



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SÄHKÖVERKON KYTKENTÄTILANTEEN VALVONTA

Sami Simonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

SIMONEN, SAMI
Sähköverkon kytkentätilanteen valvonta

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Huhtikuu 2017

Opinnäytetyön tarkoitus oli luoda esiselvitys Tampereen yliopistolliselle sairaalalle mahdollisista ratkaisuista keskijännitepuolen parempaan kytkentätilanteen valvontaan. Nykyinen ratkaisu kohteessa oli toteutettu manuaalisesti päivitettävillä nuppitauluilla. Tälle vanhahkole ja epäluotettavalle ratkaisulle haluttiin uusi moderni ratkaisu. Mahdollisia ratkaisuja pohdittiin yhdessä alan eri asiantuntijoiden kanssa.

Asiantuntijoiden kanssa päädyttiin yhdessä siihen tulokseen, että järkevin tapa mallintaa ja valvoa kohteen verkkoa on ottaa käyttöön käytönvalvontajärjestelmä. Käytönvalvontajärjestelmä tuo mukanaan useita hyötyjä ja mahdollisuuksia tulevaisuutta varten verrattuna muihin mahdollisiin ratkaisuihin.

Tämän esitutkimuksen pohjalta seuraava askel työn tilaajalle on pyytää asiantuntijaa arvioimaan kohteen tarpeet ja tätä kautta päästä lähemmäksi lopullista ratkaisua, varsinkin valittavien laitteiden osalta. Sähköverkon päivittäminen on pitkä prosessi, minkä takia se kannattaisi aloittaa mahdollisimman pikaisesti.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Power Engineering

SIMONEN, SAMI
Real Time Monitoring of Power Systems

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 12 pages
April 2017

The primary purpose of this thesis is to investigate better solutions to monitor and control the medium voltage grid of Tampere University Hospital. The current solution consists of many pin boards scattered around the premises that have to be updated manually. This old and unreliable solution requires a modern update.

Specialists were interviewed to gather relevant data and to determine the best possible solution for the problem. Data acquired from the specialists was also used to determine the requirements of the grid's switchgear and devices for the possible solution.

The results suggest that the best solution for the problem would be to introduce power system control software such as SCADA. Power system control software offers substantial benefits and possibilities for the future compared to other possible solutions.

Further research is required to determine the best possible software and devices for the specific needs of the grid. The author recommends starting the update process as soon as possible.

Key words: grid, power system control, real time monitoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	JAKELUJÄRJESTELMÄT	8
2.1	Jännitteisten johtimien järjestelmät ja maadoitustavat	8
2.2	TN-järjestelmät	9
2.2.1	TN-S-järjestelmä	9
2.2.2	TN-C-järjestelmä.....	11
2.2.3	TN-C-S-järjestelmä	12
2.3	TT-järjestelmä	12
2.4	IT-järjestelmä	13
2.5	Jakelujärjestelmien yhdistäminen	14
3	SÄHKÖVERKKOJEN RAKENNEVAIHTOEHDOT	16
3.1	Verkostorakenteet	16
3.2	Säteittäinen verkko.....	16
3.3	Rengasverkko.....	17
3.4	Silmukoitu verkko.....	18
4	SÄHKÖVERKON LAITTEET JA KOJEET.....	19
4.1	Muuntaja	19
4.2	Kytkinlaitteet.....	21
4.2.1	Katkaisija.....	21
4.2.2	Erotin.....	22
4.2.3	Kuormanerotin	23
4.3	Mittamuuntajat	24
4.3.1	Virtamuuntaja	24
4.3.2	Jännitemuuntaja.....	25
4.4	Kojeistot ja kytkinlaitokset	26
5	SÄHKÖVERKON SUOJAUS	29
5.1	Sulakesuojaus.....	29
5.2	Relesuojaus	29
6	KÄYTÖN VALVONTA	31
6.1	Sähköasema-automaatio.....	31
6.2	Ala- ja keskusasemaliittymät	32
6.3	Keskusasema ja oheislaitteet.....	33
6.4	Ala-asema ja oheislaitteet	34
7	SÄHKÖVERKON MALLINTAMINEN KOHTEESSA	35
7.1	Nykyinen tilanne	35
7.1.1	Kojeistot ja kytkinlaitteet	36

7.2	Mahdolliset ratkaisut.....	39
7.2.1	Varmentaminen ja luotettavuus.....	41
7.2.2	Ratkaisun tuomat hyödyt.....	42
7.2.3	Aikataulutus	43
7.3	Hinta-arvio	44
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET.....	48
	Liite 1. Kytkinlaitteiden tilatiedot	48
	Liite 2. G-muuntamon kojeistokortti.....	49
	Liite 3. G-muuntamon osaluettelo	50
	Liite 4. G-muuntamon osaluettelo	51
	Liite 5. A-muuntamon kennokortti.....	52
	Liite 6. A-muuntamon ohjaus- ja valvontakaavio	53
	Liite 7. E-muuntamon ohjauskaavio.....	54
	Liite 8. E-muuntamon ohjauskaavio.....	55
	Liite 9. K-muuntamon kennokortti.....	56
	Liite 10. R-muuntamon ohjauspiirikaavio.....	57
	Liite 11. Z-muuntamon kennokortti 1 (2).....	58
	Liite 11. Z-muuntamon kennokortti 2 (2).....	59

LYHENTEET JA TERMIT

KJ	Keskijännite
M2M	Machine to machine, koneiden välinen tietoliikenne
PJ	Pienjännite
RTU	Remote terminal unit, tietoliikenteen päälaite
SCADA	Supervisory control and data acquisition -system, tietojenkeruujärjestelmä
TAYS	Tampereen yliopistollinen sairaala
VPN	Virtual private network, virtuaalinen erillisverkko, yksityinen verkko

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on esittää ratkaisumalli Tampereen yliopistollisen sairaalan keskijännitepuolen kytkentätilanteen valvontaan. Kohteessa oleva nykyinen ratkaisu on toteutettu manuaalisesti päivitettävällä nuppitaululla, jossa jokaisen katkaisijan tilatieto määräytyy eriväristen pinnien mukaan (liite 1). TAYS halusi tutkittavan, löytyykö kohteeseen mitään järkevästi toteutettavaa ratkaisua verkon kytkentätilanteen mallintamiselle.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yrityksen nykyistä toteutusta ja laaditaan esiselvitys tulevaisuuden mahdolliselle uudelle ratkaisulle. Opinnäytetyön tarkoitus ei ole antaa yhtä valmiita ratkaisua, vaan pohtia erilaisia ratkaisuja ongelmalle. Työssä pohditaan mahdollisia ratkaisuja käytönhallintaan ja näiden ratkaisujen tuomia etuja. Työssä tarkastellaan myös ratkaisujen vaatimuksia sähköverkon eri laitteilta ja kojeilta.

Opinnäytetyön alussa keskitytään teollisuuden sähköverkon jakelujärjestelmiin ja suojaukseen sekä verkon käytönvalvontaan. Loppuosassa esitetään kohteen nykyinen malli ja pohditaan parempaa ratkaisumallia ja sen tuomia hyötyjä. Opinnäytetyön pohjalta työn tilaajan tulisi saada selkeä kuva mahdollisesti tulevasta uudesta ratkaisusta.

2 JAKELUJÄRJESTELMÄT

2.1 Jännitteisten johtimien järjestelmät ja maadoitustavat

Vaihtovirralla (AC) jännitteisten johtimien järjestelmiin kuuluvat yksivaihejärjestelmä (yksivaiheiset sähkömoottoriasennukset sekä pistorasia- ja valaistusasennukset), kaksivaihejärjestelmä (esimerkkinä ohjauksjännitemuuntajien kytkennät) ja kolmivaihejärjestelmä (kolmivaiheiset sähkömoottoriasennukset). Tasavirralla jännitteisten johtimien järjestelmiin puolestaan kuuluvat kaksijohtiminen järjestelmä (esimerkiksi varavalaistuksen syöttöjärjestelmä) ja kolmijohtiminen järjestelmä (erilaiset automaatiotekniikan sovellukset). (Mäkinen & Kallio 2006, 8)

Jakelujärjestelmän maadoitustavat ilmoitetaan kahden kirjaimen yhdistelmällä ja tarvittaessa lisäkirjaimella. Ensimmäinen kirjain ilmaisee jakelujärjestelmän maadoitustavan, jolla tarkoitetaan jakelumuuntajan alajännitepuolen maadoitustapaa. T tarkoittaa, että yksi piste on yhdistetty suoraan maahan ja I tarkoittaa, että kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta tai yksi piste on yhdistetty impedanssin kautta maahan. (Mäkinen & Kallio 2006, 9)

Toinen kirjain ilmaisee sähkölaitteiston jännitteelle alttiiden osien maadoitustavan. T tarkoittaa, että jännitteelle alttiit osat on galvaanisesti yhdistetty suoraan maahan riippumatta jakelujärjestelmän maadoitustavasta ja N tarkoittaa, että jännitteelle alttiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun pisteeseen, joka yleisimmin on tähtipiste. (Mäkinen & Kallio 2006, 9)

Mahdolliset lisäkirjaimet kertovat nolla- ja suojamaadoitusjohtimien keskinäisen suhteen. S tarkoittaa, että järjestelmässä on erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet. (N ja PE). C tarkoittaa puolestaan, että järjestelmän nolla- ja suojamaadoitusjohtimet on yhdistetty yhdeksi johtimeksi. (PEN) (Mäkinen & Kallio 2006, 9)

2.2 TN-järjestelmät

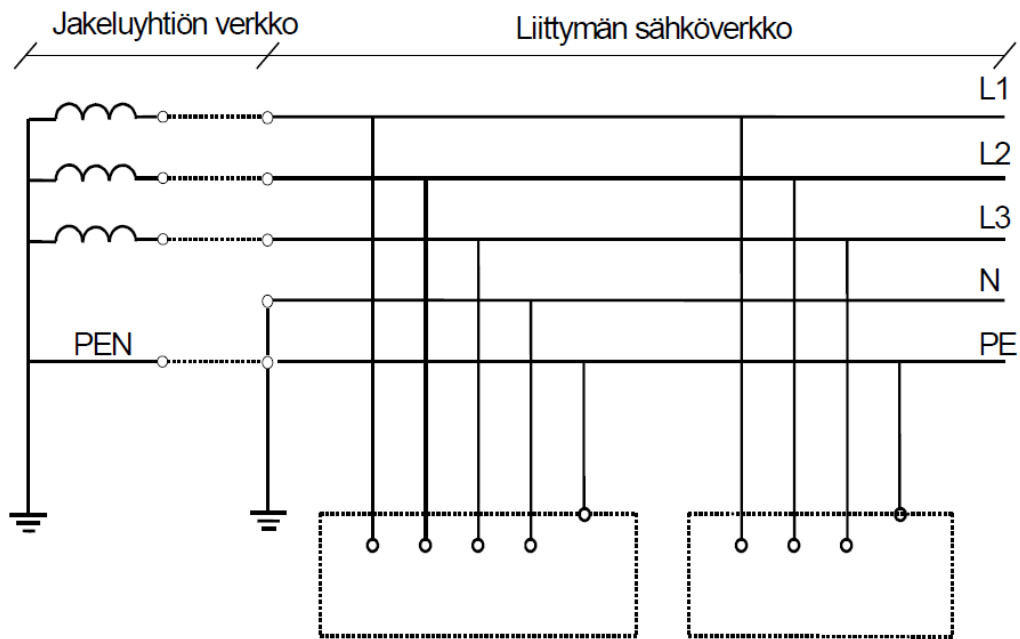
TN-järjestelmässä virtapiirin yksi piste on suoraan maadoitettu, ja sähkölaitteistojen ja laitteiden jännitteelle alttiit osat on yhdistetty tähän pisteeseen suojajohtimen välityksellä. Tavallisesti maadoitettu piste on kolmivaihejärjestelmän tähtipiste. TN-järjestelmiin kuuluvat TN-S- ja TN-C järjestelmät sekä näiden yhdistelmä TN-C-S-järjestelmä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 63) TN-järjestelmän merkittävin etu on, että vikavirta kulkee johtavaa yhteyttä pitkin, jolloin vikavirrat kasvavat riittävän suuriksi syötön nopean poiskytkennän suorittamiseksi ylivirtasuojilla. (Hietalahti 2013, 112)

2.2.1 TN-S-järjestelmä

TN-S-järjestelmässä käytetään nollajohtimesta erillistä suojajohdinta koko järjestelmässä. TN-S-järjestelmässä käytetään nollajohdinta yleisesti rakennusten sähköasennuksissa, mutta kuitenkin esimerkiksi teollisuuden moottorikäytöissä ja muissa symmetrisissä ja yliaallottomissa kuormissa nollajohdin on useimmiten tarpeeton eikä sitä käytetä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 63)

TN-S-järjestelmää käytettäessä, on pääkeskuksessa pääkojeena liittymispisteessä katkaisija tai kuormakytkin. Kuormakytkintä käytettäessä voidaan keskus turvallisesti ohjata jännitteettömäksi keskijännitepuolen katkaisijalla, jota varten on syöttökentän ovelta kytkin. Työmaadoituslaitteena pääkeskuksessa käytetään mekaanisesti tai sähköisesti lukittua pääkytkimeen lukittua työmaadoituskytkintä. (Hietalahti 2013, 127)

Kolmivaihejärjestelmässä johtimia on tavallisesti viisi (L1, L2, L3, N ja PE) tai neljä (L1, L2, L3 ja PE). Yksivaiheisessa TN-S-järjestelmässä on tavallisesti kolme johdinta (L, N ja PE). Kuvassa 1 on esitetty TN-S-järjestelmän johtimet kolmivaihejärjestelmässä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 63)



KUVA 1. TN-S-järjestelmä (ABB 2000, 101)

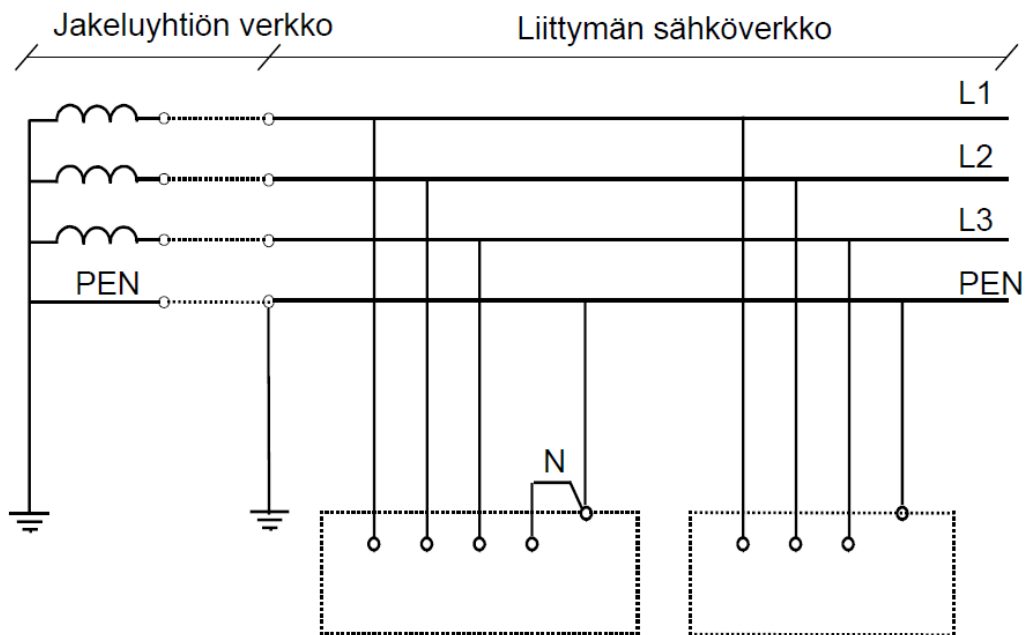
Jos TN-S-järjestelmässä käytetään nollajohdinta, on tärkeää valvoa N- ja PE-johtimen erillään pysymistä eli verkon vikavirtoja. Vikavirran valvonta voidaan toteuttaa järjestelmän lähtöpisteessä tapahtuvalla summavirtamittauksella. Alakeskuslähdöissä voidaan käyttää hälyttävää summavirtamittausta (L1, L2, L3 ja N), jolla voidaan helposti paikallistaa missä osassa jakelujärjestelmää vikavirrat syntyvät. (Hietalahti 2013, 112)

Tiloja ja asennuksia, joissa on pakollista käyttää TN-S järjestelmää kaikilla johdinpoikkipinnoilla, ovat lääkintätilat, räjähdysvaaralliset tilat, palovaaralliset tilat ja taipuisat liittämistöhdöt. TN-S-järjestelmässä sähköverkon aiheuttamat häiriöt ovat oleellisesti pienemmät kuin TN-C-S-järjestelmässä, ja tämän takia TN-S-järjestelmää suositellaankin käytettäväksi paljon elektroniikkalaitteita sisältäviin tiloihin. (ABB 2000, 102) Nykyään TN-S-järjestelmä on pakollinen uusissa rakennuksissa liittymiskohdasta eteenpäin. (SFS 6000-4-44, 444.4.3.2)

2.2.2 TN-C-järjestelmä

TN-C-järjestelmässä sama johdin (PEN-johdin) toimii sekä suoja- että nollajohtimena koko järjestelmässä. TN-C-järjestelmää voidaan käyttää vain silloin, kun johtimen poikkipinta on vähintään 16 mm² alumiinia tai 10 mm² kuparia (SFS 6000-5-54, 543.7). PEN-johdinta ei voi käyttää uudiskohteissa liittymiskohdan jälkeen (SFS 6000-4-44, 444.4.3.2). (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 63)

Kolmivaihejärjestelmässä TN-C-järjestelmä vaatii neljä johdinta (L1, L2, L3 ja PEN). Yksivaiheisen TN-C-järjestelmän käyttäminen on lähinnä teoreettinen suurien poikkipintavaatimusten takia. Kuvassa 2 on esitetty TN-C-järjestelmän johtimet kolmivaihejärjestelmässä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 63)

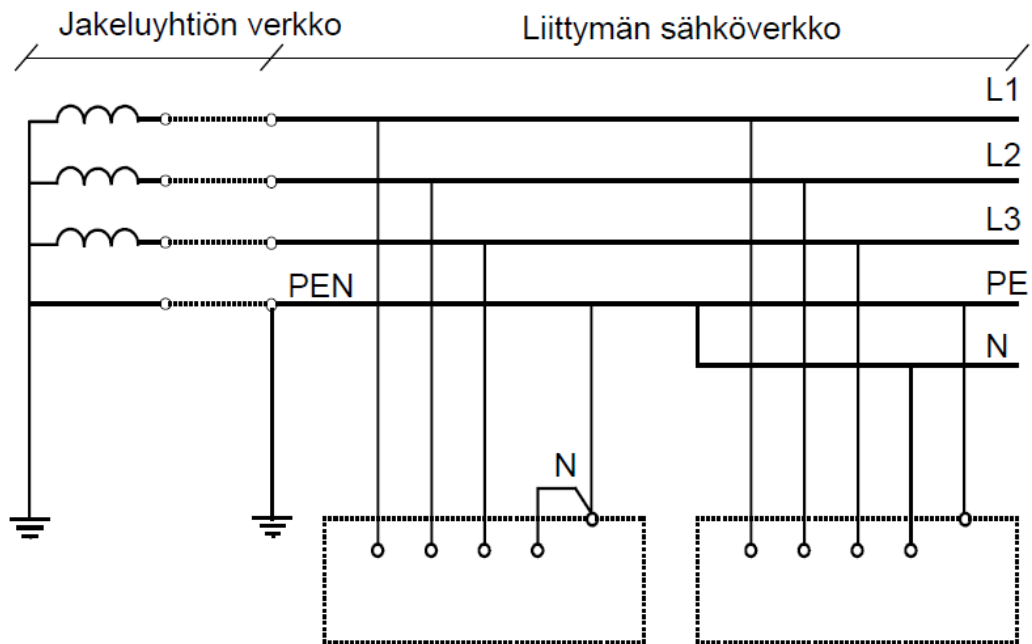


KUVA 2. TN-C-järjestelmä (ABB 2000, 101)

Vanhoissa asennuksissa on yleisesti käytetty nollausta ryhmäjohtotasolla ilman poikkipintavaatimuksia. On kuitenkin huomattava, että nämä asennukset ovat maadoitustavaltaan TN-C-järjestelmän (tai TN-C-S-järjestelmän) mukaisia. Aiemmin PEN-johdinta nimettiin nollajohtimeksi eikä sitä erotettu merkinnöillä tavallisesta nollajohtimesta. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 63-64)

2.2.3 TN-C-S-järjestelmä

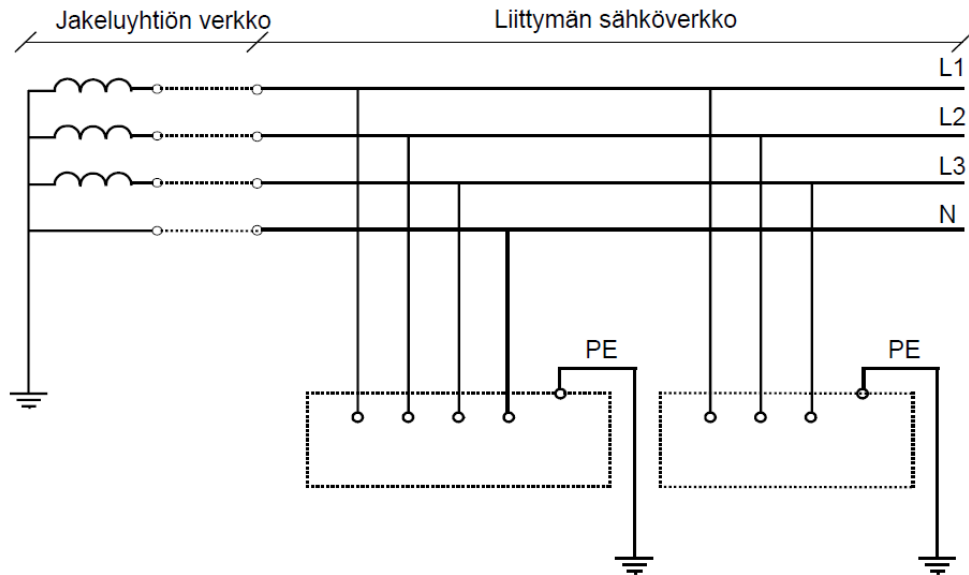
TN-C-S järjestelmä on yhdistelmä TN-C- ja TN-S-järjestelmistä. Tässä järjestelmässä TN-C-järjestelmä on aina syöttävän verkon puolella TN-S-järjestelmään nähden. Tämä johtuu siitä, että toisistaan erotettua nolla- ja suojajohdinta ei saa kytkeä uudelleen yhteen PEN-johtimeksi. Kuvassa 3 on esitetty TN-C-S järjestelmä, jossa PEN-johtimesta erotetaan PE- ja N-johdin erilleen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 64)



KUVA 3. TN-C-S-järjestelmä (ABB 2000, 102)

2.3 TT-järjestelmä

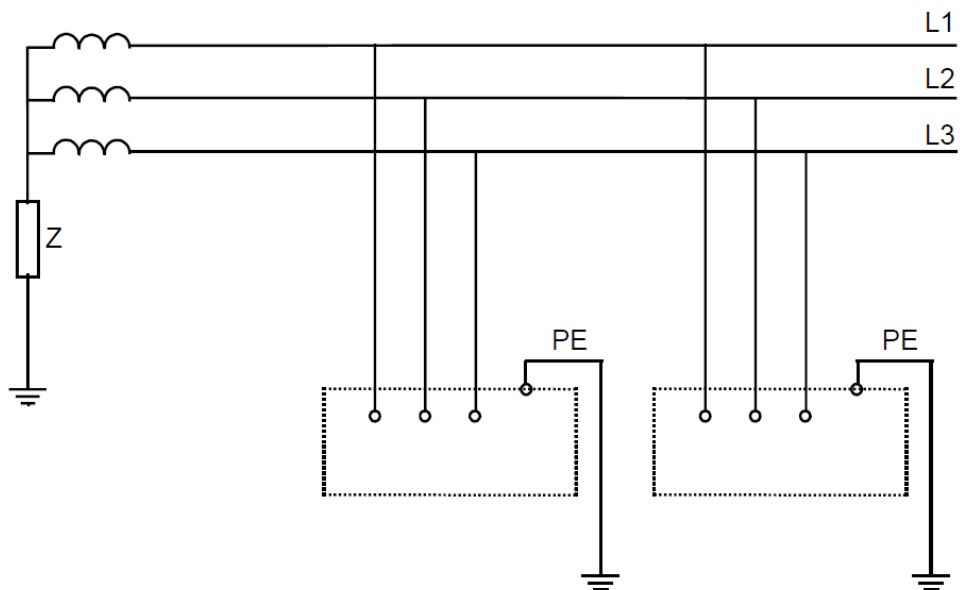
Kuten TN-järjestelmässä, myös TT-järjestelmässä virtapiirin yksi piste on suoraan maadoitettu. TT-järjestelmässä sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat ovat maadoitettu erillisen tai erillisten maadoituselektrodien avulla (kuva 4). Nämä elektrodit ovat oltava sähköisesti erillisiä syöttöverkon maadoituselektrodiin nähden. TT-järjestelmä on yleinen Etelä-Euroopassa, mutta sitä ei käytetä Suomessa. Sen käyttö voisi poikkeustapauksissa tulla kyseeseen pitkien syöttöjohtojen päässä yksittäisissä paikallisissa asennuksissa, kuten pumppaamoissa. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 66-68)



KUVA 4. TT-järjestelmä (ABB 2000, 103)

2.4 IT-järjestelmä

IT-järjestelmässä ei ole mitään virtapiirin jännitteistä osaa kytketty suoraan maahan. IT-järjestelmässä sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat on kytketty joko erillisiin maadoituselektrodeihin tai yhteiseen elektrodiin suojajohtimen välityksellä. Yhteinen elektrodi voi olla myös syöttävän verkon maadoituselektrodi. IT-järjestelmässä nolajohtimen käyttö on mahdollista, mutta sitä ei suositella käytettäväksi. Kuvassa 5 on esitetty nolajohtimeton IT-järjestelmä. (Hietalahti 2013, 112; Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 66–67)



KUVA 5. IT-järjestelmä (ABB 2000, 103)

Vaikka IT-järjestelmä on maasta erotettu, voidaan virtapiirin soveltuva piste, joka on tavallisimmin nollauspiste, kytkeä maahan impedanssin välityksellä. IT-järjestelmän maasulkuvalvonta toteutetaan tavallisesti järjestelmän keskipisteen ja maan välille kytkettävän vastuksen avulla. Käyttökohde puolestaan määrää vastuksen suuruuden. Esimerkiksi sairaaloiden leikkaussaleissa vastuksen tulee olla standardin SFS 6000-7-710 mukaisesti vähintään 100 k Ω . Teollisuusverkoissa käytetään puolestaan pienempiä vastuksia katkeilevan maasulun aiheuttamien ylijännitteiden rajoittamiseksi. IT-järjestelmän etuna on, että yksivaiheinen maasulku ei välittömästi aiheuta käyttökeskeytystä, minkä takia IT-järjestelmiä käytetäänkin esimerkiksi prosessiteollisuudessa ja leikkaussaleissa. (Hieta-lahti 2013, 112; Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 66–67)

Yleisenä pääsääntönä pidetään, että galvaanisesti yhtenäinen IT-järjestelmä ei ulotu usean eri haltijan sähkölaitteisiin, koska muuten ensimmäisen maasulun vikapaikan löytäminen ja vian poistaminen olisi hankalaa ja vikajännitteisiin liittyvien ehtojen täytyminen hankaloituisi. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 69)

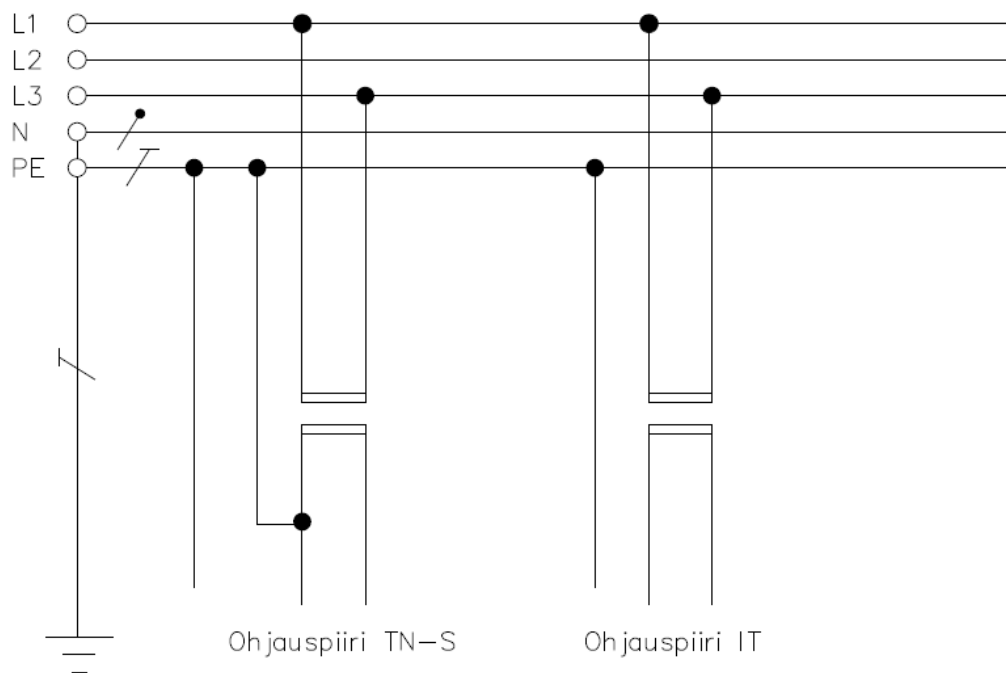
2.5 Jakelujärjestelmien yhdistäminen

Jakelujärjestelmät TN-S, TN-C, TT ja IT tarkoittavat nimensä mukaisesti kokonaista järjestelmää, mutta niitä voidaan käyttää samassa sähköverkossa osina. Tavallisin tapaus järjestelmien yhdistämisestä on tavanomaisesti pienjänniteverkoissa käytetty TN-C-järjestelmä. Suomessa yleiset jakeluverkot ovat yleensä TN-C-järjestelmän mukaisia. Jakeluverkoissa käytetään PEN-johdinta, joka on maadoitettu muuntamolla, johtohaarojen päiden läheisyydessä ja vielä tavallisesti myös jokaisessa liittymässä. Rakennusten sisäinen sähköverkko on pääsääntöisesti uusissa asennuksissa TN-S-järjestelmän mukainen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 67)

Häiriösuojauksen ja turvallisuuden kannalta teollisuudessa ja toimistorakennuksissa käytetään tavallisesti TN-S-järjestelmää jopa muuntajalta tai pääkeskukselta lähtien johdintoikkopinnasta riippumatta. TN-C-järjestelmää käytettäessä PEN-johtimen mahdollinen katkeaminen aiheuttaa välittömän vaaratilanteen, jossa vaihejännite pääsee kiertämään laitteen sisäisen impedanssin sekä nolla- ja suojajohtimen eriyttämiskohdan kautta suojamaadoitetun laitteen kuoreen. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 67)

PEN-johtimen käyttö on epäedullista häiriöiden kannalta. Muun muassa atk-laitteisiin voi aiheutua suuria potentiaalieroja, koska nollajohtimen jännitehäviö riippuu kuormitusvirrasta ja nollajohtimen impedanssista. Nämä potentiaalierot aiheuttavat myös harhavirtoja esimerkiksi tietoliikennekaapeleiden suojavaippoihin. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 67)

Käytettäessä IT-järjestelmää ja TN-järjestelmää samassa kokonaisuudessa, on niiden välillä käytettävä muuntajaa, koska IT-järjestelmä on maasta erotettu. Käytettäessä paikallista IT-järjestelmää, ei siinä yleensä käytetä erillistä maadoituselektrodia. IT-järjestelmän suojajohdin kytetään tällöin sitä syöttävän TN-järjestelmän suojajohtimeen. Kuvassa 6 on esitetty malli, jossa IT-järjestelmä ja TN-järjestelmä ovat yhdistetty. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2012, 68)



KUVA 6. Malli IT-järjestelmän ja TN-järjestelmän yhdistyksestä

3 SÄHKÖVERKKOJEN RAKENNEVAIHTOEHDOT

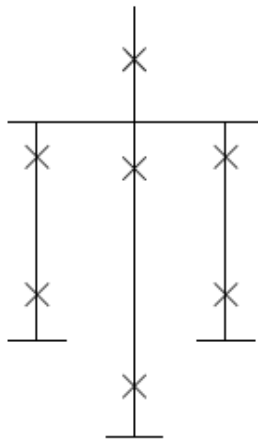
3.1 Verkstorakenteet

Sähköverkostojen rakentamisessa käytetään kolmea perustyyppiä: säteittäinen, rengas- tai silmukoitu verkko. Jokaisella verkstorakenteella on omat hyötynsä ja haittansa. Eri vaihtoehtoja vertailtaessa on huomioitava niiden käyttöön liittyvät teknis-taloudelliset näkökohdat, joihin kuuluvat muun muassa investoinnin kalleus, käytön taloudellisuus ja luotettavuus, varasyöttöjen mahdollisuus sekä erityisesti verkon suojaukseen liittyvät näkökohdat. (ABB 2000, 341)

Siirto- ja keskijänniteverkot rakennetaan pääsääntöisesti silmukkaverkoiksi. Kantaverkossa johtorenkaat pidetään normaalisti suljettuina, eli rengasverkkoina. Pienjänniteverkot rakennetaan maaseudulla lähes pelkästään säteittäiseksi kustannussyistä johtuen. (Korpinen Sähkön siirto- ja jakeluverkot)

3.2 Säteittäinen verkko

Säteittäisen verkon kuormitukset saavat sähköä vain yhtä reittiä. Säteittäisen verkon etuina ovat muun muassa selkeä yleisrakenne, käytön yksinkertaisuus ja suojauksen helpous. Haittoina puolestaan säteittäiselle verkolle ovat varmistusmahdollisuuden puuttuminen ja huollon vaatimat käyttökeskeytykset.

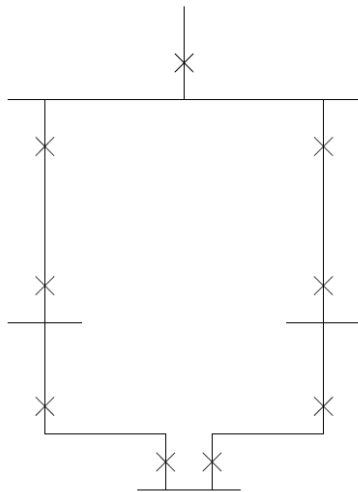


KUVA 7. Malli säteittäisestä verkkomuodosta

Säteittäistä verkstorakennetta käytetään yleisesti keski- ja pienjännitteellä. Suomessa keskijännitteellä on yleistynyt rakentamistapa, jossa 20 kV:n verkko rakennetaan renkaiksi käytön ollessa kuitenkin säteittäistä jakorajojen avulla. Kuvassa 7 on esitetty säteittäinen verkko. Kuvassa lyhyet vaakasuorat viivat ovat kuormituspisteitä ja X:t ovat katkaisijoita. (ABB 2000, 341; Korpinen Sähkön siirto- ja jakeluverkot)

3.3 Rengasverkko

Suuremmilla jännitteillä sähköverkot rakennetaan yleensä rengasverkoiksi. Etuina säteittäiseen rakenteeseen verrattuna ovat muun muassa varmistettu syöttö, parempi jännitevakavuus ja pienemmät tehohäviöt. Haittoina rengasverkolle ovat käytön vaikeutuminen ja relesuojaukseen monimutkaistuminen. Suomessa 110 kV:n verkot ovat usein kytkettyinä renkaaksi lukuun ottamatta johtoja, jotka syöttävät yhtä tai korkeintaan muutamaa 110/20 kV:n asemaa. Kuvassa 8 on esitetty malli rengasverkon rakenteesta. (ABB 2000, 341)

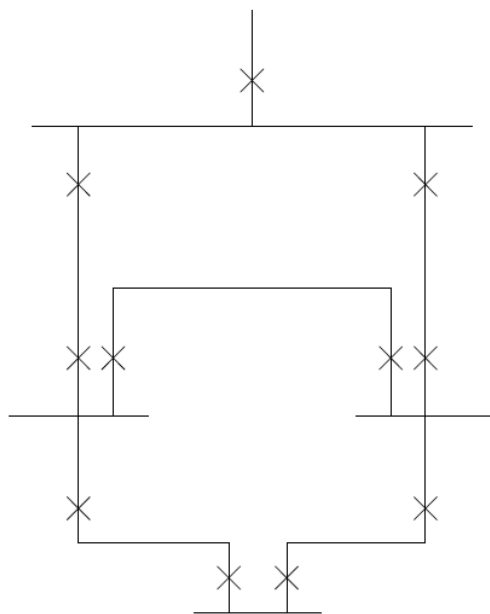


KUVA 8. Malli rengasverkosta

Keskijänniteverkon lisäksi usein myös pienjänniteverkkoa voidaan käyttää korvaamaan syöttö alueille, jotka muuten joutuisivat esimerkiksi suunnitellun keskeytyksen vaikutuksesta sähköttömiksi. Tämä edellyttää PJ-yhteyksiä ja jakorajoja muuntopiirien välillä. Esimerkiksi 20/0,4 kV:n jakelumuuntamon ollessa huollossa, voidaan muuntopiirin sähkönjakelu hoitaa yhden tai useamman lähellä sijaitsevan muuntamon kautta kytkentämuutosten avulla, jos muuntopiirien välille on rakennettu PJ-yhteys. Tämä ei kuitenkaan ole yleensä kannattavaa haja-asutusalueilla. (Lehtonen 2016)

3.4 Silmukoitu verkko

Silmukoitu verkko on luonteeltaan kuin rengasverkko, mutta se sisältää myös renkaan sisäisiä väilyhteysjä. Tällä tavoin voidaan nostaa syöttöjen varmistusmahdollisuuksia, parantaa verkon jännitevakavuutta ja pienentää tehohäviöitä. Haittapuolena silmukoidulle verkolle ovat sen käytön vaikeus ja kallis relesuojaus. Suomessa 220 kV:n ja 400 kV:n verkot ovat silmukoituja, jolloin niissä voidaan minimoida verkossa tapahtuvat siirtohäviöt ja saavuttaa erittäin hyvä jännitevakavuus. Kuvassa 9 on esitetty malli silmukoidun verkon rakenteesta. (ABB 2000, 341)



KUVA 9. Malli silmukoidusta verkkomuodosta

4 SÄHKÖVERKON LAITTEET JA KOJEET

4.1 Muuntaja

Muuntaja on staattinen sähkölaite, jonka aktiivisiin osiin kuuluvat käämitykset ja rautasydän, jotka suorittavat muuntajan varsinaisen tehtävän. Sen passiivisiin osiin kuuluvat muun muassa tukirakenteet, eristimet, muuntajaöljy ja jäähdytyslaitteet. Käämityksiä muuntajassa on yleensä kaksi. Niitä kutsutaan yläjännite- ja alajännitekäämitykseksi tai tehon kulkusuunnan mukaan ensiö- ja toisiokäämitykseksi. Muuntajan teho ilmoitetaan näennäistehona (S). (Korpinen, Muuntajat ja sähkökoneet)

Käämitysten lukumäärän perusteella muuntajat ovat joko kaksi- tai kolmikäämitysmuuntajia. Kaksikäämitysmuuntaja suorittaa muunnon kahden eri jännitetason välillä, kun taas kolmikäämitysmuuntaja kolmen eri jännitetason välillä. Erikoismuuntajissa voidaan käyttää vielä enemmän käämejä, esimerkiksi Viipurin tasavirtalinkin suuntaajamuuntajat ovat nelikäämitysmuuntajia. (Elovaara & Haarla 2011, 144)

Muuntajien kytkennät ilmoitetaan eri kirjainsymboleilla ja tunnusluvuilla. Kolmivaihemuuntajan käämityksen kytkentää kuvaamaan käytetään seuraavia kirjainsymboleja:

- Y; y tähtikytkentä
- D; d kolmiokytkentä
- Z; z hakatähtikytkentä
- III; iii avoin kolmivaihekäämitys

(Hietalahti 2013, 99)

Iso kirjain kytkennässä kertoo suurimman jännitteen käämityksen ja pieni kirjain puolestaan pienimmän käämityksen. Jos käytetyssä kytkennässä tähti- tai hakatähtikäämityksen tähtipiste on tuotu liittimille, merkitään se kirjaimilla N ja n heti kyseisen käämityksen kirjainsymbolin jälkeen. Kytkennässä oleva numero eli tunnusluku ilmoittaa ensiö- ja toisiojännitteiden vaihe-eroa. Tunnuslukuina käytetään kellotaulun tuntilukemia. Jos esimerkiksi kytkentä on Dyn11, on toisiojänniteosoin 30 astetta edellä ensiöjänniteosointa, jonka lukema on 12 eli 0 astetta. Kuvassa 10 on esitetty kolmivaihemuuntajien standardoidut kytkennät. Kuvassa on rajattu Suomessa yleisimmin käytetyt kytkennät. (Hietalahti 2013, 100)

TUN- NUS- LUKU	KYT- KEN- TA	OSOITINKUVAT		KYTKENNÄT	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

KUVA 10. Kolmivaihemuuntajien standardoidut kytkennät (Hietalahti 2013, 101)

Y-kytkennässä käämin yli vaikuttava jännite on vain 57,7 % sen verkon pääjännitteestä, johon kyseinen käämi liittyy, ja käämin virta on sama kuin vaihevirta. Tämän vuoksi Y-kytkentä sopii hyvin suurille jännitteille ja pienille virroille, mutta sitä joudutaan käyttämään myös silloin, kun tarvitaan tähtipiste maadoittamista tai vinokuormittamista varten. Pienillä jännitteillä ja suurehkoilla virroilla on puolestaan taloudellisempaa käyttää kolmiokytkentää, sillä tällöin kääminvirta on 57,7 % vaihevirrasta ja käämin yli vaikuttava jännite on sama kuin järjestelmän pääjännite. (Elovaara & Haarla 2011, 142)

4.2 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteiden tehtävä on muuttaa tarvittaessa verkon topologiaa ja siten myös ohjata sähköenergian kulkua verkossa, erottaa viallinen verkoston osa nopeasti irti verkosta vahinkojen ja vaarojen välttämiseksi ja toimia tarvittaessa erotuskohtana verkoston eri osien välillä. Tärkeimmät kytkinlaitteet suurvoiman siirrossa ja jakelussa ovat katkaisijat, erotimet, kytkimet ja kuormanerotimet. (Elovaara & Haarla 2011, 161)

4.2.1 Katkaisija

Voimansiirtoverkoissa kallein ja tärkein kytkinlaite on katkaisija. Katkaisijat ovat kojeita, joita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijat voivat toimia sekä käsin ohjattuina että automaattisesti. Yleisin automaattinen katkaisijatoiminto on avautuminen ylivirran (esimerkiksi oikosulkuvirran tai maasulkuvirran) vaikutuksesta. Katkaisijat pysyvät vaurioitumatta sekä avaamaan että sulkemaan oikosulkupiirin, jossa virta on moninkertainen katkaisijan mitoitusvirtaan verrattuna. (Elovaara & Haarla 2011, 162-163)

Virtapiirin katkaisulle on luonteenomaista, ettei virta katkea heti katkaisijan koskettimien avautuessa vaan että virtapiiri pysyy suljettuna valokaaren välityksellä. Vaihtovirtakatkaisijoissa käytetään katkaisussa hyväksi virran luonnollisia nollakohtia. Katkaisun helpottamiseksi valokaarta pidennetään, se jaetaan useaan osaan ja sitä jäähdytetään tehokkaasti. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta valokaari muuttuu hyvin lyhyessä ajassa johteesta eristeeksi, katkaisten virran. (Elovaara & Haarla 2011, 163-165)

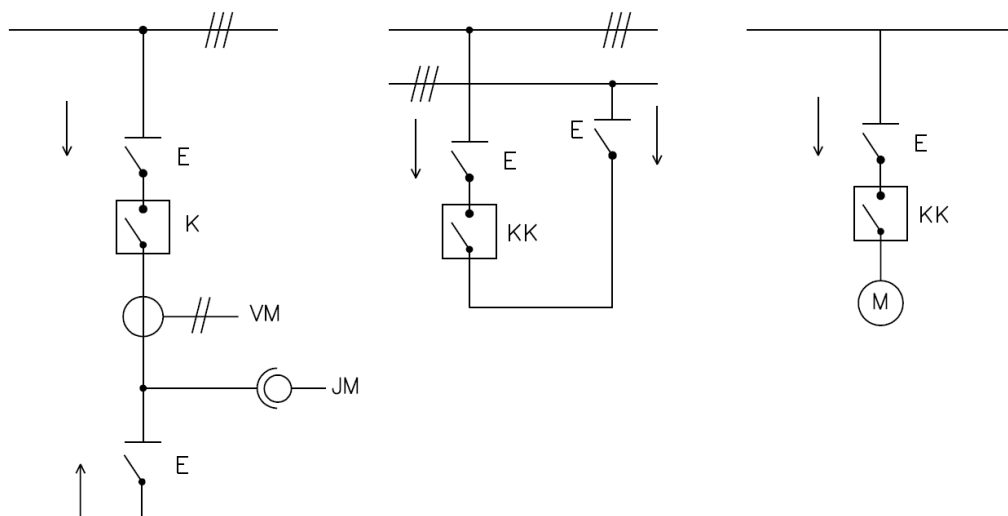
Katkaisijaa valittaessa on kiinnitettävä huomiota muun muassa sen ohjaustapaan, apukoskettimiin (lukitus-, hälytys- ja apuvirtapiirejä varten), ohjaimen erilaisiin varusteluihin, mekaaniseen luotettavuuteen, katkaisijan asennustapaan sekä huoltotarpeeseen ja huoltokustannuksiin. (Elovaara & Haarla 2011, 189)

4.2.2 Erotin

Erottimen tehtävänä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille sekä saada laitoksen osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erottimen avausvälin on oltava siis erittäin luotettava ja avausvälin on oltava näkyvä. Erottimia ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen, kuten katkaisijan. Turvallisuussyistä erotin on pystyttävä lukitsemaan sekä auki- että kiinni asentoihin siten, että erottimen vaaraa aiheuttava käyttö on estetty. (Elovaara & Haarla 2011, 190)

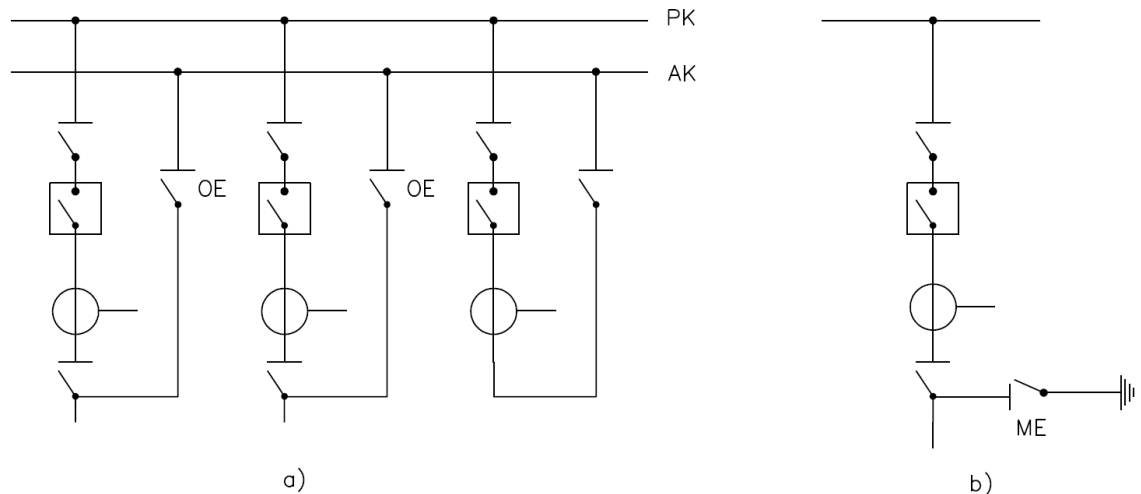
Erotimekset ovat usein käsi- tai moottoriohjattuja. Käsiöjohdus tehdään tavallisesti eristävällä tangolla tai kiinteillä käsiöjohdauksen tangoilla sekä vivuilla. Moottoriohjatut erottimet on yleensä varustettu sekä kauko-, että paikallis- ja käsiöjohdusmahdollisuudella. (Elovaara & Haarla 2011, 197)

Jos energian virtaussuunnalle on olemassa vain yksi vaihtoehto, riittää, että erotin sijoitetaan katkaisijan ja syötettävän kiskon väliin. Jos energian virtaus on mahdollista molempiin suuntiin, tulee erotin sijoittaa katkaisijoiden molemmille puolille. Erottimia voidaan käyttää myös sarjassa sellaisten laitteiden kanssa, jotka on kytkettävä jännitteettömiksi niiden huoltoa tai vastaavaa varten. Kuvassa 11 on esitetty erottimen erilaisia käyttötapoja. Kuvassa nuolet kuvaavat mahdollisia energian virtaussuuntia. E tarkoittaa erotinta, K katkaisijaa, KK kiskokatkaisijaa, VM virtamuuntajaa ja JM jännitemuuntajaa. (Elovaara & Haarla 2011, 190-191)



KUVA 11. Erottimen käyttötapoja. (Elovaara & Haarla 2011, 191) [Muokattu]

Eroittimia voidaan myös käyttää keskeytymättömän käytön mahdollistavan ohituserottimena tai maadoituserottimena (kuva 12). Maadoituserotin estää vikavirtojen ja induoituneiden jännitteiden vaaravaikutuksia verkossa työskenneltäessä. Maadoituserottimet on suljettava ennen työmaadoituksen tekemistä turvallisuussyistä. (Elovaara & Haarla 2011, 190-191)



KUVA 12. a) Ohituserottimien (OE) käyttö kisko-apukiskojärjestelmässä b) Maadoituserottimen (ME) käyttö. (Elovaara & Haarla 2011, 191) [Muokattu]

4.2.3 Kuormanerotin

Kuormanerotin kykenee erottimen tavanomaisten tehtävien lisäksi suoriutumaan melko suurten kuormitusvirtojen katkaisusta sekä pienehköjen oikosulkuvirtojen kytkemisestä. Kuormanerotin on eräänlainen katkaisijan ja erottimen välimuoto. Sitä käytetään Suomessa hyvin runsaasti varsinkin keskijänniteverkoissa sellaisissa paikoissa, joissa joudutaan erottamaan kuormitusvirrallisia verkon osia toisistaan tai erottamaan verkosta suurehko kuormittamaton muuntaja tai kaapeliverkko. (Elovaara & Haarla 2011, 191-192)

Kuormanerotin normaaleja tehtäviä ovat johtosilmukan avaaminen ja sulkeminen, tyhjänä käyvän muuntajan, kaapelin tai avojohdon erottaminen ja kuorman erottaminen. 10 kV:n kaapelia voidaan erottaa tyypillisesti noin 10 km ja 20 kV:n avojohdtoa 80 km. Erotettavan muuntajan koko on tavallisesti enintään 1250 kVA. (Elovaara & Haarla 2011, 195-196)

Oikein sijoitetuilla kuormanerotimilla voidaan merkittävästi pienentää katkaisijoiden määrää. Koska kuormanerotimen tehtävänä on korvata katkaisija eräissä verkon kytkentätilanteissa, asetetaan sille erityisvaatimuksia erilaisissa verkon kytkentätilanteissa. Tällaisia kytkentätilanteita ovat muun muassa kuorman erottaminen, rengassyötön avaaminen, pienen kuormitusvirran katkaisu, tyhjänä käyvän kaapelin erottaminen, oikosulun kytkeminen ja maasulkuvirran kytkeminen. (Aura & Tonteri 1993, 287)

4.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat jännitteen tai virran mittaukseen tarkoitettuja erikoisrakenteisia muuntajia. Mittamuuntajat erottavat mittauspiirin galvaanisesti suurjännitteisestä päävirtapiiristä ja muuttavat mitta-alaa. Mittamuuntajia käytetään suojaamaan mittareita ylikuormituksilta ja ne mahdollistavat mittareiden ja releiden sijoituksen etäälle varsinaisesta mittauspaikasta. (Elovaara & Haarla 2011, 198)

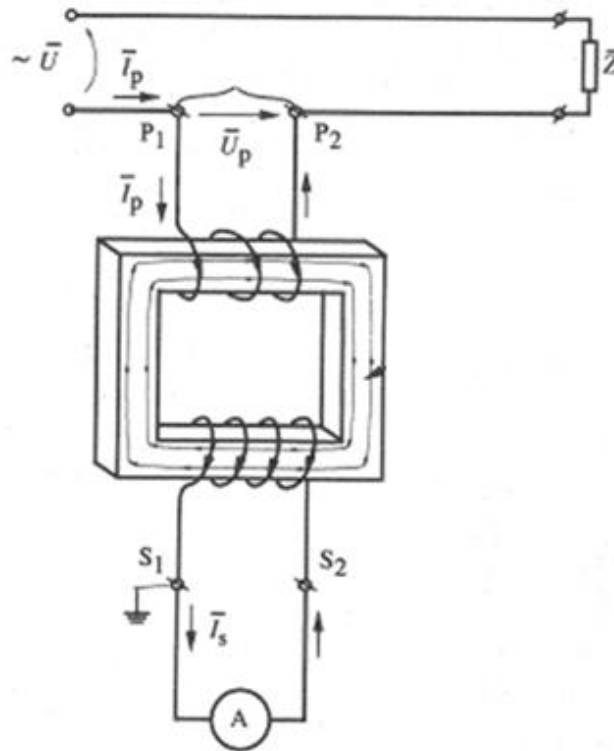
Valtaosa mittamuuntajista perustuu sähkömagneettisen induktion käyttöön. Mittamuuntajien erilaisia ominaisuuksia voidaan tutkia käyttämällä tavalliselle muuntajalle sovellettua sijaiskytkentää. Näin tehtäessä on kuitenkin muistettava, että virtamuuntajan toisiokäämi on käytännössä lähes oikosuljettu ja että jännitemuuntajan toisiokäämi on lähes tyhjäkäynnissä. (Elovaara & Haarla 2011, 198)

4.3.1 Virtamuuntaja

Rakenneperiaate virtamuuntajissa on sama kuin normaalissa tehomuuntajassa. Virtamuuntajan kytkentä virtapiiriin poikkeaa muiden muuntajien kytkennästä siten, että virtamuuntajan ensiökäämi kytketään sarjaan mitattavan kuorman kanssa sen sijaan, että siihen kytkettäisiin jännite kuten muiden muuntajien tapauksessa. (Aura & Tonteri 1996, 81)

Kuvassa 13 on esitetty virtamuuntajan kytkentä- ja rakenneperiaate. Kuvassa P_1 - P_2 on ensiökäämi ja S_1 - S_2 on toisiokäämi. Vaihtoehtoisesti napamerkintöinä voidaan myös käyttää ensiöpuolella K - L ja toisiopuolella k - l . Virtamuuntajan ensiön virran I_p määrää

ensiöpiirin kuorman impedanssi Z . I_s on virtamuuntajan toisiossa kulkeva virta. (Aura & Tonteri 1996, 81-82)



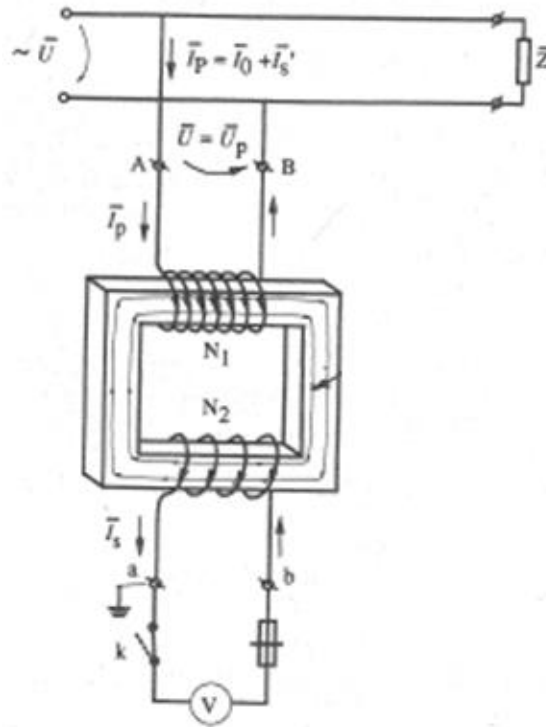
KUVA 13. Virtamuuntajan kytkentä- ja rakenneperiaatekuva (Aura & Tonteri 1996, 81)
[Muokattu]

Virtamuuntajissa on joko yksi tai useampia sydämiä. Jos sydämiä on useita, on niillä yhteinen ensiökäämi, mutta kullakin sydämellä on oma toisiokääminsä. Mittaukseen käytettävää sydäntä kutsutaan mittaussydämeksi ja suojaukseen käytettävää sydäntä suojaussydämeksi. (ABB 2000, 287)

4.3.2 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntajan tarkoituksena on muuntaa mitattava jännite mittarille sopivaan arvoon, jännitemuuntaja siis laajentaa mittarin mittausaluetta. Tämän lisäksi muuntaja eristää toisiojännitteen ja mahdollisesti mittausta tekevän henkilön ensiojännitteestä, joka voi usein olla vaarallisen korkea suurjännite. Mittamuuntajan avulla mittarit saadaan sijoitettua kauas jännitemuuntajasta ja ensiöpiiristä, kunhan vain toisiojohto on riittävän pitkä. Jännitemuuntajia käytetäänkin sekä mittaus- että suojaustarkoituksissa. (Aura & Tonteri 1996, 96-97)

Kuvassa 14 on esitetty jännitemuuntajan kytkentä sekä rakenneperiaate. Kuvassa A-B ovat ensiökäämin liitinnavat ja a-b toisiokäämin. Näitä voidaan ilmaista myös merkinnöillä U-V ja u-v. Kuvassa I_p kuvaa ensiössä kulkevaa virtaa ja I_s toisiossa kulkevaa virtaa. Jännitemuuntajien tärkeimpiin arvoihin kuuluvat eristystaso, mitoitusastajuus, mitoitussensiojännite, mitoitusjännitekerroin, mitoitusjännite, mitoitustaakka sekä tarkkuusluokka. (Aura & Tonteri 1996, 96-97)



KUVA 14. Jännitemuuntajan kytkentä ja rakenneperiaate (Aura & Tonteri 1996, 96)

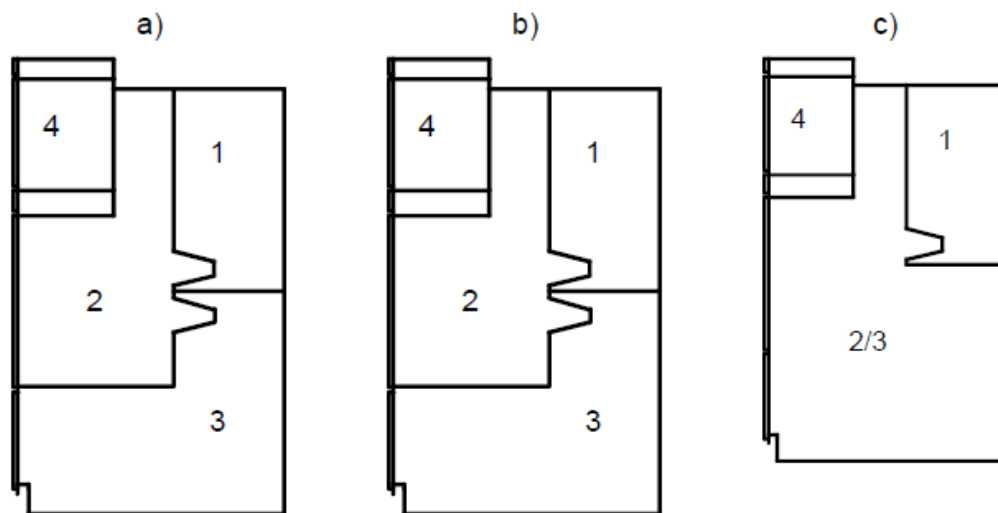
4.4 Kojeistot ja kytkinlaitokset

Kojeistolla tarkoitetaan rakennekokonaisuutta, joka sisältää tarvittavat kytkentä-, suojaus-, ohjaus- sekä valvontalaitteet. Kojeistot voidaan jakaa suur-, keski- ja pienjännitekojeistoihin. Suurjännitekojeistot voidaan jakaa sekä ulko- että sisäkojeistoihin. Lisäksi voidaan puhua koteloidusta ja avorakenteisesta kojeistosta. (Elovaara & Haarla 2011, 117)

Keskijännitepuolella kojeistot ovat tyypillisesti avorakenteisia sisäkojeistoja, jotka on toteutettu kennoasennuksina. Näissä kojeistoissa ryhmät on erotettu toisistaan väliseinän

avulla. Tämä takaa työskenteleville asentajille paremman suojan viereisessä kennossa sattuvien häiriöiden aiheuttamilta vahingoilta. (Elovaara & Haarla 2011, 117)

Kojeistot voidaan ryhmitellä myös niiden ulkokuoren materiaalin perusteella metallikuorisiin ja eristysainekuorisiin kojeistoihin. Suurin osa nykyään käytetyistä kojeistoista on kuitenkin metallikuorisia. Metallikuoriset kojeistot voidaan vielä puolestaan jaotella kojeiston sisäisen osastoinnin ja osastoinnissa käytetyn materiaalin perusteella metallikoteloituun, tilakoteloituun ja kennokoteloituun kojeistoon. Kuvassa 15 on esitetty eri kojeistotyypit. (ABB 2000, 361)



KUVA 15. Eri kojeistotyypit. a) metallikoteloitu b) tilakoteloitu c) kennokoteloitu. 1 kokoojatila, 2 katkaisijatila, 3 lähtötila, 4 toisiokojetila (ABB 2000, 361)

Metalli- ja tilakoteloituissa kojeistoissa kokoojakiskosto, katkaisija ja lähdön kojeet ovat omilla tiloissaan. Metallikoteloitussa kojeistossa tilojen välinen osastointi on maadoitettua metallia kun puolestaan tilakoteloitussa kojeistossa se on osittain tai kokonaan eristysainetta. (ABB 2000, 361)

Kojeistot varustetaan erottimilla verkosta erottamista varten. Kojetojen erotintoiminnissa voidaan käyttää joko erillisiä erottomia ja kuormanerottimia tai se voidaan toteuttaa vaunuratkaisuna. Erottimen asento tulee olla todettavissa. Tämä vaatimus täyttyy, kun erotusväli on näkyvässä, vaunun asento on nähtävissä tai erottimen asento on ilmaistu luotettavalla asennonosoituksella. (ABB 2000, 362)

Kojeistolle on määrätty tietynlaisia lukituksia, joilla varmistetaan kojeistojen turvallinen ja oikea toiminto. Kiinteästi kalustetuilla kojeilla varustetussa kojeistoissa näihin lukituksiin kuuluvat ei tarkoitettujen ohjaustoimenpiteiden lukitseminen, erottimien ohjaus vain kun virtapiirin kytkinlaite on auki asennossa ja katkaisijan avaamisen estäminen kun katkaisija on sarjassa maadoituskytkimen kanssa. (ABB 2000, 362)

5 SÄHKÖVERKON SUOJAUS

5.1 Sulakesuojaus

Sulakkeet ovat tavallisimmat oikosulkusuojat pienjänniteverkoissa, mutta niitä käytetään myös keskijännitteellä muuntajien suojalaitteina. Sähköturvallisuusmääräyksissä on esitetty määräyksiä, jotka koskevat sulakkeiden käyttöä muun muassa johtojen suojauksessa. Yleensä sulaketta ei saa poistaa tai asettaa paikoilleen virallisena, joten virtapiiriin on asennettava varokkeiden läheisyyteen kytkin. (Elovaara & Laiho 1999, 294-297)

Sulake sulaa sitä nopeammin mitä suurempi virta on kyseessä. Sulakkeen nimellisvirta I_n määritellään virraksi, jolla varokkeen johdinliitoskohtien lämpötila ei jatkuvuustilassa ylitä määriteltyä arvoa J_a (NH-varokkeilla 120 °C). Sulakkeen alempi rajavirta ilmaisee virran, jolla jatkuvuustilassa sulakkeen langan lämpötila ei saavuta sulamislämpötilaa. Ylempi rajavirta lämmittää äärellisessä ajassa (esimerkiksi 10 h) sulakelangan sulamislämpötilaan, jolloin sulakelanka katkeaa. (Aura & Tonteri 1993, 319-323)

Sulakkeet voivat olla joko niin sanotusti nopeita tai hitaita. Nopeissa sulakkeissa on yleensä ohut sulakelanka, jolla on korkea sulamispiste. Nopeat sulakkeet sulavat nopeasti korkeilla ylivirroilla. Hitaisissa sulakkeissa on puolestaan paksumpi sulakelanka. Sulakelankaan on tehty heikkoja kohtia, jotka sulavat pitkäaikaisessa ylikuormituksessa. Hitait sulakkeet eivät reagoi lyhytaikaisiin ylivirtoihin läheskään niin nopeasti kuin nopeat sulakkeet. (Korpinen, Muuntajat ja sähkökoneet)

5.2 Relesuojaus

Sähköverkon laitteiden suojauksesta huolehtii mittamuuntajien, suojareleiden ja katkaisijoiden muodostama kokonaisuus. Yhteistoimintaa eri laitteiden välillä tarvitaan, että suojaus toimii ja vikaantuneet osat saadaan irrotettua muusta verkosta. Jos oiko- ja maasulkuvikaa ei eroteta muusta verkosta, seuraukset voivat sisältää hengen vaaran sekä rikkoo useita laitteita. Hyvin toteutettu relesuojausjärjestelmä on selektiivinen, herkkä, luotettava ja nopea. (Elovaara & Haarla 2011, 335-342)

Relesuojauksen toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuus säilyy kaikissa olosuhteissa. Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä ja sen on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen. Relesuojauksen käytettävyyden tulee olla hyvä ja sen suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla. Suojauksen tulee olla myös hankintakustannuksiltaan kohtuullinen. (Korpinen, Sähköverkon automaatio ja suojaus)

Suojareleet havahtuvat, toimivat ja palautuvat tarkkailemiensa suureiden muutosten perusteella. Jos mitattava suure ei ylitä asetettua toiminta-arvoa releelle, rele pysyy normaalitilassaan. Kun mitattava arvo ylittää asetellun toiminta-arvon, rele havahtuu. Jos rele on havahtuneena tarpeeksi kauan, se antaa laukaisukäskyn katkaisijalle, lähettää hälytyksen tai tekee kummankin toimenpiteen. Releen toiminta-aikaa voidaan haluttaessa säätää. (Elovaara & Haarla 2011, 344)

Releet voidaan jakaa mitattavan suureen perusteella seitsemään eri ryhmään. Nämä ryhmät ovat ylivirtareleet, ali- ja yli-jännitereleet, taajuusreleet, suunta- ja tehoreleet, epäsymmetriareleet, vertoreleet sekä distanssireleet. (Korpinen, Sähköverkon automaatio ja suojaus)

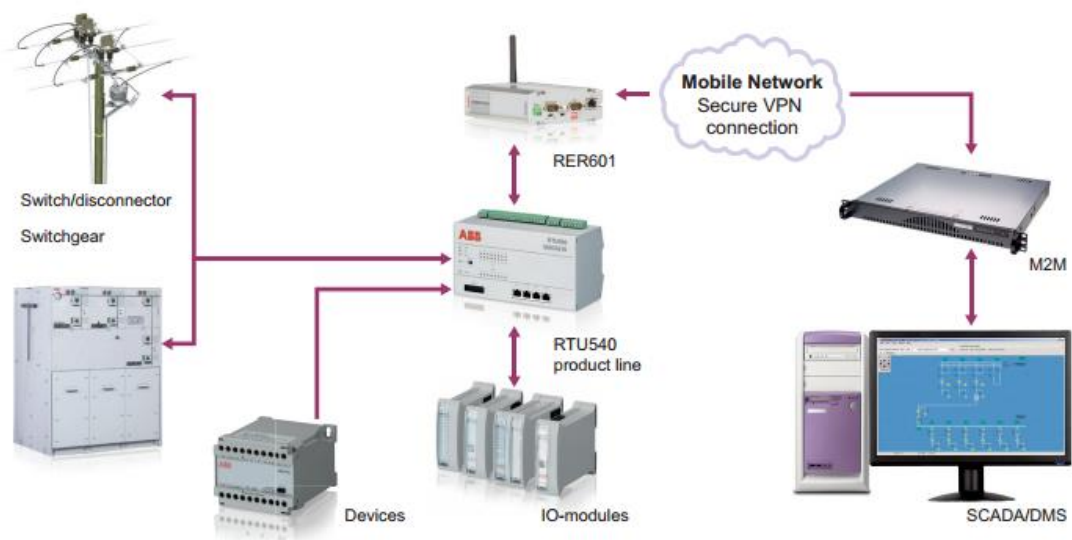
6 KÄYTÖN VALVONTA

6.1 Sähköasema-automaatio

Sähköaseman automaatiojärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, joka mahdollistaa paikalliset manuaaliset ja automaattiset toiminnot sekä huolehtii tarvittavasta tiedonsiirrosta valvomon ja sen järjestelmien sekä toimilaitteiden välillä. Verkon eri tiedot, kuten jännitteet, johtojen virrat ja kytkinlaitteiden asennot välitetään SCADA-järjestelmään. (Elovaara & Haarla 2011, 385-386)

Nykyaikaisella sähköaseman automaatiojärjestelmällä voi olla hajautetumpi rakenne, ja se huolehtii suuresta osasta aseman hallintaan liittyvistä toiminnoista. Nykyisin hälytykset ja asentotiedot ovat usein valmiiksi välireleiden koskettimilla binäärimuotoisina, mutta muut tiedot on muunnettava digitaaliseksi. (Elovaara & Haarla 2011, 386-387)

Kuvassa 16 on esitetty ABB:n RTU540 -tuotesarjalla toteutettu malliesimerkki kauko-käyttöjärjestelmästä. Ala-aseman kytkinlaitetiedot toimitetaan tietoliikenteen päälaitteelle (RTU), josta tiedot viedään TCP/IP verkossa toimivaan langattomaan reitittimeen (RER601). Reitittimestä tieto viedään VPN verkon ylitse M2M-reitittimelle. M2M-reitittimeltä tieto viedään lopuksi SCADA-järjestelmään.



KUVA 16. ABB:n esimerkkitoetus RTU540 -tuotesarjalla (ABB. Grid automation solutions with RTU products.)

Kaukokäytön verkko toteutetaan yleensä omina erillisverkkoina. Erillisverkko takaa parempaa tietosuojaa ja sille on hyvä varata paljon resursseja varsinkin sähköverkon vikojen ja häiriöiden ajaksi. (Elovaara & Haarla 2011, 404-405)

Viestiyhteyden valintaan vaikuttavat sen käytettävyys ja kustannukset. Käytettävyyteen vaikuttavat muun muassa verkon luotettavuus, vikavälit ja vikojen kesto aika. Kustannuksiin puolestaan vaikuttavat viestijärjestelmä, ala-asemien etäisyys toisistaan ja keskusasemasta sekä se, käytetäänkö omia vai vuokrattuja yhteyksiä. Yhteyden valinnassa tulee myös ottaa huomioon vaimennus, vääristymät, ylikuuluminen ja häipyminen. (Elovaara & Haarla 2011, 405)

Kaapeliyhteyksien käyttö on taloudellista varsinkin lyhyillä etäisyyksillä. Asemien välimatkojen kasvaessa kaapelin hinta kasvaa sekä tiedonsiirtoa alkaa rajoittamaan vaimennus ja vääristymä. Vaimennusta voidaan estää signaalin vahvistimilla ja vääristymää voidaan ehkäistä korjaimien käytöllä. (Elovaara & Haarla 2011, 405-406)

6.2 Ala- ja keskusasemaliittymät

Kaukokäyttökojeissa ja sähköasemainstrumentoinnissa käytetyt jännitetasot poikkeavat huomattavasti toisistaan. Sähköasemainstrumentoinnissa jännitteet ovat yleensä suurempia kuin 60 V, kun puolestaan kaukokäyttökojeiden käyttöjännitteet ovat tyypillisesti 12 tai 24 V. Tulo- ja lähtöliityntöjen tärkeimpiä tehtäviä ala-asemilla ovatkin signaalien tasoitus oikeaan jänniteportaaseen, häiriösuodatus sekä galvaaninen erotus prosessipii-ristä. RTU-yksiköt kytketään sähköaseman laitteisiin erilaisten mitta-arvomuuntimien, välireleiden ja antureiden välityksellä. (Elovaara & Haarla 2011, 400-401)

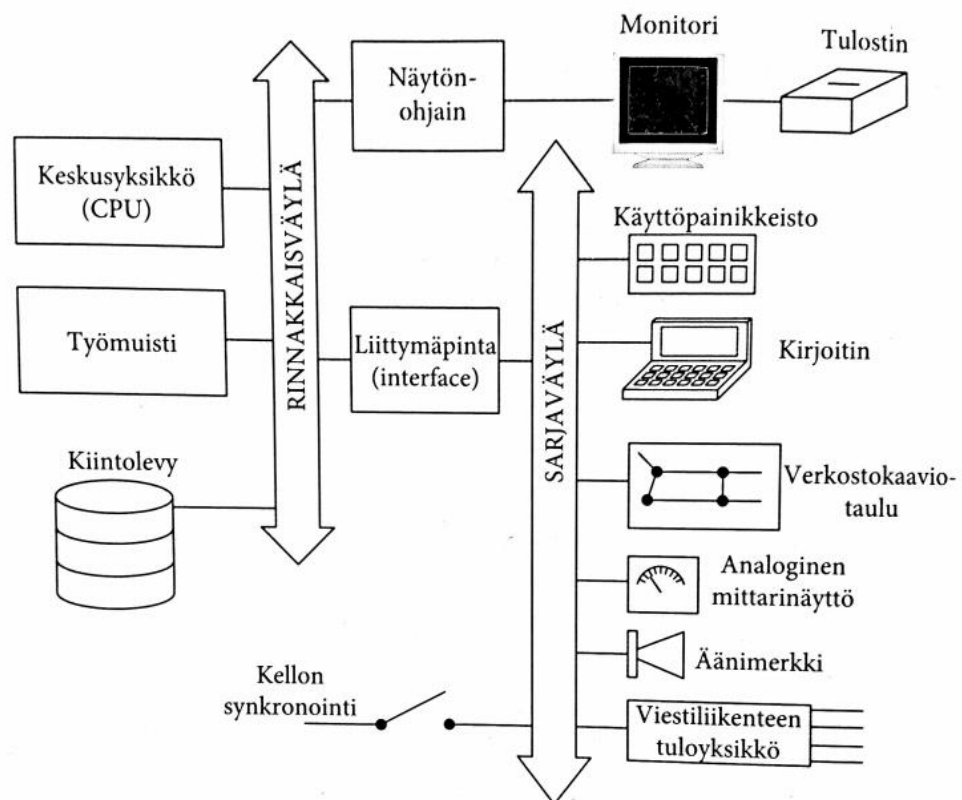
Ala-aseman kaukokäyttökojeen tuloliitäntäyksiköissä informaatio on jo siirtokelpoista. Kaukokäyttökojeen keskuslaitteiston tehtävänä on siirtää kyseinen informaatio oikeassa järjestyksessä siirtolaitteistolle. Vastapäätä, keskusasemalla keskuslaitteiston tehtävänä on valvoa informaation oikeellisuutta ja siirtää se oikeisiin lähtöliitäntäyksiköihin. Virheellisen viestin vastaanottaessaan sen pääsy estetään lähtöliitäntään, minkä jälkeen annetaan virheilmoitus ja suoritetaan esimerkiksi viestinsiirron toistopyyntö. (Elovaara & Haarla 2011, 400-401)

6.3 Keskusasema ja oheislaitteet

Pienet jakeluverkkoyhtiöt soveltavat yhden keskusaseaman ja useiden ala-asemien kauko-käyttöjärjestelmiä. Ala-asemina toimivat tällöin 110/20 kV:n sähköasemat sekä suurem-mat 20 kV kytkinasemat. Pienoisala-asemia käytetään kohteissa, jossa ohjauksia tarvitaan vain harvoin ja informaatiota vähän. (Elovaara & Haarla 2011, 401)

Keskusasemaratkaisut tehdään tietokoneilla, jolla voidaan operoida ala-asemia. Kauko-käyttötehtävien lisäksi keskusasema tallentaa ala-asemilta tulevat tiedot kuten keskitehot, huippuvirrat ja jännitteet. Keskusasema voi myös huolehtia sähkön ostosta sekä tuotan-non optimoinnista. (Elovaara & Haarla 2011, 401)

Kuvassa 17 on esitetty keskusaseaman periaatekaavio. Kuvassa sarjaliitännäväylä ja vies-tiliikennetuloyksikkö muodostavat edustasuorittimen, joka esikäsittelee prosessitietoko-neelle menevät tiedot ja hoitaa ala-aseman viestiliikenteen. Vaihtoehtoisesti kaikki ala-asemat, oheislaitteet ja muut keskusasemat voivat liittyä keskusaseaman järjestelmä-väylään suoraan piirikorttien välityksellä. (Elovaara & Haarla 2011, 401)



KUVA 17. Periaatekuva keskusasemalaitteistosta. (Elovaara & Haarla 2011, 402)

6.4 Ala-asema ja oheislaitteet

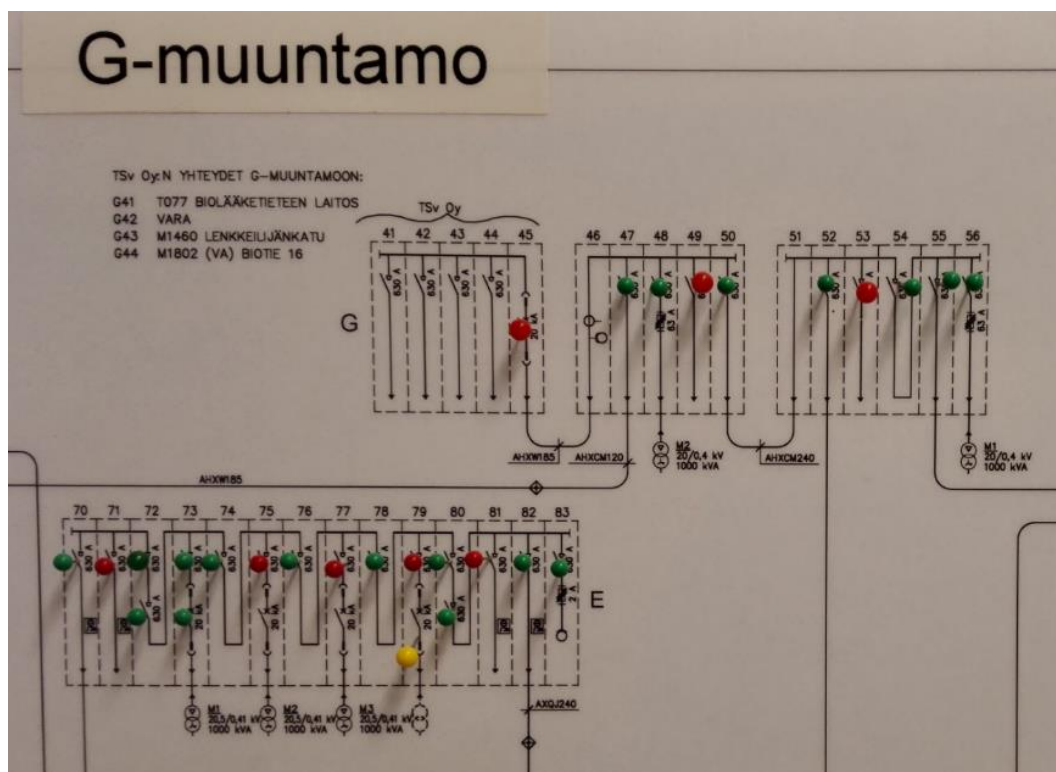
Ala-asemat keräävät sähköasemilta erilaisia mittaus-, asento-, ja hälytystietoja ja lähettävät ne keskusasemalle. Ala-asemat myös välittävät keskusasemalta tulevat ohjaukset ohjattaville laitteille kuten erottimille ja katkaisijoille. Ala-asemat ovat modulaarisia, väylärakenteisia ja mikroprosessoripohjaisia. Yleensä ala-asemilla käytetään yhtä keskusyksikköä, joka ohjaa syöttö- ja tulokorttien toimintaa ja liikennettä keskusaseaman kanssa. (Elovaara & Haarla 2011, 402-403)

Keskusyksikkö sisältää myös vaihtelevan määrän muistia, jonka laajuus määräytyy muun muassa vikatilanteiden perusteella. Esimerkiksi viestiyhteysvioissa muistin tulee riittää tallentamaan kaikki mittaus- ja tapahtumatiedot. (Elovaara & Haarla 2011, 403)

7 SÄHKÖVERKON MALLINTAMINEN KOHTEESSA

7.1 Nykyinen tilanne

Tampereen yliopistollisen sairaalan nykyinen keskijännitepuolen kytkentätilanne päivitetään manuaalisesti nuppitauluihin. Näitä nuppitauluja on karkeasti ympäri kampusta 10 kappaletta sekä jokaisen muuntamon yhteydessä vielä omansa. Kytkentäsuunnitelman pohjalta muutokset verkkoon tehdään manuaalisesti, jonka jälkeen kaikki nuppitaulut päivitetään. Kuvassa 18 on esitetty osa G-muuntamon nuppitaulua. Koko nuppitaulu löytyy liitteestä 1. Nuppitaulussa kuormanerotimien sekä maadoituserottimien tila on ilmaistu erivärisillä pinneillä. Punainen väri ilmaisee kytkinlaitteen olevan auki, vihreä kytkinlaitteen olevan kiinni ja keltainen maadoitusta. Taulussa on myös ilmoitettu käytössä oleva sähkön ostopiste sinisellä pinnillä. TAYS:illa sähkönostopisteitä on kaksi kappaletta.



KUVA 18. Kytkinlaitteiden tilatiedot

Vaikka verkkoon ei tehdä kytkentämuutoksia päivittäin, nuppitaulujen päivitys muodostuu mahdolliseksi ongelmaksi, varsinkin kun niitä on lähes 20 kappaletta. Pahimmassa tapauksessa sähköjen katketessa osa nuppitauluista ei ole päivitetty ja verkon kytkentätilanne on täten ilmoitettu väärin.

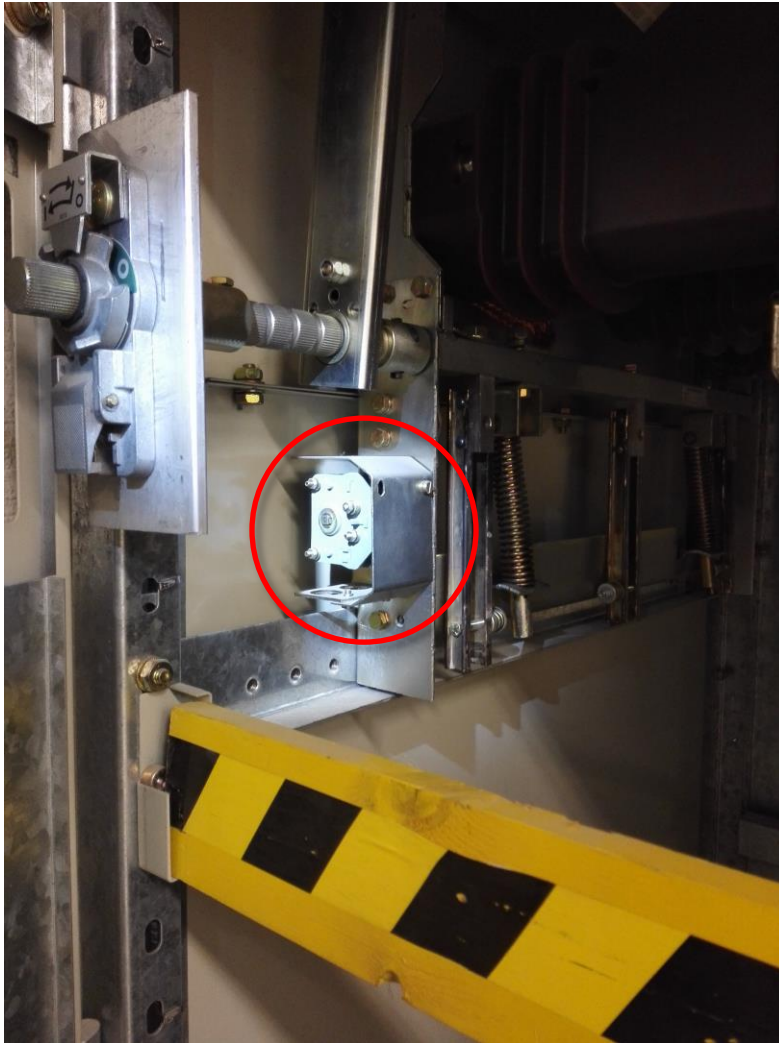
7.1.1 Kojeistot ja kytkinlaitteet

Pohdittaessa käytönvalvontajärjestelmän käyttöönottoa kohteessa, tulee ottaa selville kojeistojen ja kytkinlaitteiden tiedot. Hyvin vanhoissa kojeistoissa voi olla erottimia, joista tilatietoa ei saa millään tavalla ulos. Tämän takia kohteen kojeistot sekä niiden kytkinlaitteet tarkistettiin apukoskettimien osalta. Taulukossa 1 on esitetty muuntamoiden kojeistojen ja erottimien erilaisia tietoja. Tiedot kerättiin vanhoista manuaaleista, ohjauskaavioista ja osaluetteloista. Näistä esimerkkinä löytyy G-muuntamon kojeiston osaluettelo liitteinä 2-4. Osaluettelosta tarkistettiin, löytyykö erottimista valmiiksi asennettua apukytkinpakettia. Muiden muuntamoiden osalta tiedot löytyivät liitteiden 5-12 avulla.

TAULUKKO 1. Muuntamoiden kojeistojen ja erottimien tiedot

Muuntamo	Kojeiston Valmistaja	Erotin	Maadoituserotin	Erottimen apukytkinpaketti	Maadoituseroittimen apukytkinpaketti
A	ABB STRÖMBERG	OJDB 24A3	OJZMA 24A3, OJZMB 24A3	X	-
E	SIEMENS			X	X
G	ABB STRÖMBERG	OJDB 24A3	OJZMA 24A3	X	X
H	ABB STRÖMBERG	OJDB 24A3		X	-
K	ABB STRÖMBERG	OJDB 24A3	OJZMA 24A3, OJZMD 24A3	X	-
R	ELKAMO			X	X
Z	ABB STRÖMBERG	OJDB 24A3	OJZMA 24A3, OJZMC 24A3	-	-

Apukosketinpakettien tarkistamiseksi tehtiin myös pistokokeita avaamalla muutamia kennoja muuntamo kohden. Kuvassa 19 on esitetty G-muuntamon erottimen apukytkinpaketti. Vanhoissa kojeistoissa apukytkinpaketti oli suhteellisen helposti löydettävissä.



KUVA 19. G-muuntamon erotin sekä sen apukytkinpaketti (ympyröity punaisella)

Kohteessa vanhimmat kojeistot ovat ABB Strömbergin valmistamia, jotka on valmistettu 80-luvun loppupuolella. Kuvassa 20 on esitetty osa K-muuntamon kojeistoa. Kohteessa löytyy myös kaksi uudempaa kojeistoa, jotka ovat E-muuntamossa ja R-muuntamossa. E-muuntamossa on käytetty Siemensin SIMOSEC tuotesarjaa ja R-muuntamossa puolestaan Elkamon UNIFLUORC tuotesarjaa. Uudempien kojeistojen osalta ei tarkempaa tietoa erottimien tyypeistä löytynyt.



KUVA 20. K-muuntamon kojeisto

Strömbergin kojeistojen osalta kaikissa muissa paitsi Z:n kojeistossa löytyy kennokorttien mukaan erottimen apukytinpaketti. Puolestaan maadoituserottimen apukytinpaketti löytyy vain G-muuntamosta. Epäselvää on vielä voiko maadoituserottimille asentaa jälkikäteen apukosketinpakkaa. On myös mahdollista, että maadoituserottimen tilatieto olisi kuitenkin myös erottimen apukosketinpakassa saatavilla, mutta tämä ei selvinnyt saatavilla olevista dokumenteista eikä kojeiston valmistajalta. A, G, H ja K-muuntamoista erottimien tilatieto saadaan ainakin selville sekä G-muuntamon osalta myös maadoituserottimien.

Koska kojeiston valmistajalta ei saatu tietoa apukosketinpakkojen jälkiasennuksesta, Z-muuntamon osalta erottimen tilatietoja ei välttämättä ole mahdollista saada ilman kojeiston uusimista. Kojestojen keskimääräinen käyttöikä on noin 40 vuotta (Järvensivu 2017). Z-muuntamo on dokumenttien mukaan asennettu vuonna 1987. Ikänsä puolesta muuntamolla on käyttöaikaa vielä noin 10 vuotta ennen uusimisen tarvetta.

R-muuntamon kojeiston osalta dokumentit olivat puutteelliset. Kojeston tarkemmat tiedot puuttuivat kokonaan eikä minkäänlaista osaluetteloa löytynyt. Ohjauspiirikaaviosta (liite 10) kuitenkin paljastui, että niin maadoituserottimesta kuin kuormanerotimista on viety tilatieto eteenpäin. E-muuntamossa käytetyn Siemensin kojeistosta on mahdollista saada sekä kuormanerotimien että maadoituserottimien tilatiedot ulos.

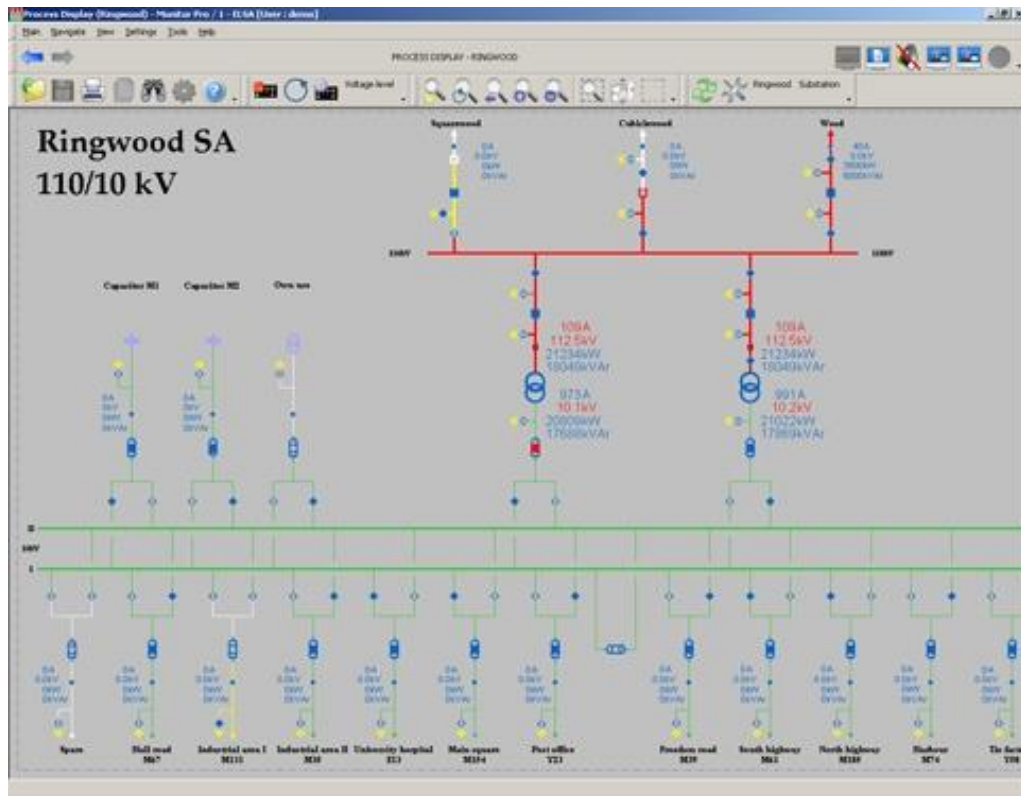
7.2 Mahdolliset ratkaisut

Varmasti kaikista yksinkertaisin ja halvin vaihtoehto olisi käyttää pilvipalveluun luotua ohjelmistoa, jossa kaikki tilatiedot päivitetäisiin manuaalisesti. Tämä vähentäisi useamman nuppitaulun päivitysongelman. Jos muuntamoilla haluttaisiin pitää kytkentätilanne selvillä kuten tällä hetkellä, tulisi muuntamoihin tällöin hankkia esimerkiksi tietokoneet pilvipalvelua varten.

Työn tilaaja kuitenkin suosi tilatietojen automaattista päivitystä, jolloin tilatiedot erottimilta olisi saatava ulos. Toisena ratkaisuna olisi toteuttaa muuntamokohtaiset lampputaulut erottimista. Tämä kuitenkin vaatisi useamman kojeiston kohdalla apukytkinpaketin jälkiasennuksen, mikä voi olla hyvin haastavaa ja kallista (Järvensivu 2017). Jos kaikkien muuntamoiden erottimien tilatiedot haluttaisiin jokaiseen muuntamoon ja mahdollisesti vielä ylimääräisiin paikkoihin, tulisi kaapelointi suorittaa muuntamoiden välillä. Tällöin tästäkin suhteellisen yksinkertaisesta ratkaisusta tulisi mahdollisesti kallis sijoitus.

Ottaen huomioon kojeistojen nykyiset laitteet, tilaajan mieltymykset ja tulevaisuuden, kaikista järkevin ratkaisu kohteessa olisi ottaa käyttöön SCADA-ohjelmisto. Ajatusta tukivat myös Tampereen sähkölaitoksen prosessinvalvojat. SCADA-ohjelmiston käyttöönotto ja ala-asemien asennus antavat myös suuren määrän muita hyötyjä muihin ratkaisuihin verrattuna.

Järkevin tapa saada KJ-verkon kytkentätilanne digitaaliseen muotoon on käyttää sähköaseman automaatiojärjestelmää. Kuvassa 21 on esitetty yksi malli ABB:n microSCADA ohjelmistolla toteutetusta verkon mallintamisesta. Verkko mallinnetaan SCADA-ohjelmistoon kytkinlaitteiden, kiskojen ja muuntajien osalta ja ala-asemien tiedot tuodaan reitittimen kautta keskusasemalle. Komponenttien valinnalla vaikutetaan muun muassa käytettävään kaistan suuruuteen, kerättävien tietojen ja inputtien määrään.



KUVA 21. ABB:n microSCADA:lla toteutettu verkon mallinnus (PRS. ABB)

Mahdollisesti järkevin ratkaisu kohteeseen olisi asentaa ala-asetat kaikille muille paitsi Z-muuntamon kojeistolle. Valittavaan SCADA-ohjelmaan saataisiin tällöin kerättyä E-, G- ja R-muuntamoilta kaikkien erottimien tilatiedot ja A-, H- ja K-kojeistojen kuormanerottimien tilatiedot. Verkko voitaisiin mallintaa kokonaan käytettävään ohjelmaan ja päivittää osaa puuttuvista tiedoista manuaalisesti.

Koska apukosketinpakan asentaminen vanhaan kojeistoon voi olla hyvin kallista ja työllästä (Järvensivu 2017), kannattaa vanhempien kojeistojen osalta tyytyä vain kuormanerottimien tilatietoihin kunnes kojeistot uusitaan. Apukosketinpakan asentaminen jälkikäteen voi mahdollisesti vaatia kojeiston rakenteelta muutoksia, jotka olisi tehty kojeiston valmistus- tai asennusvaiheessa jo valmiiksi.

Tulevaisuudessa kojeistojen uusintojen yhteydessä varmistuttaisiin kojeistokohtaisesti, että erottimien tilatiedot ovat mahdollista saada ulos. Uuden kojeiston asennuksen yhteydessä käytettäisiin samoja ala-aseman laitteita.

7.2.1 Varmentaminen ja luotettavuus

Käytönvalvontajärjestelmissä niiden luotettavuuteen voidaan vaikuttaa muutamalla eri tavalla. Ensimmäisenä tapana on vahvistaa koko järjestelmän luotettavuutta käyttämällä hot standby-tapaa. Hot standby:ssä koko laitteisto tai sen kriittisin osa varmennetaan toisella identtisellä tai lähes vastaavalla laitteistolla. Päälaitteiston tietokanta voidaan kahdentaa varajärjestelmään. Tällöin päälaitteiston pettäessä varajärjestelmä saadaan käynnistettyä mahdollisesti jopa ilman viivettä. (Techopedia) Hot standby pahimmillaan tuplaa järjestelmän hinnan, mutta tekee siitä hyvin luotettavan.

Käytönvalvonta- ja kaukokäyttöjärjestelmissä käytetään pääsääntöisesti kahdentamista vain servereiden osalta (Järvensivu 2017). Tämä ei nosta järjestelmän hintaa liian ylös, mutta kuitenkin vaikuttaa hyvin paljon sen luotettavuuteen. Koko järjestelmän kahdentamista käytetään vain hyvin tärkeissä prosesseissa, joissa hinnalla ei niinkään ole väliä.

Toisena tapana vaikuttaa järjestelmän luotettavuuteen on panostaa sen tiedonsiirtoverkkoon. Verkko voidaan rakentaa renkaaseen, jolloin kaapelin rikkoutuminen yhdessä pisteessä verkkoa ei haittaa. Verkon luotettavuutta voidaan myös parantaa kaapeloimalla kahdesti ja mahdollisesti vielä eri reittejä käyttäen.

Mahdollisesti järkevin ratkaisu vaikuttaa kyseissä tulevassa järjestelmässä sen luotettavuuteen, on panostaa sen verkkoon. TAYS:in omaa jo käytössä olevaa kiinteistöverkkoa voitaisiin käyttää hyväksi, mutta käytönvalvontajärjestelmissä on hyvin suositeltavaa käytettävän omaa verkkoa (Järvensivu 2017). Valokuituverkko ala-asemien välillä voitaisiin rakentaa renkaaseen. Koko laitteiston kahdentaminen tekisi järjestelmästä vielä varmemman, mutta se kasvattaisi kustannuksia merkittävästi. Servereiden kahdentaminen on myös mahdollisuus, jota kannattaa pohtia tarkemmin.

7.2.2 Ratkaisun tuomat hyödyt

Jo pelkästään SCADA-ohjelmiston käyttöönotto tuo helpotusta nykyiseen järjestelmään. Yhden kytkentämuutoksen jälkeen päivitystä ei tarvitse tehdä yli kymmeneen eri paikkaan, vaan riittää, että tiedot syötetään ohjelmaan. Ohjelma on kaikkien sitä tarvitsevien käytössä ja helposti päivitettävissä. Erottimien tilatietojen tuonti ohjelmaan vähentää edelleen työmäärää kytkentätilanteiden osalta. Ohjelmistolla voidaan myös helposti simuloida verkon eri kytkentätilanteita.

Riippuen valittavasta laitteistosta, verkon tilasta on myös mahdollista kerätä muitakin tietoja kuten jännitteitä, virtoja ja tehoja. Tällöin kuitenkin tarvittaisiin mahdollisesti erillisiä mittauslaitteita. Käytettävien releiden kautta saataisiin ainakin kuormitusvirrat selvälle.

SCADA-ohjelmisto mahdollistaa myös erilaisten hälytysten käyttöönoton. Hälytystieto voi tulla muun muassa avautuneesta erottimesta tai tippuneesta jännitetasosta. Hälytykset nopeuttavat toimintaa esimerkiksi hätätilanteissa.

Laitteisto myös mahdollistaa verkon kaukokäytön tulevaisuudessa, mikäli kojeistot vain tukevat sitä. Joihinkin kojeistoihin on myös mahdollista jälkikäteen asentaa moottoreita, joiden avulla mahdollistetaan verkon kaukokäyttö. Kaukokäyttö ei välttämättä vielä ole tarpeellista, mutta tulevaisuutta ajatellen kojeistojen uusintojen yhteydessä kannattaa sen tarpeellisuuteen jo kiinnittää huomioita.

Tampereen sähkölaitoksen prosessinvalvojat ottivat esille myös mahdollisen yhteistyön TAYS:in kanssa (Järvensivu 2017). Tällä hetkellä Tampereen sähkölaitoksen SCADA-järjestelmään tulee tieto vain kahdesta kaukokäyttöpisteestä TAYS:illa. TAYS:in päivityksestä olisi siis myös mahdollisesti hyötyä Tampereen sähkölaitokselle. Prosessinvalvojat Tampereen sähkölaitoksella pohtivat alustavasti tuen antamista ohjelmiston suhteen ja mahdollisesti osittain käytönvalvonnan ulkoistamista heille.

7.2.3 Aikataulukus

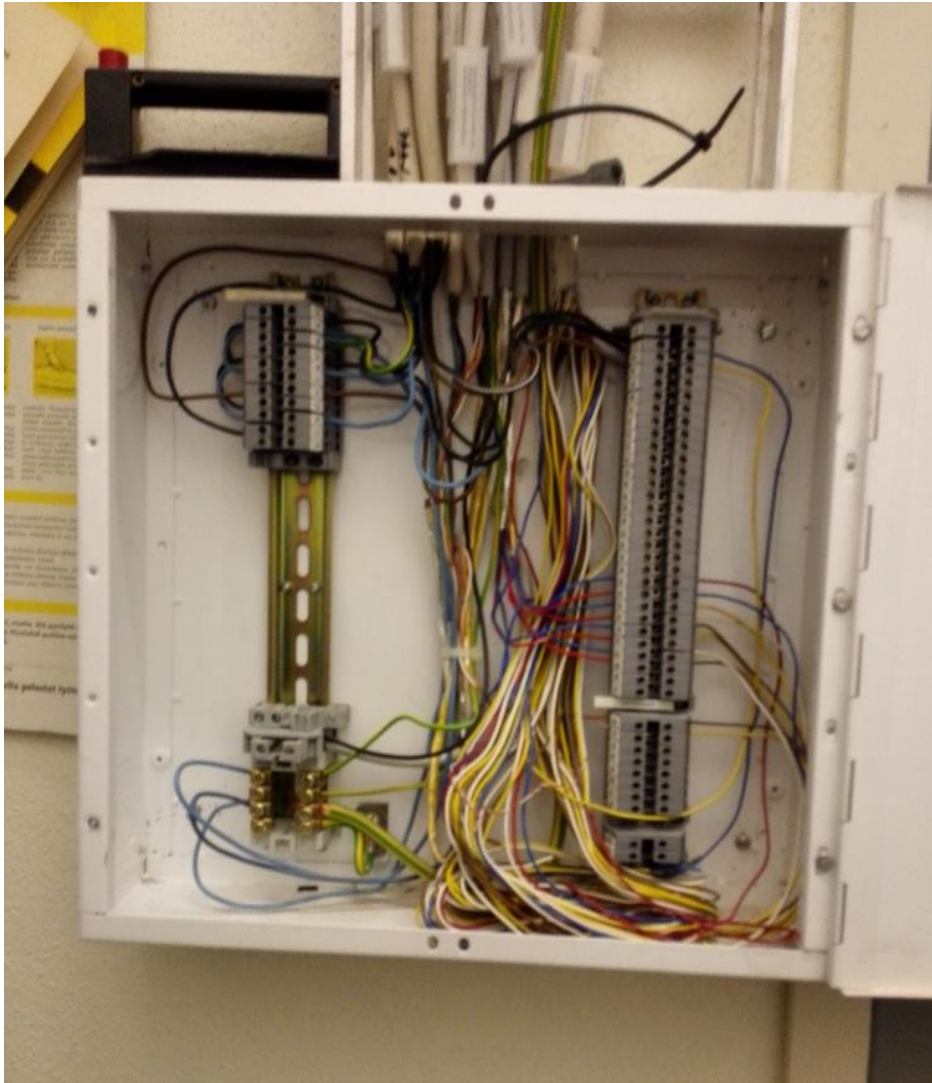
Kohteessa voitaisiin ottaa SCADA-ohjelmisto käyttöön jo hyvissä ajoin ennen ala-asemien asennusta. Verkko voitaisiin mallintaa ohjelmistoon ja sitä voitaisiin päivittää aina manuaalisesti, mikä poistaisi nuppitaulujen tarpeellisuuden kokonaan. Ohjelmistoon voitaisiin tällöin tutustua pikku hiljaa. Ala-asemien asennusten jälkeen vain osaa erottimien tiedoista tulisi enää päivittää manuaalisesti. Tulevaisuudessa tapahtuvien kojeistojen uusintojen jälkeen lopulta koko keskijännitepuolen kytkentätilanne päivittyisi automaattisesti.

Asennustöistä johtuvat mahdolliset käyttökatkot tulee myös huomioida. Muuntamoissa, joissa katkaisijoiden tilatiedot on erikseen jo kaapeloitu erilliseen riviliitinkaappiin, ei käyttökatkoa tarvitse tehdä. Taulukkoon 2 on listattu nämä tiedot muuntamokohtaisesti. Jos riviliitinkaappia ei ole, vaatii ala-aseman asennus hyvin todennäköisesti ainakin pienen käyttökatkon kyseisen kojeiston osalta. Tämän takia ala-asemien asennus kojeistoihin, joissa ei erillistä riviliitinkappia ole, kannattaa sovittaa tulevaisuudessa tapahtuvien käyttökatkojen kanssa samalle hetkelle. Tämä vähentää huomattavasti käyttökatkojen pituutta ja määrää.

TAULUKKO 2. Katkaisijoiden tilatiedot

Muuntamo	Tilatieto tuotu riviliitinkaappiin
A	X
E	?
G	-
H	X
K	-
R	?
Z	-

Vain A- ja H-muuntamoissa erottimien tilatiedot on tuotu erilliseen riviliitinkaappiin. Uusien kojeistojen (R ja E) osalta ei käyttökatkon tarpeellisuudesta ole tietoa. Kuvassa 22 on esitetty H-muuntamon riviliitinkaappi.



KUVA 22. H-muuntamon riviliitinkaappi

7.3 Hinta-arvio

Käytönvalvontajärjestelmän hintaan vaikuttaa hyvin moni tekijä. Ala- ja keskusasemien hintaan vaikuttavat niiden tekniset ominaisuudet, kuten myös RTU-yksiköissä. RTU-yksiköt voivat olla valmispaketteja tai yksittäisistä moduuleista koottavia kokonaisuuksia. Moduulikohtaisesti voidaan päättää esimerkiksi yhteyden luomisesta, virtalähteen jännitteistä ja analogi- sekä digitaali-inputtien määrästä. Laitteita valittaessa on siis syytä ottaa huomioon kohteen tarpeet.

Ohjelmistoja sähköverkon käytönvalvontaan löytyy markkinoilta monelta valmistajalta. Näihin kuuluvat esimerkiksi ABB ja Honeywell. Ohjelmista löytyvät yleensä kaikki samat perustoiminnot ja käyttöliittymä ei eroa ohjelmien välillä kovinkaan paljon. Ohjelman valintaa tehdessä kannattaa myös huomioida ohjelman ulkopuolinen tuki.

Tampereen sähkölaitoksen JP Järvensivu antoi hyvin karkeaksi hinta-arvioksi SCADA-ohjelmistolle 10 000 € ja yksittäiselle ala-asemalle 5000 €. Koko järjestelmän hinnaksi tämän arvion mukaan tulisi siis noin 45 000 €. Arvio ei ota huomioon millään tavalla kohteen eri tarpeita, minkä takia oikea hinta voi olla myös hyvin paljon matalampi tai korkeampi. Tämä riippuu aivan täysin valittavasta ohjelmistosta ja laitteistosta.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää parempi ratkaisu Tampereen yliopistollisen sairaalan keskijännitepuolen kytkentätilanteen valvontaan. Alkuperäinen suunnitelma sisälsi esimerkkiratkaisun laatimisen, joka sisältäisi käytettävän ohjelmiston ja vaadittavat laitteet. Opinnäytetyön laajuus kuitenkin kasvoi liian suureksi ja tämä päätettiin rajata pois työstä. Yhden tietynlaisen ratkaisun luominen kohteeseen on myös kuitenkin hyvin hankalaa, sillä siinä tulee ottaa huomioon kohteen omat tarpeet, hinta ja tulevaisuuden mahdollisuudet. Tämän takia tämä osa kannattaa teettää alan asiantuntijalla, jolla on useiden vuosien kokemus käytönvalvontajärjestelmistä. Esiselvitys mahdollisista ratkaisusta onnistui mielestäni hyvin, ja eri ratkaisujen hyödyt ja haitat tukevat ammattilaisen mielipiteen ohella järkevintä ratkaisua kohteeseen. Myös eri vaatimukset verkon laitteilta, kuten apukytkinpaketit, tulivat otettua huomioon ratkaisua mietittäessä.

Käytönvalvontajärjestelmän käyttöönotto kohteessa tuo suureen määrään hyötyjä ja on tulevaisuutta ajatellen kannattavaa. Seuraava askel työn tilaajalle olisi pyytää asiantuntijaa arvioimaan kohteen tarpeet ja tätä kautta päästä lähemmäksi lopullista ratkaisua, varsinkin valittavien laitteiden osalta. Verkon päivitys on kuitenkin pidempi prosessi, minkä takia kannattaisi se aloittaa mahdollisimman nopeasti. Työtä tehdessä mahdolliseksi jatkotutkimusaiheeksi ilmaantui myös verkon suojaus. Vähitellen verkkoa uusittaessa voitaisiin kohteessa ottaa reileitä enemmän käyttöön.

Työ oli kokonaisuudessaan hyvin mielenkiintoinen ja haastava. Työn alussa hankaluutena oli löytää minkäänlaista konkreettista ratkaisua kohteeseen, sillä oma tietämys käytönhallinta- ja käytönvalvontajärjestelmistä oli hyvin suppea. Työn järkevin malli pohjautuukin paljolti eri yritysten asiantuntijahaastatteluihin.

LÄHTEET

ABB. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Vaasa.

ABB. Grid automation solutions with RTU products. Luettu 18.01.2017. https://library.e.abb.com/public/3f98c2028fb1b3bfc1257b6e002832ce/RTU540%20solution_broch_757884_LRENa.pdf

Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö.

Aura, L., Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö.

Elovaara, J., Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Tallinna. Otatieto.

Elovaara, J., Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki. Otatieto.

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa. Amk-Kustannus Oy Tammermekniikka.

Korpinen, L. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Luettu 29.11.2016. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf

Korpinen, L. Sähköverkon automaatio ja suojaus. Luettu 30.11.2016. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automatio_ja_suojaus.pdf

Korpinen, L. Muuntajat ja sähkölaitteet. Luettu 10.12.2016. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf

Järvensivu, JP. Tampereen sähkölaitos. Viitattu 29.03.2017.

Lehtonen, J. 2016. Sähköverkkojen suojaus ja automaatio. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere. Luentomateriaali.

Mäkinen, MJJ., Kallio, R. 2006. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu. Otava.

PRS. ABB. Luettu 30.03.2017. <https://www.prs.de/abb>

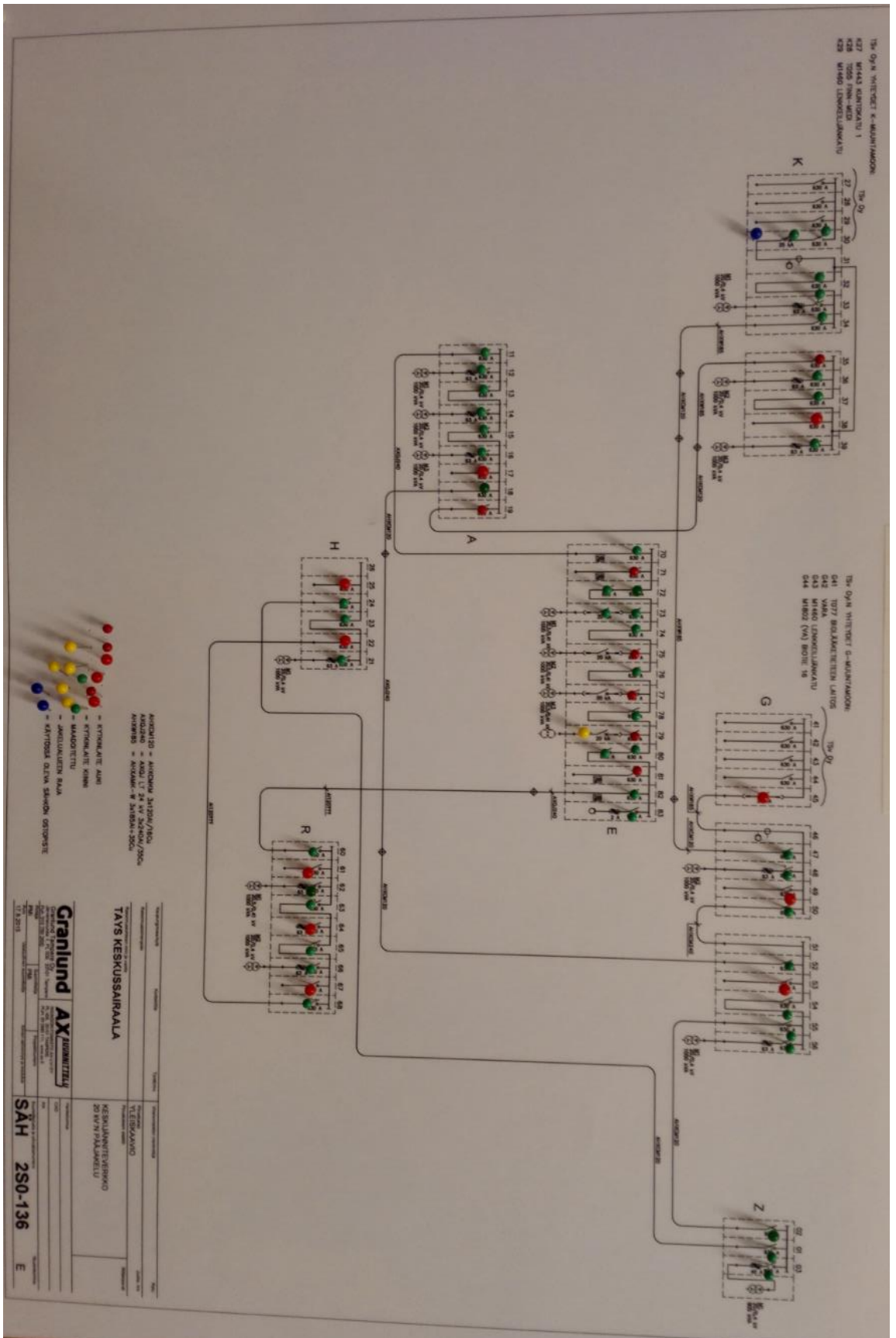
SFS-käsikirja 600-1 Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto. 2012. D1-2012 käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Helsinki. Painokurki Oy.

Techopedia. Hot standby. Luettu 30.03.2017. <https://www.techopedia.com/definition/1024/hot-standby>

LITTEET

Liite 1. Kytkinlaitteiden tilatiedot



Liite 2. G-muuntamon kojeistokortti

6 -KENNOINEN MELK MUUNTAMOKOJEISTO**TEKNISET TIEDOT:**

- Nimellisännite	_____	24	kV
- Nimellisvirta	_____	630	A
- Taajuus	_____	50	HZ
- Vaiheluku	_____	3	
- Oikosulkulujuus			
▪ Terminen kestovirta	_____	16	kA/1s
▪ Dynaaminen kestovirta	_____	40	kA
▪ Valokaarikestoisuus	_____	16	kA/1s
▪ Maadoituspiiri	_____	16	kA/1s
- Eristystaso			
▪ Vaihtojänn.lujuus vaihe-vaihe,vaihe-maa	_____	50	kV/1 min
▪ Syöksyjänn.lujuus vaihe-vaihe,vaihe-maa	_____	125	kV
- Kokoojakiskosto			
▪ Materiaali	_____	AJ	
▪ Poikkipinta	_____	50X10	max
- Kotelointiluokka _____ IP 3X,edestä			
- Ympäristön lämpötila,maksimi _____ 40 C			
- Suurin sallittu kosteus _____ 90%			
- Tehohäviöt kennossa _____ N. 500W/kenno			
- Pintakäsittely _____			
▪ Maalaamattomat osat	_____	Aluzink/kuumasinkitty teräslevy	
▪ Maalattut osat	_____	RAL 7032,piinharmaa	
- Pakkaus _____ Normaali kotimaa			
- Ovien avautumissuunta _____ Vasemmalle			

MÄÄRÄYKSET JA OHJEET :

- STM	_____	A1 89
- Varkostosuositus	_____	RM 3:83
- ST-kortti	_____	ST 53.11
- IEC	_____	298
- Asennusohje	_____	34 MELK 2

PIIRUSTUKSET :

- Pääkaavio ja kojeistokokoonpanopiirustus	_____	6895YT 3 KA 2
- Kojeluettelot	_____	6895YT 3 KA 202

SLM 10.1
SÄHKÖLAHTENMÄKI OY
LOPPUPÄÄTYS 20.12.90

Muutos :

ABB Strömberg Sähköjakeilu	Osasto KPS	TAMPEREEN YLIOPISTOLLINEN KESKUSSAIRAALA G-MUUNTAMON SANEERAUS 24KV MELK MUUNTAMOKOJEISTO	Työnro 6895YT002
	Teki 90-10-22 VAINONEN		Tuote KR45 10
	Tark. JEV		Lehti 1
	Hyv.		Piir.no 6895YT3KA201

Liite 3. G-muuntamon osaluettelo

KUORMANEROTINKENNO		MELK 24 F25	750MM			
1kpl	TAKALEVY	=====	=====			
1kpl	KATTO 750	=====	=====			
1kpl	OVEN SISALEVY 20	=====	=====			
PÄÄPIIRIEN KOJEET						
1kpl	KUORMANEROTIN	STRÖMBERG	OJDB 24A3	135-OJD200	Q1	
	24kV/ 630A, 20kA/1s, 50kAha					
1kpl	APUKYTKINPAKETTI	STRÖMBERG	OJDZKB 31	135_OJD200	S1	
	25kA/1s,as.paikka kuormaner.alap.					
1kpl	MAADOITUSVEITSET	STRÖMBERG	OJZMA 24A3	=====	O9	
1kpl	MAAD.VEITSEN APUK.	STRÖMBERG	OJZKE 31	=====	S9	
1kpl	KENNOVALAISIN	=====	=====	=====	E1	
1kpl	VALLITÄNTÄRSIA	=====	=====	=====		
1kpl	TILA XVBL/XVF-PÄÄTT.	=====	=====	=====		
1kpl	TYÖSKENTELYSUOJA	STRÖMBERG	OJZT 3	=====		
2kpl	ETULAITE	STRÖMBERG	UEKOZA 7	=====		
1kpl	AKSELI	STRÖMBERG	UEKOZB 3X220	=====		
1kpl	TUKIERISTIMET 3 20	=====	=====	=====		
määrä	koje	valmistaja	laji	ohje	tunnus	huomautus
Muutos :						
ABB Strömberg Sähköjarkelu	Osasto	KPS	TAMPEREEN YLIOPISTOLLINEN KESKUSSAIRAALA G-MUUNTAMON SANEERAUS Osaluettelo, kennot: 52 53 55		Työnro	6895YT002
	Tekijä	90-10-22 VAINONEN			Tupe	KR45 10
	Tark.	JEV			Lehti	2
	Hyv.				Päiv.no	6895YT3KA202

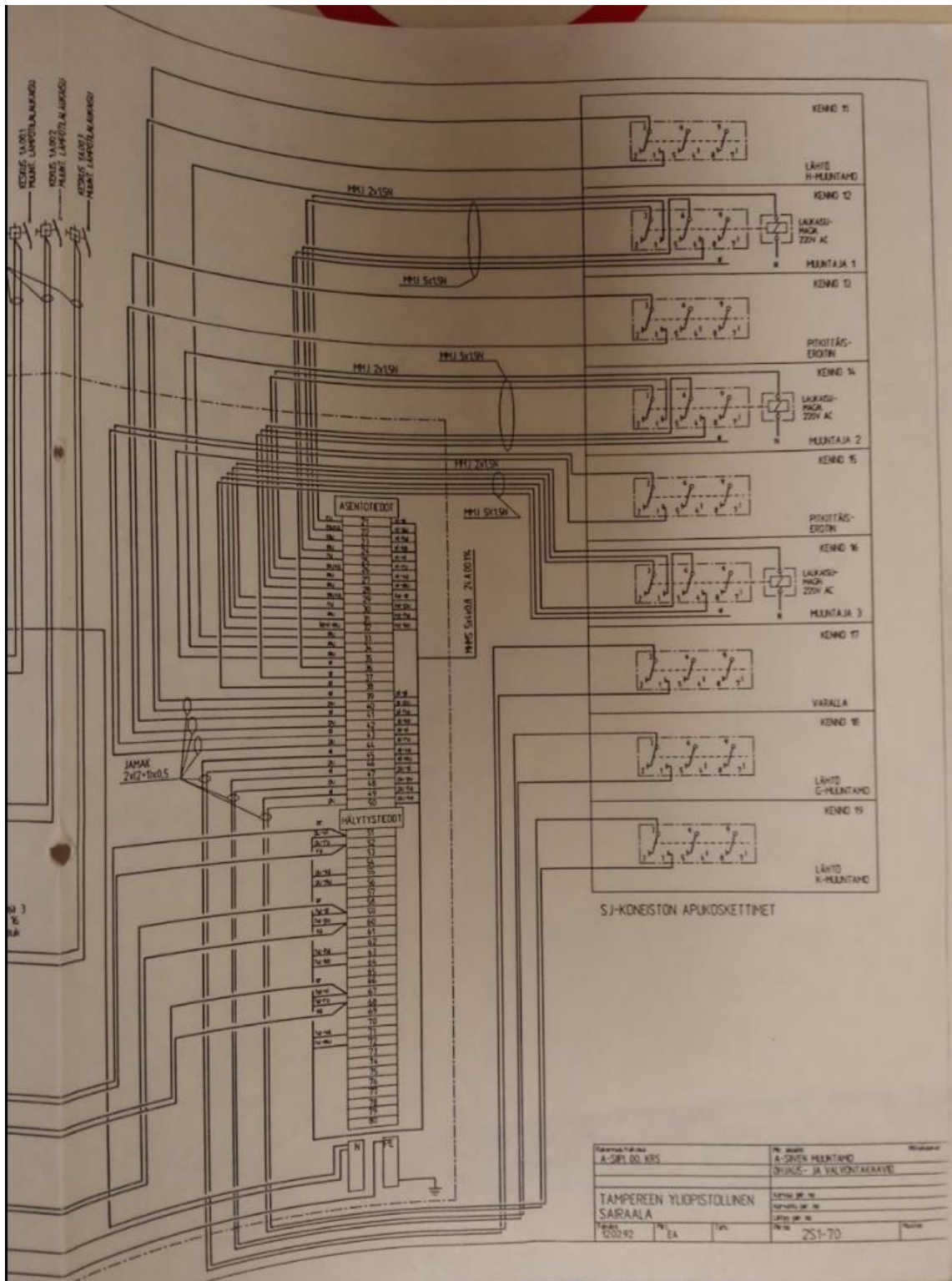
Liite 4. G-muuntamon osaluettelo

KATKAISIJAKENNO		MELK 24 K50	850MM			
1kpl	TAKALEVY 850					
1kpl	KATTO 850					
1kpl	PÄÄTYLEVY 20/20MM OIKEA					
PÄÄPIIRIEN KOJEET						
1kpl	MAAD.EROTIN 24KV	ASEA	LV851 832-SA	_____ C9		
1kpl	SF6-KATKAISUJA	ASEA	HPA 24/ 620 MELK	_____ C0		
	nimellisjännite 24 KV					
	nimellisvirta 630 A					
	-ohjausjohdon pistoke					
	-apukoskettimet (5a+4s)					
	-viritysmoottori	110 VDC				
	-kiinniohjausmagneetti	110 VDC				
	-laukaisumagneetti	110 VDC				
1kpl	KAAPELVIRTAMUUNTAJA	STRÖMBERG	KOLMA 06D1	_____ T6		
1kpl	SIIRTOLAITE 24KV	ASEA	LV 851 028-ADX	_____		
	-nödstopp					
	-kontakt för manöverledning					
1kpl	VALLIITÄNTÄRASIA			_____		
1kpl	VALAISTUS			_____ E1		
1kpl	ETUPANEELI SUOM.KIEL	ASEA	5283 862-FA	_____		
1kpl	INDIK.KILPI SUOM.KIE	ASEA	2949 0438-17	_____		
1kpl	MEK.LUK.APUK.	ASEA	LV 841 834-SA	_____		
2kpl	OHJAUSSKISKO 24KV	ASEA	2175796-154	_____		
1kpl	KILPI SUOM.KIEL	ASEA	SK 614 553-12	_____		
1kpl	SUOJALEVY	ASEA	2158 4020-8	_____		
1kpl	HÄTÄPAINIKEEN NUPPI	ASEA	SK 615 506-1	_____		
1kpl	PUTKI MUTTERILLA	ASEA	2511 955-B	_____		
1kpl	APUJOHTOKOSKETIN	ASEA	2657 992-G	_____		
1kpl	KILPIALUSTA	ASEA	2179736-12	_____		
34kpl	KUULA	ASEA	2213 0111-28	_____		
1kpl	APUJOHTOKOSK.TESTIL	ASEA	2657 992-F	_____		
1kpl	KIINNIKE	ASEA	2176890-16	_____		
1kpl	ASEA-KILPI	ASEA	29432198-9	_____		
1kpl	ITSEVULGANOIT.TEIPII	ASEA	1167 1902-6	_____		
1kpl	KIINNIKE	ASEA	2176890-46	_____		
1kpl	MAADOITUSKISKO	ASEA	2634 841-6	_____		
6kpl	KOSKETIN	ASEA	5216 700-S	_____		
12kpl	KIINNIKE	ASEA	2199 732-8	_____		
1kpl	MÄNTÄ	ASEA	2111 802-22	_____		
1kpl	AKSELI KATKAISJAAN	ASEA	2121 823-2	_____		
1kpl	PAINEJOUSSI	ASEA	2192 708-33	_____		
1kpl	HYLSY	ASEA	2184 4402-27	_____		
1kpl	HYLSY	ASEA	2184 4402-28	_____		
TOISIKOJEET						
1kpl	JOHDONSUOJA	ABB STRÖMBER	SPAA 322 C1-AA	_____ A1		
	SYÖTTÖJÄNNITE 110V DC.					
1kpl	KOROTUSKEHYS 40MM/3U	ABB STRÖMBER	SPA-ZX 301	_____		
1kpl	KOROTUSKEHYS 80MM/3U	ABB STRÖMBER	SPA-ZX 302	_____		
1kpl	SUOJAKATKAISUJA	BROWN BOWERI	S 272 U 10	_____ F11		
1kpl	APUK./HÄLYTYSKOSK.	BROWN BOWERI	S 2-S/H	_____		
1kpl	PAINONAPPI 0 "PUN."	STARKSTRÖM	-STA D3A1R02T+DA20	_____ S10		
1kpl	PAINONAPPI 1 "VIHR"	STARKSTRÖM	-STA D3A1G03T+DA20	_____ S11		
määrä	koje	valmistaja	laji	ohje	tunnus	huomautus
Muutos :						
ABB Strömberg Sähköjakelu		Osasto Teki Tark. Hyv.	KPS 90-10-01 VAINONEN JEV	TAMPEREEN YLIOPISTOLLINEN KESKUSSAIRAALA G-MUUNTAMON SANEERAUS Osaluettelo, kenno: 045	Työnro Tupe	6895YT001 KR45 10
					Lehti Piir.no	5 6895YT3KA102

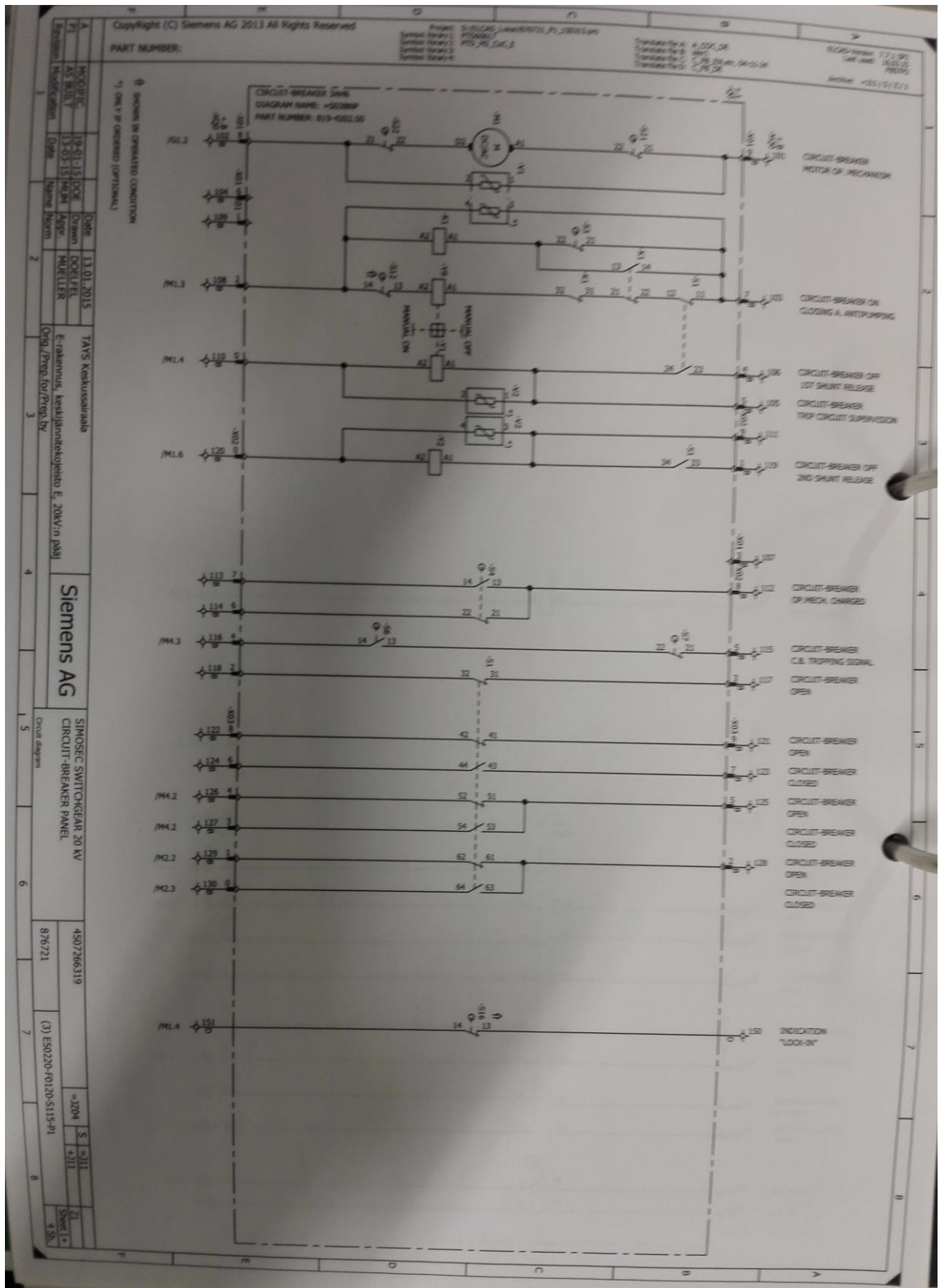
Liite 5. A-muuntamon kennokortti

A-muuntamo 0,4/0,20,1		Sähköasema		KENNOKORTTI	
Yritys	Laaji	Plu.n:o	Tunnus		
Auramanerotinkemmo 1100	MELK 24	6567TT3KA101	19		
Valmistaja Strömberg	Valm.n:o 6567 TT	Valmistusvuosi 1987	Ohjejärjestäjä		
Teostaja	Tilaus n:o, pv:n	Olettu vastaanotto 04.06.1987	Takuu päättyy		
Teknilliset tiedot					
Mitoitusarvot: 24 kV, 630 A, 20 kA/1s, 50 kAha					
Kaikaisija:					
Eroittimet: UJDB 24 A 3					
Maadoituserotin: UJD-ZMA 24A3, UJD-ZMB 24A3					
Virtamuuntajat:					
Jännitemuuntajat:					
Eristimet: NTGA 24B5					
Kiskot: 3U x 10 AL					
Venttiilisuojat:					
Reliästys:					
Mittarit:					
Maadoitusliittimet:					
Työskentelysuojat:					
Käyttöpaikka	Olettu käyttöön	Poisettu käytöstä	Huolto-ohje	Huomautuksia	
			Huollon jaksot		

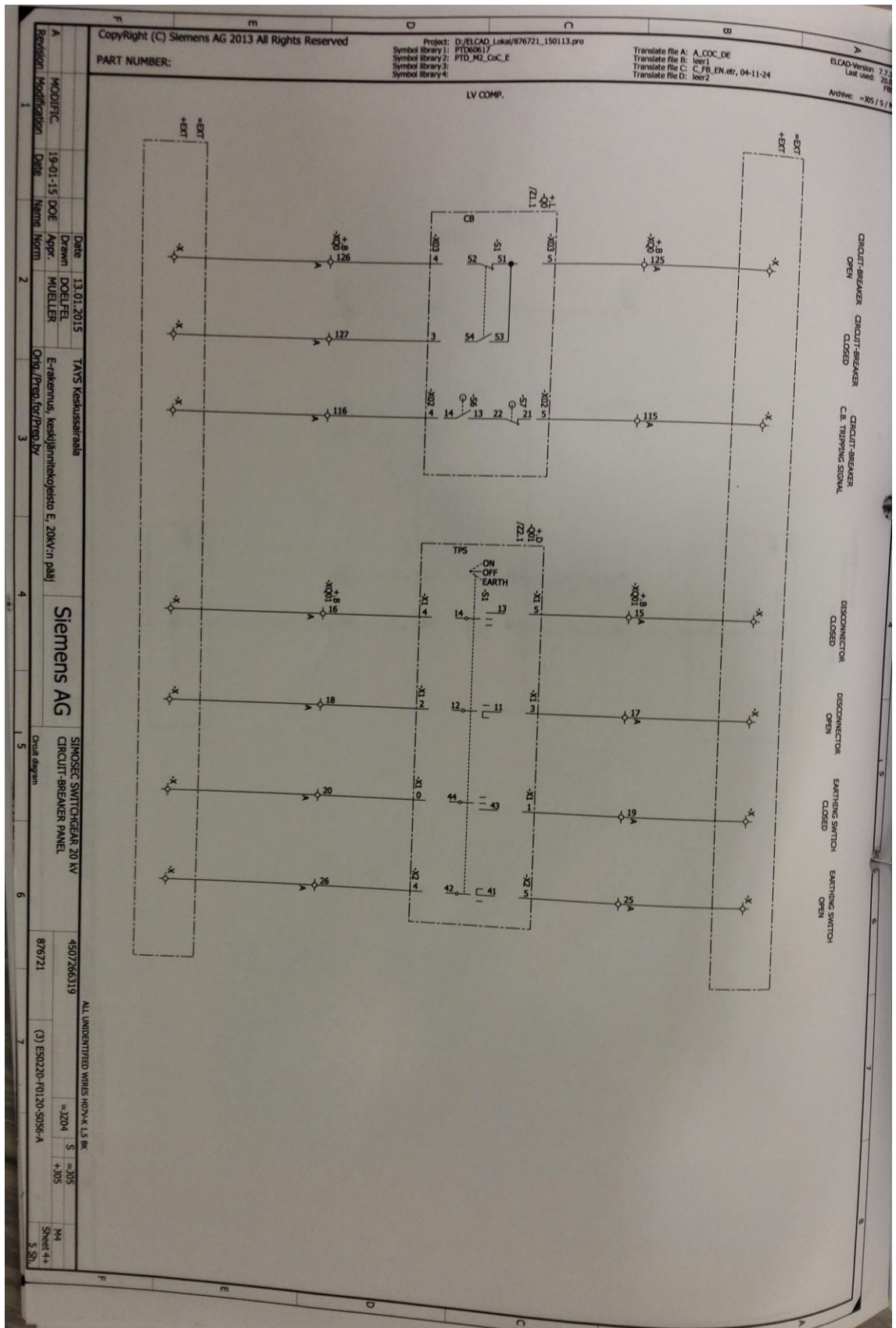
Liite 6. A-muuntamon ohjaus- ja valvontakaavio



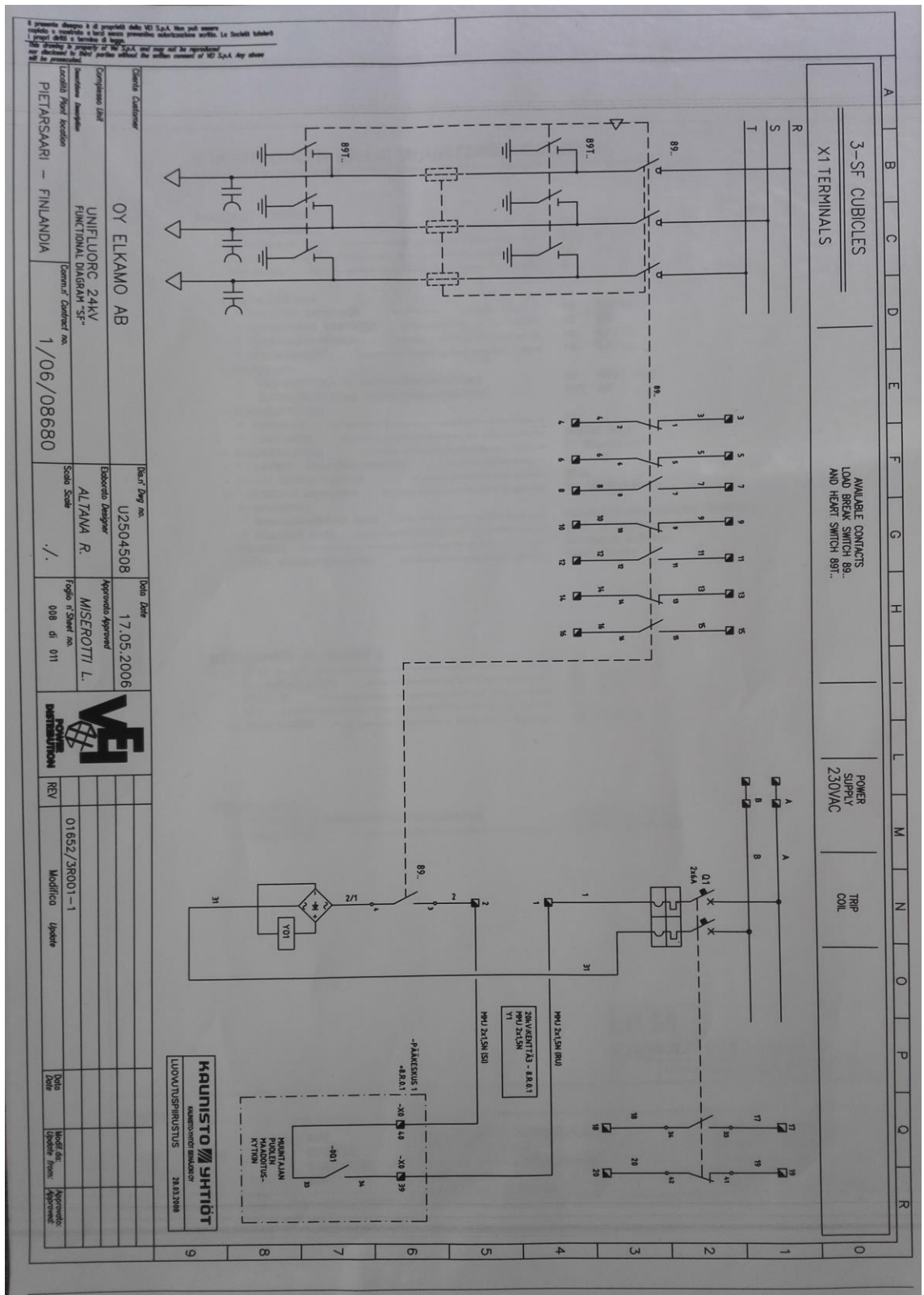
Liite 7. E-muuntamon ohjauskaavio



Liite 8. E-muuntamon ohjauskaavio



Liite 10. R-muuntamon ohjauspiirikaavio



KORTTI NRO		LÄHETYS TIEDOT			HANKINTA TIEDOT			
NIMI		LAJIKKUE		KÄYTTÖ		TUNNUS		
TEKN. ARVOT / TECHNICAL DATA		HANKINTATIEDOT / ACQUISITION INFORMATION		KÄYTTÖ		TUNNUS		
KÄYTTÖLÄHTEET		OPERATIONIN TÄRKEYS		KÄYTTÖ		TUNNUS		
KÄYTTÖLÄHTEET		OPERATIONIN TÄRKEYS		KÄYTTÖ		TUNNUS		
ULOSASENNETTAVA MUUNTAMO MELO 24D24M <i>Kivimurskepinnote</i>								
IEC publ. 298								
Un 20 kV, Fn 50 Hz, IP 33								
In 630 A, Ith 1s 20 kA, Idyn 50 kA								
PIIRUSTUKSET:								
Pääkaavio		7439 PT 3 KA 1		Johdotustaulukko				
Pj-puolen osaluettelo		" 301		Erikoisohjeet				
Piirikaaviot								
SUURJÄNNITEOSAN KOJEET:								
2	Kuormanerotin	. . . . .	OJDB 24A3	. . . . .	Q1, Q2		
	20 kV, 630 A, 10 MVA				OJDB 10 FI 85-05		Str.	
2	Maadoituserotin	. . . . .	OJD-ZMA 24A3	. . . . .	Q11, Q12		
1	Sulakekuormanerotin	. . . . .	OJDD 24A3	. . . . .	Q3		
	20 kV, 630 A, 10 MVA				OJDB 10 FI 85-05		Str.	
1	Maadoituserotin	. . . . .	OJD-ZMC 24A3	. . . . .	Q13		
	Laukaisumagneetti	. . . . .	UEJB-ZB 2	. . . . .		. . . . .
	ohj. ___ V							
	Apukytkin	. . . . .	OJD-ZKB 31	. . . . .		. . . . .
	Suurjännitesulake	. . . . .	OFCMA ___/___	. . . . .		. . . . .
	___ kV, ___ A							
	Erotin	. . . . .	OJON 3-24/630	. . . . .	34 OJON 2K	. . . . .	Q3
	24 kV, 630 A, Ith = 20 kA, Idyn = 50 kA				769 OJON 2		Str.	
	Vähäöljykatkaisija	. . . . .	OSAM 12 A3	. . . . .	34 OSAM 2	. . . . .	Q0
	12 kV, 800 A, katk.kyky 20 kA				769 OSA 2		Str.	
	Vähäöljykatkaisija	. . . . .	OSAM 24 A3	. . . . .	34 OSAM 2	. . . . .	Q0
	24 kV, 800 A, katk.kyky 12,5 kA				769 OSA 2		Str.	
	Ensiö-ylivirtarele	. . . . .	HBI	. . . . .	___ A	. . . . .	K1, K3
	Ith Is = 125 x In						BBC	
	Idyn = 500 x In							
	I = 3...6 x In							
	t = 0 ja 0,3...6s							
	Ensiö-lämpörele	. . . . .	IIT1	. . . . .	___ A	. . . . .	K2
	Idyn = 100 x In						BBC	
	I ₆₀ = 1...2 x In							
	I ₆₀ = 2...10 x I ₆₀							
	V = 20...120°C ₆₀							
	t = 45 min.							
	Ensiöreleen laukaisuelin	. . . . .	OSA-ZSP 1 (OSAM 12 A)	. . . . .		. . . . .
	Ensiöreleen laukaisuelin	. . . . .	OSA-ZSP 2 (OSAM 24 A)	. . . . .		. . . . .
	Jännitemuuntaja	. . . . .	KRES ___ A	. . . . .	769 KRES 2	. . . . .	T
	V ₁ 3/100:V ₂ 3/100:3V						Str.	
	Syd. 1 = 50 VA, lk 0,5/1							
	Syd. 2 = 6 VA, 1,9 x Un, 8h							
	Jännitemuuntaja	. . . . .	KRES ___ B1	. . . . .	769 KRES 2	. . . . .	T
	V ₁ 100 V						Str.	
	507 VA, lk 0,5/1							
	Virtamuuntaja	. . . . .	KOFA	. . . . .		. . . . .	T
	Idyn = ___ kA, Ith = ___ kA						Str.	
	Syd. 1 = ___ VA, lk ___							
	Mittauskotelo	. . . . .		. . . . .		. . . . .
	Sj-liitintäkaapeli	. . . . .	AHXCMK 1x120 mm ²	. . . . .	ks.r. 95,96	. . . . .	.1 = 4500
	Sj-liitintäkaapeli	. . . . .	AHXCMK 1x120 mm ²	. . . . .	ks.r. 95,96	. . . . .	.1 = 7800
	Sj-liitintäkaapeli	. . . . .	HXCMK 1x 35 mm ²	. . . . .		. . . . .	.1 = 4500
	Sj-liitintäkaapeli	. . . . .	HXCMK 1x 35 mm ²	. . . . .		. . . . .	.1 = 7800
x) Työnumerolle tilattu koje								
OSALUETTELO PART LIST		OSASTO KAJ	DEPI KAI 7439 PT 001	TUNNUS IDENT	KT 45	KORTTI KODI	knt9/15	SHEET 1 (2)
STRÖMBERG		TEK.	87-06-10	Tampereen yliopist. keskussairaala		KOKO PIIRUSTUSNUMERO	A3	7439 PT 3 KA 201 A
		REVISIOT		Ulosasennettava muuntamo MELO		KOKO PIIRUSTUSNUMERO	A3	7439 PT 3 KA 201 A
		REVISIOT		Pääosaluettelo		KOKO PIIRUSTUSNUMERO	A3	7439 PT 3 KA 201 A
		REVISIOT				KOKO PIIRUSTUSNUMERO	A3	7439 PT 3 KA 201 A

NO OF APPARATUS PER CUBIC	KOJETIEDOT NIMI TEKN. ARVOT TECHNICAL DATA	WÄRME TEKN. ARVOT TECHNICAL DATA	WÄRME TEKN. ARVOT TECHNICAL DATA	WÄRME TEKN. ARVOT TECHNICAL DATA	WÄRME TEKN. ARVOT TECHNICAL DATA	WÄRME TEKN. ARVOT TECHNICAL DATA
1	TÄYDENNYSVARUSTEET:					
2	—	Muuntajakennon ovi	MELO-ZUA 16			
3	4	Alusta	MELO-ZX 27			
4	—	Aluslevy	MELO-ZTA 1			
5	—	Aluspalkki	MELO-ZTA 2	1 = 3330		
6	—	Aluspalkki	MELO-ZTA 3	1 = 2160		
7	—	Tilaajan lukkomalli (mikäli ei Abloy 3020, 3030)				
8	—	Lähdön nimikilpi	MELO-ZXH 1			
9	—	Muuntajan asennuskiskot	MELO-ZX 5			
10	—	Läpivientilevy	MELO-ZWA 15	1, 2 kpl		
11	—	Kaari kiinnike	YHPLK 16/30	9, 12 kpl		
12	PIENTARVIKKEET:					
13	1	Asennusohje . . . . .	.344 MELO			
14	1	As. levypakkaus	MELO-ZX 13			
15	1	Peilipakkaus	MELO-ZX 7			
16	1	Pääkaavio	Tarra			
17	1	Arvokilpi	YKLP 7420			
18	1	Kilpi	YKLU 22			
19	1	Pahvikilpi	YKLV 818			
20	1	Pahvikilpi	YKLV 819			
21	1	Ohjausvarsi	JOJO-ZKA 2			
22	2	Lukituslevy	MELO-ZKA 5			
23	2	Lukituslevy	MELO-ZKA 30			
24	HOITOVÄLINEET:					
25	4	Sulakkeenvaihtotanko	O-ZHPA 5			
26	—	Työmaadoituslaite	NWAB 3	8 20		
27		70 mm, Ith = 16 kA, Idyn = 40 kA		769 NWA 2	Str.	
28	4	Työmaadoituslaite	NWAB 4	8 30		
29		120 mm, Ith = 25 kA, Idyn = 63 kA		769 NWA 2	Str.	
30	4	Eristyssauva	NWA-ZS 5	769 NWA 2		
31	—	Jännitteenkoetin	PKTT 1	sisätilat.		
32	4	Jännitteenkoetin	PKTU 1			
33	—	Ohjauskoukku	NWA-ZH 6	769 NWA 2		
34	4	Työskentelysuoja	MELO-ZHA 8			
35	—	Releen asettelusauva	NWA-ZH 5			
36		(Tarvitaan lisäksi eristyssauva	NWA-ZS 55)			
37	OSALUETTELO					
38	— PART LIST					
39	OSASTO	KAJ	DEPT	KAJ7439 PTO01	TUNNUS	KT 45
40	—	87-0670				
41		Shäki				
42	STRÖMBERG			Ulosasennettava muuntamo MELO		kat9/15
43				Pääosaluettelo		2.1
44				A3 7439 P		