



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

NYKYAIKAISEN AKUSTOJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ- MAHDOLLISUUDET RAUTATIEYMPÄRISTÖSSÄ

TEKIJÄ/T: Jani Rissanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jani Rissanen	
Työn nimi Nykyaikaisen akustojärjestelmän käyttömahdollisuudet rautatieympäristössä	
Päiväys	18.5.2013
Sivumäärä/Liitteet	45/5
Ohjaaja(t) laboratoriainsinööri Risto Rissanen, yliopettaja Juhani Rouvali	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Proxion Play Oy, toimitusjohtaja Matti Tervonen	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyö liittyi rautatielaitteiden varavoimajärjestelmiin. Työssä selvitettiin Proxion Solutions Oy:n kehittämän älykkään akustojärjestelmän soveltuvuutta rautatieympäristöön. Selvitystä voidaan käyttää pohjatietona BluES-tuotteiden kauppaamisessa asiakkaille.</p> <p>Työssä perehdyttiin rautateiden turvalaitteisiin ja niille asetettuihin määräyksiin sekä selvitettiin turvalaitteiden varavoimajärjestelmien ominaisuuksia ja toimintoja. Lisäksi perehdyttiin nykyisissä akustoissa tehtäviin kausihuoltoihin. Teoriatietoa työhön kerättiin Liikenneviraston laatimista ohjeista ja määräyksistä sekä yrityksen asiantuntevilta työntekijöiltä. Yleistä tietoa akkujen teknologiasta kerättiin lähinnä alan kirjallisuudesta ja yrityksen osaavilta henkilöiltä. Käytännön työt suoritettiin maastokäynteinä tarkasteluvissa turvalaittekohteissa, joissa tutustuttiin varavoimajärjestelmiin ja suoritettiin työtä tukemaan tarkoitettuja suuntaa antavia mittauksia. Mittaukset suoritettiin Metrawattin pihtiampeerimittareilla ja Fluken yleismittarilla.</p> <p>Opinnäytetyössä pyrittiin löytämään uuden akustojärjestelmän etuja verrattaessa nykyisin käytössä oleviin akustoihin. Kerätyn taustatiedon, mittaustulosten ja niistä saatujen kustannusten perusteella saatiin pohjatiedot, joiden perusteella tuotteita voidaan markkinoida asiakkaille.</p>	
Avainsanat akku, varavoimajärjestelmä, turvalaite, rautatie	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Jani Rissanen			
Title of Thesis Applications for Modern Battery Backup System in Railway Environment			
Date	18 May 2013	Pages/Appendices	45/5
Supervisor(s) Mr Risto Rissanen, Laboratory Engineer. Mr Juhani Rouvali, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Proxion Plan, Mr Matti Tervonen			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study energy backup systems of railway devices. The suitability of intelligent battery systems developed by Proxion Solution Ltd for the railway environment was studied. This study can be used as a good basis for marketing BluES products to clients.</p> <p>The thesis was started by getting familiar with railway safety devices and ordinances on them as well as features and functions of energy backup systems for safety devices. In addition, the periodic services of current batteries were studied. Theory was collected from instructions made by Liikennevirasto and from specialists at Proxion. General knowledge about technology in batteries was collected from literature and from experts at the company. The practical part of this thesis was done by visiting sites with those safety devices. There battery systems were studied and measurements to support this thesis were made. Measurements were made with the Metrawatt current clamp and Fluke multimeter.</p> <p>The purpose was to find benefits of new backup systems compared to the current battery backup systems. Based on the background information, measurements and costs derived from them, a good basis was got. This thesis gives a good basis for marketing BluES products to clients.</p>			
Keywords battery, backup system, safety device, railway			

ESIPUHE

Tämä työ on tehty Savonia-ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelmassa. Työn toimeksiantaja on Pieksämäellä toimiva suunnittelu-, koulutus- ja asiantuntijapalveluita tarjoava Proxion Plan Oy. Yrityksen toimitusjohtaja Matti Tervonen tarjosi minulle työtä, jossa tuli selvittää nykyaikaisen akustojärjestelmän käyttömahdollisuuksia rautatieympäristössä.

Haluan kiittää Proxion Oy:ta ja erityisesti toimitusjohtaja Matti Tervosta mielenkiintoista ja haastavasta opinnäytetyöaiheesta sekä suunnittelija Janne Nyyssöstä työni ohjaamisesta ja kannustamisesta projektin aikana. Lisäksi haluan kiittää turvalaitevalvoja Pekka Kerolaa turvalaitteiden varavoimajärjestelmiin suunnattujen maastokäyntien myötä saadusta hyvästä opastuksesta ja tuotepäällikkö Olavi Salmelaa hyvästä ohjauksesta BluES-järjestelmiin liittyen. Haluan myös kiittää koulun henkilökunnasta laboratorioinsinööri Risto Rissasta työni ohjaamisesta.

Haluan kiittää myös vaimoani, perhettäni ja isovanhempiäni tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Pieksämäellä 20.5.2013

SISÄLTÖ

MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET	7
1. JOHDANTO	8
2. PROXION OY.....	9
2.1 Proxion Plan Oy	9
2.2 Proxion Solutions Oy	9
3 PAIKALLISAKUT	10
3.1 Akkujen toimintaperiaate.....	10
3.1.1 Varauskyky	11
3.1.2 Energiamäärä	11
3.2 Paikallisakkutyypit.....	12
3.2.1 Lyijyakku	12
3.2.2 Nikkeli-kadmium akku	13
3.2.3 Nikkeli-rauta akku	13
3.3 Akkutiloja koskevat määräykset	13
3.3.1 Akkuhuone	13
3.3.2 Akkukaappi.....	14
3.3.3 Ilmanvaihto	14
3.4 Huoltotoimenpiteet	15
3.4.1 Kuormituskoe.....	15
3.5 Akkujen kierrätys	15
4 BLUES CP-JÄRJESTELMÄ	16
4.1 Rakenne.....	16
4.1.1 Akustonhallintajärjestelmä (BMS)	18
4.1.2 Energianhallintajärjestelmä (PSMS)	18
4.1.3 Järjestelmän kahdentaminen	18
4.1.4 LiFePO ₄ -kenno	19
4.1.5 Kennosta akkumoduuliksi	22
4.2 Käyttöikä.....	22

5	TURVALAITTEET	23
5.1	Turvallaitteille asetetut määräykset.....	23
5.1.1	Virransyöttö.....	23
5.1.2	Laitetilat	24
5.2	Asetinlaite	25
5.3	Varoituslaitos.....	25
5.4	Kytkinasemat.....	26
6	VARAVOIMAJÄRJESTELMIIN PEREHTYMINEN	28
6.1	Releasetinlaitteen varavoimajärjestelmät	28
6.1.1	Jännitemuuttajilla toteutettu varavoimajärjestelmä.....	28
6.1.2	UPS-tekniikalla toteutettu varavoimajärjestelmä	30
6.1.3	BlueES-järjestelmällä saavutettavat edut releasetinlaitteissa	31
6.2	Varoituslaitosten varavoimajärjestelmät.....	33
6.2.1	BlueES-järjestelmällä saavutettavat edut varoituslaitoksilla	35
6.3	Kytkinasemien varavoimajärjestelmät.....	36
6.3.1	BlueES-järjestelmällä saavutettavat edut kytkinlaitoksilla	37
7	MITTAUKSET JA MITOITUKSET	38
7.1	Releasetinlaite	38
7.1.1	BlueES-järjestelmän mitoitus.....	39
7.1.2	Kustannukset	39
7.2	Kaksipuominen varoituslaitos	40
7.2.1	BlueES-järjestelmän mitoitus.....	41
7.2.2	Kustannukset	41
7.3	Neljäpuominen varoituslaitos	42
7.3.1	BlueES-järjestelmän mitoitus.....	43
7.3.2	Kustannukset	43
8	YHTEENVETO.....	44

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1. Akkujen sähkökemialliset parit

Liite 2. 25 kV syöttö- ja välilytkinaseman toimintaperiaate

Liite 3. 2 x 25 kV syöttö- ja välilytkinaseman toimintaperiaate

Liite 4. Releasetinlaitteen virransyöttökaavio

Liite 5. Elektronisen asetinlaitteen virransyöttökaavio

MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET

Ajolanka	Johdin, josta junan virroitin ottaa tehoa.
DOD %	Depth of charge eli puretun varauksen määrä nimelliskapasiteetista.
Erotusjakso	Kahden ajojohdinta syöttävän syöttöaseman välinen rakenne, joka eristetään kahdesta peräkkäisestä kohdasta ja joiden väliin jää maadoitettu osa.
JKV	Junien kulunvalvontajärjestelmä, joka varmistaa junien kulkua.
Liikenteenohjaus	Liikenteenohjauksella tarkoitetaan henkilöä, joka vastaa liikenteen ohjauksesta.
Linjalaitos	Varoituslaitos, jonka toimintaa ei voida ohjata asetinlaitteella vaan se toimii itsenäisesti, joko raidevirtapiiri- tai akselinlaskentajärjestelmän avulla.
Puomilaitos	Järjestelmä, jolla tasoristeyksessä varoitetaan liikkuvasta yksiköstä. Puomilaitos on varustettu puomeilla, tieopastimilla ja varoituskelloilla.
Raidevirtapiiri	Ilmaisee junan raiteella olemisen eristetyllä raideosuudella, jonka virtapiiri muodostetaan jännitelähteellä ja releen käämillä.
SOC %	State of charge eli akuston varaus suhteessa nimelliskapasiteettiin.
Syöttöasema	Kytkinlaitos, josta syötetään tehoa sähköradan ajolankaan.
Valo- ja äänivaroituslaitos	Järjestelmä, jolla tasoristeyksessä varoitetaan kiskoilla liikkuvasta yksiköstä. Valo- ja äänivaroituslaitos on varustettu tieopastimilla ja varoituskelloilla.
Varoituslaitos	Varoituslaitos on puomilaitos, valo- ja äänivaroituslaitos, varoitusvalolaitos tai laituri-polun varoituslaitos.
Varoitusvalolaitos	Järjestelmä, jolla tasoristeyksessä varoitetaan kiskoilla liikkuvasta yksiköstä. Varoitusvalolaitos on varustettu tieopastimilla.
Virroitin	Laite, jonka kautta juna tai sähköveturi ottaa tehoa ajolangasta.
Välikytkinasema	Kahden vierekkäisen syöttöaseman välille rakennettu kytkinlaitteita sisältävä kytkinasema.

1. JOHDANTO

Suomen rautateiden suuren liikennemäärän, tarkkojen minuuttiaikataulujen sekä turvallisuuden vuoksi on tärkeää, että ohjaus-, hallinta-, turvalaite- ja kommunikaatiojärjestelmien toiminta turvataan ulkopuolisen sähkökatkon aikana. Sähkön saanti varmistetaan järjestelmän rinnalle kytkettävän akuston tai generaattorin avulla.

Nykypäivänä järjestelmissä käytetään pääsääntöisesti lyijyakkuja, jotka ovat hankintakustannuksiltaan edullisia, mutta epäkäytännöllisiä niiden käyttöiän, koon ja huoltotarpeiden takia.

Proxion Solutions Oy on kehittänyt vuodesta 2010 alkaen uuteen akkuteknologiaan pohjautuvia älykkeitä varavoimajärjestelmiä vaativiin sovelluskohteisiin, kuten puolustusvoimien ja telejärjestelmien erityiskohteisiin ja -tarpeisiin. Järjestelmien vaatimuksena on taata keskeytymätön energiansaanti varavoimaa tarvitseville järjestelmille, kun sähkönsyöttö keskeytyy.

Tämän opinnäytetyön tavoite on kartoittaa yrityksen kehittämän BluES-akuston käyttömahdollisuuksia rautatieympäristön varavoimalaitteena ja löytää edut, joilla tuotteita voidaan markkinoida asiakkaille. Työssä syvennytään liikenneviraston asettamiin varavoimajärjestelmiä koskeviin määräyksiin ja vaatimuksiin. Lisäksi suoritetaan maastokäyntejä, joissa tutustutaan varavoimajärjestelmien toimintaan sekä suoritetaan selvitystyötä edesauttavia mittauksia. Lopuksi vertaillaan uuden akuston ominaisuuksia nykyisin käytettäviin järjestelmiin ja etsitään käyttökohteet, joissa tätä uutta laitteistoa voidaan hyödyntää.

2. PROXION OY

Vuonna 2005 perustettu Proxion Oy on vahvassa kasvussa oleva infrastruktuuriprojektien ja julkishallinnon asiantuntijapalveluita tuottava konserni. Yrityksen ydinsaamia ovat vaativien asiakasprojektien suunnittelu, hankinta ja projektinjohto. Toiminnassa korostuvat laatu, turvallisuus, luotamuksellisuus sekä vahva asiakaslähtöisyys. Yrityksen henkilöstön kokemus ja osaaminen vaativien projektien toteuttajana takaa asiakkaille onnistuneen toteutuksen. (Proxion Oy 2013.)

2.1 Proxion Plan Oy

Proxion Plan Oy on Proxion Oy-konsernin tytäryhtiö, joka toimii tiiviissä yhteistyössä konsernin muiden yritysten kanssa. Yritys tarjoaa monipuolisia suunnittelupalveluita rautatieinfrastruktuuriin liittyen aina tarveselvitysvaiheen suunnittelusta rakentamis- ja työaikaiseen suunnitteluun. Lisäksi yritys tarjoaa pätevyyskoulutuksia rautatiealan henkilöille, asiantuntijapalveluita turvallisuuteen liittyviin asioihin sekä ohjelmistopalveluita erityisesti rautatiealaaan liittyviin prosesseihin ja toimintoihin. (Proxion Oy 2013.)

2.2 Proxion Solutions Oy

Proxion Solutions Oy on toinen Proxion Oy-konsernin tytäryhtiö, joka toimittaa varavoimaenergiaratkaisuja telekommunikaatio- ja infrastruktuuraloille sekä muihin vaativiin kohteisiin. Yhtiö suunnittelee asiakkaille laitteistoja, joita ei ole maailman markkinoilla tarjolla. Yrityksen vuodesta 2010 kehittämä BluES-tuoteperhe takaa keskeytymättömän ja johdonmukaisen energianlähteen vaativiin olosuhteisiin, joissa on ongelmia sähkökatkojen takia tai sähköverkkoa ei ole saatavissa. Tuotteet täyttävät korkeat laadun, saatavuuden ja käyttöiän asettamat vaatimukset. (Proxion Oy 2013.)

3 PAIKALLISAKUT

Paikallisakkuja käytetään pääasiassa varavoimanlähteenä ulkoisen sähköverkon katketessa. Ne suunnitellaan kestäväksi jatkuvaa ylläpitovarausta jopa yli kymmenen vuoden ajan. Paikallisakut poikkeavat täysin esimerkiksi autojen käynnistysakkuista, joiden ominaisuus on lyhytaikaisesti saavutettu suuri käynnistysvirta. Varattaessa tavallista käynnistysakkuja jatkuvalla ylläpitovarauksella elinikä on vain 1–2 vuotta. Näin ollen tavalliset käynnistysakut ovat sopimattomia varavoimana käytettäviin paikallisakkuihin. (ST 52.30.01 2003, 1).

3.1 Akkujen toimintaperiaate

Akku varastoi sähköenergiaa kemiallisena energiana. Akkua purettaessa muuttuu kemiallinen energia takaisin sähköenergian muotoon (Johnsson 2004, 54). Periaatteessa akku sisältää kaksi elektrodia, jotka upotetaan elektrolyyttiä sisältävään astiaan, jota kutsutaan kennoksi. Elektrolyytinesteessä on ioneja, jotka toimivat varausten kuljettajina. Energia varastoituu ns. aktiiviseen massaan, jota akkulevyissä on sisällä tai pinnassa levyn rakenteen mukaan. Positiivisen potentiaalinen toiseen nähden omaava elektrodia kutsutaan positiiviseksi elektrodiksi ja toista kutsutaan negatiiviseksi elektrodiksi. Käytettävät elektrodit ovat pääsääntöisesti levyn muotoisia, joten niitä kutsutaan positiivisiksi ja negatiivisiksi levyiksi. Näitä levyjä kennossa on useita. Sekä kaikki positiiviset levyt, että negatiiviset levyt kytketään rinnan. Levyt asetellaan akkuun niin, että vuorotellen tulee positiivisia ja negatiivisia levyjä. Erimerkkiset levyt eristetään toisistaan eristemateriaalilla. Elektrodeihin kytkettäviä ulosottoja kutsutaan akun navoiksi. (Pöyhönen 1980, 336.)

Varatun kennon virrattomassa tilassa olevaa jännitettä kutsutaan lepojännitteeksi, joka vaihtelee kennon tyyppin mukaan pääasiassa 1,2–2,1 V välillä. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltavan BluES-akun nimellinen kennojännite on 3,2 V. Tarvittaessa suurempaa jännitettä kennoja kytketään sarjaan edeltävän kennon negatiivinen napa seuraavan kennon positiiviseen napaan, jolloin akun jännite on sarjaan kytkettyjen kennojen jännitteiden summa. (Pöyhönen 1980, 336.)

Akkua purettaessa napajännite alenee heti alle lepojännitteen ja jatkaa alenemistaan purkauksen ajan. Kun akkua ladataan, nousee napajännite saman tien lepojännitteen yläpuolelle ja nousu jatkuu hidastuvana kohti täyttä varausta latauksen ajan. Kennon sisäinen resistanssi aiheuttaa osittain napajännitteen vaihtelun akkua ladattaessa ja purettaessa. Napajännitteen saavuttaessa kennolle ominaisen arvon alkaa levyissä kaasun muodostuminen. Elektrolyytin veden hajaantuessa kehittyy positiiviselle levyille happikaasua ja negatiiviselle levyille vetykaasua. Tästä syntyvä seos on erittäin räjähdysherkkää, joten kaasunkehittymistä pyritään välttämään pienentämällä latausvirtaa kiehumisen alkaessa. (Pöyhönen 1980, 337.)

3.1.1 Varauskyky

Akun varauskyvyn tunnus on Ah eli ampeeritunti, joka saadaan virran ja ajan tulona yhtälöstä ($C = I * t$). Varauskyvystä käytetään myös nimitystä kapasiteetti. Esimerkiksi akussa, jonka ampeerituntimäärä 100 Ah, saa siitä 100 ampeeria virtaa yhden tunnin ajan ($100 \text{ A} * 1 \text{ h}$) tai vastaavasti 10 ampeeria kymmenen tunnin ajan ($10 \text{ A} * 10 \text{ h}$). Kapasiteettiin vaikuttavia ominaisuuksia ovat purkausvirran suuruus, elektrolyytin lämpötila ja pienin sallittu napajännitte. Kun kapasiteetti määritetään, tulee myös mainita nämä edellä mainitut arvot. Esimerkiksi varauskyky pienenee, kun purkausvirta kasvaa ja kun elektrolyytin lämpötila on pieni sekä lepojännitteen ja loppujännitteen ero on pieni. (Johnsson 2004, 54.)

3.1.2 Energiamäärä

Nimellisjännite ja varausmäärä määrittävät akun kokonaisenergiamäärän. Tämä perustuu fysiikan määritelmään. Tehty työ on aina suurempi, mitä kauemmin ja mitä suuremmalla teholla sitä tehdään, joten energian kaavaksi saadaan lauseke $W = P * t = U * I * t$. Energia perusyksikkönä käytetään wattisekuntia (Ws), mutta useimmissa sovelluksissa tämä yksikkö on liian pieni, joten energiasta käytetään ilmaisua wattitunti (Wh). Esimerkiksi akun, jonka jännite on 12 V ja kapasiteetti on 60 Ah, energiamäärä saadaan laskettua kaavalla $W = 12 \text{ V} * 60 \text{ Ah} = 720 \text{ Wh}$. (Johnsson 2004, 54.)

3.2 Paikallisakkutyypit

3.2.1 Lyijyakku

Lyijyakku saa nimensä positiivisten- ja negatiivisten levyjensä mukaan, sillä molemmissa levyissä käytettävä aktiivinen massa on lyijyä tai lyijyseosta. rakenne koostuu lähdejännitteeltään noin 2 V kennoista. Kun kennoja kytketään sarjaan, saadaan erilaisia järjestelmiä, kuten 6, 12 ja 24 V. Akkukotelon valmistukseen käytetään kovakumia tai vaihtoehtoisesti muovia. Energiaa varaavia ja luovuttavia osia ovat kennojen elektrolyytit sekä akkulevyt. Akkulevyjä on käytössä enimmäkseen kahta mallia, ristikkolevyjä ja putkilevyjä. Ristikkolevyn rakenne koostuu positiivisista, negatiivisista- ja eristelevyistä. Positiiviset levyt koostuvat lyijyristikoista, joihin on puristettu aktiivista massaa (lyijydioksidia PbO_2) ja negatiiviset levyt koostuvat lyijyristikoista joihin on puristettu huokoista lyijyä (Pb). Eristelevyt voivat olla joko puuta, kovakumia, lasivillaa tai muovilevyä. Akkupaketissa positiiviset levyt kytketään rinnan omilla ja negatiiviset levyt omilla levysilloilla. Eri kennojen levyt kytketään sarjaan kennoyhdistimillä. (Pöyhönen 1980, 337–338.)

Putkilevyä käytetään vain positiivisena levynä. Runko valmistetaan kovalyijystä, johon liitetään samalla tasolla ja pystyasennossa olevat lyijysauvat. Sauvojen pinnassa käytetään aktiivista massaa ja ulommaisena huokoinen putki, joka valmistetaan lasivillasta tai muovista. (Pöyhönen 1980, 338.)

Lyijyakun rakenne voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, jotka ovat avoin ja suljettu. Tässä työssä tarkasteltavat akut ovat pääasiassa putkilevyisiä ja avoimia. Avoimella rakenteella saavutetaan paremmat huolto- ja pinnankorkeuden tarkkailu mahdollisuudet, joka parantaa myös akun elinkaarta. Jos pinnankorkeus laskee, voidaan avoimeen akkuun lisätä tislattua vettä. Suljetun akun ominaisuuksia ovat vähäinen huollon- ja tilantarve sekä hyvät purkausominaisuudet kohteissa, joissa on lyhyet varmistusajat. (ST 52.30.02 2003, 2.)

3.2.2 Nikkeli-kadmium akku

NiCd- eli nikkeli-kadmium akkua käytetään pääasissa vain erikoiskohteissa, joissa vaaditaan ääriämpöjen kestoisuutta. Akku on käytännössä 1,2 V kenno, joita kytketään sarjaan tarvittavan kokonaisjännitteen aikaansaamiseksi. Kennon ominaisuuksia ovat jännitteen stabiilisuus, taloudellisuus ja käyttölämpötila (-20 °C... +60 °C). Täysi kapasiteetti saavutetaan kun akkua on ladattu ja purettu noin 2–3 kertaa. NiCd- akun elinikä on n. 10–20 vuotta tai 1 000–2 000 lataus-purkausjaksoa. Käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat korkea hinta ja kadmiumin myrkyllisyys, joka vaikuttaa akkujen kierrättämiseen. Lisäksi eräs ongelma aiheutuu NiCd-akkujen ns. ”muisti-ilmiöstä”. Tämä ilmiö tapahtuu ladattaessa akkua, jota ei ole purettu tyhjäksi. Akku ”muistaa” tämän jäljelle jääneen varausjännöksen uudelleen varaamisen jälkeen ja ”luulee” sitten olevansa tyhjä, kun se puretaan tähän rajaan asti. Tämän seurauksena akun kapasiteetti pienenee, jos akkua ei pureta kokonaan ennen uutta varaamista. (ST 52.30.02 2003, 2.)

3.2.3 Nikkeli-rauta akku

Rautatieympäristössä käytettävä NiFe- akku eli nikkeli-rauta akku on rakenteeltaan hyvin samanlainen kuin nikkeli-kadmium akku. 1,2 V putkilevykenno ei sisällä vaarallisia aineita, toisin kuin NiCd. Katodin materiaalina käytetään nikkeli-oksidi-hydroksidi yhdistelmää ja anodin materiaali on rauta. Kennon ominaisuuksia ovat pitkä elinikä eli n. 20 vuotta riippuen käytöstä ja huolloista. Kenno kestää hyvin ylikuormitusta, purkua ja oikosulkuja. Heikkouksia ovat huono energiatiheys ja varauksen pitäminen. (Changhong 2013, 7.)

3.3 Akkutiloja koskevat määräykset

3.3.1 Akkuhuone

Avoimet lyijy- ja NiCd-akut sekä kaikki akustot, joiden jännite on yli 125 V, tulee asentaa niille tarkoitettuun akkuhuoneeseen. Ilmanvaihdon tulee olla riittävä, koska varattaessa akkuja syntyy vetykaasua. Kaasun muodostuminen tapahtuu varsinkin pikalatauksen yhteydessä. Huoneen tulee olla kuiva, pintojen elektrolyytin kestäviä ja suositeltu lämpötila on +15 °C...+25 °C välillä. Akkujen alle tulee sijoittaa yli vuotavan elektrolyytin takia kaukalot tai huoneen lattia tulee päällystää antistaattisella muovimatolla, jonka laidat nostetaan n. 10 cm korkeuteen seinille saavuttaen koko huoneen kattava kaukalo. Akkuhuoneessa olevat lämmittimet, valaisimet ja ilmanvaihtoaukot tulee sijoittaa vähintään 0,5 m etäisyydelle varattavista akuista. Eikä ilmanvaihtoa saa sijoittaa suoraan akuston yläpuolelle. Lisäksi oven ulkopuolelle kiinnitetään AKKUHUONE- kyltti sekä tupakoinnin ja avotulen käytön kieltävät kyltit. (ST 52.30.01 2003, 2–3; SÄHKÖTIETO RY 2005, 86–87.)

3.3.2 Akkukaappi

Paikallisakusto on mahdollista sijoittaa myös akkukaappiin, kun käytetään esimerkiksi suljettua lyijyakkua. Akkukaapin myötä ei tarvita erillistä akkuhuonetta, joten kaapin voi sijoittaa jopa laite- tai konttoritiloihin. Määräykset ovat samat kuin muillakin akkutiloilla ja erityisesti ilmanvaihdosta tulee huolehtia sekä kaapin sisällä että tilassa johon kaappi sijoitetaan. Kaappiasennuksessa akusto tulee sijoittaa siten, että huoltotoimet voidaan tehdä helposti ja turvallisesti. Akkujen väliin jätetään noin 10 mm ilmarako, jotta riittävä ilmankierto kaapissa toteutuu. (ST 52.30.01 2003, 3.)

3.3.3 Ilmanvaihto

Lyijy- ja NiCd-akuissa syntyy varattaessa vedyn ja hapen seosta, joka on erittäin räjähdysherkkää. Lyijyakut synnyttävät tätä seosta jopa levossa sekä purettaessa. Tästä johtuen akkuhuoneen ilmanvaihto tulee järjestää hyvin (ST 96.30 2003, 3). Varsinkin varauksen loppuvaiheessa, kun varausjännite ylittää akun kaasuuntumisjännitetason on kaasunkehitys voimakkaimmillaan. Ilmanvaihdon tarpeeseen on olemassa DIN- normin mukainen laskentakaava:

$$Q = 0,05 \times n \times I$$

jossa Q on ilmamäärä (m³/h) sekä n on kennojen lukumäärä. Paikallisakuilla voidaan käyttää seuraavia arvoja:

- Avoimille lyijyakuille, joita varataan enintään 2,4 V jännitteellä/ kenno pätee I=2 A / 100 Ah.
- Avoimille nikkeli-kadmiumakuille, joita varataan enintään 1,55 V jännitteellä/ kenno pätee I=4 A / 100 Ah. (ST 52.30.01 2003, 3.)

Laskettaessa suljettujen akkujen ilmamäärää, voidaan kaavasta saatu tulos jakaa neljällä sekä lähes kaikkien uusien paikallisakkujen, joiden positiivinen levyristikko sisältää alle 3 % antimonia (Sb) voidaan kaavasta saatu tulos jakaa kahdella. (ST 52.30.01 2003, 3.)

Ilmanvaihtoa varten tarvittava ilmantuloaukko on sijoitettava lattianrajaan ja vastaavasti poistoaukko tulee sijoittaa katonrajaan. Näiden aukkojen tulee sijaita eripuolilla huonetta. (ST 52.30.01 2003, 4.)

3.4 Huoltotoimenpiteet

Suljetuista lyijyakuista mitataan ja kirjataan huoltokäynnin yhteydessä akuston kokonaisjännite ja huoneen lämpötila. Myös yksittäisten kennojen jännitteet voidaan mitata, mutta niistä ei saa todellista kuvaa akuston kunnosta. On suositeltavaa tehdä akustolle lyhyt kuormituskoe, jonka aikana mitataan akuston kokonaisjännite ja mahdollisesti myös yksittäisiä kennojännitteitä, jos kyseessä ei ole automaattisia akkutestejä tekevä varaaja. (ST 96.30 2003, 2.)

Jokaisen huoltokäynnin aikana avoimista lyijy- ja NiCd-akuista mitataan ja kirjataan ylös seuraavia asioita:

- Akuston kokonaisjännitteen mittaaminen
- Kaikkien kennojen jännitteiden mittaaminen
- Vähintään yhden kennon elektrolyytin tiheyden mittaaminen (ns. tarkkailukkenno)
- Akkutilan lämpötilan tarkastaminen
- Kaikkien kennojen elektrolyytin tason tarkastaminen ja tarvittaessa akkuveden lisääminen
- Akkujen kunnon tarkastaminen päällisin puolin (vuodot, navat ja johtimet)
- Tarvittaessa puhdistetaan ja rasvataan liitokset
- Sähköisten liitosten kireyden tarkastaminen (ST 96.30 2003, 2.)

Jos mittaustulokset antavat aiheen epäillä akuston kuntoa, voidaan tulos varmistaa kuormituskokeen avulla. Tämä pätee rautatiemaailmassa sekä suljettuihin, että avoimiin akkuihin. (ST 96.30 2003, 2.)

3.4.1 Kuormituskoe

Kuormituskoe tehdään purkamalla akustoa erillisen kuorman tai laitteiston varmistaman todellisen kuorman avulla. Akustoa tulisi purkaa vähintään 20 % täydestä kapasiteetista, jotta kokeella saataisiin kohtuullisen luotettavia tuloksia. Joissakin tapauksissa kuormituskokeen ajaksi paikalle tuodaan generaattori, jolla varmistetaan sähkösaanti siinä tapauksessa, että ulkoinen sänkönsyöttö katkeaa purkauskokeen aikana akuston ollessa vajaa. Kokeen aikana tarkastetaan akuston virta, kokonaisjännite ja mahdollisuuksien mukaan yksittäisten kennojen jännitteitä. Koe voidaan tehdä esimerkiksi kaksi kertaa vuodessa, mutta rautatieympäristössä koe vaaditaan tehtäväksi kolmen vuoden välein. (ST 96.30 2003, 3; Liikennevirasto 2012b, 46.)

3.5 Akkujen kierrätys

Käytöstä poistetut akut tulee palauttaa kierrätyslaitokseen, jossa niiden sisältämät raaka-aineet saadaan hyödynnettyä uusiokäyttöön. Lyijy- ja NiCd-akut sisältävät raskasmetalleja, jotka ovat vaarallisia ympäristölle. Näin ollen niitä käsitellään ongelmajätteinä. Akut kuuluvat Suomessa tuottajavastuun piiriin, ja näin ollen asiakas voi palauttaa ne veloitusetta akkuja vastaanottaviin keräyspisteisiin. Mahdolliset kulut tulevat noudosta, jos asiakas ei itse toimita akkuja kierrätykseen. (ST 96.30 2003, 4; Naukkarinen 2013.)

4 BLUES CP-JÄRJESTELMÄ

BluES CP on varmennettu sähkönsyöttöjärjestelmä, jota Proxion Solutions Oy on kehittänyt vuodesta 2010 alkaen. Järjestelmän sisältämällä laitteilla saavutetaan katkeamaton jännitteensyöttö ulkoisen sähköverkon syötön vikaantuessa. BluES-tuotteita on saatavilla useita erilaisia ratkaisuja esimerkiksi tarvittavan energian, kapasiteetin ja jännitteen mukaan. (Proxion Solutions Oy 2013.)

LiFePO₄-kennon energiatiheys on 145 Wh/kg, joka on ylivoimainen muihin akkuteknologioihin verrattuna. Esimerkiksi tässä työssä tarkasteltavien lyijyakkujen energiatiheys on noin 20–30 Wh/kg ja Nikkeli-kadmiumakuilla se on vastaavasti noin 15–25 Wh/kg. Energiatiheyden ansiosta tilantarve pienenee huomattavasti. (Proxion Solutions Oy 2013.)

Laitteisto ei sisällä lainkaan raskasmetalleja, joten se on täysin kierrätettävissä. Muut tällä hetkellä rautatiemaailmassa käytössä olevat akustot sisältävät myrkyllisiä aineita. Järjestelmä on erittäin turvallinen käyttää, koska siitä ei vapaudu myrkyllisiä kaasuja. (Proxion Solutions Oy 2013.)

Järjestelmän käyttöikä on yli 10 vuotta ja 3 000 lataus/purkauskertaa. Nämä arvot ovat täydellisten purkauksien perusteella määritettyjä tuloksia. Pienemmillä purkauksilla käyttöikä pitenee. Lisäksi akuston itsepurkautuminen on hyvin vähäistä (< 1 % / kk). Järjestelmä saadaan varattua purkauksen (SOC 100 % -> 0 %) jälkeen todella nopeasti (1–2h). Vastaavasti lyijyakuilla varaaminen voi kestää yli 10tuntia. Tästä on etua esimerkiksi myrskypäivinä, jolloin päivän aikana saattaa tulla useita verkkokatkoja. (Proxion Solutions Oy 2013.)

Järjestelmä on täysin huoltovapaa, kun vastaavasti rautatiemaailmassa lyijy- ja NiCd-akustoja tulee huoltaa kaksi kertaa vuodessa. käyttölämpötila voi olla jopa +40 °C heikentämättä akuston kapasiteettia. (Proxion Solutions Oy 2013.)

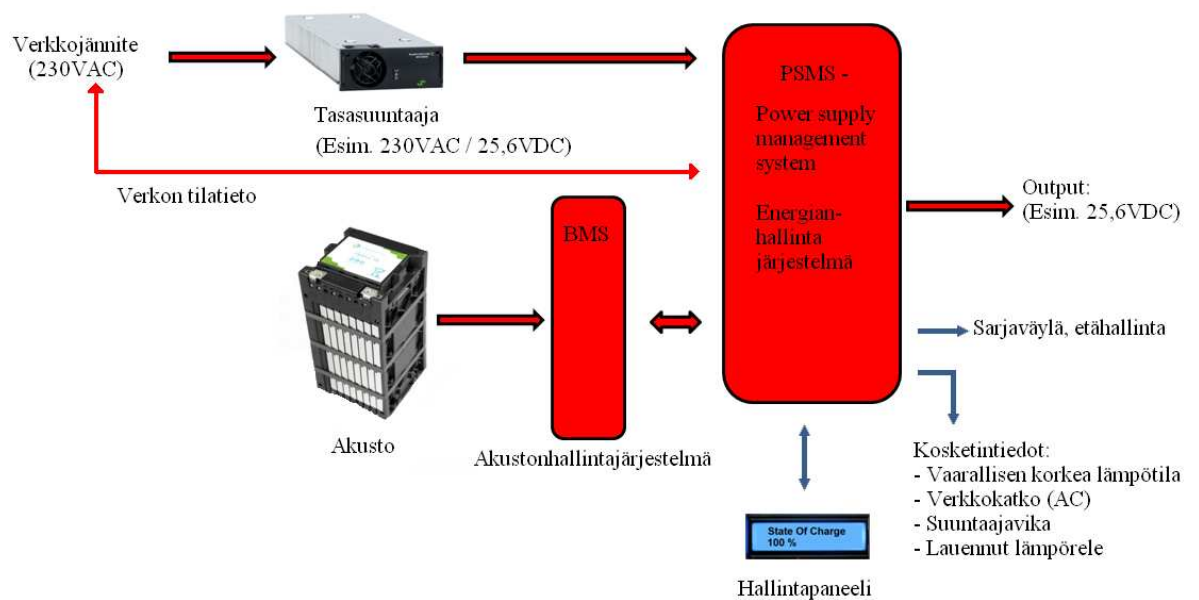
Energianhallintajärjestelmä mahdollistaa etähallinnan Ethernetin kautta. Lisäksi kosketintietoina saadaan korkean lämpötilan, lauenneen lämpöreleen, suuntaaja vian ja verkkokatkon hälytykset. (Proxion Solutions Oy 2013.)

4.1 Rakenne

Järjestelmän komponentit sijoitetaan 19" räkkikaappiin. Kohteen vaatimuksista riippuen BluES-järjestelmä sisältää vähintään tasasuuntaajan (esim. 230 VAC / 25,6 VDC), akuston, akunhallinta- ja energianhallintajärjestelmän. Suurempien energiamäärien varastoinnissa kasvatetaan akustoa ja lisätään tasasuuntaajia modulaarisesti. Kuvasta 1 nähdään 19" räkin rakenne ja kuviossa 1 esitetään järjestelmän yksinkertaistettu periaatekuva. (Proxion Solutions Oy 2013.)



KUVA 1. BluES-järjestelmä sijoitettuna 19" rakkikaappiin (Proxion Solutions Oy 2013.)



KUVIO 1. BluES-järjestelmän periaatekuva (Proxion Solutions Oy 2013.)

4.1.1 Akustonhallintajärjestelmä (BMS)

Akustonhallintajärjestelmä huolehtii akuston turvallisesta ja hallitusta käytöstä, ja sen avulla saadaan akuston tilatiedot laitteessa olevaan hallintapaneeliin sekä etähallintamahdollisuuden sisältävälle sarjaliikenneväylälle, joka päivittää tietoa minuutin välein. Sarjaliikenneväylältä tiedot voidaan siirtää esimerkiksi Ethernetin välityksellä kauemmaksikin. Akustonhallintajärjestelmältä saatavia tilatietoja ovat esimerkiksi jännite-, virta- ja lämpötilatiedot, akun varauskyky kyseisellä hetkellä, kuormaan menevä virta ja tieto akuston varaustilasta (SOC %). (Proxion Solutions Oy 2013.)

4.1.2 Energianhallintajärjestelmä (PSMS)

BluES-järjestelmä sisältää energiakäytön optimointijärjestelmän. Kahdennetussa järjestelmässä PSMS hallitsee molempien akkulohkojen optimaalisesta käytöstä siten, että vain toinen akkulohko kerrallaan syöttää energiaa kuormaan. PSMS pitää sisällään myös jokaiselle akkulohkolle oman BMS-järjestelmän. Optimointiominaisuuden avulla minimoidaan purkauksen syvyyttä ulkopuolisen verkkokatkon aikana. Kun ensimmäistä lohkoa on purettu 85 %:iin, vaihdetaan toiseen lohkoon aiheuttamatta minkäänlaista katkosta sähkönsyötössä. Lohkojen kierrätystä jatketaan, kunnes ulkopuolinen verkkokatko on ohi ja järjestelmä latautuu. Energianhallintajärjestelmällä on myös mahdollista jakaa varavoimaa laitteiston niihin osiin, jotka sitä eniten tarvitsevat (tilanteessa jossa ulkopuolinen verkkokatko pitkittyy). Käytön aikana järjestelmä kerää jatkuvasti toiminnallista datatietoa sisäiseen lokkiin, josta nämä saadaan jälkepäin ladattua tietokoneelle analysoitavaksi. (Proxion Solutions Oy 2013.)

PSMS-järjestelmän hallintapaneeli sijoitetaan BluES- räkissä näkyvälle paikalle, josta on luettavissa seuraavat tiedot:

1. ulostulojännite
2. lataus- ja purkausvirta
3. akkumoduulien lämpötila
4. varauksen tila (%)
5. järjestelmän tila
6. jäljellä oleva latausaika. (Proxion Solutions Oy 2013.)

4.1.3 Järjestelmän kahdentaminen

Laitteiston kahdentamisella lisätään järjestelmän redundanttisuutta. Toisin sanoen parannetaan toimintavarmuutta esimerkiksi tilanteessa, jossa toisessa järjestelmässä tapahtuvan vian myötä ei tapahdu jännitekatkoa. Kahdentamisessa kytketään rinnan kaksi järjestelmää, joita vuorottelemalla varmistetaan myös akkujen pitkä käyttöikä. (Proxion Solutions Oy 2013.)

4.1.4 LiFePO₄-kenno

Kuvassa 2 esitetty European Batteries Oy:n kehittämä, rakenteeltaan erittäin kevyt LiFePO₄-kenno on energiatihedeltään (145 Wh/kg) omaa luokkaansa. Nimellisjännite on 3,2 V ja varauskyky 45 Ah. Kenno saavuttaa pitkän elinkaaren sekä lataus/purkaus-kerroissa, että kalenterieliniässä. Kennoissa käytetty materiaali ja Litium-rauta-fosfaatti-yhdiste eivät sisällä raskasmetalleja joten ne ovat ympäristöystävällisiä ja täysin kierrätettävissä olevia materiaaleja. Kuvassa 3 kennoa verrataan lyijypohjaisen akun kennoon. Huomataan, että LiFePO₄ käyttää purettaessa lähes koko käytössä olevan kapasiteetin ennen "cut-offia", mutta lyijyakulla jää osa kapasiteetista käyttämättä, koska kennojännite putoaa nopeasti. Kuvassa 4 verrataan LiFePO₄-kennon syklimäärää lyijyakun kennoon. Esimerkiksi purkauksen syvyyden ollessa 50 % kennon kapasiteetista huomataan, että lyijyakun elinkaari romahtaa noin 400 syklin kohdalla, kun taas LiFePO₄-kennon kapasiteettia on jäljellä 4000 syklin kohdalla vielä 80 %. Taulukossa 1 esitetään kennon teknisiä tietoja. (Proxion Solutions Oy 2013.)

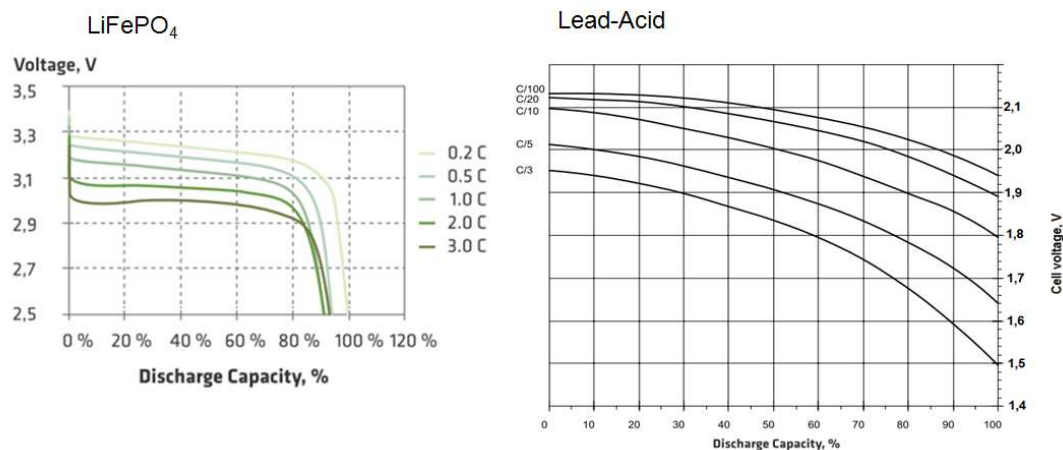


KUVA 2. LiFePO₄-kennon pussimainen rakenne (European Batteries Oy 2013.)



CELL PERFORMANCE

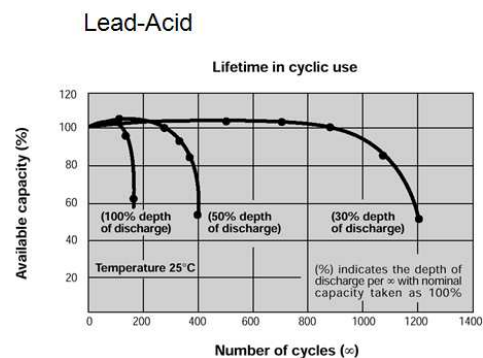
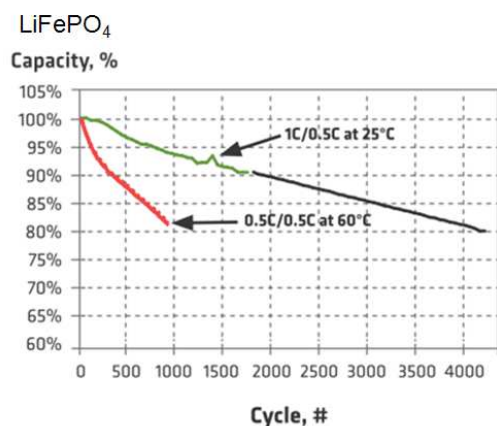
Voltage Curves at Different Discharge Rates at 23 °C



KUVA 3. LiFePO₄- ja lyijykemien suorituskyvyt (Proxion Solutions Oy 2013.)



Number of cycles



KUVA 4. LiFePO₄- ja lyijykemien käyttöiät (Proxion Solutions Oy 2013.)

TAULUKKO 1. LiFePO₄-kennon tekniset tiedot (Proxion Solutions Oy 2013.)

<u>YKSIKKÖ</u>	<u>Arvo</u>	<u>Huomio</u>
Kapasiteetti	45 Ah	
Energiatiheys	145 Wh/kg	
Nimellinen jännite	3,20 V	
Suositeltu purkujännitteen raja (cut-off)	2,50 V	
Suositeltu latausjännitteen raja	3,55 V	
Suositeltu jatkuvan latauksen maksimivirta	45 A	Lämpötila >23°C ja yläjänniteraja 3,50V
Jatkuvan purkauksen maksimivirta	180 A	
Käyttölämpötila ladattaessa	0-60 °C	Optimilämpötila 20 - 35 °C
Käyttölämpötila purettaessa	- 25-60°C	Optimilämpötila 20 - 35 °C
Varastointilämpötila -30 - 45 °C	36 kk	Optimi varastointilämpötila on 10-30 °C
Varastointilämpötila 45 - 55 °C	12 kk	
Varastointilämpötila 55-60°C	3 kk	
Paino	1000 ± 10g	
Leveys	170 ± 1mm	
Korkeus	275 ± 1mm	Ilman napoja
Paksuus	13,5 ± 1mm	
Sisäinen impedanssi	< 2,0mΩ	Mitattu 25 °C lämpötilassa 10 A/AC, 1000Hz virralla

<u>Sähkökemiallinen järjestelmä</u>	<u>Materiaali</u>
Positiivinen	litium - Rauta - Fosfaatti (LiFePO ₄)
Negatiivinen	Grafiitti

4.1.5 Kennosta akkumoduuliksi

Kennot asetetaan itsekantaviin kehyksiin, joita pinotaan tarpeen mukaan sarjaan halutun jännitteen aikaansaamiseksi tai rinnan halutun kapasiteetin saavuttamiseksi. Kennojen sarjaan- ja rinnankytkentä tehdään sisäisillä kiskoilla. Laittimaisten kennojen kohdalle sijoitetaan akun positiivinen ja negatiivinen napa. Kennojen päälle asennetaan MCC-piirilevy, joka toimii akkumoduulin mittaustietojen fyysisenä rajapintana akun hallintajärjestelmälle (BMS). Hallintajärjestelmä tarkkailee erikseen jokaista kennoa ja niiden jännitetasoa. Esimerkiksi varattaessa akkua järjestelmä havaitsee kennon saavuttaman maksimijännitteen (3,5 V), jonka seurauksena se ohittaa kyseessä olevan kennon ja varaa vain niitä kennoja, jotka eivät ole saavuttaneet maksimijännitearvoa. Esimerkiksi kuvan 5 akussa on 3 kennoa rinnan ja näitä on sarjassa kahdeksan kappaletta. Kytkemällä kennot näin saavutetaan 25,6 V / 135 Ah / 3,5 kWh akkumoduuli. (Proxion Solutions Oy 2013.)



KUVA 5. Esimerkki akusta, jossa on sarjaan ja rinnan kytkettyjä kennoja (Jani Rissanen 2013.)

4.2 Käyttöikä

Akuston käyttöikä ja käytössä olevien syklien määrä on suoraan verrannollinen purkauksien syvyyteen (DOD %). Syvyydellä tarkoitetaan määrää, jolla akkua puretaan kerrallaan. Teoreettinen täysi-purkauksien määrä on noin 3 000 sykliä. Jos akkua puretaan kerrallaan vain 50 % täydestä kapasiteetista, kasvaa käytettävien syklien määrä kaksinkertaiseksi ($3000 \text{ sykliä} / 50 \% * 100 = 6000 \text{ sykliä}$). Tai käytettäessä akuston varauksesta vain 25 %, kasvaa syklien määrä nelinkertaiseksi ($3000 \text{ sykliä} / 25 \% * 100 = 12000 \text{ sykliä}$). (Proxion Solutions Oy 2013.)

5 TURVALAITTEET

Turvallinen liikkuminen rautateillä varmistetaan liikennöintiin annettujen määräysten sekä turvalaitejärjestelmän avulla. Järjestelmä koostuu erillisistä turvalaitteista, joita ovat asetinlaitteet, suojustusjärjestelmät, varoituslaitokset sekä JKV-, kauko-ohjaus- ja laskumäkijärjestelmien laitteet. Uuden turvalaitejärjestelmän tulee täyttää eurooppalaisen CENELEC-normiston mukaiset Liikenneviraston asettamat turvallisuustasot. Tässä työssä keskitytään lähemmin niihin turvalaitejärjestelmän kohteisiin, joissa käytetään varavoimana akustoa. Liikenneviraston asettamien määräysten perusteella varvoimajärjestelmä tulee mitoittaa siten, että se ylläpitää laitteiston toimintaa vähintään kuusi tuntia sähkökatkon aikana. (Liikennevirasto 2012a, 22.)

5.1 Turvalaitteille asetetut määräykset

5.1.1 Virransyöttö

Liikennevirasto on asettanut seuraavia akustojen virransyöttöön liittyviä määräyksiä:

- *"Uusi turvalaitos on varustettava UPS-laitteistolla".*

- *"Turvalaitejärjestelmän virransyöttöön ei saa liittää turvalaitteisiin liittymättömiä järjestelmiä".*

- *"Turvalaitejärjestelmän virransyötön varavoimana on oltava kuuden tunnin käyttöä varten mitoitettu akusto tai dieselaggregaatti ja kahden tunnin käyttöä varten mitoitettu akusto suunnitteluperusteissa määritetyn mukaisesti".*

- *"Varavoiman on kytkeydyttävä siten, että tietokoneasetinlaitteen virransyöttöön tai muun asetinlaitteen kuin tietokoneasetinlaitteen ohjausvirtapiireihin ei tule katkosta verkon sähkönjakelun katketessa".*

- *"Muun asetinlaitteen kuin tietokoneasetinlaitteen ulkolaitteiden virransyöttöön saa tulla enintään 3 s katkos varavoiman kytkeytyessä".*

- *"Asetinlaitteen virransyöttö ja varavoima on mitoitettava suurimman mahdollisen kuormituksen ja samanaikaisesti kääntymässä olevien kääntölaitteiden määrän mukaisesti".*

- *"Asetinlaitteen varavoima on toteutettava siten, että varavoimakäyttö ei aseta samanaikaisesti kääntyvien vaihteiden lukumäärän rajoittamisen lisäksi muita rajoituksia asetinlaitteen toiminnalle".*

- *"Akustovaraaja on mitoitettava siten, että se kykenee varaamaan puretun akuston vähintään 80 %:iin nimelliskapasiteetista 24 h aikana samanaikaisesti, kun se syöttää kuormaa maksimikuormitus-tilanteessa".*

- *"Virransyöttöjärjestelmä on toteutettava siten, että sähköturvallisuudesta annetut määräykset ja vaatimukset toteutuva"*.
- *"Virransyöttöjärjestelmässä käytettävien tarvikkeiden ja laitteiden on oltava ETA-alueella auktorisoidun tarkastuslaitoksen tarkastamia ja Liikenneviraston hyväksymiä. Virransyöttöjärjestelmän on täytettävä sähkölaitestandardissa määritetyt häiriönsieto- ja yhteensopivuusvaatimukset"*.
- *"Virransyöttöjärjestelmä on suojattava ylikuormatilannetta vastaan siten, että ylikuormatilanteessa mahdollisimman pieni osa virransyöttöjärjestelmästä ohjataan jännitteettömäksi"*.
- *"Turvalaitteiden virransyöttöä syöttävänä pääjakelujärjestelmänä on käytettävä käyttömaadoitettua TN-S-järjestelmää"*.
- *"Turvalaittejärjestelmän sisäinen virransyöttö on toteutettava käyttämällä suojaerotusmuuntajia, jolloin virtapiirien suora galvaaninen yhteys syöttävään verkkoon on katkaistu. Maasta erotettua järjestelmää on valvottava eristystilan valvontalaitteilla ja niiden virtapiirit on varustettava erillisellä käyttömaadoituskytkimellä"*.
- *"Turvalaittejärjestelmän virtapiirejä, joissa on ulkona olevien laitteiden koskettimia, on syötettävä vähintään 48 V:n jännitteellä"*.(Liikennevirasto 2012a, 184–185.)

5.1.2 Laitetilat

Liikennevirasto on asettanut seuraavia akustojen laitetiloihin liittyviä määräyksiä:

- *"Turvalaitteiden laitetilan varustelussa ja rakenteiden mitoittamisessa on otettava huomioon laitetilaturvallisuudesta annetut ohjeet"*.
- *"Turvalaitetilan jäähdytys ja lämmitys on mitoittettava siten, että laitetilan lämpötila pysyy kaikissa sääolosuhteissa laitetilaan sijoitettujen laitteiden toimintalämpötila-alueella. Turvalaitetilan jäähdytyskapasiteetti on tarkasteltava uudelleen, kun laitetilaan lisätään uusia laitteita"*. (Liikennevirasto 2012a, 185.)

5.2 Asetinlaite

Asetinlaitejärjestelmä on turvalaite, jota liikenteen ohjaaja käyttää junakulkuteiden varmistamiseen. Liikenteenohjaajan asettaessa kulkutien liikkeelle lähtevälle yksikölle varmistaa asetinlaite kulkutieehtojen täyttymisen. Varmistettuun kulkutiehen sisältyy junakulkutien aloittava opastin, kulkutiellä olevat raideosuudet ja vaihteet, kulkutien päättäväopastin tai raideosuus, jolle junakulkutie päättyy, kulkutiellä olevat junakulkutien suuntaiset opastimet sekä muut turvalaite-elementit, jotka sisältyvät junakulkutiehen. Asetinlaite voi syöttää ja ohjata mm. ratapihan ja linjan vaihteiden kääntölaitteita, opastimia, JKV-laitteita, varoituslaitoksia, raidevirtapiirejä ja akselinlaskentajärjestelmiä. Suomen rautateillä käytössä olevat asetinlaitteet ovat hyvin erilaisia ja pitkän ajan kuluessa rakennettuja. Asetinlaitteet voidaan jakaa toimintaperiaatteiltaan ns. vapaakytkentäisiin tai ryhmien perusteella rakennettuihin järjestelmiin. Suomessa on käytössä seuraavanlaisia asetinlaitetyyppejä:

1. tietokoneasetinlaite
2. releryhmäasetinlaite
3. vapaakytkentäinen releasetinlaite
4. mekaaninen asetinlaite (Pitkänen 2001, 59–67; 5, Liikennevirasto 2012a, 9.)

5.3 Varoituslaitos

Suomen rautateillä on yli 3 000 tasoristeystä, joista lähes 1 000 on varustettu varoituslaitoksella. Tasoristeyksillä tarkoitetaan tien ja radan risteyskohtia. Rautateillä liikkuvan yksikön nopeusrajoitus tasoristeuksen kohdalla on enintään 140 km/h. (Liikennevirasto 2012c, 5.)

Varoituslaitoksen periaatteena on varoittaa valo- ja soitto-opastein sekä automaattisesti laskeutuvien puomien avulla tietä kulkevia tasoristeystä lähestyvistä yksiköistä tai tasoristeuksen kohdalla suoritettavista vaihtoliikkeistä. Alla on lueteltuna Suomen rautateillä käytössä olevat varoituslaitostyyppit:

1. varoitusvalolaitos
2. valo – ja äänivaroituslaitos
3. puolipuumilaitos
4. kevyen liikenteen kokopuumilaitos
5. paripuumilaitos
6. laituripolun varoituslaitos
7. huoltotien varoituslaitos (Liikennevirasto 2012c, 8.)

Nämä edellä mainitut laitosten liitynnät jaetaan asetinlaitteeseen liittyviin sekä linjalaitoksiin, jotka toimivat itsenäisinä varoituslaitoksina (Liikennevirasto 2012c, 8).

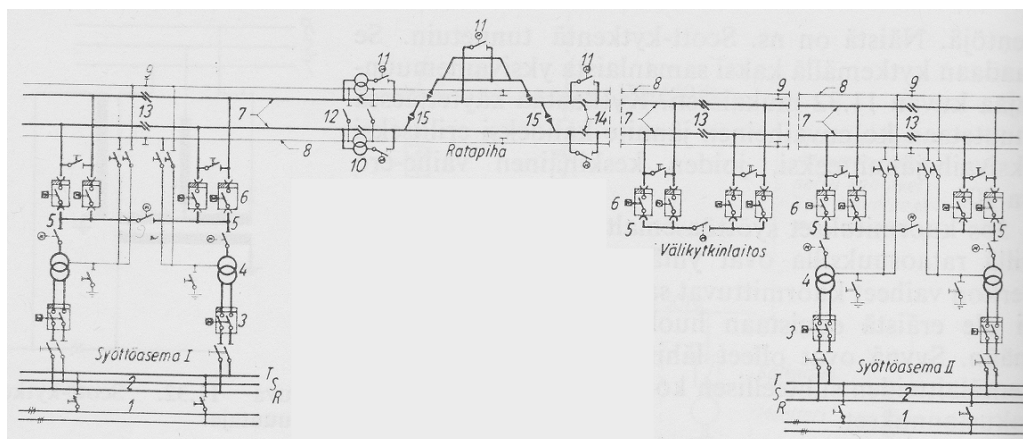
Varoituslaitoksen toimintaperiaate voidaan jakaa perus- ja hälytystilaan. Puomien ollessa ylhäällä ja valo-opastimien näyttäessä hitaasti vilkkuvaa valkeaa valoa on laitos perustilassa. Perustilassa hälytyskellot eivät saa hälyttää ja varoituslaitoksen tieopastimet eivät saa näyttää mitään valoa. (Liikennevirasto 2012c, 13.)

Yksikön liikkeessä hälytysosuudelle vaihtuu laitos perustilasta hälytystilaan. Hälytys yksikön liikettä annetaan tieopastimien nopeasti vilkkuvilla punaisilla valoilla ja samanaikaisella soitto-opasteella. Puomeilla varustetuissa varoituslaitoksissa alkavat puomit laskeutua 10 s etusoittoajan kuluttua. Puomien varsiin syttyvät vilkkuvalot ja puomit laskeutuvat kymmenessä sekunnissa. Paripuomilaitoksissa tasoristeykseen johtavien kaistojen puomit ohjataan laskeutumaan etusoittoajan jälkeen ja tasoristeyksestä pois johtavien kaistojen puomit 10 sekuntia tasoristeykseen johtavien puomien laskeutumisen jälkeen. Tämän lisäksi on varattava 10 s varoaikaa. Varoitus lakkaa automaattisesti yksikön viimeisen pyöräparin ohittaessa tasoristeyksen. (Liikennevirasto 2012c, 13–14.)

5.4 Kytkinasemat

Suomen rautateilla on käytössä kaksi sähköenergian syöttöjärjestelmää (25 kV ja 2 x 25 kV). Sähköratajärjestelmän energiansyöttö toteutetaan syöttöasemilla, joita on sijoitettuna radan viereen 25 kV:n järjestelmässä noin 35–50 km välein. 2 x 25 kV:n järjestelmässä syöttöasemien väli voi olla noin 90 km. Molempien järjestelmien jännite muutetaan kanta- tai alueverkon 110kV:n jännitteestä kahdella identtisellä yksivaihemuuntajalla. Syöttömuuntajan ensiökäämitys kytketään 110kV verkossa kahdenvaiheen välille ja 25 kV toisiokäämituksen syöttöjohto kytketään muuntajan suojaus- ja erottimen kautta ajojohtimeen. Kyseessä on tarvittavan tehon määrästä riippuen 7,5 MVA tai 12,5 MVA suurtehomuuntaja. Kytkinasemien piirikaaviot löytyvät liitteistä 2 ja 3. (Liikennevirasto 2005, 14; Pöyhönen 1980, 393–395.)

Syöttöasemien välissä sijaitsevilla välilytkinasemilla parannetaan sähköradan käyttöominaisuuksia sekä sähköistä suojausta. Syöttö- ja välilytkinasemista voidaan käyttää yhteisnimitystä kytkinasema. Kytkinasemien syöttöpiirit erotetaan toisistaan niin sanotuilla erotusjaksoilla, joilla estetään liikkuvan yksikön virroittimen aiheuttama oikosulku. Välilytkinaseman erotusjakson molemmin puolin on normaalikäytössä samanvaiheiset jännitteet, joten ne voidaan kytkeä aseman kytkimillä yhteen. Näin saadaan vierekkäiset syöttöasemat syöttämään ajojohdinta rinnankytkettynä, joten huippukuormitusten aikana tapahtuvaa jännitteenalenemaa saadaan pienennettyä. Kuvassa 6 on kuvattuna Suomen rautateiden sähkönsyöttöjärjestelmä, josta nähdään kytkinasemien sijoitukset ja liittynät. (Liikennevirasto 2005, 14; Pöyhönen 1980, 393–395.)



KUVA 6. Kytkinasemat rautateiden syöttöjärjestelmässä (Pöyhönen 1980, 394.)

Kuvan 6 numerointien selvitykset:

1. 110 kV:n kantaverkko
2. 110 kV:n kiskosto
3. 110kV:n katkaisija
4. 110/25 kV syöttömuuntaja
5. 25 kV kiskosto
6. 25 kV katkaisija
7. ajojohdin
8. paluujohdin
9. paluujohtimen kiskoliitännä
10. imumuuntaja
11. kauko-ohjattava erotin
12. paluujohtimen poikittaiserotin
13. erotusjakso
14. erotusilmaväli
15. ryhmitseristin (Pöyhönen 1980, 394.)

6 VARAVOIMAJÄRJESTELMIIN PEREHTYMINEN

Työn tutkimusosaa tukemaan hankitun teorian perusteella kävimme tutustumassa maastossa rautateiden turvalaitteisiin. Maastokäyntiä varten tuli ensin suorittaa päivän mittainen TURVA-koulutus, joka perehdyttää turvalliseen rautateillä liikkumiseen. Ensimmäinen tutustuminen tehtiin Kokkola-Pietarsaari-Uusikaarlepyy-akselilla, joissa kävimme releasetinlaitteilla, varoituslaitoksilla ja kyt-kinasemilla. Kävimme läpi turvalaitteiden toimintaa, varavoimajärjestelmiä ja niiden huoltotarpeita sekä erilaisia akku- ja varaajatyyppejä.

6.1 Releasetinlaitteen varavoimajärjestelmät

6.1.1 Jännitemuuttajilla toteutettu varavoimajärjestelmä

Asetinlaitteen akusto on määrätty liikennepaikan suuruuden mukaan, joka vastaa kapasiteetiltaan 800–1 200 Ah. Pienimmät liikennepaikat ovat kaksiraiteisia- ja suurimmat noin kymmenraiteisia ratapihoja. Esimerkiksi Kokkolan ratapihalla vapaakyntäisen releasetinlaitteen 60 V / 1100 Ah akusto pyörittää kahta mekaanista muuttajakonetta, joista toinen tekee 3 x 400 V / 50 Hz sähköä opastimille, vaihteenkääntölaitteille, ilmaisintauluille, kauko-ohjaukselle sekä laittilan varavalaistukselle. Toisen jännitemuuttaja tuottaa 3 x 220 V / 125 Hz sähköä, jota on käytetty raidevirtapiireihin, JKV-järjestelmiin ja asemien väliseen sähkönsyöttöön. Muuttajat on esitetty kuvassa 8.

Akusto on muodostettu 30 sarjaankytketyistä 2 V avoimista lyijy-seleenikennoista, joiden ylläpitolatausjännite on 66,9 V ja pikalatausjännite verkkokatkon jälkeen 72 V. Yhden 2 V kennon mitat ovat 210/230/700 mm ja paino 75 kg. Kennon mittoja tarkasteltaessa huomasimme akuston tilantarpeen ja painon olevan erittäin suurina (>1 m³ / 2250 kg). Akusto on sijoitettu asetinlaittilan yhteyteen tehtyyn akkuhuoneeseen. Esimerkki edellä mainitusta akustosta on esitetty kuvassa 7.

Akuston päävaraaja on yksivaiheinen 230 VAC / 16 A verkkovirtalaturi, joka muodostaa 60 VDC / 25 A latausjännitteen. Jotta akustossa on päästy ylläpitojännitteen tasolle, on päävaraajan kanssa sarjaan kytketty 6,9 V apumuuntaja. Lisäksi purkauksen jälkeiseen varaukseen on kolmivaiheinen pikalaturi, jonka varausjännite on 72 V. Varaajat ovat sijoitettu asetinlaittilan laittilaan. Akkuhuoneeseen on sijoitettu myös kauko-ohjauksen sarjaankytketyt 2 x 12 V akut ja näiden akkujen 24 VDC varaaja löytyy myös laittilan puolelta.



KUVA 7. Asetinlaitteen lyijyakusto (Jani Rissanen 2013.)



KUVA 8. Asetinlaitteen akuston syöttämät jännitemuuttajat (Jani Rissanen 2013.)

6.1.2 UPS-tekniikalla toteutettu varavoimajärjestelmä

Liikenneviraston asettamien määräysten mukaisesti uusissa asetinlaitetiloissa varavoimajärjestelmä on toteutettu UPS-tekniikalla, jolla on mahdollistettu katkeamattoman virransyötön sähköverkon katkoksen aikana. Täten uusimpiin asetinlaitetiloihin onkin asetettu kuvien 9 ja 10 mukainen UPS-järjestelmä, joka varastoi energiaa lyijyakkuihin. Esimerkiksi Riijärven uudelle liikennepaikalle rakennetussa asetinlaitetilassa on käytetty General Electricin valmistamaa digital energy LP10-33 UPS-laitetta ja yhteensä 40 akusta koostuvaa akkupakettia, joka on muodostettu kahdesta rinnan kytketystä 20 akun kokonaisuudesta ja varauskyky tällä järjestelmällä on 216 Ah. Yksi akusto on kasattu 20 x 12 V sarjaankytketyistä, avoimista lyijy-happo akuista.



KUVA 9. UPS-järjestelmän lyijy-happoakusto Riijärvellä (Jani Rissanen 2013.)



KUVA 10. GE digital energy LP10-33 UPS-laite (Jani Rissanen 2013.)

6.1.3 BluES-järjestelmällä saavutettavat edut releasetinlaitteissa

BluES-järjestelmä on huoltovapaa, joten huoltokustannuksissa säästetään niin akustohuollon kuin jännitemuuttajien poisjäännin myötä. Tällä hetkellä käytettäviin lyijyakkuihin tehdään määräaikaishuoltoja säännöllisin väliajoin (6 kk) sekä akuston purkauskoe 3 vuoden välein. Akkuhuolto on osa laajempaa asetinlaitteelle tehtävää huoltoa, mutta BluES-järjestelmän myötä asetinlaitteen määräaikaishuoltoon käytettävää aikaa saataisiin pienennettyä. Tällä hetkellä yhden huollon aikana akustoihin käytetään noin 2 työtuntia. Jos huollossa huomataan viallisia kennoja joita pitäisi vaihtaa, ottaa tämä huomattavasti enemmän aikaa. Kennot ovat raskaita ja niiden purkaminen vie aikaa. Tämän toimenpiteen ajaksi täytyy asetinlaitteelle tuoda ulkopuolinen varavoimageneraattori jännitekatkon varalle. Kolmen vuoden välein tehtävään purkauskokeeseen käytetään noin 4 miestyöpäivää, johon varaudutaan myös varavoimageneraattorilla.

Erillisten akustovaraajien ja varsinkin kolmivaiheisen pikavaraajan poiston myötä mahdollistetaan asetinlaitetiloihin pienempien noususulakkeiden valinta. Verkkoyhtiöt eivät kuitenkaan maksa hyvitystä olemassa olevien liittymien sulakekoon pienentämisestä, mutta uusissa kohteissa kustannuksissa säästetään.

Asetinlaitteen akkuhuoneessa sijaitsevat kauko-ohjauksen akut voidaan poistaa ja kauko-ohjauksen varavoima voidaan ottaa asetinlaitteen BluES-järjestelmästä. Lyijyakkujen, jännitemuuttajien ja erillisten varaajien poiston myötä tilan tarve pienenee huomattavasti BluES-järjestelmällä, eikä akusto tarvitse välttämättä erillistä akkuhuonetta. Lisäksi korkea lämpötila ei lyhennä BluES-akuston elinikää ja varaamisessa ei synny myrkyllisiä kaasuja. Näin ollen tilojen tuuletuksen tarve vähenee.

Nopeasta akuston varaamisesta on etuja varsinkin kesäisin myrskyjen aikaan, jolloin verkkokatkoja saattaa tulla vuorokaudessa useita. BlueES-järjestelmä parantaa toimintavarmuutta saavuttaen täyden akkukapasiteetin jopa 1–2 tunnissa, kun ulkopuolinen sähkönsyöttö kytkeytyy. Vastaavasti lyijyakkujen varaamiseen menee vähintään 10 h akkujen ollessa tyhjä.

BluES-hallintajärjestelmien avulla ulkopuolisen verkon aiheuttaman sähkökatkon pitkittyessä on mahdollista jakaa varavoimaa niille laitteille, jotka sitä eniten tarvitsevat. Järjestelmässä on sarjavyöliitintä, joka päivittää tilatietoja minuutin välein mahdollistaen etätarkkailun (tämä vaatii kuitenkin Ethertnet-yhteyden). Tämän lisäksi hallintajärjestelmästä saadaan kosketintietona seuraavia hälytyksiä.

1. vaarallisen korkea lämpötila
2. ulkoinen verkkokatkos (AC)
3. vioittunut suuntaaja
4. lauennut lämpörele (kuittaantuu automaattisesti)

Tällä hetkellä asetinlaitteilla, joiden varavoiman tuottaminen perustuu jännitemuuttajilla lyijyakustosta muutettavaan 3-vaiheiseen vaihtosähköön, aiheutuu ulkopuolisen verkon katketessa 3–6 s katkos varavoiman kytkeytymiseen. BluES-järjestelmällä taataan näihin kohteisiin katkeamaton sähkönsyöttö ja edellä mainitut katkoksesta aiheutuneet ongelmat saadaan poistettua. Tämän lisäksi suuria jännitemuuttajia ja erillisiä akustovaraajia ei enää asetinlaitetiloissa tarvita. 6 s katkos aiheuttaa mm. seuraavia ongelmia junaliikenteessä sekä asetinlaitteella.

- Junaliikenteeseen ongelmia aiheuttavat baliisit, jotka voivat antaa epämääräisiä JKV-tietoja, jos liikkuva yksikkö ylittää baliisin jännitekatkon aikana. (Esimerkiksi 200km/h liikkuva pendolino ennättää liikkua kuuden sekunnin aikana 330m).
- Jos liikenteenohjaaja suorittamassa suojustuksen suunnankääntöä ja samalla tapahtuu verkkokatko aiheuttaa tämä asetinlaitteen jumittumisen. Jumittuneet releet käydään asettamassa käsin samansuuntaisiksi.
- Asetinlaitteen ohjaamat varoituslaitokset alkavat hälyttää impulssitoimintona, jonka seurauksena puomit laskeutuvat alas. Hälytys kestää 40 sekuntia.

Jännitemuuttaja käyttöisillä asetinlaitteilla saavutetaan nämä kaikki edellä mainitut edut käyttämällä varavoimanlähteenä BluES-järjestelmää. UPS-tekniikkaan perustuvilla uusilla asetinlaitteilla saavutetaan kaikki edellä mainitut edut lukuun ottamatta 3–6 s jännitekatko ongelmaa, joka UPS-laitteen myötä on korjattu.

6.2 Varoituslaitosten varavoimajärjestelmät

Varoituslaitoksen akusto ja sen varausautomaatiikka sekä kaukovalvontalaitteet on sijoitettu kuvan 11 mukaiseen laitekojuun, ylikäytävän läheisyyteen. Koju pitää sisällään myös kaikki varoituslaitoksen syöttö-, hallinta- ja ohjausjärjestelmät. (Liikennevirasto 2012c, 42–46.)

Varoituslaitoksen sähköenergia on syötetty paikallisen sähkölaitoksen verkosta yksivaiheisena 230 VAC jännitteenä ja on tasasuunnattu 24V DC jännitteeksi ohjaus-, opastin- ja puomivirtapiirejä varten. Tasasuuntaajan tehtävänä on myös pitää akusto varauksessa ja jännite vakiona. Tasasuuntaajan ja siihen liitettävän akuston koko on määrätty varoituslaitoksille normaalisti asetetun 10 h ylläpidon sekä laitoksen koon perusteella. (Liikennevirasto 2012c, 42–46.)

Laitoksen koko määräytyy karkeasti puomien kääntömoottorien määrän perusteella. Esimerkiksi puolipuomilaitoksessa (2 moottoria) akuston varauskyvyksi on määritelty 60 Ah ja paripuomilaitoksessa (4 moottoria) näin ollen 120 Ah. Akustoina on käytetty pääsääntöisesti NiFe- kennoja (nikkeli-rauta) sekä NiCd-kennoja (Nikkeli-kadmium), joista jälkimmäiset ovat luokiteltu erittäin myrkyllisiksi. Molemmissa kennoissa kennojännite on 1,2 V ja varauskyky 60 Ah. Kytkemällä kennot sarjaan (20 x 1,2 V) saadaan akuston jännitteeksi 24 V / 60 Ah. Vilkkaasti liikennöidyillä tasoristeyksillä on varoituslaitokseen mahdollista kytkeä ulkopuolisesti liikuteltava generaattori, jos jännitekatko pitkittyy. (Liikennevirasto 2012c, 42–46.)



KUVA 11. Varoituslaitoksen laitetila (koju), joka sijaitsee ylikäytävän läheisyydessä (Jani Rissanen 2013.)

Akuston ylläpitovarausjännitteen tulee olla säädettävissä rajoissa $\pm 25 \% \times U$, jossa U on akun nimellisjännite. Latausjännitteen tulee pysyä vakiona, vaikka verkkojännite tai kuormitusvirta vaihtelee. Tarvittavan latausvirran tulee olla noin 10 % akuston nimelliskapasiteetista, mutta virta rajoitetaan kuitenkin akun valmistajan antamien suositusten mukaisesti. Akustovaraajan nimellisvirta mitoitetaan siten, että se pystyy lataamaan tyhjän akuston 80 %:iin nimelliskapasiteetista 24 h aikana samalla, kun se syöttää kuormaa maksimikuormitustilanteessa. (Liikennevirasto 2012c, 45.)

Akustoa valvotaan purkauksen aikana siten, että jännitteen laskiessa arvoon $0,85 \times U$, siitä lähetetään hälytys. Tämä hälytys toimii, kuitenkin 10 s viiveellä, jotta esimerkiksi turvalaitoksen puomien kääntymishetkellä syntyvien lyhyiden kuormitushuippujen aikainen akuston jännitteen aleneminen ei aiheuttaisi hälytystä. (Liikennevirasto 2012c, 46.)

Esimerkkinä Pietarsaaren koulukadun varoituslaitos kuvassa 12, joka käsittää paripuomilaitoksen sekä kevyenliikenteen puomilaitoksen (yhteensä 6 moottoria) on akuston kapasiteetti 180 Ah. 1,2 V NiCd-kennoja on sarjassa 20 ja näistä muodostuvia 24 V / 60 Ah akustoja on kytketty rinnan kolme kappaletta. Ylläpitovaraus on toteutettu tasasuuntaajalla, joka muuttaa syöttävän verkon 230 VAC jännitteen 24 VDC jännitteeksi. Akuston varausjännitteen asetettu arvo on 28 V. Tieto purkaushetkellä laskevasta akuston jännitteestä välitetään robottipuhelimen avulla liikenteenohjaukseen.



KUVA 12. Pietarsaaren koulukadun varoituslaitoksen NiCd-akusto (Jani Rissanen 2013.)

6.2.1 BluES-järjestelmällä saavutettavat edut varoituslaitoksilla

BluES-järjestelmä on huoltovapaa, joten akkujen osalta huoltokustannuksissa säästetään. Tällä hetkellä käytettäviin nikkeli-rauta-akkuihin tehdään määräaikaishuoltoja säännöllisin väliajoin (6 kk) sekä akuston purkauskoe 3 vuoden välein. Akkuhuolto on osa laajempaa varoituslaitokselle tehtävää huoltoa, mutta BluES-järjestelmän myötä varoituslaitoksen määräaikaishuoltoon käytettävää aikaa saataisiin pienennettyä. Tällä hetkellä yhden huollon aikana akustoihin käytetään noin 2 työtuntia, mutta viallisia kennoja vaihdettaessa huoltoajat pitenevät. Runsasliikenteisille tieosuuksille tuodaan tarvittaessa kennojen vaihdon ajaksi varavoimageneraattori, jolla varmistetaan sähkönsaanti verkkokatkon aikana. Kolmen vuoden välein tehtävään purkauskokeeseen käytetään noin 2 x 3 h, johon varaudutaan tuomalla paikalle varavoimageneraattori.

Nopeasta akuston varaamisesta on etuja varsinkin kesäisin myrskyjen aikaan, jolloin verkkokatkoja saattaa tulla vuorokaudessa useita. BlueES-järjestelmä parantaa toimintavarmuutta saavuttaen täyden akkukapasiteetin 1–2 tunnissa, kun ulkopuolinen sähkönsyöttö kytkeytyy. Vastaavasti NiCd- tai NiFe-akkujen varaamiseen menee useita tunteja akkujen ollessa tyhjiä.

BluES-hallintajärjestelmien avulla ulkopuolisen verkon aiheuttaman sähkökatkon pitkeytyessä on mahdollista jakaa varavoimaa niille laitteille, jotka sitä eniten tarvitsevat. Järjestelmässä on sarjavyläliitintä, joka päivittää tilatietoja minuutin välein mahdollistaen etätarkkailun (tämä vaatii kuitenkin Ethernet-yhteyden). Tämän lisäksi hallintajärjestelmästä saadaan kosketintietona seuraavia hälytyksiä.

1. vaarallisen korkea lämpötila
2. ulkoinen verkkokatkos (AC)
3. vioittunut suuntaaja
4. lauennut lämpörele (kuittaantuu automaattisesti)

Korkea lämpötila ei lyhennä BluES-akuston elinikää eikä varaamisessa synny myrkyllisiä kaasuja. Näin ollen tilojen tuuletuksen tarve vähenee. Lisäksi NiCd- tai NiFe-akkujen ja erillisen varaajan poistoon myötä tilan tarve pienenee.

6.3 Kytkinasemien varavoimajärjestelmät

Kytkinasemille on sijoitettu 30 kVA:n 27500 V / 240 V omakäyttömuuntajat, joista tasasuuntaajien avulla saadaan asemille ohjaus- ja ylläpitojännitteet. Tasasuuntaajat ovat jännitteiltään 220 VAC / 48 VDC ja 220 VAC / 110 VDC.

110 V järjestelmällä toimivat laitetalon varavalaistus, 25 kV katkaisijoiden viritysmoottorit sekä 25 kV suojaus- ja ohjauskentät. Järjestelmän rinnalle on kytketty kuvan 13 mukainen akusto, joka koostuu avoimista 9 x 12 V / 52 Ah lyijy-seleenakuista. Akusto on mitoitettu ylläpitämään järjestelmää toiminnassa 10 h ajan sähkökatkon aikana. Akustoa ylläpidetään 120 V ylläpitovarauksella ja purkauksen jälkeen pikavarauksella, jolloin varausjännite on vielä hieman korkeampi. Syöttöasemilla 110 V akustoja on kytketty 2 kpl rinnan saavuttaen 2 x 52 Ah varauskyky.

48 V järjestelmällä toimivat puhelin, kaukokäytön ohjaus, linkki- ja merkinantolaitteet. Järjestelmän rinnalle on kytketty kuvan 13 mukainen akusto, joka koostuu avoimista 4 x 12 V / 104 Ah lyijy-seleenakuista. Akusto on mitoitettu ylläpitämään järjestelmää toiminnassa 10 h ajan sähkökatkon aikana. Akustoa ylläpidetään 52 V ylläpitovarauksella ja purkauksen jälkeen pikavarauksella, jolloin varausjännite on vielä hieman korkeampi.



KUVA 13. Kytkinaseman varavoima-akusto. Ylhäällä 110V järjestelmä ja alhaalla 48V järjestelmä. (Jani Rissanen 2013.)

6.3.1 BluES-järjestelmällä saavutettavat edut kytkinlaitoksilla

BluES-järjestelmä on huoltovapaa, joten akkujen osalta huoltokustannuksissa säästetään. Tällä hetkellä käytettäviin lyijyakkuihin tehdään määräaikaishuoltoja säännöllisin väliajoin (6 kk) sekä akuston purkauskoe 3 vuoden välein. Akkuhuolto on osa laajempaa kytkinlaitokselle tehtävää huoltoa, mutta BluES-järjestelmän myötä kytkinlaitoksen määräaikaishuoltoon käytettävää aikaa saataisiin pienennettyä. Tällä hetkellä yhden huollon aikana akustoihin käytetään noin 2 työtuntia. Viallisia kennoja vaihdettaessa huoltoajat pitenevät. Tarvittaessa kennojen vaihdon ajaksi paikalle tuodaan varavoimageneraattori, jolla varmistetaan sähkön saanti verkkokatkon aikana. Kolmen vuoden välein tehtävään purkauskokeeseen käytetään noin 2 x 3 tuntia, johon varaudutaan myös varavoimageneraattorilla.

Nopeasta akuston varaamisesta on etuja varsinkin kesäisin myrskyjen aikaan, jolloin verkkokatkoja saattaa tulla vuorokaudessa useita. BlueES-järjestelmä parantaa toimintavarmuutta saavuttaen täyden akkukapasiteetin tunnissa, kun ulkopuolinen sähkönsyöttö kytkeytyy. Vastaavasti lyijyakkujen lataamiseen voi mennä 10 jopa tuntia, jos akut ovat päässeet tyhjiksi.

BluES-hallintajärjestelmien avulla ulkopuolisen verkon aiheuttaman sähkökatkon pitkittyessä on mahdollista jakaa varavoimaa niille laitteille, jotka sitä eniten tarvitsevat. Järjestelmässä on sarjavyläliitintä, joka päivittää tilatietoja minuutin välein mahdollistaen etätarkkailun (tämä vaatii kuitenkin Ethernet yhteyden). Tämän lisäksi hallintajärjestelmästä saadaan kosketintietona seuraavia hälytyksiä.

1. vaarallisen korkea lämpötila
2. ulkoinen verkkokatkos (AC)
3. vioittunut suuntaaja
4. lauennut lämpörele (kuittaantuu automaattisesti)

Korkea lämpötila ei lyhennä BluES-akuston elinikää eikä varaamisessa synny myrkyllisiä kaasuja. Näin ollen tilojen tuuletuksen tarve vähenee. Lisäksi lyijyakkujen ja erillisten varaajien poiston myötä tilan tarve pienenee.

7 MITTAUKSET JA MITOITUKSET

Toisella maastokatselmuksella tehtiin suuntaa antavia mittauksia ja toimitettiin saadut mittaustulokset Proxion Solutions Oy:lle, jossa mitoitettiin tarvittavan kokoiset järjestelmät tutkimuskohteisiin. Mitoituksen lisäksi saatiin tuotteista kustannusarviot. Näitä tuloksia käytetään esitettäessä tuotteita asiakkaille. Maastokäynnit tehtiin Oulu-Oulainen-akselilla ja saatiin tulokset kahdesta erikokoisesta varoituslaitoksesta sekä releasetinlaitteesta.

7.1 Releasetinlaite

Asetinlaitteen vaadittu toiminta-aika varavoimalla on 6 tuntia. Akuston varauskyvyn mitoitukseen vaikuttaa liikennepaikan koko. Niitä on kaksiraiteisista aina kymmenraiteisiin liikennepaikkoihin.

Tuomiojan liikennepaikalla mitattiin jännitemuuttajakäyttöisen releasetinlaitteen virrankulutuksia. Ensiksi mitattiin asetinlaitteen verkosta (3 x 230 V) ottamat vaihevirrat, jotka olivat 5,9–9,5 A. Sitten ulkoinen varaus kytkettiin irti ja 60 V akuston jännitemuuttajat käynnistyivät. Jännitemuuttajien käytössä mitattiin akuston ulos antamat jännitteet ja virrat, jotka on esitetty taulukossa 2. Sekä muuttajien otto- ja antovirrat, joiden perusteella saatiin lasketuksi jännitemuuttajien hyötysuhteet. Nämä arvot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 2. 60 V lyjyakuston antojännite ja -virrat

U_{OUT} / V	I_{OUT} / A	I_{RELEET} / A	$I_{MUUTTAJA50HZ} / A$	$I_{MUUTTAJA125HZ} / A$
58	90	8	37	41

TAULUKKO 3. Jännitemuuttajista mitatut ja lasketut suureet

Sisäänmenot	U_{DC} / V	I_{DC} / A	P_{OTTO} / W								
50Hz Muuttaja (3*400V)	58	37	2146								
125Hz Muuttaja (3*220V)	58	41	2378								
Ulostulot	U_{1-2} / V	U_{2-3} / V	U_{1-3} / V	I_1 / A	I_2 / A	I_3 / A	W_{1ANTO} / VA	W_{2ANTO} / VA	W_{3ANTO} / VA	KA. W_{ANTO} / VA	
50Hz Muuttaja (3*400V)	420	424	424	2,1	2,4	2,3	1527,67	1762,53	1689,10	1659,76	
125Hz Muuttaja (3*220V)	230	233	231	3,7	3,6	3,6	1473,98	1452,84	1440,37	1455,73	
Hyötysuhteet	η	$\eta / \%$									
50Hz Muuttaja (3*400V)	0,77	77,34									
125Hz Muuttaja (3*220V)	0,61	61,22									

7.1.1 BlueES-järjestelmän mitoitus

Mitoituksessa käytettiin DC-puolen kokonaisvirtana 86 A, joka saatiin releistön- ja jännitemuuttajien akustosta ottamasta virrasta. Eli $I_{TOT}=8\text{ A} + 37\text{ A} + 41\text{ A}=86\text{ A}$. Kokonaisvirran ja akuston jännitteen perusteella saatiin tarvittava teho $P_{DC}=60\text{ V} \times 86\text{ A}=5160\text{ W}$. Vaadittavan 6 h toiminta-ajan perusteella saatiin laskettua taulukossa 4 olevat arvot, jonka perusteella järjestelmäksi valittiin 64 V / 540 Ah BluES CP-35.

TAULUKKO 4. BluES CP-35 ominaisuudet. (Proxion Solutions Oy 2013.)

Total site power (W)	5160	Nominal voltage (V)	64		Note! Change only this cell		
Battery Capacity (Ah)	Charging time (h)	AC Power (W)	AC/DC module Efficiency (%)	DC Power (W)	Charging Current (A)	Total DC current (A)	Total back-up time (h)
360	10,0	7857	95	7464	36	117	4,47
540	10,0	9069	95	8616	54	135	6,70
720	10,0	10282	95	9768	72	153	8,93

Järjestelmä koostuu 6 kpl 2000 W tasasuuntaajista, joilla saavutetaan 12 kW maksimiteho. Laskettaessa tästä AC- puolen vaihevirta saadaan $I_V= 12000\text{ W} / \sqrt{3} \times 400\text{ V} \times 0,95=18,2\text{ A}$. Tällä tuloksella järjestelmä vaatisi 20 A sulakkeet 3-vaiheverkossa. Tasasuuntaajien tehoa voidaan kuitenkin rajoittaa esimerkiksi 9 kW:iin, jolloin vaihevirta I_V 10 h latausajalla olisi 13,7 A ja sulakekooksi riittäisi 16 A sulakkeet.

Liikenneviraston vaatimusten mukaisesti turvalaitteiden tulee saavuttaa täysi varauskyky 24 tunnissa. Taulukon mukaisesti järjestelmän latausajaksi on määriteltä 10 h ja latausvirraksi 54 A. Latausaikaa voidaan tarpeen tullen lyhentää jopa 2 tuntiin, mutta tämä tarkoittaa suurempaa latausvirtaa, jonka myötä syöttöön jouduttaisiin mitoittamaan suuremmat sulakkeet.

7.1.2 Kustannukset

Mitoituskohteena olleelle releasetinlaitteelle valittavan BluES CP-35 järjestelmän hinnaksi muodostui tässä tapauksessa 115 000 € / alv. 0 %. Summa on kuitenkin selvitystyötä varten laskettu esimerkki hinta. Tuotetta valmistavan yrityksen mukaan varsinainen asiakashinnoittelu tehdään aina tapauskohtaisesti.

7.2 Kaksipuominen varoituslaitos

Tuomiojalla Matelanperän puolipuumilaitoksella mitattiin varoituslaitoksen virrankulutusta. Järjestelmä koostui 24 V ja 60 Ah NiCd-akustosta, releistöä sekä puomilaitteista. Laitteiston sähkönsyöttö on toteutettu siten, että releistöä sekä puomilaitteita syötetään jatkuvasti akuston kautta saavuttaen edellä mainituille laitteille stabiili jännite.

Ensiksi mittaukset tehtiin ulkoisen syötön ollessa kytkettynä, josta todettiin akuston jännitteen olevan ylläpitovarauksen (28 V) tasolla ja mitattiin releistön ottaman virran (3,3 A) järjestelmän ollessa perustilassa. Tämän jälkeen ulkoinen syöttö kytkettiin irti, jolloin järjestelmä toimi varavoimalla. Akuston lepojännitteeksi mitattiin 26 V ja releistö otti suunnilleen samansuuruisen virran kuin edellisen mittauksen aikana, kun ulkopuolinen syöttö oli kytkettynä. Raiteilla liikkuvan yksikön lähestyessä tasoristeyttä, varoituslaitos siirtyi hälytystilaan. Puomien laskeutuessa saatiin laitteiston akustosta ottaman virran arvoksi mitattua 11 A. Mitatut arvot ovat esitettynä taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Matelanperän varoituslaitos

Järjestelmän tila	U / V	I / A	P / W	t / h	W / Wh	Q / Ah
Ulkoinen syöttö	28	3,3	92,4	10	924	33
Varavoima	26	3,3	85,8	10	858	33
Hälytys	22,4	11	246,4	10	2464	110

Tuloksista saatiin suuntaa antavaa tietoa järjestelmän tehontarpeesta. Perustilassa varoituslaitoksen laitteiden ottaman virran perusteella saadaan laskettua tehontarpeeksi noin 90 W kun taas hälytyksen aikana virran noustessa tehontarve kasvaa n. 250 W. Tehoista saadaan laskettua vaaditun 10 h toiminta-ajan mukaan energia ja varauskyky.

7.2.1 BlueES-järjestelmän mitoitus

Maastokäynnillä tehtyjen mittaustulosten perusteella kaksipuomiseen varoituslaitokseen löytyi 25,6 V / 45 Ah BluES CP-1152 järjestelmä, joka mitoitettiin 10 h toiminta-ajalle varavoimalla, josta 9 tuntia laskettiin järjestelmän perustilan virrankulutuksen mukaan ja tunti hälytystilan virrankulutuksen mukaan. Alla olevasta taulukosta 6 käy ilmi järjestelmän suuret ja arvot.

TAULUKKO 6. BluES CP-1152 ominaisuudet. (Proxion Solutions Oy 2013.)

Total site power (W)		Nominal voltage (V)					
110		25,6					
Battery Capacity (Ah)	Charging time (h)	AC Power (W)	Rectifier Efficiency (%)	DC Power (W)	Charging Current (A)	Total DC current (A)	Total back-up time (h)
45	3,0	520	95	494	15	19	10,47

Järjestelmää syötetään yksivaiheisella 230 V vaihtojännitteellä ja se koostuu 25,6 V akustosta ja yhdestä 1800 W tasasuuntaajasta. Laskettaessa syöttävän puolen AC-virta saadaan $I_{AC} = 1800W / 230 V \times 0,95 = 8,2 A$. Tällä tuloksella järjestelmä vaatisi syötön puolelle 10 A sulakkeen.

Liikenneviraston vaatimusten mukaisesti turvalaitteiden tulee saavuttaa täysi varauskyky 24 tunnissa. Taulukon mukaisesti järjestelmän latausajaksi on määriteltä 3 h ja latausvirraksi 15 A. Latausaikaa voidaan tarpeen tullen lyhentää jopa 2 tuntiin, mikä nostaa hieman latausvirtaa, muttei vaikuta sulakekokoon.

7.2.2 Kustannukset

Mitoituskohteena olleelle kaksipuomiselle varoituslaitokselle valittavan BluES CP-1152-järjestelmän hinnaksi muodostui tässä tapauksessa 13 300 € / alv. 0 %. Summa on kuitenkin selvitystyötä varten laskettu esimerkkihinta. Tuotetta valmistavan yrityksen mukaan varsinainen asiakashinnoittelu tehdään aina tapauksittain.

7.3 Neljäpuominen varoituslaitos

Oulun satamassa mitattiin Jääsalontien 4-puomisella varoituslaitoksella järjestelmän virrankulutusta. Järjestelmä koostui 24 V ja 60 Ah NiCd-akustosta, releistöstä sekä puomilaitteista. Laitteiston sähkönsyöttö on toteutettu siten, että releistöä sekä puomilaitteita syötetään jatkuvasti akuston kautta saavuttaen edellä mainituille laitteille stabiili jännite

Ensiksi suoritettiin mittaukset ulkoisen syötön ollessa kytkettynä, josta todettiin akuston jännitteen olevan ylläpitovaruksen (28 V) tasolla ja mitattiin releistön ottaman virran (3,5 A) järjestelmän ollessa perustilassa. Tämän jälkeen ulkoinen syöttö kytkettiin irti, joten järjestelmä toimi varavoimalla. Akuston lepojännitteeksi mitattiin 26 V ja releistö otti suunnilleen samansuuruisen virran kuin edellisen mittauksen aikana, kun ulkopuolinen syöttö oli kytkettynä. Raiteilla liikkuvan yksikön lähestyessä tasoristeyttä, varoituslaitos siirtyi hälytystilaan. Kun puomit alkoivat laskeutua, saatiin laitteiston akustosta ottaman virran arvoksi mitattua 28 A. Tässä huomataan selvä kuormituksen kasvu edelliseen nähden, koska puomeja oli 4 sekä akustolla syötettiin myös varoituslaitoksen raidevirtapiiriä. Mitatut arvot ovat esitettynä taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Jääsalontien 4-puominen varoituslaitos

Järjestelmän tila	U / V	I / A	P / W	t / h	W / Wh	Q / Ah
Ulkoinen syöttö	28	3,5	98	10	980	35
Varavoima	26	3,5	91	10	910	35
Hälytys	24,5	28	686	10	6860	280

Tuloksista saatiin suuntaa antavaa tietoa järjestelmän tehontarpeesta. Perustilassa varoituslaitoksen laitteiden ottaman virran perusteella saadaan laskettua tehontarpeeksi noin 90 W kun taas hälytyksen aikana virran noustessa tehontarve kasvaa n. 686 W. Tehoista saadaan laskettua vaaditun 10 h toiminta-ajan mukaan energia ja varauskyky.

7.3.1 BlueES-järjestelmän mitoitus

Maastokäynnillä tehtyjen mittaustulosten perusteella neljäpuomiseen varoituslaitokseen löytyi 25,6 V / 90 Ah BluES CP-2300-järjestelmä, joka mitoitettiin 10 h toiminta-ajalle varavoimalla, josta 9 tuntia laskettiin järjestelmän perustilan virrankulutuksen mukaan ja tunti hälytystilan virrankulutuksen mukaan. Alla olevasta taulukosta 8 käy ilmi järjestelmän suuret ja arvot.

TAULUKKO 8. BluES CP-2300 ominaisuudet (Proxion Solutions Oy 2013.)

Total site power (W)		220		Nominal voltage (V)		25,6	
Battery Capacity (Ah)	Charging time (h)	AC Power (W)	Rectifier Efficiency (%)	DC Power (W)	Charging Current (A)	Total DC current (A)	Total back-up time (h)
90	3,0	1040	95	988	30	39	10,47

Järjestelmää syötetään yksivaiheisella 230 V vaihtojännitteellä ja se koostuu 25,6 V akustosta ja yhdestä 1800 W tasasuuntaajasta. Laskettaessa syöttävän puolen AC-virta saadaan $I_{AC} = 1800 \text{ W} / 230 \text{ V} \times 0,95 = 8,2 \text{ A}$. Tällä tuloksella järjestelmä vaatisi syötön puolelle 10 A sulakkeen.

Liikenneviraston vaatimusten mukaisesti turvalaitteiden tulee saavuttaa täysi varauskyky 24 tunnissa. Taulukon mukaisesti järjestelmän latausajaksi on määritetty 3 h ja latausvirraksi 30 A. Latausaikaa voidaan tarpeen tullen lyhentää jopa 2 tuntiin, mikä nostaa hieman latausvirtaa, muttei vaikuta sulakekokoon.

7.3.2 Kustannukset

Mitoituskohteena olleelle neljäpuomiselle varoituslaitokselle valittavan BluES CP-2300-järjestelmän hinnaksi muodostui tässä tapauksessa 18 300 € / alv. 0 %. Summa on kuitenkin selvitystyötä varten laskettu esimerkkihinta. Tuotetta valmistavan yrityksen mukaan varsinainen asiakashinnoittelu tehdään aina tapauksittain.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aihe oli monipuolinen ja haastava. Työtä varten jouduttiin tutustumaan ja opiskelemaan akkuteknologiaa, jota opiskeluaikana ei opetettu. Oman haasteensa toi työn laajuus, jota jouduttiin hieman rajaamaan alkuperäisen suunnitelman jälkeen. Joissakin työn osissa myös materiaalin ja tiedonhankinta toi omat haasteensa, koska rautatiealalla vallitsevan kilpailutilanteen vuoksi muilta yrityksiltä ei tietoja tahtonut saada. Yrityksen osaavien ja kannustavien ammattihenkilöiden avustuksella käytössä olevien ja uusien varavoimajärjestelmien tiedonhankinta ja ymmärtäminen sekä maastokäynneillä järjestelmiin tutustuminen ja mittaukset sujuivat helposti.

Selvitystyön perusteella saatiin pohjatieto rautatiealan varavoimajärjestelmistä ja selvitys uuden järjestelmän myötä saatavista hyödyistä käyttökohteissa. Tämän pohjalta yritykselle hankittiin hyvät lähtökohdat uuden varavoimajärjestelmän markkinoinnissa asiakkaille.

Opinnäytetyössä esitetyt mittaustulokset ja uusien järjestelmien kustannuslaskelmat ovat suuntaa antavia tuloksia, joita voidaan käyttää tuotteen markkinoinnissa esimerkkinä. Käyttökohteiden eroavaisuuksien takia uudet varavoimajärjestelmät tulee mitoittaa ja hinnoitella tapausittain.

Opinnäytetyön laajuuden vuoksi selvityksestä jouduttiin jättämään pois tarkemmat kustannuslaskelmat, joten myös BluES-tuotteiden takaisinmaksuajat jäivät selvitettäväksi opinnäytetyön ulkopuolelle. Työtä jatketaan näiltä osin opinnäytetyön jälkeen samoin kuin tuotteen markkinointia asiakkaille. Asiakkaan kiinnostuksen myötä pyritään saamaan uudelle varavoimajärjestelmälle pilottikohde.

Tulosten perusteella hyvä BluES-varavoimajärjestelmän pilottikohde olisi varoituslaitos, johon pienikokoinen järjestelmä saataisiin toteutettua vähin muutoksin. Asetinlaitteille sekä syöttö- ja välilytkinasemille joudutaan käyttämään suunnitteluun ja toteutukseen enemmän aikaa, koska nämä laitteet ovat toiminnoiltaan monimutkaisempia kuin varoituslaitokset.

LÄHTEET

CHANGHONG www-sivusto [viitattu 18.4.2013]. Saatavissa: microsec.net/Solar%20Nickel%20Iron%20battery.pdf

JOHNSSON, Bo. 2004. Sähköoppi. 1. painos. Iisalmi: IS-VET OY.

LIIKENNEVIRASTO 2005. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RATO), osa 5, sähköistetty rata. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rato_5_sahkoistetty_rata.pdf

LIIKENNEVIRASTO 2012a. Ratatekniset ohjeet (RATO), osa 6, turvalaitteet. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-06_rato6_web.pdf

LIIKENNEVIRASTO 2012b. Rautatieturvalaitteiden yleiset kunnossapito-ohjeet, sekä tarkastus- ja huolto-ohjeet. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje_2012_rautatieturvalaitteiden_yleiset_kunnossapito-ohjeet.pdf

LIIKENNEVIRASTO 2012c. Varoituslaitosten tekniset toimitusehdot. helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje_2012_varoituslaitosten_tekniset_web.pdf

NAUKKARINEN, Arto 2013-04-22. VS: Akkujen kierrätyksestä. Kuusakoski Oy [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Jani Rissanen.

NIEMINEN, Simo. 2008. Auton sähkölaitteet, 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

PITKÄNEN, Juhani 2001. Tsaarin ajasta EU-kauteen. Rautateiden TELE- ja sähkötekniikkaa vuodesta 1860. Kaarina: Kaarinan tasopaino.

PÖYHÖNEN, Otso W. 1980. Sähkötekniikan käsikirja 2. 5.painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

PROXION SOLUTIONS OY 2013. Yrityksen dokumentit. Varkaus: Proxion Solutions Oy.

SFS-EN 50272-1 2012. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset, Osa1: yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 50272-1 2001. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset, Osa2: paikallisakat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

ST 52.30.01 2003. Akkuhuoneet ja varaamotilat. Espoo: Sähkötieto Oy.

ST 52.30.02 2003. Akustot ja varaajat, valinta ja mitoittaminen. Espoo: Sähkötieto ry.

ST 96.30 2003. Akkujen hoito ja kunnossapito. Espoo: Sähkötieto Oy.

SÄHKÖTIETO RY. 2005 Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. 1.painos. Espoo: Sähkötieto ry.

Taulukko 1 Sähkökemialliset parit (akkukennot)

Akku- tyyppi	Järjestelmän komponenttien kuvaus						Nimellis- jännite [V]	Kaasuun- tumis- jännite [V]	Yksinkertaistettu kennoreaktio Varattu tila → purettu tila
	Elektrodit	Elektrolyytti	Elektrodiin aktiivimassa						
			Varattuna		Purettuna				
			positiivinen	negatiivinen	positiivinen	negatiivinen			
Lyijy- happo	Pb / PbO ₂	H ₂ SO ₄	PbO ₂	Pb	PbSO ₄	PbSO ₄	2,00	≈ 2,40	PbO ₂ + Pb + 2H ₂ SO ₄ → 2PbSO ₄ + 2H ₂ O
Nikkeli- kadmium	Ni / Cd	KOH / NaOH	NiOOH	Cd	Ni(OH) ₂	Cd(OH) ₂	1,20	≈ 1,55	2NiOOH + Cd + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Cd(OH) ₂
Nikkeli- metalli- hydridi	Ni/MH	KOH	NiOOH	H ₂	Ni(OH) ₂	H ₂ O	1,20	≈ 1,55	2(NiOOH·H ₂ O) + H ₂ → 2Ni(OH) ₂ + 2H ₂ O
Nikkeli- rauta	Ni / Fe	KOH	NiOOH	Fe	Ni(OH) ₂	Fe(OH) ₂	1,20	≈ 1,70	2NiOOH + Fe + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Fe(OH) ₂
Hopea- sinkki	Ag / Zn	KOH	AgO	Zn	Ag	Zn(OH) ₂	1,55	≈ 2,05	AgO + Zn + H ₂ O → Ag + Zn(OH) ₂
Litium- järjes- telmät	Li _x / C	vedetön	Li _{1-x} MeO ₂ + xLi	C	LiMeO ₂	C+xLi	3,60 ^a	- ^b	Li _{1-x} MO ₂ +CLi _x → LiMO ₂ +C

^a Tyypillinen nimellisarvo.

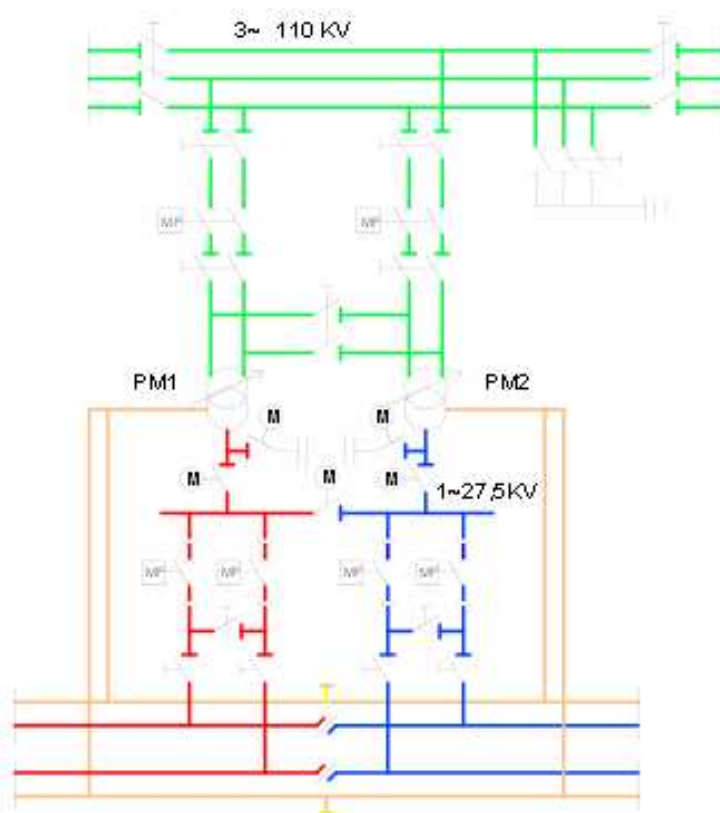
^b Litium- tai litiumionikemien raja-arvojen määritys valmistaja.

LIITTEET

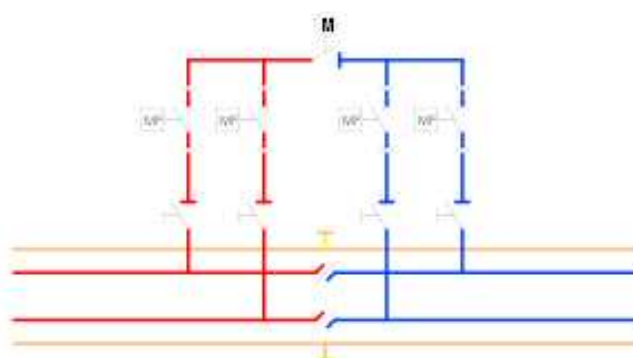
LIITE 1

LIITE 2

JÄRJESTELMÄN 25 KV SYÖTTÖASEMA



JÄRJESTELMÄN 25 KV VÄLIKYTKINASEMA



- 110 kV
- 25 kV vaihejännite
- 25 kV vaihejännite
- Paluujohdin

Esimerkki elektronisen asetinlaitteen virransyötöstö

