

Alexi Saviola

UPS-järjestelmän suunnittelu m/s Wasa Express-alukselle

Opinnäytetyö
Merenkulun koulutusohjelma

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät Aleksi Saviola	Tutkinto Merenkulkuala	Aika Joulukuu 2018
Opinnäytetyön nimi UPS-järjestelmän suunnittelu m/s Wasa Express-alukselle		33 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja NLC Ferry Oy Ab		
Ohjaaja Joel Paananen		
Tiivistelmä <p>UPS-järjestelmällä taataan keskeytymätön virransyöttö aluksen kriittisille laitteille, ja se koostuu sähköverkon ja kriittisten laitteiden väliin asennettavasta UPS-laitteesta ja akustosta. UPS-laitteen lataus tapahtuu normaalitilanteessa laivan sähköverkon kautta ja häiriötilanteessa se luovuttaa akustoon varastoitunutta energiaa kriittisille laitteille.</p> <p>Opinnäytetyössä esitellään M/S Wasa Express -alukselle asennettava UPS-järjestelmä, sen toimintaperiaate, käyttövaatimukset sekä mitoitusperiaate. Työssä käsitellään myös järjestelmän asennukseen liittyviä turvallisuussäännöksiä ja alukselle asennettavan paineakuston toimintaa. Työn tarkoituksena on tutustua UPS-järjestelmään ja aluksen sähköntuotantoon, sekä selvittää millaisia etuja järjestelmän asennuksesta on varustamolle.</p> <p>UPS-järjestelmän rajoitetun kapasiteetin vuoksi aluksen peräsinkoneet rajattiin järjestelmän piiristä pois. Näiden toiminta haluttiin kuitenkin varmistaa asentamalla niille paineakut, joilla turvataan aluksen ohjailu black-out-tilanteessa. Työssä esitetään paineakkujen toimintaperiaate sekä alukselle valittujen akkujen mitoitukseen ja asennukseen liittyvää teoriaa.</p> <p>Tutkimuksen tärkein teema, eli turvallisuuden parantaminen, tullaan saavuttamaan sekä sähköisen UPS-järjestelmän, että hydraulisten paineakkujen asentamisen myötä. Lisäksi opinnäytetyössä arvioidaan muita järjestelmän asennuksesta koituvia säästöjä. Tällaisia ovat esimerkiksi polttoaine- ja voiteluöljykustannuksista sekä huoltoon liittyvistä kustannuksista muodostuvat säästöt. Aluksen ympäristöystävällisyyttä parannetaan tulevaisuudessa pysäyttämällä toinen apukone, jolloin päästöt ympäristöön pienenevät.</p>		
Asiasanat UPS-järjestelmä, paineakku, sähkönjakeluhäiriö, varavirtajärjestelmä		

Author (authors)	Degree	Time
Aleksi Saviola	Bachelor of Engineering	December 2018
Thesis Title Development of UPS-system on M/S Wasa Express		33 pages 4 pages of appendices
Commissioned by NLC Ferry Oy Ab		
Supervisor Joel Paananen		
Abstract <p>The UPS system provides uninterrupted power supply to the critical equipment of the ship and consists of an UPS device and battery installed between the ship's electric power network and the critical equipment. Normally, the UPS device is charged through the power network and in a black-out situation it will release the stored energy from the battery to the critical equipment.</p> <p>This thesis presents the UPS-system that will be installed on M/S Wasa Express, its operating principle, operating requirements and dimensioning principle. The thesis also examines safety regulations related to the UPS- system and the operation of the hydraulic accumulator that is to be installed on the vessel. The purpose of this thesis is to familiarize with the UPS-system and ship's electrical power production and examine the achieved benefits of the installation of system.</p> <p>Due to the limited capacity of the UPS-system, the ship's steering gears were excluded from the system, but their dependability is assured by installing hydraulic accumulators. These accumulators will secure the steering of the vessel in black out -situation. This thesis presents the operating principle of the hydraulic accumulators and theory of selecting, dimensioning and installing the accumulators.</p> <p>Improving the safety of the vessel is the main purpose of the thesis, and this will be achieved by installing the electric UPS-system and hydraulic accumulators. The thesis also evaluates other economical savings associated with the installation of the system, for example fuel and lubricating oil expenses and maintenance and overhauling costs of the auxiliary engines. The environmental friendliness of the vessel will be improved in the future by stopping the second auxiliary engine, which will reduce the emissions to the environment.</p>		
Keywords UPS-system, hydraulic accumulator, electricity supply failure, reserve power system		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	YRITYSESITELY	6
3	ALUKSEN SÄHKÖVERKKO	7
3.1	Sähköverkko Wasa Express -aluksella.....	8
3.2	Aluksen sähkönsyötön häiriöt	11
4	UPS-JÄRJESTELMÄ.....	12
4.1	Akusto.....	15
4.1.1	Litiumrautafosfaattiakut	16
4.2	Taajuusmuuttaja	17
5	JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	18
5.1	Järjestelmän asennukseen liittyvä lainsäädäntö	19
5.2	Järjestelmän kuvaus	20
5.3	UPS-järjestelmän edut ja tavoitteet.....	22
6	DC-UPS-JÄRJESTELMÄN MITOITUS.....	24
7	PAINEAKUSTO	25
7.1	Paineakuston mitoitus.....	27
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	29

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

Käsittelin tässä opinnäytetyössä m/s Wasa Express -aluksen turvalliseen operointiin ja kriittisten laitteiden toimintavarmuuteen liittyvien järjestelmien asennuksia. Työssä on esiteltyä kaksi toisistaan irrallista järjestelmää: sähköinen UPS-järjestelmä pääkoneiden sähkökäyttöisten pumppujen toiminnan varmistamiseksi sekä hydraulinen paineakkujärjestelmä aluksen peräsinkoneiden ohjailun varmistamiseksi sähkönsyötön häiriötilanteessa.

Tutkimuksen kohteena olivat sekä itse UPS-järjestelmä, sen toimintaperiaate, käyttövaatimukset ja mitoitusperiaate, että itse järjestelmän asennukseen liittyvät huolto- ja uudistustyöt laivalla. Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin järjestelmään liittyviä turvallisuussäädöksiä.

UPS-järjestelmän asentaminen tapahtuu vuoden 2019 alussa, joten opinnäytetyö painottuu pitkälti varavirtajärjestelmiin liittyvään teoriaan, järjestelmän mitoitukseen ja komponenttien toiminnan esittelemiseen. Työssä käsitellään myös aluksen sähkönsyötön häiriöihin johtavia tekijöitä, eli tilanteita, joissa varavirtajärjestelmää aluksella tarvitaan.

UPS-järjestelmän asentamisen yhteydessä aluksen peräsinkonehuoneeseen asennetaan paineakut turvaamaan peräsinkoneiden toiminta black-out-tilanteessa. Päätös paineakuista perustuu UPS-akuston kapasiteettiin (rajoitettu 50,0 kWh), kaapelointikustannuksiin välimatkan pituudesta johtuen sekä myös jännitehäviöihin kaapeloinnissa. Näistä syistä johtuen siis peräsinkoneikko jätetään UPS-järjestelmän ulkopuolelle, mutta toiminta halutaan kuitenkin turvata erillisellä paineakku-järjestelmällä. Opinnäytetyössä esitellään paineakuston toimintaperiaate ja akkujen asennukseen liittyvää teoriaa.

Opinnäytetyön taustalla oli varustamon toive saada syvempää tietoa UPS-järjestelmästä ja sen asennuksesta. Lähtöolettamuksena oli, että järjestelmän asennus tulee vähentämään aluksen polttoainekustannuksia ja päästöjä ympäristöön sekä takaamaan turvallisemman aluksen operoinnin. Teemoja opinnäytetyössä ovat siis ympäristönsuojelu, taloudellisuus ja turvallisuus.

2 YRITYSESITELY

M/s Wasa Express on Vaasan ja Uumajan välillä liikennöivä autolautta, jonka omistaa NLC Ferry Ab Oy, markkinointinimeltään Wasaline. Nykyisellä reitillään alus aloitti tammikuussa 2013, jota ennen alus liikennöi Kanariansaarilla nimellä m/s Betancuria. Aluksen ensimmäinen reitti kulki väliä Gedser–Travemünde, jonka jälkeen se kulkeutui monen eri omistajan kautta liikennöimään Vaasasta Uumajaan ensimmäisen kerran jo vuonna 1997. Aluksen rakennusvuosi on 1981 ja se on rakennettu Helsingin telakalla. Aluksen pituus on 141,0 metriä, suurin leveys 22,81 metriä, syväys 4,95 metriä ja uppouma 4150 tonnia.

Pääkoneina aluksella toimivat neljä Wärtsilän 12V32 4SA -dieselmoottoria, joiden yhteisteho on 14 800 kW. Aluksessa on kaksi keulapotkuria, joiden yhteisteho on 2,4 MW sekä Kamewan säätölapapotkurit. Aluksen sähkö tuotetaan kahdella Wärtsilän 4R32 -diesel-moottorilla, joiden teho on 2 x 1240 kW. Hätägeneraattorina toimii Detroit 8VA412631 -merkkinen generaattori.



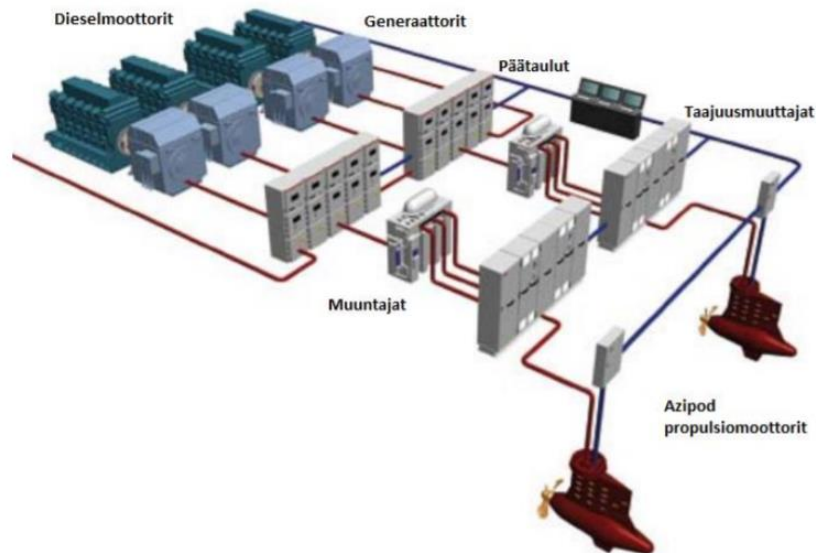
Kuva 1. M/s Wasa Express (Wasaline 2016)

3 ALUKSEN SÄHKÖVERKKO

Sähköverkon toiminnan turvaaminen on aluksen merikelpoisuuden ja turvallisen operoinnin kannalta tärkeää. Kansainvälisen turvallisuutta säätelevän SOLAS-yleissopimuksen II 1. luvun C-osan säännön 24 mukaan matkustaja-aluksen sähkö tulee voida tuottaa kahdella toisistaan riippumattomalla lähteellä, joista kummankin tuottama teho yksinään riittää takaamaan aluksen merikelpoisuuden. Sähkönjakelu aluksella voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, joita määrittävät muun muassa aluksen käyttötarkoitus sekä alustyyppi. Vaikka laivojen sähköverkko muistuttaakin nykyaikaista maapuolen voimalaitosta, se eroaa kuitenkin maasähköverkosta siten, että sähköntuotanto on lähellä kuluttajaa ja verkon tulee pystyä toimimaan itsenäisesti tarpeeksi pitkään meriajon ajan.

Aluksien sähköverkkoa voidaan verrata maasähköverkkoon pienoiskoossa: sähkö tuotetaan aluksilla ja jaetaan eri kuluttajien kesken. Tarvittava sähkö aluksella tuotetaan tavallisimmin dieselgeneraattoreilla, joiden määrään ja kokoon vaikuttavat aluksen koko ja sähkötehon tarve. Sähkö siirtyy generaattoreilta päätaululle, joka yleisimmin sijaitsee valvontahuoneessa. Päätaululta sähkö jaetaan kuluttajille, kun jännite on muutettu sopivaksi. (Saastamoinen 2013.)

Yleisin järjestely aluksella on se, että sähköä tuottavia generaattoreita on kolme, joista yksi on mitoitettu tuottamaan meriajossa tarvittava määrä sähköä. Häätätilanteiden varalta laivan turvallisuuden kannalta tärkeille kuluttajille on toteutettu syöttö hätägeneraattorilta, joka black-out-tilanteessa alkaa syöttää niitä. Jos häiriötilanteessa generaattorin antama teho ei riitä, irtautuu verkosta toisarvoisia kuormia.



Kuva 2. Periaatekuva aluksen sähköverkosta yksinkertaistettuna (Stähle 2016)

Laivoilla käytettävät sähköjärjestelmät perustuvat vaihtosähköön, jonka taajuus on 50 tai 60 Hz. 50 Hz:n sähköverkko on käytössä pääosin Euroopassa ja 60 Hz:n Pohjois-Amerikassa, mutta myös esimerkiksi mannertenvälisessä liikenteessä. Aluksen keskijänniteverkko maadoitetaan normaalisti laivan runkoon generaattorin nolapistestä. Aluksella käytettävät sähkölaitteet ovat yksivaiheisia tai kolmivaiheisia ilman nolajohdinta. (Stähle 2016.)

Voimakoneyksiköiksi kutsutaan generaattorin ja sitä pyörittävän koneen kokonaisuutta. Useimmiten tämä kone on dieselmoottori, mutta mekaaninen teho voidaan tuottaa myös mm. kaasui- tai höyryturbiineilla. Pienemmissä voimakoneyksiköissä on tavallisempaa käyttää yksilaakerista generaattoria. Tässä tapauksessa roottorin drive-pää on kiinnitetty suoraan kampiakseliin tai vauhtipyörään eikä erillistä yhteistä alustaa tarvita. Generaattorin runko voidaan myös liittää suoraan moottorin runkoon. Dieselgeneraattoriyksikön suunnittelussa tulee ottaa huomioon hetkelliset kuorman ja taajuuden vaihtelut. (Häkkinen 2003, 39.)

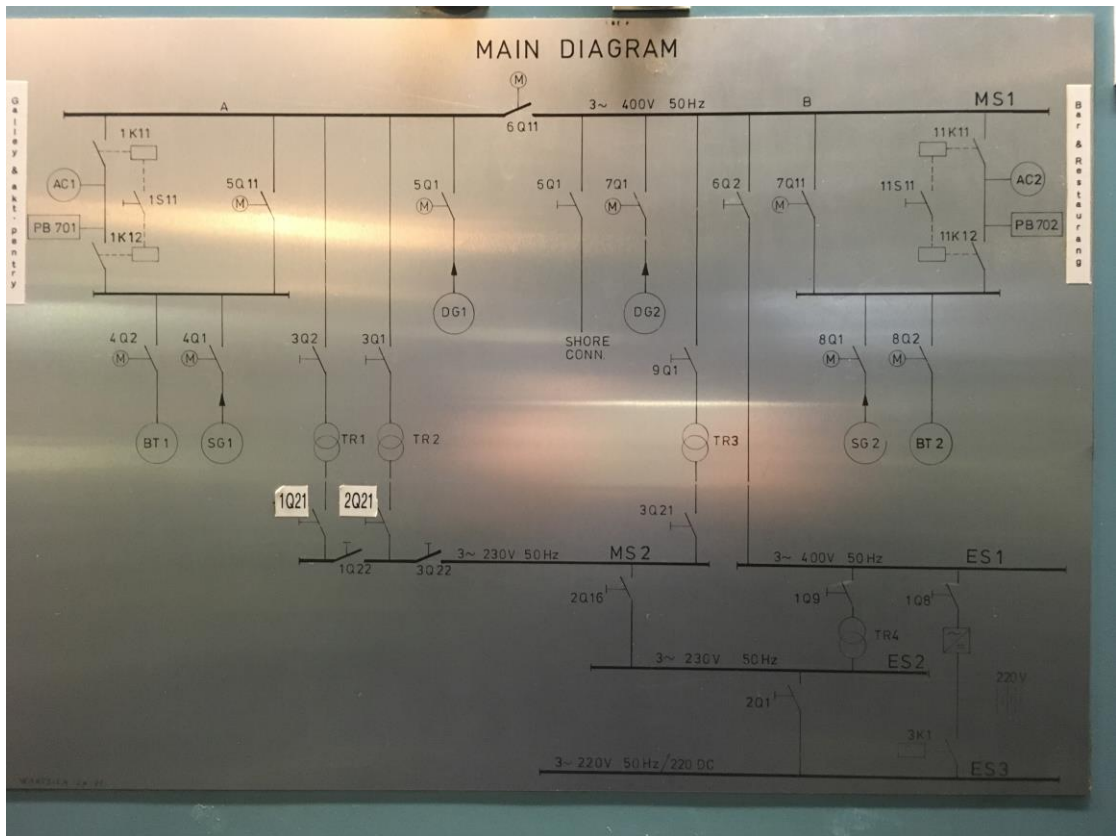
3.1 Sähköverkko Wasa Express -aluksella

Laivan sähköverkko voidaan jakaa voimantuottoon, voimanjakeluun ja valaistukseen. Voimantuotto sisältää laivan generaattorit ja suurimmat

kuluttajat, kuten laivan propulsiolaitteiston. Voimalaitospuolella on riittävästi kapasiteettia siirtää suuria tehoja. Voimanjakelu käsittää muut teholtaan pienemmät tyypillisesti kolmivaiheiset sähkölaitteet ja voimalaitospuolen apulaitteet. Valaistusverkko sisältää valaisimet, patterit ja pistorasiat.

Wasa Express alukseen on rakennettu kolmivaiheinen 400 voltin ja 50 hertsin pääsähköverkko MS1, josta sähkö muunnetaan muuntimien kautta kolmivaiheiseksi 230 voltin jännitteelliseksi vaihtosähköksi. MS2 syöttää sähköä esim. valaistukseen, jotka toimivat kolmella vaiheella. Aluksen pääsähkökisko on jaettu A ja B kiskoon, ne saadaan yhdistettyä välikytkimen 6Q11 kanssa. Normaalitylanteessa, kun sähköntuotannossa ei ole ongelmia, tämä kytkin on kiinni-asennossa. Kytkin voisi olla myös auki ajon aikana, sillä jos toisen apukoneen sähköntuotanto lakkaa, on odotettavissa koko järjestelmän black-out-tilanne, koska yksi apukone ei kykene ottamaan koko kuormaa itselleen. Jos kytkin olisi auki, voitaisiin välttyä koko aluksen kattavalta black-out-tilanteelta, jolloin ainoastaan A- tai B-puoli pimenisi.

Aluksella ei normaaliajossa (Vaasa-Uumaja välillä) käytetä lainkaan akseligeneraattoreita sähköntuotannossa, vaan sähkö tehdään ainoastaan apukoneisiin kytketyillä generaattoreilla. Syinä tähän ovat muun muassa kombinaattori-ajotavan käyttäminen sekä akseligeneraattoreiden toiminnallinen epävarmuus johtuen pääkoneiden suurista kierrosten heittelyistä (Hz), jolloin vaarana korostuu black-out-tilanne jännitteen tippuessa riittävän matalalle. Alla olevassa kuvassa (kuva 3) on esitettynä aluksen pääsähkökaavio.



Kuva 3. M/S Wasa Expressin pääsähkökaavio (Saviola 2018).

Diesel generaattori 1 (DG1) syöttää sähköä päätaulun A-puolelle välilytkimen 5Q1 kautta sen ollessa kiinni-asennossa. Diesel generaattori 2 (DG2) puolestaan syöttää sähköä päätaulun B-puolelle välilytkimen 7Q1 ollessa kiinni-asennossa. Näissä kytkimissä itsessään on erillinen moottoriohjaus (M) kytkimelle, joka aukaisee tai laittaa kytkimen kiinni. Apukoneita verkkoon tahdistettaessa on varottava, ettei tahdistettava generaattori mene takateholle, eli että sähköä tekevä generaattori ei ala pyörittää verkkoon tahdistettua generaattoria.

Kytin 6Q2 antaa muuntamattoman 400 V:n syötön hätätaulu ES1:lle ja sen takana oleville hätäajolaitteille. Kyseinen taulu syöttää sähköä myös muuntajalle TR4, jolloin hätätaulu ES2 saa 230 V:n jännitteen. Hätätaulu ES1 syöttää kuluttajia, joiden on toimittava vikatilanteessa, esimerkiksi hätäpalopumppua, apukoneiden boosteri-koneikkoa,

käynnistysilmakompressoria sekä konehuoneen hätätyhjennyspumppua ja Kamewan-hydraulipumppuja.

Kolmannen hätätaulun ES3 takana on laivan navigointiin liittyviä laitteistoja, jotka toimivat 220 V:n jännitteisellä tasavirralla vaihtosuuntaajan kautta. Akuston kapasiteetti on mitoitettu antamaan virtaa hätätilanteessa luokituslaitoksen määräysten mukaisen ajan. Laivan kaikkein kriittisimmät kuluttajat, kuten merenkulkulaitteisto, on myös varmistettu UPS-järjestelmällä. Hätägeneraattori käynnistyy automaattisesti ja ryhtyy syöttämään hätätaulua ES1, jos sen normaalisyöttö päätaulusta MS1 katkeaa. Hätägeneraattorin sijoituspaikka laivassa on aina pääkantta ylempänä kansirakenteissa ja samassa tilassa sijaitsee myös hätätaulu.

3.2 Aluksen sähkösyötön häiriöt

Sähkösyötön häiriötilanteessa tai järjestelmän ylikuormitustilanteessa voi seurauksena olla jännitteen osittainen tai täydellinen häviäminen, jota kutsutaan black-out-tilanteeksi. Vakava häiriö sähköjakelussa voi aluksella johtaa jopa hengenvaaraan tai omaisuusvahinkoihin. Aluksen sähköjakelujärjestelmän monimuotoisuudesta ja sähkökomponenttien suuresta määrästä johtuen vikatilanteiden ennakointi on hankalaa. (Ilmiö 2017, 17.)

SOLAS-sopimuksessa on määritelty vaatimuksia aluksen sähköverkon rakenteelle ja komponenteille. Lisäksi luokituslaitokset ja lippuvaltiot antavat tarkentavia määräyksiä ja ohjeita näiden vaatimusten soveltamiseen. SOLAS-sopimuksen mukaan kansainvälisessä liikenteessä olevan lasti- tai matkustaja-aluksen, jonka voimanlähteenä toimii sähköenergia, on oltava varustettu vähintään kahdella generaattorikoneistolla. (Onnettomuustutkintakeskus 2016.)

Yksittäinen generaattorikoneisto tulee mitoittaa niin, että sen teho yksinään riittää huolehtimaan aluksen laitteiston sähköntarpeesta. Lisäksi vuoden 1998 jälkeen rakennetuissa aluksissa järjestelmän tulee kyetä yhden generaattorin vikaantuessa palauttamaan sähkönsaanti kuljetuskoneistolle ja

ohjausjärjestelmälle välittömästi. Tätä vaatimusta voidaan toteuttaa esimerkiksi useammalla rinnankyvällä dieselgeneraattorilla sekä kriittisten laitteiden syötönvaihtoautomatiikalla. Generaattoreiden keskinäinen kuormanjako pitää järjestää niin, ettei yksittäisen generaattorin ylikuormitusta pääse syntymään. (Onnettomuustutkintakeskus 2016.)

Sähkönsyötön ongelmatilanteissa tärkeintä on varmistaa katkeamaton virransyöttö aluksen kriittisille laitteistoille. Kriittisten laitteistojen luokittelua tehdään sekä luokituslaitoksen, että varustamon toimesta. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että kriittisiä laitteita aluksella ovat ne laitteet, joilla huolehditaan aluksen turvallisesta ohjailusta, navigoinnista, kommunikoinnista, ankkuroinnista, palontorjunnasta, pelastautumisesta ja esimerkiksi painolastivesijärjestelmästä ja hätätyhjennyksestä. Tärkeitä kriittisiä laitteistoja aluksella ovat erityisesti hätätilanteessa tarvittava sähköntuotanto ja siihen liittyvät laitteet.

Yleisimpiä sähkönsyötön häiriöiden syitä aluksella ovat mm. huono polttoaineenlaatu tai polttoaineensyötön ongelmat, boosterikoneikon häiriöt, voiteluöljyjärjestelmän tai jäähdytysjärjestelmän häiriöt tai erilaiset komponenttiviat. Esimerkiksi polttoaineessa oleva vesi tai partikkelit voivat aiheuttaa ongelmia, sillä suodattimet tai separaattorit eivät välttämättä pysty puhdistamaan polttoainetta, jos epäpuhtauksia on paljon. Polttoaineen syötön ongelmat voivat johtua esimerkiksi paineenlaskusta, joka puolestaan voi olla seurausta päivätankin tyhjenemisestä, boosterpumpun paineenlaskusta tai esimerkiksi putkiston vuodosta tai polttoainepumpun toimintahäiriöstä. (Ilmiö 2017.)

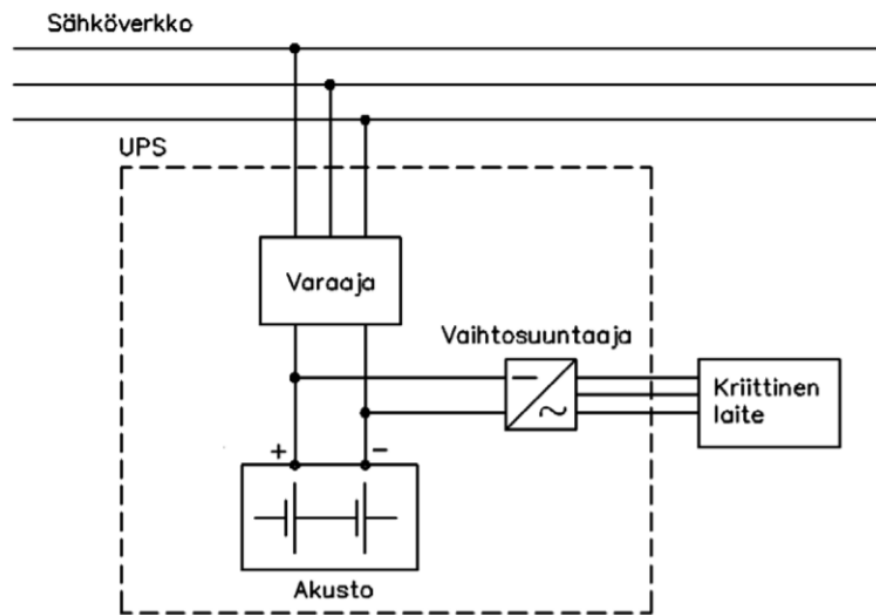
4 UPS-JÄRJESTELMÄ

UPS-järjestelmän nimi tulee englanninkielisistä sanoista Uninterruptible Power Supplies, eli keskeytymätön virransyöttö. Järjestelmä koostuu laivasähköverkon ja kuluttajien väliin asennettavasta laitteesta ohituspiireineen, sekä akustosta, jolla sähkönsyötön häiriötilanteessa saadaan syötettyä määritelty aika sähköä kuluttajille. UPS-järjestelmä voidaan myös

kahdentaa tärkeitä kuormia syötettäessä. (ST-käsikirja 20 2005, 57.) Kahdentamisella tarkoitetaan luotettavuuden lisäämiseksi tarkoitettua menetelmää, jossa laitteiston toiminnan kannalta kriittisiä komponentteja on kaksi tai useampi varmistamassa laitteiston toiminnan jatkumista häiriötilanteessa.

Nimensä mukaisesti UPS-järjestelmä tarkoittaa siis keskeytymätöntä sähkövirransyöttöä häiriötilanteessa. Tarkoituksena on taata tasainen ja katkeamaton vaihtosähkövirran syöttö kriittisille kuluttajille. UPS-laitteen lataukseen käytetään aluksen sähköverkon energiaa normaalitilanteessa, ja vikatilanteessa se luovuttaa varastoitua energiaa akustolta UPS-laitteiden piiriin. Laite kykenee muuntamaan tasasähköstä vaihtosähköä ja toisinpäin. Perustoimintojen lisäksi on mahdollista ohittaa UPS-laite ylikuorman ja vikatilanteiden ilmetessä. (ST-käsikirja 20 2005, 59.)

UPS-järjestelmällä on kolme perustehtävää. Ensinnäkin, se suojaa laitteistoa erilaisilta ali- ja ylijännitteiden aikaansaamilta vaurioilta. Järjestelmä usein myös säätelee tulovirtaa, jotta laitteille syötettävä sähkö olisi laadukasta. Toiseksi UPS-järjestelmällä voidaan estää tärkeiden tietojen häviäminen ja tuhoutuminen. Erityisesti IT-järjestelmiin liitettynä voidaan välttyä sähkökatkoksen seurauksena äkillisestä alasajosta johtuvista tietoliikennekatkoksista ja tuhoista. Kolmantena UPS-järjestelmän tehtävänä on mahdollistaa sovellusten ja järjestelmien korkea käytettävyys ja estää laiteeisokit sekä tässä työssä käsiteltävää hätätilanteiden varmistamista. UPS-järjestelmiä on mahdollista käyttää myös yhdessä generaattorien kanssa, jolloin generaattoreilla on enemmän aikaa sähkönsyöttämiseen sähkökatkostilanteessa. (UPS-käsikirja, 2012.)



Kuva 4. UPS-järjestelmän rakenne (Azoulay 2012.)

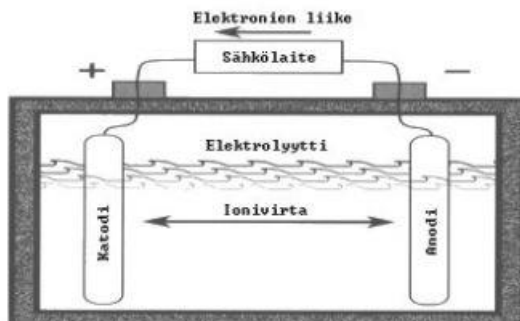
Ylläolevassa kuvassa on esitetty pääperiaate UPS-järjestelmän toiminnasta ja sen komponenteista. UPS-järjestelmiä voidaan jakaa teknisten toteutusten mukaisesti eri ryhmiin, mutta kuitenkin pääkomponenttien osalta rakenne on kaikissa samankaltainen. Järjestelmässä on sijoitettuna akusto, varaaja/tasasuuntaus ja vaihtosuuntaus. Lisäksi UPS-järjestelmän ohjaus- ja valvontajärjestelmä muodostaa vielä oman kokonaisuutensa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07.)

Aluksen generaattorit tuottavat vaihtosähköä mutta UPS-järjestelmän piirissä olevat laitteet toimivat tasasähköllä hätätilanteessa, koska pumppujen ohjaukseen on liitetty taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajat vastaanottavat akustolta tulevaa tasasähköä ja muuntavat sen vaihtosähköksi, jonka avulla sähkömoottorit pyörivät. Normaali ajotilanteessa kaikki pumput toimivat vaihtosähköllä. Siksi laitteen ja verkon väliin on asennettu tasasuuntaaja, joka muuttaa verkosta tulevaa vaihtovirtaa tasavirraksi. Kuvassa 4 on esitetty vaihtojännitteinen sähköverkko, josta virta syötetään järjestelmälle. Virta muutetaan tasajännitteeksi järjestelmässä, jotta se pystyy lataamaan akustoa. Akusto puolestaan syöttää tasajännitteen vaihtosuuntaajaan, joka syöttää

UPS-järjestelmällä suojattavalle laitteelle vaihtojännitettä. DC-UPS-järjestelmällä puolestaan tarkoitetaan sellaista UPS-järjestelmää, jossa ei ole vaihtosuuntaajaa. Tällaisessa järjestelmässä kriittiselle laitteelle syötetään tasajännitettä ja itse laite saattaa olla varustettuna esimerkiksi taajuusmuuttajalla. (Azoulay 2012.)

4.1 Akusto

Akun toimintaperiaate perustuu tapaan varastoida luotu sähköenergia sähkökemialliseen muotoon. Luovutettaessa energiaa varastosta, johon sitä on ladattu, muuttuu se takaisin sähköenergiaksi. Hystereesillä tarkoitetaan akun purku- ja latauskuvaajia, minkä vuoksi akku on häviöllinen energiavarasto. Akkujen tärkeimmät ominaisuudet koostuvat akun koosta ja akkukemiasta, jotka vaikuttavat energianhäviöihin, kennojännitteisiin ja virrananto kykyyn. Akun kennoissa on tavallisesti anodi ja katodi. Hapettumisen yhteydessä vapautuneet elektronit kulkeutuvat anodilta katodille ja aiheuttavat sähkövirran. Alla olevassa kuvassa 5 on esitetty akun toimintaperiaate. Akkujen sarjaan kytkemisellä tarkoitetaan tilannetta, kun halutaan saavuttaa korkeampi lähdejännite. Akkujen rinnankytkemisellä saavutetaan korkeampi virranantokyky. Akkujen lataus- ja purkautumissyklit määräytyvät käytettävästä akkutyypistä ja käytön määrästä muutamista kymmenistä kerroista tuhansiin. (Electric battery 2018.)



Kuva 5. Akun toimintaperiaate. (Tietoverkkolaboratorio 1998.)

Suljetuilla akustoilla tarkoitetaan AMG-tyyppisiä lyijyakkuja, joiden tehotiheys ja purkausajat soveltuvat hyvin UPS-akustoille. Niiden toimintaperiaate koostuu happoon, joka imeytettynä lasikuitumattoon toimii aktiivilevyjen eristeenä. Akkujen asennusmahdollisuudet käyttökohteesta asennuspaikan valintaan ovat käytännössä rajoittamattomat. Kestoiästä puhuttaessa tulee huomioida ympäristön lämpötila, joka vaikuttaa suuresti akun elinikään. Optimaalisin käyttölämpötila on 20 °C ja akkutyypin luokituksesta riippuen 3 – 12+ vuotta. Suljettujen lyijyakkujen ilmanvaihdon tarve on neljännes avoimiin lyijyakkuihin verrattaessa. Akun varausjännite on 2,26-2,3 V / kenno eikä lataus korkeammalla jännitteellä ole suotavaa. (ST-käsikirja 20 2005, 84.)

4.1.1 Litiumrautafosfaattiakut

Purkautuessa akusta litiumionit siirtyvät negatiiviselta elektrodilta positiiviselle ja latauksessa takaisin. Litiumioniakut soveltuvat aluksen käyttökohteeseen erityisen hyvin, koska niillä on kyky säilyttää varaus käyttämättömänä. Akkujen toiminnan varmistamiseksi akkua kannattaa ladata säännöllisesti, jotta saadaan pidennettyä sen käyttöikää. Akun kennojännitettä pyritään pitämään 4,2 V:ssa. Akkua ei saa ylliladata tai purkaa kokonaan. (Lintunen 2014.)

Wasa Express -aluksen UPS-järjestelmään päädyttiin asentamaan litiumrautafosfaattiakut (LiFePO_4), jotka ovat ladattavia akkuja (kuva 6). Akut on valmistanut Super B Lithium Power B.V. Järjestelmässä käytetään Super B SB12V100E-ZC:n 100Ah-akkuja ja akun tarkemmat sähkötekniset tiedot löytyvät liitteestä 1 sekä liitteestä 2, jossa on ominaisuuksia meriolosuhteisiin. Järjestelmään päädyttiin asentamaan kyseiset akut, koska niissä on korkea kapasiteetti, jaksoluku ja purkausvirta. Lisäksi ne ovat kevyitä ja tarvitsevat vähän kunnossapitoa sekä latautuvat nopeasti. Akkujen kemia on LiFePO_4 . Lataustapana käytetään CCCV-menetelmää, jolla tarkoitetaan Constant Current–Constant Voltage -menetelmää. Latausmenetelmässä lataaminen tapahtuu vakiovirralla ja vakiojännitteellä, johon on asetettu ennalta määritetyt vakiojännite- ja -virta-arvot. Tämä on sopivin latausmenetelmä litiumrautafosfaatti-akuille. Akkujen elinajaksi odotetaan 5–10 vuotta. (Super B-manuaali 2013.)

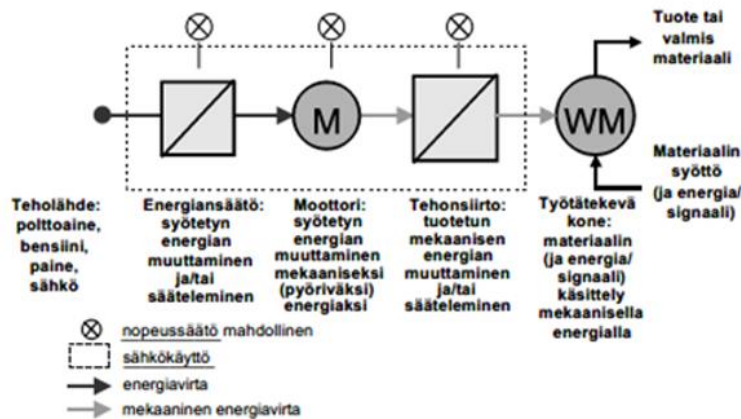


LITHIUM BATTERY | 13.2V/100 Ah
SB12V100E-ZC | (1.3kW LiFePO4)

Kuva 6. Super B Lithium Power B.V -akku. (Super B – manuaali 2013)

4.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja eli invertteri on laite, joka ohjaa sähkömoottorin nopeutta. Sen avulla pystytään saavuttamaan alhaisempi energian kulutus ja optimoimaan sähkömoottorin toiminta paremmin. Taajuusmuuttajassa tasasuunnataan sähköverkosta syötetty vaihtojännite tasajännitteeksi, jonka jälkeen se suodatetaan. Kondensaattorit suodattavat jännitettä ja pitävät sen vakaana. Kun tasajännite on suodatettu, se muutetaan halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi vaihtosuuntausyksikössä. (Tuominen 2010, 11.) Kuten aiemmin jo mainittiin, laivalle asennettava järjestelmä on rakenteeltaan DC-UPS -mallinen eli siinä ei ole erillistä vaihtosuuntaajaa. Järjestelmän piiriin tulevien pumppujen sähkökäyttöisille moottoreille on asennettu taajuusmuuttajat, jolloin UPS-järjestelmä voi syöttää pumpuille tasajännitettä.



Kuva 7. Sähkökäytön toimintaperiaate. (ABB:n tekninen opas 2001.)

Laivakäytössä yleisimmät pumpput ovat vaihtosähkökäyttöisiä oikosulkumoottoreita. Yllä olevassa kuvassa (kuva 7) on esitetty sähkökäytön toimintaperiaate, jossa tehonlähteenä toimii esimerkiksi polttoaine, paine tai sähkö. Kolmesta ensimmäisestä komponentista puhutaan ns. sähkökäyttönä, eli ne muuntavat syötetyn energian mekaaniseksi energiaksi. Jokaisessa sähkökäytön komponentissa on mahdollista säätää nopeutta esimerkiksi sijoittamalla taajuusmuuttaja energiansäätökomponentiksi. (ABB tekninen opas 2001.)

Taajuusmuuttajaan syötetään verkosta tulevaa vaihtojännitettä, joka muutetaan tasajännitteeksi. Jos syöttöjännite on valmiiksi tasavirtaa, niin tasasuuntausvaihetta ei tarvita. Syntynyt tasajännite suodatetaan ja muutetaan vaihtosuuntausyksikössä vaihtojännitteeksi, jonka taajuutta voidaan säätää tarpeen mukaan. Tämä halutun taajuinen vaihtojännite syötetään lopuksi sähkömoottorille. (Tuominen 2010, 11.)

5 JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Alukselle asennettavaan DC-UPS-tyyppisen järjestelmän akustoon pystytään varaamaan tasavirtaa eli DC-sähköä, ja taajuusmuuttaja muuttaa sen vaihtovirraksi eli AC-sähköksi, josta se syötetään pääkoneen pumppujen

sähkömoottoreille. Aluksen apukoneiden tuottamaa sähköenergiaa käytetään hyväksi akuston lataamisessa.

Aluksen sähkönsyötön häiriötilanteessa UPS-järjestelmän tehtävänä on taata virransyöttö ohjausjärjestelmään, minkä avulla voidaan välttää esimerkiksi luotsiajossa karilleajo ohjailukyvyyn pysyessä ennallaan. UPS-järjestelmä on suunniteltu pääkoneiden sähkömoottorikäyttöisille pumpuille, jotka ovat välttämättömiä koneiden käynnissä pysymiseksi sekä erillinen paineakusto peräsimen toiminnan varmistamiseksi.

5.1 Järjestelmän asennukseen liittyvä lainsäädäntö

Laki aluksen teknisestä turvallisuudesta ja turvallisesta käytöstä (1686/2009) määrittää erilaisia säädöksiä laivalle tehtäville uusille sähköasennuksille. Sähkölaitteet on valittava alukselle niin, että erittäin tärkeiden sähkölaitteiden materiaalit ovat voimassa olevien laivastandardien (standardisarja IEC 60092) mukaisia tai luokituslaitoksen hyväksymiä. Muiden sähkölaitteiden materiaalit voivat olla joko luokituslaitoksen sääntöjen mukaisia tai IEC-laivastandardin mukaisia. Kaikkien alukselle asennettavien sähkölaitteiden tulee olla aluskäyttöön soveltuvia ja niiden materiaalit, sekä asennustavat on valittava niin, ettei sähkökemiallisia pareja esiinny. (Trafi 2012.)

Lisäksi sama laki määrittää, että sähkölaitteiden asennuksen ja kaapeloinnin tulee tapahtua siten, ettei sähkömagneettiset häiriöt pääse haittaamaan sähkölaitteen toimintaa. Sijoituspaikka tulee olla sellainen, että ohjauslaitteiden ja kaikkea huoltoa vaativien osien luokse on helppo pääsy. Kriittisille sähkölaitteille tulee alukselta löytyä riittävä määrä varaosia. Sähkölaitteen sijoittelua määrittää lisäksi se, että sen on toimittava 15 asteen kallistumalla, eikä sen sijaintipaikan määräämää rajalämpötilaa tulisi ylittää. Konehuonetiloihin asennettavalle sähkölaitteelle tämä rajalämpötila on 45 astetta. (Trafi 2012.)

Luokituslaitos asettaa myös osaltaan vaatimuksia alukselle tehtäville sähköasennuksille, joista osa on yhteneviä kansainvälisen lainsäädännön kanssa. Luokituslaitokset ovat merenkulun alalla toimivia laitoksia, jotka

myöntävät laivoille luokitustodistuksen. Luokitustodistuksen edellytyksenä on luokitus, jolla ilmaistaan se, miten hyvin alus täyttää luokituslaitoksen asettamat turvallisuuteen, merikelpoisuuteen ja luotettavuuteen liittyvät vaatimukset. (Bureau Veritas s.a)

M/S Wasa Express-aluksen luokituslaitoksena toimii Det Norske Veritas (DNV), joka asettaa uusien sähkölaitteiden asennukselle yleisiä vaatimuksia mm. sen ympäristöolosuhteisiin, maadoitukseen, maksimi jännitteeseen, taajuuteen, kaapeleiden valintaan ja järjestelmän suojaukseen sekä valvontaan liittyen. Ympäristöolosuhteet pitävät sisällään määritteitä mm. laitteen tärinänkestävyyteen, laitteen asennuslämpötilaan ja kosteudenläpäisyyn liittyen.

Sähkölaitteiden tulee DNV:n sääntöjen mukaan kestää värähtelyä vioittumatta värähtelyamplitudi 20 mm/s taajuusalueella 5:stä 50:een Hz:iin. Rajalämpötila sähkölaitteille konehuoneasennuksessa on yhteneväinen kansainvälisen lainsäädännön kanssa, eli 45 astetta. Sähkölaitteen maadoitus puolestaan tulee olla toteutettuna siten, että se on yhdistetty laivan runkoon, eikä mikään pyörrevirta maadoituksessa häiritse aluksen ohjauslaitteistopiiriä, radiota tai tutkaa. Lisäksi luokituslaitoksen sääntöjen mukaan kaikkien järjestelmän komponenttien tulee olla halogeenivapaita, jottei palotilanteessa syövyttäviä kaasuja pääse syntymään. (DNVGL 2018.)

5.2 Järjestelmän kuvaus

Wasa Express -alukselle UPS-järjestelmään kytketään itse akusto, akuston jännitettä ylläpitävä laturi ja UPS-järjestelmän oma sähkötaulu. Akuston tehtävänä on luovuttaa virtaa n. 10–15 minuutin ajan erikseen määritetyille sähkömoottoreille tilanteessa, jossa aluksen oma sähköverkko on poissa käytöstä eli black-out-tilanteessa. Akuston laturi saa syötön aluksen sähköpäätaulusta, josta tasasuuntaaja muuttaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi ja ylläpitää ylijännitettä akustojen kennoissa.

Akuston sähkötaulun tehtävänä on tunnistaa black-out-tilanne ja sen myötä ohjata virta automaattisesti kuluttajille sekä tarkkailla ettei akusto pääse

purkautumaan liikaa, jolloin olisi vaarana sähkömoottoreiden rikkoutuminen alijännitteisyydestä. Asennustyö vaatii myös taajuusmuuttajat, jotka ollaan jo asennettu pääkoneiden pumpuille, jotta UPS-järjestelmä saadaan toimimaan. Taajuusmuuttajien avulla pystytään automaattisesti säätämään piirissä olevien pumppujen tehot mahdollisimman alas, jotta akkukapasiteetti riittäisi mahdollisimman pitkään.

Akkupaketti tullaan sijoittamaan booster-konehuoneeseen, josta on tätä tarkoitusta varten purettu vanhat raskasöljyseparaattorit oheislaitteineen pois. Raskaspolttoöljyseparaattoreille ei ole enää käyttöä, koska aluksessa käytetään kevytpolttoöljyä. Akkupaketilta lähtevät kaapeloinnit on toteutettu siten, että järjestelmän jokaista kuluttajaa kohden tarvitaan yksi kaapeli, jonka kautta virta syötetään häiriötilanteessa taajuusmuuttajalle, joka on kytketty sähkömoottoreihin. Akustoon on varattu 3-vaiheista tasasähköä, joka syötetään taajuusmuuttajille, josta sähkö muunnetaan vaihtosähköksi, jolloin sähkömoottorit pysyvät käynnissä. (Teir 2018.)

Wasa Express aluksessa on käytössä Kamewa säätölapapotkurit molemmilla akseleilla. Säätölapapotkurit eroavat perinteisistä huviveneissä käytettävistä kiinteälapasista potkureista siten, että potkurin lapoja voidaan ohjata hydraulisesti haluttuun kulmaan, riippuen siitä liikkeuko alus eteen vai taaksepäin, jolloin akselin sekä moottoreiden pyörimissuuntaa ei tarvitse muuttaa. Kamewa yksiköiden sähkönsyöttö tulee tällä hetkellä aluksen EMS-taulusta erillisen sulakkeen takaa, joka tarkoittaa sitä, että yksiköiden virransyöttö katkeaa black-out-tilanteessa, kunnes hätägeneraattori kytkeytyy aluksen sähköverkkoon. UPS-laitteiston asennuksen yhteydessä on tarkoitus asentaa oma pieni UPS-akusto tälle kyseiselle sulakkeelle, jolloin säätölapapotkurien hydraulikkapumppujen sähkömoottorit tulevat olemaan UPS-järjestelmän piirissä. (Teir 2018.)

Peräsinkoneiden toiminta varmistetaan erillisellä paineakkupaketeilla. Paineakkujen toiminta perustuu energian varastointina nestemäisessä muodossa. Paineakkua voidaan käyttää pumpun rinnalla tai sen sijasta. Aluksen peräsinkoneilla olevat sähkömoottori-hydrauliikkapumppu yksiköt

ovat liian suuria UPS-järjestelmän piiriin. Tämän vuoksi niille tehdään erillinen varmennus järjestelmä, josta lisää luvussa 7. (Teir 2018.)

5.3 UPS-järjestelmän edut ja tavoitteet

Asennettavalla UPS-järjestelmällä tavoitellaan aluksen turvallisen operoinnin lisäksi taloudellisia säästöjä sekä apukoneiden huoltovälien pidentämisiä. Järjestelmän asentamisen myötä päästöt tulevat pienemmään toisen apukoneen tyhjäkäyntikuorman poistuessa. Generaattoreiden hyötysuhde tulee paranemaan korkeamman kuorman ansiosta. Hyötysuhteella tarkoitetaan generaattorin laskennallista tehoa kuorman suhteen. Generaattori pystyy tuottamaan sähköä tiettyyn pisteeseen saakka paremmalla polttoaine / kilowatti-suhteella.

Wasa Express -aluksessa sähköntuotannosta vastaavat kaksi Wärtsilä 32 4-sylinteristä rivimoottoria, jotka pyörittävät generaattoreita. Moottoreiden kampiakselit ovat yhteydessä generaattorien roottoreihin ilman vaihdetta. Apukoneista toinen on master eli pääsääntöisesti käynnissä oleva moottori ja toinen slave eli varallaoleva moottori.

Polttoainesäästöt tulevat koostumaan toisen apukoneen pysäyttämisestä matkojen ajaksi, jolloin aluksen koko sähkökuorma on toisen apukoneen varassa. Jos käynnissä olevaan apukoneeseen tulee syystä tai toisesta häiriö, konehuoneen kriittiset kuluttajat siirtyvät UPS-järjestelmän piiriin. Wasa Express alus liikennöi Vaasan ja Uumajan välissä 363 päivää vuodessa. Liikennöinti aikataulut koostuvat pääasiassa kesä aikataulusta ja muun vuoden aikataulusta.

Kesäaikataulu sijoittuu kesäkuun alusta elokuun puoleen väliin saakka aluksen kulkiessa keskimäärin 21 matkaa viikossa ja koko kesän aikana 168 matkaa. Muun vuoden aikataulu tarkoittaa elokuun puolesta välistä kesäkuun alkuun aluksen kulkiessa keskimäärin 16 matkaa viikossa ja vuodessa 608 matkaa. Ylityksiä tulee siis yhteensä noin 776 kappaletta. Matka-aika ylitykselle on tällä hetkellä 4,5 tuntia. Näin ollen säästö käyntitunneissa koko vuoden ajalta on 3492 tuntia. Aikaisemmin apukoneet ovat käyneet vuoden

aikana yhteensä 12252 tuntia, jolloin master-apukone on ollut käynnissä ympäri vuorokauden ja slave-apukone pelkästään ylityksien aikana.

Wärtsilä 32 -moottoreissa käytetään pakokaasuahtimia. Pakokaasuahtimien toiminta perustuu ilmavirtauksiin. Sylinterissä tapahtuvan palamisen seurauksena muodostuvat pakokaasut siirtyvät pakosarjasta suutinrenkaan läpi pakoputkeen, jonka ansiosta imupuolen siivekkeet pyörivät vastakkaiseen suuntaa pakopuolen siivekkeisiin nähden. Pakokaasuahdin on eroteltu imu- ja pakopuoleen. Imupuolella ahdin imee ilmaa imusarjakanavaan ja pakopuolella pakokaasut poistuvat pakosarjasta pakoputkeen. Ahtimen roottoriosassa on yhtenäinen akseli, jossa on kiinni imupuolen siivekkeet sekä pakopuolen siivekkeet. Imupuolen siivet ovat huomattavasti pakopuolen siipiä suuremmat ja kaarevammat optimoiden ylipaineen aikaansaamista imusarjakanavaan.

Apukoneissa käytettävien pakokaasuahtimien pakopuolen suutinrenkaat likaantuvat huomattavasti huoltovälejä aikaisemmin, koska moottori on suunniteltu käymään n. 80 % sen maksimitehosta. Tällä hetkellä apukoneiden kuorma on n. 60 % sen maksimi tehosta, jolloin pakokaasu ei pääse poistumaan pakosarjasta tarpeeksi tehokkaasti ja pakokaasun sisältämät epäpuhtaudet tarttuvat suutinrenkaaseen kiinni. Suutinrenkaan siipiin jäävät epäpuhtaudet vääristävät suunniteltuja pakokaasun pois virtauksia pakosarjasta pakoputkeen, jolloin ahtimen pyörimisnopeus pienenee ja moottori ei saa ahdattua imusarjaan riittävästi ylipainetta käydäkseen isommalla kuormalla. Tästä syystä suutinrenkaita on jouduttu puhdistamaan ennen aikojaan ja siitä on syntynyt taloudellisia kuluja. Moottorin kuormittuessa pienellä kuormalla seuraa siitä sylinterissä tapahtuva epätäydellinen palaminen, jolloin polttoaineen ja ahdattun ilman suhde on väärä ja sen myötä pakokaasun lämpötilat nousevat kriittisen korkealle. Pakokaasujen lämpötilojen noustessa vaarana on venttiilien ja venttiilien seetipintojen sulaminen ja sitä kautta rikkoontuminen. (Pyykkö 2016.)

Laivalle oleviin ilmanvaihtokoneisiin tehdyt muutostyöt vuonna 2017 ovat laskeneet sähkönkulutusta huomattavasti sekä polttoaineenkulutus on tippunut sen myötä n. 1,6 % vuosittaisesta kulutuksesta. Pelkästään toisen apukoneen pysäyttämisen myötä ylityksien ajaksi polttoainesäästöissä

tavoitellaan n. 6,4 % säästöjä verrattuna vuoteen 2016. Lisäksi UPS-järjestelmään kuuluvien taajuusmuuttajien optimoinnin jälkeen on odotettavissa yhteensä yli 10 % vuosittaista säästöä polttoainekustannuksissa. Apukoneiden voiteluöljyn kulutus saadaan putoamaan käyntituntien vähennyttyä ja kuormittamalla valittua apukonetta maksimaalisesti, yhteensä n. 70 % vuodesta 2017. (Teir 2018.)

6 DC-UPS-JÄRJESTELMÄN MITOITUS

DC-UPS-järjestelmän mitoituksen periaatteena oli varmistaa 10–15 minuutin yhtäjaksoinen virran syöttö pääkoneiden kriittisille laitteille. Liitetaulukossa 1 on lueteltuna kaikki aluksen UPS-järjestelmän piiriin tulevat laitteet teknisine sähkötietoineen, kun sähkömoottorit käyvät maksimi teholla.

Liitetaulukon 1 mukaisille pumpuille tehtiin aluksella mittauksia, joilla haluttiin selvittää kuinka paljon taajuutta voidaan taajuusmuuttajilla alentaa ilman pumppujen tehon kärsimistä. Mittausten tulokset on esitetty liitetaulukossa 2. Esimerkiksi taulukon laitteen numero 2 (booster-pumppu) nimellisteho on 4 kW kun laitteen kuormitus on 100 %, ja pumpun tuottama paine on tuolloin 6 baaria. Mittauksen aikana kuormitusta alennettiin portaittain ja tutkittiin samanaikaisesti pumpun tuottamaa painetta. Todettiin, että kyseiselle pumpulle kuormitusta voidaan alentaa 80 prosenttiin, ilman että paine laskee liikaa ja häiritsee pääkoneiden käynnissä pysymistä. Tällöin pumpun verkosta ottama teho on 2,0 kW ja 3,7 A.

Liitetaulukosta 2 on lueteltuna kaikki ne kriittiset laitteet, jotka kytkeytyvät UPS-järjestelmän virran syöttöön aluksen oman sähköverkon häiriintyessä. Näissä mittaustuloksissa on otettu huomioon sähkömoottoreiden kierrosten tiputtaminen, jolloin pumppujen tuottama paine putoaa vaikuttamatta moottoreiden käynnissä pysymiseen. Taajuusmuuttajiin on ohjelmoitu toiminto, joka tiputtaa sähkönsyötön häiriö tilanteessa nopeuden kullekin kuluttajalle sopivaksi esimerkiksi normaalista 50 Hz:stä 30 Hz:iin ja tällöin pumpun paine putoaa normaalista 1,5 baarista 0,9 baariin.

Litiumrauta-fosfaattiakut (LiFePO_4) pystyvät luovuttamaan 1,3 kWh virtaa tunnissa per akku. Järjestelmän suunnittelun vaatimuksena oli, että akkujen kokonaisteho ei saa ylittää 50 kWh, koska jos tämä ylittyy, vaatii luokituslaitos erillisen akkuhuoneen akuille. Tämän vaatimuksen takia päädyttiin valitsemaan akkupaketti, joka sisältää yhteensä 38 akkua sarjaan kytkettynä, jolloin akkupaketin kokonaiskapasiteetti on $38 \cdot 1,3 \text{ kWh} = 49,4 \text{ kWh}$. Super B -akkujen purkausvirtana käytetään valmistajan määrittelemää luokkaa 3C, joka tarkoittaa sitä että, akkuja pystytään purkamaan jatkuvalla kuormituksella (liite 1). Jatkuvalla purkauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa akkupaketin kokonaiskapasiteetti (49,4 kWh) syötetään laitteille, jolloin yhteisteho on 148,2 kW ja 300 Ah. (Teir, 2018.)

Sähkösyötön häiriö tilanteessa aluksen käydessä neljällä pääkoneella on tarkoitus pysäyttää yksi tai kaksi konetta, jolloin sähkökuorma muuttuu alle 148,2 kW ja täten riittää kevyesti pitämään koko kuormaa yllään vähintään kymmenen minuuttia. Liitetaulukosta 2 ilmenee punaisilla merkityt laitteet ja niiden kuormat, jotka ovat todelliset akun sähkövirran kuluttajat häiriö tilanteessa.

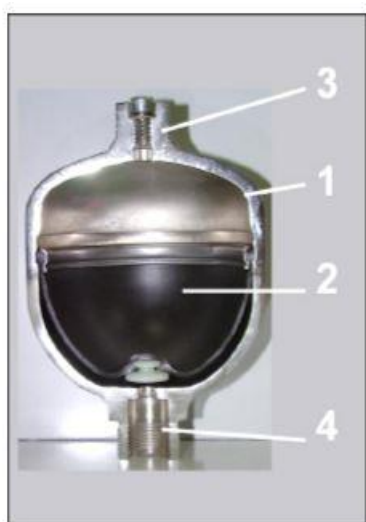
7 PAINEAKUSTO

Hydraulisen energian varastoinnilla saadaan parannettua järjestelmän ominaisuuksia ja häiriötilanteissa varmistettua toimintaa. Hydraulineesteellä on ominaista sen alhainen kokoonpuristuvuus ja sen vuoksi energiaa ei pysty varastoimaan itse nesteeseen vaan energia varastoidaan nesteen ulkopuoliseen voimaan. Ulkopuolisia voimia ovat esimerkiksi kaasu, jousi tai ylös nostettu massa. Hydrostaattiset paineakut ovat kaasukäyttöisiä ja muut menetelmät harvinaisempia. (Kauranne, Kajaste & Vilenus 1996, 155.)

Paineakuston tehtävänä hydraulikkajärjestelmässä on toimia energia varastona. Varastoitua hydraulista energiaa voidaan käyttää pumppujen rinnalla tai sen sijasta. Kaasukäyttöiset paineakut koostuvat kahdesta eri kammioista, joissa toisella puolella on kaasu ja toisella puolella neste. Näiden kahden aineen sekoittumisen estää väliseinä, jonka perusteella paineakku on

joko rakko-, kalvo- tai mäntärakenteinen. Paineakun nestetila täytetään järjestelmän hydraulisella paineella, jonka myötä väliseinä liikkuessaan ylöspäin puristaa kaasua tiheämmäksi, jolloin energia määrä kaasussa kasvaa. Paineen laskiessa järjestelmässä laajeneva kaasu työntää nesteen takasin järjestelmään. (Kauranne ym. 1996, 155.)

Paineakkuja käytetään yleisimmin tilavuusvirtalähteinä, järjestelmän paineen ylläpitäjänä, värähtelyjen ja paineiskujen tasaajana sekä energia varastoina järjestelmän häiriötilanteiden varalle. (Kauranne ym. 1996, 158) Tässä opinnäytetyössä käsitellään paineakustoa järjestelmän energiavarastona häiriötilanteen varalle. Alukselle asennettavat paineakut ovat tyypiltään kalvoakkuja, joiden rakenne esitellään kuvassa 8. Kalvoakussa on joustava kalvo (osa 2), joka erottaa kaasu- ja nestekammiot toisistaan.



1. Runko
2. Kalvo
3. Kaasuventtiili
4. Öljyliitäntä

Kuva 8. Kalvoakun rakenne. (Joki 2011.)

Wasa Express -aluksella on kaksi erillistä peräsintä, jotka ovat yhdistetty samaan hydrauliseen ohjauspiiriin. Hydraulikka järjestelmässä on kaksi kaksitoimista sylinteriä, jotka tuottavat tarvittavan työntövoiman peräsimien liikuttamiseen. Sylinterin paineistuessa mäntä ja männänvarsi liikkuvat molempiin liikesuuntiin, jolloin aikaansaadaan liikettä ja voimaa. Mäntien varret ovat yhteydessä yhdyskappaleeseen, joka on yhteydessä suoraan peräsimiin.

Peräsimien hydraulikkajärjestelmää ei ollut mahdollisuus sisällyttää UPS-akuston piiriin, koska hydraulikka pumppujen sähkömoottorien tehot ovat niin suuret. Yksi sähkömoottori on teholtaan 42 kW ja koko akuston kapasiteetti on rajoitettu 50,0 kWh. Myös kaapelinvedosta aiheutuvat kustannukset ja jännitehäviöt pitkissä kaapelin vedoissa olisivat tuoneet lisäkustannuksia. Paineakuston voidaan ajatella olevan ikään kuin peräsimien oma varavirtajärjestelmä.

7.1 Paineakuston mitoitus

Paineakuston mitoituksen lähtökohtana oli peräsimien liikkuminen 3 liikettä ääriasennosta ääriasentoon sähkönsyöttö häiriötilanteessa. Peräsimen maksimi kääntymisarvo oikealle on 35° ja vasemmalle 30°. Mitoitus suoritettiin vastaamaan tilannetta, jossa yksi hydraulikkapumppu tuottaa painetta järjestelmään ja kelloitettiin yhden syklin ajaksi 30 sekuntia. Paineakuille laskettiin lähtöarvot sylinterien mitoituksesta, joista johdettiin paineakustojen koko vastaamaan kolmea liikettä.

Ensin määritettiin hydraulisynterinin yhden positiivisen syklin aikaansaama työtahti, jolloin synterinin mäntä liikkuu ääriasennosta ääriasentoon. Tässä käytettiin apuna Internetistä löytyvää hydraulisynterinin tilavuuslaskinta, jolla määritettiin tarvittava määrä öljyä yhdelle syklille. Mitoituksen arvoina käytettiin hydraulisynterinin männän halkaisijaa $d_m = 300$ mm, männän varren halkaisijaa $d_v = 120$ mm sekä synterinin iskunpituutta $H = 860$ mm. Näiden arvojen perusteella laskimella kokoonpuristuvan nesteen määräksi yhden työkierron aikana saatiin 60,79 litraa.

Kolmen edestakaisen syklin vaatima öljyn määrä on siis $3 * 60,79 \text{ l} = 182,37$ litraa. Tämän verran paineakuista tarvitaan siis paineistettua hydraulioöljyä, jotta järjestelmä pystyy hätätilanteessa suorittamaan vaadittavat kolme männän työkiertoa.

Paineakun koon määrittämiseen löytyy valmistajilta erilaisia käyrästöjä ja laskentaohjelmia. Sopiva paineakun koko voidaan myös määrittää yhtälöstä (1):

$$V_0 = \frac{v}{1 - \left(\frac{P_0}{p}\right)^k} \quad (1)$$

jossa

V_0	paineakun koko	[m ³]
V	kokoonpuristuvan nesteen määrä	[m ³]
P_0	akun esitäyttöpaine	[MPa]
p	käyttöpaine	[MPa]
k	polytrooppinen vakio tyypelle	[1,25]

Järjestelmän alin käyttöpaine on 20 baaria ja ylin 30 baaria. Akun esitäyttöpaine P_0 on riippuvainen alimmasta käyttöpaineesta, sillä akku ei saa alimmalla käyttöpaineella tyhjentyä täysin nesteestä, koska tässä tilanteessa kaasu- ja nestetilan välinen seinämä koskettaisi akun nesteliitaintää ja aiheuttaisi kulumista. Tämän vuoksi esitäyttöpaine tulee olla noin 10 – 20 % pienempi kuin alin käyttöpaine, jolloin valittiin $P_0 = 16 \text{ bar} = 1,6 \text{ MPa}$. Järjestelmän käyttöpaineena p käytettiin 30 bar = 3,0 MPa.



Kuva 9. M/s Wasa Expressin peräsinkonehuone. (Saviola 2018.)

Kokoonpuristuvan nesteen määrä V on aiemmin laskettu 182,37 litraa. Näillä arvoilla paineakun kooksi kaavasta laskemalla saadaan 334 litraa, mutta tämänkoinen yksittäinen paineakku ei mahdu peräsinkonehuoneeseen (kuva 9). Tästä syystä peräsinkonehuoneeseen tulee sijoittaa esimerkiksi 10 kappaletta vähintään 33,4 l \approx 35 litran paineakkua.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä m/s Wasa Express -alukselle asennettavaan, täysin aluksen apukoneiden tuottamasta sähköstä riippumattomaan varmennusjärjestelmään. Järjestelmän asennuksen lähtökohtana oli varmistaa aluksen turvallinen operointi, saavuttaa taloudellisia säästöjä ja vähentää aluksen ympäristöpäästöjä. Järjestelmän asennus tapahtuu vasta tämän työn palauttamisen jälkeen, joten tutkimus piti sisällään UPS-laitteiston toimintaperiaatteeseen perehtymistä, mitoittamista sekä alaan liittyvään lainsäädäntöön tutustumista.

UPS-järjestelmän merkitys varustamolle on suuri, koska tähän mennessä alus on ollut täysin riippuvainen apukoneiden sähköntuotannosta, lukuun ottamatta hätägeneraattorin sähkönsyöttöä. Hätägeneraattorin viive sen käynnistyessä kuitenkin aiheutti sen, että pääkoneiden toiminta haluttiin kuitenkin varmistaa UPS-järjestelmän avulla. Nykyisessä tilanteessa black-outin syntyessä hätägeneraattorin käynnistyksessä kuluisi vähintään 30 sekuntia, jonka jälkeen se alkaisi syöttämään hätätaulua, jolloin laivan ohjailukyky ei olisi kunnossa. Tällaisessa tilanteessa kestäisi vielä kauan, ennen kuin pääkoneet saataisiin käynnistettyä.

Lopputuloksena voidaan todeta, että UPS-järjestelmän asentamisen myötä alus saavuttaa suoria säästöjä polttoaine-, voiteluöljy- ja apukoneiden huoltoon liittyvissä kustannuksissa. Toisen apukoneen pysäyttäminen ylityksien ajaksi johtaa siihen, että käyntitunnit pienenevät vuositasolla, jolloin määräaikaishuoltojen väli pitenee. Apukoneissa on aiemmin ollut ongelmia turbojen likaantumisen johdosta, sillä moottori on käynyt pienellä kuormalla, mutta muutostyön myötä turbojen puhdistusvälien ennakoidaan palautuvan normaaleiksi. Lisäksi voiteluaine kustannuksissa tullaan säästämään arvioilta 70 %, sillä enemmän voiteluöljyä kuluttava apukone voidaan pitää varalla olevana apukoneena.

Teoreettista pohjaa tutkiessa ei esiin tullut mitään sellaisia yllättäviä seikkoja, joiden vuoksi järjestelmää ei kyettäisi alukselle asentamaan. Yhtenä teemana tutkimuksella oli ympäristöystävällisyys, jota ei tosin työssä ole voitu mitata määrällisesti. Ympäristöystävällisyyden parantaminen liittyy mielestäni pitkälti yhden apukoneen pysäyttämisestä johtuvaan päästöjen vähentämiseen. Lisäksi ympäristöön liittyen positiivinen vaikutus on apukoneen käyminen pienemmällä kuormalla, koska moottorit on suunniteltu käymään melkein maksimikuormalla, joten sylinterissä tapahtuvan palamisen voidaan ajatella olevan puhtaampaa mitä lähemmäs päästään haluttua valmistajan antamaa suositusta moottorin tehokäyrästä.

Opinnäytetyössä käsiteltävä aihe oli merkittävä minulle ammatillisesti, sillä sähkötekniikan osaamisen kysyntä tulee varmasti tulevaisuudessa

kasvamaan konemestareille. Aluksissa järjestelmät tulevat olemaan yhä suuremmissa määrin automatisoituja, jolloin myös sähkötekniikan osaamisen tarve korostuu.

LÄHTEET

ABB:n Tekninen opas. 2001. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Tekninen opas nro 4. ABB Industry Oy. Helsinki.

ABB TTT-käsikirja 2000-7. Luku 3, UPS-laitteet. ABB Oy. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa:

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/03_5_S%84hk%94tekniikka-UPS%20ja%20maadoitus.pdf [Viitattu 5.10.2018]

Azoulay, N. 2012. Azirec-järjestelmän suunnittelu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.

Bureau Veritas s.a. Laivojen ja meriteknisten rakenteiden luokitus. Yrityksen internet- sivusto. Saatavilla:

https://www.bureauveritas.fi/services+sheet/laivojen_ja_meriteknisten_rakenteiden_luokitus [Viitattu 4.12.2018].

DNVGL. 2018. Rules for classification. Part 4 Systems and Components, Chapter 8 Electrical Installations. DNV GL AS. PDF-dokumentti. Saatavilla:

<http://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2018-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt4Ch8.pdf>

Electric battery. 2018. Wikipedia-julkaisu. Saatavilla:

https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_battery [Viitattu 11.11.2018].

ST-käsikirja 20. Bovellan, K., Hakanen, P., Heikkilä, J., Kapp, H., Kivekäs, S., Koussa, P., Poikonen, P., Sahlström, T. & Tummavuori, J. 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Sähkötieto Ry:n julkaisu. Forssan Kirjapaino Oy.

Ilmiö, P. 2017. Sähkönjakeluhäiriö aluksella. Merenkulkualan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu.

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 1996. Hydraulitekniiikan perusteet. 1.painos. WSOY. Porvoo.

Lintunen, P. 2014. Litium-rautafosfaattiakkujen mittausjärjestelmä. Opinnäytetyö. Savonia Ammattikorkeakoulu.

Onnettomuustutkintakeskus. 2016. Alusten sähkönjakeluhäiriöt. Teematutkinta. PDF-dokumentti. Saatavilla:

https://www.turvallisuustutkinta.fi/material/attachments/otkes/tutkintaselostukset/fi/vesiliikenneonnettomuuksientutkinta/2016/aykswngqD/M2016-S1_Sahkonjakeluhairiot_teematutkinta.pdf [Viitattu 15.10.2018].

Pyökkö, J. Konepäällikkö. Haastattelu 15.3.2016. NLC Ferry Oy Ab.

Saastamoinen, J. 2013. Jännitetasojen vertailu laivan sähköverkossa. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Stähle, O. 2016. Laivan sähköverkon yliaaltojen tarkastelu Neplan-ohjelmiston avulla. Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Super B- manuaali. 2013. Super B Lithium Power B.V. PDF-dokumentti. Saatavilla:

http://www.marineautomation.it/pdfpost/1445890965_Manual_SB12V100E-ZC_V1_1.pdf

Teir, J. Tekninen tarkastaja. Haastattelu 17.7.2018. NLC Ferry Oy Ab.

Tietoverkkolaboratorio. 1998. Toimintaperiaate. Kuva saatavilla:

<https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>

Trafi. 2012. Alusten sähköasennukset. Laki aluksen teknisestä turvallisuudesta ja turvallisesta käytöstä (1686/2009) 15 §:n 3 momentti ja 23 §:n 1 momentti. PDF-dokumentti. Saatavilla:

https://www.trafi.fi/filebank/a/1339411643/3a941ad599cec8f3b27e10bcbd650192/9867-Sahkomaarays_20120607_lausunolle.pdf

Tuominen, O. 2010. Taajuusmuuttaja-moottoriyhdistelmien tutkiminen ABB ACS800- taajuusmuuttajia käyttäen. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma, Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu.

UPS-käsikirja. 2012. Eaton Corporationin manuaali. PDF-dokumentti.

Saatavilla: <http://powerquality.eaton.com/products-services/legacy/9305-info.asp?CX=79> [Viitattu 16.10.2018].

Wasaline. 2016. M/s Wasa Express. Kuva saatavilla:

<https://www.wasaline.com/fi/ms-wasa-express/>

LIITTEET

LIITE 1. Super B SB12V100E-ZC akun tekniset tiedot

Electrical properties (23°C)

Open Circuit Voltage*	13.2V dc
Nominal voltage**	12.9V dc
Rated capacity	100Ah
Charge method	CCCV
Charge voltage	14.3V...14.6V
End-of-discharge voltage	8V dc
Charge current	Max 100A (1C)
Discharge current continuous	300A (3C)
Discharge current 10 seconds	500A (5C)

Table 5. Electrical properties (23 °C)

*Open Circuit Voltage at 50% SoC, no load

**Nominal voltage (V) at 50%, SoC, 0.2C discharge

More information on the Li-ion battery's discharge performance and capacity may be found in Appendix II.

LIITE 2. Super B litium -akun ominaisuudet meriolosuhteisiin.

Marine use

Parameter	Class	Location
Temperature	A	Machinery spaces, control rooms, accommodation, bridge
Humidity	B	All locations except as specified for location A
Vibration	A	On bulkheads, beams, deck, bridge
EMC	B	All locations including bridge and open deck

Table 8. Marine use

LIITETAULUKKO 1. Kuluttuja luettelo ja sähkömoottorien tekniset tiedot

Kuluttajalista M/S Wasa Express		Sähkömoottorien tekniset tiedot		
Laite	Tyyppi	kW	A	V
1	Fuel oil booster pump 1 ME 1&4	4,0	8,0	400
2	Fuel oil booster pump 2 ME 1&4	4,0	8,0	400
3	Fuel oil booster pump 1 ME 2&3	4,0	8,0	400
4	Fuel oil booster pump 2 ME 2&3	4,0	8,0	400
5	Fuel oil booster pump 1 AE	2,0	4,0	400
6	Fuel oil booster pump 2 AE	2,0	4,0	400
7	Fuel oil feeder pump 1 ME	2,0	4,0	400
8	Fuel oil feeder pump 2 ME	2,0	4,0	400
9	LT pump 1 AE	11,0	25,0	400
10	LT pump 2 AE	13,0	28,0	400
11	LO pump ME 1	23,0	50,0	400
12	LO pump ME 2	23,0	50,0	400
13	LO pump ME 3	23,0	50,0	400
14	LO pump ME 4	23,0	50,0	400
15	SW pump 1	42,0	86,0	400
16	SW pump 2	42,0	86,0	400
17	LT pump ME 1	29,0	60,0	400
18	LT pump ME 2	29,0	60,0	400
19	LT pump ME 3	29,0	60,0	400
20	LT pump ME 4	29,0	60,0	400
21	LO pump gear SB	11,0	23,0	400
22	LO pump gear PS	11,0	23,0	400
23	LT cooling pump red gear 1 SB	7,2	16,0	400
24	LT cooling pump red gear 2 SB	7,2	16,0	400
25	LT cooling pump red gear 1 PS	7,2	16,0	400
26	LT cooling pump red gear 2 PS	7,2	16,0	400

27	Kamewa hydraulic pump 1 SB	15,0	32,0	400
28	Kamewa hydraulic pump 2 SB	15,0	32,0	400
29	Kamewa hydraulic pump 1 PS	15,0	32,0	400
30	Kamewa hydraulic pump 2 PS	15,0	32,0	400
	Yhteensä	450,8 kW	951,0 A	

LIITETAULUKKO 2. Mittapöytäkirja sähkömoottorit taajuusmuuttajilla

10.10.2018

Nopeus %, kW tiputuksen jälkeen, ampeeri jälkeen, vacon nxp, size kw, max current,						
	Vaadittava nopeus taajuusmuuttaja	kW jälkeen	Ampeeri jälkeen	Ta-Mu	Koko kW	Max. virta
1	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	5,5	12
2	80	2,0	3,7	Vacon NXP	5,5	12
3	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	5,5	12
4	80	2,0	3,7	Vacon NXP	5,5	12
5	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	1,5	4,3
6	80	1,0	1,8	Vacon NXP	1,5	4,3
7	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	1,5	4,3
8	80	1,0	1,8	Vacon NXP	1,5	4,3
9	80	5,6	10,2	Vacon NXP	15	31
10	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	15	31
11	90	16,8	30,3	Vacon NXP	30	61
12	90	16,8	30,3	Vacon NXP	30	61
13	90	16,8	30,3	Vacon NXP	30	61
14	90	16,8	30,3	Vacon NXP	30	61
15	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	45	87
16	60	9,1	16,4	Vacon NXP	45	87
17	75	12,2	22,1	Vacon NXP	30	61
18	75	12,2	22,1	Vacon NXP	30	61
19	75	12,2	22,1	Vacon NXP	30	61
20	75	12,2	22,1	Vacon NXP	30	61
21	90	8,0	14,5	Vacon NXP	11	22
22	90	8,0	14,5	Vacon NXP	11	22
23	70	2,5	4,5	Vacon NXP	7,5	16
24	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	7,5	16

25	70	2,5	4,5	Vacon NXP	7,5	16
26	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	7,5	16
27	100	15,0	27,1	Vacon NXP	15	31
28	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	15	31
29	100	15,0	27,1	Vacon NXP	15	31
30	0,1	0,0	0,0	Vacon NXP	15	31
	Yhteensä	187,8 kW	338,9 A			
	Yhteensä	129,7 kW	234,6 A			