



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Olli Rouru

MOBIILIN

PUISTOMUUNTAMODEMONSTROINTI PERÄVAUNUN SÄHKÖSUUNNITELMA

Tekniikka ja liikenne
2015

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy:n Distribution Automationin Grid Automation -ryhmälle osana Vaasan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelmaa. Ohjaajinani toimivat ABB:n puolelta DI Tuomas Vanhanen ja ammattikorkeakoulun puolelta sähkötekniikan lehtori Jari Koski.

Haluan kiittää ohjaajiani hyvästä ohjaamisesta, sekä tiiminvetäjiä Ari Fagerroossia ja Satu Bergia tämän opinnäytetyön mahdollistamisesta. Kiitokset myös suunnittelija Toni Korhoselle ohjeistuksesta ja avusta, sekä muille opinnäytetyössä auttaneille henkilöille.

1.4.2015 Vaasa

Olli Rouru

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Olli Rouru
Opinnäytetyön nimi	Mobiilin puistomuuntamodemonstroitiperävaunun sähkösuunnitelma
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	38
Ohjaaja	Jari Koski

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi Distribution Automationin Grid Automation -ryhmä.

Vanhoja verkkoja modernisoidaan ja automaatiota tuodaan sähköasemilta muuntamoihin. Demonstroinnilla esitellään ABB:n ratkaisuja keskijänniteverkkojen automatisointiin. Tehtävänäni oli toimia sähkösuunnittelijana Grid Automation -ryhmässä demonstroitivaunun ohjainkaapin osalta.

Työn taustalla oli projekti, jossa tarkoituksena oli saada hyvä työkalu myyjille, jolla he voivat esitellä paremmin keskijännitemuuntamon sisällä olevia kalusteita ja erityisesti sen ohjainkaappia ja sen tuomia automaatio- ja etäkäyttömahdollisuuksia. Työn pääasiallisena tehtävänä oli suunnitella ohjainkaapin ja keskijännitekojeiston kytkennät, sekä suunnitella LED-valojärjestelmä, jolla pystytään näyttämään helposti kojeiston toiminnallisuuksia.

Lopputuloksena syntyi muuntamoon sijoitettavan ohjainkaapin piirikaaviot ja RTU:n ja LED-valojen välinen piirikaavio, joiden avulla rakennettiin ensimmäinen mobiili puistomuuntamodemonstroitiperävaunu.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Olli Rouru
Title	Mobile distribution substation demonstration trailers electrical design
Year	2015
Language	Finnish
Pages	38
Name of Supervisor	Jari Koski

The thesis was proposed by the Grid Automation team of Distribution automation

Old distribution networks are being modernized and automation is being brought from substations into distribution substations. With this proposed demonstration equipment we present ABBs solution for automation of medium voltage grids. The task was to work as an electrical designer for the grid automation team for the demonstration trailer.

The background of this thesis was project to get a good tool for salesmen, which they can use to better demonstrate the distribution substation and devices used in it especially its control cabinet and automation and remote usage which it brings. The main task of this thesis was to design connections between the control cabinet and medium voltage switchgear and design a LED-light system with which it is easy to demonstrate the functionalities of the switchgear.

The results of the thesis were the circuit diagram for the control cabinet which was located in the distribution substation demonstration and the circuit diagram between LED-lights and RTU. These circuit diagrams were used to create the first demonstration trailer for the mobile distribution substation.

Keywords medium voltage grid, demonstration, control cabinet, distribution automation

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIO JA TAULUKKOLUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Työn kuvaus.....	8
1.2	Toimeksiantaja.....	9
2	ÄLYKÄS SÄHKÖNJAKELUVERKKO	10
2.1	Yleisesti.....	10
2.2	Perinteinen sähköverkko.....	11
2.3	Älykäs sähköjakeluverkko.....	12
2.4	Nykytilanne.....	14
2.5	Keskeisimmät erot perinteisessä ja älykkäässä keskijänniteverkossa .	15
3	PUISTOMUUNTAMOT JAKELUVERKOSSA	17
3.1	Puistomuuntamo perinteisessä jakeluverkossa	17
3.2	Tulevaisuuden tarpeet puistomuuntamoissa	18
3.3	Keskijännitekojeistot.....	19
4	TRAILER DEMO	21
4.1	Käyttötarkoitus.....	21
4.2	Demo-laitteiston toiminnallisuus	22
4.3	Demo-laitteistossa käytettävän keskijännitekojeiston kokoonpano.....	23
4.4	Ohjainkaapin kokoonpano	26
4.5	Akuston mitoitus.....	29
4.6	LED-asetelmien suunnittelu ja niiden liittäminen RTU:hun	31
4.7	Ohjainkaapin piirikaavion toteutus	33
5	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET.....	36

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Esimerkki perinteisestä jakeluverkosta ja vikatilanteen aiheuttamasta sähköttömästä alueesta.

Kuvio 2. Esimerkki älyverkosta ja sen verkostoitumisesta.

Kuvio 3. Trailerissa käytetty puistomuuntamo /17/

Kuvio 4. Demo-laitteiston järjestelmäkaavio

Kuvio 5. Laitteiston sijoituspaikat muuntamossa

Kuvio 6. Demonstraatiossa käytettävän kojeiston käyttöliittymäkuva

Kuvio 7. Ohjainkaappi ja pienjännitekatkaisija demonstraatiomuuntamossa

Kuvio 8. REC615-ohjauslaite /13/

Kuvio 9. RER603, joka on muuten samanlainen kuin käytetty RER601, mutta RER601:ssä ei ole lisä I/O:ta /14/

Kuvio 10. RIO600, kuvassa näkyvä kokoonpano sisältää jännitelähde-, kommunikointi-, digitaalitulo- ja digitaalilähtömoduulin. /15/

Kuvio 11. LED-nauhojen alkuperäinen suunnitelma

Kuvio 12. RTU:n ja LED-valojen riviliitinkytkennät

Kuvio 13. Lopullinen LED-valojen asetelma

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

LED	Light-Emitting Diode eli hohtodiodi tai ledi
RTU	Remote Terminal Unit, etäpääte yksikkö
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition system, kaukokäyttöjärjestelmä
VPN	Virtual Private Network, virtuaalinen erillisverkko
IED	Intelligent Electronic Device, älykäs sähköverkonlaite
RMU	Ring Main Unit, rengassyöttökojeisto
MCB	Miniature Circuit Breaker, automaattisulake

1 JOHDANTO

1.1 Työn kuvaus

Verkostoautomaatiolle on kysyntää lähitulevaisuudessa tiukentuneiden sähkömarkkinalakien takia. Yhtenä vaikuttajana ovat vuoden 2011 myrskyt Hannu ja Tapani, jotka aiheuttivat sähkökatkoksia ympäri Suomea. Katkokset nostivat keskustelujen aiheeksi sähkönjakelun luotettavuuden ja seurauksena lainsäädäntöä haluttiin parantaa, että pitkiltä katkoksilta säästyttäisiin. Älykästä sähköverkon toimintaa myös tarvitaan pientuotannon lisääntyessä.

Työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa älykkään puistomuuntamon mobiili demonstraatiolaitteisto (Demo) Euroopan markkinoille. Demon tarkoituksena on toimia esittelyn apuna messutilaisuuksissa, sekä suoraan asiakkaalle esitellessä. Demo suunniteltiin ABB:n myyntiorganisaation käyttöön. Demon tarkoituksena on edistää puistomuuntamoiden myyntiä. Myyjillä on useita eri tuotteita esiteltävänä, ja kun heille toimitetaan helposti käytettävä demonstrointiväline, pystyvät he paremmin myymään näitä tuotteita.

Peräkärriy itsessään koostuu muuntamokopista, keskijännitekojeistosta, ohjainkaapista, akustosta, LED-valoista, LED-valoja ohjaavasta RTU:sta, sekä valvomosovelluksesta, jolla simuloidaan keskijännitekojeiston normaali- ja vikatiloja. Keskijännitekojeistona käytetään Norjan ABB:n tekemää Ring Main Unit (RMU) yksikköä, jossa on yksi erotinkenttä, katkaisijakenttä ja sulakekenttä. Ohjainkaapissa käytetään REC615-suojarelettä.

Työn pääasiallisena tehtävänä on siis tehdä sähkösuunnitelma, joka yhdistää demoon tulevat laitteet yhdeksi kokonaisuudeksi, sekä varmistamaan akuston suuruus siten, että se kestää 8 tuntia pelkkien akkujen varassa.

1.2 Toimeksiantaja

ABB muodostui ruotsalaisesta Aseasta sekä sveitsiläisestä Brown Boverista, jotka yhdistyivät vuonna 1988. Nykyään ABB on kansainvälinen sähkö- ja automaatiotekniikan kansainvälinen markkinajohtaja. ABB:n toiminta jaetaan viiteen divisioonaan: Discrete Automation and motion, Power Products, Power Systems, Low Voltage Products sekä Process Automation. /1/

Grid Automation on ryhmä Distribution Automation osaston sisällä, joka taas on osa Medium Voltage Productsia. Medium Voltage Products -yksikkö kuuluu Power Products -divisioonaan. Power Products -divisioonaan kuuluu myös Transformers -yksikkö. Suomessa Medium Voltage Products vastaa sähkönjakeluverkon suorareleiden sekä ohjaus-, automaatio ja valvontatuotteiden kehittämisestä, myynnistä ja markkinoinnista. /1/

Suomessa ABB toimii noin 21 paikkakunnalla ja tehdaskeskitymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. ABB on Suomen suurin teollisuuden kunnossäpitäjä ja yksi suurimmista teollisuuden työnantajista. Liikevaihto on noin 2,1 miljardia euroa ja vuonna 2014 tutkimuksen ja tuotekehitykseen käytettiin 204 miljoonaa euroa. Työntekijöitä noin 100 eri maassa, joissa työskentelee noin 140 000 henkilöä, joista Suomessa noin 5 200. /1/

2 ÄLYKÄS SÄHKÖNJAKELUVERKKO

2.1 Yleisesti

Sähkönjakeluverkon tulevaisuuden tarpeet tulevat olemaan huomattavasti monimuotoisemmat kuin mitä nykyinen verkko pystyy toteuttamaan. Kasvava osa sähköntuotannosta siirtyy pienille tuottajille: esimerkiksi tehdas itse tuottaa osan omasta sähköntarpeestaan katolle asetuilla aurinkopaneeleilla tai tuulivoimalalla. Tämän vuoksi tulevaisuuden verkossa on huomattava määrä pientuottajia. Nykyinen sähköverkko ei ole rakennettu tukemaan tällaista, eikä se pysty kantamaan entistä monimuotoisempaa kuormaa loputtomiin. /2/

Tulevaisuuden verkkoihin on kaavailtu akustoja, sillä akuistoilla pystytään tasaamaan verkon kuormituksen piikkejä. Akkuja voidaan ladata kun verkon kuormitus on matala ja purkaa, kun kuormitus on korkea. Esimerkiksi jos sähköauton omistajalle ei ole merkitystä missä vaiheessa iltaa auto ladataan, kunhan auto on aamulla ladattuna, voidaan auton akusto ladata yöllä verkon kuormituksen ollessa vähäinen. Vaihtoehtoisesti voidaan hyväksikäyttää sähkövarastoja, mikäli auto halutaan ladata heti töistä tultaessa eikä oteta energiaa verkosta milloin verkkoa kuormitetaan muutenkin paljon. Sähkövarasto taas voidaan ladata, joko yöllä kuormituksen ollessa matala tai uusiutuvalla energialla päivän hiljaisina hetkinä. Sähkövaraus siirretään varastosta auton akustoon kotiin tultaessa. Tämä vaikuttaa suoraan tasaavasti verkon kuormitukseen. /2/

Reaaliaikaiset mittaukset mahdollistavat kulutuksen tasaamisen tuotannon tasolle, kun saadaan tarkemmat tiedot kulutuksesta. Tarkemmat mittaukset myös antavat paremman kuvan pienjänniteverkon tilasta ja helpottaa kuorman tasapainottamista. /2/

Hyvä kommunikaatioverkko on oleellinen, jotta pystytään seuraamaan reaaliaikaisesti verkkoa syvälläkin sähköverkossa. Kommunikaatioverkko on nykyään 3G- ja 4G-yhteyksien varassa, jotka mahdollistavat suhteellisen nopean

yhteyden ja reagointiajan. Joillain alueilla kommunikatioverkko voidaan rakentaa valokuidulla muuntamoiden ja valvomoiden välille, millä saavutetaan lähes viiveetön yhteys verkon eri osien välille. /2/

Toimitusvarmuusvaatimukset ovat nousseet viime vuosina Tapani ja Hannu -myrskyjen suurien sähkökatkokkien seurauksena. Tämä oli yksi syy mistä johtuen sähkömarkkinalakia kiristettiin toimitusvarmuuden osalta. Jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei saa aiheuttaa asemakaava-alueella verkonkäyttäjille yli 6 tuntia kestäväää sähkönjakelun keskeytystä eikä ne saa aiheuttaa asemakaava-alueen ulkopuolella yli 36 tuntia kestäväää sähkönjakelun keskeytystä. /3/

Toinen esimerkki toimitusvarmuuksien kiristämisestä on Energiategollisuuden ehdottama vuoden 2030 toimitusvarmuuskriteeristön suositukset. Kaupunkialueella keskeytysaika voi olla ainoastaan yksi tunti per henkilö vuodessa, eikä lyhyitä keskeytyksiä (alle kolme minuuttia keskeytyksen kesto) ollenkaan. Taajamissa tavoitetaso sallii enintään 3 tuntia vuodessa kokonaiskeskeytysaikaa ja lyhyiden keskeytysten määrä saa olla enintään 10 kappaletta vuodessa. Maaseudulla kokonaiskeskeytysaika saa olla enintään kuusi tuntia ja lyhyiden keskeytysten määrä enintään 60 kappaletta. /4/

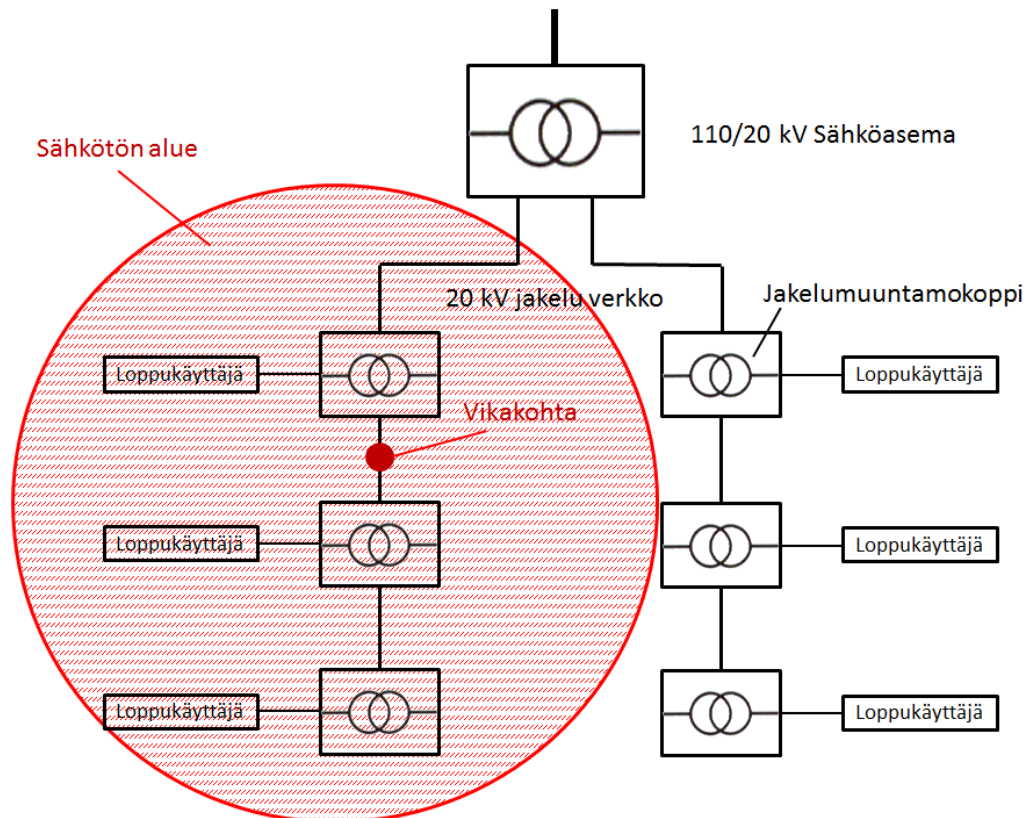
Keskijännitejakeluverkon automatisoinnin mahdollistava teknologia on jo olemassa ja sitä käytetäänkin suurjännitteisillä kytkinkentillä ja teollisuudessa. Jotta keskijänniteverkon toimitusvarmuus saadaan vaaditulle tasolle, edellyttää se olemassa olevan automaation käyttöönottamista keskijännitepuolellakin.

2.2 Perinteinen sähköverkko

Suomessa perinteinen sähköverkko siirtää energiaa yhteen suuntaan, voimalaitoksilta loppukäyttäjälle. Tuotanto on painottunut korkeammille jännitteille. Hajautettu sähköntuotanto on vähäistä ja se on liitettyä keskijänniteverkkoon, eikä 230/400 V pienjännitetuotantoa käytännössä ole. /5/

Perinteisessä siirtoverkossa ei ole paljon automaatiota ja vikojen paikantaminen ja korjaus on hidasta. Verkot ovat alttiita ulkoisille häiriöille ja ovat epävarmoja

varsinkin avojohtoverkoissa, joita käytetään paljon kaupunkialueen ulkopuolella. Mittauslaitteiston puutteellisuuden takia verkon häiriön aikana ei ole välttämättä selvää, missä häiriö on tarkalleen tapahtunut ja vian paikannus vie aikaa. Ohimenevätkin vikatilanteet aiheuttavat keskeytyksen verkkoon, mikä pakottaa verkon takaisinkytkennän manuaalisesti. /2/



Kuvio 1. Esimerkki perinteisestä jakeluverkosta ja vikatilanteen aiheuttamasta sähköttömästä alueesta.

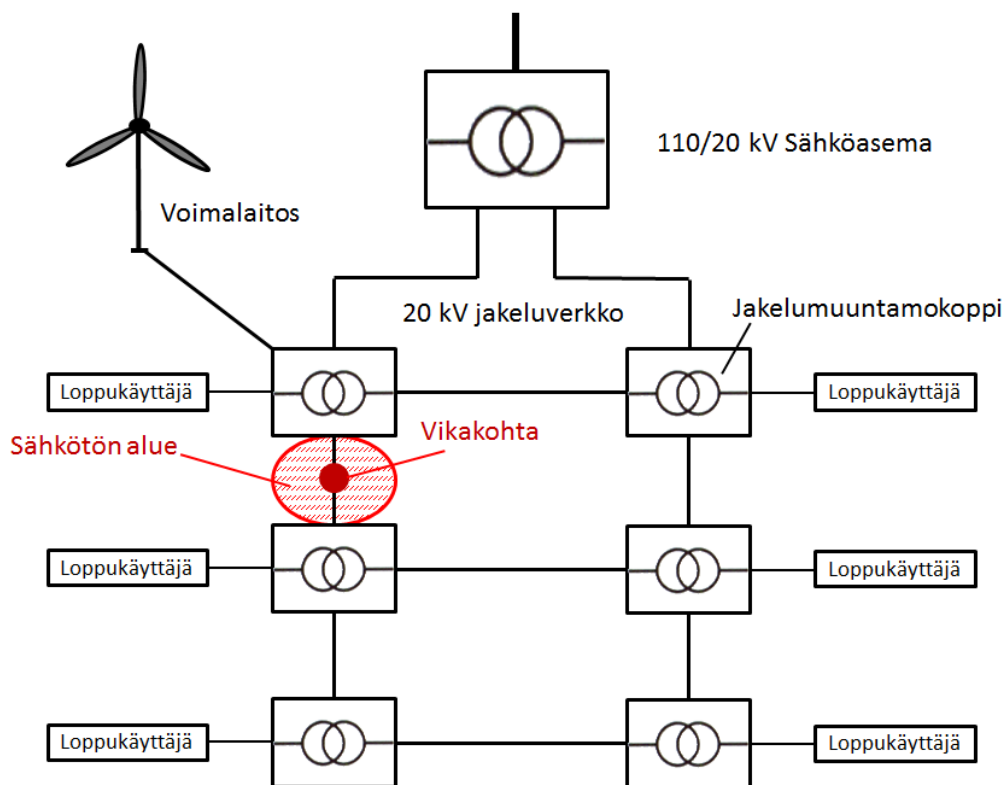
Kuten kuvasta 1 näkee perinteisessä verkossa vika voi aiheuttaa suurelle alueelle sähkökatkoksen, tiputtaa monta asiakasta jännitteettömäksi ja vikakohtan mahdollinen alue on laaja.

2.3 Älykäs sähköjakeluverkko

Älykkään jakeluverkon määritelmä on hyvin epämääräinen. Se on lähimmillään energiajärjestelmien uudistamiskonsepti, missä uudet sähkö- ja tietotekniset

ratkaisut otetaan käyttöön kaikilla energiajärjestelmän alueilla; tuotanto, sähkönsiirtoverkko, jakelu ja kulutus. /6/

Älykkään sähkönsiirtoverkon hierarkia on verkostoitunut ja energian tuotanto on hajautetumpaa ja tehon virtaus on monisuuntaista. Monisuuntaisella tarkoitetaan sitä, että energiaa voidaan syöttää alemmalta jännitteelta ylemmälle, jos alemmassa jänniteverkossa tuotetaan enemmän energiaa kuin kulutetaan. Älykäs sähköverkko skaalautuu, ennakoii ja korjaa itseään automaation avulla, eli vian tapahtuessa sähköjakelulle löytyy uusi reitti automaattisesti. Vian paikannus ja erottaminen tapahtuu automaattisesti ja mahdollistaa nopean toiminnan palauttamisen, mikä vähentää ja lyhentää keskeytyksiä, parhaassa tapauksessa vikat pystytään löytämään ennakoivasti. Älyverkko pystyy myös toimimaan omana saarekkenaan hajautetun tuotannon ja sähkövarastojen avulla laajemman verkkohäiriön aikana. /2/, /7/



Kuvio 2. Esimerkki älyverkosta ja sen verkostoitumisesta.

Sähköerkon verkostoituminen mahdollistaa vikakohtan eristämisen kokonaan muusta verkosta. Tämä yhdistettynä verkon ennakoimiskykyyn mahdollistaa katkottoman sähkönsyötön.

2.4 Nykytilanne

Verkosta saadaan jo nykyisin paljon erilaista mittaustietoa, kytkinlaitteiden tilatietoja, hälytys- ja tapahtumatietoa automaation välityksellä. Tätä automaatiota käytetään pääasiassa 110/20 kV sähköasemilla ja sitä suuremmilla jännitteillä, mutta keskijänniteverkon puolella käytännössä mittalaitteita ei ole asennettu. Koska mittapaikkoja ei ole asennettu, ei keskijänniteverkosta saada vian paikannusta ja eri suureiden mittaukset ovat sähköasemien verkkokatkaisijoiden mittamuuntajien varassa. Tämä tarkoittaa, että vian tapahtuessa tietoa vian sijainnista on suurella alueella ja vian etsintäalue voi olla useita kymmeniä kilometrejä, mikä tarkoittaa, että pelkästään vian paikannukseen kuluu paljon

aikaa. Pahimmassa tapauksessa paikkaa, missä puu on kaatunut linjan päälle, etsitään helikopterin voimin. /8/

Puutteet automaatiassa myös tekevät sen, että verkko ei palaudu ohimenevän vian jälkeen automaattisesti, eikä osaa kytkinlaitteista pystytä ohjaamaan muuten kuin paikanpäältä, mikä tekee jälleenkytkennästä työlästä ja aikaa vievää. Kommunikointia on lisätty langattomilla yhteyksillä ja indikoiteja jakeluverkon muutoksista voidaan saada osasta verkkoa. /8/

Kiristyneeseen sähkömarkkinalakiin vastataan nykyään maakaapeloinnilla, mutta avojohtoverkkojen maakaapelointi on kallista. Automaation lisääminen olemassa oleviin verkkoihin on toinen vaihtoehto maakaapeloinnin tilalle, ja sen kautta toimitusvarmuuksien nostamiseen uusien kriteerien vaatimalle tasolle. Automaation lisääminen ei tule poistamaan maakaapeloinnin tarvetta kokonaan, mutta se vähentää sen tarvetta. /9/

Nykyään osa sähköverkkoyhtiöistä on ottanut pilottihankkeiksi keskijänniteverkon ja pienjänniteverkon automatisoinnin ja modernisoinnin. On alueita, jotka ovat tulevaisuuden sähköverkkojen mallina. Esimerkkinä tästä Helsingin Kalasataman sähkönjakeluverkko, jossa on otettu käyttöön automaatio, uusiutuva energian tuotanto ja energian varastointi. Kalasataman jakeluverkko on myös rakennettu rengasverkoksi ja vian sattuessa sitä pystytään syöttämään useammasta eri suunnasta, mikä mahdollistaa katkottoman sähkönsaannin kiinteistöille. Verkko pystyy tiputtautumaan saarekekäyttöön suuremmissa sähkönsyötön häiriötilanteissa verkon oman tuotannon ja sähkövarastojen ansiosta. /7/

2.5 Keskeisimmät erot perinteisessä ja älykkäässä keskijänniteverkossa

Perinteisessä verkossa on hierarkia sähköntuottajasta kuluttajaan, eli sähkö tuotetaan korkeammilla jännitteillä ja se tuodaan alempiin jännitteisiin. Älyverkko on verkostoitunut ja rengasmaisen sekä energian tuotanto on hajautetumpaa, eikä kytkeydy ainoastaan korkeammille jännitteille. Perinteisessä jakeluverkossa laitekohtaisia sensoreita on vähän, mutta älyverkossa on laaja-alainen

laitevalvonta, joka on yhdistetty etäyhteyksillä valvomoon. Indikoinnit käskyjen perille menosta ja muista muutoksista näkyvät valvomossa. Perinteinen verkko ei sisällä automaatiota kovin paljoa, kun taas älyverkossa automaatio hoitaa itsevalvonnan, diagnosoinnin, eristää vikakohtan ja ennakoi muutoksia. Perinteinen verkko on altis vioille ja katkoille, älyverkko pystyy mukautumaan ja siirtymään saarekekäyttöön tarvittaessa. Älyverkossa tarve manuaaliselle tarkastukselle ja testaukselle vähenee, sillä tämän näkee valvomosta kaukolaitevalvonnalla. Perinteisessä verkossa tietovirta sähkönkulutuksesta virtaa käytännössä yhteen suuntaan, älyverkossa informaatiota saa myös loppukäyttäjä, joka voi tätä informaatiota hyväksi käyttäen ajoittaa omaa kulutustaan paremmin sopimaan yhteen oman sähkötuotantonsa kanssa. /10/

3 PUISTOMUUNTAMOT JAKELUVERKOSSA

Tässä luvussa käsitellään puistomuuntamoita ja keskijännitekojeistoja ja niiden eroja perinteisessä ja tulevaisuuden verkoissa.

3.1 Puistomuuntamo perinteisessä jakeluverkossa

Puistomuuntamot ovat metallista tai muusta materiaalista rakennettuja pieniä, teräspalkkirakenteeseen perustuvia rakennuksia, jotka sisältävät sähkönjakelun tarvitsemia komponentteja. Puistomuuntamot sisältävät jakelumuuntajan, keskijännitekojeiston, pienjännitekojeiston, liittynät ja laitteet ja tarvittaessa erillisen tilan muulle tekniikalle, kuten tietoliikenne- ja kaapeli-TV-laitteistolle. Muuntamot sijoitetaan julkisiin paikkoihin, joihin ihmisillä on kulku, mutta ne on suojattava voimassaolevien määräysten mukaisesti. Kaikki komponentit on asennettu muuntamorakennuksen sisälle, joka suojaa komponentteja ympäristön vaikutuksilta ja estää asiattomien pääsyn muuntamoon ja komponenttien lähelle. Rakennus on yleensä jaettu kolmeen tilaan: keskijännitekojeistolle, pienjännitekojeistolle ja jakelumuuntajalle sopiviin tiloihin. Rakennuksessa on tarvittavat ilmareitit, joiden kautta kiertävä ilma jäädyttää muuntamon komponentteja. /11/

Maakaapeloidussa keskijänniteverkossa muuntamot on rakennettu pääsääntöisesti puistomuuntamorakenteilla. Puistomuuntamoita on maakaapeliverkon ja avojohtoverkon kohtauspisteessä. Ilmajohtoverkossa tyypillisesti jakelumuuntamo on toteutettu pylväsmuuntamona, mutta lähtö avojohtoverkolle on puistomuuntamosta. Perinteisessä verkossa puistomuuntamoissa käytettävät erottimet ovat paikallisohjattavia ja verkkokatkaisijoita ei keskijänniteverkossa juuri ole. /8/



Kuvio 3. Trailerissa käytetty puistomuuntamo /17/

3.2 Tulevaisuuden tarpeet puistomuuntamoissa

Rakenteellisesti tulevaisuuden puistomuuntamoissa ei juuri ole eroa nykyisiin muuntamoihin ja ero onkin sähkökomponenteissa ja niiden automaatiassa, mittalaitteistossa ja kaukokäyttömahdollisuuksissa. Toisin sanoen kojeistoissa ja niiden pääkomponenteissa. Tulevaisuuden puistomuuntamoista valtaosa on kauko-ohjattavia. Verkkokatkaisijoita on keskijänniteverkon puolella sen solmukohdissa. Puistomuuntamot ovat kommunikaatioverkossa ja kojeistot ovat moottoroituja. Muuntamoiden lähdoillä ja syötöillä olevien mittauslaitteistojen antamat tiedot ja indikoinnit välitetään valvomoon. Useasta eri puistomuuntamosta syötetään informaatio yhteen keskitettyyn valvomoon. Yhdessä valvomossa voi olla suuren alueen kaikkien puistomuuntamojen tiedot ja indikoinnit. Puistomuuntamot ovat yhteydessä valvomoihin joko langattomasti tai valokuidulla, jolla päästään lähes reaaliaikaiseen yhteyteen. Puistomuuntamoiden johtolähtöjen ja muuntajan suojauksesta vastaa suojareleet ja valvomoista seurataan suurempaa verkon tilaa. /2/, /8/

Verrattuna perinteiseen jakeluverkon puistomuuntamoon älyverkossa olevassa puistomuuntamossa täytyy siis olla ainakin: kommunikaation mahdollistava komponentti, suoja- ja ohjaus-, tarvittava mittauslaitteisto releelle ja akusto mikäli sähkönsyöttö keskeytyy. Moottoriohjattavat kojeiston pääkomponentit ovat myös pakolliset kaikkeen etäkäyttöön.

3.3 Keskijännitekojeistot

Kojeistolla tarkoitetaan rakennekokonaisuutta, joka koostuu tarvittavista kytkin-, suoja-, ohjaus- ja valvontalaitteista, joita käytetään sähkön tuottamisessa, siirrossa ja muuntamisessa. Kojeiston tärkeimpiä laitteita ovat muun muassa katkaisijat, erottimet, mittamuuntajat sekä suojauslaitteet kuten kennotermiinaalit. Katkaisijan pääasiallinen tehtävä on katkaista johtolähdön yhteys keskijännitekojeiston kiskostoon, jos johto-osuudella tapahtuu vika. Johtolähdön alkuun sijoitetaan yleensä katkaisija joka pystyy katkaisemaan sekä kuormitus- että vikavirrat. Erottimella voidaan varmistaa turvallinen ja näkyvä avausväli, jotta johto-osuudella tehtävät korjaustyöt voidaan suorittaa turvallisesti. Näiden laitteiden tehtävänä on siis mahdollistaa vikatilanteiden hallinta ja kytkentätilanteiden muutokset, esimerkiksi lähdön erottaminen verkosta huoltotöiden ajaksi. Keskijännitekojeiston päätehtävänä puistomuuntamossa on tehon jakaminen lähdöille. Keskijännitekojeisto on yleensä rakennettu siten, että jokaisella johtolähdöllä on oma kojeiston kenno. Perinteisessä verkossa lähtöjä ei ole suojattu omalla suoja- ja ohjauslaitteistolla, muuta kuin suuremman jännitteen sähköasemilla. /12/, /8/

Kojeistot ryhmitellään ulkokuoren materiaaliin perusteella metallikuorisiin ja eristysainekuorisiin, suurin osa kojeistoista on kuitenkin metallikuorisia. Metallikuoriset kojeistot jaotellaan kolmeen eri ryhmään: kennokoteloituihin, metallikoteloituihin ja tilakoteloituihin. Kojeistot jaetaan myös pääasiallisen eristysaineen mukaan. Jos kojeiston pääasiallisena eristysaineena toimii ilma, käytetään kojeistosta nimitystä ilmaeristeinen kojeisto. Käytettäessä eristysaineena eristyskaasua, esimerkiksi SF₆-kaasua, joka on eri paineessa kuin normaali ilmanpaine, puhutaan silloin kaasueristeisistä kojeistoista. Kojeistot

jaotellaan myös kalustustavan perusteella: ulosvedettävillä kojeilla varustetut kojeistot eli vaunukojeistot, sekä kiinteällä kalustuksella varustetut kojeistot. Kiinteällä kalustuksella varustetun kojeiston kojeet on asennettu kiinteästi, kun taas ulosvedettävän kojeiston kennon kytkinlaite on sijoitettu ulosvedettävään vaunuun. /12/

Puistomuuntamoiden keskijännitekojeistot perinteisessä jakeluverkossa ovat paikallisesti käsin käytettäviä ja erottimen laukaisujousi viritetään käsin. Automatisoidussa puistomuuntamossa sähkömoottori virittää jousen, mikä mahdollistaa etäkäytön. Etäkäyttö on yksi suurimmista muutoksista puistomuuntamoiden keskijännitekojeistoissa älyverkon ja perinteisen verkon välillä, sillä se mahdollistaa verkon toimilaitteiden ohjauksen ja siten vikojen hallinnan etänä valvomosta. Jälkiasennuksena on mahdollista asentaa moottoriohjain ja kauko-ohjaus osaan olemassa olevista kojeistoista. Jälkiasennuksena voidaan myös asentaa mittalaitteet olemassa olevaan kojeistoon, jolloin vanha puistomuuntamo voidaan muuttaa etäkäytettäväksi ilman, että ostetaan kokonaan uutta kojeistoa. /8/

4 TRAILER DEMO

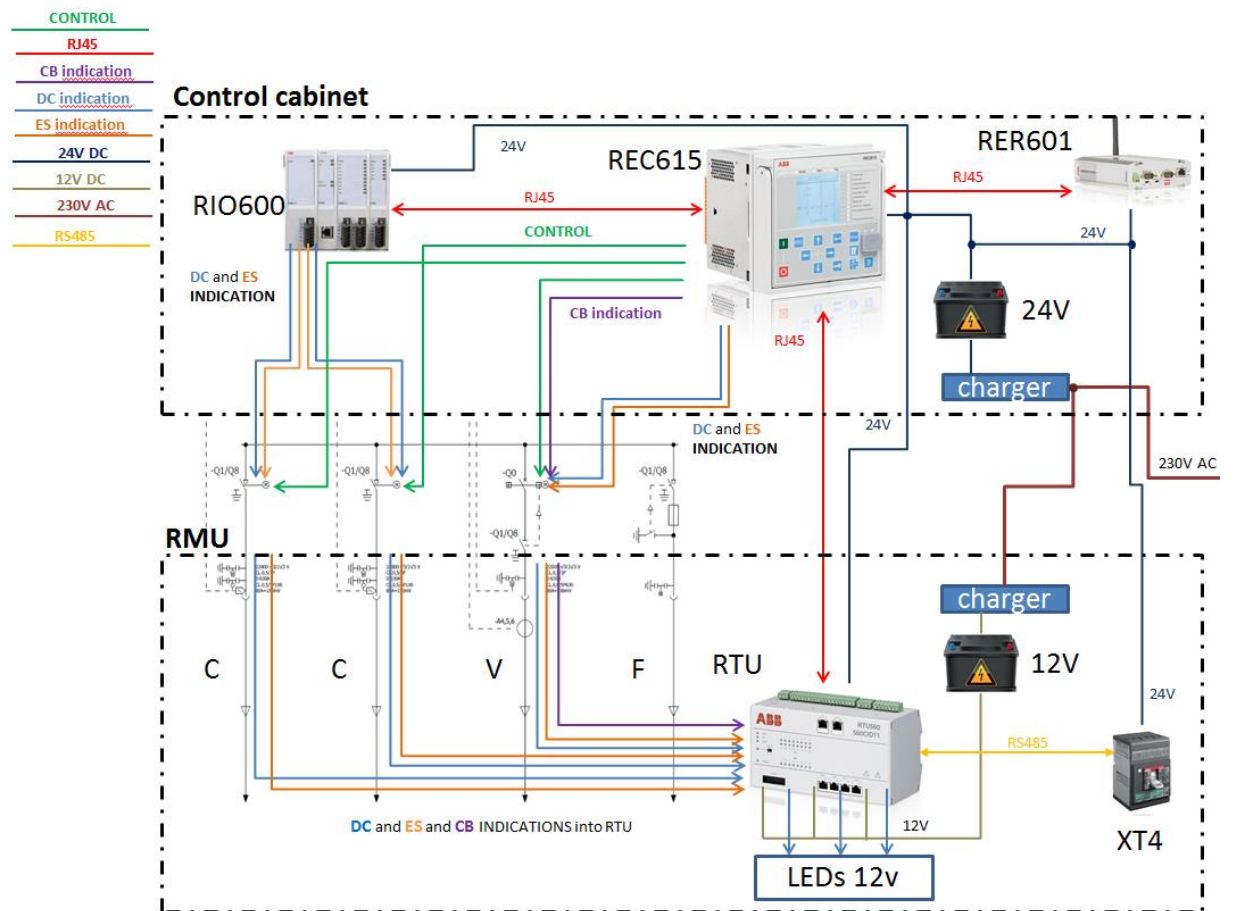
Tässä luvussa käydään läpi mitä puistomuuntamon demonstroiinterävaunu sisältää, sen suunnitteluprosessia ja toteutusta.

4.1 Käyttötarkoitus

Lähtökohtaisesti ajatuksena oli rakentaa mobiili puistomuuntamodemonstroiinterävaunu, joka voidaan kuljettaa esittelypaikalle omalla karryllään ja esitellä muuntamo nostamatta sitä pois karryltään. Demonstroiinterävaunun piti myös olla nimensä mukaisesti mobiili, eli vaunu voidaan ajaa asiakkaan pihaan ja esitellä paikanpäällä ilman verkkojännitettäkin. Puistomuuntamolla tuli pystyä esittelemään yleisimpiä vikatilanteita ja suojaamaan toimintaa vikatilanteiden ollessa päällä. Demossa siis esiteltiin pääasiassa ohjainkaappia ja sen tuomia ominaisuuksia, ja samalla muita muuntamoon kuuluvia komponentteja kuten jälkiasennettuina käytettäviä sensoreita ja itse muuntajaa.

Vaunuja rakennetaan kaksi identtistä kappaletta, joita käytetään Pohjoismaissa ja Keski- ja Etelä-Euroopassa. Vaunut tulevat käyttöön myyjille, jotka käyttävät trailereita esitellessään ABB:n tuotteita. Koska myyjillä on yleensä useita tuotteita joita he esittelevät, se että heillä on helposti käytettävä apuväline tiettyjen tuotteiden esittelyyn vaikuttaa siihen, että he esittelevät enemmän niitä kuin niitä joihin ei ole hyviä esittelyvälineitä. Tarkoituksena on siis saada enemmän myyjien aikaa puistomuuntamon sisällä olevien komponenttien esittelyyn.

4.2 Demo-laitteiston toiminnallisuus

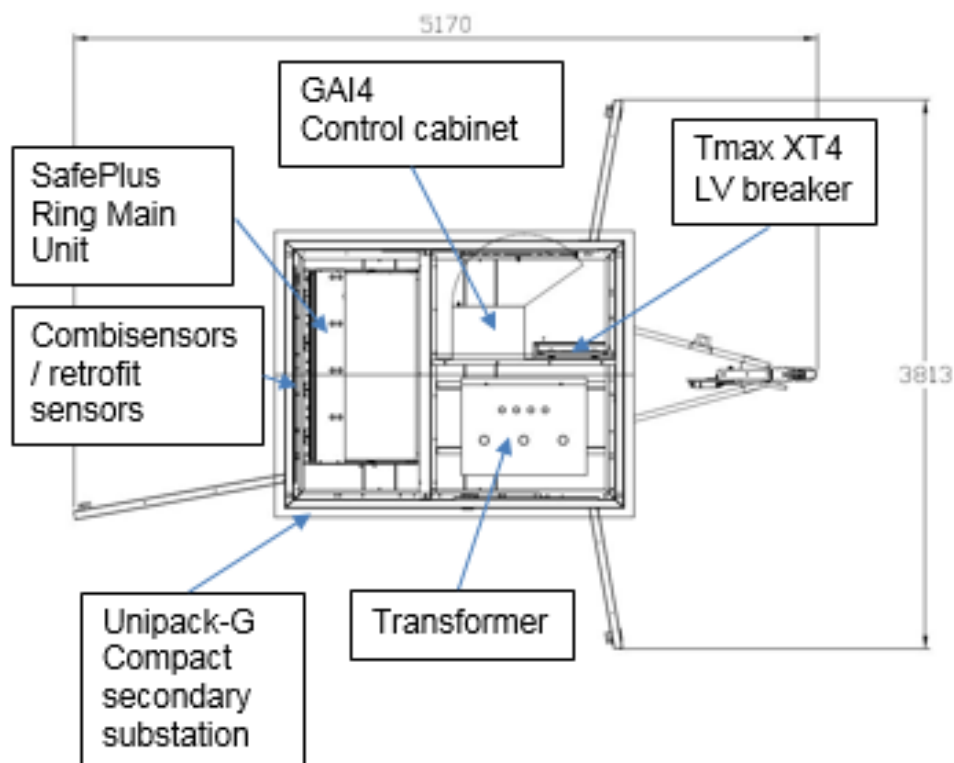


Kuvio 4. Demo-laitteiston järjestelmäkaavio

Mobiili puistomuuntamodemonstraatiovaunu on peräkärryn päälle rakennettu puistomuuntamo. Puistomuuntamon sisällä on keskijännitekojeisto, ohjainkaappi, muuntaja ja pienjännitekatkaisija. Ylimääräisenä kopin sisällä, jotta muuntamalla voidaan demonstroida sen toimintoja, on RTU, LED-valot, lisäkusto LED-valoille ja laturi. Kaikki indikointisignaalit ovat binary input -signaaleja ja ohjauksen komennot ovat binary output -signaaleja.

Demoa pystytään ohjaamaan tablettitietokoneella SCADA-ohjelmalla, mikä vastaa esittelyssä sähköverkkoyhtiön valvomoa. SCADAssa yleisimpien vikatilojen simulointi hoidettiin ohjelmalla sisäisesti, ilman että fyysisesti mikään muuttuu, lukuunottamatta katkaisijan ja erottimien asentoja, sekä LEDien valojen

värit kytkentä tilanteen mukaan. Demoa pystytään ohjaamaan myös paikallisesti, mutta vikatilanteiden simuloinnit ovat pelkästään SCADAssa.



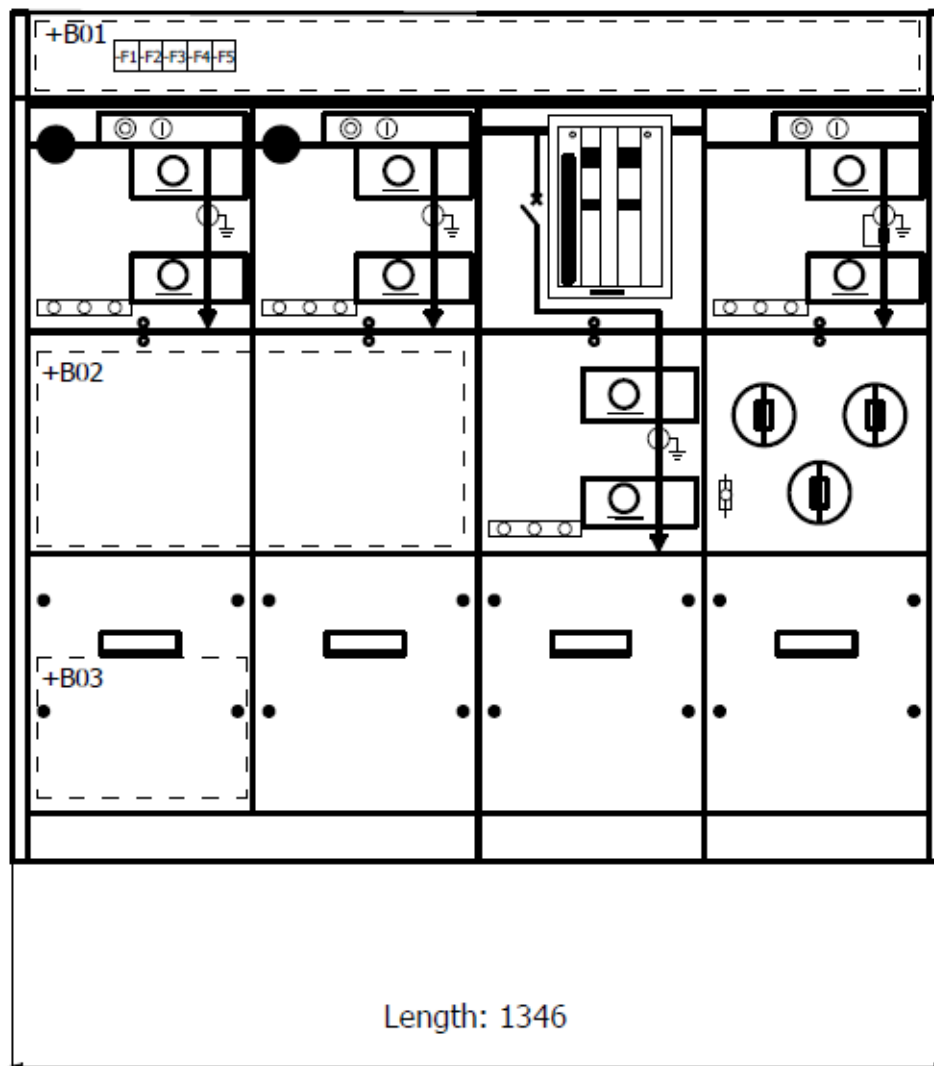
Kuvio 5. Laitteiston sijoituspaikat puistomuuntamossa

4.3 Demo-laitteistossa käytettävän keskijännitekojeiston kokoonpano

Esiteltäväksi kojeistoksi tuli metallikuorinen kiinteällä kalustuksella oleva kaasueristeinen kojeisto. Kaasueristeisen kojeiston hyvänä puolena on sen pieni tilantarve, hyvä käyttövarmuus, alhainen huollontarve, pitkä käyttöikä sekä kevyt rakenne. Kojisto on RMU SafePlus CCVF, joka tuli Norjasta tilauksena. CCVF tarkoittaa kojeistossa käytettäviä soluja/kenttiä. C-kenttä on erotinkenttä, V-kenttä on katkaisijakenttä ja F-kenttä on erotinkenttä, jossa on sulakkeet vaiheille. Eli tässä käytettävässä kojeistossa on kaksi erotinkenttää, yksi katkaisijakenttä, sekä yksi sulakekenttä.

RMU eli Ring Main Unit tarkoittaa käytännössä, että siinä on yksi tulolinja toiselta keskijännitekojeistolta, yksi lähtölinja toiselle keskijännitekojeistolle, katkaisijälähtö esimerkiksi avojohtolinjalle joka menee haja-asutusalueelle ja

jakelumuuntajan syöttö sulakkeiden kautta. RMU-kojeisto on kuormanerotinkojeisto, joka mahdollistaa muuntajan liittämisen verkon silmukkaan ja sen erottamisen verkosta kummastakin syöttösuunnasta päin. Kojeisto on 24 kV nimellisjännitteinen ja 630 A nimellisvirrallinen. Sen kaikki erottimet ja katkaisijat ovat moottoriohjattavia ja se voi toimia täysin etänä. Mittalaitteistoksi kojeiston sisälle tuli yhteen kennoon asennuksen yhteydessä asennettavat kiinteät mittamuuntajat ja yhteen kennoon tuli jälkiasennuksena asennettavat mittamuuntajat, joilla voidaan toteuttaa muuntamon muuttaminen etäkäyttöiseksi.



	A01	A02	A03	A04
	C	C	V	F

Kuvio 6. Demonstraatiossa käytettävän kojeiston käyttöliittymäkuva

Kojeiston sisälle ylimääräisenä tuli LED-valoja ohjaava RTU (Remote Terminal Unit), se asennettiin kuvassa 5 näkyvään B02 tilaan, josta oli lyhyt matka ohjattaville LED:eille. RTU:n ja kojeiston väliset indikointijohdot oli suunniteltu Norjan ABB:n puolella.

4.4 Ohjainkaapin kokoonpano

Ohjainkaappi koostuu kolmesta pääkomponentista: ohjauslaitteesta, reitittimestä ja lisä-I/O-yksiköstä. Laturi ja akusto hoitavat keskeytyksettömän sähkönsyötön näille komponenteille.



Kuvio 7. Ohjainkaappi ja pienjännitekatkaisija demonstraatiomuuntamossa

REC615 on verkostoautomaation IED-laite, jolla voi toteuttaa kauko-ohjauksen ja seurannan, suojauksen, vianilmaisun sekä sähkön laadun analysoinnin. Se mahdollistaa myös automaation laajentamisen keskijänniteverkkojen jakelujärjestelmiin, mukaan lukien myös hajautetun energiantuotannon. REC615 tuo hyvän vian paikannuksen, erotuksen, ja palautuksen ja vastaa nykypäivän vaatimuksia sähköverkoissa. Hyvä kommunikaatituki mahdollistaa REC615 yhteensopivuuden muiden automaatiolaitteiden kanssa. /13/



Kuvio 8. REC615-ohjauslaite /13/

RER601 on suunniteltu vastaamaan langattoman yhteyden vaatimuksia jakeluverkossa. Laitteita käytetään jakeluverkkojen automatisoinnissa yhteistyössä ohjauslaitteiden kanssa, mikä mahdollistaa laitteiden kauko-ohjauksen. Laite takaa turvallisen kommunikoinnin sisäisen VPN:n ja palomuurin avulla. Se käyttää hyväksi julkisia GSM/GPRS-yhteyksiä. Laite tukee nopeaa langatonta tiedonsiirtoa, mutta käytännössä tiedonsiirtonopeus riippuu käytössä olevasta verkosta. /14/



Kuvio 9. RER603, joka on muuten samanlainen kuin käytetty RER601, mutta RER601:ssä ei ole lisä I/O:ta /14/

RIO600 on ulkoinen I/O-yksikkö, joka on suunniteltu laajentamaan digitaalisten I/O:den lukumäärää. RIO600:aan kytetään osa keskijännitekojeistosta saatavista indikoinneista, koska REC615:ssa on rajallisesti I/O:ta. Käyttämällä RIO600 saadaan suurempi määrä I/O:ta käyttöön, että saadaan kaikki tarvittavat tiedot ja lähdöt ohjainlaitteelle. RIO600 kytkeytyy REC615 ethernet-kaapelilla. RIO600:lla on modulaarinen rakenne, mikä tarkoittaa sitä, että RIO600 koostuu erilaisista moduuleista, joita voidaan yhdistellä käyttötarpeiden mukaan. Minimissään kuitenkin jännitelähde- (PSM), kommunikointi- (LECM) ja I/O-yksikkö. I/O-yksikkö voi olla digitaalitulomoduuli (DIM), digitaalilähtömoduuli (DOM), RTD-mittausmoduuli (RTD), analogialähtömoduuli (AOM) tai sensoritulomoduuli (SIM). Käytetty RIO600-paketti ohjainkaapissa sisälsi jännitelähdemoduulin, kommunikointimoduulin, kaksi digitaalitulomoduulia ja sensorimoduulin. /15/



Kuvio 10. RIO600, kuvassa näkyvä kokoonpano sisältää jännitelähde-, kommunikointi-, digitaalitulo- ja digitaalilähtömoduulin. /16/

4.5 Akuston mitoitus

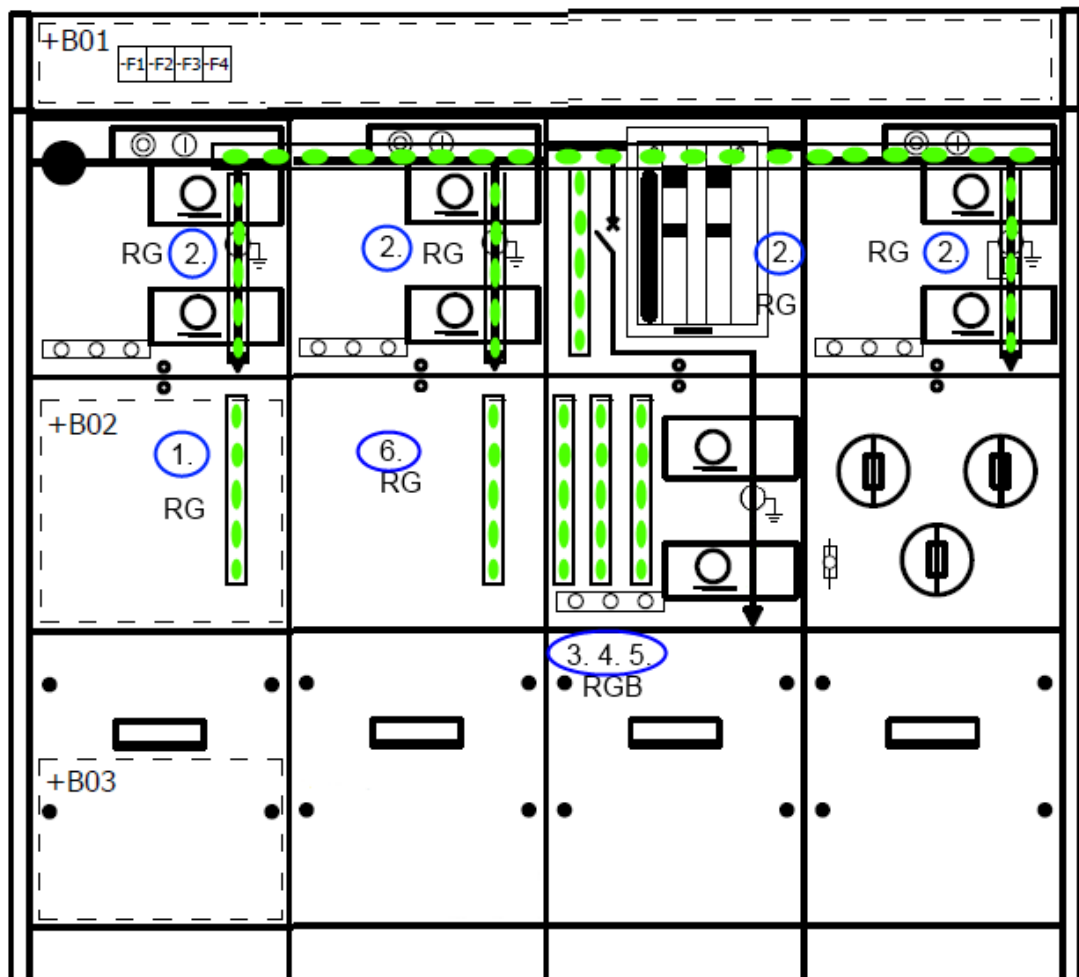
Tarkoituksena oli saada demonstroitava keskijännitekojeisto toimimaan pelkkien akkujen varassa, mikäli sähköverkkoa ei ole esittelypaikassa saatavilla. Akkujen olisi tarkoitus kestää noin 6-8 tuntia ilman latausta välissä.

Akun mitoitukseen käytettiin apuna ABB:n rakentamaa InGrid-demonstraatiota, joka on keskijännitekojeistoltaan ja ohjainkaapiltaan melkein samanlainen kuin trailerissa käytettävä versio. InGrid on ABB:n älyverkon hallinnan demonstroitavyökalu, jota voi ohjata etänä ja esitellä sen toimintoja netin kautta kameroiden avulla. InGridistä tarkoituksena oli saada tietää suurpiirteinen virrankulutus, kun se on paikallaan passiivisena ja sen kulutus kojeiston ollessa käytössä. Kojeston käytöllä tarkoitetaan sitä, kun kojeiston komponenttia (erotin, katkaisija) ohjataan auki tai kiinni ja sähkömoottori, joka virittää laukaisujousen, on päällä. Mittaus toteutettiin pihtivirtamittarilla ohjainkaapin moottorisyottöjen ja ohjainkaapin komponenttien virransyötön sulakkeiden takaa. Tulokseksi saatiin 0,6 A kulutus, kun kojeisto on passiivisena ja käytössä 4,38 A ja käyttö kesti

kerrallaan noin 5 sekuntia. Keskiarvo virrankulutukseksi, jos kojeistoa ohjataan 20 kertaa tunnissa, saatiin 0,75 A. InGridissä olevien komponenttien lisäksi demossa oli RTU, jota pitää syöttää ohjainkaapin kautta. RTU:n kokoonpanona oli yksi binary output- ja adapteri-kortti. RTU:n kokoonpano kokonaisuudessaan vie noin 470 mA. Kokonaiskulutus tulisi näiden arvioiden perusteella olemaan keskimääräisesti noin 1,22 A. Ohjauskaappiin asennettu akusto antaa 18 Ah, joten ohjainkaapin akusto riittää hyvin. LEDejä syöttävä 12 V akustoksi tuli 32 Ah akusto ja ainoastaan LEDit ottavat virtaa siitä. LEDit ottavat n. 1 A per metri ja LED-nauhaa kojeistoon tuli noin 3,5 metriä, eli käyttöajaksi tulee arviolta 9 tuntia.

4.6 LED-asetelmien suunnittelu ja niiden liittäminen RTU:hun

Kojeiston demonstroinnin helpottamiseksi asennettiin keskijännitekojeiston näkyvälle puolelle LED-valoilla indikointi, siihen mitä kojeistossa tapahtuu sillä hetkellä. LED-valoilla pystytään helposti näyttämään, miten kojeisto käyttäytyy erilaisissa vikatilanteissa.

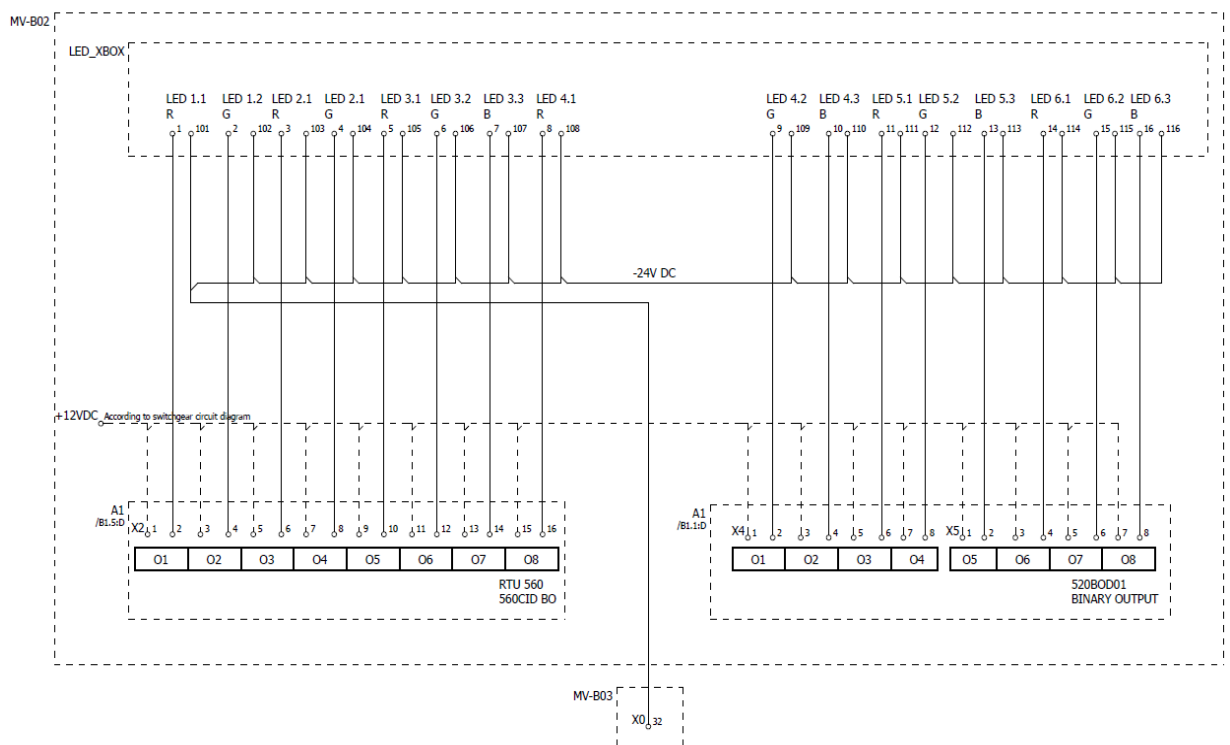


Kuvio 11. LED-nauhojen alkuperäinen suunnitelma

LED-valoja ohjataan keskijännitekojeiston sisälle laitettavalla RTU:lla. RTU ohjaa LED-valoja oman ohjelmansa mukaan ja keskijännitekojeistolta tulevien indikointisignaalien avulla, sekä SCADA:ta tulevien käskyjen mukaan.

Rajoittavaksi tekijäksi muodostui RTU:lta saatavien lähtöporttien määrä. Koska keskijännitekojeiston kenno, johon RTU sijoitettiin oli hyvin rajoitettu tilan

suhteen, ei sinne mahtunut kuin yksi lisälähtökortti RTU:lle. LED-valoja on mahdollista pitää kolmella erilaisella valolla, punainen, vihreä tai sininen, mutta RTU:n portteja on vain sen vakiokokoonpanossa kahdeksan BO (Binary output) -porttia, sekä yhdestä lisä BO -kortista löytyvä kahdeksan porttia eli yhteensä 16 lähtevää signaalia. Tästä syystä päädyttiin ratkaisuun, missä ainoastaan katkaisijakentässä on jokaisella vaiheelle oma LED-nauha ja sillä pystytään demonstroimaan yhden vaiheen vikatilat. Yksi LED-nauha kaikilla väreillä vie kolme porttia, eli kuvassa 10 näkyvässä suunnitelmassa, missä käytettiin kuutta eri LED-nauhakokonaisuutta joka taas tarkoittaa, että tarvittaisiin 18 porttia, jotta saataisiin kaikki värit toimimaan. Tämän takia sininen väri jätettiin kytkemättä kaikkiin muihin paitsi katkaisijakenttään tiputtaen tarvittavien porttien määrän 15:een.



Kuvio 12. RTU:n ja LED-valojen riviliitin kytkennät

Lopullisessa ratkaisussa jätettiin ainoastaan yksi LED-nauha, mihin kytkettiin sininen väri, ja siitä vapautuneet portit käytettiin siihen, että kuvassa 10 näkyvässä 2. LED-valokokonaisuus katkaistiin keskeltä kahteen palaan ja sulakekenttään vietiin yksi LED-nauha. Ohjaukset toteutettiin siten, että RTU ohjasi positiivista

12 V jännitettä LED:eille kytkentätilanteiden mukaan ja nolla oli jatkuvasti kytkettynä LEDeille.



Kuvio 13. Lopullinen LED-valojen asetus

4.7 Ohjainkaapin piirikaavion toteutus

Piirikaavioiden piirtäminen toteutettiin EPLAN-suunnittelujärjestelmällä. Kuvassa 4 näkyy kaikki ohjainkaapin yhteydet ja nämä yhteydet piti olla ohjainkaapin piirikaaviossa oikeissa liittimissä.

Itse kaavion piirtäminen ja suunnittelu oli suhteellisen helppoa, sillä saatavilla oli malleja, kuinka eri asiat piti toteuttaa. Oleellista oli, että piirikaaviossa käytettiin uusinta tyyliä kuinka eri ratkaisut toteutettiin. Muun muassa missä järjestyksessä

ja mihin positioon eri signaalit RMU:lta laitettiin releelle ja RIO600-moduulille. Releeseen tulevat signaalit olivat suuremmalla prioriteetillä, siksi suoraan releelle kytkettiin MCB:t (Miniature Circuit Breaker) ja akusta saatava vikaindikaatio, sekä tärkeimmästä moduulista eli katkaisijalta saatavat indikaatiot. Erottimilta saadut indikaatiot liitettiin RIO600 ensimmäiseen digitalitulomoduuliin ja toiseen tuli kojeiston moottoreiden syötön indikointi sekä pienjännitepuolen katkaisijan syötön indikointi. SF₆-kaasun paineindikointi jätettiin pois, koska kojeistoon ei tullut kaasua, sillä kojeistoon ei kytketä pääjännitettä.

Ohjainkaapista piti myös toteuttaa 12 V akuston laturin 230 V syöttö, joka saatiin samalta riviliittimeltä mikä syöttää 24 V akuston laturia ohjainkaapissa. Keskijännitekojeiston RTU-syöttö toteutettiin kojeiston moottoreiden 24 V syötöstä ja kaikkien moottoreiden syötöt jaettiin keskijännitekojeiston puolella eikä ohjainkaapista lähtenyt kuin yksi 24 V syöttö keskijännitekojeistoon. Toinen 24 V lähtö oli pienjännitekatkaisijalle. 230 V syöttö ohjainkaapille tuotiin muuntamon sisältä normaalista jakorasiasta ja muuntamoon jännite tuodaan syöttökaapelilla.

Suunnitelman toteuttamiseen tarvittiin keskijännitekojeiston piirikaaviot, jotta pystyi katsomaan niistä suunnitelmista mistä kojeiston indikoinnit tulevat ja mihin liittimiin ohjainkaapin käskyt ja kytkennät pitää mennä.

5 YHTEENVETO

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli hyvä ja opettavainen ja näytti millaista suunnittelutyö voi olla. Työssä piti soveltaa koulussa opittuja asioita käytännössä ja lisäksi käytin hyväkseni vanhoja piirustuksia erilaisten ratkaisujen tekemiseen.

Kommunikointi kansainvälisesti (Norja ja Viro), tiedonhankinta, kokonaisuuden suunnittelu ja millaista toiminta on suunnittelijana ryhmässä olivat tärkeimpiä opittuja asioita tämän työn aikana. Oli myös hyvä päästä näkemään toimintaa markkinointiryhmän kanssa, kun demolle suunniteltiin tekstejä ensimmäisille messuille. Uusi suunnittelutyökalu tuli tutuksi työn aikana. Työ opetti paljon vanhojen piirustuksien tutkimista, sillä itse ei voinut vain ruveta tekemään oman päänsä mukaan, vaan piti piirtää samalla tyylillä kuin muutkin dokumentit on piirretty, jotta välttyttäisiin epäselvyyksiltä kokoonpanossa ja asiat tulisivat tehtyä heti oikein. Työn aikana tuli myös valtavasti tietoa älyverkosta ja yksi näkemys siitä mihin tulevaisuudessa voidaan mahdollisesti mennä, ja muutenkin yleisesti jakeluverkkojen rakenteesta tietoa.

Suunnittelemani ohjainkaappi saatiin piirikaavioiden perusteella rakennettua ja se onnistuttiin liittämään keskijännitekojeistoon toimivasti ja sen ohjaukset ja indikoinnit toimivat. Yksi MCB olisi saanut olla hieman suurempi, sillä se laukesi pariin otteeseen messujen aikana, mutta tämä on helppo korjata vaihtamalla se suurempaan. Demon ensimmäiset messutkin olivat onnistuneet hyvin ja traileri oli herättänyt huomiota ja kerännyt kiinnostusta.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy, internetsivu. Viitattu 1.4.2015. <http://www.abb.fi/>
- /2/ SGEM, Äykkäät sähköverkot ja energia markkinat loppuraportti. Viitattu 2.2.2015
http://issuu.com/cleentld/docs/cleentld_sgem_loppuraportti_digipublis
- /3/ 588/2013 sähkömarkkinalaki. Viitattu 19.3.2015.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- /4/ Energiateollisuus ry:n tilaaman 'Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kriteeristö ja tavoitetasot' – projekti. Viitattu 19.3.2015.
http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_toimitusvarmuuskriteeristo_2010_loppuraportti.pdf
- /5/ ABB Oy, Energian internet pian todellisuutta –artikkeli. Viitattu 5.2.2015.
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/6afcff3a8bdad9f8c12575b0002e65c4.aspx>
- /6/ ABB Oy, Teollisuuden älykäs sähköjakeluverkko –esite. Viitattu 18.2.2015.
[http://www08.abb.com/global/scot/scot225.nsf/veritydisplay/979039afaadd2b3ac1257b4a004d6687/\\$file/Teollisuuden%20alykas%20sahkonjakeluvverkko_FI.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot225.nsf/veritydisplay/979039afaadd2b3ac1257b4a004d6687/$file/Teollisuuden%20alykas%20sahkonjakeluvverkko_FI.pdf)
- /7/ ABB Oy, Älykäs sähköverkko on energian internet –esite. Viitattu 18.2.2015.
[http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/6c7d76b1276269fac1257877002a465e/\\$file/ABB_smartgrid_final.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/6c7d76b1276269fac1257877002a465e/$file/ABB_smartgrid_final.pdf)

- /8/ Kauppi M. 2014 Diplomityö Muuntamoautomaation hyödyntämismahdollisuudet Elenian jakeluverkossa. Viitattu 9.2.2015.
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22211/kauppi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- /9/ YLE, Älykäs sähköverkko voi olla vaihtoehto miljardeja nielevälle maakaapeloinnille –artikkeli. Viitattu 26.2.2015.
http://yle.fi/uutiset/alykas_sahkoverkko_voi_olla_vaihtoehto_miljardeja_nielevalle_maakaapeloinnille/7485285
- /10/ Ojala J. Opinnäytetyö 2014 Älykkään sähköverkon ala-aseman liittäminen microscada-käytönvalvontajärjestelmään. Viitattu 2.3.2015.
https://publications.theseus.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/71961/Ojala_Jonna.pdf?sequence=1
- /11/ ABB Oy, Teräsrakenteiset puistomuuntamot –esite. Viitattu 9.3.2015.
[http://www08.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/35886159ad53dac8c1256c3700450de3/\\$file/Steel%20FI14.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/35886159ad53dac8c1256c3700450de3/$file/Steel%20FI14.pdf)
- /12/ Vierikko R. Opinnäytetyö 2013 Keskijännitekojeistoprojektin hallinta. Viitattu 13.3.2015.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57996/Keskijannitek_ojeistoprojektin%20hallinta.pdf?sequence=1
- /13/ ABB Oy, Remote monitoring and control 615, Product Guide. Viitattu 13.3.2015.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/2309786825cc3dcec1257bef001f9335/\\$file/REC615_pg_757811_ENa.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/2309786825cc3dcec1257bef001f9335/$file/REC615_pg_757811_ENa.pdf)

- /14/ ABB Oy, Grid automation solutions with RER601 and RER603 Product guide. Viitattu 13.3.2015.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/346c237c2f5cf556c1257b60003ea8e2/\\$file/rer601_603%20solution_broch_757882_irena.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/346c237c2f5cf556c1257b60003ea8e2/$file/rer601_603%20solution_broch_757882_irena.pdf)
- /15/ ABB Oy, Remote I/O RIO600 Product guide. Viitattu 13.3.2015.
[http://www08.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/661e7eebdd20c38fc1257d6b002b87fb/\\$file/RIO600_pg_757487_ENd.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/661e7eebdd20c38fc1257d6b002b87fb/$file/RIO600_pg_757487_ENd.pdf)
- /16/ ABB Oy, Remote I/O unit RIO600 internet sivu. Viitattu 13.3.2015.
<http://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/remote-i-o/remote-io-unit-rio600>
- /17/ ABB Oy, UniPack-G – Compact secondary substation in GRP enclosure internet sivu. Viitattu 13.3.2015.
<http://new.abb.com/medium-voltage/modular-systems/compact-secondary-substations/glass-fiber-reinforced-polyester-%28grp%29-css/unipack-g>