



CHALMERS



Förstudie av en konvertering från diesel- till eldrift på Älvsnabben 4

Preliminary study of a conversion from diesel- to electric propulsion of Älvsnabben 4

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet, maskinteknik

CAROLINE ALDERBLAD
REBECKA SANDBERG

Förstudie av en konvertering från diesel- till eldrift av Älvsnavben 4

Preliminary study of a conversion from diesel- to electrical propulsion of Älvsnavben 4
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

CAROLINE ALDERBLAD
REBECKA SANDBERG

Institutionen för Tillämpad mekanik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

En förstudie av en konvertering från diesel- till eldrift på Älvsnabben 4.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

CAROLINE ALDERBLAD

REBECKA SANDBERG

© CAROLINE ALDERBLAD & REBECKA SANDBERG, 2015

Examensarbete 2015:03 ISSN 1652-9901

Institutionen för Tillämpad mekanik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag: Älvsnabben 4

Institutionen för Tillämpad mekanik

Göteborg, Sverige 2015

FÖRORD

Detta examensarbete utfördes åt FKAB Marine Design under våren 2015. Arbetet innefattar 15 högskolepoäng. Projektet var ett avslutningsmoment för Maskinteknikprogrammet, 180 högskolepoäng, med inriktning konstruktion vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Ett stort tack till:

Vår handledare Christer Ingelsten och Christian Sjöberg på FKAB Marine Design för positiv inställning, härlig energi och stort engagemang.

Vår handledare Karin Munch vid Chalmers tekniska högskola för stöttning och konstruktiv feedback under projektets gång.

Övriga personer som varit behjälpliga under stora delar av projektet; Marcus Wigren, Christer Steen, Joachim Skoogberg och Jimmy Johansson.

Caroline Alderblad
Rebecka Sandberg

Göteborg 2015-06-26

SAMMANFATTNING

Projektet har genomförts på uppdrag av FKAB, ett marint konsultföretag som inriktar sig på fartyg- och varvsbranschen. FKAB har som mål att bidra till en bättre miljö och vill vara med i utvecklingen mot ett mer hållbart samhälle. Det finns olika sätt att göra detta på och ett alternativ, det som arbetats med under projektet, är elektrisk framdrivning.

Projektet går ut på att undersöka om en konvertering är möjlig på Älvsnabben 4, från diesel- till eldrift, för en given rutt längs Göta älv.

En av de mest grundläggande faktorerna att ta hänsyn till är utrymmesbehov. Ytterligare en aspekt att ta hänsyn till är huruvida den krävda energimängden är möjlig att ta ut från batterier och laddstation, samt hur mycket energi färjan kräver för given rutt.

För att möjliggöra en konvertering krävs fastställande av färjans driftsprofil, dimensionering av drivlina med betoning på val av batterier. Drivlinan är framtagen i samarbete med välkända aktörer inom elektriska drivlinor för marina applikationer.

Utformning av laddstation, anslutningskontakt och ombyggnationskostnader är ej inkluderade i projektet.

En konvertering från diesel- till eldrift bedöms möjlig. I rapporten ges förslag på batteripaket från två olika leverantörer med olika batterityper och även en kostnadsuppskattning av drivlinans inre komponenter.

ABSTRACT

The project has been implemented on behalf of FKAB, an independent marine engineering company mainly active in the marine and shipbuilding industry. One important objective of FKAB is to contribute to a better environment and a sustainable shipping. One way to achieve this goal is through electric propulsion.

The thesis attempts to investigate whether a conversion from diesel to electrical propulsion is applicable on the vessel Älvsnabben 4 for sailing a specified route along Göta Älv.

The most essential considerations are the space allocation to accommodate the batteries and what components can be removed from the existing powertrain. Furthermore, feasibility studies must be conducted to confirm whether Göteborgs harbor has the sufficient amount of energy available and also affirm the amount of energy the vessel requires for the given route.

To enable a conversion requires identification of the operational profile for the vessel, design of the powertrain and choice of battery. The powertrain is produced in collaboration with well established, experienced companies within the field of electric propulsion for marine applications.

Designing the charge cabinet, charge plug and reconstruction costs are not included in this project.

The final conclusion is that a conversion from diesel to electrical drive is possible. The thesis presents two kinds of battery solutions from different manufactures. An estimation of cost has been made for the powertrain.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

NOMENKLATUR	1
1. INLEDNING	3
1.1 Bakgrund	3
1.2 Syfte	3
1.3 Avgränsningar	4
1.4 Precisering av frågeställning	4
2. TEORETISK REFERENS RAM	5
2.1 Älvsabben 4	5
2.2 Referensfartyg	7
2.2.1 M/F Ampere	7
2.2.2 E/S Movitz	9
2.2.3 M/S Sjövägen	11
2.2.4 Älveli och Älvfrida	13
2.3 Elmotor vs dieselmotor	14
2.4 Batterier	16
2.4.1 Litiumbatterier	16
2.4.2 Nickelmetallhydridbatterier	17
2.4.3 Jämförelse Li-Ion och NiMH	19
3. METOD	20
3.1 Research	20
3.2 Intervjuer	20
3.3 Studiebesök	20
3.4 Förundersökning Laddstation	20
3.5 Operationsprofil	20
3.6 Referensfartyg	21
3.7 Utrymmesbehov	21
3.8 Ny drivlina	21
4. RESULTAT	22
4.1 Operationsprofil	22
4.2 Driftsprofil	24
4.3 Ny drivlina	25
4.3.1 Drivlina lösning 1	25
4.3.2 Drivlina lösning 2	31
4.4 Utrymmesbehov	33
4.4.1 Optimering av vikt	33
4.4.2 Placering av batterier	33
4.5 Förundersökning laddstationer	34
4.6 Bränslekostnader Diesel vs El	35
5. DISKUSSION	36
6. SLUTSATS	38
7. KOMMANDE ARBETEN	39
8. REFERENSER	40
9. BILAGOR	44
9.1 Jämförelse Li-Ion och NiMH	44
9.2 Driftsprofil för Älvsabben 4	45
9.3 Batteridata från Nilar	46
9.4 Komponentlista	47

9.5 Elschema för drivlina 1	48
9.6 Batteridata från Saft	49
9.7 Batteridimensionering för Älvsabben 4, framtagen av SAFT	50
9.8 Förslag på batteriernas placering	51

NOMENKLATUR

AC:	Alternating Current, växelström.
Azipull/ Azimut thruster:	Typ av propeller som kan rotera 360 grader. Motorn är placerad inne i skrovet.
Azipod thruster:	Typ av propeller som kan rotera 360 grader. Motorn är placerad i så kallade poddar, se beskrivning av Pod nedan.
DC:	Direct Current, likström.
DC/AC- omvandlare:	Första termen anger vilken typ av spänning/ström som är ingående och andra termen anger vilken spänning/ström som är utgående.
DoD:	Depth of Discharge.
Dykdalb:	En bottenfast förtöjningsanordning eller avbärare bestående av en grupp sammanfästa pålar eller fundament.
Energitäthet:	Mängden energi per volymenhet i en kropp.
Hotellaster:	Elförbrukare ombord, exempelvis navigationsutrustning, lampor och värme.
Liggtid:	Den tid färjan ligger vid kaj.
Pod:	Motorn är placerad i kapslar utanför skrovet och kan rotera 360 grader.
Redundant system:	Två system, som oberoende av varandra, arbetar parallellt med samma uppgifter. Om ett av systemen havererar tar det andra över.
Rutt:	Sträckan från Klippan till Lilla bommen.
Sandwichkonstruktion:	Materialkonstruktion där tunna skikt av ett hårt och starkt material sammanfogas med ett tjockare lager av ett lätt och mindre hållfast material.
SOC:	State Of Charge.
Spänningspotential:	Potentialskillnaden mellan två punkter i kretsen dvs. en referenspunkt som används för att mäta alla punkters spänningspotential mot.
Systemspänning:	Nominellt spänningsvärde som anger spänningsnivån för ett system som belastas symmetriskt.
VAC:	Volt Alternating Current (Volt växelström).
VDC:	Volt Direct Current (Volt likström).

1. INLEDNING

Med ett stort ökat allmänintresse för miljöfrågor är alternativa energikällor mer aktuella än någonsin. Under de senaste åren har en stor utveckling skett vad beträffar hybrid- och batteribilar. Stora aktörer som bl a Volvo, Tesla och Ford har lanserat elbilar som enbart drivs av energi lagrad i batterier och utvecklingen är på frammarsch ("Batteribilar | Ladda Elbilen," 2013).

Det blir allt strängare krav på att begränsa skadliga utsläpp som bidrar till negativ miljöpåverkan och till följd av detta påskyndas utvecklingen av alternativa drivmedel. En annan bidragande faktor till detta är regeringens vision om en fossiloberoende fordonsflotta år 2030 (Regeringskansliet, 2013). Den ökande trenden för elektrisk framdrift har även nått den marina sektorn. Under de senaste 10 åren har antalet fartyg med elektrisk framdrivning ökat med 12 % per år och hela tre gånger så snabbt som den totala världsfloattan ("ABB unveils newest Azipod thruster to growing electric propulsion market," 2015). Den totala världsfloattan innefattar alla världens fartyg. För att kunna konkurrera med den landburna transportsektorn så krävs det att den civila marina industrin kan anpassa sig snabbare till de strängare miljökraven. Framförallt genom att minska emissioner, oljud samtidigt som de ökar effektiviteten ("Printing Articles | Electric Vehicles Research," 2014).

Projektet berör möjligheten för en övergång från diesel- till eldrift på Älvsnaven 4. Målet är att leverera ett komplett paket som möjliggör en konvertering till eldrift. Där inkluderas fastställande och installation av drivlina, frigöring av utrymme och placering av batterier samt uppkoppling till elnätet. Utmaningen ligger i att ta fram ett lämpligt batteripaket som på kort tid kan leverera hög effekt samt att minska effekttuttaget på Älvsnaven 4.

1.1 Bakgrund

FKAB har konstruerat Älvsnaven 4 och 5 på uppdrag av Styrsöbolaget. Man vill ligga i framkant och kunna presentera en paketslösning med batteridrift som kommer att kunna ersätta dagens dieseldrift. Uppdraget är alltså inte beställt av Styrsöbolaget, som är den tilltänkta kunden, utan är en idé framtagen av FKAB.

Det marina konsultföretaget FKAB riktar in sig på fartygs- och varvsbranschen, nationellt som internationellt, och har kontor i Sverige och Kina. Företagets fokus ligger på små och medelstora fartyg och marknaden är Kina och Nordeuropa.

1.2 Syfte

En målsättning är att ta fram ett nytt framdriftsalternativ till Älvsnaven 4. Det nya framdriftsalternativet innebär en konvertering av dagens dieseldrift till en batteridrivna framdrivning, med kapacitet som klarar rutten Klippan - Lilla Bommen.

Ett annat syfte med projektet är att visa en kostnadsuppskattning av ingående komponenter för den nya drivlinan.

1.3 Avgränsningar

Vid dimensionering av batterierna har det endast tagits hänsyn till energin i det förbrukade bränslet omräknat till energimängd.

Vid framtagningen av den nya drivlinan har komponenter som redan finns använts och utveckling av ny teknik har inte varit aktuellt i detta projekt.

I samband med en ombyggnation påverkas fartygets vikt som i sin tur påverkar stabiliteten. Förändringen av stabiliteten betraktas ej i detta projekt.

Ett godkännande av den nya drivlinan av Transportstyrelsen kommer inte eftersträvas i detta projekt. Det är däremot ett krav i senare skede.

Kostnadsuppskattning för eventuell förstärkning av skrovet vid ombyggnation har ej gjorts.

Vad gäller fastställande och dimensionering av laddstation undersöks endast om den krävda effekten är möjlig att ta ut från Göteborgs Hamn.

Energieffektivisering för färjan har inte analyserats. Det skulle exempelvis kunna innefatta optimering av hur batterierna laddas eller hur kaptenen manövrerar färjan.

Projektet berör inte heller miljöpåverkningar som uppkommer i samband med tillverkning av batterier eller hantering av uttjänade batterier.

1.4 Precisering av frågeställning

- Kan Älvsnaven 4 byggas om till batteridrift istället för dieseldrift?
- Hur påverkas färjans displacement?
- Är infrastrukturen i Göteborgs Hamn sådan att färjan kan laddas med den energimängd som krävs?
- Vad kostar den nya drivlinan?

2. TEORETISK REFERENSRAM

I följande kapitel beskrivs Älvsnabben 4 mer ingående samt fem referensfartyg. De batterikemier som är aktuella för projektet tas också upp. Även en kort beskrivning av hur diesel- och elmotorer fungerar samt dess för- och nackdelar.

2.1 Älvsnabben 4



Figur 1. Älvsnabben 4.

Fartygsdata:

Levererades år 1994

Längd: 32 m

Bredd: 8 m

Marschfart: 10-12 knop

Dieselmotor: 2 · 331 kW

Displacement: 141 ton

I dag trafikerar Älvsnabben 4, se figur 1, i huvudsak längs Göta Älv. Rutten definieras som sträckan mellan Klippan och Lilla Bommen och beräknas ta cirka 30 minuter. Då färjan körs motströms startar rutten vid Klippan med mellanstopp på Eriksberg, Slottsberget, Lindholmspiren, Rosenlund och avslutas vid Lilla Bommen. Därefter upprepas samma rutt med start från Lilla Bommen, men färjan körs då medströms ("Tidtabell Älv-snabben," 2014).

Färjan togs i bruk under hösten 1994. Skrovet är av aluminium och för att kunna ta sig fram genom is är skrovet förstärkt. Färjan är 32 m lång och 8 m bred och har resurser att kunna köra upp till 12,5 knop. Älvsnabben 4 är konstruerad för att rymma minst 20 cyklar på fördäck och det maximala passagerarantalet är 448 personer.

Färjan drivs sedan 2009 av två stycken Volvo Penta D12 MH motorer på totalt 662 kW med ett varvtal på 1800 rpm och sedan 2014 är även motorerna försedda med partikelfilter ("Älv-snabben 4," 2014). Enligt Styröbolagets tekniska chef R. Pettersson (personlig kommunikation, 3 mars 2015) är motorerna kopplade till ett backslag med utväxling 3:1 via en rak axel som driver propellern. Det maximala varvtalet på den ingående propelleraxeln blir således 600 rpm.

Idag körs färjan på Diesel – MK1, vilket innebär miljöklass 1, med 5 % FAME (B5). FAME står för Fatty Acid Methyl Ester ("FAME," 2015). Mängden energi i bränslet är 9,77 kWh/L ("Energiinnehåll, densitet och koldioxidemission | Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet," 2014). Den genomsnittliga bränsleförbrukningen vid en överfart är 36 L/h.

Från Pettersson erhöles data i tabell 1 där den genomsnittliga bränsleförbrukningen per år noterats av Styröbolaget.

Tabell 1. Genomsnittlig bränsleförbrukning per år för Älvsnabben 4.

	Antal timmar per år (h/år)	Bränsleförbrukning (L/år)	Genomsnittlig bränsleförbrukning (L/h)
Älvsnabben 4	4 773	173 786	36

Den genomsnittliga förbrukningen beräknades med värden från tabell 1, samt energimängden för en liter diesel enligt;

$$9,77 \text{ kWh/L} \cdot 36 \text{ L/h} \approx 351,7 \text{ kW}$$

Verkningsgraden på dieselmotorerna antogs vara 30 %, vilket ger;

$$\eta \approx 0,3 \rightarrow 351,7 \text{ kW} \cdot 0,3 \approx 106 \text{ kW}$$

Detta ger en genomsnittlig effektförbrukning på 106 kW, vilken motsvarar energimängden 53 kWh, för en rutt på 0,5 h. Detta värde kommer senare i rapporten användas som referensvärde.

Även antalet driftstimmar på ett år, som enligt tabell 1 är cirka 4770 h/år, kommer användas som referensvärde.

2.2 Referensfartyg

I följande avsnitt beskrivs fem olika fartyg som antingen är nybyggda eller ombyggda till batteridrift eller dieselelektrisk drift.

2.2.1 M/F Ampere



Figur 2. Bilfärjan M/F Ampere.

Fartygsdata:

Byggd år 2014
Längd: 81 m
Bredd: 10 m
Marschfart: 10 knop
Elmotor: 2·125 kW
Batteri: Litiumjonbatterier
Batterikapacitet: 2·520 kWh
Drifttid: 20 min
Laddtid: 10 min
Displacement: 939 ton

Den nybyggda bilfärjan M/F Ampere, se figur 2, började trafikera sträckan Lavik - Oppedal, Norge, i februari 2015. En rutt tar cirka 20 minuter och färjan har en liggtid på 10 minuter vid varje ändhållplats. Färjan kör med en hastighet på cirka 10 knop och har kapacitet för 360 passagerare samt 120 bilar.

För att minimera energiförbrukningen är färjan utformad som en katamaran med två skrov och byggd i lättviktsmetallen aluminium ("Fjellstrand AS - ZeroCat," 2014).

Det norska rederiet Norled har tillsammans med Fjellstrand AS utvecklat färjans elektriska drivlina med batteriteknik från Siemens ("Ship of the Year," 2015).

All information i resterande avsnitt refereras av projektledaren för M/F Ampere K. Adolfsson (Personlig kommunikation, 19 mars 2015). All energiförbrukning ombord tas ut från batterierna. Uppvärmning av passagerarutrymme och kaptenshytt sker genom värmeåtervinning från motorerna.

Ingående komponenter i drivlinan

Färjan har två redundanta system, dvs. två system som, oberoende av varandra, arbetar parallellt med samma uppgifter. Om ett system havererar tar det andra över. Redundanta system används då hög tillförlitlighet är ett outtalat krav för en färja. Varje system består av en batteribank, en elmotor, flera omvandlare och en propeller. De är placerade i varsin ände av färjan, för och akter.

Ombord finns två batteripaket med litiumjonbatterier som har kapaciteten 520 kWh vardera, alltså totalt cirka 1 MWh. Dessa batterier valdes eftersom det krävdes ett batteri med lång livslängd och som tål snabb laddning samt urladdning. Systemspänningen är på 930 VDC.

Den genomsnittliga bränsleförbrukningen för en överfart är 150 kWh men kan vid enstaka tillfällen vara så hög som 250 kWh. Väder och vind är faktorer som påverkar färjans energiförbrukning. Batterierna laddas vid varje ändstation på båda sidor om fjorden och laddas från en batteribank, via en transformator, som båda är stationerade i land. Eftersom det är en helt ny, obeprövad teknik installerades två olika laddningskopplingar på båda sidorna. Den ena kopplingen är en pantograf-arm som kommer ut och träffar färjan, likt en sådan som finns på tåg. Den andra kopplingen är en plugg som viras ner och träffar en kontakt på färjan.

Batteribankerna i land har en kapacitet på 390 *kWh* som kontinuerligt laddas från elnätet med 250 *kW*. Under liggtiden dumpas energi, mellan 153-180 *kWh*, från batteribanken in i färjan.

Elmotorn är placerad på insidan av skrovet har en kapacitet på 450 *kW*, med varvtalet 900 *rpm*. Thrustern är en Rolls Royce Azipull, vilka lämpar sig bra eftersom den kan ställas i flöjlat läge. Det innebär att propellrarna kan ställs i ett sådant läge att de bara följer med vattenströmmen och inte ger något motstånd. Under en överfart används endast den bakre thrustern och på så sätt sparas energi eftersom den främre thrusterna då ställs i föjlat läge. Propellern har relativt stora blad och går långsamt för maximal effekt.

Livslängden för alla inre komponenter är beräknade till minst tio år. Ampere deplacerar 939 *ton*.

Backup-system

Ampere har en dieselgenerator på 374 *kW* ombord. Dess primära uppgift är inte att säkra mot urladdning av batterierna utan den har två andra funktioner. Vid en nödsituation, exempelvis om batterierna skulle falla bort, så ska alla nödfunktioner som brandpump och nödbelysning drivas av dieselgeneratoren. Det andra användningsområdet för generatoren är då färjan behöver åka en längre sträcka utöver ordinarie rutt, exempelvis för reparation på ett varv. Då kommer dieselgeneratoren användas i kombination med batterierna som ett hybridsystem, det vill säga att dieselgeneratoren laddar upp batterierna som i sin tur driver färjan.

2.2.2 E/S Movitz



Fartygsdata:

Konverterad från diesel- till batteridrift år 2014

Längd: 23 m

Bredd: 5 m

Marschfart: 9 knop

Elmotor (pod): 2·125 kW

Batterikapacitet: 180 kWh

Batteri: Nickelmetallhydridbatteri, NiMH

Displacement: 77 ton

Figur 3. E/S Movitz.

E/S Movitz, se figur 3, trafikerar sträckan mellan Solna Strand och Södra Riddarkolmskajen med några hållplatser däremellan. Passagerarfartyget har sin utgångspunkt vid Riddarholmskajen i Stockholm och har en marschfart på 8 knop. Färjan kör två turer på morgonen och två på eftermiddagen. Driftstiden är cirka en timme, därefter snabbladdas batterierna under tio minuter. Under natten normalladdas batterierna med 63 A från land. Färjan är 23 m lång och kan ta upp till 100 passagerare. Färjan ägs och drivs av rederiet Green City Ferries (Sjöström, 2014a). Green City Ferries har tillsammans med systerbolaget Echandia Marine har utvecklat den elektriska drivlinan. Den el som E/S Movitz laddas med kommer från förnyelsebara energikällor, eller mer specifikt från vindkraft ("Green City Ferries • Environment NEW," 2014).

Ingående komponenter i drivlinan

De ingående komponenterna i drivlinan utgörs av två redundanta system. Varje system innehåller elmotor, batteribank, dieselgenerator, omvandlare samt propeller.

Elmotorerna har en effekt på 125 kW vardera och är placerade i poddar utanför skrovet ("Superladdade färjor på Stockholms vatten," 2015).

Enligt Echandia Marines VD J. Skoogberg (personlig kommunikation, 17 feb 2015) finns det i dagsläget en laddstation som har kapacitet att ladda batterierna upp till 300 kW. Under 2015 kommer laddningskapaciteten utökas till 600 kW. Nätbolaget levererar 400 VAC på tre faser. Strömstyrkan beräknas då till 870 A per fas. Laddstationen är manuell och kopplas på utav däcksmann då passagerare släpps av och på, se figur 4.



Figur 4. E/S Movitz laddstation med manuell påkoppling.

Batterierna är av typen nickelmetallhydridbatterier (NiMH). Dessa har en kapacitet på 180 kWh och är placerade på olika ställen runt om i skrovet ("Superladdade färjor på Stockholms vatten," 2015). Enligt Echandia Marines tekniker J. Johansson (personlig kommunikation, 24 feb 2015) är den totala vikten för batteripaketen är 4,5 ton . Batterierna är kopplade till en DC/DC- omvandlare, detta för att man vill ha kontroll på spänningen så att det alltid är samma systemspänning. Systemspänningen är 480 VDC . Den konstanta spänningen kopplas via en skena, via DC/AC-omvandlare, in i förbrukarna. För att förse båtens hotellaster med energi används en transformator som konverterar spänningen från 400 V till 230 V . Hotellaster innefattar navigationsutrustning, värme och lampor.

Backup- system

E/S Movitz har konverterats från dieseldrift till laddhybrid, vilket innebär att färjan kan köras med antingen batteridrift eller dieselelektrisk drift. Då färjan körs dieselelektriskt används två dieselgeneratorer på 90 kW vardera som kan ladda batterierna eller direkt driva elmotorn. Detta görs om färjan ska köra en längre sträcka utan tillgång till laddning eller om batterierna av någon anledning inte kan användas (Sjöström, 2014a).

2.2.3 M/S Sjövägen



Figur 5. M/S Sjövägen.

Fartygsdata:

Byggd år 2014

Längd: 24 m

Bredd: 7 m

Marschfart: 8 knop

Elmotor: 2 · 125 kW

Batterikapacitet: 500 kWh

Batteri: Litiumjonbatterier

Displacement: 59 ton

I Stockholms inre farvatten trafikerar det eldrivna passagerarfartyget M/S Sjövägen, se figur 5, för Storstockholms lokaltrafik. Passagerarfartyget trafikerar sträckan Nybroplan och Saltsjökvärn, med hållplatser däremellan. Färjan kör med en marschfart på 7-8 knop och har en passagerarkapacitet på 150 personer. M/S Sjövägen har en drifttid på totalt 10 timmar per dygn. ("Första pendelbåten," 2014).

M/S Sjövägen är byggd i glasfiber med sandwichkonstruktion. För att färjan ska klara av att köra året runt är den isförstärkt. Färjan är mycket energieffektiv med stor propeller och lågt varvtal (Tegevi, 2014)

Ingående komponenter i drivlinan

Enligt G. Myrsten på Rederi AB Ballerina (Personlig kommunikation, 24 mars 2015) utgörs de inre komponenterna i drivlinan av batteripaket, två elmotorer, en bogpropeller, två dieselgeneratorer samt laddutrustning. Elmotorerna är av typen asynkronmotor och har en effekt på 125 kW vardera. Bogpropellern har en effekt på 40 kW. Färjan har en drifttid på cirka fem timmar med dess batteripaket. Batteripaketet är på 250 kWh, alltså totalt 500 kWh, vardera och är av typen litiumjon. Batterierna har en lång livslängd på 7 år och beräknas ha 80 % kvar av sin kapacitet efter 10 år. Batteripacken är placerade under däck i skåp. De väger sammanlagt ungefär fem ton.

Eftersom laddutrustningen finns ombord ges hög flexibilitet vid laddning eftersom batterierna kan laddas på flera olika platser i hamn säger Myrsten. Laddutrustningen väger inte så mycket, uppskattningsvis 200 kg och har en laddningseffekt på 125 kW.

Vid laddning kopplas tre stycken kablar på 400 V, 3-fas, till elskåpen som finns i de olika hamnarna. Beroende på strömtillgängligheten i de olika hamnarna laddas färjan med olika strömstyrkor, kapaciteten är antingen 3 · 156 A, 3 · 64 A eller 3 · 32 A. Fartyget laddas innan och efter lunch samt på natten. På natten laddas batterierna med 3 · 32 A eftersom batterierna mår bäst av att ladda långsamt under lång tid.

Backup-system

Färjan är utrustad med två dieseldrivna generatorer på 80 *kW* som backup. Dessa kan kopplas in för att ladda batterierna eller direkt driva elmotorerna och färjans elsystem. Detta görs exempelvis om färjan behöver köra en längre sträcka, till varv exempelvis. Den största anledningen till backupsystemet är att dieselgeneratorerna vid nödfall driver brandpump och länsypump. Då färjan är dieselelektriskt kopplad förbrukar den cirka 40 liter diesel per timme. Ombord finns också tankar som rymmer 2000 *liter* diesel (Sjöström, 2014b).

Enligt Myrsten har dieselgeneratorerna endast använts mindre än en timme sedan färjan sattes i trafik.

2.2.4 Älveli och Älvfrida



Figur 6. Älveli.

Fartygsdata:

Byggda år 2015

Längd: 33 m

Bredd: 8,7 m

Marschfart: 11 knop

Dieselmotor: 2·257 kW

Displacement: 306 ton

Älveli, se figur 6, och Älvfrida är två nybyggda passagerarfartyg som sattes i drift under mars 2015. Färjorna är identiska och ägs av Västtrafik men bemannas av Styröbolaget som ansvarar för personal, underhåll och drift. Färjorna är avsedda för Västtrafiks linje 286 som trafikerar tvärs över Göta Älv, en linje som är mycket populär för resenärer, både med och utan cykel. (Tegevi, 2015).

Färjorna tar 298 passagerare och 80 cyklar. De är 33 m långa och med en största bredd på 8,7 m ("Älveli," 2015).

Skrovet är byggt i stål med överbyggnad i aluminium (Färjor för kollektivtrafik 2014, 2014). Stålet bidrar till att skrovet är bra skyddat mot förslitning i samband med isbildningen på vintern. Färjorna är utformade så att de kan köras åt båda hållen. De har en bred av- och påstigningsramp samt breda automatiska skjutdörrar vilket möjliggör en snabb av- och påstigning för passagerarna. Det finns gott om plats att stå inomhus under överfarten både för cyklar och passagerare (Tegevi, 2015).

Ingående komponenter i drivlinan

Färjorna drivs idag utav två dieselgeneratorer från Scania på 257 kW vardera. Generatorerna alstrar ström till elmotorerna och andra förbrukare ombord. Två Rolls Royce azimuth thrustrar, som är vridbara 360 grader, drivs också av dieselgeneratorerna. Eftersom färjorna är utformade så att de kan köra åt båda hållen så är thrustrarna placerade både i fören och i aktern. Vid normal drift är endast ena thrustern i bruk ("Älveli," 2015).

Framtida batteridrift

Älveli och Älvfrida har i dagsläget en dieselelektrisk drivlina. Målet är att de på sikt ska drivas helt batterielektrisk. Det har frigjorts utrymme där man enkelt kan placera batterierna när en övergång till batterier är aktuell (Tegevi, 2015).

2.3 Elmotor vs dieselmotor

I följande avsnitt beskrivs översiktligt hur diesel- och elmotorn fungerar samt respektive motors för- och nackdelar.

Dieselmotor

Dieselmotorn är en förbränningsmotor med kompressionständning enligt Rudolf Diesels process. Cykeln startar med att luft sugas in i cylindern, kolven komprimerar luften under ökande tryck till en temperatur strax ovanför bränslets självantändningstemperatur. Då bränslet sprutas in startar förbränningen som sker under konstant tryck. Det finns två olika typer av förbränningscykler. Den ena är tvåtaktscykel och den andra är fyrtaktscykel (Cengel, Cimbai, & Turner, 2012).

Den vanligaste typen av förbränningsmotor som används på fartyg är dieselmotor som drivs med antingen tjockolja eller diesel. Dessa arbetar oftast med konstant varvtal och det vanligaste förekommande typerna av dieselmotorer är medel- eller högvarvtalesstyrda fyrtaktsmotorer (Gustafsson, 2008). Dessa motorer har en växellåda för att reducera varvtalet till en hastighet som är mer lämplig för propellern. Eftersom tvåtaktsmotorer arbetar under låga hastigheter är de generellt direkt förbundna med propelleraxeln med en s.k. rak axel (Veneri, Migliardini, Capasso, & Corbo, 2012).

Verkningsgraden för en ny dieselmotor kan nå upp till 40 % ("Diesel bästa bränslet," 2014).

Fördelar/nackdelar med dieseldrift

Fördelen med dieselmotor är att den är självständig och endast beroende av bränslet för att fungera. Detta gör att den kan placeras på svårtillgängliga ställen där en elektrisk motor med tillhörande kablar inte skulle få plats. ("Diesel Versus Electric Power - EDGE® Design & Engineering Innovation," 2014).

Tillgången på olja förväntas bli begränsad i framtiden och man måste undersöka alternativa drivmedel för att inte riskera att begränsa transportsektorn. Detta är säkerligen en av de största bakomliggande faktorerna till att det elektriska framdriftsalternativet är under stor utveckling. En annan anledning är att det inte är miljömässigt hållbart eftersom oljan ger stor påverkan på miljön då den förbränns (Wallgren, 2014).

Elmotor

En elmotor omvandlar elektrisk energi till mekanisk energi. En elmotor har en verkningsgrad mellan 95-97 % (Ådnanes, 2003). De flesta elmotorer är av så kallad roterande typ och består av en fast del och en rörlig del. Det innebär att då ström tillförs den stillastående statorn uppstår ett magnetiskt kraftfält som i sin tur påverkar rotorn. Kraftfälten samverkar så att rotorn börjar rotera tillsammans med motoraxeln. Det finns tre olika varianter av elmotorer där statorn och rotorn är uppbyggda på olika sätt. De tre olika typerna är asynkronmotor, synkronmotor och likspänningsmotor ("Elmotorer, teknik och funktion — Jernkontorets energihandbok," 2013). Nedan tas asynkron- och synkronmotor upp, likspänningsmotor är ej aktuellt i detta projekt.

Asynkronmotor är den vanligaste växelströmsmotorn. En av skillnaderna mellan en synkron- och asynkronmotor är utformningen av rotorn. Då de opererar skiljer de sig åt genom att synkronmotorns rotor dras runt synkront med statorns frekvens. I en asynkronmotor däremot är inte frekvensen på statorn och rotorn synkad, dvs. det sker en liten eftersläpning av rotorn ("Synkronmaskiner | ABB," 2014).

Fördelar/nackdelar med elektrisk drivlina

För fartyg som kräver mycket god manövrerbarhet är eldrift att föredra. En elmotor möjliggör styrning vid ett exakt varvtal på propellern (Wallgren, 2014). Elektrisk drivlina har väldigt låg bullernivå, vilket gör dem väldigt passande i hamn- och stadstrafik (Pestana, 2014).

Elektrisk framdrivning ger inga direkta avgasutsläpp. Men för att den ska ha mindre miljöpåverkan än motsvarande konventionella dieseldrivna drivlinor förutsätts att den elektriciteten som batterierna laddas med produceras på ett miljövänligt sätt. En elproduktion som är baserad på fossila bränslen, såsom kol och oljeeldad kraft, påverkar miljön negativt. Alltså, för att en elektrisk framdrivning ska påverka miljön mindre än en dieseldrivning måste elproduktionen framställas helt utan fossila bränslen (Wallgren, 2014).

En av nackdelarna med eldrift är att batterierna ofta är väldigt tunga och kostsamma. Dessutom är litiumjonbatterier väldigt känsliga för överhettning. Det kan ske då batterierna har laddats långt över sin kapacitet eller laddats ur för mycket. Överhettningen kan i sin tur leda till reaktioner som frigör värme, gasutsläppning eller i värsta fall explosion (Wallgren, 2014).

2.4 Batterier

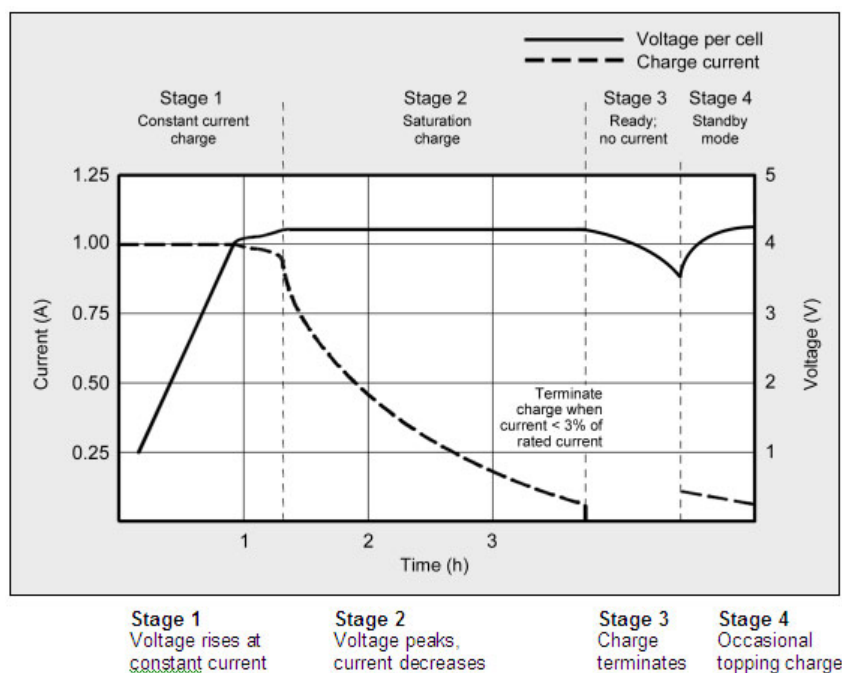
Batterier kan delas in i primär- och i sekundärbatterier. De förstnämnda batterierna kan ej återanvändas, då de laddats ur är de förbrukade. Sekundärbatterier, också kallade ackumulatorer, är uppladdningsbara och kan användas flera gånger. En battericell omvandlar energin från den kemiska reaktionen inne i cellen till elektrisk energi. I Sekundärbatterier sker processen även i motsatt riktning och laddas då upp på nytt ("Allmänt om batterier | Batteriföreningen," 2011).

2.4.1 Litiumbatterier

I jämförelse med de andra sekundärbatterierna är litiumbatterierna de med högst energidensitet ("Sekundärbatterier- Batteritillverkare," 2004). Detta gör dem mycket populära i konsumentapplikationer som exempelvis mobiltelefoner där lång batteritid och liten batterivolym eftersträvas. ("Allmänt | Batteriföreningen," 2011).

Litiumbatterier kan delas in i litiumjonbatteri (Li-Ion) och litumpolymerbatteri (Li-Po/Li-Poly). Dess egenskaper är likvärdiga, men de är utformade på olika sätt. Den största skillnaden är hur battericellerna är paketerade och vilken typ av elektrolyt som används. Ett Li-Ion batteri är ofta cylindriskt eller prismatiskt och omsluts av ett hårt, kraftigt skal som är svårt att förstöra, detta medför att de är aningen tyngre än Li-Po. Formen på Li-Po är oftast rektangulär och väldigt tunn. De omsluts av en tunn flexibel folie (polymerlaminat), vilket ger dem bättre formbarhet och de är således lättare att tillverka i kundanpassade storlekar ("Rechargeable Lithium Names | Li-Ion & LiPoly Batteries | Adafruit Learning System," 2012).

Tack vare fordonsbranschens stora intresse i Li-Ion batterier har det skett en stor utveckling inom området. Det som gör batterierna så populära i elektriska fordon är dess extremt höga verkningsgrad på 90 % (Mesbahi, Rizoug, Bartholomeüs, & Moigne, 2013), dess höga energitäthet, dess höga specifika effekt och att de kan operera i ett bredare temperaturspann än andra sekundärbatterier. Dess nackdel är den höga kostnaden. Till viss del beror detta på den säkerhetskrets som krävs för att upprätthålla säkerheten för användaren och livslängden på battericellerna. Eftersom vätskan i batterierna är lättantändlig så har alla Li-Ion batterier en elektronikkrets som säkerhetsställer spänningsnivån för en kontrollerad upp- och urladdning ("Lithium-Ion And Lithium-Ion-Polymer," 2014). Batterierna är känsliga för höga spänningar. Laddningscykeln av en Li-Ion cell illustreras i figur 7. I början av uppladdningscykeln laddas cellerna med konstant ström, under linjär spänningsökning, i varje cell. När cellerna uppnår en spänningsnivå på 4,2 V övergår laddningscykeln till underhållsladdning. Spänningen är konstant och strömmen minskar. Laddningscykeln är fulländad då strömmen har minskat till mindre än 3 % av märkströmmen ("Charging Lithium-Ion Batteries – Battery University," 2015). Den övre spänningsgränsen vid uppladdning och den avslutande strömstyrkan vid fullbordad laddning varierar något beroende på tillverkare ("How to charge Lithium ion Batteries, lithium polymer batteries, and lithium iron phosphate cells," 2015). Standardcellspänningen i en Li-Ion battericell är 3,6 V ("Battery Voltage Information – Battery University," 2015).



Figur 7. Laddningscykel för ett litiumjonbatteri ("Charging Lithium-Ion Batteries – Battery University," 2015).

Laddningsverkningsgraden är mellan 95 – 99 %. Li-ion batterier har väldigt låg självurladdning i jämförelse med andra sekundärbatterier ("Lithium Ion Battery Charging :: Radio-Electronics.Com," 2015)

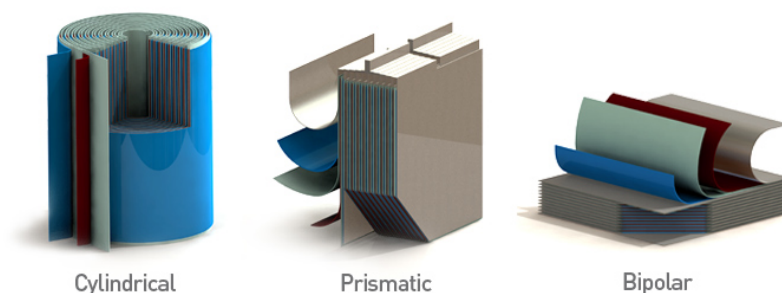
Li-Ion existerar i många olika former, de har olika karaktär och har således olika användningsområden. De är dock uppbyggda på samma sätt med 2 elektroder (en katod och en anod) samt elektrolyt. Skillnaden ligger i den kemiska sammansättning eller mer exakt, variationen av metalloxid tillsammans med litium på katoden ("Lithium-Ion And Lithium-Ion-Polymer," 2014). De tre mest vanliga metalloxiderna som används är litium-kobolt (LiCoO_2), litium-mangan (LiMn_2O_4) och litium-järnfosfat (LiFePO_4). Litium-kobolt har högst energitäthet, störst miljöpåverkan och är vanlig i mobiltelefoner. Litium-mangan kan hantera högre strömmar vid laddning och urladdning och tillåter därmed högre effektuttag än litium-kobolt. Batterier med manganoxid är vanliga i sjukvårdsinstrument och elektriska verktyg. Litium-järnfosfat är de batteriet med flest beräknade laddningscykler ("Secondary (Rechargeable) Batteries – Battery University," 2015).

2.4.2 Nickelmetallhydridbatterier

Nickelcadmiumbatterierna (NiCd) har länge varit ett av de mest dominerande sekundärbatterierna. När de introducerades på marknaden möjliggjordes för första gången sladdlösa elektriska handverktyg för konsumenten. Mycket tack vare sin höga energidensitet i jämförelse med sin föregångare blyackumulatören. NiCd tål höga belastningar, dvs. de tål att laddas och urladdas snabbt ("Nickel Cadmium NiCad Batteries," 2005). I Europeiska unionen är batterier som innehåller mer än 0,002 % kadmium per viktenhet förbjudna att användas på grund av kadmiums dåliga miljöpåverkan. Undantag gäller för batterier som är avsedda för användning i alarmsystem, nödbelysning och medicinsk utrustning (BiPRO, 2010).

Idag är NiCd mer eller mindre ersatta av Nickelmetallhydridbatterier (NiMH), vars batterikemi är mer skonsam för miljön. Grundkemierna i NiCd och NiMH är densamma. De båda består av en katod i nickelhydroxid, alkalisk elektrolyt i kaliumhydroxid, skillnaden ligger i metallen på anoden. I NiMH består anoden av en väteabsorberande metallhydrid och i NiCd består den utav kadmium ("Uppbyggnad av NICD- samt NIMH-celler | Batteriföreningen," 2011).

Battericellerna hos ett NiMH är utformade cylindriska, prismatiska eller bipolära, se figur 8. NiMH omges av ett förslutet metallhölje och är försedda med en ventil som kan släppa ut gaser för att lätta på trycket i cellen om batteriet överladdas (Morrison, 2006).



Figur 8. Tre olika utförande av battericellernas för nickelmetallhydridbatterier.

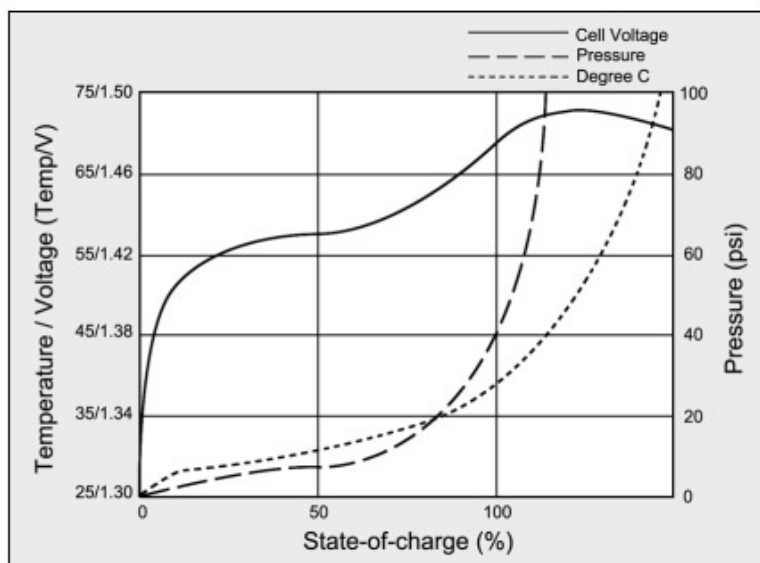
Cellspänningen i battericellen hos NiMH batterier ligger på 1,2 V, dvs. en tredjedel av cellspänningen i en Li-Ion cell ("Battery Voltage Information – Battery University," 2015). Fördelen med NiMH celler är att de har mer eller mindre oförändrad spänning då de urladdas, oberoende var i urladdningscykeln de befinner sig. En nackdel är att NiMH batterier generellt är mer känsliga mot självurladdning än exempelvis Li-Ion (Simpson, 2011).

Laddning av NiMH sker under konstant ström och spänningen i varje enskild cell varierar beroende på antal celler. Som högst ligger cellspänning på ca 1,5 V vid laddning. Vilken ström man laddar med beror på hur snabbt man vill ladda upp batteriet. Ju kortare laddtid som eftersträvas desto högre strömstyrka behövs. Vid snabbaddning är det svårt att kontrollera cellspänningen i varje enskild cell, man behöver då en säkerhetskrets som övervakar laddningen ("Laddning av batterier - CellTech," 2004).

Det finns olika sätt att göra detta på och en vanlig metod är delta V laddning. Detta innebär att laddaren övervakar spänningen i cellerna och när cellerna är fyllda till ca 80 % minskas strömmen och laddaren beräknar hur mycket mer ström som behövs för att fylla cellen helt. Delta V laddning används för att minska risken för överladdning ("Laddning av laddbara celler," 2004).

Temperaturökningen är en effekt av tryckhöjningen som uppstår inne i battericellen vid överladdning. Den inbyggda ventilen släpper ut hydrogengas för att undvika att batteriet exploderar. Förlusten av hydrogen kan ej ersättas och därav försämras cellkapaciteten. Långvarig överladdning under hög ström leder alltså till att battericellernas kapacitet försämras och livslängden förkortas (Simpson, 2011).

Enligt figur 9 så ses att under 70 % SOC är laddningsverkningsgraden så gott som hundra procentig. Efter vi passerat 70 % SOC ökar tryck och temperaturen stiger snabbt inne i cellen.



Figur 9. Visar laddning av en NiMH battericell ("Charging Nickel-Cadmium Batteries – Battery University," 2015).

2.4.3 Jämförelse Li-Ion och NiMH

För att få en översiktlig bild, se tabell 2, visas ett utdrag av intressanta värden från bilaga 9.1.

Tabell 2. Intressanta värden från bilaga 9.1.

Batterikemi	NiMH	Li-Ion		
		Kobolt	Mangan	Järnfosfat
Specifik energi (Wh/kg)	60-120	150-190	100-135	90-120
Cykellivslängd (80 % urladdning)	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
Självladdning/månad (vid rumstemp.)	30 %	<10 %		
Cellspänning (V)	1,2	3,6	3,8	3,3

För att optimera livslängden, gäller för de båda batterikemierna, bör de användas vid en temperatur kring 20°C. NiMH batterierna tål att användas mellan -20 och +50°C medan Li-Ion batterierna kan användas mellan -25 och +55°C. Vid konsekvent användande nära extremvärdena minskar livslängden på batterierna (Seanergy, Phosphate, & Increased, 2014).

3. METOD

I metodkapitlet beskrivs vilka tillvägagångssätt som använts under projektets gång.

3.1 Research

Initialt påbörjades en omfattande research. I första hand för att bredda vår kunskap kring de ingående komponenterna i en diesel- och elektrisk drivlina, men också för att bekanta oss med det marina vokabuläret. Informationssökningen gjordes via bibliotekets databaser, uppslagsverk, rapporter och artiklar, samt inläsning av tidigare genomförda projekt inom området. En research kändes nödvändig för att lära sig branschens mest grundläggande begrepp och uttryck. Därefter undersöktes vilka liknande projekt som genomförts, samt vilka aktörer som varit inblandade.

3.2 Intervjuer

Ett stort antal företag, med olika branscherfarenhet, inom elektriska drivlinor kontaktades. Framförallt företag som tidigare levererat elektriska drivlinor för marina applikationer, men också företag med erfarenhet från fordonsbranschen. Detta gjordes eftersom det ansågs intressant att få nya infallsvinklar och nya idéer från företag som är oprövade på den marina marknaden, men samtidigt erfarna inom elektrisk drivning.

3.3 Studiebesök

Studiebesök på relevanta företag som t ex. Styröbolaget och Echandia Marine genomfördes. På Styröbolaget erhöles information om effektförbrukning och energibehov för aktuell rutt med befintlig drivning, samt var batterier skulle kunna placeras vid en konvertering. Joachim Skoogberg, VD på Echandia Marine, intervjuades eftersom han var en av projektledarna då passagerarfartyget E/S Movitz konverterades från diesel- till batteridrift. Under ett besök på E/S Movitz visade Skoogberg hur de ingående komponenterna i den elektriska drivlinan är placerade.

3.4 Förundersökning Laddstation

För att veta om konverteringen till eldrift är möjlig gjordes en förfrågan hos Göteborgs Energi Nät AB, Genab. Företaget utreder huruvida det önskade effektuttaget är möjligt att ta ut med den infrastruktur som finns idag. Även anslutningsalternativ som används av bl.a. spårvagnar och bilar studerades.

3.5 Operationsprofil

Fastställandet av operationsprofilen för Älvsrabben 4 har skett via registrering av effekttoppar, dess varaktighet vid drift, kopplat till aktuell framfartshastighet samt vilken delsträcka av ruten man befinner sig på. Dokumentationen skedde under en timme med hjälp av en videokamera som monterades med vy över färdatorskärmen. Datan användes för att kunna dimensionera batteriet. Det var inte enbart effektuttaget som motiverade valet av batterier. Även laddningsbehov, tillgängligt utrymme och temperaturlåglighet är faktorer som även måste tas hänsyn till vid dimensioneringen av ingående komponenter i drivlinan. Driftsprofilen identifierades, dvs. tidtabellen med dess destinationer och liggtider under ett dygn.

3.6 Referensfartyg

Utöver Älvsrabben 4 har fyra ytterligare referensfartyg studerats ingående. De utvalda fartygen är antingen nybyggen med elektrisk drivlina eller konverteringar från dieseldrift. Den första färjan, M/F Ampere, är en bil -och passagerarfärja som trafikerar sträckan Lavik-Oppedal i Norge. E/S Movitz, är en passagerarfärja som är konverterad från dieseldrift till eldrift och trafikerar sträckan Solna Strand och Riddarholm i Stockholm. M/S Sjövägen är ett nybyggt batteridrivet passagerarfartyg i SL:s regi som trafikerar i Stockholms inre farvatten. Älveli och Älvfrida, ägs av västtrafik och trafikerar Lindholmen-Rosenlund i Göta älv.

3.7 Utrymmesbehov

Då batterikapaciteten fastställts och geometri på det färdiga batteripaketet erhållits togs ett General Arrangement, GA fram i AutoCAD. Ett GA visar hur en eventuell installation av batterier och komponenter till drivlinan skulle kunna se ut. Framtagningen av denna gjordes med hjälp av Christian Sjöberg, FKAB, som har erfarenhet av programmet och fartygskonstruktion. AutoCAD är ett 2D- och 3Dprogram som används för att producera tekniska ritningar.

3.8 Ny drivlina

Vid det slutgiltiga fastställandet av ingående komponenter i drivlinan har det i huvudsak korresponderats med fyra olika företag. Callenberg Technology Group i kombination med batteritillverkaren SAFT, Echandia Marine i kombination med batteritillverkaren Nilar. Alla de ovan nämnda företagen har tidigare levererat elektriska drivlinor för marina ändamål.

4. RESULTAT

I följande kapitel redogörs projektets resultat.

4.1 Operationsprofil

I tabell 3 presenteras sammanställd data för bränsleförbrukningen vid olika tidpunkter under en rutt. De noterade värdena baseras på videodokumentationen som gjordes på färddataskärmen för bränsleförbrukningen under en timme på den aktuella ruten.

Verkningsgraden på dieselmotorerna antogs vara 30 %. Informationen i detta avsnitt har använts och skickats till leverantörer som underlag för dimensionering av drivlinan.

Batterileverantörerna är intresserade av hur batterierna kommer belastas och under hur lång tid.

Tabell 3. Effektförbrukning beräknad utifrån bränsleförbrukning, energiinnehåll i bränslet samt med hänsyn till verkningsgrad.

	Bränsleförbrukning [L/h]	Energi- innehåll [kWh/L]	Verkningsgrad $\eta \approx 30 \%$	Effekt- förbrukning [kW]
Marschfart (maxvärde)	46	9,77	0,3	135
Acceleration (maxvärde)	77	9,77	0,3	226
Liggtid (maxvärde)	27*	9,77	0,3	88
Medström (medelvärde)	34	9,77	0,3	100
Motström (medelvärde)	37	9,77	0,3	109

*(27 L/h är den högsta förbrukning då man trycker mot kaj, vid vissa stopp är den så låg som 19 L/h)

För att kunna identifiera effektförbrukningen delades ruten in efter hur färjan körs vid olika tidpunkter och delsträckor. Indelningen skedde efter marschfart, acceleration, liggtid, medströms och motströms.

Marschfart

Innebär att effektförbrukningen beräknades då färjan höll konstant max hastighet;

$$9,77 \text{ kWh/L} \cdot 46 \text{ L/h} = 449,42 \text{ kW}$$

$$\eta \approx 0,3 \rightarrow 449,42 \text{ kW} \cdot 0,3 \approx 135 \text{ kW}$$

Acceleration

Innefattar den tid då färjan backar ut från kaj och accelererar upp till marschfart. Den maximala tiden som observerades var 1 min och 40 sek;

$$9,77 \text{ kWh/L} \cdot 77 \text{ L/h} = 752,29 \text{ kW}$$

$$\eta \approx 0,3 \rightarrow 752,29 \text{ kW} \cdot 0,3 \approx 226 \text{ kW}$$

Liggtid

Tiden för av- och påstigning av passagerare.

$$9,77 \text{ kWh/L} \cdot 27 \text{ L/h} = 263,8 \text{ kW}$$

$$\eta \approx 0,3 \rightarrow 263,8 \text{ kW} \cdot 0,3 \approx 79,14 \text{ kW}$$

På fyra hållplatser är den genomsnittliga stopptiden på 1,5 min och energiförbrukningen beräknades till;

$$80 \text{ kW} \cdot 0,025 \text{ h} = 2 \text{ kWh/stopp}$$

Vid de två ändstationerna ligger färjan stilla i 5 min och energiförbrukningen blir;

$$80 \text{ kW} \cdot 0,084 \text{ h} = 6,7 \approx 7 \text{ kWh/stopp}$$

Den totala energiförbrukningen för sammanlagda liggtider under en rutt blir;

$$(2 \text{ kW} \cdot 4) + (7 \text{ kW} \cdot 2) = 22 \text{ kWh}$$

De förbrukade bränslet under liggtiderna utgör 40 % av den totala bränsleförbrukningen under en rutt enligt;

$$\frac{22}{55} = 40 \%$$

Medström

Beräkningarna baseras på den genomsnittliga bränsleförbrukningen vid en rutt som körs medströms;

$$9,77 \text{ kWh/L} \cdot 34 \text{ L/h} = 332,18 \text{ kW}$$

$$\eta \approx 0,3 \rightarrow 332,18 \text{ kW} \cdot 0,3 \approx 100 \text{ kW}$$

Motström

Beräkningarna baseras på den genomsnittliga bränsleförbrukningen vid en rutt som körs motströms;

$$9,77 \text{ kWh/L} \cdot 37 \text{ L/h} = 361,49 \text{ kW}$$

$$\eta \approx 0,3 \rightarrow 361,49 \text{ kW} \cdot 0,3 \approx 109 \text{ kW}$$

4.2 Driftsprofil

Nedan ges en detaljerad beskrivning av hur Älvsnaabben 4 kör under ett dygn, se bilaga 9.2 för mer detaljerad data.

Sträckan mellan Klippan och Lilla Bommen trafikeras stora delar av dagen av två färjor varav den ena tas ur drift kl.18.30. Driftprofilen baseras på Älvsnaabben 4 då hon kör sin första rutt kl. 07.00 och lägger till för nattladdning kl. 00.19. Under ett dygn kör alltså Älvsnaabben 4 17,5 h och ligger stilla för nattladdning under 6 h.

Dimensioneringen av drivlinan har baserats på 36 rutter per dygn, 365 dagar per år.

Dagar per år multiplicerat med antal driftstimmar per dygn;

$$365 \text{ dagar} \cdot 18 \text{ h/dygn} = 6570 \text{ h/år}$$

Dimensionerande drifttimmar per år minus Styröbolagets antecknade värde från 2014 resulterar i en differens på 1800 h enligt tabell 1, avsnitt 2.1.

Beskrivning av ruten med- och motströms:

1. Startar vid Klippan.
2. Seglar motströms i 30 minuter.
3. Under seglatsen motströms stannar färjan på fyra olika stopp under ca 1,5 minuter.
4. Stannar vid ändstation Lilla Bommen och ligger där i 5 minuter.
5. Seglar medströms i 30 minuter.
6. Under seglatsen medströms stannar färjan på fyra olika stopp under ca 1,5 minuter.
7. Stannar vid ändstation Klippan och ligger där i 5 minuter.

4.3 Ny drivlina

I detta avsnitt presenteras förslag på hur den nya drivlinan skulle kunna se ut. Informationen i avsnitt 4.1 och 4.2 har legat till grund för dimensioneringen.

4.3.1 Drivlina lösning 1

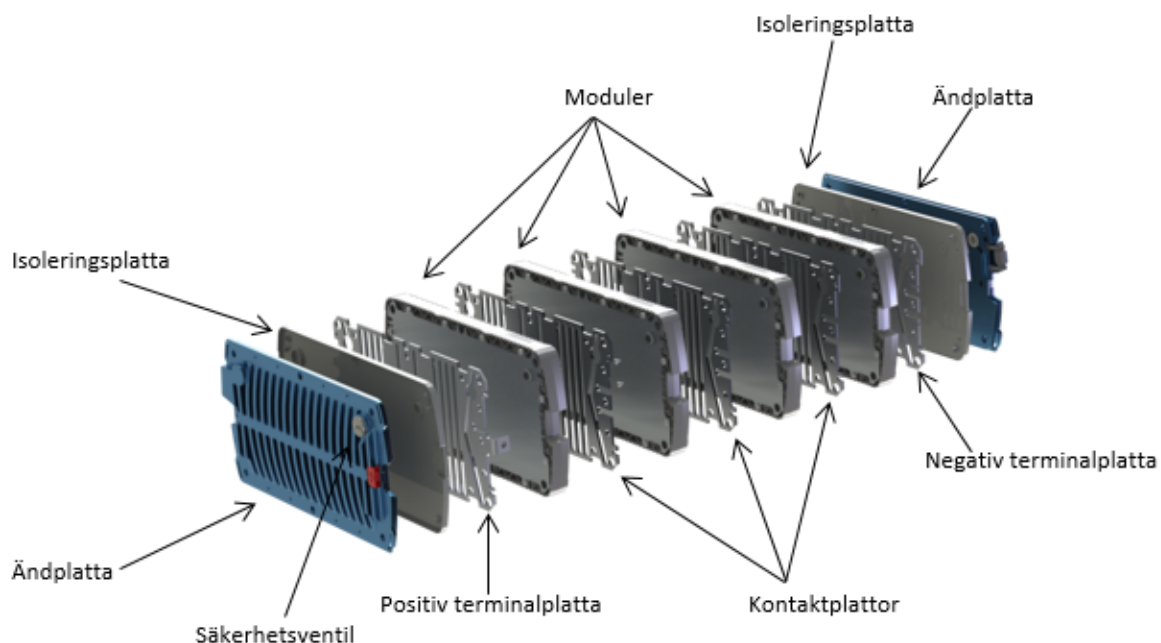
Det första förslaget har arbetats fram av Echandia Marine med batteriteknologi från Nilar. Här presenteras två olika systemspänningar på batterierna med livslängd 5 och 7 år.

Batterival

Batteriet som valdes är ett nickelmetallhydridbatteri, NiMH. Batterileverantören har sedan 2001 arbetat med att utveckla en bipolär nickelmetallhydridlösning. Företaget har en egen patenterad metod för att bygga bipolära celler (Operation et al., 2001).

Batterikonstruktionen bygger på Nilars batterimodul där enskilda celler är staplade i en modul. Beroende på vilken spänning och kapacitet som önskas kopplas dessa moduler ihop på olika sätt till ett pack ("Nilar technology | Nilar," 2015).

Figur 10 visar hur ett pack är uppbyggt. Ändplattornas funktion är att upprätthålla jämt tryck över cellerna, men också att skydda modulerna vid eventuell yttre kraftpåverkan. Kontaktplattorna binder elektriskt ihop modulerna i packet. Det eliminerar därmed behovet av externa kontakter mellan modulerna. Varje pack är utrustad med en självutlösande tryckventil en så kallad säkerhetsventil. Den utlöses/aktiveras bara under extrema förhållanden. Isoleringsplattorna isolerar ändplattan från packets spänningspotential ("Nilar technology | Nilar," 2015).



Figur 10. Pack av bipolära moduler.

All information nedan refereras från sälj- och marknadschefen på Nilar, M. Wigren (Personlig kommunikation, 18 mars 2015). Gemensamt för de två alternativen är att tio stycken battericeller seriekopplas till en modul. Därefter varierar antal moduler utifrån önskad spänning på batteripaketet. I alternativ 1 är antalet moduler 10 stycken och i alternativ 2 är antalet moduler 12 stycken. Vidare definieras de nyss nämnda antalet moduler som ett pack. Slutligen definieras fyra pack som en sträng.

Modulerna seriekopplas tills den önskade spänningen är uppnådd. Ju fler moduler som seriekopplas, desto högre spänning. För att uppnå önskad energimängd i batteripaketet parallellkopplas strängarna. Ju fler strängar som kopplas ihop, desto större energimängd. Batteripacken baseras på Nilars 12 V Energy Module (Power, 2001). Batterierna har dimensionerats utifrån två olika alternativ.

Det första alternativet har en systemspänning på 480 V för en livslängd på 5 respektive 7 år. Det andra alternativet har dimensionerats utifrån en systemspänning på 576 V och med samma livslängder som det första alternativet. Gemensamt för de båda alternativen är att den installerade energimängden måste vara 600 kWh för livslängden 5 år och 750 kWh för livslängden 7 år.

Antalet strängar dimensioneras till jämna heltal, eftersom strängarna ej kan delas.

Nedan beskrivs vad erhållen data baserats på. Sammanställd data för batteripaketet finns i bilaga 9.3.

Alternativ 1 - Nominell spänning på 480 V

För att uppnå önskad spänning seriekopplas komponenterna enligt följande;

En modul innehållande 10 seriekopplade battericeller på 1,2 V, det vill säga 12 V.

Ett pack innehållande 10 seriekopplade moduler, $12\text{ V} \cdot 10 = 120\text{ V}$

En sträng innehållande 4 seriekopplade pack, $120\text{ V} \cdot 4 = 480\text{ V}$. Alltså en nominell spänning på 480 V.

Energimängden regleras genom att strängarna parallellkopplas. Den nominella spänningen bibehålls eftersom spänningen inte påverkas av parallellkopplingen.

En modul innehåller 132 Wh oavsett livslängd (Power, 2001).

Livslängd 5 år

För att få livslängden 5 år måste den installerade energimängden vara 600 kWh. Då krävs det 4560 moduler enligt nedanstående beräkningar;

$$\frac{600\,000\text{ Wh}}{132\text{ Wh/modul}} \approx 4545,5\text{ moduler.}$$

$$\text{Ett pack innehåller 10 moduler vilket genererar } \frac{4545,5}{10} \approx 454,6\text{ pack.}$$

$$\text{En sträng innehåller 4 pack vilket ger } \frac{454,6}{4} \approx 113,7\text{ strängar och avrundas till jämt heltal.}$$

$$\text{Det ger } 114 \cdot 4 = 456\text{ pack. Alltså krävs det } 456 \cdot 10 = 4560\text{ moduler.}$$

Livslängd 7 år

För att få energimängden 750 kWh krävs 5680 moduler enligt nedanstående beräkningar;

$$\frac{750\,000\text{ Wh}}{132\text{ Wh/modul}} \approx 5\,681,8 \text{ moduler}$$

Ett pack innehåller 10 moduler vilket genererar $\frac{5681,8}{10} \approx 568,2$ pack.

En sträng innehåller 4 pack vilket ger $\frac{568,2}{4} \approx 142,0$ strängar.

Detta ger $142 \cdot 4 = 568$ pack. Alltså krävs $568 \cdot 10$ moduler = 5680 moduler.

Alternativ 2 – Nominell spänning på 576 V

För att uppnå önskad spänning seriekopplas komponenterna enligt följande;

En modul innehållande 10 seriekopplade battericeller på 1,2 V. Det vill säga 12 V.

Ett pack innehållande 12 seriekopplade moduler, $12 \cdot 12\text{ V} = 144\text{ V}$

En sträng innehållande 4 seriekopplade pack, $144 \cdot 4 = 576\text{ V}$. Alltså en nominell spänning på 576 V.

Livslängd 5 år

För att få energimängden 600 kWh krävs 4608 moduler enligt nedanstående beräkningar;

$$\frac{600\,000\text{ Wh}}{132\text{ Wh/modul}} \approx 4545,5 \text{ moduler}$$

Ett pack innehåller 12 moduler vilket genererar $\frac{4\,545,5}{12} \approx 378,8$ pack.

En sträng innehåller 4 pack vilket ger $\frac{378,8}{4} \approx 94,7$ strängar.

Antalet strängar avrundas till 96, enligt argument ovan, och motsvarar $96 \cdot 4 = 384$ pack, vilket ger $384 \cdot 12 = 4608$ moduler.

Livslängd 7 år

För att få energimängden 750 kWh krävs 5760 moduler enligt nedanstående beräkningar;

$$\frac{750\,000\text{ Wh}}{132\text{ Wh/modul}} \approx 5\,681,8 \text{ moduler}$$

Ett pack innehåller 12 moduler vilket genererar $\frac{5\,681,8}{12} \approx 473,5$ pack.

En sträng innehåller 4 pack vilket ger $\frac{473,5}{4} \approx 118,4$ strängar.

Antal strängar avrundas till 120 och antal pack blir då $120 \cdot 4 = 480$. Detta ger $480 \cdot 12 = 5760$ moduler.

Batterivolym

Leverantören rekommenderar att den effektiva batterivolymen multipliceras med två för att beräkna den dimensionerande volymen. Detta görs eftersom man vill öka luftcirkulationen mellan strängarna och optimera kylningen av batterierna. Den största dimensionerande batterivolymen utläses i bilaga 9.3 och är cirka 20 m^3 . I samma bilaga utläses även kostnaderna för respektive systemspänning och livslängd.

Cykelfönster

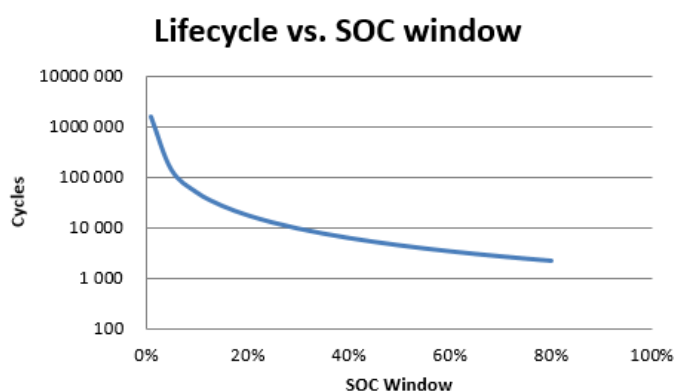
Cykelfönster är det procentuella intervallet som batteriets energinivå maximalt bör variera inom för att uppnå önskad livslängd. Cykelfönstret varierar beroende på hur stort energiinnehåll packen har. Cykelutnyttjandet bör ligga så centralt som möjligt av den totala kapaciteten för att öka livslängden på batteriet. För de större packen, det vill säga då livslängden är 7 år, används ett mindre cykelfönster. Cykelfönstret bestäms utifrån hur många cykler som önskas. I alternativ 1, med en cykellivslängd på 65 700 cykler, visas enligt tabell 3 att cykelfönstret bör ligga strax under 10 %. För att mer noggrant bestämma cykelfönstret beräknas;

$$\frac{\text{använd energi per cykel}}{\text{installerad energimängd}} = \frac{55 \text{ kWh}}{600 \text{ kWh}} \approx 9 \text{ \%}.$$

Alltså är cykelfönstret 9 % för livslängden 5 år och med samma resonemang som ovan är cykelfönstret 7 % för livslängden 7 år. Exempelvis för ett cykelfönster på 9 % bör cykelutnyttjandet ligga mellan 45 och 55 % av batteriets totala kapacitet. Figur 11 visar hur antalet cykler varierar beroende av cykelfönstret, Lifecycle vs. SOC window.

Tabell 3. Beräkning av cykelfönster.

SOC Window (%)	Cycle Life
1	1 559 065
5	141 132
10	50 156
15	27 384
20	17 825
25	12 776
30	9 732
35	7 732
40	6 335
45	5 314
50	4 540



Figur 11 Cykelfönster vs SOC.

Uppskattning av inre komponenter

Tabell 4 visar kostnad och vikt för alla komponenter i drivlinan. Alla inre komponenter hittas i bilaga 9.4. Där beskrivs vilken modell, kapacitet och vikt alla komponenterna har. För kostnadsuppskattningen tillkommer även en kostnad för ombyggnadsarbeten. Eftersom det är stora poddar kan det bli aktuellt att förstärka skrovet mm för infästningen. Drivlinans totala vikt ligger mellan 17-20,5 ton.

Tabell 4. Sammanställd data för alla inre komponenter i drivlinan.

	Alternativ 1 480 V		Alternativ 2 576 V	
Kostnad [MKr]	8,5	10	8,5	10
Vikt [kg]	17 222	20 522	17 222	20 522

Livslängder

Komponenternas livslängd, se tabell 5, har överskådligt uppskattats av J. Johansson.

Tabell 5. Uppskattning av de inre komponenternas livslängder.

Komponenter	Livslängd [år]
Motorer	>10
Omvandlare	7-10
Styrsystem	10

Elschema

Utifrån komponentlistan i bilaga 9.4 har J. Johansson konstruerat ett översiktligt elschema, se bilaga 9.5. I figur 12 visas ett utdrag av elschemat som beskriver hur de inre komponenterna samverkar för drivlina lösning 1. Elschema beskriver nedan, det som står inom parenteserna är index som utläses i figur 12.

Laddningen av batterierna (A1), sker med 600 A, 650 VDC, från laddstationen ("Fast charging"). I laddstationen omvandlas landströmmen från växelström till likström. Batterierna måste laddas med likström för att inte gå sönder. Efter batteriet leds strömmen via två skenor som alla förbrukare är kopplade till. Det finns två skenor för redundant syfte. Skulle någon kabel börja brinna eller någon komponent falla bort så ska färjan ändå kunna köras. Efter skenan leds strömmen via DC/AC- omvandlarna (ST10 och ST20) till elmotorerna (M1 och M4). Omvandlarna inverterar från likström till växelström och reglerar motorernas varvtal.

Alla hotellaster, se figur 12, är också kopplade till skenan. Hotellasterna innefattar all utrustning som måste fungera. Det är bland annat navigationsutrustning, belysning och värme.

Det finns tre olika sätt att mata hotellasterna. Det första sättet är direkt via landströmmen (Shore connection). Det andra sättet är att strömmen matas via en DC/AC-omvandlaren (ST11) och transformatorn (TR01). Transformatorn (TR01) omvandlar och fördelar spänningen till de olika hotellasterna. Det tredje sättet är via dieselgeneratoren (DG1). Dieselgeneratoren (DG1) alstrar då ström till transformatorn (TR01) och fördelas sedan på samma sätt till hotellasterna. Dieselgeneratoren kan även ladda batterierna (A1) i fall det skulle behövas. Då går strömmen via transformatorn (TR03) till laddningsskåpet (Charger cabinet) och sedan via skenan till batterierna (A1). I laddningsskåpet finns filter som filtrerar bort störningar och ser till att endast likström leds till batterierna.

På natten laddas batterierna via landströmmen (Shore Connection).

4.3.2 Drivlina lösning 2

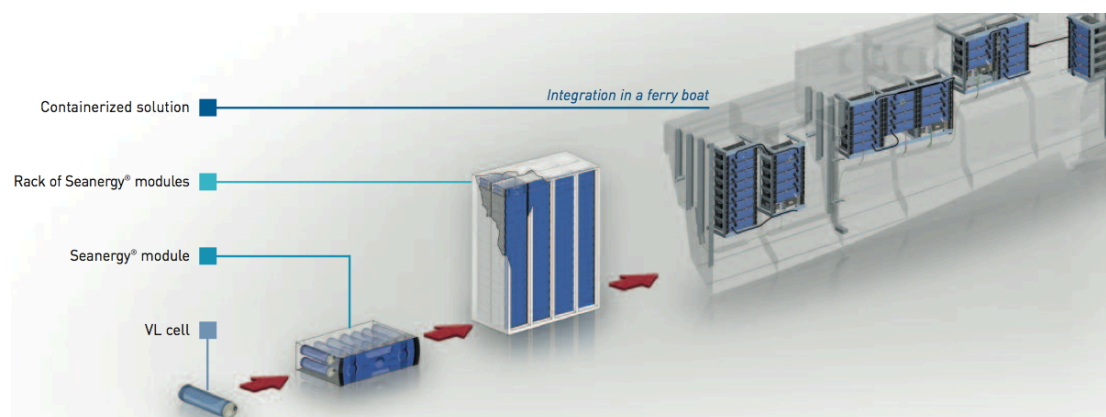
Det andra förslaget på en möjlig drivlina innehåller endast dimensionering av ett batteripaket från SAFT. Det var tänkt att lösning 2 skulle vara framtaget av Callenberg Technology Group i samarbete med SAFT. Dessvärre fanns ingen medarbetare tillgänglig på Callenberg Technology Group vid den aktuella tidpunkten. Dock har dessa två företag samarbetat vid dimensionering av elektrisk drivlina för marina ändamål vid tidigare tillfälle. Deras komponenter är följaktligen kompatibla med varandra.

Batterival

SAFT levererar tre olika batterikemier inom Li-Ion; SLFP, NCA, NMC. Det valda batteriet är av typen Li-ion Super-Iron Phosphate, LiFePO_4 benämns också som SLFP. Dessa batterier är speciellt framtagna för att kunna användas i marina miljöer. Battericellerna finns att tillgå i typerna *energy*, *medium power* och *high power* (Cecchi, 2014).

SAFTs batteriteknologi "Seanergy marine li-ion super-iron phosphate modules", SLFP, mottog i januari 2015 ett certifikat på att de uppfyller den högsta säkerhetsnivån på sina batterier enligt marina standarder och specifikationer (Veritas et al., 2015). Certifikatet utfärdas av företaget Bureau Veritas som är världens ledande oberoende certifieringsorgan inom kvalitet, hälsa, säkerhet och miljö (Bureau Veritas, 2015).

Figur 13 visar från vänster en battericell, en modul, ett skåp med batteripack och den slutgiltiga installationen.



Figur 13. Uppbyggnad av ett batteripaket.

Batteripacket är uppbyggt av 14 seriekopplade VL30PFe battericeller á 3,6 V nominell spänning. Detta utgör en powermodul med en nominell spänning på 46,2 V och en energimängd på 1,386 kWh (Seanergy et al., 2014). Två utav dessa moduler parallellkopplas till en s.k. tvillingmodul. Det finns inget datablad för tvillingmodulen hos leverantören, men samma spänning och energimängd gäller som för powermodulen. Tvillingmodulen benämns i fortsättningen som modul och är byggstenen då det totala batteripaketet dimensioneras.

Den nya modulen har fortfarande spänningen 46,2 V men med en fördubblad energimängd, dvs. 2,77 kWh. För att uppnå den önskade spänningen på 647 V seriekopplas 14 moduler enligt;

$$14 \cdot 46,2 = 647 \text{ V och energimängden } 2,77 \cdot 14 = 38,8 \text{ kWh}$$

De seriekopplade modulerna kallas för en sträng. Då man uppnått önskad spänning parallellkopplar man 11 strängar för att erhålla önskad energimängd enligt;

$$11 \cdot 38,8 = 426 \text{ kWh}$$

Då SAFT dimensionerat batteripaketet för Älvsabben 4 har man utgått från operations- och driftsprofilen i avsnitt 4.1 och 4.2. Den installerade energimängden på 406 kWh som står i tabell 6 stämmer ej överens med den framräknade ovan. Detta beror på att energimängden förändras beroende på hur batteriet belastas utifrån den aktuella driftsprofilen. Uträkningarna ovan med teknisk data från prospekten (Seanergy et al., 2014), gäller alltså endast som riktlinjer för dimensionering av batteripaket och är inte optimerat för ett specifikt ändamål.

Laddeffekten på 736 kW är den effekt som krävs för att kunna ladda batteriet med 65 kWh under 5 minuter. För att batteriet skall klara livslängden på 5 år krävs att DoD ligger på 16 %, vilket innebär att man inte ladda ur batteriet till mer än 84 % SOC.

Den dimensionerande volymen är 12,2 m³ där varje skåp med batterier har måtten 600 mm (bredd) · 800 mm (djup) · 2,300 mm (höjd) se bilaga 9.6. Dessa 11 skåp kan placeras på olika ställen i färjan eller ihop som en enhet.

Tabell 6. Ett utdrag ur bilaga 9.7, sammanställnings vid dimensionering av batteri.

Batteri system konfiguration	VL30FE
Modul typ	Gemini
Antal celler	3412
Antal moduler	154
Antal moduler i serie/ ESSU*	14
Max spänning	745 V
Antal strängar	11
Installerad energi (kWh)	406 kWh
Använd energi/cykel	65 kWh
Krävd laddeffekt för 65kWh på 5min	736 kW
Systemvikt	8061 kg

*ESSU= Energy storage system unit, dvs. i ett skåp.

4.4 Utrymmesbehov

Följande avsnitt beskriver vilka komponenter som kan plockas bort från den nuvarande drivlinan samt var batterierna för den nya drivlinan kan placeras.

4.4.1 Optimering av vikt

Då den elektriska drivlinan ska installeras krävs att en del inre komponenter från nuvarande drivlina tas bort. I tabell 7 presenteras en sammanställning av de komponenter som kan plockas bort vid en konvertering. Det är också de komponenter som har störst inverkan på vikten av färjan. Med hjälp av C. Sjöberg (Personlig kommunikation, 20 maj 2015) har komponenternas vikter uppskattats. Det visade sig att en total vikt på cirka 11,4 ton kan reduceras från nuvarande drivlina.

Tabell 7. Uppskattning av inre komponenters vikter.

Komponent	[kg]
Avgasrör	210
Ljuddämpare	200
Växellåda	1000
Motor	1400
Propelleraxlarna	1600
Hylsrör	230
Infästning, lager	1000
Roder	200
Propeller	400
Rör, el	2000
Brännolja	2550
Växlar	600
Summa	11390

Eftersom ”drivlina lösning 1” hade en totalvikt på 17-20,5 ton innebär det att differensen mellan den nya och den gamla drivlinan är 5,6- 9,1 ton. Enligt avsnitt 2.1 är Älvsnaabben 4:s nuvarande vikt 141 ton. Det innebär att den nya drivlinans vikt ökar färjans vikt med 4 - 7 % enligt;

$$\frac{5,6}{141} \cdot 100 \% \approx 4 \% \text{ och } \frac{9}{141} \cdot 100 \% \approx 6,5 \%$$

4.4.2 Placering av batterier

Ett förslag på var batterierna kan placeras visas i bilaga 9.8. Batterierna kan placeras fördelaktigt så att inte tyngdpunkten förändras.

4.5 Förundersökning laddstationer

För att kunna installera en laddstation krävs att Genab först godkänner en inskickad förfrågan på den effekt kunden vill ta ut och vid vilket geografiskt läge som det är aktuellt. Får man ett godkännande så behöver man ta ställning till om man skall ansluta sig via lågspänningsnätet på 400 V eller högspänningsnätet på 10 kV. Finns effektutrymme tillgängligt i någon närliggande station dras kablar därifrån. Om det däremot inte finns tillgängligt krävs att en ny transformatorstation byggs och kunden äger då transformeringen.

För Älvsnabben 4 gjordes en föransökan på en anslutning med 735 kW vid Lilla Bommen och Klippan. Enligt Genab möjliggör infrastrukturen vid dessa områden en anslutning på 400 V-nätet. Kostnadsmässigt är det endast små skillnader mellan de olika batterialternativen som tidigare presenterats. Förslaget nedan baseras på batteripaketet från Nilar med 480 V systemspänning.

$$P = U \cdot I \qquad E = P \cdot t$$

där P = effekt, U = spänning, I = ström, t = laddtiden = 1/12 h, E = energimängd

Effekten räknas fram genom att önskad energimängden divideras med önskad laddtid;

$$\frac{55 \text{ kWh}}{\left(\frac{1}{12}\right) \text{ h}} = 660 \text{ kW}$$

En verkningsgrad på 90 % ger:

$$\frac{660 \text{ kW}}{0,9} \approx 735 \text{ kW}$$

Genab levererar kablar med 400 VAC 3-fas. För att kunna ladda batterierna krävs att man likriktar AC/DC och sedan steppar upp DC till önskad spänning, verkningsgraden ligger här på ca 90 %. Enheten som innefattar likriktare och step up av spänning ligger utanför Genabs område och dimensioneras av företaget som levererar laddstationen. I vårt projekt har ingen laddstation dimensionerats utan det har endast undersökts om den krävda effekten kan tas ut från land.

För att kunna ladda batterierna med energimängden 55 kWh krävs en laddeffekt in i batteriet på 660 kW under 5 min. Med hänsyn till verkningsgrad behövs då en effekt på 735 kW från Genab.

Enligt en av planeringsingenjörerna på Göteborgs Energi (N. Carlsson, personlig kommunikation, 14 maj 2015) kommer en anslutningskostnad av detta slag kosta ca 1 Mkr vid varje laddstation. Kostnad av hårdvaran för laddutrustningen med bl.a. master och anslutningskontakter inkluderat uppskattades av F. Persson (Elingenjör, Göteborgs Energi, personlig kommunikation, 18 maj 2015) till ca 4 Mkr vid varje ände. F. Persson säger att detta område är under ständig utveckling och förutspår att priserna förmodligen kommer sjunka inom de närmsta åren.

4.6 Bränslekostnader Diesel vs El

I tabell 8 ges en ungefärlig bild över hur bränslekostnaderna såg ut under 2014 med diesel MK1, 5 % FAME (B5). Priset för dieseln, 5kr/L , är en ungefärlig siffra som angivits av C. Askheim (Nothorn Energy Service, personlig kommunikation, 25 maj 2015). R. Johansson (Göteborgs Energi, personlig kommunikation, 28 maj 2015) har angivit ett riktvärde på $1,5\text{kr/kWh}$ som kostnad för elen från Göteborgs Hamn.

Energimängden för 1 liter diesel samt årsförbrukningen av diesel under 2014 finns angiven i avsnitt 2.1. Bränsleförbrukningen är avrundad till $174\,000\text{ L}$ för år 2014. För att få en uppfattning om vad samma energimängd skulle kosta i el har följande uträkningar utvecklats från avsnitt 4.1.

Energimängd multiplicerat med förbrukat bränsle;

$$9,77\text{ kWh/L} \cdot 174\,000\text{ L} = 1\,699\,980\text{ kWh} \approx 1700\text{ MWh}$$

Med en verkningsgrad på 0,3 på dieselmotorn fås;

$$1\,700\text{ MWh} \cdot 0,3 \approx 510\text{ MWh}$$

Med hänsyn till verkningsgraden på dieselmotorn så beräknas bränslekostnaderna utifrån olika energimängder för diesel respektive El.

Tabell 8. Kostnader för de två drivmedlen.

Drivmedel	Diesel	El
Kostnad (baserat på år 2014)	$174\,000\text{ L} \cdot 5\text{ kr} = 870\,000\text{ kr}$	$510\,000\text{ kWh} \cdot 1,5\text{ kr} = 765\,000\text{ kr}$

En besparing kan göras på $105\,000\text{ kr/år}$.

5. DISKUSSION

Batteripaketet behöver inte placeras som en intakt enhet utan kan delas upp i mindre paket. Med hänsyn till stabiliteten på färjan, hade batterierna kunnat placeras strategiskt för att inte förändra färjans tyngdpunkt. Extra kostnader på nya krängningsprov uppkommer vid förändring av färjans vikt och hade eventuellt kunnat undvikas.

I dagsläget betalar man inte Göteborgs Energi någon extra avgift för stora effektuttag på kort tid utan man betalar för vad man använder genomsnittligt per timme. Man bör även ha i beaktning att utvecklingen av hybridfordon bidrar till ökat intresse för att kunna ta ut höga effekter på kort tid. I framtiden är det kanske inte rimligt att ta ut så stora effektpikar under kortare perioder utan batteribankar kanske blir mer aktuellt. En batteribank laddas kontinuerligt under längre tid med lägre effekt för att sedan tömmas i färjans batterier då den behöver laddas.

En mer omfattande undersökning bör göras kring den laddeffekt som faktiskt når batteriet. Effekten på 735 kW matas inte in konstant i batteriet utan trappas upp under laddtiden. Detta kan innebära att uppladdning av den önskade energimängden ej uppnås på önskad tid.

Valet av systemspänningen ombord skedde i samråd med företagen som dimensionerade drivlinan. Om man väljer en hög systemspänning ombord så kan man minska laddströmmen från land vilket ger lägre kostnader på laddstationen. Däremot blir utrustningen ombord dyrare om man inte håller sig inom leverantörernas standardkomponenter. En annan aspekt att ta hänsyn till är tillgängligheten på nya komponenter ifall någon av drivlinans komponenter går sönder. En lägre systemspänning ombord kräver högre laddström från land, vilket kräver större säkringar i land.

Utformningen av en laddstation var otroligt mycket mer komplex än vad som först förmodades. Det finns inte många erkända företag som specialiserar sig på endast laddstationer i den här storleken och i dagsläget finns inte mycket att jämföra med på marknaden. Utveckling har kommit långt inom elektriska drivlinor, men vi upplever att det är laddstationsdelen som har störst utvecklingspotential.

I dagsläget är trafiken upphandlad av Västtrafik som beslutar om tidtabellen och därför har den utgått från vid dimensionering. Om man däremot kunde ändra tidtabellen så att stoppen varar i exempelvis 10 minuter så skulle man kunna halvera den krävda laddströmmen och på så vis minska kostnaderna. En av de stora skillnaderna mellan de två olika batterikemierna NiMH och Li-Ion är att det förstnämnda batteriet mår bäst att laddas och urladdas kring 50 % SOC medan Li-Ion ligger så nära 100 % SOC som möjligt. Om NiMH batterierna laddats upp under natten behövs egentligen ingen laddning vid de första överfarterna då det är som mest resenärer. Först när SOC ligger kring 50 % kan batterierna börja laddas igen. Med ovanstående kunskap hade man kunnat optimera laddprofilen och effektivisera dimensioneringen av batteripaket.

En mer exakt analys av antalet driftstimmar per år hade kunnat genomföras med utgångspunkt från turlistan. Referensvärdet på ca 4770 h/år, (se tabell 1 avsnitt 2.1) som Styröbolaget noterat är mycket lägre än de 6570 h/år som batterierna dimensionerats för att klara av. Antalet driftstimmar baserades på den dag Älvsnabben 4 körde som mest multiplicerat med antal dagar per år. I själva verket kör färjan mycket färre turer under helger och är helt stillaliggande under vissa högtider. Detta har ej tagits hänsyn till.

I ett tidigt skede av projektet noterades tidtabellens första rutt samt sista rutt med start kl. 06.30 och stopp kl. 00.30. Något vi upptäckte i slutet av projektet var att färjan som startade kl. 06.30 togs ur drift redan 18.30 och att färjan som startar kl. 07.00 kör till 00.30. Batterikapaciteten borde ha dimensionerats utifrån 34 rutter på 17,5 h istället för 36 rutter på 18 h. Det kan tyckas lite i sammanhanget men det genererar många timmar på ett år.

Det finns många olika faktorer som påverkar energiförbrukningen för Älvsnabben 4. Väderförhållande som starka vindar och hög vattenström i hamnen är parametrar som är svåra att beräkna. Mätningar behöver göras under ett längre tidsspänn för att få en optimal bild. Även kaptenens sätt att manövrera färjan påverkar förbrukningen. Planerad körning kan till exempel innebära att man glider in mot kaj genom att släppa på gasen i god tid för att slippa lägga i backen. Färjans last kan variera mycket beroende på antal passagerare samt väder och vind. De värden som utgått från i operationsprofilen är baserade på en dag med måttlig vind och ett 30-tal passagerare. Insamling av data skedde endast under en timme, men trots det så stämde vår framräknade förbrukade energimängd på 55 kWh per rutt väl överens med referensvärdet på 53 kWh som Styröbolaget angivit.

Det finns ytterligare möjligheter till energibesparing under given rutt. I avsnitt 4.1 beräknades energiåtgången vid 6 liggtider. Fyra stopp som varar i 1,5 minuter och två stopp, vid ändstationerna, på 5 minuter. Summan av den förbrukade energimängden blir då cirka 22 kWh. Detta innebär att energiåtgången för den sammanlagda liggtiden är 40 % av den totala energiåtgången för en rutt, se avsnitt 4.1. Utifrån det resonemanget har det diskuterats huruvida den energiåtgången skulle kunna sparas in. I dagsläget hålls färjan stilla med hjälp av motorkraft vid på- och avstigning. Ett alternativ skulle kunna vara att färjan körs upp på en flytponton vid tilläggning och därmed kunna undvika gaspådrag. Det diskuterades även kring möjligheten att ha en stor industrimagnet i fören som håller färjan i position under på- och avstigning. Trafikverkets vägfärjor använder sig av dykdalber på båda sidor samt en fästanordning i fören och endast vid hårt väder trycker de på med motorn. Det är att föredra en lösning som inte innebär extra manuellt arbete av däcksmän.

Vad gäller den ekonomiska besparingen, i samband med en konvertering från diesel- till eldrift, så är 105 000 kr/år inga siffror som motiverar en konvertering med tanke på investeringskostnaderna. I kollektivtrafiken är det kanske inte den ekonomiska vinningen som är i huvudfokus. Utan vinningen ligger istället i minskat buller i stadstrafiken samt minskning av utsläpp i städerna.

6. SLUTSATS

Projektets resultat visade att en konvertering av Älvsnaven 4 från diesel- till eldrift är möjlig. En av de grundläggande förutsättningarna för att detta skulle fungera var att det fanns möjlighet att frigöra tillräckligt stort utrymme för att installera batteripaketet. Efter dimensionering av batterierna konstaterades det att batteripaketet skulle få plats.

Färjans vikt kommer att öka med 4 - 7 % med ”drivlina lösning 1” beroende på vilket batteripaket som väljs.

För att möjliggöra en konvertering krävs också att infrastrukturen i Göteborgs Hamn klarar av att man tar ut så stora effekter på väldigt kort tid. Genab bekräftar att så länge inte alla abonnenter vill ta ut så stora effekter under kort tid så finns kapacitet att tillgå i hamnen.

Den nya drivlinan, drivlina lösning 1, kommer att kosta cirka 8,5 - 10 Mkr plus eventuella ombyggnadskostnader för exempelvis förstärkning av skrovet i samband med installationen.

7. KOMMANDE ARBETEN

En rekommendation för fortsatt arbete är dimensionering av laddstationer samt utformning av dem. Själva laddanslutningen är intressant ur aspekten hur man skulle kunna automatisera påkopplingen på bästa sätt.

I fordonsbranschen finns i dagsläget inga standardiserade kontakter utan olika leverantörer använder olika kontakter. Att utveckla en kontakt som kan användas globalt och som på sikt skulle kunna standardiseras känns som ett utmanande projekt att jobba vidare med.

Miljöpåverkan i samband med en konvertering upplevs som ytterligare ett spännande och omfattande projekt att dra igång.

8. REFERENSER

Här presenteras alla de referenser som använts under projektets gång.

- ABB unveils newest Azipod thruster to growing electric propulsion market. (2015). Retrieved April 23, 2015, from <http://www.mena.abb.com/cawp/seitp202/73f551aa3d1f4c3fc1257e120030708b.aspx>
- Allmänt | Batteriföreningen. (2011). Retrieved March 11, 2015, from <http://batteriforeningen.se/laddningsbara/allmant/>
- Allmänt om batterier | Batteriföreningen. (2011). Retrieved May 16, 2015, from <http://batteriforeningen.se/om-batterier/allmant-om-batterier/>
- Batteribilar | Ladda Elbilen. (2013). Retrieved April 2, 2015, from <http://www.laddaelbilen.se/elbilar/batteribilar-6379377>
- Battery Voltage Information – Battery University. (2015). Retrieved May 12, 2015, from http://batteryuniversity.com/learn/article/confusion_with_voltages
- BiPRO. (2010). Exemption for the use of cadmium in portable batteries and accumulators intended for the use in cordless power tools in the context of the Batteries Directive 2006/66/EC, (January). Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/cadmium_report.pdf
- Bureau Veritas. (2015). Certifiering. Retrieved April 22, 2015, from http://www.bureauveritas.se/wps/wcm/connect/bv_se/local/home/our-services/certification
- Cecchi, F. (2014). Lithium-ion, (November).
- Cengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Turner, R. H. (2012). *FUNDAMENTALS OF Thermal-Fluid Sciences*.
- Charging Lithium-Ion Batteries – Battery University. (2015). Retrieved March 12, 2015, from http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- Charging Nickel-Cadmium Batteries – Battery University. (2015). Retrieved June 15, 2015, from http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_based_batteries
- Diesel bästa bränslet. (2014). Retrieved May 20, 2015, from http://www.jmf.se/Artiklar/Basta_bransle.htm
- Diesel Versus Electric Power - EDGE® Design & Engineering Innovation. (2014). Retrieved May 21, 2015, from <http://edgeinnovate.com/diesel-versus-electric-power/>
- Elmotorer, teknik och funktion — Jernkontorets energihandbok. (2013). Retrieved May 17, 2015, from <http://www.energihandbok.se/elmotorer-teknik-och-funktion/>

- Energiinnehåll, densitet och koldioxidemission | Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet. (2014). Retrieved February 20, 2015, from <http://spbi.se/blog/faktadatabas/artiklar/berakningsmodeller/>
- FAME. (2015). Retrieved April 28, 2015, from <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/biodiesel>
- Fjellstrand AS - ZeroCat. (2014). Retrieved February 4, 2015, from <http://www.fjellstrand.no/index.php/zerocattm>
- Färjor för kollektivtrafik 2014*. (2014).
- Första pendelbåten. (2014). Retrieved March 17, 2015, from <http://www.sjovagen.nu/web/page.aspx?refid=49>
- Green City Ferries • Environment NEW. (2014). Retrieved May 15, 2015, from <http://www.greencityferries.com/swedish/environment-new/>
- Gustafsson, D. (2008). När ska dieselelektrisk framdrift av fartyg väljas ? Retrieved April 1, 2015, from <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/179945/179945.pdf>
- How to charge Lithium ion Batteries, lithium polymer batteries, and lithium iron phosphate cells. (2015). Retrieved March 19, 2015, from <http://www.powerstream.com/li.htm>
- Laddning av batterier - CellTech. (2004). Retrieved May 12, 2015, from <http://www.celltech.se/foretaget/batteriskolan/Laddning-av-batterier/>
- Laddning av laddbara celler. (2004). Retrieved May 14, 2015, from http://privat.bahnhof.se/wb810999arne/smfk/laddn_celler.htm
- Lithium Ion Battery Charging :: Radio-Electronics.Com. (2015). Retrieved March 19, 2015, from <http://www.radio-electronics.com/info/power-management/battery-technology/lithium-ion-battery-charging.php>
- Lithium-Ion And Lithium-Ion-Polymer. (2014). Retrieved March 10, 2015, from <http://www.radio-electronics.com/info/power-management/battery-technology/lithium-ion-battery-types.php>
- Mesbahi, T., Rizoug, N., Bartholomeüs, P., & Moigne, P. Le. (2013). Li-Ion Battery Emulator for Electric Vehicle Applications. Retrieved February 26, 2015, from <http://ieeexplore.ieee.org.proxy.lib.chalmers.se/xpls/icp.jsp?arnumber=6671688>
- Morrison, M. (2006). Hand Book. *Appraisal*, 1–20. Retrieved from http://www.steatite-batteries.co.uk/assets/files/NiMH_technical.pdf
- Nickel Cadmium NiCad Batteries. (2005). Retrieved March 27, 2015, from <http://www.mpoweruk.com/nicad.htm>
- Nilar technology | Nilar. (2015). Retrieved May 13, 2015, from <http://www.nilar.com/technology/nilar-technology/>

- Operation, M. F., Ratio, H. P., Design, M., Charging, F., Recyclable, H., Life, L. C., ... The, R. (2001). Nilar 12V Energy Module. Retrieved April 22, 2015, from <http://www.nilar.com/wp-content/uploads/Nilar-12V-Energy-Module-Datasheet-NIL15-0059.pdf>
- Pestana, H. (2014). *Future trends of electrical propulsion and implications to ship design*. Retrieved from [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/8a5534bd564a1431c1257d85003096e3/\\$file/MARTECH_2014_Electrical_Propulsion_Henrique_Pestana_A.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/8a5534bd564a1431c1257d85003096e3/$file/MARTECH_2014_Electrical_Propulsion_Henrique_Pestana_A.pdf)
- Power, R. (2001). *Nilar 12V Energy Module*.
- Printing Articles | Electric Vehicles Research. (2014). Retrieved April 22, 2015, from <http://www.electricvehiclesresearch.com/journal/print-articles.asp?articleids=6715>
- Rechargeable Lithium Names | Li-Ion & LiPoly Batteries | Adafruit Learning System. (2012). Retrieved March 11, 2015, from <https://learn.adafruit.com/li-ion-and-lipoly-batteries/rechargeable-lithiums-names>
- Regeringskansliet. (2013). *Fossilfrihet på väg: Betänkande av Utredningen om fossilfri fordonstrafik SOU 2013:84*. doi:SOU 2013:84
- Seanergy, T., Phosphate, S.-I., & Increased, V. (2014). Seanergy high power module, 1–2.
- Secondary (Rechargeable) Batteries – Battery University. (2015). Retrieved March 20, 2015, from http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries
- Sekundärbatterier- Batteritillverkare. (2004). Retrieved March 11, 2015, from <http://www.basrab.se/sekundarbatterier.htm>
- Ship of the Year. (2015). Retrieved February 4, 2015, from <http://www.shipoftheyear.com/>
- Simpson, C. (2011). Characteristics of Rechargeable Batteries. *National Semiconductor*, 1–12. Retrieved from <http://www.ti.com/lit/an/snva533/snva533.pdf>
- Sjöström, P.-H. (2014a, October 24). Movitz. *Sjöfartstidningen*, pp. 59–67.
- Sjöström, P.-H. (2014b, October 24). Sjövägen. *Sjöfartstidningen*, pp. 51–58.
- Superladdade färjor på Stockholms vatten. (2015). Retrieved April 28, 2015, from <http://miljonytta.se/transporter/superladdade-farjor-pa-stockholms-vatten/>
- Synkronmaskiner | ABB. (2014). Retrieved May 17, 2015, from <http://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/synkronmaskiner>
- Tegevi, L. (2014). Tema : Hållbara persontransporter på vattnet, (4), 10–11. Retrieved from http://www.skargardsredarna.se/webroot/pdf/skargardsredaren/Redaren_nr414_web.pdf
- Tegevi, L. (2015). STORT INTRESSE NÄR Älveli döptes. *Skärgårdsredaren*, 8–10. Retrieved from http://www.skargardsredarna.se/webroot/pdf/skargardsredaren/Redaren_nr115_lowres_web.pdf

- Tidtabell Älv-snabben. (2014). Retrieved March 28, 2015, from http://www.styrsobolaget.se/upload/styrsobolaget/pdf/tidtabeller/285_20141214-20150815_ver_2.pdf
- Uppbyggnad av NICD- samt NIMH-celler | Batteriföreningen. (2011). Retrieved May 12, 2015, from <http://batteriforeningen.se/laddningsbara/nicdnimh/uppbyggnad-av-nicd-samt-nimh-celler/>
- Wallgren, P. (2014). Perspektiv på eldrivna fordon. Retrieved April 1, 2015, from http://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/energi/Documents/Perspektiv_pa_Eldrivna_fordon_2014_v1.1.pdf
- Veneri, O., Migliardini, F., Capasso, C., & Corbo, P. (2012). Overview of electric propulsion and generation architectures for naval applications. *Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion, ESARS*. doi:10.1109/ESARS.2012.6387448
- Veritas, B., Phosphate, L. S., Phosphate, L. S., Independent, T., Assessor, S., Veritas, B., ... Energy, B. (2015). Saft 's Seanergy ® marine lithium-ion modules receive the highest level of safety approval for clean propulsion applications.
- Ådnanes, A. K. (2003). Maritime Electrical Instalations and Diesel Electric Propulsion. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.115.966&rep=rep1&type=pdf>
- Älveli. (2015). Retrieved April 19, 2015, from <http://www.styrsobolaget.se/om-oss/fartyg/alveli-och-alvfrida>
- Älv-snabben 4. (2014). Retrieved April 28, 2015, from <http://www.styrsobolaget.se/om-oss/fartyg/alv-snabben-4>

9. BILAGOR

Nedan redovisas de bilagor som använts under projektets gång.

9.1 Jämförelse Li-Ion och NiMH.

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–190	100–135	90–120
Internal resistance ¹ (mΩ)	<100 12V pack	100–200 6V pack	200–300 6V pack	150–300 7.2V	25–75 ² per cell	25–50 ² per cell
Cycle life ⁴ (80% discharge)	200–300	1000 ³	300–500 ³	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Fast-charge time	8–16h	1h typical	2–4h	2–4h	1h or less	1h or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-discharge/month (room temp)	5%	20% ⁵	30% ⁵	<10% ⁶		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁷	1.2V ⁷	3.6V ⁸	3.8V ⁸	3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50 – 3.00		2.80
Peak load current Best result	5C ⁹ 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	>3C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C	0 to 45°C		0 to 45°C ¹⁰		
Discharge temperature	–20 to 50°C	–20 to 65°C		–20 to 60°C		
Maintenance requirement	3–6 months ¹¹ (topping chg.)	30–60 days (discharge)	60–90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory ¹²		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999

9.2 Driftsprofil för Älvsnabben 4

	Klippan		Eriksberg	Slotts- berget	Lindholms- piren	Rosenlund	Lilla Bommen	
Rutt	Avgång	Liggtid (min)	Avgång	Avgång	Avgång	Avgång	Avgång	Liggtid (min)
1	07.00		07.04	07.10	07.15	07.19		5
2		5	07.52	07.46	07.41	07.37	07.30	
3	08.00		08.04	08.10	08.15	08.19		5
4		5	08.52	08.46	08.41	08.37	08.30	
5	09.00		09.04	09.10	09.15	09.19		5
6		5	09.52	09.46	09.41	09.37	09.30	
7	10.00		10.04	10.10	10.15	10.19		5
8		5	10.52	10.46	10.41	10.37	10.30	
9	11.00		11.04	11.10	11.15	11.19		5
10		5	11.52	11.46	11.41	11.37	11.30	
11	12.00		12.04	12.10	12.15	12.19		5
12		5	12.52	12.46	12.41	12.37	12.30	
13	13.00		13.04	13.10	13.15	13.19		5
14		5	13.52	13.46	13.41	13.37	13.30	
15	14.00		14.04	14.10	14.15	14.19		5
16		5	14.52	14.46	14.41	14.37	14.30	
17	15.00		15.04	15.10	15.15	15.19		5
18		5	15.52	15.46	15.41	15.37	15.30	
19	16.00		16.04	16.10	16.15	16.19		5
20		5	16.52	16.46	16.41	16.37	16.30	
21	17.00		17.04	17.10	17.15	17.19		5
22		5	17.52	17.46	17.41	17.37	17.30	
23	18.00		18.04	18.10	18.15	18.19		5
24		5	18.52	18.46	18.41	18.37	18.30	
25	19.00		19.04	19.10	19.15	19.19		5
26		5	19.52	19.46	19.41	19.37	19.30	
27	20.00		20.04	20.10	20.15	20.19		5
28		5	20.52	20.46	20.41	20.37	20.30	
29	21.00		21.04	21.10	21.15	21.19		5
30		5	21.52	21.46	21.41	21.37	21.30	
31	22.00		22.04	22.10	22.15	22.19		5
32		5	22.52	22.46	22.41	22.37	22.30	
33	23.00		23.04	23.10	23.15	23.19		5
33		5	23.52	23.46	23.41	23.37	23.30	
34	00.00		00.04	00.10	00.15	00.19		

9.3 Batteridata från Nilar

Teknisk Data Nilar	Alternativ 1 480V		Alternativ 2 576V	
	5 år	7 år	5 år	7 år
Livslängd	5 år	7 år	5 år	7 år
Nominell spänning (V)	480	480	576	576
Minimal spänning (V)	400	400	480	480
Maximal spänning (V)	620	620	744	744
Cykeldjup (SOC) (Möjligt)	100-20	100-20	100-20	100-20
Cykelfönster (%)	9	7	9	7
Cykellivslängd (antal cykler)	65700	92000	65700	92000
Använd energi/cykel (kWh)	55	55	55	55
Laddningseffekt (kW)	180	225	180	225
Installerad energimängd (kWh)	600	750	600	750
Antal moduler	4560	5680	4608	5760
Geometri för en modul (mm)	318·165·21	318·165·21	318·165·21	318·165·21
Antal pack	456	568	384	480
Antal strängar	114	142	96	120
Geometri för ett pack (mm)	318·165·322	318·165·322	318·165·370	318·165·370
Total vikt (kg)	13 200	16 500	13 200	16 500
Dimensionerande volym (m^3)	15,34	19,17	15,34	19,17
Pris Cirka (MSEK)	5,9	7,4	5,9	7,4

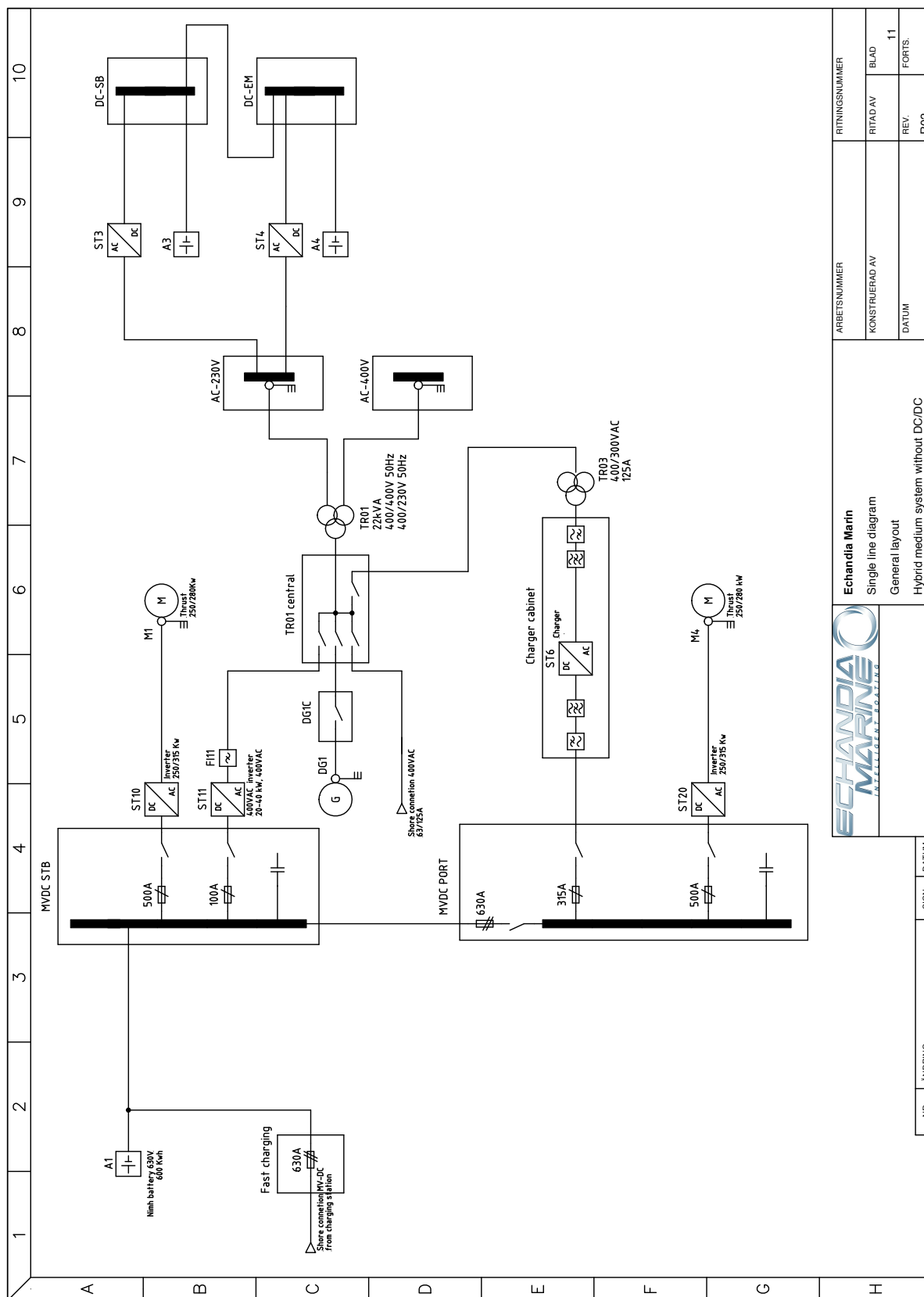
9.4 Komponentlista



(Company Confidential)

Prepared (also subject responsible if other) Magnus Eriksson			Nr - No.		Hybrid		
Doc respons/Approved Joachim Skoogberg			Kontr - Checked	Datum - Date 2015-04-30	Rev R2	File	
Part number	amount	Description	Model	Power	Manufacturer	Weight unit	Total weight
ST3	1	230VAC/24VDC Charger	Skylla	80A	Victron	10	10
ST4	1	230VAC/24VDC Charger	Skylla	80A	Victron	10	10
A3	1	24V Battery A3	*	225Ah	TIOM	130	130
A4	1	24V Battery A3	*	225Ah	TIOM	130	130
ST11	1	400V AC inverter system	KEB	12kW	KEB	55	55
ST12	1	400V AC inverter Filter	KEB	12kW	KEB	60	60
TR02	1	Tranformer 400/400-230VAC Special		22KVA		120	120
TR03	1	Tranformer 400/300VAC		87KVA		420	420
DG1	1	Generator 400VAC	Sole	96kW	Sole	1117	1117
ST10	1	AC/DC inverter kit	Vectopower	210/260kW	Aradex	20	20
ST20	1	AC/DC inverter kit	Vectopower	210/260kW	Aradex	20	20
ST6	1	NiMh Battery Charger + Filters	KEB	85Kw	KEB	220	220
M1	1	Inboard propulsion motor		280 kW	Echandia	485	485
M2	1	Inboard propulsion motor		280 kW	Echandia	485	485
A1	1	Main Battery A1 incl battery cabinets	*	600kWh	Nilar	13200	13200
MVDC STB	1	MVDC central Starboard side	*	*	TIOM	120	120
MVDC PORT	1	MVDC central Port side	*	*	TIOM	120	120
PLC control	1	PLC Control cabinet SB	*	*	TIOM	30	30
PLC control	1	PLC Control cabinet PS	*	*	TIOM	30	30
TR01 Central	1	Transformer feed central	*	*	TIOM	100	100
Charger	1	NiMh battery charger	*	*	TIOM	40	40
AC-400	1	400V AC central	*	*	TIOM	30	30
AC-230	1	230V AC central	*	*	TIOM	30	30
DC-SB	1	24V DC distribution central SB	*	*	TIOM	30	30
DC-EM	1	24V DC distribution central Emergency	*	*	TIOM	30	30
S-charge	1	Super charging cabinet	*	*	TIOM	80	80
DC-24V-SB	1	Inverter cabinet ST10 + ST14	*	*	TIOM	30	30
DC-24V-PS	1	Inverter cabinet ST20 + ST24	*	*	TIOM	30	30
Div	1	Misc	*	*	TIOM	40	40
	1	EMS hardware			Watek		0
					Summa:	17 222	17 222

9.5 Elschema för drivlina 1



9.6 Batteridata från Saft

Teknisk Data SAFT	Alternativ 1 647 V
Livslängd	5 år
Nominell spänning (V)	647
Minimal spänning (V)	530
Maximal spänning (V)	745
Cykeldjup (SOC) (Möjligt)	100-20 %
Cykelfönster (%)	16
Cykellivslängd (antal cykler)	28 800
Använd energi/cykel (kWh)	65
Laddningseffekt (kW)	736
Installerad energimängd (kWh)	406
Antal moduler (gemini)	154
Antal strängar	11
Geometri för modul (gemini) (mm)	448 · 133 · 605,5
Total vikt (kg)	8061
Dimensionerande volym (m ³) (effektiv batterivolym·2)	12,14
Pris Cirka (MSEK)	3,9

Powermodul: 14 seriekopplade battericeller á 3,3 V nominell spänning.

”Geminimodul” (Tvillingmodul): Definieras som 2 parallellkopplade powermoduler på 42,6 V med energiinnehållet 1,386 kWh.

Sträng: Definieras som 14 seriekopplade tvillingmoduler placerade i ett skåp.

Fullständigt batteripaket: Definieras som 11 parallellkopplade strängar.

9.7 Batteridimensionering för Älvsnabben 4, framtagen av SAFT

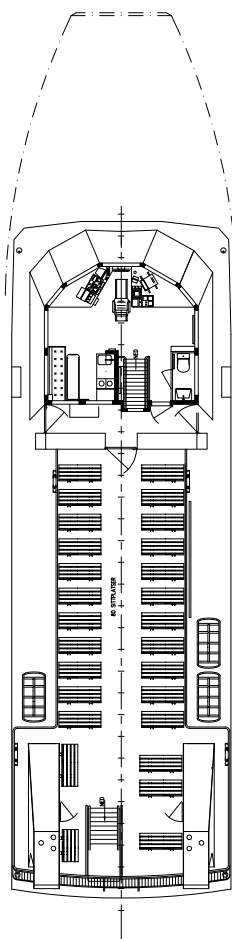
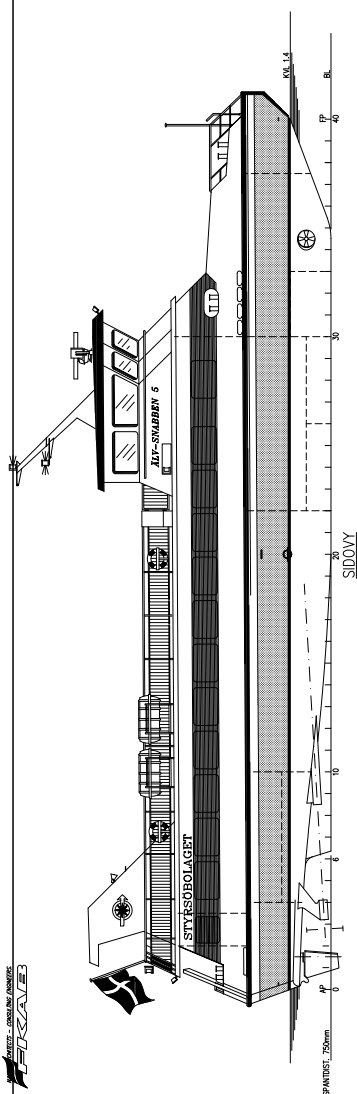
Synthesis of sizing for project	Customer
Scenarion type	Application
Battery system configuration	VL30PFe
Nbr independantes batteries	1
Modules type	Gemini
module configuration	2P-14S air cooled
Nbr modules serie per ESSU	14
Max Voltage	745 V
Nbr battery // strings	11
Energy installed (kWh)	406 kWh
Energy used per cycle	65 kWh
Max discharge power	1164 kW
Max Charge power	736 kW
DoD vs Energy installed BOL	16%
System components	
Cells	4312
modules	154
BMM	11
MBMM* (+ additional I/O card)	1
Height of battery compartment	2300
Cabinets 47 U height / ESSU	1
Cabinets 47 U height	11
System weight (kg)	8 061

Ett förslag på batteriernas placering i General Arrangemang, se de skuggade områdena.

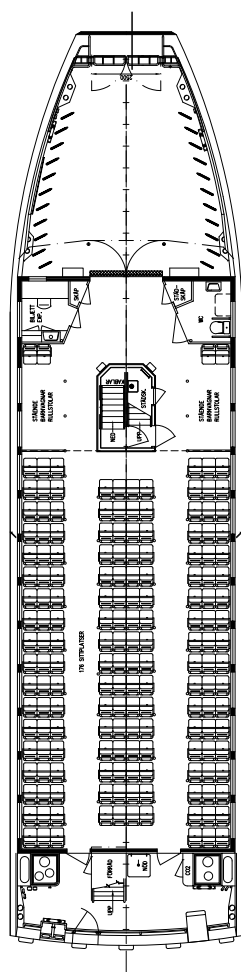
Ett förslag på batteriernas placering i General Arrangemang, se de skuggade områdena.



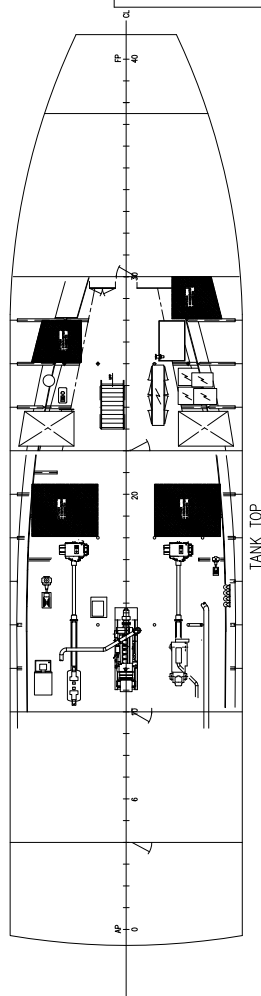
Utg.	Äckning	Datum/Sign
1	RITNINGEN UPPRÄTTAD SOM LEVERANSRITNING	950823/CS
2	RITNING FÖRBEDD FÖR RAPPORT	15.05.20/CSg



BÅTDÄCK/STYRHYTT



HUVUDDÄCK/SALONG



TANK TOP

HUVUDDATA:

LÄNGD Ö.A.	31,6 M.
LÄNGD KVL (PP)	30,0 M.
BREDD MALLAD	8,0 M.
DUPP MALLAT L/2	3,0 M.
FART	12 KNOP
PASSAGERARE SITTANDE	176 PERS.
PASSAGERARE TOTALT	448 PERS.
CYKLAR	22 ST
FARTOMRÅDE:	KANALFART

STYRSÖBOLAGET ÄLV-SNABBEN 5

Bilborvice Holding 4%
MANDAL

POSTBOXES 113, N-4501 MANDAL
VORGE

TELEFON: 36 26 10 11
TELFAX: 36 26 45 80
TELEX: 21 862 YARD N

YARD: NYB. 13	DATE: 940919	CHECKED:	SCALE: 1:100
		DRAWN:	
TITLE: NYBYGGE NR.13 <u>GENERALARRANGEMANG</u>			
DWG NO.			ISSUE 2