

Sami Laitinen

Teollisen internetin hyödyntäminen Ensto Finland, Power Electronics solutions tuotteiden käytössä.

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Tutkinto YAMK

Sähkö- ja Automaatiotekniikan YAMK

Opinnäytetyö

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Sami Laitinen Teollisen internetin hyödyntäminen Ensto Finland, Power Electronics solutions tuotteiden käytössä. 35 sivua + 1 (4 sivua) liitettä 4.11.2016
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkö- ja automaatiotekniikka YAMK
Ohjaaja(t)	Software Engineer, Jukka Korkiakoski Lehtori Jari Savolainen
<p>Asioiden-, esineiden, tai teollisen-internetin käsite on noussut viime vuosina isoksi puheenaiheeksi ammattimaisissa yhteyksissä sekä mediassa. On arvioitu että vuoteen 2020 mennessä verkkoon liitettävien erilaisten laitteiden määrä on kasvanut yli 25 miljardiin.</p> <p>Tämän opinnäytetyön ensimmäisessä osassa keskitytään Ensto Utility Networks tehoelektroniikka tuotteisiin, ja niiden kenttätestauksessa käytettyyn menetelmään. Laitteiden kenttätestausten yhteydessä on käytetty suomalaisen Viola System Oy:n (nyk. ABB) valmistamaa Artic-sarjan 3G-modeemia yhdessä pilvipalvelun kanssa.</p> <p>Työn toisessa osassa tarkastellaan eri kommunikointi vaihtoehtoja tutkimusasteella olevassa pienjännitteisessä tasasähköverkko-hankkeessa. Hankkeen on tarkoitus valmistua vuoden 2017 aikana, ja se tullaan toteuttamaan yhdessä Elenia Oy:n ja Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston, sekä Ensto Finland Oy:n kanssa yhteistyönä. Tutkittavista teknologioista käydään läpi LoRa-, LTE- ja PLC-tekniikat</p> <p>Perinteisen vaihtosähköön perustuvan sähköjakelun odotetaan saavan kilpailijaksi pienjännitteisen tasasähköjakelun lähivuosina, joten tutkimiseen panostetaan huomattavasti. LVDC-teknologian edut tulevat olemaan siirrettävän tehon kapasiteetissa, pienemmissä häviöissä sekä sähkölaadussa.</p> <p>Opinnäytetyössä pohditaan myös teollisen internetin tulevaisuutta, tietoturvaa ja mahdollisuuksia tulevaisuuden sähköjakelujärjestelmänä. Hajautetun energian tuotannon lisääntyessä myös älykkäät sähköverkot tulevat olemaan isossa roolissa, esimerkiksi puhuttaessa saarekeverkoista.</p>	
Avainsanat	Teollinen internet, IoT, LVDC, PLC

Author(s) Title	Sami Laitinen Utilization of the IoT in Ensto Power Electronics solutions
Number of Pages Date	35 pages + 1 (4 pages) appendices 4 Nov 2016
Degree	Master`s of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical and automation Engineering
Instructor(s)	Jukka Korkiakoski, Supervisor Jari Savolainen, Senior Lecturer
<p>Internet of things thinking has risen recent years and is now big topic in professional contexts as well as in general media. It is estimated that by 2020 the number of connected devices has increased by more than 25 billion worldwide.</p> <p>The first part of the study focuses on the Ensto Utility Networks power electronic products and the method that was used in field test with Voltage Booster, Voltage Controller and Phase Balancer. Communication was based on Finnish Viola System Ltd. Arctic series 3G-modem together with commercial cloud service. For distribution network companies it is important to be aware of conditions of devices that are connected to distribution networks.</p> <p>In the second part of the thesis examines the different communication options in the research level of the low voltage DC-power grid project. Electricity distribution is mainly been done by using alternating current, but lately DC-technology has taken a step forward in the markets. The project is scheduled to be ready in the year 2017 and it will be implemented in conjunction with Elenia Ltd, Lappeenranta University of Technology and Ensto Finland Oy's co-operation.</p> <p>LVDC technology benefits will be better power capacity, smaller losses as well the power quality.</p> <p>The thesis also focuses on the future of IoT, data security and possibility-opportunities to be part of the future power distribution systems. In the future renewable energy production and Island grid technologies will come more popular.</p>	
Keywords	Internet of things, IoT LVDC, PLC

Sisällys

1	KÄYTETYT LYHENTEET	1
2	Johdanto	2
3	Teollinen Internet	3
3.1	Tulevaisuus ja haasteet	5
3.2	Tietoturva	7
4	Power Electronics tuotteet	10
4.1	Jännitekorottaja, Voltage Booster	10
4.1.1	Jännitekorottajan kenttätestaus	10
4.2	Jännitesäätäjä, Voltage Controller	11
4.2.1	Jännitesäätäjän kenttätestaus	11
4.3	Vaihebalansoija, Phase Balancer	13
4.3.1	Vaihebalansoijan kenttätestaus	14
5	Pienjännitteinen tasasähkönjakelu, LVDC	17
5.1	LVDC-teknologia	17
5.2	Jakeluverkon ominaisuuksien vertailu	19
5.3	Sähkömarkkinat	21
5.3.1	Verkoston saneeraaminen	21
5.3.2	Hajautettu energiatuotanto	22
5.4	Liiketoiminta	22
6	LVDC Rules-hanke	24
6.1	Liiketoiminnan arviointi	24
6.2	LVDC-hankkeen määrittely ja tavoitteet	25
6.3	Aikataulu	25
6.4	Resurssit ja kustannukset	26
7	LVDC-RULES hankkeen kommunikointi	28
7.1	Rakenne ja vaatimukset	28
7.2	LoRa,	29
7.3	PLC	30
7.4	GSM, 3G/4G/5G	31
8	Johtopäätökset	33

Liite 1. Ensto Phase Balancer kenttätestiraportti

Esipuhe

Tämä opinnäytetyö on tehty osana YAMK-tutkintoa Metropolia Ammattikorkeakoulussa 2015–2016.

Haluan kiittää Jukka Korkiakoskea, ja koko Ensto Utility Networks liiketoimintayksikön tehoelektroniikka tiimiä Espoon Otaniemessä saamastani työnohjauksesta.

Kiitokset myös Metropolia Ammattikorkeakoulun Jari Savolaiselle hyvästä yhteistyöstä työn aikana.

Espoossa 13.11.2016

Sami Laitinen

1 KÄYTETYT LYHENTEET

IoT	Internet of Things, asioiden- tai esineiden internet
Wi-Fi	Wireless Fidelity
Li-Fi	Light Fidelity
LTE	Long Term Evolution
NB-LTE	Narrow Band LTE
IEC	International Electro technical Commission, kansainvälinen sähköalan standardisoimisjärjestö
AES	Advanced Encryption Standard
ECC	Elliptic Curve Cryptography
LoRa	Low Range Area Network
Rfid	Radio frequency identification
Nfc	Near field communication
VPN	Virtual Privet Network
LVDC	Low Voltage Direct Current
PLC	Power Line Communication
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition

2 Johdanto

Nykypäivänä ihminen on hyvin riippuvainen sähköstä. Sähköllä tehdään valoa, lämpöä sekä kylmää. Sähkön saaminen kotitalouksiin luotettavasti ja hyvänlaatuisena on erittäin tärkeää, ja sen voidaan sanoa olevan laadullisesti riittävän hyvää silloin kun sähköä käyttävät laitteet toimivat odotusten mukaisesti. Sähkön laatua voidaan mitata kahdella eri tekijällä: 1) sähköä kuljettavan verkon käyttövarmuudella ja 2) siirrettävän jännitteen laadulla.

Perinteisen sähköverkonrakennuksen ohella suomalainen cleantech-yritys Ensto on ottanut askeleen kohti tehoelektroniikkatuotteita, joiden avulla pienjänniteverkon sähkönlaatua voidaan parantaa. Ensimmäinen markkinoille lanseerattu tuote vuonna 2012 oli Jännitekorottaja, joka hiljattain sai rinnalleen Jännitesäätäjän. Vuoden 2016 aikana tuoteperhe saa vielä uuden jäsenen, kun Vaihebalansoiija tulee markkinoille. Jotta kaikkien kolmen tuotteen käytöstä saadaan mahdollisimman paljon tietoa, laitteiden sisään asennettavien kommunikaatiolaitteiden rooli tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Nykypäivän energialaitokset ovat kiinnostuneet sähköverkkoon asennettavien laitteiden toiminnasta, ja pyrkivät mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään uutta teknologiaa. Ratkaisuna asiaan voisi olla teollinen internet.

Opinnäytetyössäni tarkastelen teollisen internetin käyttömahdollisuuksia Ensto Power Electronics tuotteiden käytössä. Työn tarkoituksena on kartoittaa teollisen internetin tarjoamia vaihtoehtoja, sekä mahdollisia hyötyjä liiketoiminnan kehityksessä.

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan Enston valikoimassa jo olevien sähkönlaatua parantavien tuotteiden kommunikointia. Toinen osa keskittyy tutkimisasteella olevaan LVDC Rules-hankkeeseen, joka tullaan toteuttamaan vuoden 2017 aikana yhdessä Elenia Oy:n ja Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston LUT:n kanssa. Kyseessä on osa Tekesin Green Growth – Tie kestäväään talouteen 2011–2015 –tutkimusohjelmaa.

3 Teollinen Internet

Teollinen Internet, Internet of Things eli esineiden tai asioiden internet on käsitteenä hyvin laaja. Kansainvälisen ICT-alan tutkimus- ja konsultointiyritys Gartnerin mukaan IoT:ssä on kyse fyysisistä laitteista, jotka pystyvät aistimaan ympäristöään ja viestimään tai toimimaan aistimansa perusteella älykkäästi. Jotta tällainen toiminta olisi mahdollista, tarvitaan siihen antureita, ohjelmistoja sekä tietoliikenneyhteys. Jo ennen varsinaista Internet of Things-käsitettä on laitteita liitetty verkkoon. Ensimmäisen kerran IoT-käsite tuli esille 1990-luvulla Kevin Ashtonin toimesta. [1, 3]

Tänä päivänä 53 % yrityksistä käyttää maksullisia pilvipalveluita, julkista pilveä 43 % ja yksityistä 14 %. Nämä tiedot käyvät ilmi Tilastokeskuksen 11/2015 tekemästä tutkimuksesta "Tietotekniikan käyttö yrityksissä". Pysyäkseen mukana globaalissa ja alati kiihtyvässä kilpailussa, on yritysten pystyttävä kehittämään uusia tapoja ja toimintamalleja. Varsinkin julkisen sektorin toimijoilta edellytetään nopeampaa reagointikykyä ja kustannustehokkaampaa tekemistä. IoT:n suurimpien mahdollisuuksien uskotaankin olevan valmistavassa teollisuudessa ja terveydenhuoltoalalla. Myös matkailun ja vapaa-ajan sektorilla mahdollisuuksia on hyvin paljon.

Teollista Internetiä voidaan käyttää esimerkiksi silloin kun luodaan verkkoyhteys useaan eri kohteeseen, eikä niitä ole mahdollista toteuttaa kiinteiden yhteyksien avulla. Kiinteiden yhteyksien rinnalle on tullut langattomat verkkoyhteydet, jotka ovat lähes kokonaan korvanneet ne. Langattomien verkkoyhteyksien avulla voidaan sensorit, laitteet ja jopa kokonaiset koneet yhdistää sekä verkkoon että toisiinsa. Tällä hetkellä suosituimpia langattomia yhteyksiä ovat Wi-Fi, Bluetooth ja ZigBee. [1]

LTE eli Long Term Evolution-teknologia on nousemassa yhdeksi vahvimista teknologioista kun puhutaan teollisen internetin käytöstä. Uuden vähävirtaisen LTE-M-standardin on tarkoitus valmistua vuoden 2016 aikana, ja kaupallisessa käytössä olevien laitteiden vuoden 2017 aikana. Teleoperaattoreiden kannalta LTE-M on suoraan yhteensopiva nykyisen 4G/LTE-verkon kanssa. LTE-M-teknologian sanotaan olevan vähän virtaa kuluttava ja edullinen, ja se tarjoaa houkuttelevan kantaman. Tätä teknologiaa voidaan hyödyntää esineiden jäljitettävyydessä, kaupunkien infrastruktuurissa ja energia-alan yritysten sekä mittaridatan välityksessä.

Vuoden 2017 aikana markkinoille on tulossa toinenkin 4G-standardiin perustuva mobiilistandardi NarrowBand LTE eli NB-LTE. Tekniikan on tarkoitus olla tehon kulutuksel-

taan pieni, edullinen ja käytettävyydeltään helppo. NB-LTE-tekniikan merkittävimpinä eteenpäin viejinä ovat olleet Nokia ja Ericsson, sekä tietokoneiden piirivalmistaja Intel.

Alla olevaan taulukkoon on kerätty LTE-M, NB-LTE, 5G, LoRa ja Sigfox-tekniikoiden vertailua.

Teknologia	LTE-M	NB-LTE	5G	LoRa	Sigfox
Kantama	10 km	15 km	15 km	15 km	30 km
Taajuus	lisensoitu 700–900 MHz, 1,4 MHz tai jaettu	lisensoitu 700–900 MHz, 200 kHz tai jaettu	lisensoitu 700–900 MHz, jaettu	ei-lisensoitu 900 MHz, alle 500 kHz	Ei – lisen- soitu 900 MHz
Tiedonsiirtonopeus	< 1 Mbps	< 150 kbps	< 1 Mbps	< 10 kbps	< 100 kbps
Akkukesto	10 v.	10 v.	10 v.	10 v.	10 v.
Saatavuus	2016	2017	2020 jäl- keen	Nyt	Nyt

Taulukko 1. LPWA-tekniikoiden vertailu

5G-tekniikan oletetaan olevan kaupallisessa käytössä vuonna 2020, ja sen ennustetaan olevan asioiden ja teollisen internetin selkäranka. 3G/4G/5G-tekniikka tulee olemaan mukana tutkimusasteella olevan LVDC Rules-hankkeen yhteydessä, ja sen tarkempia ominaisuuksia käsitellään luvussa 5.4.

LoRa eli Low Range Area Network on myös yksi esineiden ja teollisen internetin käyttöön soveltuva vaihtoehto. LoRa-tekniikka on ollut tutkimusasteella myös Enston LVDC-tutkimusprojektissa, ja sen ominaisuuksiin keskitytään tarkemmin luvussa 5.2.

Muita yleisesti käytössä olevia langattomia tekniikoita ovat Rfid (Radio frequency identification) sekä Nfc (Near-field communications). Rfid-tekniikkaa, jonka toiminta pohjautuu radiotaajuuden tunnistukseen, on pitkään ollut käytössä mm. logistiikassa. Läheisesti Rfid-tekniikkaan perustuva Nfc-tekniikka on käytössä nykypäivän älypuhelimissa. Kuitenkaan Rfid- ja Nfc-tekniikat eivät ole ajaneet itseään läpi asioiden- ja teollisen internetin yhteydessä. Yhtenä syynä tähän on ollut molempien suhteellisen heikko signaalin kantama. [1]

Protokollat ja standardit ovat tiedon välittämisessä hyvin tärkeässä roolissa. Käytännössä ne helpottavat esimerkiksi uusien laitteiden kytkeytymisen järjestelmiin plug-and-

play-ajattelulla. Lisäksi niiden on tarkoitus antaa ohjeita teollisen internetin järjestelmien suunnittelussa ja kehittämisessä.

Kansainvälisten standardointiorganisaatioiden ISO:n ja IEC:n tietotekniikan yhteiskomiteat päättivät vuonna 2014 esineiden internetin viitearkkitehtuurin ja sanastotyön käynnistämisestä. Työryhmässä on mukana myös suomalaisia IT-alan osaaajia ja yrityksiä. Myös toisen suuren standardointijärjestön IEEE:n odotetaan saavan valmiiksi kattavan esineiden internetin IEEE P2413-standardointihankkeen tänä syksynä. Mukana hankkeessa on ollut monen toimialan ja teknologian johtavia yrityksiä. [1,6]

3.1 Tulevaisuus ja haasteet

Kansainvälisen ICT-alan tutkimus- ja konsultointiyritys Gartnerin arvion mukaan vuoteen 2020 mennessä verkkoon liitettyjen laitteiden määrä olisi jopa 25 miljardia laitetta. Tämä tarkoittaa noin viittä laitetta jokaista maapallon asukasta kohden. Digitaalinen liiketoiminta tulee tulevaisuudessa yhdistämään ihmiset, laitteet ja yritykset ennennäkemättömällä tavalla. Laitteiden määrän suuri kasvu asettaa haasteita sekä niiden valmistajille, että niitä käyttäville yrityksille. Verkkoon kytkettävät tuotteet ja palvelut edellyttävät tulevaisuudessa täysin uudenlaisen teknologian (technology stack) rakentamista. Infrastruktuuri tulee koostumaan monisäikeisistä ohjelmistoista, sovelluksista, verkoista, laitteista, pilvipalveluista, alustoista sekä toimintaa säätelevistä säännöistä.

Suomeen teollinen internet on rantautunut muutaman viimeisen vuoden aikana, mutta varsinaista vallankumousta ei kuitenkaan vielä ole tapahtunut. Monet yritykset eivät ole edes kuulleet teollisen internetin mahdollisuuksista omassa liiketoiminnassaan. Teollisen internetin tarjonta on kuitenkin nousussa, ja Suomessa esimerkiksi Tekes rahoittaa hankkeita, joiden tarkoitus on kehittää uusia kansainväliseen kasvuun tähtääviä palveluita ja liiketoimintamalleja.

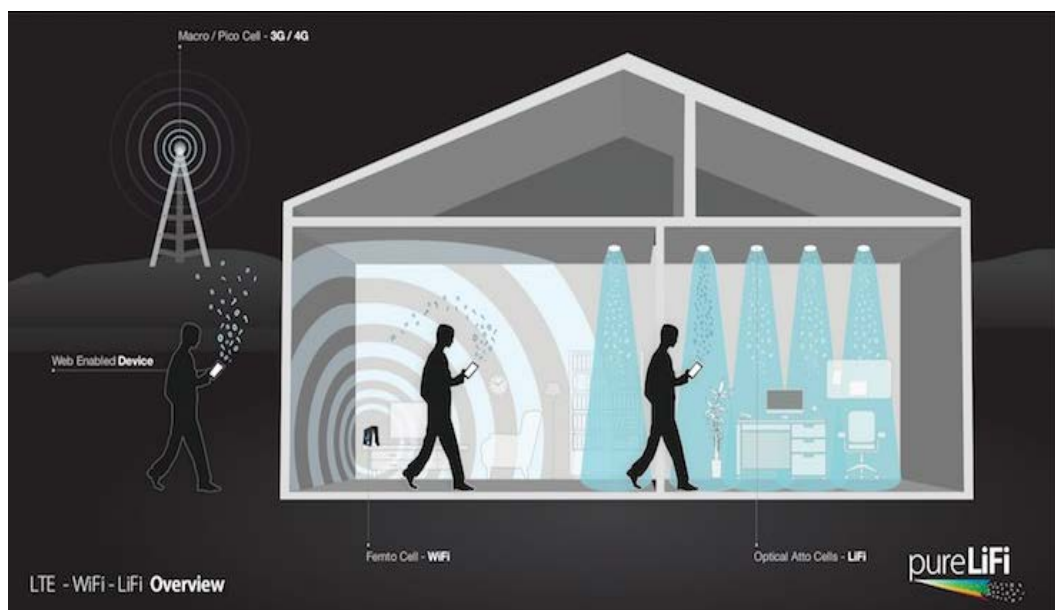
Teollisen internetin haasteena tulee olemaan se, kuinka olemassa oleva laitekanta saadaan etämonitoroinnin ja ohjauksen piiriin. Esimerkiksi kokonainen tehdas voidaan viedä "internetiin", jolloin sen prosesseja voidaan seurata ja ohjata etänä. Tämän seurauksena työvoiman tarve tulee paikallisesti vähentymään, koska analyttikot tai prosessien optimoijat voivat hyödyntää tekniikkaa paikasta riippumatta.

Tavalliselle kuluttajalle langattomien verkkojen yleisimpiä teknologioita ovat Wi-Fi, Bluetooth sekä ZigBee. Yhtenä Wi-Fi järjestelmän heikkoutena on kohtuullisen suuri

energiankulutus, joten se ei sinänsä sovelle pelkkiin sensoriverkkoihin. Bluetooth, jolla tarkoitetaan lyhyen kantaman langatonta kommunikointia laitteiden välillä, ei myöskään ole optimaalisin vaihtoehto sensoriverkkoihin.

Uutena teknologiana on alettu tutkimaan LiFi:ä. Li-Fi on uudenlainen langattoman verkon teknologia, jossa dataa välitetään valon avulla (VLC-tekniikka). Tavallisten reitittimien sijasta Li-Fi-verkko syntyy tilan valaistuksesta, jossa dataa välitetään vastaanottimiin pienillä valon kirkkauden muutoksilla. Näitä muutoksia ei pystytä havaitsemaan ihmissilmällä. Li-Fi-tekniikan etuna on muun muassa turvallisuus, sillä verkko ei läpäise seiniä eikä se näin ollen ole ulkopuolisten käytettävissä.

Suurin etu Li-Fi-tekniikassa on sen nopeus. Käynnissä olevissa testeissä (PureLi-Fi/Velmenni) on saatu mitattua jopa 1 gigabitin siirtonopeuksia, jotka ovat noin 100 kertaisia verrattuna tavalliseen Wi-Fi-yhteyteen. Tekniikan ei oleteta korvaavan Wi-Fi:ä täysin, mutta se tulee olemaan mainio vaihtoehto sen rinnalle. On huhuttu että Apple saattaa rakentaa seuraavan sukupolven älypuhelimeen jopa sata kertaa nopeamman nettiyhteyden. [4]



Kuva 1. LiFi-verkon toimintaperiaate.[4].

IoT:n tulevaisuuden haasteena on sen tietoturva. Verkossa liikkuvaan dataan on pysyttävä luottamaan, eivätkä ulkopuoliset tekijät saa päästä muuttamaan sitä tai estämään sen kulkua. Uudet liiketoimintamallit vaativat että yhä useammat toimijat pääsevät kiinni järjestelmään, ja että luottamus ja tietoturva-asiat on hoidettu asianmukaisella tavalla. IoT:n tietoturvaan liittyviä asioita on käsitelty kappaleessa 3.2.

3.2 Tietoturva

Yhtenä tärkeimpänä puheenaiheena IoT:n osalta pidetään tietoturvariskejä. Laitteiden nopean kehittymisen seurauksena myös tietoturva-aukkojen määrä tulee lisääntymään. Pääsyyinä tähän ovat käytössä olevat internetyhteydet. Uhkana voi olla tietojen urkinta, haittaohjelmat ja pahimmassa tapauksessa verkon sabotointi. IoT-ympäristöissä on mahdollista että haittaohjelmat pääsevät niihin kiinni, jos jossain verkon osassa on tietoturva-aukko. Tämä aukko voi olla esimerkiksi ohjelmistovirhe tai heikko salaus. Haittaohjelmat voivat takaoven tai takaportin avulla päästä käsiksi järjestelmiin, ja manipuloida siellä liikkuvaa dataa. Haittaohjelmien avulla verkkoa voidaan kuormittaa niin ettei haluttu tieto liiku järjestelmässä, tai se voi pahimmassa tapauksessa jopa kaatua.

Yhtenä hyvänä esimerkkinä teollisen Internetin suojaustavoista ovat VPN-pohjaiset ratkaisut. VPN eli virtual private network on virtuaalinen erillisverkko, jolla kaksi tai useampia verkkoja on mahdollista yhdistää julkisen verkon ylitse. Näin ollen se muodostaa näennäisesti oman yksityisen verkon. VPN-yhteys on aina salattu, ja sen suojausmenetelmistä yleisin on SSL eli Secure Socket Layer. SSL-menetelmän ohella vaihtoehtona on Secure Shell (SSH), mutta verrattuna SSL-tekniikkaan se ei ole yhtä turvallinen.

VPN-pohjaisen suojauksen etuna on tiedon saatavuus paikasta riippumatta. Tekniikka sallii tiedostojen jakamisen, ja nykyisin yrityskäytössä yleistyneet videopuhelut. Myös suhteellisen edullinen hinta on yritysten kannalta hyvin houkutteleva. Tietoturvasyistä VPN-suojaus tarvitsee yhteyksien molempiin päihin oman palomuurin. Ilman palomuuria on mahdollista että yhteystunnelin pää jäisi avoimeksi, vaikka tietoliikenne olisikin salattu.

Laitekohtaisista suojauksista (ECC eli Elliptic Curve Cryptography) elliptisten käyrien salausmuoto on yleistymässä teollisen internetin maailmassa. Kyseessä on epäsymmetriaan perustuva salaus, joka esiteltiin ensimmäisen kerran 1980-luvulla. Teorian keksijöinä pidetään Neal Koblitzia ja Victor S. Milleria. ECC-suojauksen käyttökohteita ovat muun muassa HTTPS-protokollan varmentaminen selaimen ja serverin välillä. Myös biometristen passien ja henkilökorttien RFID-sirujen suojauksessa ECC-suojaus on käytössä. Vaikka ECC-suojaus on yleistymässä, on sen yhtenä heikkoutena hitaus suurien datamäärien salauksessa. Muita vastaavan tyyppisiä suojausmenetelmiä ovat

RSA (muodostuu keksijöiden nimistä: Ron Rivest, Adi Shamir ja Leonard Adleman) ja PLC-tekniikan yhteydessä käytetty AES (Advanced Encryption standard). [15]

Teollisen internetin yhteydessä puhutaan myös pilvipalveluista. Kyseiset palvelut yleistyvät jatkuvasti, ja palveluntarjoajien määrä on suuressa kasvussa. Tänä päivänä yhä useampien laitteiden tuottama tieto (data) tallennetaan pilvipalvelimelle, josta se on mahdollista poimia tarvittaessa. Pilvipalveluiden etuja ovat edullinen tallennustila, sekä automaattinen skaalautuminen laitteiden datavirroille.

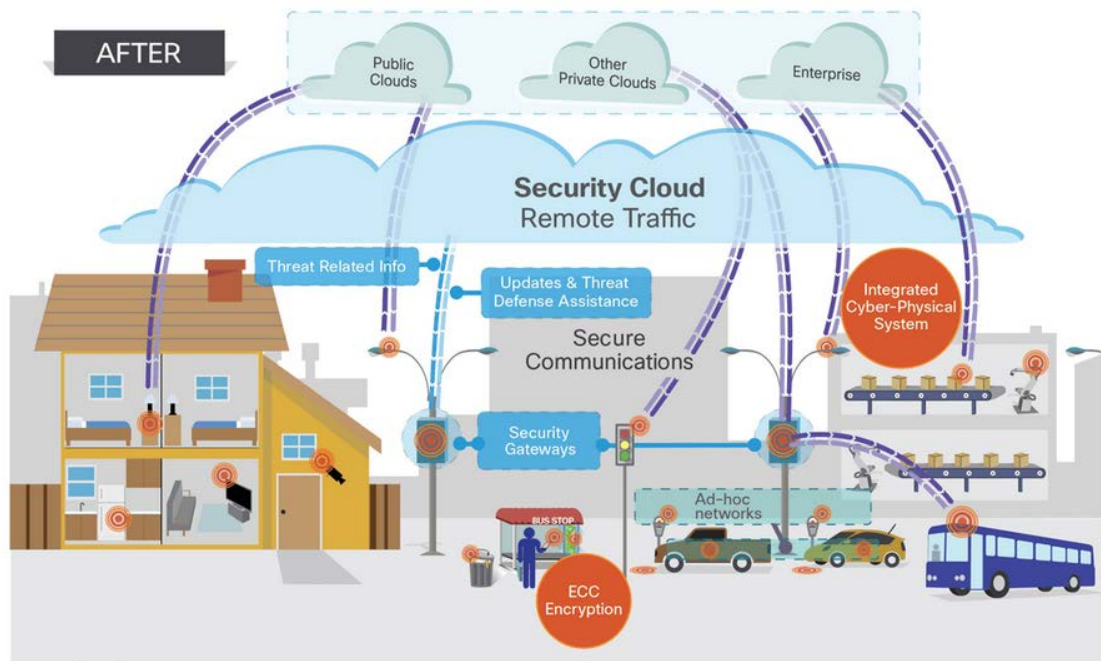
Tietoturva tai lähinnä turvattomuuden uhka on suurin este pilvipalveluiden yleistymiselle yritysmaailmassa. Suurista palveluntarjoajista esimerkiksi Google ja Amazon pyrkivät jatkuvasti parantamaan palveluidensa turvallisuutta, mutta turvattomuuden mielikuvan muuttamiseen menee aikaa.

Pilvipalveluiden tyypilliset tietoturvaongelmat voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin tekijöihin. Ulkoisista tekijöistä puhuttaessa tarkoitetaan ns. perinteisiä tietoturvaongelmia, joita kaikki verkkoon kytkeytyvät laitteet voivat kohdata. Sisäisillä uhilla tarkoitetaan pilvipalveluista itsestään johtuvia tekijöitä. Pilvipalveluiden tietoturva jaetaan kolmeen pääkategoriaan jotka ovat: yleinen tietoturva, saatavuus ja kolmas osapuoli. Yleisen tietoturvan päävaatimuksena on se, että yritys tai yksittäisen kuluttajan tieto/data säilyy muuttumattomana. Ulkopuolinen tekijä ei saa päästä muokkaamaan tai poistamaan sitä.

Saatavuus on yksi pilvipalveluiden eduista, mutta samalla myös iso uhka. Asiakasodotus on se, että tieto on jatkuvasti saatavilla. Saatavuus voidaan nähdä myös etuna. Pilvipalvelut ovat hajautettuja järjestelmiä, ja on mahdollista että yrityksen tai asiakkaan tieto sijaitsee useilla eri palvelimilla, jotka voivat sijaita fyysisesti eri paikoissa. Tiedon ollessa hajautettuna eri paikkoihin mahdollistaa se hyvän saatavuuden ja virheensietokyvyn.

Kolmas osapuoli pilvipalveluissa on itse palveluiden tarjoaja. Asiakkaan ottaessa käyttöön pilvipalveluja, siirtyy data ulkopuolisen tahon käsiin. Tämä tarkoittaa sitä ettei asiakkaalla ole enää 100 % kontrollointia omistamansa datan käyttöön. Kontrollin menettäminen oman datan hallinnointiin on yksi tekijä, joka lisää tietoturvaongelmia ja epävarmuutta pilvipalveluita kohtaan.

Secure Cloud on yksi malli tietoturvaongelmien ratkaisemiseksi pilvipalveluissa. Se on verkkopohjainen palvelu, joka kerää tietoja tuntemattomista internet sivustoista ja sovelluksista. Kerättyjen tietojen avulla pyritään vahvistamaan tietoturvaa, ja esimerkiksi suomalainen tietoturva-alan yritys F-Secure lupaa käyttäjilleen nopean ja luotettavan tavan parantaa suojausta uusia internet-pohjaisia uhkia vastaan. Lisäksi F-Securen Security Cloud-palvelu parantaa laitteiden yleistä suorituskykyä, koska palvelu tarkistaa sovellusten toiminnan jo ennen laitteiden varsinaisia tietoturvaohjelmia. [15, 16]



Kuva 2. Secure Cloud ja Elliptic Curve Cryptography toiminta-ajatus käytännössä [15] .

4 Power Electronics tuotteet

4.1 Jännitekorottaja, Voltage Booster

Jännitekorottaja eli Voltage Booster on Enston ensimmäinen markkinoille lanseerattu tehoelektroniikkatuote. Se julkaistiin vuoden 2012 aikana, ja on julkaisemisensa jälkeen saavuttanut suosioita, kun puhutaan sähkönlaatua parantavista tuotteista. Jännitekorottaja mahdollistaa nopean ja helpon keinon sähkön laadun parantamiseen pienjänniteverkoissa. Laitetta on tällä hetkellä saatavilla kolmea eri tehoversiota: 20kVA, 30kVA ja 45kVA. Myös tätä isompien laitteiden tuotekehitys on parhaillaan menossa. Jännitekorottaja korjaa kuluttajien madaltuneen jännitetason, joka on määritelty sähkön laadun standardissa EN 50160. Standardin mukaan verkon jännitteen toleranssi on +/- 10 % sen nimellisarvosta.

Jännitekorottajan toiminta perustuu säästömuuntajien ja tehoelektroniikan käyttöön. Laitteessa on jokaista vaihetta kohden oma muuntaja ja tehoelektroniikkaa sisältävä kytkinkortti. Laitteen toimintaa ohjataan yhden kontrollikortin avulla. Jännitekorottaja mittaa vallitsevaa jännitettä pienjänniteverkossa, ja aktivoi korotustoimintonsa tarpeen mukaan. Korotustoimintoja eli ns. Boost-tiloja laitteesta löytyy kolme kappaletta. Ensimmäinen tila on Low-Boost jossa jännitettä korotetaan 6,7 %, toisessa Mid-boost-tilassa jännitettä korotetaan 13,3 % ja viimeisessä High-Boost-tilassa on käytössä korotus joka on 20 %. Laitteen reagointiaika on 300 ms, ja se on tarkoitettu kolmivaihesähköverkkoihin.



Kuva 3. Ensto Jännitekorottaja, Voltage Booster

4.1.1 Jännitekorottajan kenttätestaus

Jännitekorottajan kenttätestaus aloitettiin vuoden 2012 lopussa yhdessä Porvoon Energian kanssa, ja ensimmäinen kenttätestilaite asennettiin Porvoon Emäsalaan. Kyseiseen Jännitekorottajaan asennettiin tietoa lähettävä GSM-pohjainen modeemi, joka toimitti laitteen dataa tuotekehitystyöryhmälle. Yhteyden avulla saatiin tietoa laitteen toiminnasta, muun muassa boost-tilasta sekä mahdollisista vikatilanteista.

4.2 Jännitesäätäjä, Voltage Controller

Jännitesäätäjä eli Voltage Controller on Enston tehoelektronikka tuoteperheen toinen tuote. Tuote lanseerattiin markkinoille vuoden 2015 lopussa, ja on siitä lähtien ollut hyvin suosittu varsinkin eteläisessä Euroopassa. Jännitesäätäjän toiminta perustuu niin ikään säästömuuntajan ja tehoelektronikan yhdistelmään, aivan kuten Jännitekorottajalla. Suurin ero näillä kahdella laitteella on se, että Jännitesäätäjä on tarkoitettu yksivaiheverkkoihin. Jännitesäätäjällä on myös ominaisuus, jolla verkossa esiintyvää yli-jännitettä on mahdollista laskea. Näin ollen se on erittäin optimaalinen tuote paikkoihin joissa esimerkiksi aurinkopaneelit aiheuttavat ylijännitettä vallitsevaan verkkoon.

Jännitesäätäjän teholuokka on 6 kVA, ja se on tällä hetkellä ainoa saatavilla oleva malli kyseisestä tuotteesta. Tuotekehitystasolla vastaavasta tuotteesta on tulossa hieman tehokkaampi versio, jonka teho on 23kVA. Tämän tuotteen osalta lanseerausaikataulu on vielä avoin.



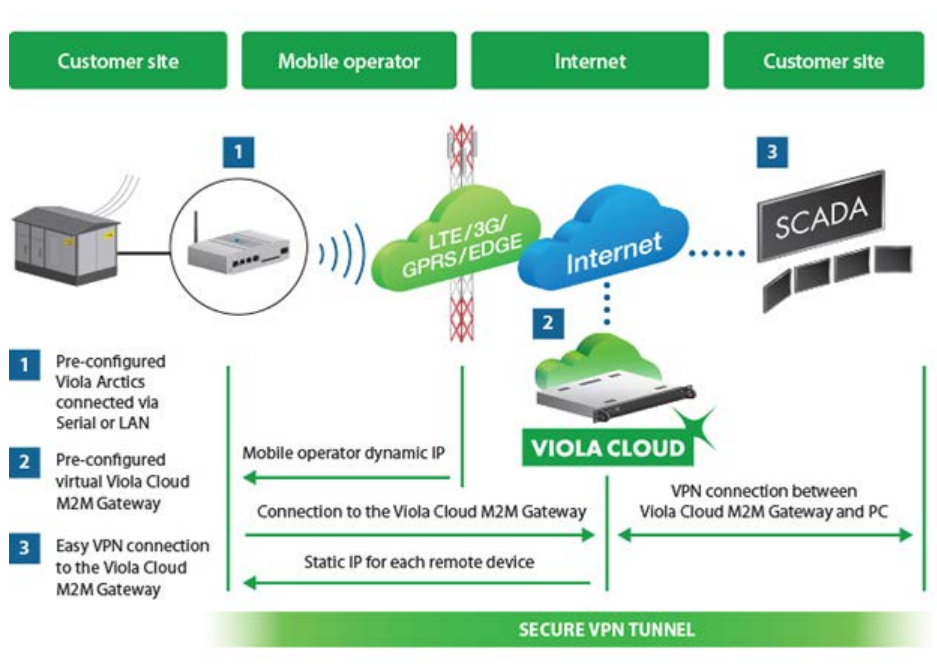
Kuva 4. Ensto Voltage Controller

4.2.1 Jännitesäätäjän kenttätestaus

Jännitesäätäjän kenttätestaukset aloitettiin vuoden 2014 aikana neljän Enston maayhtiön avustuksella. Kenttätestien tarkoituksena oli testata laitetta oikeassa pienjännite-

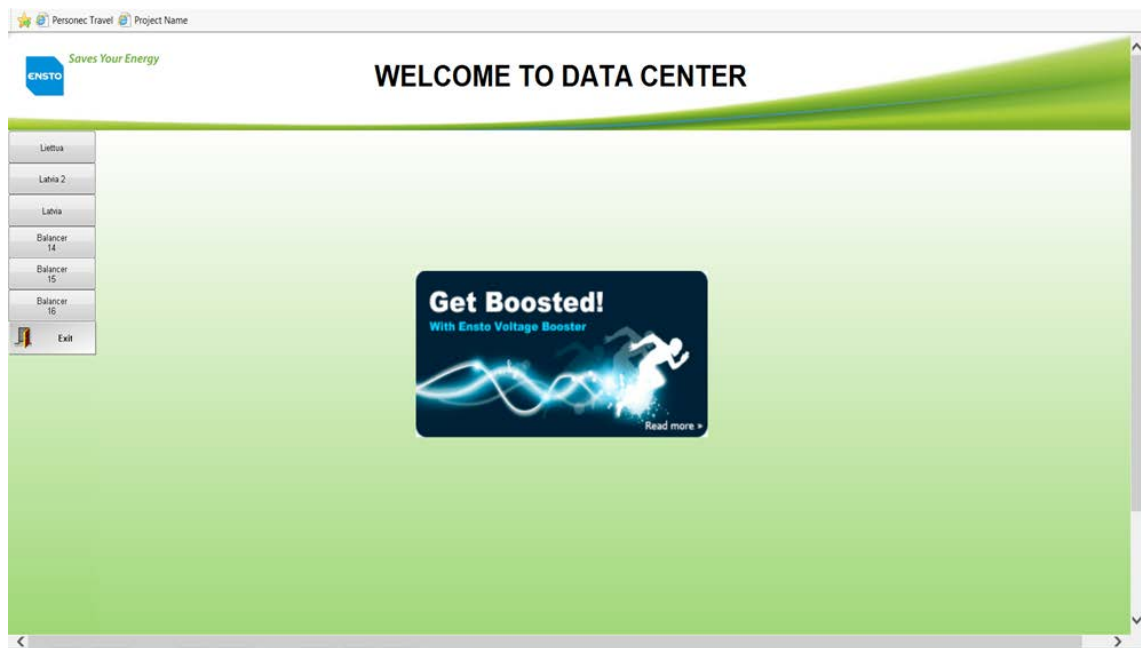
verkossa. Kohdemaiksi testeihin valikoituivat Suomi, Latvia, Liettua ja Italia. Jotta kyseisistä laitteista saatiin mahdollisimman paljon tuotekehityksessä tarvittavaa tietoa, niihin asennettiin erillinen GSM-yksikkö joka pystyi lähettämään mittadataa tuotekehitysyksikköön Espoon Otaniemeen. Tässä yhteydessä hyödynnettiin Viola System Oy:n valmistamaa Arctic-sarjan GSM-modeemia yhdessä pilvipalveluiden kanssa. Varsinainen tiedon loppuanalysointi suoritettiin Enston Tehoelektroniikkatuotteiden tuotekehitysyksikössä Otaniemessä.

Jännitesäätäjän kenttätestauksessa käytetyn tekniikan pääperiaate on esitetty alla olevassa kuvassa.



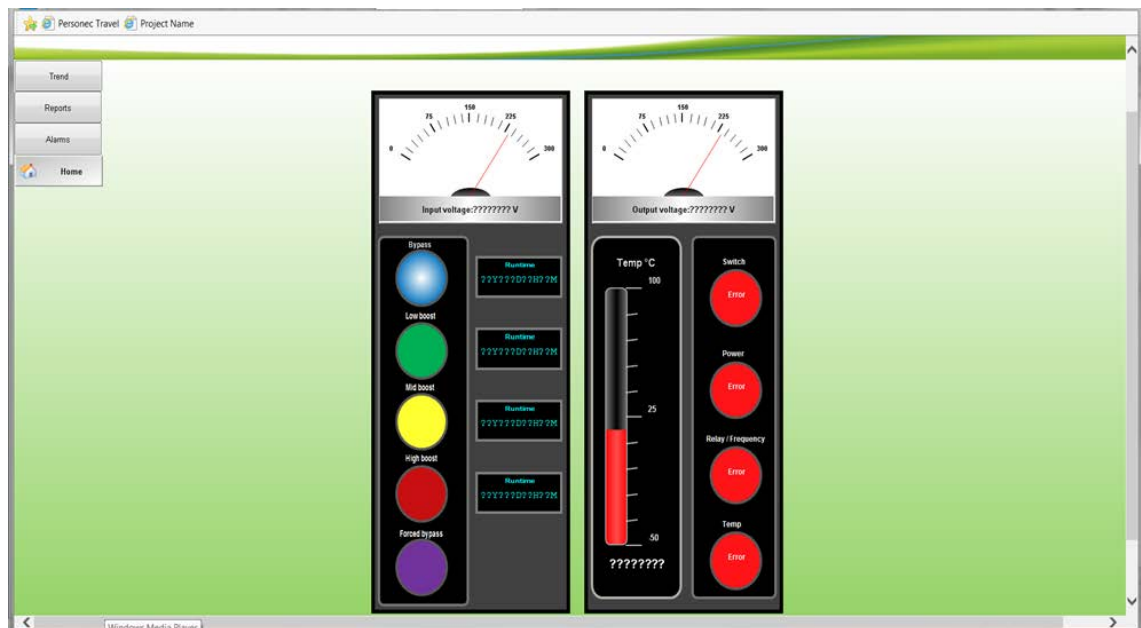
Kuva 5. Jännitesäätäjän periaatteellinen kommunikaatioyhteys kenttätestauksessa.

Tiedon analysoinnissa hyödynnetään Indusoft Web Studio Scada/HMI valvomohjelmia. Ohjelmalla saadaan rakennettua web-pohjainen virtuaalivalvomo (vrt. Scada), jonka avulla voidaan tarkkailla käytössä olevien laitteiden reaaliaikaisia jännite-
tasoja, boost-tiloja, muuntajan lämpötilaa sekä mahdollisia vikailmoituksia. Tarvittaessa laitteet on mahdollista etäohjata bypass-tilaan jos laitteessa ilmenee vikoja.



Kuva 6. Indusoft Web Studio-ohjelman etusivu

Indusoft Web Studio-ohjelman aloitussivulta on mahdollista valita testauksessa olevan laitteen tiedot. Koska ohjelma todettiin luotettavaksi ja hyvin toimivaksi, päätettiin samaa kommunikaatio periaatetta käyttää myös Vaihebalansoijan kenttätestauksessa.



Kuva 7. Jännitesäätäjän Jännitemittarit, Indusoft Web Studio

4.3 Vaihebalansoija, Phase Balancer

Vaihebalansoija eli Phase Balancer on tehoelektroniikka tuoteperheen uusi jäsen, ja sen lanseeraus ajankohta tulee olemaan vuoden 2016 lopulla. Laitteesta on saatavilla kahta eri versiota. Ensimmäinen julkaistava malli on ilman elektroniikka-yksikköä, ja

vuoden 2017 alkupuolella julkaistava malli tulee sisältämään erillisen elektroniikkaosan, joka sisältää myös mahdollisuuden kommunikointiin.

Vaihebalansoijan toiminta perustuu muuntajan ja elektroniikan yhteistoimintaan. Balancerissa käytettävä muuntaja perustuu zigzag- eli hakatähtikytkentään. Periaatteessa hakatähtikytkentä vastaa tähtikytkentää, ja se tasoittaa epäsymmetrisen kuorman aiheuttamia vaikutuksia. Tämä kytkentä vaatii kuitenkin noin 15 % enemmän johdinmateriaalia, lisäksi muuntajan sisäiset kytkennät ovat haastavampia.

Enston Vaihebalansoijalla on käyttäjille monia etuja. Laitteen avulla pystytään parantamaan pienjänniteverkon oikosulkuvirtaa lähes tuplasti, jonka lisäksi laite tasapainottaa verkon jännitteitä sekä virtoja. Myös energialaitosten mittaamien välkynnän (flicker) ja harmonisten yliaaltojen (THD) aiheuttamia ongelmia pystytään parantamaan huomattavasti.



Kuva 8. Ensto Vaihebalansoija, Phase Balancer

4.3.1 Vaihebalansoijan kenttätestaus

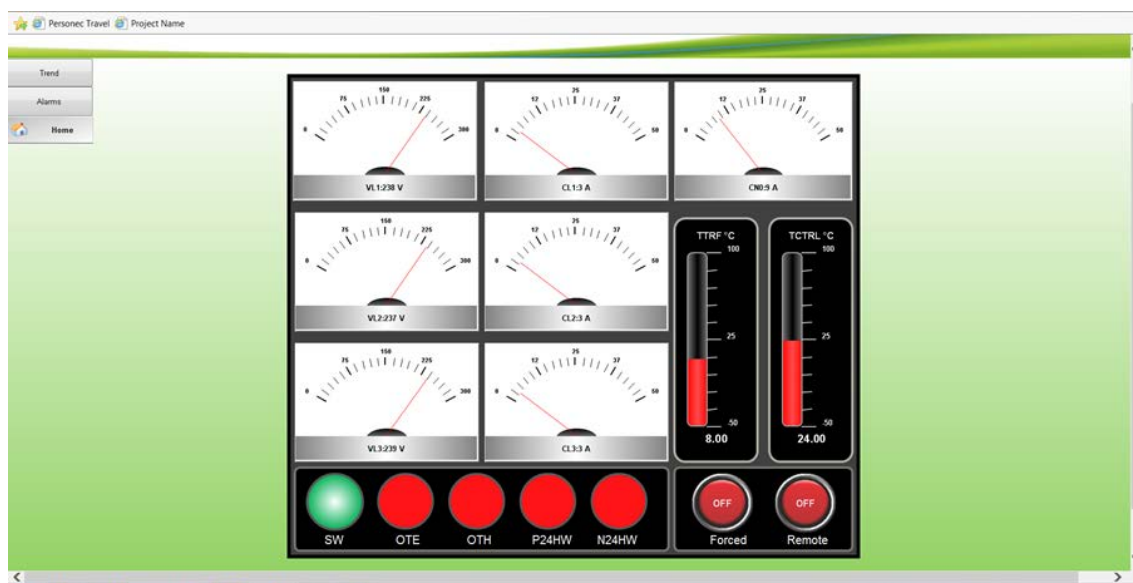
Vaihebalansoijan kenttätestaukset ovat edelleen käynnissä Enston kohdemaissa Suomessa ja Puolassa. Ensimmäiset kenttätestilaitteet asenettiin vuoden 2016 alkupuolella Järvi-Suomen Energian jakeluverkkoon Rantasalmelle, ja Tauron Group S.A:n jakeluverkkoon Novy Saczin alueelle eteläiseen Puolaan. Molempien laitteiden yhteyteen asennettiin erillinen kommunikointiosa, joka sisälsi Viola Systemsin Arctic-sarjan GSM-

modeemin. Tämän avulla laitteita pystytään valvomaan ja tarvittaessa kytkemään pois jakeluverkosta. Etuna laitteen etäohjauksella on myös se, että tuotekehitys pystyy vertailemaan verkon toimintaa laitteen ollessa päällä tai kytkettynä pois käytöstä.



Kuva 9. Ensto Phase Balanser kenttälaitteet, Rantasalmi ja Novy Sach

Kenttätesteissä saatuja tietoja analysoidaan Indusoft Web Studio-ohjelman avulla Suomessa, ja raportoidaan eteenpäin asiakkaille. Järjestelmän avulla voidaan reaaliaikaisesti seurata vaihejännitteitä, vaihevirtoja, nollavirtaa sekä muuntajan- ja elektronikan lämpötiloja. Tarvittaessa laite voidaan myös ohjata kiinni kauko-ohjauksella.



Kuva 10. Ensto Phase Balancer jännite- ja virtamittarit, Indusoft Web Studio

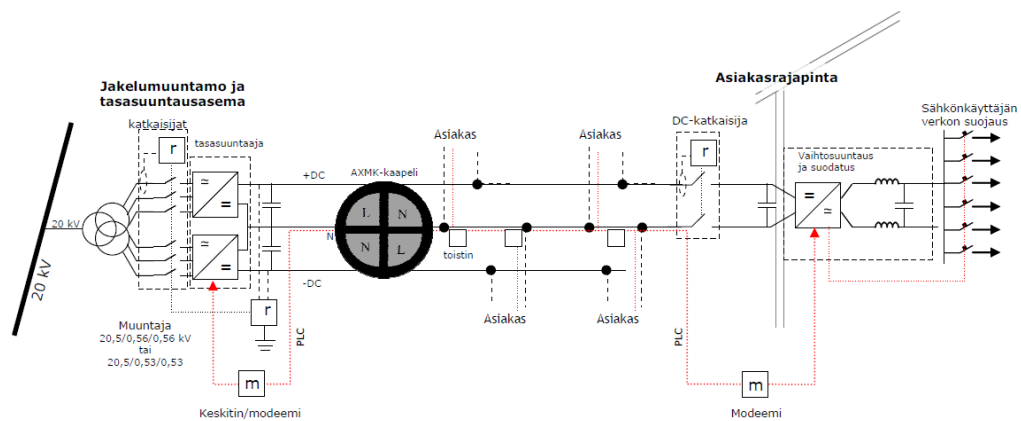
5 Pienjännitteinen tasasähkönjakelu, LVDC

Kansainvälisesti tasasähkönjakelu on havaittu erittäin houkuttelevaksi ja potentiaalliseksi teknologiaksi korvaamaan nykyinen pj-vaihtosähköverkko. Teknistaloudellisessa mielessä tasasähkölaitteiden käyttömahdollisuudet koetaan hyvinä. Esimerkiksi haja-asutusalueilla asiakkaiden kokemat jakelun keskeytykset ovat yleensä aiheutuneet keskijänniteverkoissa tapahtuvista vioista. Tasasähkölaitteiden käyttömahdollisuudet olisi mahdollista lyhentää, ja näin vikatilanteiden aiheuttamat keskeytyskustannukset pienenisivät.

5.1 LVDC-teknologia

Pienjännitedirektiivissä 2014/35/EU on pienjännitteen ja sen piiriin kuuluvien laitteiden maksimi toimintajännitteeksi määritelty vaihtojännitteellä 1000 VAC, ja tasajännitteellä 1500 VDC. Vaihtojännitteen osuus pienjänniteverkosta on ollut huomattava tähän mennessä. Tasajännitettä on käytetty lähinnä suurjännitepuolella, johtuen tasasähkölaitteiden huomattavista kustannuksista. Yhteiskunnan muuttuessa yhä riippuvaisemmaksi sähköstä ja tehoelektroniikka komponenttien hintojen laskiessa, on herännyt uudelleen ajatus tasasähkön käytöstä sähköjakelussa. Sähkönlaadun vaatimusten kiristyessä tasasähkön käyttö on noussut houkuttelevaksi vaihtoehdoksi vaihtosähkön rinnalle. Sähkölaadua määrittelevä standardi on EN 50160.

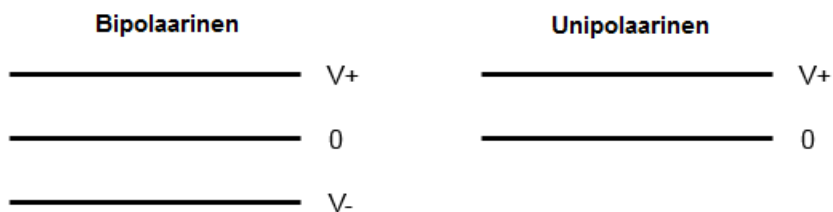
Tasasähkölaitteissa (DC-LINK) 20 kV:n jännite muunnetaan 535V:n, joka tasasuuntaamalla tuottaa +/- 750 VDC tasajännitteen. Kuluttajalle sopivaksi vaihtojännitteeksi tasajännite tulee muuntaa viimeistään asiakkaan liittymässä, koska kaikki kuluttajien käyttämät sähkölaitteet on suunniteltu pj-vaihtosähköverkkoon kytkettäviksi. Jotta tasasähkön käyttö sähköjakelussa on mahdollista, tarvitaan tasa- ja vaihtosuuntaajien käyttöä verkon alku- ja loppupäässä. Tämä osaltaan lisää jakeluverkoissa olevien komponenttien määrää.



Kuva 11. Esimerkki LVDC-järjestelmän laitteistorakenteesta

Tasasähköjärjestelmiä on mahdollista toteuttaa kahdella eri tavalla: unipolaari- tai bipolaariyhteydellä. Erona näillä kahdella on käytettävissä oleva jännitetaso, sekä käytössä olevien suuntaajien määrä. Bipolaariyhteyteen perustuvassa verkossa jännitetaso on +/- 750 VDC. Eli käytössä on kaksi eri jännitetasoa jotka ovat samansuuruiset, mutta erimerkkiset verrattuna yhteiseen nollajohtimeen. Vastaavasti unipolaarisessa tasajännitejärjestelmässä käyttöjännitetaso on 750 VDC (Rules-hankkeessa). Yleisesti maksimissaan 900 VDC. Bipolaarisen järjestelmän eduiksi luetaan se, että käytettävissä on heti kaksi eri jännitetasoa ilman muunnoksia. Vastaavasti unipolaarijärjestelmä on rakenteeltaan yksinkertaisempi, mutta sen tehonsiirtokyky on pienempi.

LVDC Rules-hankkeessa testiverkko tullaan rakentamaan käyttäen sekä unipolaarista että bipolaarista yhteyttä. Molempien tekniikoita voidaan käyttää samassa verkossa galvaanisesti erottavan DC-DC-konvertterin ansiosta. Edellä mainittujen järjestelmien pääperiaatteet on esitetty kuvassa 11.



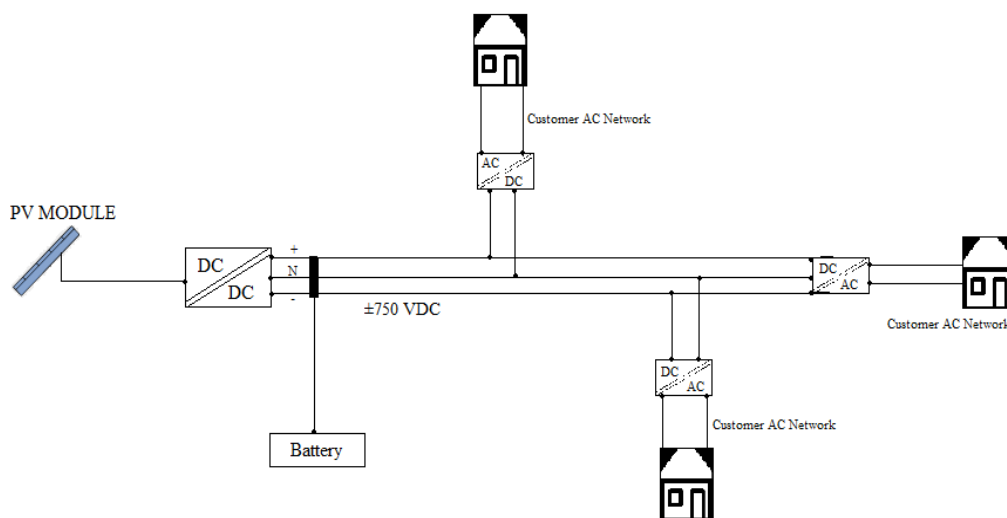
Kuva 12. Bipolaarinen- ja Unipolaarinen tasasähköjärjestelmä. [10]

LVDC-teknologiaa voidaan soveltaa erilaisiin käyttökohteisiin esimerkiksi sähköautoihin, hajautetun ja uusiutuvan energian tuotantoon ja julkisiin sähköjakeluverkkoihin.

Yhtenä mielenkiintoisena sovelluskohteena DC-link:ien ohella ovat myös saarekekäytöt eli microgridit.

Microgridit ovat sähkönjakeluverkon osia jotka voivat toimia täysin itsenäisesti, ilman yhteyttä julkiseen verkkoon. Näin ollen niillä on oltava omia energialähteitä, joita ovat tavallisimmin hajautetut energian tuotantomuodot kuten aurinko- ja tuulivoima. Lisäksi teknologia tarvitsee erillisen energiavaraston eli akuston, jotta se kykenee syöttämään sähköä myös mahdollisen tuotantohäiriön aikana. Microgrid verkon käyttöalueita voisivat olla kehittyvät maat, esimerkiksi Afrikassa.

Kuvassa 13 on esitetty saarekekäytön eli microgridin esimerkki verkko.



Kuva 13. Esimerkki Microgrid-verkosta [11]

LVDC-teknologia on vielä suhteellisen uusi asia, joten alaa määrittelevä standardointityö on kesken. IEC:n SEG4 on työryhmä joka on perustettu tekemään LVDC-tekniikkaa määrittelevää standardointityötä. Yhtenä aktiivisena jäsenenä työryhmässä on ollut Ensto Finland Oy. Tällä hetkellä on esitetty uuden SyC:n (Systems Committees) perustamista laatimaan standardia. SEG4-työryhmän tehtävänä on todentaa standardoinnin nykytila ja löytää mahdolliset puutteet. Tämän hetkisen arvion mukaan LVDC-järjestelmien käyttö tulee yleistymään 5-10 vuoden kuluessa.

5.2 Jakeluverkon ominaisuuksien vertailu

Sähkönjakelun tulisi olla taloudellista, luotettavaa ja turvallista, ja itse sähköverkon pitkäikäinen. Se ei myöskään saisi aiheuttaa merkittävää häiriötä ympäristölleen. Jakeluverkot ovat tänä päivänä suurelta osin ilmajohtotekniikalla rakennettuja, joten niiden luotettavuus on ollut koetuksella mm. myrskyjen aiheuttamien toistuvien häiriöiden vuoksi. Tästä syystä useimmat jakeluverkkoyhtiöt ovatkin alkaneet rakentamaan ja saneeraamaan verkkoja maakaapeloinnilla, olosuhteiden niin salliessa.

Yhtenä vaihtoehtona luotettavan jakeluverkon rakentamiseksi on 1 kV:n vaihtojännite tai pienjännitteinen tasajännite, LVDC. Tasajännitteen käyttäminen pienjännite sähköjakelussa on suhteellisen uusi, mutta houkutteleva asia. Tasajännite verkonrakennuksessa käytettävä komponentit ovat suhteessa vaihtosähköjakeluun hieman lyhytikäisempiä, ja vaativat enemmän kunnossapitoa. Hyvän ja tehokkaan kunnonvalvonnan takaamiseksi laitteiden on kyettävä tarkkailemaan tilaansa, ja ilmoittamaan huollon tarpeesta ICT-järjestelmiä hyödyksi käyttäen. [11, 12, 13].

LVDC- ja 400V AC-jakeluverkkojen ominaisuuksia voidaan vertailla oheisen taulukon avulla.

Ominaisuus	LVDC	400V AC
Kapasiteetti	+ Siirtää vain pätötehoa + Ei virran ahtautumista	– Loisteho kuormittaa verkkoa – Lievää virran ahtautumista
Häviöt	+ Ei vuotoa maakapasitanssiin + Sarjainduktanssilla ei merkitystä + Resistiiviset häviöt pienenevät jännitteen kasvaessa	– Jatkuva maavuotovirta – Sarjainduktanssi pahentaa jännitepudotusta – Alhaisen jännitteen vuoksi suuremmat I^2R -häviöt
Sähkönlaatu	+ Paikallisesti uudelleen muodostettu jännite, mahdollisuus korjata syöttävän verkon virheitä + Jännitepudotukset mahdollista kompensoida + Jännitekuopat ja välkyntä poistuvat + Suojausalueiden koko pienenee → häiriöalueet kutistuvat	– Häiriöt liikkuvat molempiin suuntiin verkossa. (kuluttaja ↔ jakeluverkko) – Jakeluetäisyys rajoitettu jännitepudotusten takia (1 km.) – Kuluttajasyntyinen häiriö leviää jakeluverkkoon
Oikosulkuvirta	+ Välipiirin energiavarasto kasvattaa verkon oikosulkuvirtaa	– Pitkillä linjoilla alhainen oikosulkuvirran taso

Toimintaikä	– Joidenkin komponenttien vaihto 20 vuoden jälkeen	+ Pitkä komponenttien elinkaari ja pienet ylläpitokustannukset
Hinta	– Uusia komponentteja, joiden kustannukset eivät ole vielä tiedossa	+ Tunnetut komponentit, joiden hinta tiedossa
Hajautettu tuotanto	+ Sähkönlaatu korkea + yksinkertainen liityntä DC-verkkoon	– Mahdollisia sähkönlaatuongelmia + Komponentit valmiiksi kaksisuuntaisia

Taulukko 2. LVDC- ja 400V AC-jakeluverkkojen ominaisuuksien vertailu. [12]

5.3 Sähkömarkkinat

Sähköverkon tehtävänä on siirtää voimaloissa tuotettua sähköä käyttäjille luotettavasti ja varmasti. Sähkö on siis kaikille Suomessa asuville ihmisille peruspalvelu. Suomessa on tällä hetkellä noin kolme miljoonaa sähkökäyttäjää. Vaikka tilanne Suomessa on sähkösaannin osalta vakaata, on maailmassa tällä hetkellä puolitoista miljardia ihmistä ilman sähköä. Suurin osa näistä ihmisistä asuu syrjäisillä seuduilla. Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n tutkimuksen mukaan saarekeverkko (microgrid) teknologiat voisivat tuoda sähkön syrjäseutujen asukkaille, jotka elävät hyvinkin kaukana varsinaisesta kantaverkosta.

5.3.1 Verkoston saneeraaminen

Sähkönjakelussa on perinteisesti käytetty 20 kV:n keskijännitettä sekä 400V pienjännitettä. Muutamissa paikoissa on myös ollut 400V:n jännitteen korvaajana kokeiltu 1 kV:n tekniikkaa. 1kV:n jakeluverkko on pienjännitedirektiivin mukaan pienjänniteverkko. Tästä huolimatta sitä käytetään keskijänniteverkon tavoin, koska molempien verkkojen kuormituksina ovat jakelumuuntajat. Yhtenä 1 kV:n jakelujärjestelmien yleistymisen esteenä on ollut verkkoon asennettavien muuntajien korkea hinta, sekä verkon suojaus. 1kV:n järjestelmien testajana Suomessa on ollut Suur-Savon sähkö Oy.

Haja-asutusalueilla jakeluverkko on alun perin rakennettu ilmajohdoilla, joiden toiminta on hyvin altis ilmastollisille muutoksille. Verkkoyhtiöt ovatkin alkaneet saneeraamaan jakeluverkkoja maakaapelia käyttäen. Keskijännite maakaapeloinnin yksi merkittävä haittatekijä on sen kallis hinta suhteessa vastaavaan pienjänniteverkkoon. Kyseinen ongelma olisi mahdollista ratkaista LVDC-tekniikan avulla, sillä se sallii pidemmät jake-

luetäisyydet. Myös verkkoon asennettavat suuntaajalaitteet pystyisivät korjaamaan mahdollisesti esiintyviä jännitepudotuksia. Esimerkiksi LVDC Rules-hankkeen yhtenä osapuolena oleva Elenia Oy on arvioinut, että heidän jakeluverkossaan esiintyy noin 7000 kilometriä verkkoa, joka olisi korvattavissa LVDC-tekniikalla.

5.3.2 Hajautettu energiatuotanto

Rakennettaessa kokonaan uutta jakeluverkkoa on LVDC-tekniikka hyödynnettävissä alusta alkaen. Tämän johdosta pienjännitteiset haarat voidaan pitää lyhyinä ja tämän johdosta jakeluverkon suojausalueet saadaan pieniksi, yhden korttelin tai kerrostalon kokoisiksi. Yleisesti voidaan sanoa, että hajautettu energiatuotanto on lisääntymässä. Tuulivoima, pienvesivoima, biovoimalat ja aurinkopaneelit ovat yleisimpiä hajautetun tuotannon muotoja. Hajautettujen tuotantomallien myötä tehon siirtomatkat tulevat lyhenemään, johtuen kulutuspisteiden läheisyydestä itse tuotantopaikkoihin. Tämän seurauksena sähköenergiajärjestelmien hyötysuhde tulee paranemaan. Suomessa aurinkosähkön osuus on alle 0,1 % kokonaistuotannosta. Euroopan tasolla osuus on huomattavasti isompi, esimerkiksi Saksan aurinkosähkön tuotanto on 1500- kertainen verrattuna Suomeen.

Hajautettu energiatuotanto on voimakkaasti kasvava energiateknologian osa-alue, mutta se nähdään myös suhteellisen haasteellisena. Se aiheuttaa ongelmia mm. verkon suojaukselle ja sähkötyöturvallisuudelle. Keskeisin suojaustekninen ongelma liittyy vikavirtojen muuttumiseen, joka voi aiheuttaa virhelaukaisuja jakeluverkoissa.

Hajautetun energiatuotannon kasvun myötä suomalaiselle teknologialle ja osaamiselle tulee tulevaisuudessa olemaan kysyntää. Näin ollen se luo hyviä vientimahdollisuuksia suomalaisille teknologian alan yrityksille. Teknologioista suurinta kasvua odotetaan tuulivoiman sekä aurinkoenergian osalta. Pitkällä tähtäimellä hajautettu energiatuotanto tulee olemaan merkittävässä roolissa energiateknologian viennin kasvussa.

5.4 Liiketoiminta

Sähköverkko liiketoiminta on tähän päivään mennessä ollut hitaasti muuttuvaa. Uuden tekniikan käyttöönoton esteenä on ollut komponenttien elinikä sekä investoinnin takaisinmaksuaika. On myös luonnollista että verkkoyhtiöt odottavat liiketoiminnan kasvua, ennen kuin sitoutuvat kokonaan uuteen tekniikkaan. LVDC-järjestelmiä olisi mah-

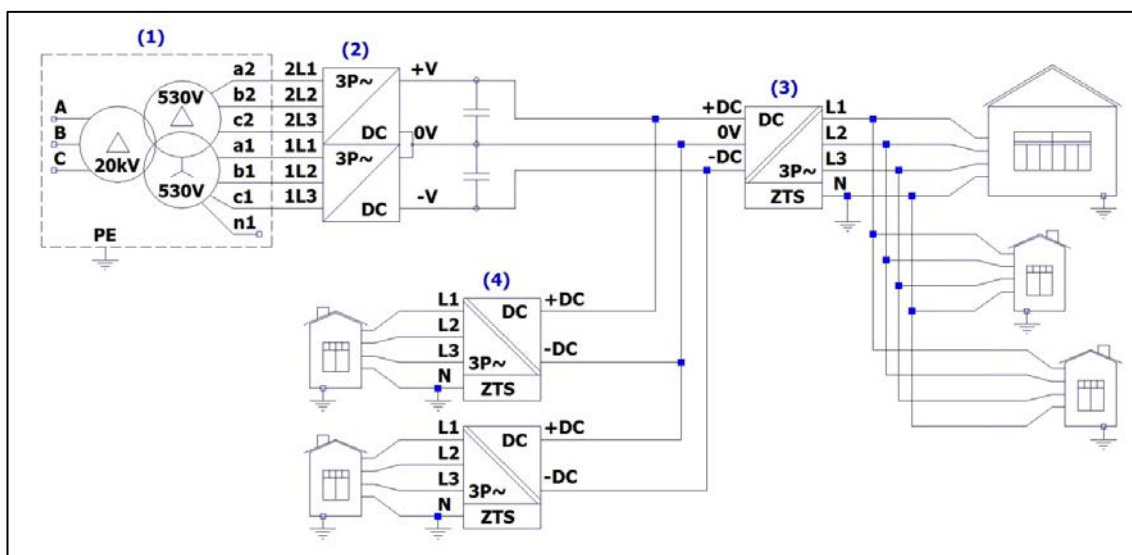
dollista hyödyntää erilaisissa käyttökohteissa: julkisissa sähkönjakeluverkoissa, data-keskuksissa, sähköautoissa, teollisuuskäytöissä, kiinteistöissä sekä hajautetun ja uusiutuvan energian tuotannossa.

Liiketoiminnan huomattava kasvu vaatii alalle uusia toimijoita sekä standardoinnin. Sähköverkko liiketoiminta on perinteisesti ollut hitaasti muuttuva, joten on luontevaa että verkkoyhtiöt odottavat liiketoiminnan kehittymistä ennen sitoutumista täysin uuteen tekniikkaan. Uhkana on, että jos alalle ei saada tarpeeksi toimijoita, ei kilpailuakaan synny.

6 LVDC Rules-hanke

LVDC Rules on osa Tekesin Green Growth – Tie kestäväään talouteen 2011 – 2015 hanketta. Tutkimushankkeen päätavoitteena on tutkia ja kehittää teknologioita ja menetelmiä, jotka mahdollistavat tasasähköjärjestelmien (LVDC) käyttämisen suomalaisessa sähköverkkoympäristössä. Hankkeen toteutuksesta vastaavat Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT, Elenia Oy ja Ensto Finland Oy. Lisäksi hanketta ovat ohjaamassa Asset Vision Oy, HSK Sähkö Oy, PEQS Engineering ja Visedo Oy.

Ensto Finland Oy:n rooli hankkeessa on suuntaajalaitteiden kehittäminen ja laitteiston integroiminen jakeluverkkoyhtiön ICT-järjestelmään.



Kuva 14. LVDC-verkon rakenne, esimerkki verkko

6.1 Liiketoiminnan arviointi

LVDC Rules-hankkeen liiketoiminnan arvioinnissa keskitytään yksittäisten komponenttien suunnittelusta, valmistuksesta ja myynnistä kertyvään liikevaihtoon. Toiminnallisen verkon käyttöön tarvitaan lisäksi muitakin investointeja mm. verkon suunnittelua, käyttöönottoa ja huoltotoimia.

LVDC Rules-hankkeen arvioidaan tuottavan aluksi vain vähän liikevaihtoa, joten projektiin tehtyjä investointeja ei saada takaisinmaksettua ensimmäisten vuosien aikana. Teknologian katsotaan kuitenkin olevan sen verran lupaava, että siihen kannattaa panostaa. Yleisesti kuitenkin uskotaan että LVDC-tekniikka tulee yleistymään 5-10 vuoden kuluessa.

	2018 [k€]	2019 [k€]	2020 [k€]	2025 [k€]
Liikevaihto	100	200	500	10 000
Viennin arvo	0	0	200	5000
Henkilöstövaikutus	1	2	4	20

Taulukko 3. Liiketoiminnan arviointi tulevina vuosina

6.2 LVDC-hankkeen määrittely ja tavoitteet

LVDC Rules-hankkeen toteuttavat yhteistyössä Elenia Oy, Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT ja Ensto Finland Oy. Jokainen osapuoli laatii oman hankesuunnitelman, jossa kuvataan jokaisen osallistujan rooli hankkeessa. Tämän työn osalta keskitytään Ensto Finland Oy:n tavoitteisiin, ja ne ovat listattuna seuraavassa:

1. Määrittää ja kehittää vaatimukset täyttävät kaksisuuntaiset muuttajalaitteet
2. Laatia suunnittelukäsikirja, joka käsittelee LVDC-jakeluverkon suunnittelua, asentamista, käyttöönottoa ja operointia
3. Määrittää tarvittavat suojaustoiminnot ja verkon topologia
4. Toteuttaa LVDC-jakuverkon komponenttien liittyminen asiakkaan (Elenia Oy) IT-järjestelmään
5. LVDC-jakeluverkon teknistaloudelliset suuret laskennallisesti ja todellisessa verkkoympäristössä. Tämän lisäksi vertaillaan kilpailevien AC-verkkojen ominaisuuksia
6. Määrittää tarvittavien LVDC-komponenttien tyyppihyväksyntävaatimukset
7. Ohjata työryhmää, joka määrittelee LVDC-tekniikalle tarvittavat standardit

6.3 Aikataulu

Elenia Oy:n kanssa toteutettava LVDC Rules-hanke jaetaan neljään eri osaan: määrittely-, tuotekehitys-, käyttöönotto- ja testausvaihe. Projektin pääetapit määritellään Enston Life Cycle Management-prosessin mukaan seuraavasti:

E0	Esitutkimus ja vaatimusten määrittely, päätös suunnittelun aloittamisesta
E1	Projektisuunnittelu ja tuotemäärittely, päätös vaatimusten jäädyttämisestä
E2	Tuotesuunnittelu, päätös ostotoimintojen aloittamisesta
E3	Testaus ja validointi, päätös massatuotannon aloittamisesta
E4	Ramp-up, laitetoimitukset, asennukset ja raportointi

Taulukko 4. Ensto LCM-prosessin etapit E0-E4

Projektin päävaiheiden aikataulu jakaantuu vuoden 2017 loppuun, jolloin projektin testiverkon on tarkoitus olla valmiina. Tämän työn osalta pääpaino on ICT-puolen tutkimisessa, ja sen on tarkoitus olla valmis vuoden 2016 loppuun mennessä. Päävaiheiden aikataulu on esitetty alla olevassa taulukossa.

2015				2016				2017			
Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
	E0										
			E1								
							E2				
									E3		
											E4

Taulukko 5. Projektin päävaiheiden aikataulu.

6.4 Resurssit ja kustannukset

Projektissa Enstolle syntyvät kustannukset tulevat pääosin suunnitteluhenkilöstön palkoista, ja kehitystyön aikana valmistettavien prototyyppien valmistuskustannuksista. Tämän lisäksi kustannuksia syntyy valmistettavien laitteiden hyväksyttämiseen kertyvistä kuluista. Pääosa Enstolle kertyvistä kustannuksista tulee vuodelle 2016, koska silloin suunnittelu- ja kehitysprojektit ovat aktiivisimpia.

LVDC Rules-hankkeen kokonaiskustannus on noin 600 000€ ja osa siitä on TEKESin tukemaa.

Ensto osalta projektin resurssit on esitelty taulukossa 6.

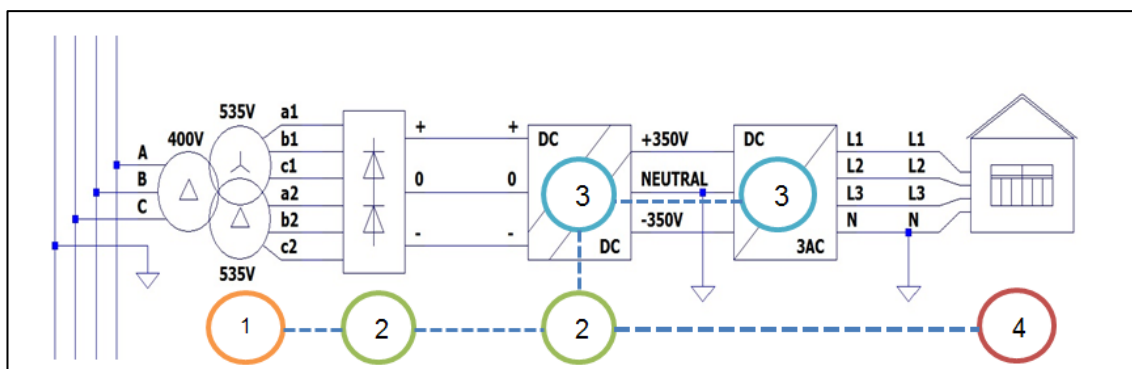
Henkilö	Tehtävä	Kuormitusaste [%]		
		2015	2016	2017
N.N	Ohjelmistosuunnittelija, IT-järjestelmät	0	15	0
N.N	NPI, Uusien tuotteiden Teollistaminen	0	13	23
N.N	Järjestelmäsuunnittelija, Elektroniikkasuunnittelu	21	54	27
N.N	Laitesuunnittelija, PCB-suunnittelu, do- kumentaatio	0	45	0
N.N	Ohjelmistosuunnittelija, DSP-ohjelmistot	0	90	11
N.N	Pääsuunnittelija, Tehoelektroniikka, laitesuunnittelu	8	90	23
N.N	Mekaniikkasuunnittelija, Jäähdytys, kotelointi	0	25	0
N.N	Projektipäällikkö, Projektin suunnittelu ja johtaminen	4	18	14

Taulukko 6. Enston resurssit hankkeessa.

7 LVDC-RULES hankkeen kommunikointi

7.1 Rakenne ja vaatimukset

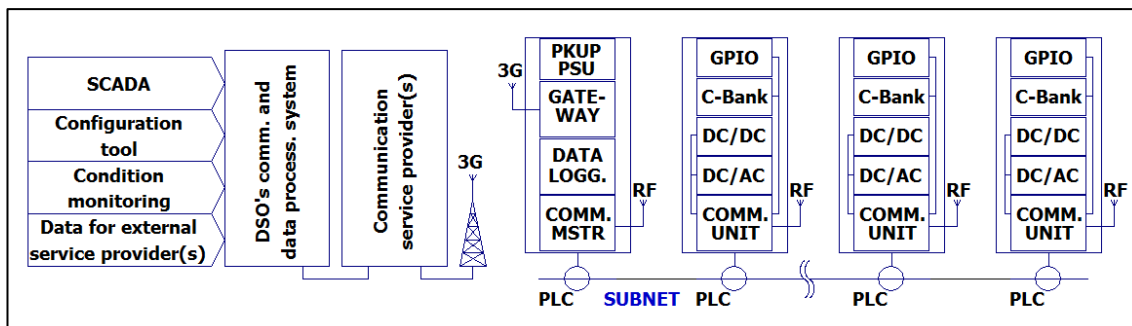
LVDC Rules-hankkeen arkkitehtuuri sisältää Enston puolelta DC-DC-, DC-AC-, AC-DC-muuntimet ja lisäksi järjestelmän yleisen ICT-järjestelmän. Tilaajan puolelta on hankkeeseen tullut vaatimuksia liittyen järjestelmän sisäiseen kommunikointiin. ICT-järjestelmän pääperiaate ja tilaajan vaatimukset on esitetty alla olevassa kuvassa ja listauksessa.



Kuva 15. LVDC Rules-hankkeen ICT-järjestelmän periaate

Tilaajan (Elenia Oy) puolelta järjestelmän kommunikaatio vaatimuksina ovat seuraavat osat:

1. Yhteys ELENIA Oy:n pääjärjestelmään Scadaan ja konfigurointi työkaluun.
2. Verkkoon asennettavien laitteiden välinen kommunikointi, mahdollisesti ohjelmiston päivitys etänä pitää olla mukana.
3. Muuntimien välinen sisäinen kommunikointi



Kuva 16. LVDC Rules-hankkeen kommunikointijärjestelmän kuvaus.

7.2 LoRa,

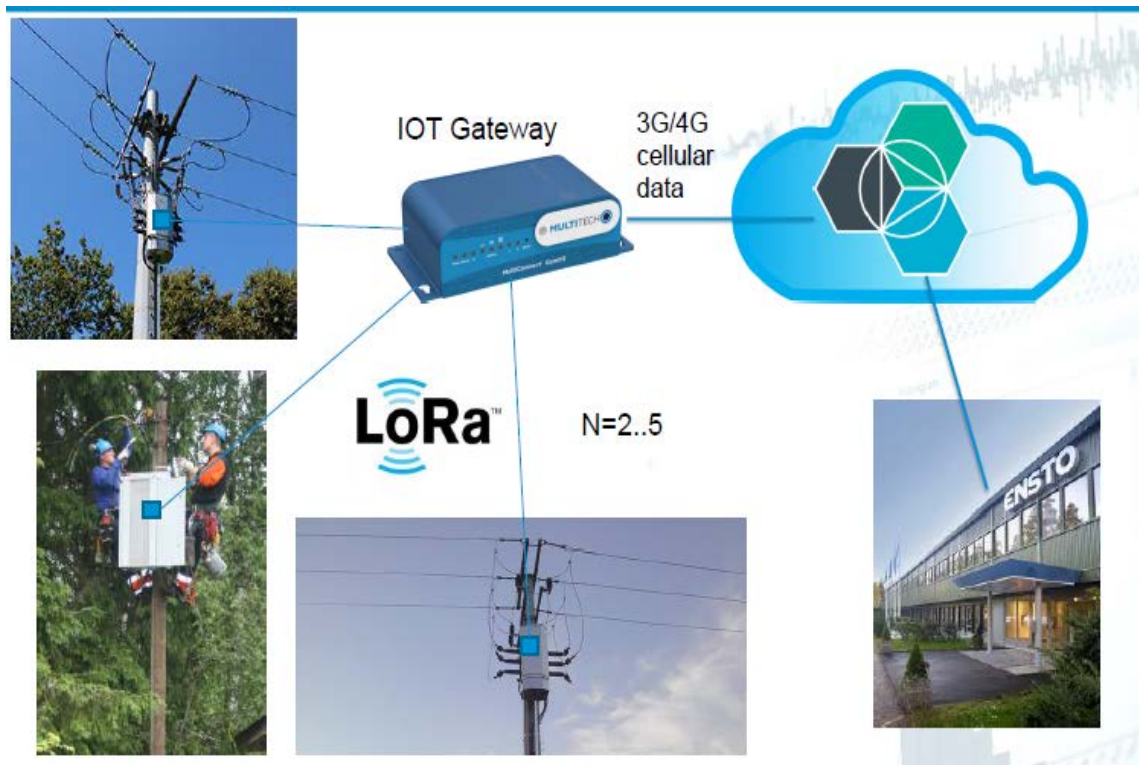
LoRa (Low Power Wide Area Network) on uuden sukupolven radioteknologia, joka on suunnattu erityisesti asioiden ja teollisen internetin sovellusten tarpeisiin. LoRa-tekniikan etuja ovat erinomainen kantama, pieni virrankulutus, hyvä tietoturva ja hyvä esteiden läpäisykyky. Näiden ominaisuuksien lisäksi LoRa-tekniikka on täysin kaksisuuntainen, eli se mahdollistaa myös etähallintasovellukset. Kuva alla Espotel ELMO-alusta.



Kuva 17. Espotel ELMO LoRa-alusta.

LoRa-tekniikan yhtenä isona etuna on sen pieni virrankulutus, muutamalla sormiparistolla laite voi toimia jopa 10 vuoden ajan. Tiedonsiirtonopeus tekniikassa vaihtelee riippuen sovelluksesta, keskimäärin voidaan sanoa että dataa liikkuu LoRa-järjestelmissä 100–300 kbit/s siirtonopeudella. Hyvän tietoturvan ansiosta dataa liikkuu järjestelmässä salattuna, joten hyökkäysten mahdollisuus on minimoitu. Verrattuna Zigbee- ja Bluetooth-tekniikoihin, LoRan merkittävin etu on kantama. LoRa-linkin kantama esteettömässä ulkotilassa voi olla jopa 15 kilometrin luokkaa.

Suomessa Espotel on yksi edelläkävijöistä LoRa-tekniikan kehityksessä, ja Suomen ensimmäinen LoRa-teknologiaan perustuva radioverkon ykkösvaihe on käytössä Espoossa. Espotel on osana vuonna 2015 perustettua LoRa Allianssia, joka tähtää LoRaWAN-protokollan maailmanlaajuiseen käyttöönottoon.



Kuva 18. LoRa-järjestelmän periaate sähköverkko käytössä.

7.3 PLC

PLC eli Power Line communication tai toisella nimellä tunnettu datasähkö on sähköverkoissa käytetty tiedonsiirtomenetelmä. Datasähkö ei ole uusi keksintö, vaan sen historia on lähtöisin 1920-luvulta, jolloin ensimmäiset kantoaaltotaajuuteen perustuvat datalähetykset toteutettiin suurjännitelinjaa pitkin. Suomessa ensimmäiset sähköverkot rakennettiin noin sata vuotta sitten. Sähköverkkojen rakenne oli tuolloin lähes sama kuin mitä se on tänä päivänä. Alun perin sähköverkkoja ei suunniteltu tiedonsiirtoon.

PLC-tekniikan toimintaperiaate perustuu lyhyesti kuvattuna informaatiota sisältävän signaalin modulointiin. Tiedonsiirrossa joudutaan käyttämään laajaa taajuusaluetta, jotta signaalin häiriökestävyys olisi mahdollisimman hyvä. Vaikka yhdellä taajuusalueella tapahtuisi häiriö, se ei merkitsisi koko taajuusalueen joutumista häiriön alaiseksi.

PLC-signaalin signaalitaajuus on korkeampi verrattuna sähköjakelussa käytettyyn 50Hz:n taajuuteen nähden. European Committee for Electronical Standardization (GENELEC) määrittelemän standardin EN 50065 mukaan energialaitokset saavat käyttää EU-alueella 3-95 kHz:n taajuuskaistaa PLC-tekniikan yhteydessä.

PLC-tekniikan edut ja haitat ovat esitetty alla olevassa taulukossa.

EDUT	HAITAT
Infrastruktuu ri valmiina	Säteilyhäiriöt
Ei tiedonsiirtomaksuja	Häiriöaltis sähköverkko
	Kenttävoimakkuudet sisätiloissa
	LED-teknologia
	Elektroniset kuormat (esim. taajuusmuuttajat ja purkauslamput)
	Standardointi

Taulukko 8. PLC-tekniikan edut ja haitat.

Tietoturvan osalta PLC-tekniikka on muiden järjestelmien tapaan myös altis erilaisille tietosuojahyökkäyksille. Yleisin PLC-tekniikassa käytetty suojamenetelmä perustuu AES-128-salaukseen (Advance Encryption Standard), joka estää viestien manipuloinnin ja salakuuntelun.

LVDC-testiverkon yhteydessä tullaan käyttämään ST7590 QFN-48 PLC-modeemia, jossa on valmiiksi AES-128-salaus integroituna. Modeemin avulla järjestelmän muunnitimet pystyvät kommunikoimaan keskenään.



Kuva 19. ST7590 QFN-48 PLC-modeemi.

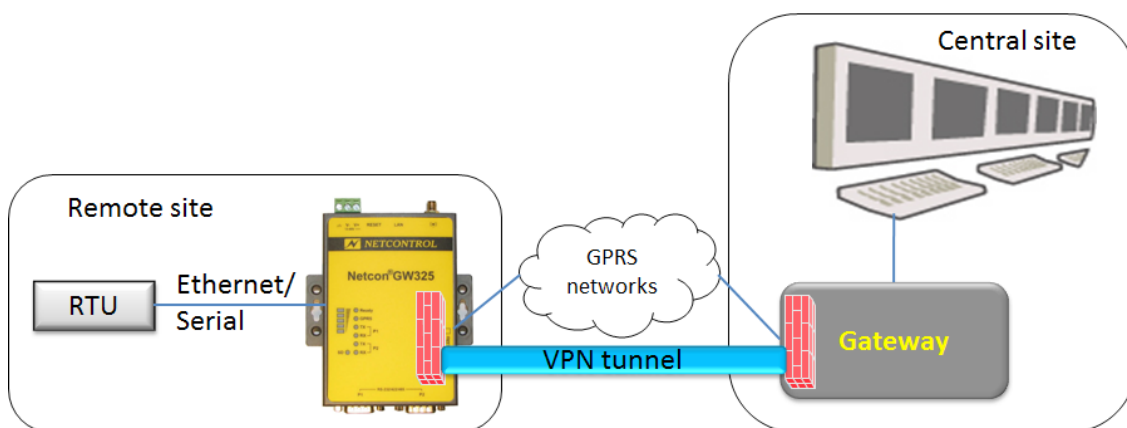
7.4 GSM, 3G/4G/5G

Suomi on mobilidatan käytössä maailman kärkimaita maan asukaslukuun suhteutettuna. Lisäksi Suomessa on maailman kahdeksanneksi nopein langaton internet-yhteys. Tieto ilmenee Aalto-yliopiston tekemästä selvityksestä.

Suomi on ollut yksi edelläkävijä 5G-verkon kehityksessä. 5G tulee merkitsemään isoa muutosta tiedonsiirrossa, koska se mahdollistaa entistä nopeammat ja luotettavammat verkkoyhteydet. Verkon viive tulee olemaan huomattavasti lyhyempi kuin nykyisissä verkoissa, ja se tulee mahdollistamaan uusia palveluja jotka helpottavat ihmisten elämää. 5G verkkoa voidaan hyödyntää mm. liikenteessä ja terveydenhuollossa. Tiedonsiirtonopeus verrattuna nykyiseen 4G-verkkoon tulee olemaan jopa satakertainen.

Yhtenä 5G-verkon kehityksen rajoittavana tekijänä voi olla sen kalleus. Kuluttajille tämä tarkoittaa mm. uusien päätelaitteiden hankintaa. Verkon on ajateltu leviävän yleiseen käyttöön vuoden 2020 jälkeen.

LVDC Rules-hankkeessa Gateway-yhteyttä käytetään järjestelmän kommunikointiin Elenian Scada-järjestelmään. Tähän yhteyteen tullaan käyttämään Netcontrol Oy:n GW325-gatewayä, jossa on sisäinen protokollamuunnin IEC104-standardista Modbus:iin. Gatewayn etuna on erittäin korkea tietosuoja, ja se perustuu VPN-pohjaiseen tekniikkaan. [11].



Kuva 20. Netcontrol GW325-Gateway toimintaperiaate. [11]

8 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää teollisen internetin hyötyjä Enston Power Electronics Solutions tuotteiden käytössä. Jo käytössä olevista laitteista, Jännitekorottaja (Voltage Booster), Jännitesäätäjä (Voltage Controller) sekä Vaihebalansoija (Phase Balancer) on mahdollista saada huomattavasti enemmän hyötyjä teollisen internetin avulla muun muassa puhuttaessa huollon tarpeen arvioinnista. Laitteiden ollessa kytkettynä verkko-operaattoreiden omiin järjestelmiin, pystytään niiden tilaa valvomaan reaaliaikaisesti. Tällä hetkellä käytössä oleva Viola Systemsin ohella Suomesta löytyy monia muita vastaavanlaisen palvelun tarjoajia, esimerkkinä voidaan mainita TosiBox Oy. Yhteyden muodostus TosiBox Oy:n tuotteissa perustuu Avainlukkoyhdistelmän luomiseen laitteiden välillä. Lisäksi sen eduiksi luetaan helppokäyttöisyys ja tietoturva.

Työn toisessa osassa keskityttiin tutkimusasteella olevan pienjännitteisen tasasähköverkon rakenteeseen, toimintaan ja mahdollisiin käyttökohteisiin tulevaisuudessa. Testiverkon on tarkoitus valmistua vuoden 2017 loppupuolella, ja opinnäytetyötä tehdessä oli verkon kommunikointiosa vielä tutkimusasteella. Tutkittavista kommunikointimenetelmistä erityisesti 3G/4G-tekniikka on valikoitunut varmaksi menetelmäksi. Lisäksi järjestelmän sisäinen (muuntimien) välinen yhteysmuoto tulee perustumaan PLC-tekniikkaan. Laboratorio-olosuhteissa testauksessa on ollut ST7590 QFN-48 PLC-modeemi. Kyseisen modeemin yksi merkittävimmistä eduista on se että se sisältää valmiiksi AES-128-salauksen.

Pilottihankkeen edetessä myös muita mielenkiintoisia uuden sukupolven kommunikointiteknologioita on noussut esille. Yhtenä esimerkkinä voidaan mainita Sigfox, joka on hyvin pitkälti LoRa-tekniikan kaltainen nimenomaan teollisen internetin käyttöön soveltuva radiotekniikka. Sigfox:n kehittäjänä on toiminut ranskalainen yritys, ja ensimmäiset palveluille tarkoitetut verkot avattiin käyttöön vuonna 2013 Ranskassa ja Espanjassa. Suomessa Connected Finland on ollut vetämässä ja rakentamassa ensimmäistä sigfox-ekosysteemiä, ja sen kaupallinen käyttö on tarkoitus aloittaa syyskuussa 2016. Yhtenä Sigfox-tekniikan etuna on vähävirtaisuus, edullinen hinta ja signaalin hyvä kantama. LTE, LoRa ja Sigfox-tekniikoiden eroja vertailtiin opinnäytetyön luvussa 3.1 ja tarkemmin taulukossa 1.

Opinnäytetyön edetessä vastaan tuli myös avoimeen LPWAN-teknologiaan perustuva Weightless. Se on julkaistu vuonna 2012, ja toiminta perustuu M2M- (Machine to Machine) datan liikkumiseen tukiaseman ja kohteiden laitteen välillä.

Nähtäväksi jää tulevatko puhtaasti IoT:n käyttöön tarkoitetut kommunikointimenetelmät yleistymään sähköverkkorakentamisessa tulevina vuosina. Teollinen internet tulee kuitenkin olemaan maailmanlaajuisesti iso asia.

Lähivuosina verkkoon liitettävien laitteiden määrä tulee kasvamaan räjähdysmäisesti. Mikä tulee olemaan merkittävin tekniikka IoT:n tiedonsiirrossa on vaikea arvioida, mutta useat verkot tulevat toimimaan rinnakkain ja eri käyttötarkoituksissa. Kirjassa "Teollinen internet" Jari Collin ja Ari Saarelainen toteavat lopuksi, että *"Älykkäät verkkoon kytetyt tuotteet ja palvelut tulevat muuttamaan ihmisten arkea vähintään samassa mitta-kaavassa kuin mitä matkapuhelimien esiinmarssi sai aikaan 20–30 vuotta sitten"* [1]

Lähteet

- 1 Teollinen Internet, Jari Collin, Ari Saarelainen Talentum Media Oy 2016
- 2 The Internet of Things for Dummies, CGI Edition, John Wiley & Sons Ltd.
- 3 Wikipedia: teollinen internet – Internet of Things
- 4 Pilvipalveluiden turvallisuus "Mitä organisaatioiden tulisi huomioida pilvipalveluja hyödynnettäessä" Viestintävirasto, Kyberturvallisuuskeskus
- 5 Internet artikkeli: "Using lights for communications? Haas? PureLiFi, see the brighter future by Nancy Owano.
<https://techxplora.com/news/2015-11-haas-purelifi-brighter-future.html>
- 6 Internet sivusto, Suomen Standardoimisliiton SFS ry, IT-standardointi
http://www.sfs.fi/standardien_laadinta/sfs_n_tekniset_komiteat_ja_seurantaryhmat/it-standardisointi/it_-_aihealueet/esineiden_internet
- 7 Thomas Mata, Esineiden Internet standardit ja protokollat, opinnäytetyö, Haaga-Helia ammattikorkeakoulu Oy, 2015
- 8 Salo I, Cloud computing – palvelut verkossa, WSOY-Docendo 2010
- 9 Jaakko Kosonen, Tietoturva pilvipalveluissa, Jyväskylän yliopisto 2015
- 10 Tapio Rantanen, Pilvipalvelut Case: WPK-verkko, Tampereen Ammattikorkeakoulu 2012
- 11 Tommi Huhtinen, Pienjännitteisen tasasähköjakelun hyödyntäminen ja siihen liittyvä tutkimus maailmalla, Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2015
- 12 Jarmo Partanen, Tehoelektroniikka sähköjakelussa – Pienjännitteinen tasasähköjakelu, Lappeenrannan teknillinen Yliopisto, 2010
- 13 Salman Khan, Electrical safety of island operated low voltage DC-network, Lappeenranta teknillinen yliopisto 2013
- 14 Asiakastapaaminen Netcontrol Oy. 3.11.2016
- 15 Wiki.metropolia.fi verkkopalvelu – Tietoturvan merkitys ja periaatteet IoT:ssa
<https://wiki.metropolia.fi/display/alykas/Tietoturvan+merkitys+ja+periaatteet+IoT%3Assa>
- 16 F-Secure, Security Cloud – yksityisyyskäytäntö,
https://www.f-secure.com/fi_FI/web/legal/privacy/security-cloud

LIITE 1.

Ensto Phase Balancer kenttätestiraportti



Saves Your Energy

PHASE BALANCER
23.8.2016

1 (4)

PHASE BALANCER KENTTÄTESTI RANTASALMELLA

MITTAUSTULOKSIA VIIKOILLA 25..33/2016
Tarkasteluväli 03.06.2016 0:00 – 22.06.2016 17:21,
Phase Balancer poiskytettynä — (ei poiskytöntöjä tarkastelujaksolla)
Mittausnäytteitä yhteensä 84 054 kpl.

1 JÄNNITEVAIHTELUT

Tarkkailujakson aikana jännitteet vaihtelivat Taulukko 1:ssä esitetyillä vaihteluväleillä.

Kuva 1:ssä ja Kuva 2:ssa on esitetty tyypillisiä vuorokausia. Tarkastelujakson vinokuormituksen huippu tapahtui 10.7.2016 11:26. Tällöin L3-vaiheen jännite laski 221 V:iin ja siirrosvirta oli 17 A.

Taulukko 1: Jännitteiden vaihteluvälit ja keskiarvot, laite aktiivisena koko ajan

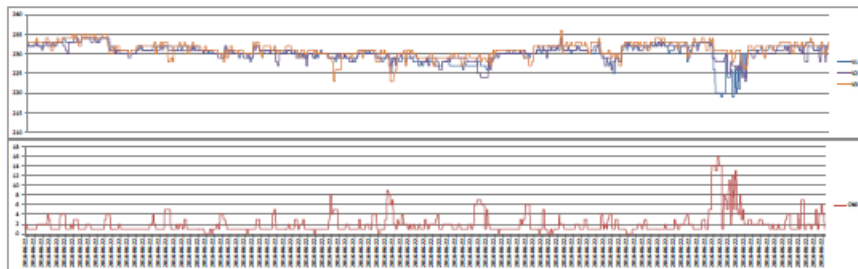
Viikko	Min L1 / L2 / L3 [V]	Max L1 / L2 / L3 [V]	Ave L1 / L2 / L3 [V]
25	219 / 222 / 220	235 / 235 / 236	230,43 / 230,52 / 231,10
26	222 / 219 / 222	235 / 235 / 236	231,26 / 231,24 / 231,40
27	209 / 210 / 212	235 / 235 / 236	229,53 / 230,45 / 230,88
28	223 / 222 / 219	235 / 235 / 236	231,03 / 230,86 / 231,19
29	224 / 222 / 221	235 / 235 / 236	230,91 / 230,42 / 231,07
30	222 / 220 / 222	236 / 235 / 236	230,78 / 230,28 / 231,08
31	218 / 221 / 221	236 / 235 / 237	231,79 / 231,76 / 232,03
32	221 / 221 / 221	236 / 236 / 236	230,36 / 231,16 / 231,65
33	224 / 222 / 224	235 / 235 / 236	231,25 / 231,45 / 231,95



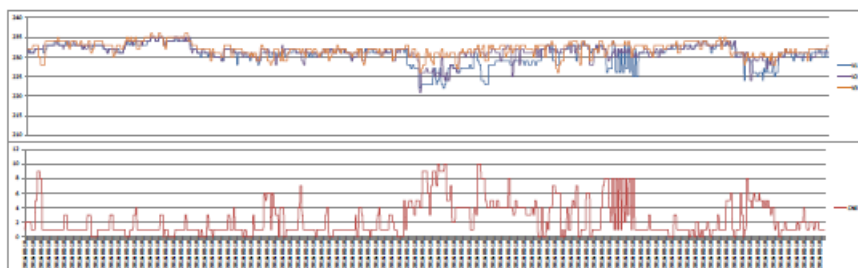
Saves Your Energy

PHASE BALANCER
23.8.2016

2 (4)



Kuva 1: Vaihejännitteet ja siirrosvirta keskiviikkona 22.6.2016.



Kuva 2: Vaihejännitteet ja siirrosvirta keskiviikkona 10.8.2016.

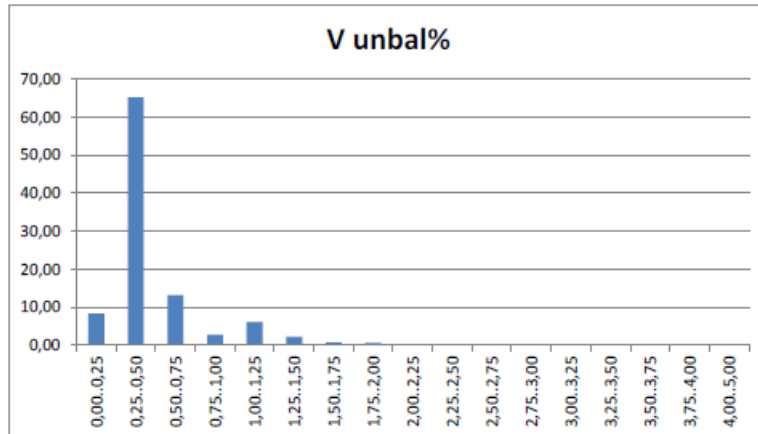
2 TASAPAINOTUSKYKY

Jakeluverkon ollessa tasapainossa kaikissa vaiheissa vaikuttaa sama jännite. Verkon hetkellistä tasapainoa kuvataan indeksillä, jossa kunkin vaiheen jännitettä verrataan kaikkien vaihejännitteiden sen hetkiseen keskiarvoon. Täydellisessä tasapainossa indeksin arvoksi tulee nolla.

Tarkastelujaksolla mitatuista jännitteistä lasketut indeksit vaihtelivat Taulukko 2:n mukaisesti. Indeksien jakauma viikolla 25 on esitetty Kuva 3:ssa. Laite oli aktiivisena koko tarkastelujakson. Verkon epätasapaino on suurimman osan ajasta ollut alle 0,5%, suurimman poikkeaman ollessa 3,11%. Vaiheiden keskimääräinen kuormitus on hyvin tasapainossa, L3:n kuormitus on kevein.

Taulukko 2: Vaiheiden tasapainoindeksit

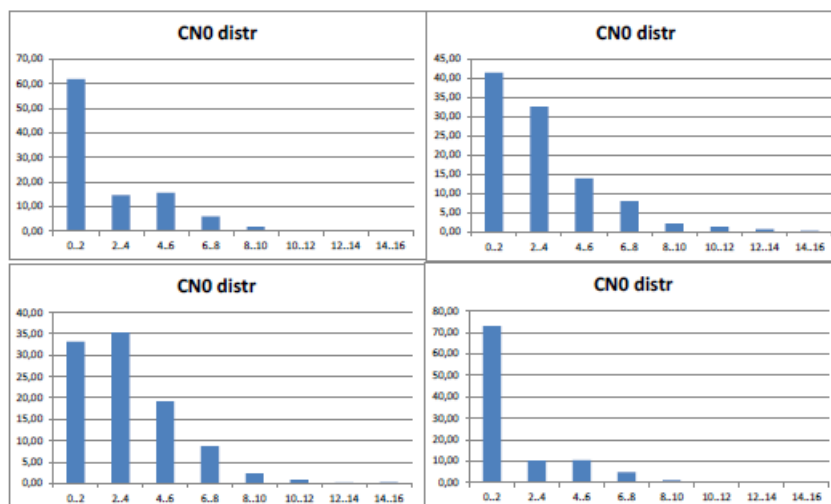
Viikko	Min L1 / L2 / L3 [%]	Max L1 / L2 / L3 [%]	Ave L1 / L2 / L3 [%]
25	-3,10 / -2,19 / -2,08	+1,33 / +1,48 / +2,36	-0,11 / -0,07 / +0,18
26	-2,06 / -2,09 / -2,03	+1,48 / +1,45 / +1,94	-0,02 / -0,03 / +0,04
27	-2,80 / -1,90 / -2,64	+1,63 / +2,08 / +2,35	-0,33 / +0,07 / +0,26
28	-2,34 / -2,63 / -2,80	+1,47 / +2,09 / +1,75	0,00 / -0,07 / +0,07
29	-1,31 / -2,61 / -1,92	+1,63 / +1,32 / +1,75	+0,05 / -0,16 / +0,12
30	-2,35 / -2,80 / -2,33	+2,06 / +1,31 / +1,75	+0,03 / -0,19 / +0,16
31	-3,11 / -2,20 / -2,21	+1,76 / +1,45 / +2,23	-0,03 / -0,04 / +0,07
32	-2,64 / -2,03 / -2,21	+1,16 / +1,78 / +2,05	-0,30 / +0,05 / +0,26
33	-2,33 / -2,20 / -1,60	+1,32 / +1,90 / +1,60	-0,13 / -0,04 / +0,17



Kuva 3: Tasapainotusindeksien jakauma, Phase Balancer aktiivisena, viikko 25.

3 SIIRROSVIR RAT

Siirrettävä tasapainotusvirta kevennetään 0-johdimesta ja sillä kuormitetaan vaihejohtimia kulloinkin vallitsevan tilanteen mukaisesti. Tarkastelujakson aikana suurin siirrosvirta oli 17A, viikottainen keskimääräinen siirrosvirta vaihteli välillä 1,70...2,82A.



Kuva 4: Hetkittäisten siirrosvirtojen jakauma % vs A, viikot 26, 27, 30 ja 31

4 MUUTA

Ei aktiivisia hälytyksiä.

Salamapaikantimen mukaan kesän aikana yksi isku on osunut parin sadan metrin päähän testilaitteesta.

Mittauskäskyjä antava palvelin aiheuttaa mittavirtaan katkoksia edelleen.