

Selvitys prosessiteollisuuden tasasähköjärjestelmästä

Eetu Kukkamäki

Opinnäytetyö

Joulukuu 2019

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Kukkamäki, Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2019
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Selvitys prosessiteollisuuden tasasähköjärjestelmästä		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Teppo Flyktman, Veli-Matti Häkkinen		
Toimeksiantaja(t) Efora Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin Efora Oy:lle, joka huolehtii Stora Enson Heinolan flutingtehtaan kunnossapidosta. Tehtävänä oli selvittää tehtaan tasasähköjärjestelmän tila ja määrittää järjestelmän päivyststarpeet. Aihe rajattiin koskemaan tasasähköjärjestelmän syöttöä. Tavoitteena oli selvittää, onko tasasähköjärjestelmä nykyisellään turvallinen ja käyttövarma sekä vaatiiko järjestelmä joitain välittömiä korjaus- tai muutostöimenpiteitä.</p> <p>Työssä perehdyttiin tasasähköjärjestelmään liittyviin standardeihin sekä ohjeistuksiin, joista saatiin pohjatiedot tasasähköjärjestelmän vaatimuksista. Tämän jälkeen tutustuttiin nykyiseen tasasähköjärjestelmään ja kartoitettiin siihen liittyvät piirikaaviot, tarkastusraportit ja muut järjestelmään liittyvät dokumentit.</p> <p>Keskeisessä roolissa työssä oli akuston kapasiteetin määrittäminen ja sen vertaaminen tasasähköjärjestelmän kuormituksiin. Kuormituksia arvioitiin piirikaavioiden avulla laitteiden teknisistä tiedoista. Lisäksi suoritettiin mittauksia eri lähtöjen virrankulutuksista tasasähkökeskuksessa.</p> <p>Työn tulosten perusteella tasasähköjärjestelmän mitoitukset ovat riittävät kuorman suhteen ja akusto on vielä hyvässä kunnossa. Suurimmiksi kehityskohteiksi nousi keskeisimpien komponenttien kahdentaminen, jotta järjestelmän toimintavarmuus paranisi, sekä tasasähkökeskuksen uusiminen. Keskus on alkuperäinen ja siihen on tehty ajan saatossa lisäyksiä, joten sen rakenne ei ole enää selkeä. Lisäksi keskuksen kosketussuojaus on puutteellinen, mikä heikentää turvallisuutta. Myös keskuksen merkinnät olisi päivitettävä ajan tasalle ja niitä olisi lisättävä puuttuvilta osin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Prosessiteollisuus, sähkönjakelu, tasasähköjärjestelmä, akusto		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Kukkamäki Eetu	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 40	Permission for web publication: X
Title of publication Report of the direct current system in the processing industry		
Degree programme Bachelor's degree programme in Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Teppo Flyktman, Veli-Matti Häkkinen		
Assigned by Efora Oy		
Abstract <p>This thesis is made for Efora Oy, which is a maintenance company taking care of Stora Enso's Fluting Mill in Heinola. The goals were to make a report of the direct current system at the mill and find the highest priority upgrade needs of the system. The purpose was to find out if the system is safe and reliable.</p> <p>For initial information, the relevant standards and directives were studied. The next step was to get know the present direct current system at the mill. It was also important to find related circuit diagrams, test reports and other documents.</p> <p>The capacity of the batteries was calculated because it needs to be compared to the power consumption of the devices, which are connected to the direct current system. The power consumptions were defined with circuit diagrams and the data sheets of the devices. This knowledge was compared with the results of the measurement.</p> <p>The result of this task was that capacity of the batteries is sufficient. The biggest target of development was the electrical center, which is old and unsafe. The electrical center is initially from the sixties and it isn't in accordance with regulations. So it is recommended to renew the center. In addition, reduplication of the equipment should be considered. Now a fault in the batteries or the recharger may cause production to stop and cause massive financial losses. In the direct current system there is also an oil pump of the turbine, and if it stops at a pace, the turbine will break.</p>		
Keywords/tags (subjects) Processing industry, electricity supply, direct current system, battery		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	3
1.1	Työn tavoitteet	3
1.2	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	4
2	Toimeksiantaja Efora Oy	4
3	Tasasähköjärjestelmän toiminta ja rakenne	5
3.1	Tasasähköjärjestelmän peruseriaatteet.....	6
3.2	Akusto.....	7
3.2.1	Rakenne	7
3.2.2	Akku	8
3.3	Akustotilan vaatimukset.....	10
3.4	Akkujen varaaminen.....	11
3.4.1	Ilmanvaihto akustotilassa	11
3.4.2	Latauslaitteet	13
3.5	Tasasähkökeskus ja suojaus	14
4	Heinolan flutingtehtaan tasasähköjärjestelmän kartoitus	15
4.1	Akusto.....	15
4.1.1	Nimellisjännite ja kapasiteetti	15
4.1.2	Akuston syöttämä oikosulkuvirta	16
4.2	Oikosulkusuojaus.....	17
4.3	Tasasähköjärjestelmän varaaja	19
4.4	Tasasähköjärjestelmän kuormituksen selvitys.....	20
4.5	Tasasähkökeskus 56SY02	23
4.6	Akustotilalle asetetut vaatimukset.....	27
4.7	Tulosten yhteenveto	28
5	Pohdinta.....	29
	Lähteet	31
	Liitteet.....	33
	Liite 1. Akkujen tekniset tiedot.....	33

	2
Liite 2. Akuston kapasiteetti- ja oikosulkuvirtalaskelmat.....	36
Liite 3. Tasasähköjärjestelmän piirikaavio.....	37
Liite 4. Tasasähkökeskuksen kuormitukset	38
Liite 5. Katkaisijoiden aiheuttamat kuormitukset	39
Liite 6. Ilmanvaihto laskelmat.....	40

Kuviot

Kuvio 1. Tasasähköjärjestelmän perusrakenne	6
Kuvio 2. Sulakkeiden toiminta-ajat (Pienjännitekojeet n.d. 20).....	22
Kuvio 3. Akuston kuormitusprofiili	23
Kuvio 4. Tehtaan akuston kytkentä	24
Kuvio 5. Tasasähkökeskus 56SY02 käyttöpuolelta	25
Kuvio 6. Tasasähkökeskuksen puutteellinen kosketussuojaus.....	26

Taulukot

Taulukko 1. Kaapelivärit tasavirtajärjestelmässä	27
--	----

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Stora Enso Oyj:n Heinolan flutingtehtaan tasasähköjärjestelmän nykytila. Työssä keskityttiin tasasähköjärjestelmän syöttöön, johon kuuluvat akusto, latauslaitteet ja tasasähkökeskus. Lisäksi kartoitettiin sähkötilan vaatimustenmukaisuus nykyisten määräysten suhteen, sekä laitteiston modernisointitarpeet. Työn toimeksiantajana toimi kunnossapitoyritys Efora Oy, joka on Stora Enso Oyj:n tytäryhtiö ja erikoistunut tehtaan kunnossapitoon sekä engineering-palveluihin. Efora Oy on vastannut Heinolan flutingtehtaan kunnossapidosta vuodesta 2009 alkaen.

Osa tasasähköjärjestelmästä on vielä alkuperäistä 60-luvulla rakennettua järjestelmää. Selvityksessä otetaan kantaa tasasähköjärjestelmän akuston, latauslaitteiden ja tasasähkökeskuksen kuntoon. Lisäksi tarkastellaan täyttääkö sähkötila nykyiset vaatimukset, joita edellytetään tilalta, jossa sijaitsee akusto. Työssä selvitettiin akuston kapasiteetin riittävyys nykyisen kuormituksen suhteen ja kartoitettiin vaihtoehtoja järjestelmän käyttövarmuuden lisäämiseen. Selvityksessä tuli ottaa kantaa muun muassa akuston ja/tai latauslaitteiden kahdentamiseen. Tasasähkökeskus on tarkoitettu uudistaa ja siirtää käytön kannalta parempaan paikkaan. Nykyaikaistamisen tarkoituksena on myös lisätä merkittävästi käyttövarmuutta sekä henkilöturvallisuutta.

Työssä tarkistettiin ja tarvittaessa päivitettiin laitteiston ja järjestelmän dokumentit. Käyttövarmuuden kannalta merkittävänä tekijänä ovat varaosat ja niiden saatavuus, joita tarkasteltiin kyseisen järjestelmän osalta. Kunnossapidon kannalta on erityisen tärkeää, että laitteiden tiedot ovat oikeita ja ajantasaisia. Laitteiden vioittumista voidaan ehkäistä merkittävästi huoltamalla niitä ennakkoon, mutta tämä edellyttää kattavaa tietoa laitteiden huoltohistoriasta.

1.2 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Opinnäytetyössä tutkimuskohteena oli prosessiteollisuuden tasasähköjärjestelmä.

Tutkimusotteeltaan työ on kehittämistutkimus. Työssä haettiin vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Onko tasasähköjärjestelmä turvallinen ja käyttövarma?
2. Vaatiiko tasasähköjärjestelmä välittömiä korjaus- tai muutostoimenpiteitä?

Opinnäytetyön tietoperusta koostuu suurelta osin sähköalan standardeista, määräyksistä ja suosituksista. Aiheeseen liittyen on aiemmin tehty joitakin opinnäytetöitä, mutta aihe on kuitenkin melko vähän käsitelty. Useissa töissä on keskitytty enemmän sähkönjakeluun kokonaisuutena, ei pelkästään tasasähköjärjestelmään. Useat näistä töistä koskevat sähkönjakeluverkkoa, joka eroaa jonkin verran ympäristönä tuotantolaitoksen sähkönjakelusta.

Tutkimusaineisto koostui järjestelmään liittyvistä piirikaavioista, tarkastusraporteista ja muista dokumenteista. Tasasähkökeskuksen piirikaaviot täytyi tarkastaa, koska järjestelmään oli tullut lisäyksiä ja joitakin lähtöjä oli purettu. Tarkastusraportteja löytyi lähinnä akustosta, joka on uusittu vuonna 2010.

2 Toimeksiantaja Efora Oy

Efora Oy on Stora Enso Oyj:n tytäryhtiö, joka on erikoistunut kunnossapito- ja Engineering-palveluihin. Efora Oy perustettiin vuonna 2009 Stora Enso Oyj ja ABB:n yhteisyrityksenä. Vuonna 2013 Stora Enso Oyj siirtyi yhtiön kokonaisomistajaksi, ja syntyi nykyinen Efora Oy. Efora Oy:n toimipisteitä sijaitsee Heinolassa, Helsingissä, Honkalahdella, Imatralla, Kemissä, Kiteellä, Kotkassa, Oulussa, Uimaharjussa ja Varkaudessa. Yrityksen liikevaihto oli 206 miljoonaa euroa vuonna 2018. Suomessa Efora Oy työllistää yhteensä noin 950 työntekijää eri työtehtävissä. Yrityksen toimintastrategia on luoda kilpailukykyä älykkäämmällä kunnossapidolla. Efora Oy on luonut erilaisia

työkaluja ja ratkaisuja tiedon keräämiseen tuotantolinjoilta ja tiedon hyödyntämiseen kunnossapidossa. Vuosien 2018–2020 avainstrategia on palvella asiakasta käyttövarmuuden ja elinkaaren hallinnan kautta, kasvattaa tehokkuutta, vahvistaa sisäistä asiantuntijuutta ja ulkoisia verkostoja, vahvistaa tiedonhallintaa ja innovaatioita sekä motivoida henkilöstöä. (Eforan tarina n.d.)

Emoyhtiö Stora Enso Oyj on johtava uusiutuvien pakkausmateriaalien, biomateriaalien, puutuotteiden ja paperin tarjoaja. Asiakaskunta koostuu pakkaus- ja rakennusalojen sekä kustannus-, paino- ja paperimyyntialojen toimijoista. Stora Enso Oyj toimii yli 35 maassa ja työntekijöitä on noin 26 tuhatta. Stora Enso Oyj:n liikevaihto oli 10 miljardia euroa ja operatiivinen liiketulos 915 miljoonaa euroa vuonna 2015. (Stora Enso lyhyesti n.d.)

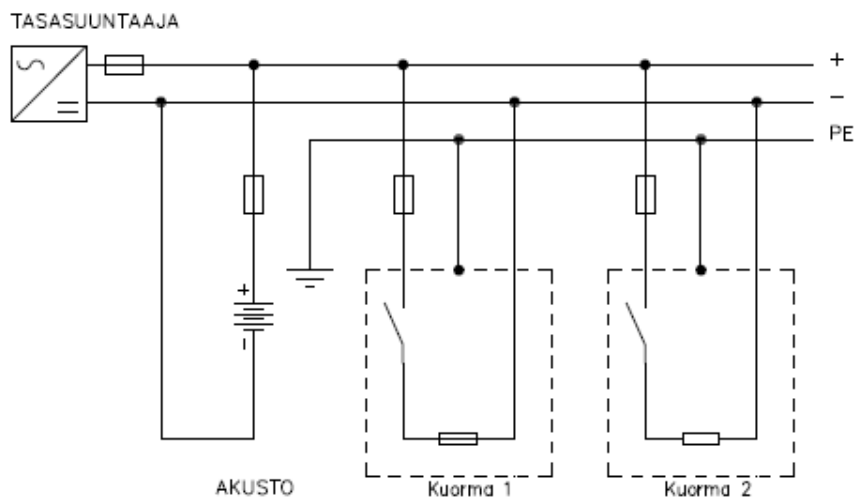
Heinolan flutingtehdas valmistaa puolikemiallista flutingia eli aallotuskartonkia. Flutingia käytetään pakkausteollisuuden raaka-aineena, esimerkiksi erilaisissa ruokatarvike- sekä elektroniikkapakkauksissa. Alkujaan tehdas on Tampellan perustama vuonna 1961. Tehdas perustettiin Heinolaan, koska sinne on hyvät yhteydet Etelä-Suomen satamista. Nykyisin tehdas kuuluu Stora Enso Oyj:lle, ja siellä työskentelee noin 175 henkilöä. Tehtaan tuotanto vuodessa on 300 000 tonnia flutingia, josta suurin osa menee vientiin. (Heinolan Flutingtehdas n.d.)

3 Tasasähköjärjestelmän toiminta ja rakenne

Tietoperustassa käsitellään tasasähköjärjestelmän perusperiaatteita sekä järjestelmän keskeisimpiä osakokonaisuuksia. Tasasähköjärjestelmien vaatimukset perustuvat sähköturvallisuuslakiin, IEC-standardeihin sekä erilaisiin kansallisiin standardeihin ja suosituksiin.

3.1 Tasasähköjärjestelmän peruseräatteen

Tasasähköjärjestelmässä virta kulkee aina (+) -navasta (–) -napaan, eikä virran suunta muutu niin kuin vaihtojännitteellä. Tasasähköjärjestelmän perusrakenteeseen kuuluu akusto, tasasuuntaaja, hälytysjärjestelmä ja keskus, josta tasajännite jaetaan eri kuormille. Akut toimivat energiavarastona tasasähköjärjestelmälle ja mahdollistavat järjestelmän toiminnan myös sähköverkon katkoksissa. Tasasuuntaajan eli varaajan tehtävänä on pitää yllä akuston varaustaso ja syöttää tasasähköverkkoa. Normaalitilanteessa suurin osa tasasuuntaajan syöttämästä virrasta menee suoraan tasasähköjärjestelmän kuormalle ja akustolle menee vain pieni ylläpitolatausvirta. Hälytysjärjestelmä voi olla erillinen laitteisto, joka antaa tietoa tasasähköjärjestelmän vioista, tai se voi olla yhdistetty tasasuuntaajaan. Tasasähköjärjestelmän perusrakennetta on havainnollistettu kuviossa 1.



Kuvio 1. Tasasähköjärjestelmän perusrakenne

Teollisuudessa ja sähkönjakeluverkoissa käytetään yleensä tasasähköjärjestelmää apusähköjärjestelmänä. Akusto on tasajännitelähteenä hyvin luotettava ja siksi sitä käytetään apusähköjärjestelmissä, joilta edellytetään katkeamattomuutta. Apusähköjärjestelmiä käytetään etenkin sähköasemilla ja voimalaitoksilla, joissa suojausien tulee toimia myös sähkökatkotilanteissa. Tasasähköjärjestelmään liitetään yleensä

suojareleet, kennoterminaalit, katkaisijoiden viritysmoottorit, mitta-arvomuuntimet, laukaisu-, ohjaus- ja lukituskelat sekä asennonosoitukset. Voimalaitoksilla tasasähköjärjestelmään voidaan liittää myös kattiloiden turvajärjestelmiin liittyviä ohjauksia, jotta sähkökatkosta huolimatta kattila on mahdollista saattaa turvalliseen tilaan. (Viitala 1999, 1–5.)

Yleisimmin käytettyjä jännitetasoja tasajännitejärjestelmissä ovat 12 V, 24 V, 48 V, 60 V, 110 V ja 220 V. Automaatio- ja apusähköjärjestelmissä käytetään usein 24 V:in jännitettä, kun taas kytkinlaitoksien yleisimmät jännitetasot ovat 110 V ja 220 V. Suuremmilla sähköasemilla ja teollisuudessa on yleisesti käytössä 220 V:in tasajännite, koska etäisyydet ja näin ollen myös kaapelipituudet ovat suuria. Apusähköjärjestelmissä pyritään käyttämään vain yhtä tai enintään kahta eri jännitetasoa, jotta järjestelmä pysyy selkeänä ja varmennus on yksinkertaisempaa. (Viitala 1999, 1–5.)

3.2 Akusto

3.2.1 Rakenne

Akusto koostuu yksittäisistä akuista, joihin sähkö voidaan varastoida kemialliseen muotoon. Akuston kapasiteetti ja jännite saadaan halutuiksi yksittäisten akkujen lukumäärällä ja kytkennällä. Akuston jännite on verrannollinen sarjaan kytkettyjen akkujen määrään. Yleisimpiä jännitetasoja prosessiteollisuuden tasasähköjärjestelmissä ovat 110 VDC ja 220 VDC. Akuston kapasiteetti riippuu syötettävän kuorman suuruudesta sekä siitä, kuinka pitkän ajan akuston täytyy pystyä syöttämään haluttua kuormaa. Tätä aikaa kutsutaan varakäyntiajaksi. Akuston kapasiteettia saadaan kasvatettua kytkemällä akkuja rinnan. (Ahoranta 2010, 111–116.)

Akuston mitoituksen peruseriaatteina käytetään vikatilanteen toiminta-aikaa sekä jännitteen tasaisuutta. Suojaukseen ja ohjaukseen käytettäviltä laitteilta edellytetään vikatilanteessa kolmen tunnin toiminta-aikaa. Kokonaisen laitoksen alasajoon tarvittavien laitteistojen akuston mitoituksessa käytetään yhden tunnin toiminta-aikaa. Jos akusto varmentaa vain yhtä laitetta, esimerkiksi erotinta, voidaan toiminta-ajan sijaan mitoituksessa käyttää toimintakertojen määrää. (Viitala 1999, 4–7.)

Akuston kuormitusprofiili koostuu kolmesta erilaisesta kuormituksesta, joita ovat peruskuorma, lyhytaikainen kuorma ja hetkellinen kuorma. Peruskuormitus on vakiona pysyvä kuorma, joka koostuu suojarleistä, lukituksista ja asennonosoituksista. Lyhytaikaiseen kuormitukseen kuuluvat muun muassa katkaisijoiden viritysmoottorit, hälytykset sekä varavalot. Lyhytaikaiset kuormitukset ovat joitakin sekunteja kestäviä, jonkin toiminnon suoritukseen liittyviä kuormia, jotka tulevat lisänä peruskuormituksen päälle. Hetkelliseen kuormitukseen kuuluvat laukaisuketat, jotkin hälytykset ja osa lukituksista. Hetkellisten kuormitusten kesto aika on alle sekunti, esimerkiksi katkaisijan laukaisuketan vetämiseen tarvittava teho. (Viitala 1999, 4–6.)

Akustoa mitoitettaessa on määriteltävä kuormitusprofiili, jonka mukaan akuston kapasiteetti määräytyy. Kuormitusprofiili muodostetaan yhdistämällä edellä mainittujen kuormitusten vaatimat tehot ja kestoajat yhdeksi kuormitusprofiiliksi. (ST 52.30.02, 2016, 2–3.)

3.2.2 Akku

Akku on komponentti, johon voidaan toistuvasti varastoida sähkövaraus kemialliseen muotoon ja josta voidaan ottaa varaus käyttöön. Yksinkertaistettuna akkukkenno rakentuu positiivisesta ja negatiivisesta levystä sekä haposta, johon levyt ovat upotettuina. Levyjä ympäröi haponkestävää materiaalia oleva akkukotelo. Lisäksi levyjen välissä ovat erotinlevyt, jotka estävät oikosulun positiivisen ja negatiivisen levyn välillä. Kenno on akun pienin yksikkö ja niitä voi olla yhdessä akussa yksi tai useampi, esimerkiksi liijyakun kennon nimellisjännite on 2 V. Useampikennoisesta akusta käytetään nimitystä ryhmäakku. Ryhmäakussa kennot ovat kytkettyinä sarjaan, jolloin akun jännite on yhden kennon jännitteen kerrannainen kennojen lukumäärän mukaan. (ST 52.30.02, 2016, 1.)

Akun suuruutta kuvaa sen kapasiteetti, jonka suuretunnus on C . Kapasiteetti ilmoitetaan yksikössä Ah eli ampeeritunti. Kapasiteetti saadaan laskettua yhtälöllä 1.

$$C = I \times t \tag{1}$$

missä $C = \text{kapasiteetti [Ah]}$

$I = \text{virta [A]}$

$t = \text{aika [h]}$

Akusta saatava kapasiteetti on siis verrannollinen kuormitusvirran suuruuteen ja kuormitusaikaan. Näiden lisäksi akun kapasiteettiin vaikuttaa ympäristön lämpötila. (Teoriaa ja faktaa akuista n.d.)

Akkutyyppejä on erilaisia riippuen käyttökohteesta. Ajovoima-akkuja käytetään sähköllä toimivissa ajoneuvoissa, kuten esimerkiksi sähkötrukeissa ja sähköautoissa. Polttomoottorikäyttöisissä ajoneuvoissa käytetään käynnistysakkuja, joiden tärkein ominaisuus on hetkellinen suuri virranantokyky, jota tarvitaan polttomoottorin käynnistyksessä. Katkottoman sähkönsyötön varmistamiseen käytettävistä akuista puhutaan paikallisakkuina. Ne on suunniteltu kestäväksi vuosia jatkuvaa ylläpitolatausta menettämättä kapasiteettiaan. Lisäksi akkuja voidaan jakaa niiden elektrolyyttien mukaan esimerkiksi lyijyakkuihin, nikkeli-kadmiumakkuihin, nikkeli-metallihybridiakkuihin ja litiumioniakkuihin. Lyijyakkuja on olemassa avoimia ja suljettuja. Avoimissa lyijyakuissa kennot ovat nimensä mukaisesti avoimia, ja niissä elektrolyytti on nesteenä. Aika ajoin niihin on lisättävä akkuvettä, koska akuista pääsee haihtumaan nestettä. Suljettuja lyijyakkuja on kahdenlaisia; geeliakkuja, joissa elektrolyytti on geelimäisessä muodossa, sekä AGM-tekniikan (Absorbent Glass Mat) akkuja. AGM-akuissa elektrolyytti on imeytettyinä lasikuitumattoihin, jotka on sijoitettu elektrodien väliin. Suljetut akut ovat niin sanotusti huoltovapaita, koska niihin ei lisätä vettä tai tehdä muita huoltotoimenpiteitä akun elinkaaren aikana. (ST 52.30.01, 2016, 1–2.)

Lyijyakuissa positiivisena elektrodina käytetään lyijyoksidipitoisia levyjä ja negatiivisena elektrodina lyijylevyjä. Elektrolyytinä lyijyakussa toimii rikkihappo. Akkua ladattaessa elektrodeille muodostuu lyijysulfaattia ja elektrolyytin väkevyys kasvaa. Vastaavasti purettaessa elektrolyytin tiheys pienenee ja lyijysulfaatti pelkistyy takaisin lyijyoksidiksi sekä lyijyksi. Akun vanhetessa lyijysulfaatti alkaa tukkia kennoja, ja lopulta sitä ei enää saada poistettua varaamalla akkua, jolloin akun kapasiteetti alkaa

heikentyä. Lämpötila vaikuttaa merkittävästi lyijyakun ominaisuuksiin, ja siksi akun lämpötila tulisi olla 10–30 °C. Korkeat ja matalat lämpötilat lyhentävät akun käyttöikä ja matalissa lämpötiloissa akkua ei saada ladattua täyteen, vaan sen kapasiteetti on pienempi. (Teoriaa ja faktaa akuista n.d.)

3.3 Akustotilan vaatimukset

Standardin SFS-EN IEC 62485-2:2018 mukaan akustot on sijoitettava erilliseen, suojattuun tilaan ja tarvittaessa sähkötilaan tai lukittavaan sähkötilaan. Joissain tapauksissa akut on mahdollista sijoittaa myös laitekaappeihin. Akustojen sijoittelussa tulee huomioida erityisesti ympäristöolosuhteet ja suojaus ulkopuolisilta vaaroilta. Lisäksi asiattomien henkilöiden pääsy akustoihin on estettävä. Näiden tekijöiden lisäksi on huomioitava itse akuston aiheuttamat vaaratekijät. Näitä vaaratekijöitä ovat muun muassa räjähdysvaara, suuret jännitteet sekä korrosio. Mikäli akustot sijoitetaan erilliseen akustotilaan, niitä koskevat erilliset lisävaatimukset. Vaatimuksien mukaan tilaan johtavien ovien on oltava lukittavissa vain ulkopuolelta ja niiden on avauduttava ulospäin. Tarvittaessa ovi täytyy voida avata sisältäpäin hätämekanismilla. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 25–26.)

Akut on mahdollista sijoittaa myös niille tarkoitettuun kaappiin. Kaappiin asennusta voidaan käyttää esimerkiksi tilanteessa, jossa akusto on osa laitekokonaisuutta, joka on muutoinkin rakennettu kaappiin. Muita syitä on esimerkiksi suojaus ulkopuolisilta vaaroilta tai henkilöiltä. Myös kaappiasennuksissa on tärkeää huomioida ilmanvaihdolle asetetut vaatimukset räjähdysvaaran välttämiseksi. Erityistä huomiota tulee kiinnittää vikatilanteissa mahdollisesti syntyvään vetykaasuun ja sen määrään. Ilmanvaihdon vaatimuksia määrittävää vedyn muodostumista käsitellään akkujen varaamiseen liittyvässä luvussa. Myös lämpötilan hallinta on huomioitava kaapin ilmanvaihtoa suunniteltaessa. Lisäksi kaapin on oltava ominaisuuksiltaan sellainen, että se kestää akuston massan ja mahdolliset kemikaalivuodot akustosta. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 26–27.)

Kaikki akustoon liittyvät sähköasennukset on tehtävä voimassa olevien standardien vaatimusten mukaisesti. Vaatimuksissa määritellään, että akustotilan lattian tulee

olla kosketusetäisyydellä akustosta sellaista materiaalia, joka estää staattisten sähkövarausten syntymisen. Akuston ja maadoituspisteen välisen resistanssin tulee olla pienempi kuin 10 MΩ. Resistanssin mittaamenetelmät on kerrottu standardissa IEC 61340-4-1. Lattian resistanssin raja-arvoiksi on määritetty 50 kΩ – 10 MΩ, kun jännite on enintään 500 V. Yli 500 V:in järjestelmissä resistanssin minimiarvo on 100 kΩ. Jos käytetään avokennorakenteisia akkuja, niin lattiamateriaalin on kestävä akun elektrolyytin vuotaminen vaurioitumatta. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 25–27.)

3.4 Akkujen varaaminen

3.4.1 Ilmanvaihto akustotilassa

Kun akkua varataan, siitä vapautuu kaasuja. Kaasujen vapautuminen johtuu akussa tapahtuvasta elektrolyysistä, ja siksi akun varaamiseen liittyy räjähdysvaara. Tämä koskee kaikkia akkutyppejä lukuun ottamatta kaasutiiviitä kennoja. Vapautuvat kaasut ovat vetyä ja happea, jotka voivat aiheuttaa tilaan räjähtävän seoksen, mikäli ilmanvaihto ei ole riittävä. Näin ollen standardissa on määritelty vähimmäisvaatimus ilmanvaihdolle tilassa, jossa akusto sijaitsee. Ilmanvaihdon vaatimukset perustuvat vedyn määrään ilmassa, sillä sen on mahdollista aiheuttaa räjähtävä seos. Kun ilmassa olevan vedyn konsentraatio ylittää 4 %_{vol.}, voi syntyä räjähtävä seos. Tätä vetykonsentraatiota kutsutaan vedyn alemmaksi räjähdysrajaksi ja siitä käytetään lyhennettä LEL. Pienin ilmanvirtaus akustotilan ilmanvaihdolle saadaan laskettua kaavalla 2. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 20–21.)

$$Q = v \times q \times s \times n \times I_{\text{gas}} \times C_{\text{rt}} \times 10^{-3} \quad (2)$$

missä Q = ilmanvirtaus [m³/h]

$v = 24$ = vedyn tarvittava laimennus

$q = 0,42 \cdot 10^{-3}$ m³/Ah syntynyt vety lämpötilassa 0 °C (laskettaessa 25 °C lämpötilassa käytetään arvolle q kerrointa 1,095

$s = 5$ = yleinen turvakerroin

n = kennojen lukumäärä

I_{gas} = kaasua tuottava virta mA/Ah nimelliskapasiteettia kohti kesto- tai pikalatausvirralla

C_{rt} = kapasiteetti C_{10} lyijyakuille (Ah), $U_f = 1,80$ V/kenno $t = 20$ °C tai kapasiteetti C_5 nikkeli-kadiumakuille (Ah), $U_f = 1,00$ V/kenno $t = 20$ °C

Kaavan 2 kaasua tuottava virta määritetään kaavalla 3 (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 21).

$$I_{\text{gas}} = I_{\text{float/boost}} \times f_g \times f_s \quad (3)$$

missä I_{gas} = kaasua tuottava virta [mA/Ah]

I_{float} = kestovarausvirta täysin varautuneessa tilassa kestovarausjännitteellä lämpötilassa 20 °C

I_{boost} = pikavarausvirta täysin varautuneessa tilassa pikavarausjännitteellä lämpötilassa 20 °C

f_g = kaasuntuottokerroin, täysin varautuneessa tilassa kaasua tuottavan virran osuus

f_s = turvakerroin, jolla huomioidaan vialliset kennot ja akkujen ikääntyminen

Mikäli akuille ei ole valmistajan ilmoittamia I_{float} ja I_{boost} -arvoja voidaan käyttää standardissa SFS-EN IEC 62485-2:2018 sivun 22 taulukossa 1 annettuja arvoja niitä täydentävän informaation kanssa.

Ensisijainen vaihtoehto riittävän ilmanvaihdon järjestämiseksi on luonnollinen ilmanvaihto. Luonnollisen ilmanvaihdon tarvitsemien tulo- ja poistoilma-aukkojen minimi pinta-ala saadaan laskettua kaavalla 4 (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 22–23).

$$A = 28 \times Q \quad (4)$$

missä Q = vaadittava ilmanvaihto [m^3/h]

A = tuuletusaukkojen vapaa pinta-ala

Tuuletusaukot on sijoitettava vastakkaisille seinille tai samalle seinälle vähintään kahden metrin päähän toisistaan, jotta varmistetaan riittävä ilmanvaihto. Mikäli riittävää ilmanvaihtoa ei pystytä saavuttamaan, täytyy tilaan asentaa koneellinen ilmanvaihto. Koneellisen ilmanvaihdon toimintaa on valvottava, ja mikäli ilmanvaihto vioittuu, on sen valvontajärjestelmän kytkettävä irti akustojen varaajat ja annettava hälytys viasta. (ST 52.30.01, 2016, 4.)

3.4.2 Latauslaitteet

Paikallisakustoille suositellaan käytettäväksi vakiojännitevaraajaa, joka varaa akustoa ylläpitojännitteellä. Mikäli jännitettä nostetaan uudelleen varauksessa ylläpitojännitettä suuremmaksi, tulee varaajassa olla virranrajoitus. Varaajan vaihtovirtakomponentin tulee olla alle 10 A jokaista 100 Ah:ia kohti, ja sen rajoittamista alle 5 A:n per 100 Ah suositellaan. Vaihtovirtakomponenttia tulee rajoittaa, koska akusto varautuu vain tasavirralla. Lisäksi vaihtovirtakomponentti lyhentää akun käyttöikää sitä enemmän, mitä suurempi vaihtovirtakomponentti on. Latauslaitteelta vaaditaan vähintään IP20 kotelointiluokitusta. Kotelointiluokkaa on korotettava tarvittaessa huomioiden ympäristön olosuhteet. (ST 52.30.02, 2016, 2–3.)

Latauslaite suositellaan varustettavaksi jännite- ja virtamittauksella. Lisäksi laitteistolta on hyvä saada hälytys ali- ja ylijännitteestä, maasulusta sekä varaajan vioittumisesta. Myös akuston automaattista testausjärjestelmää suositellaan. Akuston varaajan mitoituksessa tulee huomioida akuston sekä kuorman suuruus. Varaaja tulee mitoitaa niin, että se pystyy varaamaan akustoa, vaikka sen pitäisi samalla syöttää täyttä kuormaa. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa sitä, että varaajan tulisi kyetä syöttämään akustoon 20 A jokaista 100 Ah:a kohti kaikissa käyttötilanteissa. (ST 52.30.02, 2016, 3.)

3.5 Tasasähkökeskus ja suojaus

Akusto kytketään tasasähkökeskukseen, johon on yhdistetty myös latauslaitteet. Keskuksista sähkö jaetaan eri johtolähdöille, joilla tasasähkö jaetaan eri kuormituksille. Akustolta tulevat kaapelit tulee suojata ylivirtasuojilla, jotka sijaitsevat mahdollisimman lähellä akkuja. Ylivirtasuojat tulee mitoittaa niin, että ne suojaavat akustoa ja kaapeleita keskuksen kiskojen välisessä oikosulussa. Kunkin johtolähdön suojalaitteet ovat sijoitettu tasasähkökeskukseen, ja ne suojaavat yksittäistä lähtöä oikosulkutilanteissa. Lisäksi keskuksessa on akuston tilan valvontalaitteet. Tällaisia laitteita ovat muun muassa yli- ja alijännitesuojat sekä maasulkusuojat.

Tasasähköjärjestelmissä on käytettävä kosketussuojausta ja kosketusjännitesuojausta. Akkujen asennuksissa on noudettava standardin IEC 60364-4-41 vaatimuksia, jotta jännitteisten osien kosketussuojaus toteutuu. Suojaus voidaan toteuttaa eristämällä tai koteloimalla jännitteiset osat, suojaamalla esteiden avulla tai sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle. Kosketusetäisyyden ulkopuolelle sijoittamisen ja esteillä suojaamisen edellytys on, että nimellisjännitteeltään 60-120 VDC akustoihin pääsy on rajoitettu. Jos akuston nimellisjännite on yli 120 VDC, täytyy akusto sijoittaa lukittuun tilaan. Kosketussuojausta ei ole edellytetty, mikäli akun nimellisjännite on enintään 60 VDC ja asennus noudattaa SELV- ja PELV-järjestelmien vaatimuksia. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 12–13.)

Akkuasennuksissa on käytettävä standardin IEC 60364-4-41 mukaista suojausta. Kosketusjännitesuojaukseen eli vikasuojaukseen voidaan käyttää syötön automaattista poiskytkentää tai sähköistä erotusta. Suojaus voidaan toteuttaa myös käyttämällä luokan II sähkölaitteita tai niitä vastaavaa eristystä. Määrätyissä sovelluksissa on mahdollista toteuttaa suojaus eristämällä käyttöpaikka tai käyttää paikallista potentiaalintasausta, joka on maasta erotettu. Kosketusjännitteen nimellisarvoa 120 VDC suuremmilla jännitteillä on käytettävä muita suojausmenetelmiä, koska kosketusjännitteen nimellisarvoa ei saa ylittää. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 12–13.)

Tasajännitejärjestelmissä oikosulkuvirta eroaa vaihtosähköjärjestelmästä, koska se ei mene itsestään nolnaan. Vaihtosähköpiirissä oikosulkuvirta käy nollassa jännitteen

taajuuden mukaan useita kertoja sekunnissa. Normaalissa sähköverkossa vaihtosähkön taajuus on 50 Hz, mikä tarkoittaa, että virta käy nollassa 100 kertaa sekunnin aikana. Tasasähköllä näin ei tapahdu, joten tasasähköjärjestelmien suojalaitteiden nimellissuoritusarvot eroavat vaihtosähköllä pätevistä arvoista, mikä on tärkeää huomioida suojien valinnassa. (ST-käsikirja 20, 2005, 165.)

4 Heinolan flutingtehtaan tasasähköjärjestelmän kartoitus

Opinnäytetyönä tehdyssä Heinolan flutingtehtaan tasasähköjärjestelmän kartoituksessa tuli selvittää järjestelmän eri osakokonaisuuksien nykyinen tila ja ottaa kantaa näiden kohteiden muutos- ja päivitystarpeisiin. Keskeisimmät osakokonaisuudet olivat tasasähkönsyöttöön liittyvät komponentit ja laitteistot. Kartoitus rajoittuu voimalaitosrakennuksessa sijaitsevaan sähkötilaan 73RE06 "Akkuhuone", jossa sijaitsevat tasasähköjärjestelmän akusto, tasasuuntaaja ja pääkeskus.

4.1 Akusto

4.1.1 Nimellisjännite ja kapasiteetti

Käytössä oleva akusto koostuu Varta-merkkisistä lyijyakuista. Akut ovat tyyppin 5 OPzS 350 avoimia putkilevyakkuja. Yhden akun nimellisjännite on 2 V, ja akustossa on 106 kappaletta kennoja, jotka ovat kytketty sarjaan. Akuston nimellisjännite voidaan laskea sarjaan kytkettyjen tasajännitelähteiden kaavalla 5.

$$U_{N_akusto} = n * U_N = 106 \text{ kpl} * \frac{2 \text{ V}}{\text{kpl}} = 212 \text{ V} \quad (5)$$

missä U_{N_akusto} = Akuston nimellisjännite

n = kennojen lukumäärä

U_N = kennon nimellisjännite

Koko akuston nimellisjännitteeksi saadaan siis 212 V. Kennojen todellinen napajännite on kuitenkin hieman enemmän, noin 2,08 V, jolloin akuston nimellisjännitteeksi saadaan kaavalla 5 noin 220 V.

$$U_{N,akusto} = n \times U_N = 106 \text{ kpl} \times 2,08 \frac{V}{\text{kpl}} = 220,48 V$$

Yhden akun kapasiteetiksi kymmenen tunnin ajalle valmistaja on ilmoittanut 360 Ah. Sarjakytkentä ei vaikuta kapasiteettiin, vaan koko akuston kapasiteetti on sama kuin yksittäisen akun kapasiteetti. Näin ollen koko akuston kapasiteetti on 360 Ah.

Akkujen valmistaja on ilmoittanut akkujen käyttöiäksi yli 20 vuotta paikallisakku käytössä. Akusto on uusittu viimeksi vuonna 2010 ja sen kunto on tarkastettu vuonna 2018, jolloin akut on todettu hyväkuntoisiksi. Näin ollen akustoa ei toistaiseksi ole ikänsä ja kuntosaa puolesta tarvetta uusia, mutta sen kuntoa on seurattava säännöllisillä tarkastuksilla. Avoimet lyijyakut vaativat myös säännöllistä kunnossapitoa, jossa tarkastetaan akkuveden määrä ja lisätään tarvittaessa nestettä.

4.1.2 Akuston syöttämä oikosulkuvirta

ST-käsikirja 20 käsittelee varmennettuja sähkönjakelujärjestelmiä. Käsikirjan mukaan akuston oikosulkuvirta on 150-200 kertainen 10 tunnin purkausvirtaan nähden, kun akusto on täydessä varauksessa. Akuston varauksen laskiessa puoleen sen oikosulkuvirran syöttökyky laskee 70-80 % maksimista. Näin ollen akuston syöttämää oikosulkuvirtaa voidaan arvioida kaavalla 6.

$$I_k = k_1 \times \frac{C_{10}}{t} \times k_2 = 150 \times \frac{360 \text{ Ah}}{10 \text{ h}} \times 0,7 = 3780 A \quad (6)$$

missä I_k = oikosulkuvirta

k_1 = kerroin, 150-200 kertainen 10 h purkausvirtaan nähden

C_{10} = 10 h kapasiteetti

t = purkausaika = 10 h

k_2 = alentunut oikosulkuvirran syöttökyky kerroin = 0,7

Oikosulkuvirta voidaan myös laskea akun ominaisuuksista. Jos akunnavat oikosuljet-
 tasiin vastuksettomalla johtimella, oikosulkuvirtaan vaikuttavia tekijöitä ovat ainoas-
 taan kennonjännite ja kennon sisäinen resistanssi. Tiedot sisäisestä resistanssista ja
 kennonjännitteestä löytyvät akun datalehdeltä liitteestä 1. Tiedoissa on ilmoitettu
 myös teoreettinen oikosulkuvirta, jota on hyvä verrata itse laskettuihin arvoihin.
 Akun oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 7.

$$I_k = \frac{U_N}{R_{S_akku}} = \frac{2 V}{0,72 m\Omega} = 2777,77 \dots A \approx 2778 A \quad (7)$$

missä I_k = akun syöttämä oikosulkuvirta

U_N = akun nimellisjännite

R_{S_akku} = akun sisäinen resistanssi

Vertailussa huomataan, että laskettu arvo ja datalehdellä annettu oikosulkuvirta ovat
 melko saman suuruiset. Käsikirjan arvion avulla saatu oikosulkuvirta on merkittävästi
 suurempi, vaikka laskentaan käytettävät kertoimet valittiin huonoimman tilanteen
 mukaan, jolloin tulokseksi saatiin pienin oikosulkuvirta. Arvion mukaan saatu oikosul-
 kuvirranarvo ei ole luotettava, ja näin ollen myöhemmissä laskuissa käytetään lasken-
 nallista oikosulkuvirran arvoa.

4.2 Oikosulkusuojaus

Tasasähkökeskukselle menevät äärijohtimet on suojattu 63 A:n sulakkeilla ja keskipis-
 tejohdin 10 A:n sulakkeella. Sulakkeiden ja keskuksen välillä kaapelina on käytetty
 asennusjohtoa MMJ 4x16S. Sulakkeet on sijoitettu koteloon tasasähkökeskuksen vie-
 ressä, minkä takia akuston ja kotelon välisiä syöttökaapeleita ei ole suojattu. Syöttö-
 kaapelit ovat H01N2-D-tyyppin yksijohdinkaapeleita, joiden poikkipinta-ala on 25
 mm². Suositusten mukaan akuston pääsulakkeet tulisi sijoittaa mahdollisimman lä-
 helle akuston napoja, jotta minimoitaisiin oikosulun mahdollisuus suojaamattomassa
 osassa laitteistoa.

Tasasähkökeskuksen oikosulkuvirta saadaan laskettua akuston oikosulkuvirrasta, kun huomioidaan syöttökaapelin vaikutus. Oikosulkuvirta I_{k1} akuston sulakkeilla saadaan kaavalla 8.

$$I_{k1} = \frac{U_{N_akusto}}{R_{s_akusto} + (2 \times r_j \times s)} \quad (8)$$

missä I_{k1} = akuston syöttämä oikosulkuvirta akuston sulakkeilla [A]

U_{N_akusto} = akuston nimellisjännite [V]

R_{s_akusto} = Akuston sisäinen resistanssi [Ω]

r_j = johtimen resistanssi [Ω/km]

s = johtimen pituus [km]

$$I_{k1} = \frac{220,48 \text{ V}}{(0,076 \dots \Omega + (2 \times 0,898 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 0,007 \text{ km}))} = 2480,31 \dots \text{ A} \approx 2480 \text{ A}$$

Johtimen resistanssina käytetään likimääräistä 25 mm²:n kuparikaapelin resistanssia (D1-2017, 2018, 96). Yksittäisen johtimen pituudeksi on arvioitu noin 7 m, ja koska virta kiertää + ja - johdinta pitkin on kaavassa kerroin 2. Kun edelliseen laskentaan lisätään sulakkeiden ja keskuksen välinen kaapeli, niin saadaan laskettua oikosulkuvirta I_{k2} tasasähkökeskuksessa. 16 mm² kuparikaapelin resistanssi on 1,415 Ω/km (D1-2017, 2018, 96).

$$I_{k2} = \frac{220,48 \text{ V}}{(0,076 \dots \Omega + (2 \times 0,898 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 0,007 \text{ km}) + (2 \times 1,415 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 0,005 \text{ km}))} = 2139,71 \dots \text{ A} \approx 2139 \text{ A}$$

Oikosulkuvirtalaskujen tuloksien pyöristyksissä ei voida käyttää matemaattisia pyöristyssääntöjä, vaan tulokset ovat pyöristetty turvalliseen suuntaan eli alaspäin. Näin voidaan varmistua siitä, että laskettu oikosulkuvirta toteutuu käytännössä.

4.3 Tasasähköjärjestelmän varaaja

Tehtaan tasasähköjärjestelmässä on käytössä yksi akustonvaraaja. Varaaja on EVV-Vakiojännitevaraaja tyyppiä 220/50 MH IH. Varaaja on syötetty 400 V:n varavoimakeskuksesta. Varavoimakeskuksen sähkönsyöttö on varmennettu dieselgeneraattorilla, joka alkaa syöttää keskusta sähkökatkotilanteissa. Akuston varaaja syöttää akustoon 220 VDC jännitettä ja enimmillään 50 A virtaa. Varaajassa on pikavarausmahdollisuus sekä automaattinen pikavarauksen kytkentä alijännitteellä. Laitteelta saadaan tiedot kesto- ja pikavaraustilasta, yli- sekä alijännitteestä, lähtösulakeviasta ja syöttöverkon viasta. Lisäksi varaajassa on lisäominaisuutena maasulunvalvonta. (Ellego n.d.)

Varaajalta tulee tehdasautomaatiojärjestelmään hälytystieto verkko- tai vaiheviasta. Lisäksi tasasähkönjakelusta saadaan tieto, mikäli tasasähkö katkeaa joltakin käyttöpaikalta esimerkiksi alakytkinlaitokselta. Akuston jännite- ja virtamittarit sijaitsevat tasasähkökeskuksessa sekä pääkytkinlaitoksella. Virtamittarit näyttävät virran suuruuden sekä suunnan, eli varataanko vai puretaanko akustoa. Pääkytkinlaitoksella voidaan valita mittaukseen akustonjännitteen sijaan maasulkujännite, josta nähdään mahdollinen maasulku järjestelmän (+) tai (-) -puolella. Uudistuksen yhteydessä tulisi kartoittaa mahdollisuuksia saada enemmän ja tarkempia hälytystietoja järjestelmän tilasta. Hälytystiedot olisi hyvä tuoda suoraan tehdasautomaatiojärjestelmään, jolloin vikatilanteeseen reagointi nopeutuisi. Näin järjestelmää olisi mahdollista valvoa tehokkaammin ja joitakin vikoja olisi mahdollista ennakoida.

Varaajan uusintaa on syytä harkita ja selvittää myös varaajan kahdentamista. Kahdentaminen lisää tasasähköjärjestelmän käyttövarmuutta. Kahdentaminen tuo myös lisää lataustehoa, jolloin akuston kokoa on mahdollista kasvattaa. Primäärikatila 2:een liittyvissä keskijännitemoottorikäytöissä on käytössä alijännitesuojaus, joka

avaa moottorilähtöjen katkaisijat, mikäli tasasähkön syöttö katkeaa. Joten tällä hetkellä tasasuuntaajan hajoaminen aiheuttaa Primäärikattila 2:den alasajon ja lopulta koko tehtaan pysähtymisen. Varaaja suositellaan mitoittamaan niin, että se syöttää 20 A virtaa jokaista 100 Ah kohti, joten akuston kokoon verraten varaajan tulisi pysyä syöttämään 70 A. Tähän suositukseen peilaten varaajan kokoa olisi kasvatettava jo nykyiselläkin akustolla.

Nykyaikaiset varaajat koostuvat tasasuuntausmoduuleista. Moduulien määrällä voidaan vaikuttaa varaajan tehoon. Lisäksi yhden moduulin vikaantuminen ei aiheuta koko varaajan vikaantumista, vaan ainoastaan lataustehon pienentymisen. Esimerkiksi Efore Plc:n mallistosta löytyy varaaja, jossa voi olla enintään viisi latausmoduulia. Viidellä moduulilla saadaan yhden varaajan tehoksi 10 kW. Uusilla varaajilla säästetään, jopa 97 %:n hyötysuhde, joten varaajan uusiminen parantaa myös energia- tehokkuutta. (OPUS HE 19" 12U Rack Power System 2019.)

4.4 Tasasähköjärjestelmän kuormituksen selvitys

Tasasähköjärjestelmän kuormitus koostuu pääasiallisesti sähkönjakeluun liittyvistä suoja- ja mittalaitteista. Lisäksi järjestelmä varmentaa Primäärikattila 2:n toimintoja. Tehtaalle tulee 110 kV:n syöttö valtakunnan sähköverkosta. Tehtaalla sähkönjakelu tapahtuu 6 kV:n jännitteellä useille eri kytkinlaitoksille. Tehtaan eri alueilla on omat kytkinlaitokset ja muuntajat, joilla jännite muunnetaan pienjännitteeksi. Pienjännitejärjestelmissä käytetään pääjännitetasoja 400 V, 500 V ja 690 V. Keskijännitejakelussa jokaisella syöttökentällä on oma katkaisija ja suojarele, joiden ohjausjännitteenä käytetään arvoa 220 VDC. Lisäksi tasasähköä käytetään erilaisissa lukituksissa, esimerkiksi erottimissa ja kennoissa.

Akuston kuormituksen selvittämistä varten kerättiin tiedot suojareleistä. Suojareleitä on käytössä lähes 200 kpl pelkästään keskijännitejakelussa ja laitekanta on laaja. Tehtaalla on käytössä useita eri katkaisijatyyppejä, paineilmakatkaisijoita, SF6- katkaisijoita, tyhjökatkaisijoita sekä vähäöljykatkaisijoita. Katkaisijoiden laukaisukelojen tarvitsema teho tulee ottaa huomioon tasasähköjärjestelmän kuormituksena. Li-

säksi katkaisijoiden viritysmoottorit toimivat tasasähköllä, lukuun ottamatta paineilmakatkaisijoita, jotka viritetään paineilman voimalla. Johtuen laajasta laitemäärästä ja niiden tietojen puutteellisuudesta, päädyttiin selvittämään kuormitusta mittamalla tasasähkökeskuksen eri lähtöjen ottamat virrat normaalitilanteessa. Mittaustulosten perusteella saadaan määritettyä tasasähköverkon jatkuva virrankulutus eli niin sanottu pohjakuorma.

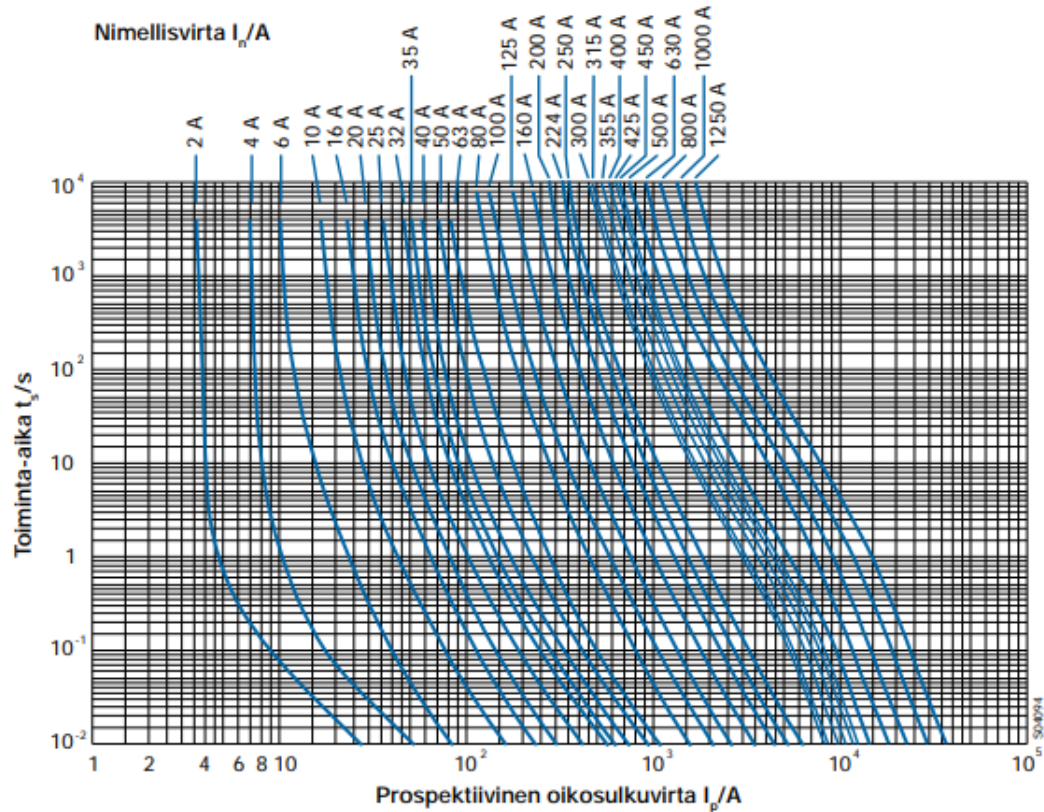
Pohjakuorman selvitykseen liittyvät mittaustulokset on esitetty liitteessä 4. Mittaustulokset ovat saatu pihtiampeerimittarilla mittaamalla jokaiselta johtolähdöltä tasasähkökeskuksen riviliittimiltä. Mittaustulokset on järjestetty lähdeittäin liitteessä 3 olevan piirikaavion kanssa samaan järjestykseen. Mitattu kokonaisvirta pohjakuormalle on 6,7 A.

Pohjakuorman lisäksi sähkönjakeluun liittyvät komponentit kuormittavat tasasähköjärjestelmää, kun jonkin kennon tilaa muutetaan. Esimerkiksi katkaisijan laukaisu aiheuttaa hetkellisen kuormituspiikin laukaisukelan vetäessä. Kiinni ja auki ohjauksiin liittyvät kuormitukset ovat hetkellisiä alle 0,2 sekuntia kestäviä kuormituspiikkejä. Myös katkaisijan viritysmoottorit aiheuttavat kuormituksen nousun virituksen ajaksi, nämä kuormituspiikit luetaan lyhytaikaisiin alle 15 sekuntia kestäviin kuormiin.

Hetkelliset kuormitukset eri kojeistolähdöille ovat laskettu liitteessä 5. Kuormitusten laskussa on käytetty oletusta, että noin puolet kyseisen kojeiston katkaisijoista olisi kiinniohjattuina, ja loput katkaisijat viritettäisiin ja ohjattaisiin kiinni. Katkaisijoiden tehona on käytetty ABB:n SF6-katkaisijan ominaisarvoja (ABB Oy, N.d.). Hetkelliset kuormitukset ovat niin lyhyitä, että niillä ei ole juurikaan merkitystä akuston kapasiteetin kannalta. Hetkelliset kuormitukset ottavat kuitenkin suuren virtapiikin, joka on huomioitava akuston sulakkeiden mitoituksessa. Sulakkeiden on kestettävä virtapiikki, jotta sulakkeet eivät pala kuormituksen alkuhetkellä. Suurin hetkellinen virta I_{max} on 240,5 A ja virrankesto aika enintään 150 ms. Tasasähköjärjestelmän hetkelliset kuormitukset lähdeittäin on laskettu liitteessä 4.

Sulakkeille on laadittu tyypeittäin toiminta-aikakäyrät eri virroilla. Käyrältä voidaan lukea kuinka kauan sulake kestää virran huippuarvoa I_{max} . Akuston suojana käytetään

gG-tyyppin 63 A sulaketta, joka kestää 250 A virran 1,5 s, kuten kuvion 2 toiminta-aika-käyrästä voidaan havaita. Joten sulake kestää hetkellisen kuormituksen aiheuttaman virtapiikin.



Kuvio 2. Sulakkeiden toiminta-ajat (Pienjännitekojeet n.d. 20)

Suurin yksittäinen tasasähköjärjestelmään liitetty kuormitus on vastapaineturbiinin hätäöljypumppu, joka käynnistyy turbiinin varsinaisen öljypumpun pysähtyessä. Turbiinia ei voi pysäyttää käynnistä paikoilleen vaan sitä täytyy paaksata, jotta turbiinia saadaan jäädytettyä. Paaksaus tarkoittaa turbiinin pyörittämistä apulaitteen avulla noin 100-300 kierrosta minuutissa. Turbiinin käydessä sen lämpötila on niin korkea, että jos turbiini pysäytettäisiin paikoilleen, sen akseli vääntyisi käyttökelvottomaksi. Tämän takia akuston tulee pystyä syöttämään hätäöljypumppua niin pitkään, että turbiini voidaan pysäyttää. Turbiinin hätäöljypumpun varakäyntiaika t on 3 h ja pumpun nimellisvirta $I_N = 30$ A. Kaavaa 1 käyttämällä saadaan laskettua hätäöljypumpun vaatima kapasiteetti.

$$C = 3 \text{ h} \times 30 \text{ A} = 90 \text{ Ah}$$

Hätäöljypumpun vaatima kapasiteetti on huomioitu liitteen 4 kuormituslaskuissa. Hetkellisen kuormituksen arvioinnissa pumpun tasasähkömoottorille on käytetty käynnistysvirtasuhteena I_S/I_N arvoa 5. Käynnistysvirtasuhte kertoo kuinka suuren virran moottori ottaa käynnistyshetkellä verrattuna nimellisvirtaan. Tasasähkökeskukseen kuormitusprofiilin muutosta varakäyntiajalla on havainnollistettu kuviossa 3. Kuvaaja on muodostettu liitteen 4 laskelmien perusteella ja siinä on huomioitu kojeistojen aiheuttamat kuormitukset sekä turbiinin hätäöljypumpun käynnistys ja jatkuva kuormitus.



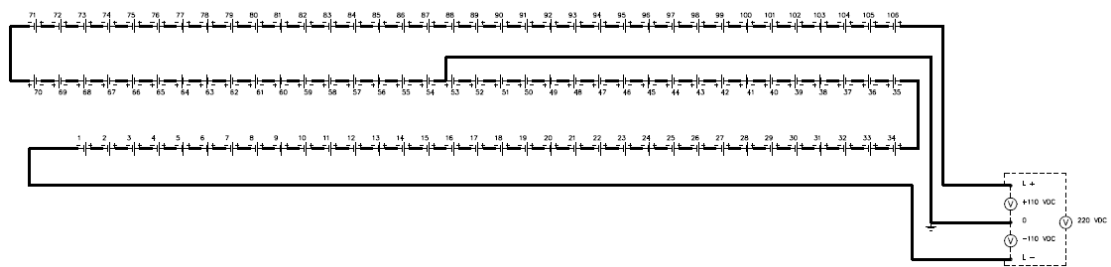
Kuvio 3. Akuston kuormitusprofiili

4.5 Tasasähkökeskus 56SY02

Tasasähkökeskus sijaitsee akkuhuoneen viereisessä tilassa, tilat ovat erotettu väliseinällä ja väliovella, mutta ovat kuitenkin samaa sähkötilaa. Tasasähkökeskuksen kanssa samassa tilassa on akustonvaraaja. Lisäksi tilassa on vanha latauslaite, joka ei enää ole käytössä. Tarpeettomat laitteet tulisi purkaa pois, jolloin tilaa vapautuisi

hyötykäyttöön. Ylimääräiset laitteet ja laitteistot lisäävät myös erehtymisen mahdollisuutta, mikä heikentää turvallisuutta.

Akustolta tasasähkökeskukseen on tuotu (+) -johdin, (-) -johdin ja 0 –pistejohdin. 0 –pistejohdin on kytketty akkujen sarjakytkennän puoliväliin, jolloin (+) -navan ja 0 –pisteen välillä on +110 VDC. Samoin (-) -navan ja 0 –pistejohtimen välillä on –110 VDC ja näin ollen äärijohtimien välillä on 220 VDC jännite. Tasasähköjärjestelmän keskipistejohdin on maadoitettu, mikä mahdollistaa maasulun havaitsemisen (+) tai (-) -puolella järjestelmää. Tehtaan akuston kytkentää on havainnollistettu kuviossa 4. Tehtaässä muutoksia järjestelmään on erittäin tärkeää tiedostaa 0 -pisteen maadoitus, jotta ei tulla aiheuttaneeksi suoraa maasulkua esimerkiksi kytkemällä (-) -johdin maihin, mikä on toinen yleinen käytäntö. Maadoitustapa tulisi merkitä selkeästi näkyviin keskukselle ja akuston yhteyteen sekä piirustuksiin.



Kuvio 4. Tehtaan akuston kytkentä

Tasasähkökeskus on 60-luvulla rakennettu, ja siihen on tarvittaessa lisätty uusia lähtöjä. Osassa lähdoista on erikokoisia sulakkeita (+) ja (-) -navoilla. Keskuksessa ei ole ollenkaan takaseinää, mikä heikentää käyttöä ja henkilöturvallisuutta vaikka keskus sijaitseekin sähkötilassa. Muutoinkin keskuksen kosketussuojaus ei ole nykyaikaisella tasolla, kuten ei myöskään kytkimet ja muut komponentit. Keskuksen nykytila näkyy kuviossa 5 ja 6. Lisäksi keskuksen merkinnät ovat puutteellisia, keskuksen toimintopaikkaa ei ole merkitty ja kaapeleista sekä lähdoista puuttuu kunnolliset merkinnät. Merkinnät ovat tärkeitä, koska ne parantavat työturvallisuutta ja helpottavat käyttötoimenpiteitä.



Kuvio 5. Tasasähkökeskus 56SY02 käyttöpuolelta



Kuvio 6. Tasasähkökeskuksen puutteellinen kosketussuojaus

Keskus olisi suositeltavaa uusida kokonaan, jolloin rakenne saataisiin selkeämmäksi ja käytettävyys sekä turvallisuus paranisivat. Keskukseen uusimisen yhteydessä olisi mahdollista purkaa käytöstä poistetut lähdöt kokonaan, jolloin keskukselta olisi helpompi nähdä mitkä lähdöt ovat käytössä ja mitkä eivät. Uusi keskus olisi mahdollista sijoittaa sähkötilan seinään kiinni, jolloin keskuksen eteen jäisi enemmän työskentelytilaa. Keskuksessa on tällä hetkellä 15 lähtöä eri kuormille, joten uusinnassa tulee huomioida mahdollinen tarve uusille lähdöille käyttökohteiden mahdollisesti lisääntymisessä tulevaisuudessa. Keskuksessa on paljon eri aikakausien mukaisesti värikoodat-

tuja johtimia, jotka lisäävät inhimillisen virheen mahdollisuutta. Nykyisten suositusten mukaan tasasähköpiireissä tulisi käyttää johdinvärejä taulukon 1 mukaisesti (ST 51.04 2019, 5).

Taulukko 1. Kaapelivärit tasavirtajärjestelmässä

Johdintunnus	Väri	Merkitys
+	Punainen 	Plusnapa (äärijohdin)
-	Valkoinen 	Miinusnapa (äärijohdin)
N	Sininen 	Keskipistejohdin (M-johdin)

4.6 Akustotilalle asetetut vaatimukset

Akusto on sijoitettu erilliseen huoneeseen, joka on osa lukittua sähkötilaa. Tilat on erotettu lukitsemattomalla väliovella. Sijoittelu on suositusten mukainen. Akusto, jonka jännite on yli 125 V tai akuston energian ollessa yli 15 kWh, tulee akusto varata tähän tarkoitukseen varatussa tilassa (D1-2017, 2018, 334–335).

Tila on merkitty asianmukaisin kyltein standardin SFS-EN IEC 62485-2:2018 vaatimusten mukaisesti. Akkuhuoneessa on kaakelilattia, jonka tulee kestää mahdollinen elektrolyytin vuotaminen, kun käytetään avonaisia akkuja. Akuston kanssa samassa tilassa olevat johtojen suoja-putket ja muut metalliset rakenteet ovat maadoitettu, lukuun ottamatta ilmastointikanavaa. Ilmastointikanavaan tulisi lisätä maadoitus, koska se sijaitsee osittain kosketusetäisyydellä akustosta.

Akustotilan ilmanvaihdolle saadaan laskettua ilmanvirtauksen vähimmäisvaatimus standardin antamalla kaavalla 2. Kaavaan sijoitettava kaasua tuottava virta I_{gas} laske-

taan kaavalla 3. Kumpikin arvo voidaan laskea sekä kestovaraustilanteessa että pikavaraustilanteessa. Koska käytettävissä ei ollut valmistajan ilmoittamia arvoja, kesto- ja pikalatausvirroille on laskennassa käytetty suositusarvoja standardin SFS-EN IEC 62485-2:2018 taulukon 1 mukaisesti. Käytettävä akusto koostuu avoimista lyijy-akuista, joille on annettu omat arvot. Kaavalla 4 voidaan ilmanvirtauksen perusteella laskea tulo- ja poistoilma-aukkojen vähimmäispinta-ala luonnollisella ilmanvaihdolla.

Kestovaraustilanteessa:

$$I_{\text{gas}} = 1 \frac{\text{mA}}{\text{Ah}} \times 1 \times 5 = 5 \frac{\text{mA}}{\text{Ah}}$$

$$Q = 0,05 \times 106 \text{ kpl} \times 5 \frac{\text{mA}}{\text{Ah}} \times 360 \text{ Ah} \times 10^{-3} = 9,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$A = 28 \times 9,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 267,1 \text{ cm}^2$$

Pikavaraustilanteessa:

$$I_{\text{gas}} = 4 \frac{\text{mA}}{\text{Ah}} \times 1 \times 5 = 20 \frac{\text{mA}}{\text{Ah}}$$

$$Q = 0,05 \times 106 \text{ kpl} \times 20 \frac{\text{mA}}{\text{Ah}} \times 360 \text{ Ah} \times 10^{-3} = 38,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$A = 28 \times 38,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1068,5 \text{ cm}^2$$

4.7 Tulosten yhteenveto

Opinnäytetyön tuloksena saatiin toimeksiantajalle yhteenveto tasasähköjärjestelmän kunnosta ja tarvittavista muutoksista. Akusto on kapasiteetiltaan riittävä ja nykyisillä

akuilla on vielä reilusti käyttöikä jäljellä. Akuston uusintaa varten tulee selvittää vaihtoehtoja eri akkutyypin välillä. Jos akut tulevaisuudessa vaihdetaan akkuihin, jotka ovat huoltovapaita, vähenevät akuston vaatimat huoltotyöt. Myös mahdollisuus kemikaalivuotoihin pienenee, mikä parantaa turvallisuutta.

Varaajanmitoitus on riittävä nykyiseen kuormitukseen nähden. Suositusten mukaan varaajan tulisi olla hieman suurempi, verrattaessa suoraan akuston kokoon, mutta normaalitilanteen kuormitus on niin pientä, että varaajan teho on riittävä. Uudet varaajat ovat usein modulaarisia, mikä parantaa käyttövarmuutta merkittävästi. Sekä akuston että varaajan uusimisessa tulee huomioida tarve järjestelmän kahdentamiseen. Suurta käyttövarmuutta edellyttävissä kohteissa käytetään usein kahta erillistä akustoa ja varaajaa. Laitteet on mitoitettu niin, että ne pystyvät syöttämään järjestelmää, vaikka toinen laite rikkoutuisi. Kahdennettujärjestelmä helpottaa myös huolto- toimenpiteitä, kun toinen akusto tai varaaja voidaan erottaa huollonajaksi.

Tasasähkökeskuksen uusiminen on aiheellista mahdollisimman pian. Vanha keskus ei täytä nykyisiä määräyksiä. Lisäksi kytkin- ja suojalaitteiden vikaantumisen riski on suuri, koska komponentit ovat vanhoja. Keskuksen uusimisen yhteydessä tulee huomioida mahdollinen järjestelmän kahdentaminen tulevaisuudessa, jotta keskus on riittävä myös muun laitteiston uusinnan jälkeen. Uuteen keskuksen kannattaa valita kattava valvontajärjestelmä, josta tiedot voidaan tuoda automaatiojärjestelmään.

5 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa toimeksiantajalle selvitys Heinolan flutingtehtaan tasasähköjärjestelmän turvallisuudesta ja käyttövarmuudesta, sekä mahdollisista välittömistä muutos- tai korjaustoimenpiteistä järjestelmään liittyen. Työssä selvitettiin akuston kapasiteetti, jota vertailtiin kuormitukseen. Kuormitusta selvitettiin useammalla menetelmällä, sähkökuvista ja laitteiden teknisistä tiedoista määritettiin sähkönjakeluun liittyvien laitteiden tehonkulutusta. Lisäksi tasasähkökeskukselta mitattiin eri lähtöjen jatkuvia kuormituksia normaalitilanteessa. Näin saatiin muodos-

tettua käsitys jatkuvasta pohjakuormituksesta, sekä laskennallisesti arvioitua hetkellisen virrankulutuksen suuruutta. Tehtyjen laskelmien perusteella päädyttiin johtopäätökseen, että tasasähköjärjestelmän kapasiteetti on riittävä siihen kytkettyihin kuormituksiin nähden, ja sen on mahdollista toimia apusähköjärjestelmänä tarkoituksensa mukaisesti.

Työssä kerättiin tietoja laitteiston viimeisimmistä huoltoraporteista ja laitteiden tiedoista, joiden perusteella arvioitiin laitteiston jäljellä olevaa käyttöikä. Tuloksena on, että akusto on hyvässä kunnossa ja sillä on vielä puolet valmistajan ilmoittamasta kahdenkymmenen vuoden käyttöiästä jäljellä. Akusto vastaa sille asetettuja määräyksiä ja on käyttöturvallinen. Näin saatiin akuston osalta vastaus ensimmäisen tutkimuskysymyksen järjestelmän käyttövarmuudesta ja turvallisuudesta. Käyttövarmuuden kannalta on tärkeää tehdä säännöllisesti tarkastukset ja huoltaa akusto ajallaan.

Tärkeimmät jatkotoimet tasasähköjärjestelmän kannalta on keskuksen uusiminen, koska vanha keskus on alkuperäinen eikä vastaa nykyisiä vaatimuksia. Keskuksen kosketussuojaus ja merkinnät ovat puutteellisia, mikä heikentää turvallisuutta. Toinen tärkeä toimenpide on määrittää kriittisyysluokittelu laitteille. Luokittelun perusteella on mahdollista päättää, tarvitseeko akusto ja varaaja kahdentaa, jotta yhden laitteen vikaantuminen ei aiheuttaisi merkittäviä tuotannollisia sekä taloudellisia tappioita. Ehdotetut jatkotoimenpiteet vastaavat toiseen tutkimuskysymykseen: ”Vaatiiko tasasähköjärjestelmä välittömiä korjaus- tai muutostoimenpiteitä?”.

Työssä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jatkotoimien määrittämisen apuna. Lisäksi tuloksia ja menetelmiä on mahdollista hyödyntää muissa vastaavan tyyppisissä tapauksissa. Laskelmat on tehty käytettävissä olleiden tietojen mukaan, mutta johtuen laitteiston iästä ja ajan saatossa tehdyistä muutoksista, osaa tiedoista on jouduttu soveltamaan tai arvioimaan.

Lähteet

- Ahoranta, J. 2010. Sähkötekniikka. 1.–10. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.
- D1-2017. 2018. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo: Sähköinfo Oy.
- Eforan tarina. N.d. Efora Oy:n verkkosivu. Viitattu 11.11.2019. <http://www.efora.fi/>.
- Ellego. N.d. EVV- Vakiojännitevaraaja. Tuote-esite, tekniset tiedot. Viitattu 16.11.2019. <https://ellego.fi/>.
- Heinolan Flutingtehdas. N.d. Wikipedia-artikkeli. Viitattu 13.9.2019. https://fi.wikipedia.org/wiki/Heinolan_Flutingtehdas.
- Medium voltage vacuum circuit-breakers with modular operating mechanism 12...24 kV, 630...4000 A, 20...40 kA. N.d. Product instruction VD4. Helsinki: ABB.
- OPUS HE 19" 12U Rack Power System. 2019. Tuote-esite. Espoo: Efore. Viitattu 29.11.2019. https://www.efore.com/sites/default/files/media/downloads/opus_he_12u_rack_power_system_doc077048_a.02.pdf.
- Pienjännitekojeet. N.d. Kahvasulakkeet, 2...1600 A gG- ja aM- tyytit. Esite OF1FI 09-03. Helsinki: ABB. Viitattu 25.11.2019. <https://library.e.abb.com/public/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/1SCC317002C1801.pdf>
- SFS-EN IEC 62485-2:2018. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikallisakut. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 18.05.2018. Viitattu 10.11.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.
- ST 51.04. 2019. Johdinvärit 230/400 V:n järjestelmissä. ST-kortisto. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 20.11.2019. <https://janet.finna.fi>, Sähköinfo Severi.
- ST 52.30.01. 2016. Akkuhuoneet ja varaamotilat. ST-kortisto. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 23.10.2019. <https://janet.finna.fi>, Sähköinfo Severi.
- ST 52.30.02. 2016. Akustot ja varaajat. Valinta ja mitoittaminen. ST-kortisto. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 15.10.2019. <https://janet.finna.fi>, Sähköinfo Severi.
- ST käsikirja 20. 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. ST-kortisto. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 27.10.2019. <https://janet.finna.fi>, Sähköinfo Severi.
- Stora Enso lyhyesti. N.d. Viitattu 19.9.2019. <http://www.storaenso.com/lang/finland/about/Pages/storaenso-brief.aspx>.
- Teknistä tietoa. N.d. Exide tietoa akuista. Viitattu 4.11.2019. https://exide.fi/wp-content/uploads/sites/15/2014/11/Exide_fi_Teknisk_info.pdf.

Teoriaa ja faktaa akuista. N.d. Polar Heater. Viitattu 23.10.2019. <https://www.polar-heater.fi/page/6/teoriaa-ja-faktaa-akuista>.

Viitala, J. 1999. Apusähköjärjestelmät. Prosessisähkösuunnittelu-opintojakson opiskelumateriaali. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Optima-oppimisympäristö. Viitattu 7.11.2019.

Liitteet

Liite 1. Akkujen tekniset tiedot

VHB Industrial Batteries Ltd.



04.09.01 0298 na

VARTA OPzV range

4 OPzV 200...24 OPzV 3000

Application

VARTA OPzV Valve Regulated OPzV batteries are especially suitable for applications with discharge over a long period where maintenance-free operation is required.

The electrolyte is fixed as a gel.

Typical applications include reserve power supplies for telecommunication equipment and industrial plants and also safety power supply equipment for lighting, automation and metering systems.

Installation

VARTA OPzV batteries are mounted as standard in the upright position on insulated racking. For space saving installation it is also possible to install them in horizontal position (plates must be in the vertical plane, max. 1500 Ah) The safety provisions of the national and international standards must be observed.

Construction

Positive Electrode	Tubular plate with VARTA-Calcium-Tin alloy
Negative Electrode	Grid plate with calcium alloy
Separation	Micro-porous separator, Combined with corrugated Separator
Casing Material	Styrene acrylonitrile (SAN), impact resistant
Electrolyte	Dilute sulphuric acid Fixed as a gel
Terminal Design	Leakproof safety pole with brass insert, M10
Connectors	Solid copper (30 x 3 mm), insulated, bolt-on type, for horizontal installation optional flexible cable connector (70 mm ²) 3/0
Vent Plugs	Safety pressure relief valve
Charging	Float charge voltage: 2.23 volts/cell at 20°C
Temperature Range	-10°...+45°C (Preferred value 20°C)

Features

- **2V single cells**
- **Maintenance-free operation** throughout its operational life due to valve regulated construction
- **High level of operational safety** due to pressure relief safety valve, safety pole, insulated connectors and fixed electrolyte
- **Economic operation** in capacitive discharge over several hours
- **Space saving installation** due to optimized set-up
- **Low ventilation requirement**, using the reduction factors



Technical data

Type designation	Capacity (Ah)			Inner resistance without connectors, loaded [mOhm/cell]	Theoretical short circuit current [A]	Cell dimensions						Weight	
	C ₁₀	C ₈	C ₁			(mm)			(inch)			[kg]	[lb]
	Final voltage					L	W	H*	L	W	H*		
	1.80	1.75	1.688										
4 OPzV 200	206	200	124	1.22	1670	103	206	405	4.06	8.11	15.94	19.5	43.0
5 OPzV 250	257	250	156	0.98	2090	124	206	405	4.88	8.11	15.94	23.5	51.8
6 OPzV 300	309	300	187	0.81	2510	145	206	405	5.71	8.11	15.94	27.4	60.4
	Final voltage												
	1.80	1.75	1.684										
5 OPzV 350	360	350	219	0.72	2830	124	206	520	4.88	8.11	20.47	31.5	69.4
6 OPzV 420	432	420	262	0.60	3400	145	206	520	5.71	8.11	20.47	37.0	81.6
7 OPzV 490	504	490	306	0.51	3960	166	206	520	6.54	8.11	20.47	42.4	93.5
	Final voltage												
	1.80	1.75	1.625										
6 OPzV 600	618	594	382	0.53	3800	145	206	695	5.71	8.11	27.36	48.8	107.6
8 OPzV 800	824	791	510	0.40	5070	210	191	695	8.27	7.52	27.36	67.9	149.7
10 OPzV 1000	1030	992	637	0.32	6340	210	233	695	8.27	9.17	27.36	83.2	183.4
12 OPzV 1200	1236	1184	764	0.27	7610	210	275	695	8.27	10.83	27.36	98.4	216.9
	Final voltage												
	1.80	1.75	1.617										
12 OPzV 1500	1545	1488	867	0.24	8340	210	275	845	8.27	10.83	33.27	123.5	272.3
16 OPzV 2000	2060	1984	1156	0.18	11120	212	397	822	8.35	15.63	32.36	170.6	376.1
20 OPzV 2500	2575	2480	1446	0.15	13900	212	487	822	8.35	19.17	32.36	210.0	463.0
24 OPzV 3000	3090	2984	1735	0.12	16680	212	576	822	8.35	22.68	32.36	249.3	549.6

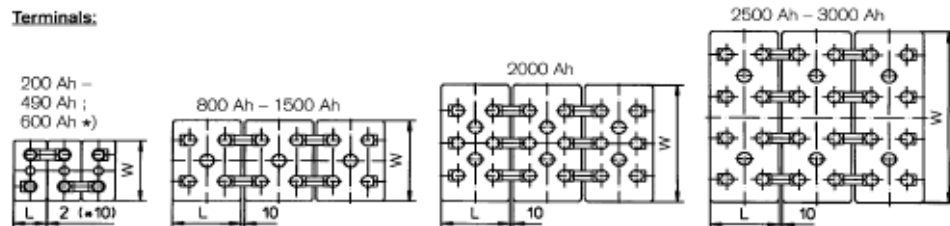
The electrical values shown in the table relate to loadings from a fully charged condition and an ambient temperature of +25°C.
*Height includes connectors.

Project planning data

Type	Final voltage = 1.75V/cell									
	15'	30'	1h	2h	3h	5h	8h	10h		
4 OPzV 200	168	168	118	74.6	55.4	36.9	25.0	20.6		
5 OPzV 250	209	209	148	93.3	69.3	46.1	31.2	25.7		
6 OPzV 300	250	250	177	111	83.1	55.4	37.5	30.9		
5 OPzV 350	287	287	206	129	97.0	64.6	43.7	36.0		
6 OPzV 420	343	343	246	155	116	77.6	52.5	43.2		
7 OPzV 490	397	397	287	182	135	90.5	61.2	50.4		
6 OPzV 600	405	405	316	213	159	109	74.3	61.8		
8 OPzV 800	540	540	421	284	213	145	98.9	82.4		
10 OPzV 1000	676	676	526	355	265	181	124	103		
12 OPzV 1200	811	811	632	426	319	217	148	123		
12 OPzV 1500	918	918	735	506	391	272	186	154		
16 OPzV 2000	1229	1229	982	676	522	362	248	206		
20 OPzV 2500	1531	1531	1225	844	652	453	310	257		
24 OPzV 3000	1838	1838	1470	1013	782	543	373	309		

The current levels shown in the tables relate to loadings from a fully charged condition and an ambient temperature of +25°C. Connector losses are taken into account.

Terminals:



All dimensions and weights shown are subject to the usual manufacturing tolerances. Electrical values are approximate.
The right is reserved to make alterations with a view to technically improved execution without prior notice.



VARTA OPzV Solar

Longterm discharge capacities

Type	C10 [Ah] $U_f = 1.80 \text{ V/c}$	C24 [Ah] $U_f = 1.85 \text{ V/c}$	C48 [Ah] $U_f = 1.85 \text{ V/c}$	C120 [Ah] $U_f = 1.85 \text{ V/c}$	C240 [Ah] $U_f = 1.85 \text{ V/c}$
4 OPzV 200	212	240	250	254	259
5 OPzV 250	265	299	313	318	323
6 OPzV 300	318	359	375	382	388
5 OPzV 350	383	433	452	460	467
6 OPzV 420	459	519	542	551	560
7 OPzV 490	536	606	632	643	654
6 OPzV 600	696	786	821	835	849
8 OPzV 800	928	1049	1095	1114	1132
10 OPzV 1000	1160	1311	1369	1392	1415
12 OPzV 1200	1392	1573	1643	1670	1698
12 OPzV 1500	1584	1790	1869	1901	1932
16 OPzV 2000	2112	2387	2492	2534	2577
20 OPzV 2500	2640	2983	3115	3168	3221
24 OPzV 3000	3168	3580	3738	3802	3865

Capacities are related to 20 °C. When cyclic charging and discharging only 80% of the capacity rating shall be used. Deep discharge does not lead to immediate capacity loss, but may reduce the operation life time.

Liite 2. Akuston kapasiteetti- ja oikosulkuvirtalaskelmat

220 VDC TASAVIRTAKESKUKSEN AKUSTO**Akku**

VARTA 5 OPzS 350

DIN 40736 T1

U_N	2 V
C_{10}	360 Ah
C_3	292 Ah
U_S	1,8 V
U_{LE}	2,23 V
d	1,24 kg/l
R_s	0,72 m Ω

 I_k 2777,778 A**Akusto**

VARTA 5 OPzS 350

Kennoja 106 kpl

U_{N_kenno}	2,08 V
U_{N_akusto}	220,48 V
C_{10}	360 Ah
E	79372,8 Wh
R_{s_akusto}	0,07632 Ω
r_{j1}	0,898 ohm/km
s_1	0,007 km
I_{k1}	2480,313 A
r_{j2}	1,415 ohm/km
s_2	0,005 km
I_{k2}	2139,71 A

Varaaja

EVV Vakiojännitevaraaja

Määrä 1 kpl

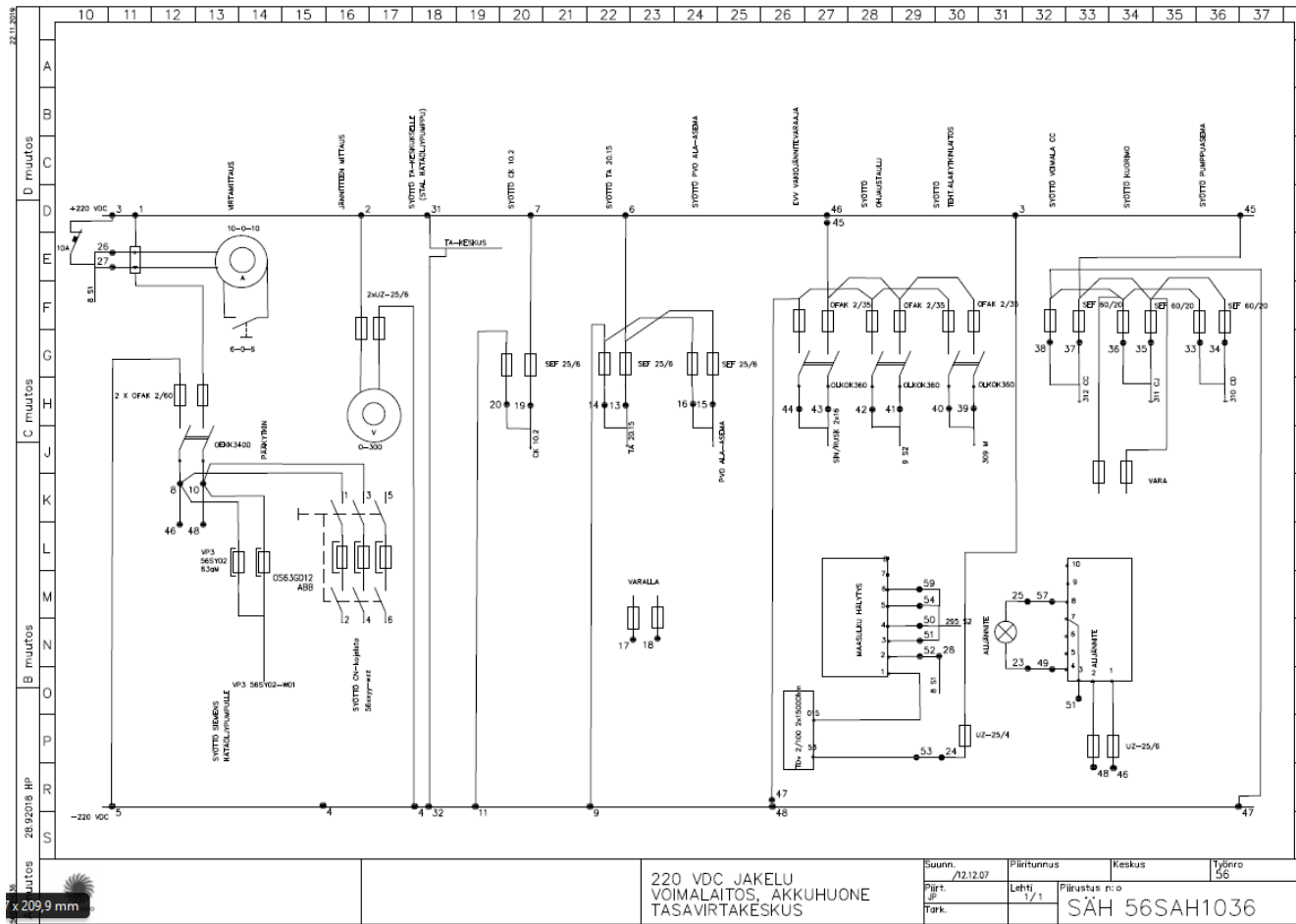
INPUT (AC)

U_N	400 V
I_N	28 A
f	50 Hz

OUTPUT (DC)

U_N	220 V
I_N	50 A
P_N	11000 W

Liite 3. Tasasähköjärjestelmän piirikaavio



Liite 4. Tasasähkökeskuksen kuormitukset

220 VDC TASAVIRTAKESKUKSEN KUORMITUKSET LÄHDÖITTÄIN

	Virta- mittaus	Jännite- mittaus	VP3 Hätäöljy- pumppu	Syöttö CN- kojeisto	Syöttö TA- keskus (STAL hätäöljy)	Syöttö CK 10.2	Syöttö TA 20.15	Syöttö PVO ala- asema	Syöttö ohjaus- taulu	Syöttö tehtaan alakytkin aitos CH	Syöttö voimala CC	Syöttö kuorimo CJ	Syöttö Pumppu- asema CD	
Liitin (+)	3	2	10	10	31	7	6	6	41	39	37	35	33	
Sulake (+)	10	25	63	16	31	25		25	60	50	60	60	60	
Liitin (-)	8	4	8	8	31	11	9	9	42	40	38	36	34	
Sulake (-)		25	63	16	31	25		25	125	35	60	60	60	
$I_{jatkuva}$ [A]	0,1	0,1	30	0,5		0,4		0,4	2,7	1,3	0,2	0,8	0,2	Yhteensä: 36,7
$P_{jatkuva}$ [W]	22	22	6600	110		88		88	594	286	44	176	44	8074
$t \leq 150$ ms														
I_{max} [A]	0,1	0,1	150,0	11,7		11,7		0,4	2,7	25,0	15,6	15,5	7,8	240,5

Turbiinit eivät ole yhtäaikaa
ajossa, joten huomioidaan vain
suurempi öljypumppu (VP3).

Lähtö purettu.

Sarakkeisiin on merkitty eri lähdöt liitteen 3 piirikaavion mukaisesti. Liitinnumerot ja sulakkeiden koot ovat piirikaaviosta ja tarkastettu kentällä. $I_{jatkuva}$ rivin tulokset ovat mitattu keskuksen lähdöistä. I_{max} arvot ovat laskennallisia tai arvioitu.

Liite 5. Katkaisijoiden aiheuttamat kuormitukset

Kojeistolähtöjen katkaisijoiden aiheuttamat kuormitukset

Katkaisijan tekniset tiedot:	P_N [W]	t [s]	P_{inrush} [W]	t_{inrush} [s]
Katkaisijan viritysmoottorin teho	200	7	600	0,2
Katkaisijan kiinniohjauskela	5	Aina	250	0,15

KOJEISTO TUNNUS	CC	CD	CH	CJ	CK	CN	Yhteensä
Kojeistossa lähtöjä [kpl]	11	6	18	10	10	7	62
Katkaisijoita [kpl]	9	4	15	8	7	6	49
Yhtä aikaa viritetään [kpl]	4	2	7	4	3	3	23
Virityksen yhteisteho [W]	800	400	1400	800	600	600	4600
Virityksen alkuteho [W]	2400	1200	4200	2400	1800	1800	13800
Kiinniohjattuina [kpl]	5	2	10	4	4	3	28
Jatkuva teho [W]	25	10	50	20	20	15	140
Kiinniohjataan [kpl]	4	2	5	4	3	3	21
Kiinniohjauksen teho [W]	1000	500	1250	1000	750	750	5250
Teho ajalla ≤ 150 ms [W]	3425	1710	5500	3420	2570	2565	19190
Teho ajalla $\leq 0,2$ s [W]	2425	1210	4250	2420	1820	1815	13940
Teho ajalla ≤ 7 s [W]	825	410	1450	820	620	615	4740
Jatkuva tehonkulutus [W]	25	10	50	20	20	15	140
Virta ajalla ≤ 150 ms [A]	15,6	7,8	25,0	15,5	11,7	11,7	87,2
Virta ajalla $\leq 0,2$ s [A]	11,0	5,5	19,3	11,0	8,3	8,3	63,4
Virta ajalla ≤ 7 s [A]	3,8	1,9	6,6	3,7	2,8	2,8	21,5
Jatkuva virran kulutus [A]	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,7

Liite 6. Ilmanvaihto laskelmat

Akustotilan vaadittu ilmanvaihto

Akuston kapasiteetti		C_{rt}	360 Ah
Kennojen lukumäärä		n	106 kpl
Kaasuntuottokerroin		f_g	1
Kaasuntuotonturvakerroin		f_s	5
Kestovarausvirta		I_{float}	1 mA/Ah
Pikavarausvirta		I_{boost}	4 mA/Ah

Kestovaraustilanne			
Kaasua tuottava virta		I_{gas}	5 mA/Ah
Ilmanvaihdon minimi virtaus		Q	9,5 m ³ /h
Luonnollisella ilmanvaihdolla:			
Tulo- ja poistoilma-aukot		A	267,12 cm ²
Pikavaraustilanne			
Kaasua tuottava virta		I_{gas}	20 mA/Ah
Ilmanvaihdon minimi virtaus		Q	38,16 m ³ /h
Luonnollisella ilmanvaihdolla:			
Tulo- ja poistoilma-aukot		A	1068,48 cm ²