

Antti Lähde

LAIVAN AKKUJEN MITOITUS

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2016

LAIVAN AKKUJEN MITOITUS

Lähde, Antti
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2016
Ohjaaja: Laine, Kari
Sivumäärä: 37
Liitteitä: 1

Asiasanat: akkujärjestelmä, mitoitus, kustannus, generaattori, takaisinmaksu

Opinnäytetyö tehtiin Deltamarin Oy:n Turun osastolle. Opinnäytetyön aiheena oli mitoittaa erään laivan akkujen koko. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää olisiko laivasta kannattavaa tehdä hybridialus.

Akkujen mitoituksen apuna käytettiin työhön tehtyä Excel-ohjelmaa. Ohjelmalla selvitettiin kohdelaivan tehonkäyttö ja minkälaiset akut olisivat kannattavimmat. Ohjelman perusteella saatiin selvitettyä halutun akkukoon tuottamat säästöt ja sen takaisinmaksuaika. Työssä perehdytään myös akkukäyttöön liittyviin ohjeistuksiin ja erilaisiin akkutyyppeihin ja järjestelmiin.

Työn seurauksena saatiin kuva siitä, kuinka kannattavaa akkukäyttö olisi nyt ja tulevaisuudessa.

BATTERY SIZING FOR A SHIP

Lähde, Antti

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

February 2016

Supervisor: Laine, Kari

Number of pages: 37

Appendices: 1

Keywords: battery system, sizing, cost, generator, payback

This thesis was made for Deltamarin Oy in Turku. The purpose of this thesis was to calculate the size of the batteries for a ship. The aim of this research was to examine if it would be profitable to make the ship as a hybrid.

For the sizing of the batteries were used a Excel program that was created as a part of this thesis. It was used to find out the ships power usage and what size of battery system would be the most effective solution. The annual savings and the payback period was then calculated with the program for the wanted battery size. The research also gets into the guidelines of battery usage, variety of energy bank types and systems.

As a result of the work, a picture of how profitable the battery usage would be was made for today and for the future.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ESITTELY	6
2.1	Deltamarin Oy.....	6
2.2	Ro-Ro- ja Ro-Pax-laivat	6
2.3	Kohde.....	7
3	SÄÄDÖKSET AKKUKÄYTYÖILLE LAIVOISSA.....	8
3.1	Yleistä.....	8
3.2	Battery Safety ja Battery Power.....	8
3.3	Akkuhuone.....	9
3.4	Vikatilat akkuhuoneessa	10
3.5	Paloturvallisuus.....	11
3.6	C-Luku	12
4	ENERGIAPANKIT	14
4.1	Litium-ioni	14
4.2	Litium-ioniakkujen lataaminen ja purkautuminen.....	16
4.3	Lyijyhappo	17
4.4	Superkondensaattori.....	18
5	AKKUJÄRJESTELMÄ LAIVASSA.....	21
5.1	Käyttötarkoitukset.....	21
5.2	Akkujen lataus	22
5.3	Akkujärjestelmä	23
5.4	Järjestelmän omat turvatoimet	26
5.5	Energy optimized ja power optimized	27
6	AKKUJEN MITOITUS	28
6.1	Akkujen mitoituksen perusteet	28
6.2	Tehohuippujen tasoittelu.....	29
6.3	Vaatimukset akuilta	30
6.4	Akkujen mitoitus.....	30
6.5	Takaisinmaksuaika.....	33
7	KANNATTAVUUS	36
7.1	Johtopäätökset.....	36
7.2	Tulevaisuudennäkymät	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Deltamarin Oy:n Turun toimistolle. Työn tarkoituksena oli mitoitaa akut erääseen laivaan ja tutkia olisiko akkukäyttö kannattavaa. Kohteena olevan laivan reitti kestää vuorokauden ja laivassa on kuusi generaattoria. Akkukäytöllä laivassa pyritään optimoimaan laivan omien generaattoreiden tehonkäyttöä niiden parhaalla tehoalueella, tai jopa vähentämällä niiden määrää, jolloin säästetään rahaa polttoaineessa, sekä päästään ekologisempaan käyttöön.

Työssä perehdytään akkujen mitoituksen lisäksi myös ohjeistuksiin akkukäytöstä laivoissa, tutustutaan erilaisiin energiapankkeihin, akkujärjestelmän toimintaperiaatteen, sekä akkukäytön tulevaisuudennäkymiin työn kohteessa.

Akkujen mitoitus suoritettiin osana opinnäytetyötä tehdyllä Excel-ohjelmalla. Josta selvisi mitoituksen kannalta kaikki olennainen asia. Opinnäytetyössä oltiin yhteydessä ulkomaalaisiin akkuvalmistajiin, joilta selvisivät akkujen hinnat, sekä työn toteutuksen mahdollisuus.

2 ESITTELY

2.1 Deltamarin Oy

”Deltamarin Group on meriteknisen alan suunnittelu-, konsultointi- ja rakennuttamispalveluja tarjoava yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Turussa. Yrityksessä ja sen yhteisyrityksessä työskentelee noin 400 työntekijää eri puolilla Eurooppaa ja Aasiaa. Deltamarinin emoyhtiö on singaporelainen AVIC International Maritime Holdings Limited.” Heidän asiakkaihinsa kuuluu suuria kansainvälisiä varustamoita, telakoita, sekä laite- ja järjestelmätoimittajia. Konsernin palveluksessa on noin 400 asiantuntijaa niin omissa, kuin osakkuusyhtiöissä, jotka sijaitsevat Euroopassa ja Aasiassa. (Deltamarin Oy:n www-sivut 2015.)

2.2 Ro-Ro- ja Ro-Pax-laivat

Ro-Ro on lyhenne sanoista roll on/roll off. Ro-ro laivat ovat aluksia joita käytetään kuljettamaan pyörillä kulkevaa lastia kuten rekkoja ja muita ajoneuvoja. Ro-ro alukset ovat erilaisia lo-lo (lift on/lift off) aluksiin verrattuna, jotka käyttävät nosturia kuorman lataukseen ja purkamiseen. Ro-ro-laivoissa ajoneuvot kulkevat laivaan rakennetun rampin kautta. Tavallisesti ramppi sijaitsee laivan perässä, mutta joissakin tapauksissa se voi sijaita myös laivan sivulla tai keulassa. (Raunek 2010.)

Ro-Pax on lyhenne sanoista roll on/roll off passenger. Ro-pax on myös kansainvälinen termi matkustajarahtilaivoille. Se on ro-ro alus mutta rakennettu ajoneuvojen, sekä ihmisten kuljetukseen majoituksineen. Ro-pax laivoja joissa on yli 500 matkustajapaikkaa kutsutaan usein risteilijöiksi. (Raunek 2010.)

Ro-pax laivat kulkevat vain lyhyitä matkoja, koska niiden pääasiallinen tarkoitus on matkustajien kuljetus. Ne tarjoavat vähintään yhden lähdön päivässä molemmista satamista. (Shortsea www-sivut 2015.)

2.3 Kohde

Opinnäytetyön kohteena oli ro-pax laiva. Yhden matkan kesto on 24h ja se tekee kaksi tunnin mittaista pysähdystä päivittäin. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, olisiko kannattavaa muuttaa laiva eräänlaiseksi hybridimalliksi, jossa generaattoreiden ohella tehoa saataisiin myös akuista, joka puolestaan tekisi laivasta ympäristöystävällisemmän ja sen kustannukset pienentyisivät pitkällä aikavälillä. Työssä mietittiin myös mahdollisuutta, että laivasta poistettaisiin kokonaan yksi generaattori, mikäli akkujen kapasiteetti on riittävä.

3 SÄÄDÖKSET AKKUKÄYTÖILLE LAIVOISSA

3.1 Yleistä

IMO:n ja luokituslaitosten säädökset antavat vaatimuksia akkujen asentamiseen laivoissa niin propulsio-, kuin muissakin tehtävissä. Laivan akkukäytön säädöksiä löytyy muun muassa DNV:n ”Tentative Rules for Battery Power” ohjeistuksesta. Niihin kuuluvat niin propulsiossa käytettävät akkusysteemit, turvavaatimukset muille akkuteknologioille, kuin NiCd (nikkelikadium) ja lyijyhappo, sekä vaatimukset akustojen sertifiointille. Tämän opinnäytetyön säädökset ja ohjeistukset ovat koottu eri materiaaleista, jotka saattavat poiketa toisistaan joissakin tapauksissa.

Akkuteknologian kehittyessä edelleen, kaikkia ohjeistuksen mukaisia säädöksiä ei välttämättä tarvitse noudattaa jokaisessa tapauksessa. Suunnitelmat jotka eivät noudata ohjeistusta voidaan silti hyväksyä arvioinnin jälkeen, mikäli niissä on vastaava turvallisuustaso. Laivat joissa akkuja käytetään propulsioon normaalin käytön aikana kuuluvat luokkaan Battery Power ja ne laivat joissa akustot eivät ole suoraan yhteydessä propulsioon kuuluvat luokkaan Battery Safety. Seuraavassa kappaleessa käsitelen näitä luokkia tarkemmin. (Tentative Rules for Battery Power 2012.)

3.2 Battery Safety ja Battery Power

Battery Safety luokka pitää sisällään akkuhybridialukset joissa akkujen tuottamaa tehoa ei käytetä propulsioon. Nämä luokitukset lisäävät akustojen turvallista asennusta, sekä käyttöä laivoissa. Battery Safety luokitus on pakollinen laivoissa joissa akkuasennuksia käytetään lisätehon lähteenä ja jotka pystyvät tuottamaan yli 50kWh sähköenergiaa, lukuun ottamatta NiCd- ja lyijyhappoakkuja. Tämä luokitus on sopiva myös silloin kun parannetaan dynaamista tehon suorituskykyä. Akkujärjestelmät joita käytetään muihin tarkoituksiin maksimissaan 50kWh ja joita ei ole erikseen käsi-

telty ohjeistuksissa voidaan asettaa Battery Safety luokkaan mikäli turvallisuusvaatimukset täyttyvät. (DNVGL Battery Rules 2015.)

Akustolle varatussa tilassa ei saa olla propulsiokäyttöön tai laivan ohjaukseen käytettäviä järjestelmiä. Akustot pitää myös asentaa tilaan, johon voidaan järjestää ilmanvaihto, jotta tilan lämpötilansäätely on mahdollista. (Eriksen 2015.)

Battery Power pitää sisällään asennukset joissa akkuvoimalla toimivissa laivoissa akkuvoimaa hyödynnetään propulsiokäytössä normaalin käytön aikana, tai aluksissa joissa akkujen tehoa käytetään laivan liikuttamiseen esimerkiksi satamassa. (DNVGL Battery Rules 2015.)

3.3 Akkuhuone

Akkuhuone on tila, johon akut ovat asennettu. Huoneeseen on kuuluttava seinät, lattia, katto, sekä kaikki tarpeelliset asiat, jotta akusto pystytään pitämään paikallaan, sekä tarjoamaan sen vaatimat ympäristölliset olosuhteet kuten sopivan lämpötilan ja ilmakehän kosteuden. On suositeltavaa, että akkuhuoneelle tehdään turva-arviointi, joka sisältää ainakin seuraavat kohdat: (DNVGL Guideline 2015.)

- Mahdolliset vaaratekijät, niiden syyt ja seuraukset, kuten myös tulipalon sammutuksen haasteet.
- Riskien arviointi mukaan lukien arvio riskitekijöistä.
- Uhkien hallitsemisen vaihtoehdot.
- Miten toimitaan.

Akkujärjestelmälle tulisi järjestää riittävää suojaa lämmöltä, kipinänlähteiltä, pölyltä, öljyn saasteilta ja muilta mahdollisesti vahingollisilta ympäristön vaikutuksilta järjestelmää ja sen komponentteja kohtaan. Jos mahdollista, olisivat akut aina hyvä sijoittaa omaan huoneeseensa. Akkuhuoneessa ei myöskään saa olla mitään laivan ohjaukseen tai toimintaan vaikuttavaa laitteistoa. (DNVGL Guideline 2015.) Akkuhuoneisiin olisi hyvä järjestää visuaalinen näköyhteys joko esimerkiksi ovensa olevan ikku-

nan kautta tai videokameravalvonnan avulla, jotta huoneen tila voitaisiin tarkistaa ennen huoneeseen menoa. (Corvus Energy 2015.)

3.4 Vikatilat akkuhuoneessa

Akkuhuoneessa on erilaisia syitä jotka voivat johtaa vaara- tai vikatilaan. Niiden ehkäisemiseksi tarvitaan akkuhuoneeseen ilman lämpötilan säätely, ilmanvaihto, palontorjunta sekä moduuleiden lämmönhallinta. (DNVGL Guideline 2015.)

Lämpötilan säätely kontrolloi akkuhuoneen lämpötilaa joko aktiivisesti tai passiivisesti poistamalla tai lisäämällä ilmaa. Vikatilanteessa huoneesta tulee liian kuuma tai liian kylmä, mikä vaikuttaa akkujen toimintaan ja elinikään. (DNVGL Guideline 2015.)

Ilmanvaihto poistaa mahdollisia akuista purkautuneita kaasuja huoneesta. Se havaitsee huoneeseen tulevat kaasut akkujärjestelmän antureista ja käynnistää kaasun poistamisen. Ilmanvaihto on yhteydessä kanavaan joka poistaa kaasut turva-alueelle. Vikatilan sattuessa huoneeseen voi muodostua myrkyllisiä, sekä palavia kaasuja akuista. (DNVGL Guideline 2015.)

Tulipalon sattuessa akuissa tai akkuhuoneessa, pitää palontorjunta huoneen lämpötilan mahdollisimman alhaisena ja pyrkii sammuttamaan palon. Sammutustyyppejä riippuu akkujen kemiasta. Vikatilanteessa palontorjunta ei huomaa tulipaloa ajoissa tai ollenkaan, aktivoituu vaikka niin ei olisi tarkoitettu, tai ei onnistu sammuttamaan paloa. (DNVGL Guideline 2015.)

Akkujen oma lämmönhallinta kontrolloi moduuleiden lämpöä mittaamalla solujen lämpötilaa, tarjoamalla riittävän jäähdytysaineen ja tuottamalla tietoa akkujenhallintajärjestelmälle moduuleiden lämpötilasta, jolloin moduuli voidaan kytkeä pois päältä jos se on liian kuuma. Jos lämmönhallinnassa on vikatila, sen sensorit eivät toimi oikealla tavalla, jäähdytysaineen välittäminen ei onnistu tai sen ohjauksessa voi olla vikaa. (DNVGL Guideline 2015.)

3.5 Paloturvallisuus

Huoneissa jotka sijaitsevat akkutilojen vieressä, tulee olla riittävä palonsuojaus. Riittävän suojauksen antaa jos ne pitävät sisällään hyvät palontunnistuslaitteet, sekä palonsammutusjärjestelmät jotka estävät palon leviämisen akkuhuoneisiin. On tarkastettava myös, pitääkö akkuhuoneen eristys sen riittävän koskemattomana mahdollisen viereisen huoneen tulipalon ajan. Mikäli palo saa alkunsa akkuhuoneessa, auttaa varhainen palon havaitseminen ja tehokkaampi viilennys pitämään paloa kurissa. (DNVGL Guideline 2015.)

Akkujen palosuojaukselle on omat toteuttamistavat. Näihin kuuluvat akunhallintajärjestelmän oma sähkön- ja lämpötilanohjaus ilman manuaalista turvatoimenpiteiden käyttöönottoa. Soluissa tapahtuva lämmönsiirtyminen tulisi pitää minimissään, joten moduuli on suunniteltu niin, että solusta soluun tapahtuva lämmönkarkaus on vähäistä. Jos lämpö kuitenkin pääsee etenemään moduulin sisällä, ei moduulin ulompi pinta saa ylittää kriittistä lämpötilaa joka on noin 130 °C. Liekkejä ei saisi aiheutua moduulin palon aikana. Mikäli moduulin suojaus ei toimi toivotulla tavalla, pitää viimeistään akkutilan palonsammutusjärjestelmien estää palon eteneminen moduuleiden sekä muun huoneen välillä. Tulen levittyessä muihin akkupaketteihin pidetään tulipaloa hallitsemattomana. (DNVGL Guideline 2015.)

Tulipalon tapahtuessa akkuhuoneen ulkopuolella tulee ottaa huomioon, että palo ei saa aiheuttaa moduuleiden lämpötilan nousua yli 70 °C kuin 30 minuutiksi. Jos akkukennojen lämpötila on ylittänyt akkuvalmistajan antaman maksimi lämpötilan, pitää akkujärjestelmä tarkistaa ja huoltaa akkuvalmistajan toimesta ennen kuin se voidaan ottaa taas käyttöön. Akkutilan lattia, seinät, ovet ja muut pinnat on oltava suojausluokkaa A60, jonka on estettävä palon leviämistä 60min ajan. (DNVGL Guideline 2015.)

Akkujen kemia on tärkeää ottaa huomioon kun aletaan miettiä tulipalon sammutusmetodeja, sillä veden käyttö litiumakkujen sammutuksessa saa aikaan vetyä. Kuitenkin se saataisiin sammutettua turvallisesti käyttämällä suolaa. On tärkeää olla yhteydessä akkuvalmistajaan, joka parhaiten pystyy määrittelemään tarvittavat vaatimukset, sekä suunnittelijaan joka on vastuussa palontorjunta järjestelmistä. Voi myös olla

mahdollista, että sammutustapoja joudutaan testaamaan ennen virallista päätöstä, jotta voidaan olla varmoja sammutustavan toimivuudesta ja turvallisuudesta. DNV kuitenkin suosittelee vesipohjaisia sammutusjärjestelmiä.

Pitää kuitenkin ottaa huomioon myös se, että on normaalia jos akkuhuoneeseen ei pääse ihmisiä palon aikana, joten se vaikuttaa myös siihen mihin sammutustapaan päädytään. Palon sattuessa li-on akuista vapautuu erilaisia kaasuja joista suurin osa ovat palavia. Niistä vapautuu myös hiilimonoksidia joka on myrkyllistä. Näin ollen ne vaikuttavat myös palon vakavuuteen ja voivat vaarantaa ihmishengen. Jos sammutustavaksi valitaan vesi, täytyy sammutuksessa käytetty vesi hävittää turvallisesti, koska siihen on voinut sammutuksen aikana sekoittua vaarallisia kemikaaleja akuista. (Lloyd's Register 2015.)

3.6 C-Luku

Akuista puhuttaessa niiden lataus- ja purkaustiheyttä kutsutaan C-luvuksi. Tämä on siksi, että akkujen purkautumisessa ja latauksessa vaikuttavasta tekijästä voitaisiin käyttää yhteistä nimikettä, vaikka se vaihtuukin huomattavasti erilaisten akkujen välillä. C-luku on arvo lataus- tai purkausvirralle, jolla akku voidaan ladata tai purkaa tunnissa. 1C tarkoittaa sitä, että akku voi purkaantua tai latautua kokonaan yhdessä tunnissa. Akku jonka kapasiteetti on 100Ah tarkoittaa sitä, että akun purkausvirta on 100A. Jos akun C-lukuna olisi 2C tarkoittaisi se sitä, että akun purkausvirta olisi 200A ja C/2 puolestaan 50A. (MIT Electric Vehicle Team 2008.)

Taulukko 1. C-luku (Solarstik www-sivut 2015.)

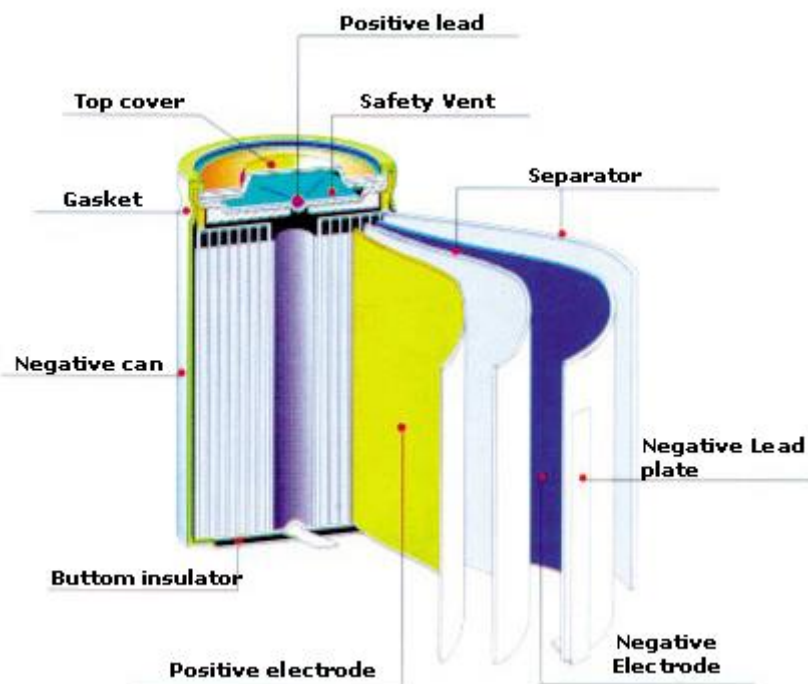
C-Rate	Rated Capacity	Formula	Amps	Discharge / Charge Time
10C	100 Ah	10 x 100A	1000A	6 minute
5C	100 Ah	5 x 100A	500A	12 minutes
3C	100 Ah	3 x 100A	300A	20 minutes
2C	100 Ah	2 x 100A	200A	30 minutes
1C	100 Ah	1 x 100A	100A	1 hour
C/2	100 Ah	100A / 2	50A	2 hours
C/3	100 Ah	100A / 3	30A	3 hours
C/5	100 Ah	100A / 5	20A	5 hours
C/10	100 Ah	100A / 10	10A	10 hours

Jos 1C tarkoittaa sitä, että akku tyhjenee yhdessä tunnissa, voidaan sitä soveltaa erilaisten C-lukujen kohdalla laskiessa akun purkautumisnopeutta. 6C tarkoittaisi vastaavasti 60min/6 jolloin akku voidaan purkaa kymmenessä minuutissa. Ja matalammalla 0,5C-luvulla 60min/0,5 jolloin akun tyhjenemiseen menisi kaksi tuntia. (MIT Electric Vehicle Team 2008.)

4 ENERGIAPANKIT

4.1 Litium-ioni

Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana litiumioni (myöhemmin li-on) akkujen suosio on kasvanut räjähdysmäisesti. Tämä johtuu pääosin siitä, että niillä on suhteellisen korkea energian ja tehontiheys verrattuna muihin kaupallisiin akkuihin. Li-on akuilla on myös pitkä elinkaari, sekä hyvä hyötysuhde. Huomioitavaa on, että li-on akuissa pitää olla ylilataus-suoja, jotta akut eivät pahimmassa tapauksessa räjähtäisi latauksen aikana. Tämä puolestaan vaikuttaa akkujen luotettavuuteen koska ne sisältävät enemmän elektroniikkaa, sekä nostavat akkujen hintaa. (Institut Carnot 2010.)



Kuva 1. Sylinterimäisen kennon rakenne (Batteryfacts www-sivu)

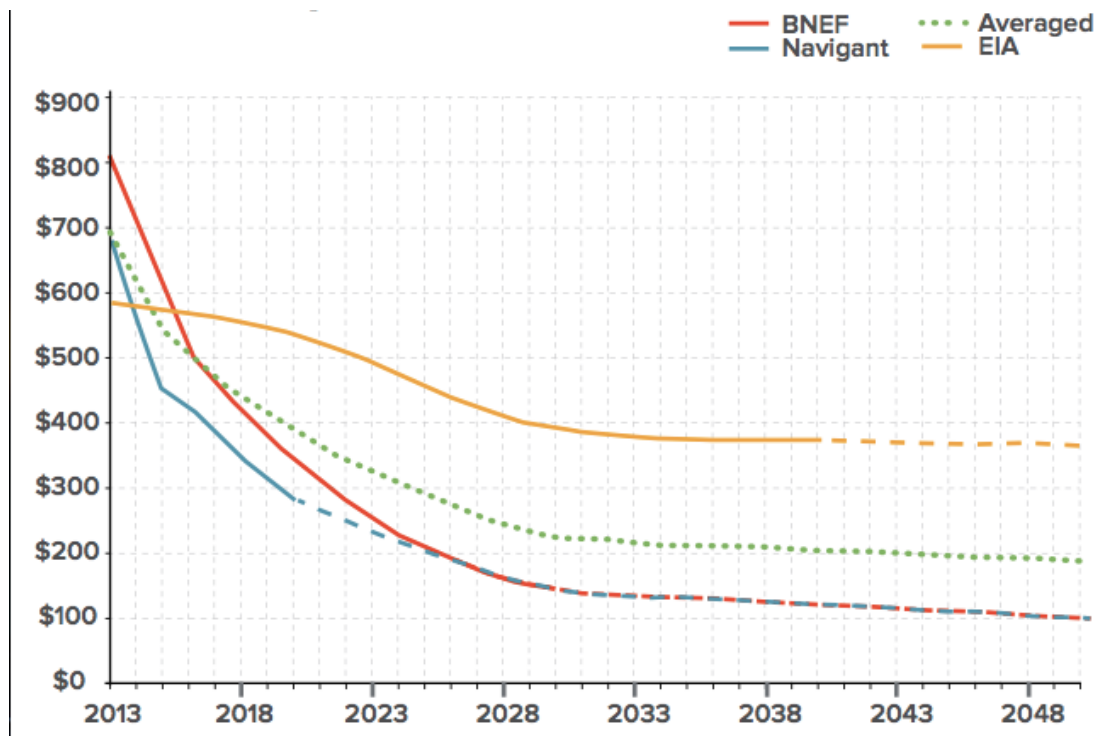
Verrattuna tavalliseen lyijyhappoakkuun, li-on akuissa on kaksinkertainen energian tiheys ja niissä on mahdollisuuksia jopa isompiin arvoihin. Korkea kennojännite mahdollistaa suhteellisen kompaktin akkujen pakettikoon, mutta latausominaisuudet ovat samanlaisia lyijyhappoakkujen kanssa. Li-on akkujen kennojännite on noin kolme kertaa korkeampi kuin tavallisessa lyijyhappoakussa. (Battery University www-sivut 2012.)

Li-on akuilla on muutama etu verrattuna lyijyakkuihin. Niiden huoltovaatimukset ovat pienet, ei suunniteltuja vaihtoja akkujen välillä eliniän pidentämiseksi ja niiden purkautuminen itsestään on jopa yli puolet pienempi kuin samanlaisilla lyijyhappoakuilla. Lisäksi li-on akut eivät ole myrkyllisiä ja akkujen hävittäminen on suhteellisen helppoa ja ympäristöystävällistä. (Battery University www-sivut 2012.)

Vaikka li-on akuilla on selvästi hyviä ominaisuuksia, on niillä myös heikkouksia. Kuten jo mainittu, ne tarvitsevat suojausta ylilatauksen suhteen jotta niitä voidaan käyttää turvallisesti. Ne ovat myös melko hauraita. Sisäänrakennettu lataus-suoja rajoittaa lataus- ja purkautumisjännitteet ja valvoo kennojen lämpötiloja. Nämä ennaltaehkäisevät toimenpiteet estävät metallista litiumia pinnoittumasta. (Battery University www-sivut 2012; Institut Carnot 2010.)

Kaikilla akuilla on ongelmia vanhentumisen kanssa, kuten myös li-on akuilla. Vaikka li-on akuilla on heikkouksia, on niillä silti todettu olevan pidempi elinikä kuin alkaliakuilla, jotka ovat herkkiä erityisesti lämpötilan ääripäihin. Laivoissa akkujen elinikä on mitoitettu yleensä noin kymmeneen vuoteen. (Helenius 2012, 42.)

Suoritukseen vaikuttavat ominaisuudet vaihtelevat paljon erilaisten li-on akkujen välillä. Näihin vaikuttavat esimerkiksi käytetyt materiaalit ja elektrolyytit. Tärkein seikka meriympäristössä on akkujen korkea tehontiheys ja se vaikuttaakin eniten laivojen akkuja valittaessa. Li-on akkujen korkea hinta on suuri ongelma verrattuna alkali akkuihin. Hinnat ovat kuitenkin kokoajan laskemassa. (Battery University www-sivut 2012.)



Kuva 2. Lion-akkujen hinnan arvioitu muutos. (Cleantechnica www-sivut 2014.)

4.2 Litium-ioniakkujen lataaminen ja purkautuminen

Perinteiset li-on akut ladataan tasasähköllä. Akku ladataan tasavirralla, kunnes se saavuttaa nimellisen jännitteensä. Kun akku saavuttaa nimellisen jännitetason, latausvirta tippuu ja akun lataustaso nousee. Lataus tulisi lopettaa, kun nimellisvirta on vain muutaman prosentin vajaa siitä, että akun maksimaalinen lataustaso on saavutettu. Li-on solujen nimellisjännite on korkeampi kuin lyijyhappoakuissa. Se on tyypillisesti 4,2V. (Battery University www-sivut 2012.)

Lämpeneminen on tyypillistä li-on akuille johtuen niiden epästabiiliudesta ja ne tulisi suojata tätä vastaan. Akkujen purkautumista liian alhaiselle tasolle tulisi myös välttää, sillä tämä johtaa lopulta siihen, että niiden lataus muuttuu mahdottomaksi. Li-on akkuja voidaan ladata huomattavasti nopeammin kuin lyijyhappoakkuja. Normaalisti lataus kestää kahdesta kolmeen tuntiin. (Battery University www-sivut 2012.)

4.3 Lyijyhappo

Lyijyhappoakut kehitettiin jo vuonna 1859 ja ne olivat ensimmäisiä ladattavia akkuja kaupalliseen käyttöön. Iästään huolimatta ne ovat edelleen laajalti käytettyjä vielä nykypäivänäkin ja monesta syystä. Ne ovat halpoja ja luotettavia hinta/watti suhteeltaan. On vain vähän akkuja jotka tarjoavat vastaavaa tehoa niin halvalla kuin lyijyhappo, mikä tekee niistä edullisen esimerkiksi autoissa, trukeissa, laivakäytössä ja ups-järjestelmissä. (Battery University www-sivut 2015.)

Akun kokonaan purkautuminen kuluttaa akkua ja jokainen akun purkaus- ja latauskerta vähentää hieman akun kapasiteettiä pysyvästi. Se on kuitenkin vähäistä, mikäli akkua käytetään oikeissa olosuhteissa, mutta kasvaa kun sen kapasiteetti tippuu alle puoleen nimellisestä. Riippuen akun purkautumissyvyydestä niiden elinikä on kuitenkin vain joitain satoja purkaus/lataus kertoja. (Battery University www-sivut 2015.)

Lyijyhappoakkujen käyttäminen laivoissa saattaa kuitenkin aiheuttaa ongelmia joihin niiden alhaisesta eliniästä ja niiden suuresta koosta suhteessa niiden tarjoamaan energiaan ja tehoon. Niiden käytössä pitää ottaa huomioon myös lämpölaajeneminen, ilmastointi ja akkujen uudelleentäyttäminen vedellä. Lyijy on myös myrkyllistä, joten sen asianmukainen hävittäminen tulee ottaa huomioon. Ne ovat kuitenkin halvimpia akkuja ja hintaa kertyykin vain noin 150\$/kWh (Helenius 2012, 77.)

Taulukko 2. Lyijyhappoakkujen vahvuudet ja heikkoudet. (Battery University www-sivut 2015.)

Edut	<ul style="list-style-type: none"> - Halpa ja helppo valmistaa; matala hinta per wattitunti - Vähäinen itsestään purkautuminen; vähäisin kaikista akuista - Korkea ominaisteho, pystyy suuriin purkausvirtoihin - Hyvä suorituskyky kuumissa ja kylmissä olosuhteissa
Heikkoudet	<ul style="list-style-type: none"> - Matala energiantiheus; huono paino/energiasuhde - Hidas lataus; täyteen lataaminen kestää 14-16h - Täytyy varastoida ladatussa tilassa sulfatoitumisen estämiseksi - Rajoitettu elinikä; jatkuva tyhjäksi päästäminen vähentää elinikää - Ei ympäristöystävällinen

4.4 Superkondensaattori

Superkondensaattorit ovat sähkölaitteita joita käytetään erittäin suurien sähkövaraus-ten säilömiseen. Ne tunnetaan myös kaksikerroksisina kondensaattoreina ja ultrakondensaattoreina. Toisin kuin perinteiset kondensaattorit, superkondensaattorit käyttävät kahta tapaa varastoida sähköistä energiaa: kaksikerroksista kapasitanssia ja valekapasitanssia. Superkondensaattori yhdistää toimintansa normaalin kondensaattorin, sekä perinteisen akun kanssa. Toisinsanottuna superkondensaattorit ovat erilailla suunniteltuja kondensaattoreita joilla on erittäin korkea kapasitanssi. Ne yhdistävät kondensaattorin ja akun ominaisuudet yhteen laitteeseen. (Capacitorguide www-sivut 2016.)

Superkondensaattori on kaksikerroksinen ja se eroaa normaalista kondensaattorista siten, että sillä on erittäin korkea kapasitanssi. Kondensaattori varastoi energian avulla staattista varausta toisin kuin sähkökemiallisessa reaktiossa. Jännite-eroa syötettäessä kondensaattorin positiivisille ja negatiivisille levyille se latautuu.

Superkondensaattorin jännite on rajattu 2.5-2.7 volttiin. Yli 2.8V jännitteet ovat myös mahdollisia, mutta ne lyhentävät sen elinikää. Jotta saavutettaisiin korkeammat

jännitteet, tulee useampia superkondensaattoreita kytkeä sarjaan. Sarjakytkentä vähentää kokonaiskapasitanssia ja lisää sisäistä vastusta. Yli kolmen kondensaattorin sarjat vaativat jännitteentasaajan joka estää kennojen ylijännitteen. Li-on akuilla on samantyylinen suojapiiri. Superkondensaattoreiden energia vaihtelee 1-30Wh/kg joka taas on huomattavasti vähemmän kuin li-on akuissa. Purkautumiskäyrä on myös yksi sen heikkouksista. Kun akut tuottavat tasaisen jännitteen teholuokassaan, laskee superkondensaattoreiden jännite lineaarisesti vähentäen sen tehollista hyötyä. (Battery University www-sivut 2015.)

Superkondensaattorit ovat tarkoitettuja lyhytkestoisiin paljon tehoa vaativiin toimiin joiden kesto voi vaihdella sekunneista muutamiin minuutteihin. Vastaavasti superkondensaattorit latautuvat jopa 1-10 sekunnissa. (Battery University www-sivut 2015.)

Ne ovat turvallisempia väärinkäsiteltyinä kuin akut. Akut saattavat räjähtää oikosulun aiheuttamasta lämpenemisestä, mutta superkondensaattorit eivät lämpene yhtä paljon koska niissä on pieni sisäinen resistanssi. Täyteen ladatun superkondensaattorin ajaminen oikosulkuun voi aiheuttaa valokaaren mikä puolestaan saattaa vahingoittaa laitetta, mutta kuten akuissa, lämpötila ei ole ongelma. Superkondensaattorit voidaan ladata ja purkaa miljoonia kertoja ja niillä on käytännössä päättymätön elinikä, kun akkujen elinikä puolestaan on vain >500 kiertoa. (Capacitorguide www-sivut 2016.)

Superkondensaattoreita käytetään tuottamaan lyhytaikaista voimaa, kun taas akut tuottavat pitkäaikaista energiaa. Yhdistämällä nämä kaksi hybridiakuksi saadaan akulle kohdistuvaa kuormitusta pienennettyä ja sen elinikä kasvaa. Tämä mahdollistaa myös sen, että akut voidaan mitoittaa pienemmiksi kuin ilman superkondensaattoria, jolloin voidaan säästää tilaa, vähentää päästöjä ja jopa polttoaineen kulutusta. (Helenius 2012, 42; Battery University www-sivut 2015.)

Taulukko 3. Superkondensaattoreiden vahvuudet ja heikkoudet. (Battery University www-sivut 2015.)

Edut	<ul style="list-style-type: none">- Periaatteessa rajoittamaton elinikä; voidaan käyttää miljoonia kertoja- Korkea ominaisteho; matala resistansi mahdollistaa suuret latausvirrat- Latautuu sekunneissa- Yksinkertainen lataus; ottaa vain sen mitä tarvitsee, ei ylilataudu- Turvallinen; ei aiheudu vaaraa jos kohdellaan väärin- Erinomainen latautuminen ja purkautuminen kylmissä oloissa
Heikkoudet	<ul style="list-style-type: none">- Matala nimellisenergia; murto-osa tavallisesta akusta- Lineaarinen purkautumisjännite estää käyttämästä koko energiatarjontaa- Korkea itsestään purkautuminen; korkeampi kuin useimmissa akuissa- Matala solujännite; vaatii sarjakytkentöjä ja jännitteentasaaajan- Korkea hinta per watti

5 AKKUJÄRJESTELMÄ LAIVASSA

5.1 Käyttötarkoitukset

Akkukäyttö laivoissa on yleistymässä kovaa vauhtia. Akkuja käyttämällä voidaan vähentää laivan päästöjä, sekä polttoaineen kulutusta, joka johtaa puhtaampaan käyttöön. Laivojen päästöt ovat kovan tarkkailun alla, joten laivojen valmistajat ovat alkaneet osoittamaan mielenkiintoaan erilaisia laivojen akkujärjestelmiä kohtaan. Laiva voidaan toteuttaa kokonaan sähköisenä, tai hybridimallina. Kokonaan sähköisissä laivoissa tehoa tuottavat apukoneet on korvattu kokonaan akuilla jotka syöttävät sähkötehoa moottoreille, näin ollen sen päästöt ovat myös minimaaliset. Akkuhybridilaivoissa generaattoreita on korvattu akuilla tai niitä on lisätty generaattoreiden ohelle, jolloin voidaan vähentää laivan polttoaineen kulutusta, sekä sen aiheuttamia päästöjä. Akuilla voidaan tasoitella laivan tehohuippuja (peak shaving), tai niitä voidaan käyttää tuottamaan sähkötehoa, jotta laiva ei joutuisi käynnistämään ylimääräisiä apukoneita lyhytkestoisissa tilanteissa, mikäli akkutehoa on riittävästi. Ylimääräistä apukonetta ei välttämättä tarvitse myöskään käynnistää niissä tilanteissa, joissa normaalisti toinen apukone olisi varalla eli ”spinning reservenä”. Akkujen avulla voidaan siis korvata yksi tai useampia generaattoreita, käyttämään generaattoreita optimitteholla joka on taloudellisempaa ja tuottaa säästöjä, pienentää generaattoreiden kapasiteettejä tai välttämään generaattoreiden käyttöä esimerkiksi rannassa. Tämä opinnäytetyö keskittyy akkuhybridimalliin. Kuvassa 3. on vuonna 2014 käyttöön otettu ja samalla maailman ensimmäinen kokonaan akuilla toimiva Norjalaisen Nordledin valmistama Ampere autolautta.



Kuva 3. Norjalaisvalmisteinen Ampere-autolautta. (Sismarine www-sivut 2015.)

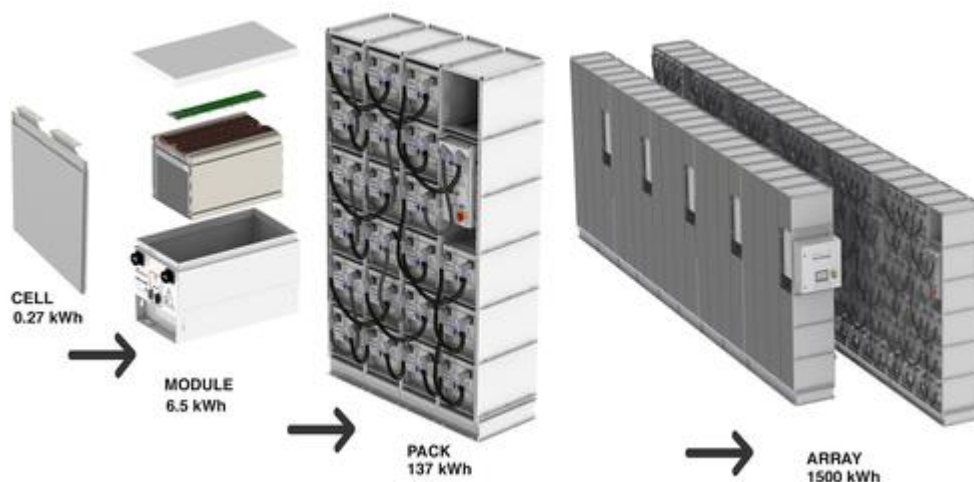
5.2 Akkujen lataus

Akkujen lataus voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä. Akkuja voidaan ladata esimerkiksi satamassa kytkemällä laiva maasähköverkkoon, aurinkoenergialla tai generaattoreilla. Edellä mainitun Ampere autolautan akkujen varaustaso pidetään yllä rannassa valmiiksi ladatuilla energiapankeilla, joihin lautta kytketään kiinni. Tämä tapahtuu sillä välin, kun lautta päästää kyydissä olevat autot maihin ja ottaa uudet autot kyytiinsä.

Opinnäytetyön kohdelaiva puolestaan ei vaihda akkuja tai edes lataa niitä satama-aikana maissa, vaan akkujen lataus tapahtuu silloin, kun laivan generaattoreiden tuottama energiataso ylittää laivan käyttötarpeet. Akut purkautuvat vastaavasti silloin, kun laiva tarvitsee enemmän tehoa eikä ole järkevää käynnistää ylimääräistä apukonetta, mikäli akkujen varaustaso on tarpeeksi korkea. Tämä tarkoittaa siis sitä, että kohdelaivan akut voivat olla kokoajan joko lataus- tai purkaustilassa, kuitenkin ylitämättä tai alittamatta akuille asetettua varaustason ylä- ja alarajaa.

5.3 Akkujärjestelmä

Hybridi ja kokonaan sähköisissä laivoissa on akkupaketti, joka koostuu erillisistä akuista ja kennoista, jotka ovat kytketty sarjaan tai rinnan. Kenno on järjestelmän pienin komponentti ja ne ovat pakattu akun sisään. Kennojen jännite vaihtelee yhdestä kuuteen volttiin. Akku koostuu näistä kennoista jotka ovat myös kytketty sarjaan tai rinnan. (MIT Electric Vehicle Team 2008.)



Kuva 4. Akkujärjestelmä kokonaisuudessaan. (Corvus Energy www-sivut 2015.)

AT6500 akku on jokaisen energianvarastointijärjestelmän perusta. 6.5kWh:n akku on muodostettu 24:stä litiumioni -kennosta ja akkujen hallintajärjestelmästä, (BMS) mihin voidaan ohjelmoida kaikki järjestelmän parametrit. Hallintajärjestelmän toimintoihin kuuluvat solujen taseus, akuston varaus- ja kuntolaskelmat, sekä vikojen havaitseminen ja raportointi. (Corvus Energy www-sivut 2015.)



Kuva 5. Akku (Corvus Energy www-sivut 2015.)

Akkupaketit sisältävät akkuja jotka ovat kytketty sarjaan. Ne muodostavat halutun väyläjännitteen aina 1100VDC ja 143kWh asti. Jokaista akkupakettia hallitaan pake-
tin omalla ohjaimella, joka säätelee tehoa, ohjausta, ja akkupaketin kommunikointia. Kuvan 6 akkupaketti sisältää 21 akku sarjassa ja niiden väyläjännite on 1050V. Akut ovat yhteydessä akkupaketin ohjaimen joka ylläpitää akkuja. (Corvus Energy www-sivut 2015.)



Kuva 6. Akkupaketti (Corvus Energy www-sivut 2015.)

Akusto sisältää useampia akkupaketteja jotka ovat kytketty rinnan. Tämä mahdollistaa sen, että järjestelmä saavuttaa halutun kapasiteetin. Jokaiseen akustoon kuuluu myös ohjain. Ohjain ohjaa useampia akkupaketteja ja hallinnoi ohjausta, kommunikointia, sekä raportointia järjestelmälle. Kuvan 7 akustot sisältävät 11:sta 1050V pakkaa, jotka sisältävät yhteensä 231 moduulia rinnakkain. Se sisältää myös 11 pakanohjainta. Pakanohjaimet puolestaan ovat yhdistetty rivinjohtajaan joka ohjaa koko järjestelmää. (Corvus Energy www-sivut 2015.)



Kuva 7. Akusto (Corvus Energy www-sivut 2015.)

Järjestelmään kuuluu myös CUBE ilmajäähdytteinen hyllyjärjestelmä. Se parantaa huomattavasti tehollisarvon (RMS) C-lukuja ja vähentää lämpötilanmuutoksia pake-teissa. Jäähdytysjärjestelmä on myös helppo integroida laivan HVAC laitteisiin. (Corvus Energy www-sivut 2015.)

5.4 Järjestelmän omat turvatoimet

Järjestelmiin on luotu omat turvallisuusjärjestelmät joihin kuuluvat viisivaiheinen menettelytapa mahdollisen tulipalon aikana, sekä neljä vaihetta lämpötilanmuutoksen hallintaa. (Corvus Energy www-sivut 2015.)



Kuva 8. Tulipalon ehkäisyn vaiheet. (Corvus Energy www-sivut 2015.)

1. Laivan henkilökunta tarkkailee järjestelmää ja reagoi järjestelmän statuksen muutoksiin.
2. Tehon hallintajärjestelmä säätelee energianvarastointijärjestelmään kytkettyjen laitteiden tehonkäyttöä.
3. Akkujen hallintajärjestelmä varmistaa tarkan monitoroinnin, latauksen ja kommunikoinnin.
4. Pakettien ohjain tuottaa välittömän suojan katkosten aikana jos tarpeen.
5. Moduulien ja solujen tulenkestävät kotelot estävät lämmönkarkaamisen, joten tapaus rajoittuu vain yhteen moduuliin.

(Corvus Energy www-sivut 2015.)



Kuva 9. Lämpötilanmuutoksen säätely. (Corvus Energy www-sivut 2015.)

1. Moduulissa tapahtuva lämpötilanmuutos pysyy vain kyseisessä moduulissa, eikä leviä viereisiin moduuleihin.
2. Hyllyjärjestelmä auttaa pitämään tapahtuman vain yhdessä moduulissa.
3. Integroitu palonsammutusjärjestelmä viilentää akkupakettia lämmönkarkailun aikana.
4. Integroitu ilmanvaihto poistaa vuotaneet kaasut akkuhuoneesta.
(Corvus Energy www-sivut 2015.)

5.5 Energy optimized ja power optimized

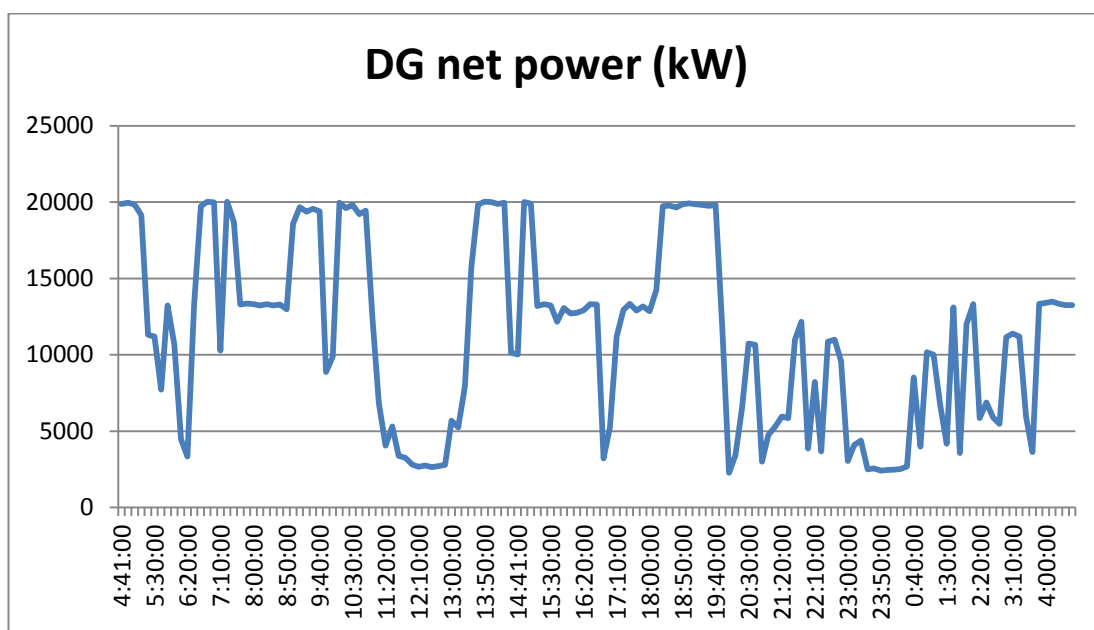
Energy optimized ja power optimized tarkoittavat sitä, että akut ovat optimoitu erillisesti. Energy optimized tarkoittaa, että akkujen lataus ja purkautuminen tapahtuu hitaasti, jolloin akun purkautumiseen kuluu enemmän aikaa ja siitä saadaan hyötyä pidemmän aikaa, mutta pienemmällä teholla. Käyttökohde laivassa voisi olla esimerkiksi täyssähköinen propulsiojärjestelmä jossa ei tarvita ollenkaan generaattoreita tuottamaan tehoa propulsiomooottoreille. Tämä aiheuttaa sen, että laivan kulkunopeus ei voi olla kovinkaan korkea, mutta laivan päästöt ovat minimaaliset ja se on erittäin ympäristöystävällinen. Tätä vaihtoehtoa käytetäänkin usein laivoissa.

Power optimized taas tarkoittaa, että akkujen lataus ja purkautuminen tapahtuu huomattavasti nopeampaa energy optimizediin verrattuna. Saadaan suuria tehoja nopealla ajanjaksolla, mutta akut myös tyhjenevät nopeasti. Käyttökohteena voivat olla muun muassa hybridilaivat, joissa generaattoreiden lisäksi on akkujärjestelmät jotka pystyvät tuottamaan generaattoreiden lisäksi tehoa. Akut mahdollistavat sen, että tehon tarpeen kasvaessa, ei välttämättä tarvitse käynnistää ylimääräistä generaattoria, vaan vaadittu ylimääräinen teho voidaan ottaa suoraan akuista. Power optimized akuilla voidaan siis toteuttaa niin sanottua huippujen tasoittelua ”peak shaving”. Vaihtoehtoa ei kuitenkaan käytetä yleensä laivoissa, vaan silloin kun tarvitaan nopeasti tehoa kuten nostureissa.

6 AKKUJEN MITOITUS

6.1 Akkujen mitoituksen perusteet

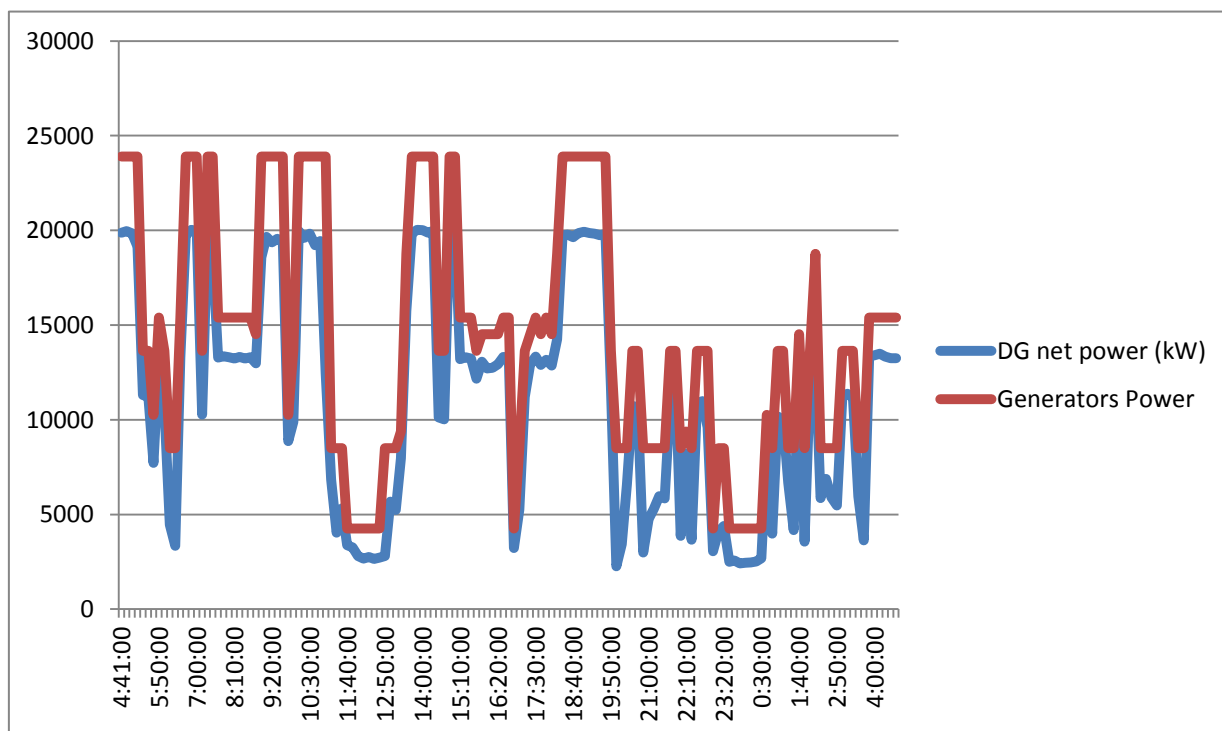
Opinnäytetyön yksi keskeisimmistä asioista oli luoda Excel-ohjelma, joilla akkujen mitoitus onnistuisi. Ohjelman perustana käytettiin samankaltaisen laivan tehokäyrää, josta selvisi laivan tehonkäyttö minuutin välein vuorokauden ajalta. (Kuva 10.) Näitä tietoja käyttämällä, saatiin suuntaa antava kuva siitä, mikä kohdelaivan tehonkäyttö tulisi olemaan. Laivan akkutyypiksi valittiin li-on.



Kuva 10. Laivan tehonkäyttö

Ensimmäisenä dataa analysoidessa määriteltiin kuinka monta generaattoria kullakin hetkellä on käynnissä. Mallialuksessa laivalla oli käytössä neljä generaattoria, ja työn kohteena olevassa laivassa puolestaan kuusi. Työssä kohdelaivan generaattoreiksi oli valittu neljä 5130kW:n ja kaksi 4250kW:n generaattoria. Generaattoreiden määrä tehoa kohden määriteltiin siten, että niiden kuorma pysyi alle 90 % ja niiden tuottaman tehon ja laivan käyttämän tehon erotus oli mahdollisimman pieni. Vaatimuksena oli myös se, että laivalla täytyy olla aina vähintään kaksi generaattoria käynnissä, paitsi satama-aikana jolloin riittää yksi. Syynä tähän on niin sanottu spinning reserve, joka tarkoittaa sitä, että mahdollisen generaattorin vikatilanteen aikana, täytyy generaattori

tori olla välittömästi korvattavissa toisella apukoneella. Generaattoreiden määrän selvittämisen jälkeen saatiin tietoja (Kuva 11.), joiden perusteella akkuja alettiin mitoittamaan.

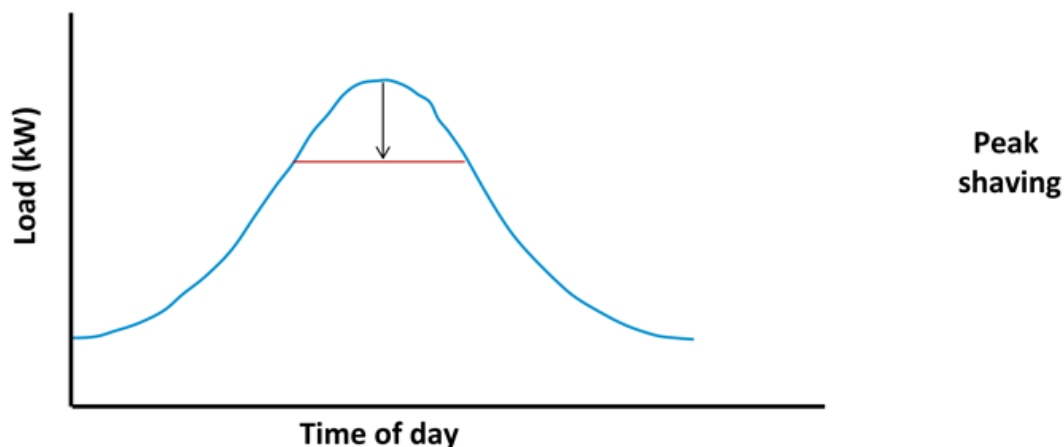


Kuva 11. Käytetty teho sinisellä ja generaattoreiden tuottama teho punaisella.

6.2 Tehohippujen tasoittelu

Akkujen mitoituksen vaatimuksena oli tehohippujen tasaus. Tavoitteena oli laskea kuvassa 11. näkyvän Generators Power käyrän generaattoreiden luomia tehohippuja akuilla, mikä puolestaan johtaa siihen, että käynnissä olevien generaattoreiden lukumäärää pystyttäisiin laskemaan ja samalla vähentämään laivan polttoaineen kulutusta. Huippujen tasoittelu toteutettiin erilaisia akkukokoja kokeilemalla ja vertailemalla niiden tuloksia.

Kuvaajan luominen huippujen tasoituksesta, antoi hyvän visuaalisen kuvan siitä, miten huippujen leikkaus toimii. Kuvasta 12. näkee, kuinka tehohippu on leikattu, jolloin laivan generaattoreiden tuottaman tehon tarve laskee.



Kuva 12. Tehohuipun tasaus.

6.3 Vaatimukset akuilta

Ennen akkujen mitoituksen alkamista, täytyi miettiä minkälaisella käyttöväylillä akkuja voisi laivassa käyttää. Li-on akkuja ei saa päästää purkautumaan liian alhaiselle varaustasolle, eikä niitä myöskään saa ladata liian täyteen, jotta niiden elinikä ei kärsisi. Akkujen tavoitteena oli se, että niiden käyttöikä olisi noin 10 vuotta, ja että niiden C-luku olisi 1-3. Isompi C-luku kasvattaa akkupaketin hintaa, mikä puolestaan nostaisi niiden takaisin maksuaikaa huomattavasti, mikä ei olisi kannattavaa tämän kokoluokan laivassa.

Työssä päädyttiin siihen, että akut saisivat purkautua alhaisimmillaan 40%:n ja ladatakseen maksimissaan 90%:n, jotta saavutettaisiin haluttu 10 vuoden elinikä. Nämä arvot varmistettiin vielä norjalaiselta akkuvalmistajalta Corvus Energyltä, joka totesi nämä ehdot käyttökelpoisiksi.

6.4 Akkujen mitoitus

Akkujen mitoitus tapahtui työssä tehdyllä Excel-ohjelmalla jossa voitiin muuttaa akkujen kokoa, käynnissä olevien generaattoreiden määrää, akkujen hintaa, polttoaineen hintaa, sekä takaisinmaksuajan korkoprosenttia. Ohjelman avulla pystyttiin nä-

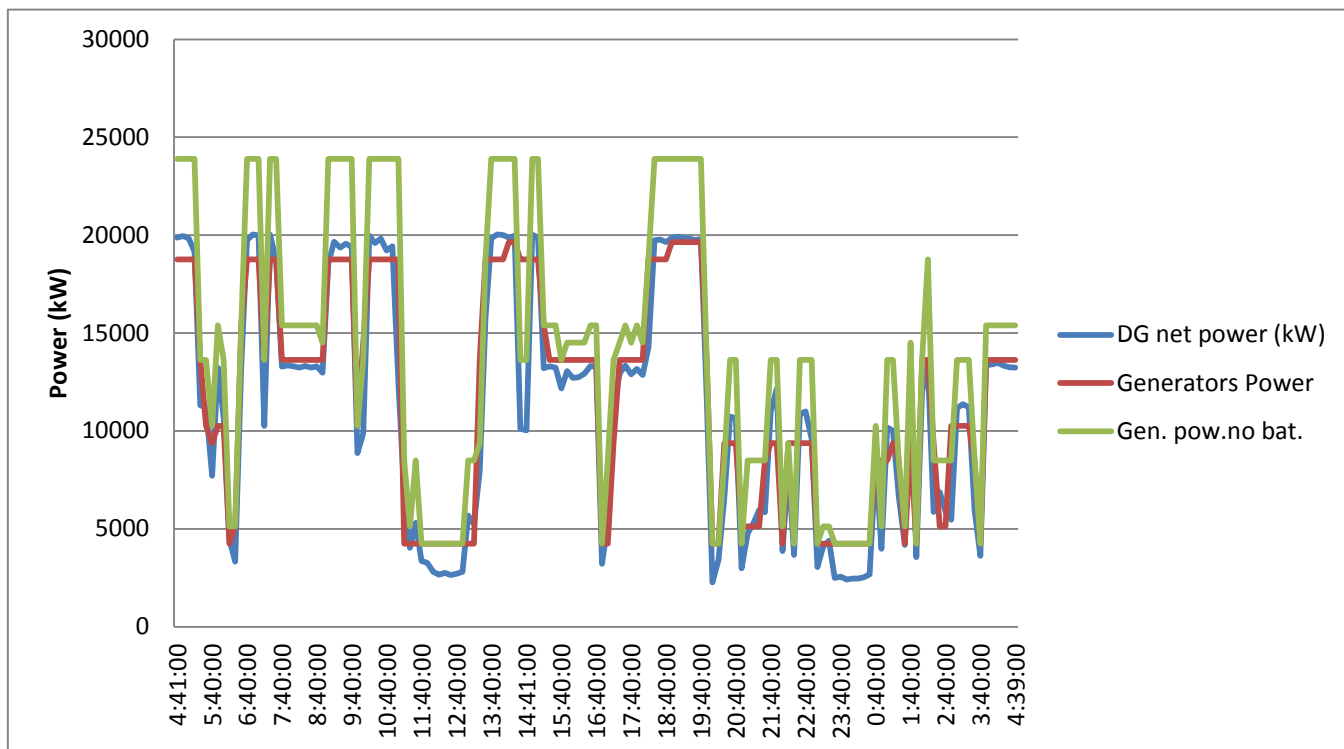
kemään kokonaisvaltainen kuva eri akkukokojen vaikutuksesta. Ohjelma tuottaa myös kuvaajat akkujen varaustasosta, sekä tehohuippujen tasoittelusta akkukokoa ja käynnissä olevien generaattoreiden lukumäärää vaihtelemalla.

Akkujen mitoitus ja optimointi laivaan tapahtui siten, että ensin valittiin haluttu akkukoko. Akkukokoina vertailuissa käytettiin muun muassa 1000kWh, 1500kWh, 2000kWh ja 2500kWh. Lähtökohta oli se, että akkujen varaustaso oli ympäri vuorokauden 90% eli maksimiarvossaan.

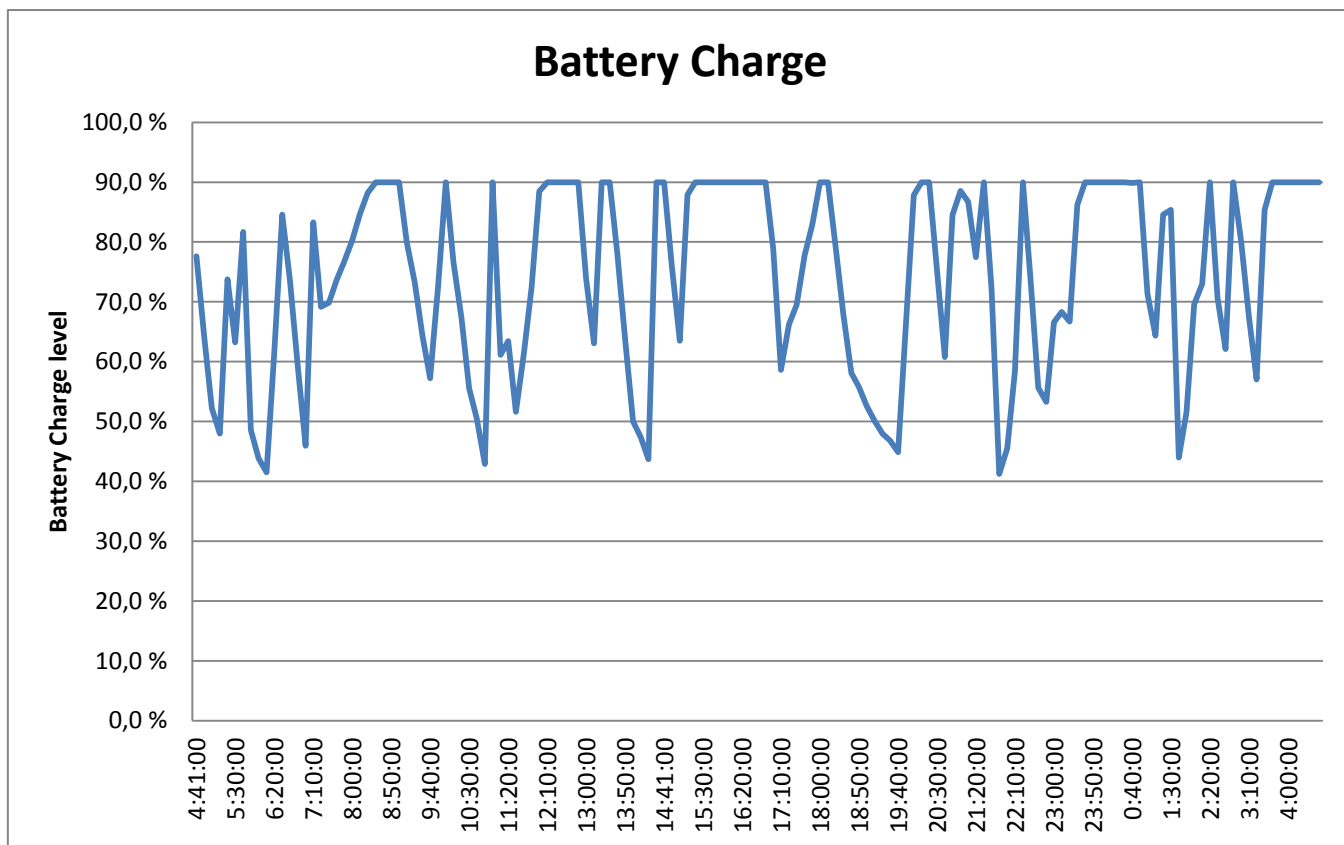
Halutun akkukoon kenttään asettamisen jälkeen, voitiin generaattoreiden lukumäärää alkaa kokeilla laskemaan eri tilanteissa. Näin ollen akut alkoivat purkautua, muistaen kuitenkin sen, että niiden varaustaso sai laskea vain 40%:iin. Akkukäyttö mahdollisti myös sen, että riittävällä akkukoolla voidaan laivaa käyttää yhdellä generaattorilla ajoittain muuallakin kuin satamassa, koska akut ovat valmiina korvaamaan mahdollisesti vioittuvan generaattorin hetkellisesti.

Akkuja mitoittaessa päädyttiin siihen, että sopivin akkukoko kyseiseen laivaan olisi kooltaan noin 1500kWh jolla päästiin parhaaseen hyötysuhteeseen ja noin 2,5% vuosittaiseen säästöön polttoainekustannuksissa. Alle 1500kWh oli kooltaan liian pieni, sillä niiden käyttömahdollisuudet olisivat jääneet erittäin alhaisiksi korkean tehontarpeen vuoksi, ja 2000kWh taas ei olisi antanut riittävästi hyötyä verrattuna 1500kWh: akkupakettiin nähden.

1500kWh:n kokoisen akkupaketin käyttö oli runsasta, eli ne olivat miltei kokoajan joko purkaus tai lataus tilassa ja niiden avulla saatiin leikattua riittävästi tehohuippuja jolloin käynnissä olevien generaattoreiden määrää kyettäisiin vähentämään tietyissä tilanteissa ja polttoainekustannuksia saataisiin karsittua.



Kuva 13. Kuvaajassa näkyy punaisella viivalla akuilla suoritettu generaattoreiden huippujen tasaus ja vihreällä alkuperäinen generaattorien tuottama teho, joka näin ollen on pystytty karsimaan.



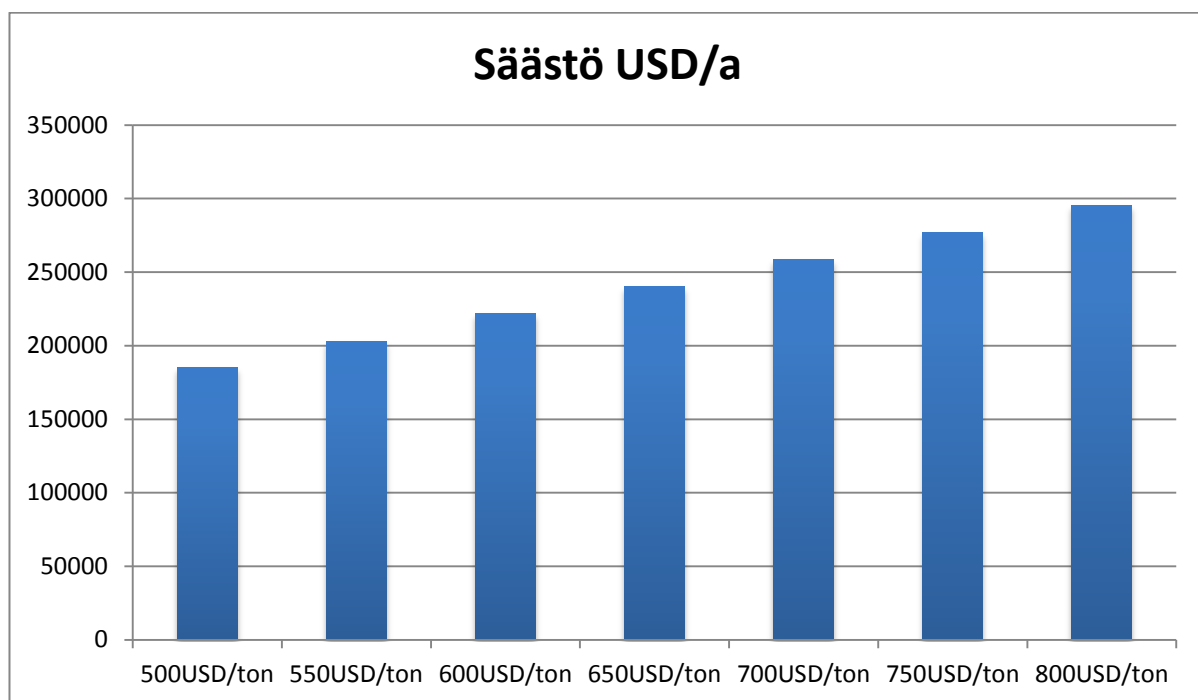
Kuva 14. Akkujen varaustaso vuorokauden eri aikoina.

Kaiken kaikkeaan Excel-ohjelmasta saadaan halutun akkukoon selvittyä arvio laivan polttoaineen kulutuksesta, polttoaine säästöistä, rahallisista säästöistä, akkujen kustannuksista, sekä akkujen arvioitu takaisinmaksuaika.

6.5 Takaisinmaksuaika

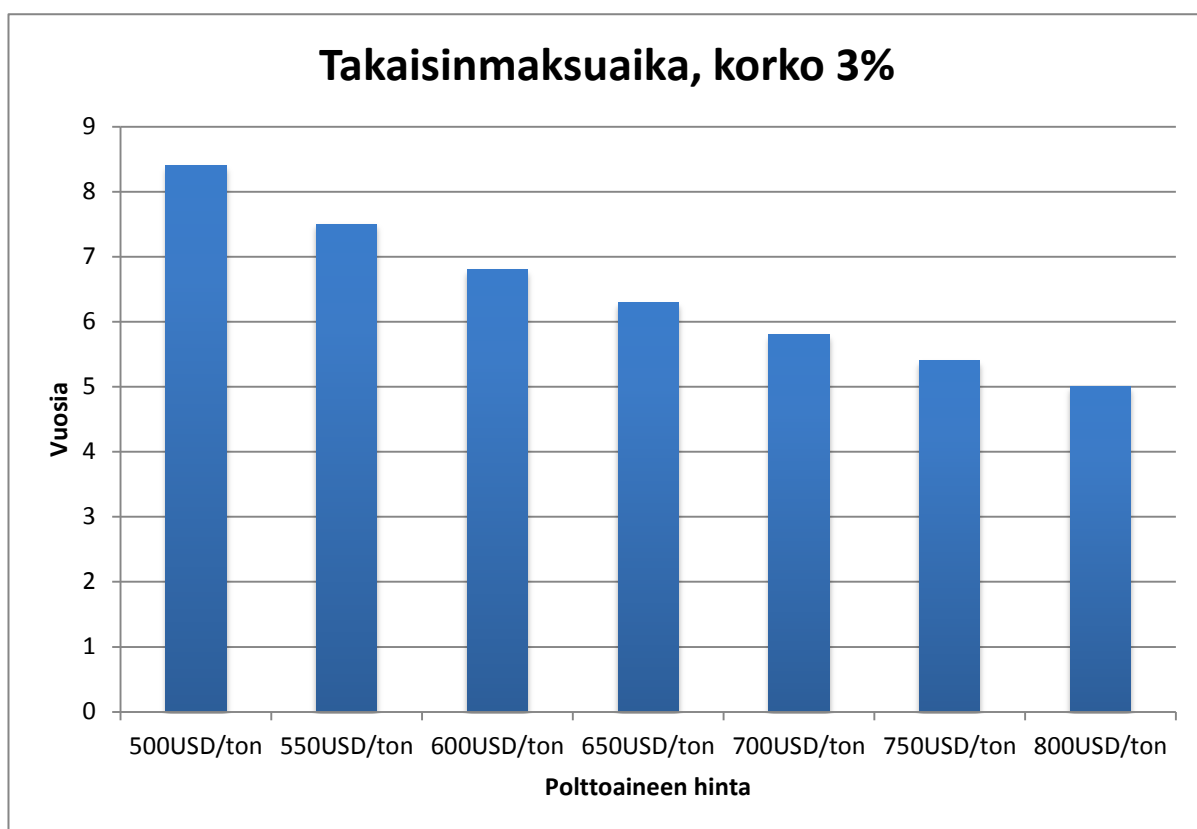
Akkujen takaisinmaksuaika määräytyy seuraavista osatekijöistä: akkujärjestelmän hinta, polttoaineen hinta, sekä akkujen tuottamat säästöt polttoainekustannuksissa. Akkujen, sekä polttoaineen hinta muuttuu kokoajan, joten se on otettava huomioon takaisinmaksuaikaa miettiessä.

Kyseisen akkujärjestelmän hinta nykypäivänä on noin 800-950USD/kWh, joten 1500kWh:n kokoisen akkujärjestelmän hinta olisi noin 1 350 000USD. Akkujen hinta on kuitenkin laskenut aikaisemmilta vuosilta ja niin se tekee edelleen. 1500kWh:n akkujärjestelmällä polttoainetta voidaan säästää noin 440 000kg/a. Polttoaineen hinta puolestaan vaihtelee erittäin paljon, joten työssä on käytetty useampaa hintaa välillä 500-800USD/ton. Kuvasta 15. selviää kuinka paljon polttoainekustannuksissa tulisi säästää vuodessa 1500kWh kokoisella akkujärjestelmällä.



Kuva 15. Säästöt polttoainekustannuksissa.

Takaisinmaksuaika on verrannollinen polttoainekustannuksista tuleviin säästöihin, sekä akkujärjestelmän hintaan kokonaisuudessaan. Takaisinmaksua laskiessa tulee myös käyttää korkoprosenttia, jotta saadaan selville todellinen takaisinmaksuaika. Tässä arviossa käytettiin 3%:n korkoa, mutta prosentti on myös vaihdettavissa tehdyssä Excel-ohjelmassa, jolloin ohjelma automaattisesti laskee uuden takaisinmaksuajan. Kuva 16. esittää minkälaisia takaisinmaksuaikoja akkujärjestelmällä olisi polttoaineen hinnan vaihtelulla.



Kuva 16. Takaisinmaksuajat polttoaineen eri hinnoilla.

Takaisinmaksuaika laskettiin (Docplayer www-sivut 2016.) lausekkeella:

$$\frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{H}{S}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}$$

Jossa:

i = korkoprosentti

H = säästö vuodessa

S = akkujen kokonaiskustannus

Takaisinmaksuaikaa voidaan asettaa erilaisiin luokkiin, ja tässä työssä onkin käytetty taulukon 4. mukaista asteikkoa.

Taulukko 4. Takaisinmaksuaikojen asteikko.

Erinomainen	alle 1 vuosi
Hyvä	1-3 vuotta
Tyydyttävä	3-5 vuotta
Välttävä	5-10 vuotta
Heikko	yli 10vuotta

7 KANNATTAVUUS

7.1 Johtopäätökset

Akkujen mitoittamisen ja niiden takaisinmaksuajan laskemisen jälkeen, päädyttiin sellaiseen tulokseen, että akuston asennus ei välttämättä tällä hetkellä olisi kannattavaa. Tulos johtuu korkeasta takaisinmaksuajasta, joka olisi parhaimmassa tilanteessa polttoainehintojen ollessa korkealla. Polttoainehintojen ollessa korkealla (800USD), olisi takaisinmaksuaika silti yli viisi vuotta, mikä ei yksinkertaisesti ole kovinkaan hyvä sijoitus, koska kohdelaivaan suunniteltujen akkujen elinikä on noin 10 vuotta. Takaisinmaksuajan tulisi pysyä alle viiden vuoden.

Edellä mainittu kuitenkin koskee sellaista ratkaisua, jossa akut lisättäisiin laivaan kuuden generaattorin lisäksi. Pitää kuitenkin ottaa huomioon, että laivasta voitaisiin mahdollisesti vähentää yksi apukone akkujen ansiosta. Tutkimalla generaattoreiden käyttöä 1500kWh akkujärjestelmän kanssa, huomattiin, että kyseisillä tehontarpeilla laivalla oli maksimissaan käytössä kerrallaan vain neljä generaattoria kuudesta.

Käynnissä olevien generaattoreiden lukumäärän mukaan voi todeta, että jos laivasta poistettaisiin yksi generaattori, olisi siinä silti yksi generaattori vielä varalla, tehonkäytön ollessa samankaltaista. Tällöin voidaan miettiä sitä, että akut korvaisivat kokonaan laivan kuudennen generaattorin. Yksi generaattori laivassa on hintaluokaltaan suunnilleen samaa luokkaa kuin akkujärjestelmä, jota laivaan mitoitettiin. Tällainen hybridijärjestelmä voisi siis olla varteenotettava ratkaisu, vaikka akustojen takaisinmaksuaika onkin hieman korkea. Akkujen hinnat ovat koko ajan laskussa, joten ensimmäisten akkujen saavuttaessa 10 vuoden iän, saadaan tilalle uudet akut jotka ovat huomattavasti halvemmat kuin nykyään.

Lopullisena arviona on se, että akkujen lisääminen kohdelaivan kuuden generaattorin ohelle tänä päivänä ei olisi kovin kannattavaa, mutta akkujen lisäys yhden generaattorin tilalle voisi olla hyvä ratkaisu. Akkujen ja polttoaineen hinnat muuttuvat koko-

ajan, joten tulevaisuudessa kyseiset mahdollisuudet voivat olla hyvinkin kannattavat. Tästä aiheesta on kerrottu seuraavassa kappaleessa.

7.2 Tulevaisuudennäkymät

Vaikka kohteeseen mitoitettulla akkujärjestelmällä on tällä hetkellä suhteellisen korkea takaisinmaksuaika, se ei tarkoita sitä, että se ei olisi milloinkaan kannattava. Akkujen hinnat ovat vuosien varrella olleet kovassa laskussa. Hintojen lasku jatkuu edelleen kovaa vauhtia kuten kuvasta 2. voi nähdä.

Polttoaineen hinnasta on vaikeampaa muodostaa selvää kuvaa, sillä se vaihtelee ylös ja alas jatkuvalla tahdilla. Suurempi merkitys takaisinmaksuun on kuitenkin akkujen alenevalla hinnalla. Esimerkiksi vuonna 2020 on 1500kWh:n akkujärjestelmä todennäköisesti huomattavasti halvempi, ja mikäli polttoaineen hinta ei laske aivan mitättömälle tasolle nykyhinnasta, pienenee myös akkujen takaisinmaksuaika merkittävästi.

LÄHTEET

Battery University www-sivut. 2012. Viitattu 07.11.2015

<http://batteryuniversity.com>

Battery University www-sivut. 2015. Viitattu 09.11.2015

http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries

Batteryfacts www-sivut. Viitattu 07.11.2015

<http://www.batteryfacts.co.uk/BatteryTypes/LiIon.html>

Capacitorguide www-sivut. 2016. Supercapacitor. Viitattu 03.01.2016

<http://www.capacitorguide.com/supercapacitor/>

Cleantechnica www-sivut. 2014. Viitattu 14.2.2016

<http://cleantechnica.com/2014/10/20/grid-defection-makes-economic-sense/>

Corvus Energy www-sivut. 2015. Viitattu 07.12.2015

<http://corvusenergy.com>

Corvus Energy. Finferries meeting. 25.01.2016. Viitattu 27.01.2016

Deltamarin Oy:n www-sivut. 2015. Viitattu 02.11.2015.

<https://deltamarin.com>

DNVGL Battery Rules. 2015. Viitattu 21.12.2015

Julkaisematon lähde

DNVGL Guideline. 2015. DNV GL - Guideline for large maritime battery systems
Viitattu 03.11.2015

Julkaisematon lähde

Docplayer www-sivut. 2016. Viitattu 10.02.2016

<http://docplayer.fi/3558263-Investoinnin-takaisinmaksuaika.html>

Eriksen, S. 2015. Battery Power – Class Rules. Viitattu 03.11.2015

<http://mmag15.com/wp-content/uploads/2015/10/Sverre-Eriksen-7-Battery-Power-class-rules-sept-2015-25-min.pdf>

Grenland Energy. 2015. Presentaatio 2015. Viitattu 20.12.2015.

Helenius, H. 2012. Energy storages in diesel-electric icebreakers. Diplomityö. Aalto University. Viitattu 27.12.2015

Institut Carnot .2010. Tutorial – Batteries for electric and hybrid vehicles. Viitattu 07.11.2015

[http://vppc2010.univ-lille1.fr/uploads/PDF/VPPC-10-Pres-tutorial-batteries-Part-I\(3\).pdf](http://vppc2010.univ-lille1.fr/uploads/PDF/VPPC-10-Pres-tutorial-batteries-Part-I(3).pdf)

Lloyd's Register. 2015. Large battery installations. Viitattu 07.11.2015
Julkaisematon lähde

MIT Electric Vehicle Team. 2008. A guide to understanding battery specifications.
Viitattu 07.11.2015
http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf

Raunek. 2010. What are RO-RO ships? Viitattu 02.11.2015
<http://www.marineinsight.com/marine/types-of-ships-marine/what-are-ro-ro-ships/>

Shortsea www-sivut. 2015. Viitattu 02.11.2015
<http://www.shortsea.fr>

Sismarine www-sivut. 2015. Viitattu 10.02.2016
<http://www.sismarine.com/sis-pioneering-vessel/>

Solarstik www-sivut. 2015. Viitattu 08.11.2015
http://www.solarstik.com/sites/default/files/content/battery_c-rate.png

Tentative Rules for Battery Power. 2012. Viitattu 20.12.2015
Julkaisematon lähde

Työkalu akkujen mitoittamiseen

The spreadsheet contains the following elements:

- Data Table (Columns A-K):** Lists 100 battery types with columns for model, capacity (Ah), voltage (V), and other specifications.
- Graph 1 (Top Left):** A line graph showing battery charge levels over time for various models.
- Graph 2 (Top Right):** A line graph titled 'Battery Charge' showing a specific charge profile.
- Summary Table (Middle):** A table with columns for 'Käyttöaika' (Usage time) and 'Kapasiteetti' (Capacity), listing selected battery models and their capacities.
- Graph 3 (Bottom Right):** A line graph showing another battery charge profile.
- Summary Table (Bottom):** A table with columns for 'Käyttöaika' and 'Kapasiteetti', listing additional selected battery models and their capacities.