cover:

- potential gas development (toxic, flammable, corrosive)
- fire risk

- submersion risk
- explosion risk
- necessary detection and alarm systems (gas detection, fire detection etc.) and ventilation for the battery space
- a suitable fire extinguish method must be given
- internal cell failure/thermal runaway
- internal and external short circuit
- external heating/fire
- safe charging/discharging characteristics.

4.1.2.2 The battery system shall have an integrated Battery Management System (BMS). (See [4.1.3] for details).

4.1.2.3 The battery charging equipment shall interface with and operate within the limits given by the BMS.

4.1.2.4 Battery systems larger than 50 kWh shall be equipped with an independent emergency shutdown for disconnection of the battery system.

4.1.2.5 For sealed batteries, a safety pressure valve or other means of explosion protection (weak point) shall be included in the battery design.

4.1.2.6 A possible cell thermal runaway shall be confined at lowest level possible.

Guidance note:

The design of a module should inhibit thermal propagation from cell to cell or at least be confined within the module.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

4.1.2.7 The main power connectors shall have integrated "High Voltage Interlock Loop" (HVIL) contact (last make/first break) which open the power contactor.

4.1.3 Battery Management System

4.1.3.1 The Battery Management System (BMS) shall :

- provide limits for charging and discharging to the charger
- protect against overcurrent, over-voltage and under-voltage)
- protect against over-temperature
- control cell balancing.

4.1.3.2 The following parameters shall be measured:

- cell voltage
- cell temperature
- battery string current.

4.1.3.3 The following parameters shall be indicated at local control panels or in remote workstations:

- system voltage
- max, min and average cell voltage
- max, min and average cell temperature

Guidance note:

The values may be calculated in an external system.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

4.1.3.4 The following parameters shall be calculated and be available for the Energy Management System (EMS):

- state of charge of the batteries (SOC)
- state of health of the batteries (SOH).

Guidance note:

Methods for estimating SOC and SOH should be based on best industry practice for the relevant battery technology. Such methods may use a combination of measurements, electrochemical models and prediction algorithms, and take factors such as battery characteristics, operating temperature, charge rates, cell aging and self-discharge into account.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

4.1.4 Battery alarms

4.1.4.1 Any abnormal condition in the battery system shall initiate an alarm in the vessel's main alarm system with individual or group-wise indication. For vessels without a centralised main alarm system, battery alarms shall be presented at the bridge.

4.1.4.2 Abnormal conditions that can develop into safety hazards shall be alarmed before reaching the hazardous level. Sensors and other components used for such alarms shall be separate from emergency shutdown or other protective safety functions.

4.1.4.3 The following battery failures shall give an alarm:

- high cell temperature
- over and under voltage
- battery shutdown
- unbalanced cell voltage
- tripping of battery breakers/contactors
- other safety protection functions.

4.1.5 Safety functions

4.1.5.1 Activation of protective safety functions shall give alarm.

Failures in the protective safety system rendering the safety function out of operation shall be detected and give alarm.

For batteries providing power to essential vessel services, failures in the protective safety system shall be detected, alarmed, but not cause shutdown of the battery system.

For batteries used on vessels with class notation **Battery(Safety)**, failures in the protective safety system shall be detected, alarmed and cause shutdown of the battery system.

4.1.5.2 Battery protection shall be arranged for excessive temperatures in the batteries.

This protection shall be arranged with components independent from those used for the required temperature indication, alarm and control functions.

If temperature sensors are arranged in close vicinity within the battery module so that loss of functionality of a broken sensor element or circuitry will be mitigated by a neighbouring sensor, the sensor element/circuitry can be common for indication, alarm, control and safety functions. Such arrangements shall still be designed with single fault tolerance in CPUs and other electronic parts of the system. The objective is that no single failure shall cause loss of both safety and alarm functions at the same time.

4.1.5.3 Other fail-safe and independent protective functions shall be implemented if the battery type or design used comprises additional hazards.

4.1.6 Materials

The battery casing, covering modules and cells, shall be made of a flame-retardant material.

4.1.7 Ingress protection

The requirements for IP rating of the batteries depends on the location. As a minimum, IP 44 is required.

Guidance note:

IP 44 is required as a minimum based on the use of water-based fire extinguishing system in the battery space. If other extinguish system is used then the minimum IP rate can be reduce but not lower than IP2X for low voltage (< 1500 Vdc) installations or IP32 for high voltage (> 1500 Vdc) installations.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

4.1.8 Signboards

Relevant parts of Pt.4 Ch.8 Sec.10 [2.3.2] and Pt.4 Ch.8 Sec.10 [2.3.3] apply.

4.2 Testing

4.2.1 General

A test program for functional and safety tests at manufacturer shall be submitted for approval before testing.

Guidance note:

Lead Acid: The IEC 60896-11 and IEC 60896-21 standards are relevant for respectively vented and valve regulated batteries.

NiCd: The IEC 60623 and IEC 62259 standards are relevant for respectively vented and valve regulated batteries.

Lithium: The IEC 62620 and IEC 62619 standards are relevant for respectively functional tests and safety tests.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

4.2.2 Lithium cell tests

The cells shall be type tested accordingly to Table 6.

Table 6 Type tests of battery cells.

Item	Test	Comments
1	External Short Circuit	IEC 62619 8.2.1 (alternatively IEC 62281 T-5 or UN38.3 T-5)
2	Impact	IEC 62619 8.2.2 (alternatively IEC 62281 T-6 or UN38.3 T-6)
3	Thermal abuse	IEC 62619 8.2.4 (alternatively IEC 62281 T-2 or UN38.3 T-2)
4	Overcharge	IEC 62619 8.2.5 (alternatively IEC 62281 T-7 or UN38.3 T-7)
5	Forced Discharge	IEC 62619 8.2.6 (alternatively IEC 62281 T-8 or UN38.3 T-8)

Guidance note:

If similar tests to the IEC 62619 (published 2016) have been performed according to other standards, these tests may be acceptable.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

The type tests for the cells shall be performed at a recognized laboratory. The type test report shall be available for the surveyor.

4.2.3 Lithium battery system tests

The battery system shall be tested in accordance with Table 7.

The type tests (TT) shall be carried out on the first certification and the type test report shall be available for the surveyor for later product certification of identical battery systems.

The routine tests (RT) shall be performed for each product certification.

Table 7 Tests of battery systems.

Item	Test	Comments	
1	Propagation/Internal Thermal Event	IEC 62619 8.3.3	TT
2	Overcharge with Voltage	IEC 62619 9.2.2	TT
3	Overcharge with Current	IEC 62619 9.2.3	TT
4	Overheating Control	IEC 62619 9.2.4	TT
5	Sensor failures	Detection of all failure modes of the sensors	TT
6	Cell balancing	According to specification	TT
7	SOC validation	According to specification	TT
8	Capacity Validation	IEC 62620 6.3.1	TT
9	Safety function test	<ul style="list-style-type: none"> – Emergency stop function – Alarms and shutdowns – HVIL – Temperature protection BMS – Overvoltage protection BMS – Undervoltage protection BMS – Communication Failure – Additional tests based on the implemented safety function of the BMS (May be a type test) 	RT
10	Dielectrical strength (High Voltage test)	<p>The rules RU SHIP Pt.4 Ch.8 Sec.3 [4.6] RU SHIP Pt.4 Ch.8 Sec.3 [4.6] RU SHIP Pt.4 Ch.8 Sec.3 [4.6] Pt.4 Ch.8 Sec.3 [4.6]</p> <p>Battery cells that might be damaged by the test can be disconnected to ensure that the test voltage can be applied without damaging the battery cells.</p> <p>The dielectrical routine test can be omitted if all subassemblies have been routine tested and the fully-assembled battery system has been type tested.</p>	RT
11	Insulation resistance	The rules Pt.4 Ch.8 Sec.10 Table 5	RT

Guidance note:

If similar tests to the IEC 62619 (published 2016) have been performed, these tests may be considered for acceptance.

---e-n-d---d-f---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---



Orca ESS Solutions

THE WORLD'S MOST ADVANCED MARITIME ESS (ENERGY STORAGE SYSTEMS). Designed and built specifically for the maritime industry, the Orca ESS product line from Corvus Energy represents the future of maritime ESS solutions. Corvus combined its industry leading research & development capabilities and knowledge gained from having the largest global installed base of ESS solutions, to build the industry's safest, most reliable, highest-performing and most cost-effective maritime ESS product line, which includes: **Orca Energy** and Orca Power.

Orca Energy

Orca Energy is ideal for applications that are primarily energy capacity driven, moving large amounts of energy at an inexpensive lifetime cost per kWh. Specifically designed to meet the operational requirements of:

HYBRID FERRIES	CRUISE SHIPS
ALL-ELECTRIC FERRIES	SUPER YACHTS
TUG BOATS	CARGO VESSELS



Air Cooled Module



Air Cooled Pack



Liquid Cooled Pack

THE ORCA ENERGY DIFFERENCE

- Price per kWh reduced by 50%
- Highest C-Rates in the industry – up to a 6C peak C-rate
- Increased cycle life – lowering total system cost and extending ESS Lifespan
- Unparalleled energy density – 50% volume & 35% weight reductions
- Connection & commissioning time reduced by 80%
- Enhanced EMI immunity design for maritime environments
- Economical upfront & through-life costs = lower total cost of ownership
- Power connections contained within rack – no manual connections, enhanced reliability, increased safety
- Designed for pack voltages up to 1200VDC
- Scalable beyond 10MWh
- Industry-proven 4th generation BMS
- Easily monitored through the Watchman™ ESS Advisory Portal

ORCA SAFETY INNOVATIONS

- Cell-level Thermal Runaway (TR) Isolation**
- True cell-level thermal runaway isolation – TR does not propagate to neighbouring cells
 - Isolation NOT dependant on active cooling
 - Exceeds Class and Flag standards
- TR Gas venting**
- Integrated thermal runaway gas exhaust system
 - Easily vented to external atmosphere rather than the battery room
 - Additional fire suppression system not required

CONTACT Toll Free: +1 (888) 390-7239 | sales@corvusenergy.com || www.corvusenergy.com





Technical Specifications*

PERFORMANCE SPECIFICATIONS	
C-Rate – Peak	6C
OPERATIONAL SPECIFICATIONS	
Pack Sizing	50-1200V 5.7-137kWh
1100V STANDARD BATTERY PACK EXAMPLE ¹	
Energy	125 kWh
Voltage	Maximum: 1100 VDC Nominal: 980 VDC Minimum: 870 VDC
Cooling	Forced Air / Liquid Cooling
Dimensions (vertical arrangement)	Height: 2200 mm Width: 870 mm Depth: 710 mm
Dimensions (horizontal arrangement)	Height: 1220 mm Width: 1740 mm Depth: 710 mm
Weight	1550 kg (3420 lb)
GENERAL SPECIFICATIONS	
EMC	IEC 61000-4, CISPR16-1, 2, IEC60945-9
Ingress Protection	System: IP44 Module: IP56 (IP67 optional)
Vibration & Shock	UNT 38.3, DNV 2.4, IEC 60068-2-6
Class compliance	DNV-GL, Lloyds Register, Bureau Veritas, ABS
SAFETY SPECIFICATIONS	
Voltage Isolation	7.2 kV (IEC 60947-2)
Thermal runaway anti-propagation	Cell-level; DNV-GL Pt.6 Ch.2, NMA 2016 circular
Fire suppression recommended	Per SOLAS (machinery space)
Disconnect circuit	Hardware-based fail-safe for over-temperature, over-voltage
Maximum current parameter	Updated 2x per second
Faults communicated	Over-voltage, under-voltage, over-temperature
Short circuit protection	Fuses included
Disconnect switchgear rating	Full load
Emergency stop circuit	Hard-wired
Ground fault detection	Integrated

* Subject to change without notice ¹ Values shown are for reference only and should not be used for system design. Please contact Corvus Energy for complete system design solutions.

CONTACT Toll Free: +1 (888) 390-7239 | sales@corvusenergy.com || www.corvusenergy.com
 HEAD OFFICE #220-13155 Delf Place, Richmond, BC V6V 2A2, Canada || NORWAY Nagelgården 6, 5004 Bergen | +47 918 25 618 | sales@corvusenergy.com

g/kWh	kW	LOAD %
	240	10
259	480	20
251	720	30
240	960	40
230	1200	50
226	1440	60
223	1680	70
221	1920	80
	2160	90
	2400	100

