

Samuli Kaapeli

# Muuntamoautomaation esittely

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.6.2016

Tekijä(t) Otsikko	Samuli Kaapeli Muuntamoautomaation esittely
Sivumäärä Aika	36 sivua + 1 liitettä 1.6.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Insinööri Joni Partanen Lehtori Kai Virta
<p>Uudistuneen sähkömarkkinalain asetukset sähkökatkojen sallituista ajoista ja korvauksista pakottavat sähköverkkoyhtiöt parantamaan verkkojensa toimitusvarmuutta. Käytännössä tämä onnistuu maakaapeloinnilla ja verkon automatisoinnilla.</p> <p>Verkon automatisoinnilla ei niinkään voida estää katkoja tapahtumasta, mutta lyhentää merkittävästi niiden kestoa. Ideaaliolosuhteissa vakavakin vika, kuten pysyvä maasulku, voidaan erottaa terveestä verkosta vain muutamissa sekunneissa ja tämän jälkeen palauttaa sähkö verkon terveille osille. Automaatio ei silti ole ratkaisu myrskyjen aiheuttamille katkoille, joiden aikana verkossa voi olla useita vikoja samaan aikaan. Jos vaihtoehtoista reittiä sähkön syötölle ei ole tarjolla, ei sähköjä luonnollisesti pystytä palauttamaan.</p> <p>Säävarmaa verkkoa kehitettäessä tarvitaan molempia, maakaapelointia ja automaatiota.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä esitellään verkkojen automatisointiin tarvittavia laitteita, niiden yhteensopivuuksia ja toimintaperiaatteita. Lisäksi opinnäytetyössä esitellään hieman Eltel Networks Oy:n toimintaympäristöä ja tahtotilaa muuntamoautomaation saralla.</p>	
Avainsanat	Ala-asema, etäkäyttö, automaatio

Author(s) Title	Samuli Kaapeli Introduction of Substation Automation
Number of Pages Date	36 pages + 1 appendices 1 June 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Joni Partanen, B. Eng Kai Virta, Senior Lecturer
<p>Renewed electricity market act regulations of permitted power outages are forcing electricity grid companies to improve delivery reliability of distribution networks. In practice, this can be done by underground cabling and network automation.</p> <p>Network automation is not so much about preventing outages from happening, but significantly shortening duration of outage. In ideal conditions, a serious defect, such as a permanent earth fault, can be separated from healthy grid in only a few seconds, and then restore electricity to healthy parts of the grid. Automation is not however the solution interruptions caused by storms, during which there can be multiple failures at the same time. If an alternative route to feed electricity is not available, the electricity cannot be returned.</p> <p>Developing weather-proof grid is indeed requiring both, underground cabling and grid automation.</p> <p>This engineering thesis introduces the equipment needed for grid automation, compatibility between them and operating principles of devices. The thesis also presents a bit of Eltel Networks Oy's operating environment and strategic intent in the field of automation of distribution substations.</p>	
Keywords	Remote Terminal Unit, Remote Access, Automation

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkön siirto- ja jakelujärjestelmä Suomessa	3
2.1	Kantaverkko	4
	Kantaverkon tyypilliset viat	6
2.2	Alue- ja jakeluverkko	7
2.2.1	Keskijänniteverkko	7
2.2.2	Keskijänniteverkon tyypilliset viat	10
2.2.3	Keskijänniteverkon suojaus	11
2.2.4	Pienjänniteverkko	12
2.2.5	Pienjänniteverkon suojaus	12
3	Jakeluverkkoautomaatio	13
3.1	Vianpaikannus nykyisin	13
3.2	Jakeluverkkoautomaation hyödyt	13
3.3	Muuntamoautomaatiolaitteisto	14
3.3.1	M2M-terminaali ja tiedonsiirto	16
3.3.2	Ala-asema	17
3.3.3	Anturit	18
3.3.4	Automaattinen vianerotus	19
4	Eltel Networks Oy:n intressi muuntamoautomaatioon	21
5	Schneider Electric T-300	23
5.1	Easergy HU250	24
5.2	Easergy SC150-kytkinohjain	25
5.3	Easergy PS50- ja PS25-varavirtalähteet	26
5.4	Easergy LV150 ja LV110	27
6	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liitteet	

Liite 1. Havainne kuva muuntamoautomaatiolaitteiden fyysisestä sijainnista ja kommunikoinnista keskenään.

## Lyhenteet ja käsitteet

SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition. Valvomo-ohjelmisto
HMI	Human-Machine Interface, käyttöliittymä
M2M	Machine-To-Machine tarkoittaa koneiden välistä kommunikointia
KAH	Katkosta aiheutunut haitta, arvio sähkökatkon asiakkaille aiheuttamasta rahallisesta haitasta
Suurjännite	>36 kV
Keskijännite, kj	1 – 36 kV
Pienjännite, pj	≤1 kV
Maaseutuverkko	Maakaapelointi aste 0–30%
Taajamaverkko	Maakaapelointi aste 30–75%
Cityverkko	Maakaapelointi aste 75–100%
VPN	Virtual Private Network, julkiseen internettiin virtuaalisesti tehtävä ”tunneli” jossa siirrettävä tieto on salattua ja ulkopuolisten ulottumattomissa
Sähkön käsiteltävyys	Suhteellinen termi, jota tässä opinnäytetyössä käytetään kuvaamaan, kuinka suuret ilmaeristevälit jännite vaatii ja kuinka helposti maakaapeloitavissa kyseisen jännitteen kaapelit ovat

## 1 Johdanto

Joulukuun 2011 lopussa Pohjoismaissa riehunut tapaninpäivän myrsky katkaisi sähköt pahimmillaan yli 190 000 taloudelta pelkästään Fortumin verkossa. Tapaninpäivän myrsky oli voimakkain kolmeenkymmeneen vuoteen, mutta voimakkaita myrskyjä jotka katkovat sähköjä laajalta alueelta, koetaan lähes joka vuosi [1]. Myrskyt ovatkin varmasti olleet innoittamassa uuden sähkömarkkinalain vaatimuksia lyhyemmistä sähkökatkoista ja kovemmista korvauksista.

Vuonna 2013 sähkömarkkinalakiin kirjattiin seuraavaa:

### 51 §

#### Jakeluverkon toiminnan laatuvaatimukset

Jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, ja sitä on ylläpidettävä siten, että:

- 1) verkko täyttää järjestelmävastaavan kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset;
- 2) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asema-kaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä;
- 3) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta muulla kuin 2 kohdassa tarkoitetulla alueella verkon käyttäjälle yli 36 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä [19].

Verkkoyhtiöille katkojen enimmäismäärän kiristyminen ja vahingonkorvaussummien nouseminen tarkoittavat lisäinvestointeja verkkoon, jotta katkot ja niiden kesto saadaan minimoitua. Käytännössä tämä tarkoittaa verkon saneerausta ja automatisointia. Automaation avulla vikapaikka saadaan paikallistettua nopeasti ja se voidaan erottaa terveestä verkosta etäohjatuilla erottimilla ja sähkö saadaan palautettua verkon terveille osille. Tämä pienentää merkittävästi sähkökatkon pituutta ja laajuutta. Itse vian korjaukseen menevää aikaa, paikallistamisen jälkeen, ei tässä insinööriyössä käsitellä, sillä siihen automaatiolla ei pystytä juurikaan vaikuttamaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena on antaa kuva jakeluverkon automatisoinnin syistä, eduista ja vaatimuksista sekä vaadittavista laitteistoista, niiden ominaisuuksista ja yhteensopi- vuudesta niin, että opinnäytetyötä on mahdollista käyttää ohjenuorana Eltel Networks Oy:ssa. Opinnäytetyö keskittyy pääasiassa jakeluverkoautomaation osuuteen verkon automatisoinnista, sillä käytännössä kaikki sähköasemat ja kantaverkko on jo automati- soitu niin pitkälle kuin suinkin mahdollista. Keskijänniteverkosta verkkoyhtiö ei useissa tapauksissa kuitenkaan saa reaaliaikaista dataa. Keskijänniteverkko onkin tavallaan ai- nut sokea piste verkossa sähköaseman ja loppukäyttäjän välissä, jonka tilasta verkon käyttäjällä ei ole reaaliaikaista tietoa eikä suoraa ohjausta. Edelläkävijä keskijännitever- kon automatisoinnissa Suomessa on Helen Sähköverkko Oy, jonka verkosta löytyy jo useita satoja automatisoituja muuntamoita.

Opinnäytetyössä ei ole tarkoitus perehtyä syvällisesti eri mittausten tai laitteiden toimin- taperikaatteisiin, sillä se ei ole opinnäytetyötä käyttävän yrityksen kannalta olennaista. Opinnäytetyössä ei myöskään esitellä ilmajohtoverkon automatisointiratkaisuja, vaan keskitytään nimenomaan maakaapeliverkon automatisointiin.



## 2 Sähkön siirto- ja jakelujärjestelmä Suomessa

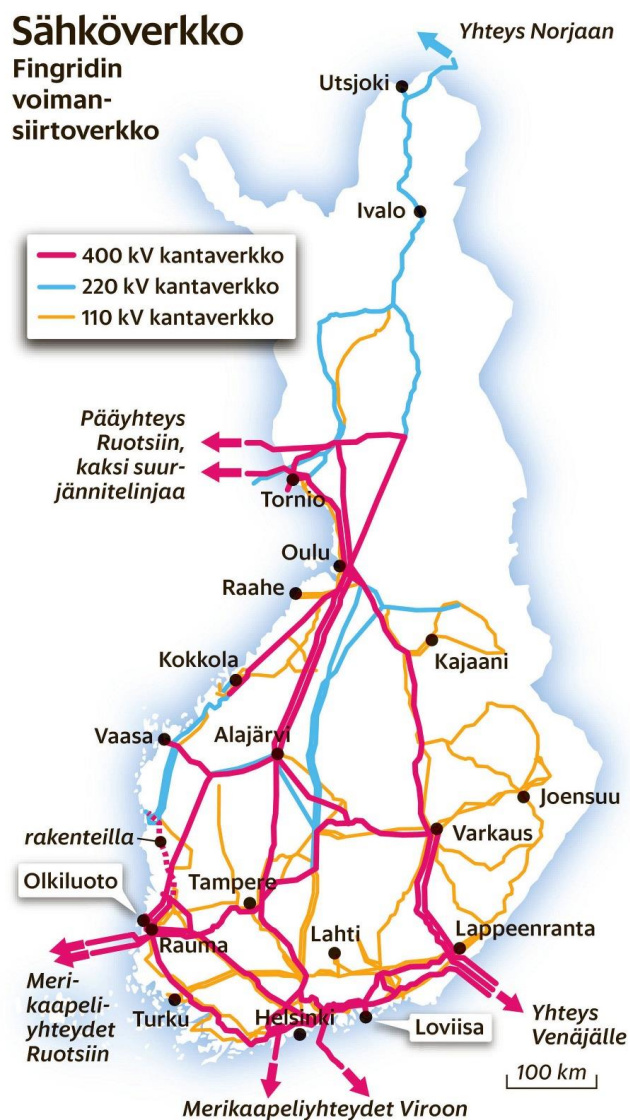
Sähköverkot jaetaan käytetyn jännitetason ja käyttötarkoituksen perusteella joko siirto- tai jakeluverkkoihin. Voimalaitokset syöttävät sähköä koko maan kattavaan siirtoverkkoon eli kantaverkkoon, johon suuret voimalaitokset, tehtaot sekä alueelliset jakeluverkot on liitetty. Kantaverkkoon kuuluvat kaikki 400kV:n ja 220kV:n sekä tärkeimmät 110kV:n verkot. Fingridin omistuksessa on myös yli sata sähköasemaa. Sähköasemissa kantaverkon suurjännite muutetaan helpommin käsiteltäväksi keskijännitteeksi, Suomessa tyypillisesti 20kV. Keskijänniteverkon tehtävänä on siirtää sähkö käyttäjän läheisyydessä sijaitsevalle jakelumuuntajalle, josta sähkö siirtyy pienjänniteverkkoa (0,4kV) pitkin pienkuluttajille [2].



Kuva 1. Sähkön siirto- ja jakeluverkon rakenteen havainne kuva. [3]

## 2.1 Kantaverkko

Kantaverkko on nimensä mukaisesti koko Suomen sähkönjakelun selkäranka, kaikki Suomen kantaverkot ovat valtioenemmistöisen Fingridin omistuksessa. Kantaverkot on suunniteltu ja tarkoitettu suurten sähköisten tehojen siirtämiseksi pitkien matkojen päähän. Suomessa, sähköntuotannon keskitetystä luonteesta johtuen, siirtomatkat ovatkin usein pitkiä. Vesivoimalaitokset täytyy sijoittaa koskien varsille jotka sijaitsevat pääasiassa pohjoisessa, vaikka sähkön kulutus on suurinta Etelä-Suomessa. Suuritehoiset lämpövoimalaitokset tarvitsevat puolestaan paljon lauhdevettä lisäksi hukkalämpö jota ei pystytä hyödyntämään, on voitava siirtää ympäristöön. Tällaisia paikkoja ei yleisesti löydy juurikaan loppukäyttäjän lähetyviltä.



Kuva 2. Suomen kantaverkko kartalla [10]

Suomen kantaverkko on pääasiassa toteutettu avojohdinverkkona. Maakaapeleiden käyttö on vähäistä, koska ne ovat Suomelle tyypillisillä pitkillä siirtoetäisyyksillä hyvin kalliita rakentaa. Lisäksi korkeajännitteiset maakaapelit rajoittavat maankäyttöä alueella lähes yhtä paljon kuin avojohdinlinja. Myös sähköasemat ovat useimmiten ulkorakenteisia ja ilmaeristeisiä [2]. Ilmaeristeiset muuntokentät vaativat tosin paljon tilaa, suurjännitteen vaatiman pitkän ilmaeristevälin takia. Kaupungissa sijaitsevat muuntoasemat käyttävät rajoitetun tilan vuoksi kojeistoja, joissa jännitteiset osat on suljettu paineistettuun eristekaasuun. Yleisimmin käytössä oleva eristekaasu on rikkiheksafluoridi eli SF<sub>6</sub>, jonka sähköiset eristeominaisuudet ovat 2,5 kertaa paremmat ja valokaaren sammutusominaisuudet 100 kertaa paremmat kuin ilmalla. Näin sähköasemasta saadaan kaupunkiolosuhteisiin sopiva, ilmaeristeiseen verrattuna, kompakti kokonaisuus [5].

Kantaverkossa käytetään mahdollisimman korkeita jännitetasoja sähkönsiirrossa syntyvien häviöiden pienentämiseksi. Kantaverkon häviöt muodostuvat pääosin voimajohdoissa syntyvistä virtalämpöhäviöistä sekä johtimien pinnalla syntyvistä ns. koronahäviöistä. Koronapurkaus tarkoittaa tietyissä sääolosuhteissa syntyvää osittaista purkausta yleisimmin voimajohdosta kannatinpylvääseen. Sähköä siirrettäessä johtimessa kulkeva virta aiheuttaa niin myös virtalämpöhäviöitä, jotka nimensä mukaisesti lämmittää johdinta. Häviöiden suuruus on verrannollinen virran toiseen potenssiin, jonka takia kantaverkossa pyritään pitämään koko ajan mahdollisimman korkeaa jännitettä. Jakeluverkon matalampi jännitetaso nostaa virtalämpöhäviöitä vielä entuudestaan, mutta suurjännitteen käyttö ei käytännössä olisi toimiva ratkaisu sen vaatiman pitkän ilmaeristevälin ja muiden rajoitusten vuoksi [6]. Vuonna 2014 koko sähköverkon häviöihin kului yli 2,7 terawattituntia energiaa, joka vastaa yli kolmea prosenttia koko suomen sähkökulutuksesta.

GWh	v.1970	v.1980	v.1990	v.2000	v.2010	v.2014
Kokonaiskulutus	21817	39921	62334	79158	87704	83416
Häviöt yht.	1511	2305	2825	2632	2766	2788
	6,93 %	5,77 %	4,53 %	3,32 %	3,15 %	3,34 %
Siirtohäviöt	600	1054	1203	906	1184	968
	2,75 %	2,64 %	1,93 %	1,14 %	1,35 %	1,16 %
Jakeluhäviöt	911	1251	1622	1726	1582	1820
	4,18 %	3,13 %	2,60 %	2,18 %	1,80 %	2,18 %

Kuva 3. Siirto- ja jakeluverkon siirtohäviöt vuosikymmenittäin [4].

## Kantaverkon tyypilliset viat

Sähkökäyttäjien kokemat laajat häiriöt, jotka koskevat useita kaupunkeja, ovat tilastojen mukaan vähentyneet ja niiden kesto on lyhentynyt selvästi 1970-luvun huippuvuosista. Koko maan kattavia suurhäiriöitä, joissa suuri osa kantaverkosta on jännitteettömänä, ei ole sattunut yli kolmeenkymmeneen vuoteen. Nykyisin Suomea halkoo pituussuunnassa kolme 400kV:n verkkolinjaa, mikä parantaa kantaverkon toimitusvarmuutta. Kantaverkko on rakenteeltaan silmukoitu, joten jos yksi yhteys katkeaa, kiertää sähkö kohteeseensa toista kautta [11]. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa kantaverkko on suunniteltu N-1-periaatteen mukaan eli niin, että se kestää yksittäisen vian tai vikaantuneen komponentin irtoamisen. Jos lyhyessä ajassa koetaan kaksi tai useampi vakavaa vikaa, kantaverkko saattaa tilanteesta riippuen kaatua ja sen käynnistämiseen tarvittavaa siemensähköä täytyy tuoda ulkomailta [10]. Kantaverkko on Suomessa rakennettu puuvarmaksi eli siten, ettei kaatava puu voi yltää linjalle. Johtokadun vaadittu leveys riippuu käytetystä jännitteestä. Tyypillisesti 110kV sähkölinjojen johtokatu on 26 metriä leveä ja sitä täydentää johtokadun reunasta 10 metrin alue, jolle rakentamiseen on tehty rajoituksia. Suurin osa kantaverkon häiriöistä on ukkosesta tai muusta ilmastollisesta syystä aiheutuneita hetkellisiä katkoksia, jotka poistuvat automaattisilla jälleenkytkennöillä. Häiriöt ovat yleensä lyhytkestoisia, eivätkä ehdi vaikuttaa sähkönkuluttajaan. Yleinen syy hetkellisiin häiriöihin on suora salamanisku voimalinjaan, joka aiheuttaa tyypillisesti linjan irtottamisen ja jälleenkytkennän verkkoon, joka kestää muutamia sekunteja. Kaikki 400kV:n verkot on Suomessa suojattu ukkosköysillä, jotka kulkevat pylväässä varsinaisten johtimien yläpuolella. Vaikka salamanisku osuisikin voimalinjan ukkosköyteen, pylvään rajallinen maadoitus aiheuttaa jännitteen nousun tasolle, jossa osa salaman virrasta saattaa purkautua eristimien ilmaeristysvälin yli vaihejohtimiin ja aiheuttaa vaiheiden välisen oikosulun tai maasulun [12]. Vaikka suurhäiriöitä ei kantaverkossa ole tapahtunut 1970-luvun jälkeen, tapahtuu vakavia häiriötilanteita lähes vuosittain. Viimeisin paljon julkisuutta saanut häiriö, joka jätti useita asiakkaita sähköttä, tapahtui 2.12.2015, kun Raisiossa rakennustyömaalla työskennellyt nosturi osui Naantalinsalmi-Koroinen 110kV:n voimalinjaan. Samoilla pylväillä kulkenut Lieto-Naantalinsalmi 110kV:n voimalinja täytyi myös tehdä jännitteettömäksi pelastustöitä varten. Pelastustyön ajaksi poiskytketyn Lieto-Naantalinsalmi 110 kV voimajohdon takia Turun, Raision ja Naantalinsalmi alueella oli arvioiden mukaan noin 70 000 kuluttajaa ilman sähköä pahimmillaan 31 minuutin ajan. Sähköttä olivat myös Nesteen Naantalinsalmi jalostamo, Fortumin Naantalinsalmi voimalaitos ja Raision Tehtaat. Lisäksi häiriö aiheutti katkoksia myös Turun seudun kaukolämmön toimituksiin. Häiriöstä aiheutui KAH-arvoa yhteensä 1,78 miljoonaa euroa [13].

## 2.2 Alue- ja jakeluverkko

Muita kuin Fingridin omistuksessa olevia 110kV:n verkkoja, sekä harvinaisia 30kV ja 45kV johtoja, kutsutaan alueverkoiksi eli alueellisiksi suurjänniteverkoiksi. Ne huolehtivat sähkön siirrosta jakeluverkkoon alueellisella tasolla. Alueverkkoja on lähinnä suurten verkkoyhtiöiden hallussa, kuten Caruna, Elenia ja Helen sähköverkko Oy.



Kuva 4. Sähkön siirron havainnekuva [7 s.3]

Viisitoista suurinta verkkoyhtiötä kattaa yli 70% suomen jakeluverkoista, pienimmillään verkkoyhtiöt toimivat vain yhden kunnan alueella. Yhteensä Suomessa toimii yli 80 verkkoyhtiötä [8;2].

### 2.2.1 Keskijänniteverkko

Alueverkon 110kV jännite muunnetaan helpommin käsiteltäväksi jännitteeksi sähköasemilla. Sähköasemilta eteenpäin jatkuvaa verkko kutsutaan yleisesti jakeluverkoksi. Jakeluverkon jännite on suomessa yleisimmin 20kV (keskijännite) tai 0,4kV (pienjännite), mutta myös muita jännitetasoja on käytössä, kuten useiden kaupunkien keskustoissa toimiva vanha 10kV verkko. Pienempää jännitetasoa on aikoinaan käytetty halvempien komponenttien ja pienemmän tehontarpeen takia. 10kV verkko on vähitellen katoamassa verkon saneerauksen myötä, mutta esimerkiksi useat 70-luvulla rakennetut kaapelit on mitoitettu 10kV jännitteelle, eivätkä kestä 20kV jännitettä. Tämä hankaloittaa jännitetasojen yhtenäistämistä, sillä vaikka muuntajakone ja kojeisto vaihtuisivat, eivät kaapelit kestä suurempaa jännitettä. Periaatteessa verkkoyhtiöillä ei ole myöskään mitään syytä kiirehtiä eroon 10kV verkosta, joten verkon yhtenäistäminen on hidasta [9]. 20/10kV jakeluverkkoa kutsutaan yleisesti keskijänniteverkoksi (myöhemmin kj-verkko). Kj-verkon tehtävän on siirtää sähköä sähköasemalta asutuksen ja kuluttajien lähistölle

verrattain tehokkaasti ilman suuria virtalämpöhäviöitä. 20kV jännite ei kuitenkaan vaadi epäkäytännöllisen suuria ilmaeristevälejä, eikä kaapelointi mainittavasti rajoita maankäyttöä kaapeleiden lähellä.

Keskijännitettä siirretään kaupungeissa yleisesti maakaapeloituna verkkona. Helsingin sähköverkot Oy:n maakaapelointiaste on yli 99 % ja ilma-asenteista kj-verkkoa löytyy enää lähinnä vain saarista. Maanlaajuisesti keskijänniteverkosta on maakaapeloitu vasta 16 % [15]. Maakaapeloitu verkko on säävarmaa, eli myrskyt, lumi tai kaatuneet puut eivät vaikuta siihen.

Maakaapelointi totutetaan nykyisin muovieristeisillä kaapeleilla, joiden asentaminen on hyvin saman tyyppistä kuin pj-kaapeleidenkin. Ennen 1990-lukua käytössä olleet paperieristeiset kaapelit olivat herkkiä esimerkiksi kastumiselle, jonka jälkeen kaapeli oli pillalla. Aiemmin on asennettu myös öljyeristeisiä kj-kaapeleita, joiden eristeaineena toimii kaapelin kuoressa öljyllä imeytetty paperi. Johdinmateriaalina kaapeleissa on lähes poikkeuksetta alumiini. Alumiini on huomattavasti kevyempää ja halvempaa kuin kupari. Kupari johtaa sähköä jonkin verran alumiinia paremmin, mutta taloudellisesta näkökulmasta johtimen poikkipinta-alan kasvattaminen on nähty kuparikaapelien käyttöä kannattavamaksi.

Taajamissa ja maaseudulla käytetään maakaapelin ohella myös ilma-asenteista avojoh-toa ja PAS-johdinta eli päällystettyä avojoh-toa. Avojohtin tarkoittaa yleisimmin maaseudulla nähtäviä 20kV:n johtoja joissa johtimet ovat paljaana. Avojohtin vaatii pylvääseen aina eristimet, eristämään johtimen pylvästä, joskin 20kV:n jännitteellä eristimen pituu-deksi riittää muutama kymmenen senttiä, siinä missä 400kV:n kantaverkossa eristimen pituus on noin neljä metriä. PAS-johtimen hyödyt avojoh-toon verrattuna ovat pienempi johtokatu ja hetkellinen oiko- ja maasulun kesto. Tämä on hyvin tärkeää uudistuneen sähkömarkkinalain vaatimuksiin mukauduttaessa [16]. Myös useita kj-kaapeleita on mahdollista käyttää ilma-asenteisena, tosin toimintatapa on hyvin harvinainen kaapelin huomattavasti suuremman hinnan, painon sekä siitä saatavan olemattoman hyödyn ta-kia.

Jakeluverkkomuuntamoissa keskijännite (20kV tai 10kV) muutetaan asiakkaiden käyttämäksi pienjännitteeksi (0,4kV). Muuntamot sijaitsevat yleensä kaupungeissa muutaman sadan metrin päässä loppukäyttäjistä, maaseudulla etäisyys voi olla pisimmillään joitain kilometrejä. Muuntamo voi olla kiinteistössä sijaitse kiinteistömuuntamo, puistomuuntamo tai pylväsmuuntaja. Kiinteistömuuntamoita käytetään yleisesti kaupungeissa ja ne sijaitsevat esimerkiksi kerrostalon kellarissa, josta sähköyhtiö on vuokrannut kiinteistöltä tilat muuntamoa varten. Kiinteistömuuntamoissa täytyy kiinnittää erityistä huomiota tilan ilmanvaihtoon ja magneettikenttään. Muuntamo aiheuttaa voimakkaan 50Hz magneettikentän jolle asuinympäristö voi altistua. Pääasiallinen magneettikentän aiheuttaja muuntamoissa on pienjännitekeskuksen ja muuntajan välinen kaapeli- tai kiskosilta, jossa kulkee tyypillisesti 200-700A:n virtoja. Lisäksi myös itse muuntajakone muodostaa ympärilleen voimakkaan magneettikentän. Puistomuuntamoita käytetään pääasiassa haja-asutusalueilla, niissä muuntajakone, kojeisto ja pj-keskus on sijoitettu erilliseen tarkoitusta varten rakennettuun koppiin. Pylväsmuuntajat ovat yleisiä maaseudulla, jossa iso osa verkosta on ilma-asenteista. Pylväsmuuntajissa on yleensä vain itse muuntaja ja muutamia pylväsvarokkeita, joiden läpi sähkö kulkee läheisiin taloihin. Pylväsmuuntajat ovat usein pienikokoisia ja tehoisia, kaupunkiin verrattuna vähäisen liittyjämäärän vuoksi [17].



Kuva 5. Pylväsmuuntaja

## 2.2.2 Keskijänniteverkon tyypilliset viat

Valtaosa keskeytyksiä aiheuttavista vioista tapahtuu ilmassa kulkevalla avojohdoilla. Verkon kaivaminen maan alle eli kaapelointi olisi paras keino parantaa sähkön toimitusvarmuutta. Maahan kaivaminen on kuitenkin ilmajohdon rakentamista kalliimpaa, eikä siten välttämättä aina kustannustehokas tapa hoitaa sähkönjakelua. Päätös kaapeloinnista maaseudulla tehdään yleensä katkosta aiheutuvan KAH-arvon perusteella. Kaupungeissa kj-verkko on tyypillisesti kaapeloitu lähes kokonaan ja se onkin pääasiassa säävarma [14].

1-45 kV verkko	Maaseutu 0-30%	Taajama 30-75%	City 75-100%	Kaikki yhteensä
<b>Johtopituus yhteensä km*</b>	<b>114751</b>	<b>11394</b>	<b>10517</b>	<b>136707</b>
Avojohto	99 573	4 620	361	104558
PAS	8 261	1045	81	9388
Ilmakaapelit	450	147	65	661
Kaapelit	6 461	5582	10007	22091
Avojojohdoista metsässä (%)	54	31	42	51

Taulukko 1. Suomen keskijänniteverkon eri johtolajien verkkopituudet

Toisin kuin kantaverkko, ilma-asenteista kj-verkkoa ei ole rakennettu puuvarmaksi. Avojohtinverkon johtokatu on noin 10 metriä leveä ja myrskyn aikana yleisin syy sähkökatkoille kaava-alueen ulkopuolella on kj-linjalle kaatunut puu, mikä aiheuttaa maa- tai oikosulun. Tapaninpäivän myrskyn vuonna 2011 tiedetään tuhonneen metsien läpi rakennettuja kj-linjoja kokonaan maan tasalle ja verkko jouduttiin korjaustoimenpiteenä rakentamaan kokonaan uudestaan. Nykyisin ilmalinjan rakentamista metsään pyritään välttämään juuri sen vikaherkkyuden takia.

Kaapeloidussa keskijänniteverkossa suurin yksittäinen keskeytyksiä aiheuttava syy on maankaivuu. Muita mahdollisia keskeytyksiä aiheuttavia syitä voivat olla vikaantuneet komponentit, kuten väärin asennettu kaapelipääte tai kaapeliin tehty jatkos [18].



### 2.2.3 Keskijänniteverkon suojaus

Keskijänniteverkon suojaus toteutetaan pääasiassa sähköasemilla, jossa johtolähtöjä valvovat erilaiset suojarahitit, jotka vian havaitessaan katkaisevat koko johtolähdöstä jännitteen. Tämä aiheuttaa verrattain laajan sähkökatkon, sillä yksittäisen sähköaseman johtolähdön takana voi olla useita jakeluverkkomuuntamoita ja satoja asiakkaita. Ylivoi- maisesti suurin osa asiakkaiden kokemista sähkökatkoista johtuukin nimenomaan kes- kijänniteverkon viasta. Suojarahitit on usein varustettu pika- ja aikajälleenkytkentä omi- naisuuksilla. Pikajälleenkytkentä tapahtuu noin sekunnin sisällä katkosta. Jälleenkytken- nässä sähköjä yritetään palauttaa verkko-osuudelle, sillä varsinkin ilmajohtoverkossa vika saattaa olla itsestään ohimenevä, esimerkiksi puun oksan hetkellinen kosketus avo- johdin linjaan. Vika voi myös ”palaa” eli muuttua sähköä johtamattomaksi, minkä jälkeen jännite pystytään verkko-osuudelle palauttamaan. Pikajälleenkytkennän epäonnistuessa yritetään noin minuutin päästä aikajälleenkytkentää. Aikajälleenkytkentää ei yleensä käy- tetä kaupunkialueilla turvallisuussyistä. Jos molemmat jälleenkytkennät epäonnistuvat, jää verkko jännitteettömäksi odottamaan korjaustoimenpiteitä. Lyhyetkin katkot voivat suurella asiakasmäärällä aiheuttaa mittavan KAH-arvon ja näin rajoittaa verkkoyhtiölle sallittua tuottoa.

Suomessa jakeluverkko on usein silmukoitu, mutta sitä käytetään lähes poikkeuksetta säteittäisesti. Periaatteessa tällöin verkon vikaantunut osuus voidaan eristää nopeasti ja helposti, mutta automaation puuttuessa tarvitaan aina asentajaryhmä kääntämään erot- timia. Asentajaryhmän liikkeelle lähtö ja paikalle saapuminen kestää pitkään verrattuna käyttökeskuksesta tehtäviin ohjaustoimenpiteisiin etäohjattaville erottimille.

#### 2.2.4 Pienjänniteverkko

Muuntamon pj-keskukselta sähkö siirretään paikasta riippuen joko maakaapeloituna, ilma-asenteisena tai niin kutsuttuna sekajohtoverkkona edelleen loppukäyttäjälle. Sekajohtoverkossa on sekä ilma-asenteista että maakaapeloitua verkkoa. Kuten keskijänniteverkko, on myös pienjänniteverkko yleensä kaapeloitu kaupunkialueilla ja näin ollen säävarmaa. Kaapeloinnissa käytetään yleensä muovieristeistä kaapelia kuten AXMK tai AXCMK. Pienjänniteverkon ilma-asennuksissa ei yleensä käytetä avojohtimia, vaan päällystettyä riippukierrekaapelia, AMKA:aa. AMKA on kosketussuojattua, joten esimerkiksi puiden oksat eivät aiheuta siihen maasulkua. Kuitenkin pitkään samaa kohtaa haggannut oksa saattaa läpäistä AMKA:an suojakuoren ja näin aiheuttaa vian pj-lähtöön. Tästä syntyvä katko on kuitenkin laajuudeltaan yleensä vain yksittäisen rakennuksen suuruinen.

#### 2.2.5 Pienjänniteverkon suojaus

Pienjänniteverkko on yleensä suojattu sulakkeilla. Asiakkaan pääkeskuksen sulakkeiden jälkeen suojauksesta vastaa jakokaapin tai muuntamon pienjännitekeskuksen jonovaro-ke.



Kuva 6. Jakokaappi ja jonovaro-keita

### 3 Jakeluverkkoautomaatio

#### 3.1 Vianpaikannus nykyisin

Vika huomataan perinteisesti joko asiakkaiden yhteydenottojen perusteella tai siitä kun useat etäluettavat mittarit samalla alueella menettävät yhteyden verkkoyhtiöön. Vian havaittua vikapäivystyksessä oleva asentajaryhmä hälytetään matkaan. Kun vikapartio saapuu vikapaikalle, rajataan vikapaikkaa erotinvälejä sulkemalla ja palauttamalla jännite vaiheittain. Jos sähköaseman rele ei laukea, oli kyseinen verkko-osuus kunnossa ja siirrytään yksi erotinväli eteenpäin, kunnes jännite ei enää pysy päällä. Tällöin vika saadaan paikallistettua yhteen erotinväliin ja sähkö palautettua muualle. Jos vian ”taakse” jäävälle osuudelle on takasyöttömahdollisuus, saadaan sähkö palautettua kaikkialle muualle paitsi juuri vikapaikalle. Myös pj-verkkoa on mahdollista käyttää väliaikaisesti syöttämään sähköä jääneitä alueita toisesta muuntopiiristä. Jos vikapaikka on säteittäisessä verkko-osuudessa jota ei ole silmukoitu, jää koko verkko vikapaikasta eteenpäin jännitteettömäksi. Kun vikapaikka on saatu eristettyä ja sähkö palautettua terveille verkonosuuksille, vikapaikkaa ruvetaan paikallistamaan tarkemmin. Ilmajohtoverkossa vian paikallistaminen on pääsääntöisesti helppoa, sillä vikapaikka on yleensä silmämääräisesti havaittavissa. Tämäkin voi silti olla hyvin aikaa vievää, jos verkko-osuus on pitkä. Maakaapeliverkossa vian paikallistaminen tapahtuu erikseen vikaantuneeseen lähtöön kiinnitettävällä laitteella ja niin sanotusti ”paukuttamalla”. Ensin vian paikallistamiseen käytettävä laite liitetään vikaantuneeseen johtolähtöön, mikä antaa karkean etäisyystiedon vialle. Tämän jälkeen johtolähtöön liitetään syöksyaaltogeneraattori, jolla itse ”paukuttaminen” suoritetaan. Paukuttaminen tarkoittaa, että vikaantuneeseen kaapeliin syötetään syöksyaaltogeneraattorilla jännite impulsseja, jotka pitävät ääntä valokaaren lyödessä läpi vian kohdalla. Asentaja kulkee maastossa kaapelin reittiä pitkin ja kuuntelee ääntä, joka lähtee jännitteen läpilyönnistä.

#### 3.2 Jakeluverkkoautomaation hyödyt

Jakeluverkkoautomaation suurimmat hyödyt tulevat vianpaikannuksen nopeudesta ja tarkkuudesta, sekä nopeasta sähköjen palautuksesta verkon ”terveelle” osalle. Tällöin KAH-arvoa ja verkkoyhtiölle aiheutuvia kustannuksia saadaan nopeasti pienennettyä. Ideaalitapauksessa kaikki muuntamot ja johtolähdöt olisivat varustettu etäohjattavilla

erottimilla, jolloin käyttökeskus saisi vian rajattua lähimpiin erotinväleihin ja sähköt palautettua jo ennen kuin vikapartio on päässyt edes matkaan. Verkon suurin automaatioaste löytyy Helsingin Energian verkosta, jossa jo lähes puolet erottimista on etäohjattavia. Muualla Suomessa verkon automaatioaste on vielä hyvin matala.

Nykyaikaisilla vianpaikannusmenetelmillä vian suunta muuntamolta ja parhaassa tapauksessa myös verrattain tarkka sijainti saadaan selville käytännössä heti vian tapahtuttua. Haasteita tuottavat suuriresistanssiset viat, joista ei välttämättä saada edes suuntatietoa. Tällöin järjestelmä kertoo vain vian olemassaolosta verkko-osuudella ja se joudutaan etsimään maastosta perinteisin menetelmin. Vaikkei vian tarkkaa paikkaa tai suuntatietoa saataisikaan, on vian korjaaminen silti huomattavasti nopeampaa, sillä hälytys viasta saadaan heti ja etäohjattavien erottimien avulla vikaantunut verkon osa eristettyä terveestä verkosta nopeasti. Erityisen suuri tarve verkostoautomaatiolle on kaupunkien keskustoissa, joissa asiakkaan kokema haitta ja täten verkkoyhtiölle koituvat kustannuksen ovat suuria.

Jakeluverkkoyhtiöt ovat myös kiinnostuneita kuluttajien sähkönlaadun seurannasta. Sähkönlaatu pitää sisällään useita eri mitattavia suureita, jotka voivat indikoida verkossa olevista ongelmista tai pian syntyvistä vioista ja katkoista. Sähkönlaadun tarkkailu auttaa myös suunnittelemaan verkon laajennettavuutta. Mitoituksiin voidaan käyttää todellisia kulutuksia ja varmuuskertoimet voidaan jättää huomattavasti pienemmiksi. Sähkön laadun suureiden mittauksiin voidaan käyttää jännitteen, virran ja taajuuden osalta samoja sensoreita kuin vianpaikannukseen.

### 3.3 Muuntamoautomaatiolaitteisto

Jakeluverkkomuuntamoiden automatisointiin tarvittava laitteisto voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osa-alueeseen. Liitteessä 1 on periaatekuva muuntamoautomaation eri laitteista, niiden fyysisetä olinpaikasta ja kommunikoinnista:

- M2M-terminaali ja tiedonsiirto
- ala-asema
- kojeistoon ja muualle muuntamoon tulevat anturit.

Ala-asemalaitteisto on mahdollista asentaa joko erilliseen laitekaappiin tai uusia kojeistoja hankittaessa suoraan kojeistoon integroituna. Erillisen laitekaapin hyötynä on retrofit-mahdollisuus vanhoihin muuntamoihin asennettaessa, sekä riippumattomuus kojeistovalmistajasta. Lisäksi automatiikka on mahdollista saada halvemmallalla erilliskilpailutettuna kuin suoraan kojeistovalmistajalta ostettaessa. Erillisen laitekaapin haasteina ovat johdotus ja testaus retrofit-asennuksissa. Epävirallisesti moottorinohjaimet on usein mahdollista asentaa käytössä olevan muuntamoon ilman katkoa, mutta tällöin laitteiston testaaminen on mahdotonta, eikä mahdollisia automaatiolaitteistossa olevia vikoja tiedetä ennen kuin laitteistoa oikeasti tarvitaan. Käytännössä kaikki kojeistovalmistajat suosittelevatkin katkoa asentamisen yhteydessä. Jos automaatioon halutaan myös vianpaukannusta, on katko pakollinen, sillä jännite- ja virta-antureita ei voi asentaa jännitteelliseen kojeistoon.

Suoraan kojeistoon integroitu ala-aseman on johdotettu, asennettu ja testattu valmiiksi jo tehtaalta tullessa. Integroitu järjestelmä onkin verkkoyhtiön näkökulmasta helpompi, kuin useista erillisistä palikoista ja toimittajista koottu laitekaappi ratkaisu. Ongelmana on, että integroitu järjestelmä sitouttaa verkkoyhtiön tiettyyn kojeistovalmistajaan ja valmistajan järjestelmään, ellei haluta hankkia useita päällekkäisiä automaatiojärjestelmiä eri valmistajien kojeistoille. Lisäksi kojeistoon integroidut järjestelmät ovat pääsääntöisesti kalliimpia kuin laitekaappiratkaisu, sillä niiden kilpailuttaminen erikseen kojeistosta ei ole käytännössä mahdollista.

Tiivistettynä laitekaappi ratkaisu on usein kustannustehokkaampi ratkaisu, kuin kojeistoon integroitu järjestelmä, mutta verkkoyhtiö joutuu näkemään enemmän vaivaa valmistajien kilpailuttamisessa ja toimittajien valinnassa. Juuri tähän saumaan Eltel Networks on ottamassa kiinni siten, että se tarjoaa kokonaisvaltaisen ratkaisun muuntamoautomaatioon. Visiossa saman katon alta saisi kaikki muuntamo-, kj- ja pj-asennukset kuin myös muuntamoautomaatiolaitteiston ja sen asennuksen. Eltel Networks:lta tilattu muuntamo toimitettaisi ”avaimet käteen”-periaatteella. Tällöin verkkoyhtiö saa molempien ala-asema ratkaisujen hyvät puolet. Kustannustehokkaampi ja yksinkertaisempi ratkaisu jolloin kaikissa muuntamoissa on sama, kilpailutettu ja hyväksi todettu järjestelmä, mutta silti ilman verkkoyhtiön ylimääräistä työtä.

### 3.3.1 M2M-terminaali ja tiedonsiirto

M2M-terminaalin tehtävän on kääntää ala-asemilta tuleva konekielinen viesti verkkoyhtiön verkkonhallinta- ja ohjausjärjestelmien ymmärtämään muotoon. Fyysisesti terminaali sijoittuu verkkoyhtiön palvelintiloihin. Ala-asemat on mahdollista liittää myös suoraan verkkoyhtiön valvomoon, mutta usein paremmaksi vaihtoehdoksi nähdään jonkinlainen erillinen päätelaite johon kaikki ala-asemat ovat yhteydessä. Yksi terminaali pystyy tukemaan, valmistajasta riippuen, useasta sadasta muutamaan tuhatta ala-asemaa. Näin ollen terminaaleja tarvitaan vain yksi tai korkeintaan muutama. Terminaalien hintaluokka liikkuu noin kymmenen tuhannen euron molemmin puolin. Hinta on luonnollisesti valmistajasta, ominaisuuksista ja tuettavien laitteiden määrästä riippuva ja voi vaihdella suuressakin.

Liitännöiltään M2M-terminaali on erittäin monipuolinen. Lähtökohta laitteiden suunnittelussa on nimenomaan erittäin monipuolinen liitettävyyys. Tästä johtuen käytännössä kaikkien valmistajien terminaalit ovatkin kommunikointi kykyisiä minkä tahansa valvomo-ohjelmiston kanssa.

Sähköasemien tiedonsiirtoon käytetään usein kahdennettuja järjestelmiä ja eri siirto tapoja, kuten matkapuhelinverkko ja satelliitti. Jakeluverkkomuuntamoiden tiedonsiirtoa ei ole nähty niin kriittisenä, että kahdennettuja järjestelmiä olisi katsottu tarpeellisiksi, joskin useilla laitteistoilla sekin on mahdollista. Ala-aseman ja M2M-terminaalin välinen tiedonsiirto hoidetaankin usein pelkästään matkapuhelinverkossa. Jos kyseessä on kiinteistömuuntamo, on mahdollista käyttää myös kiinteää tiedonsiirtoa, kuten valokuitua, tai muuta internetiin yhteydessä olevaan verkkoon. Aina kun arkaluontoista dataa siirretään internetissä, on erityistä huomiota kiinnitettävä myös tietoturvaan. Useiden valmistajien ratkaisu on VPN-tunneli, joka muodostaa virtuaalisen ”tunnelin” julkisen internetin yli ja salaa siellä kulkevat tiedot.

### 3.3.2 Ala-asema

Ala-asemalla tarkoitetaan yleensä laitteistoa, joka sijaitsee muuntamossa, mutta määritelmä ei kuitenkaan sisällä antureita tai moottorinohjaimia. Ala-asema pitää sisällään useita eri laitteita jotka ovat joko erillisessä laitekaapissa tai integroituna kojeistoon. Ala-asetat ovat valmistajasta riippumatta hyvin modulaarisia ja haluttuja ominaisuuksia pysyttään tilan sallimissa rajoissa laajentamaan helposti asennettavilla lisäkorteilla. Näin verkkoyhtiöille voidaan tarjota juuri heidän tarvitsemiaan ominaisuuksia, jotka vaihtelevat aina pelkästä monitoroinnista aina edistyneisiin vianpaikannusominaisuuksiin ja etäohjattaviin erottimiin.

Minimi kokoonpano sisältää aina keskusyksikön eli niin sanotun master-CPU:n, joka toimii ala-aseman aivoina. Keskusyksikössä on usein rajallinen määrä sisään- ja ulostuloja, mutta nämäkin ovat helposti laajennettavissa lisäkorteilla. Keskusyksikön lisäksi tarvitaan ainakin modeemi ja virtalähde. Modeemin on useilla valmistajilla integroituna jo valmiiksi keskusyksikköön tai ainakin laajennettavissa lisäkortilla. Virransyöttö on käytännössä aina akkuvarmennettu, sillä sähkökatkon aikana myös muuntamo on jännitteetön. Akkuvarmennuksen kesto on usein tunnista kahteen riippuen esimerkiksi etäohjattavien erottimien ajattamisesta ja muista käyttötoimenpiteistä.



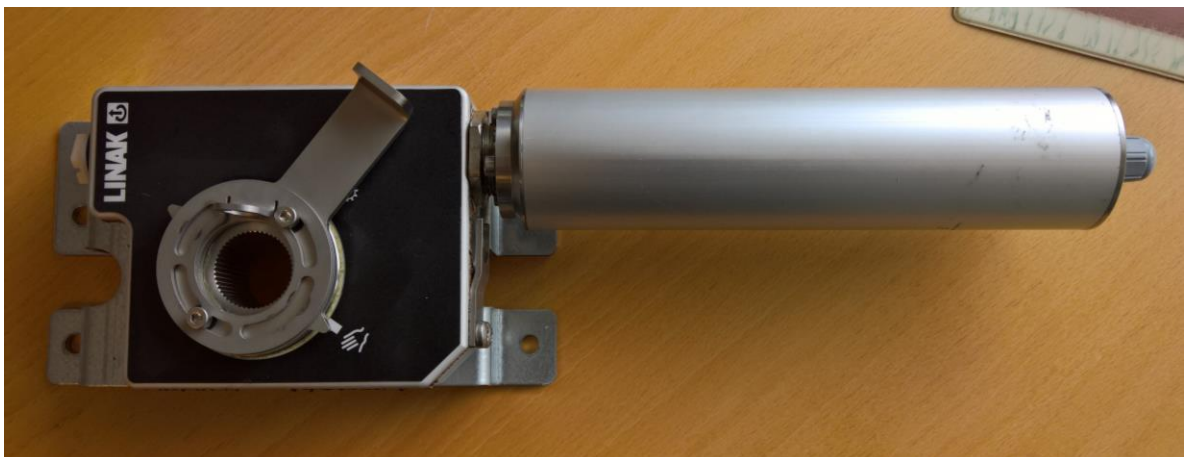
Kuva 7. Siemens Cmic-keskusyksikkö

### 3.3.3 Anturit

Ala-asema tarvitsee antureita kojeistoon ja muuntamoon saadakseen tietoa vikapai-koista, ohjauksista ja tilatiedoista. Yleisiä mittauksia ja ohjauksia ovat

- virran ja jännitteen mittausta
- tilatiedot erottimilta
- ohjaustieto moottorinohjaimelle etäohjattavaa erotinta varten
- muuntajan lämpötilamittaus PT-100-anturilla
- muuntamon kulunvalvonta
- palo ilmoitus

Pääasiassa kaikki anturit ja ohjaukset ovat yhteensopivia minkä tahansa kojeiston ja ala-aseman kanssa. Poikkeuksen tähän tekevät moottorinohjaimet, jotka on pääsääntöisesti hankittava kojeiston merkin ja mallin mukaan suoraan kyseisen kojeiston toimittajalta. Suurimpaan osaan 1990-luvun jälkeen hankittuihin kojeistoihin on mahdollista asentaa moottorinohjain ilman suurempia vaikeuksia. Ongelmia tuottavat vanhat ilmaeristeiset kojeistot, joihin moottorinohjaimia ei ole suunniteltu asennettavaksi laisinkaan. Suomalainen yhtiö LINAK on kuitenkin ratkaissut ongelman kehittämällä kojeiston ulkopuolelle, suoraan erottimen vääntökankeeseen asennettavan moottorinohjaimen. LINAKin ratkaisussa on samassa myös tilatieto erottimen tilasta ja hälytys akselin katkeamisesta. LINAKin moottorinohjainta onkin testattu onnistuneesti ainakin HSV:n verkossa.



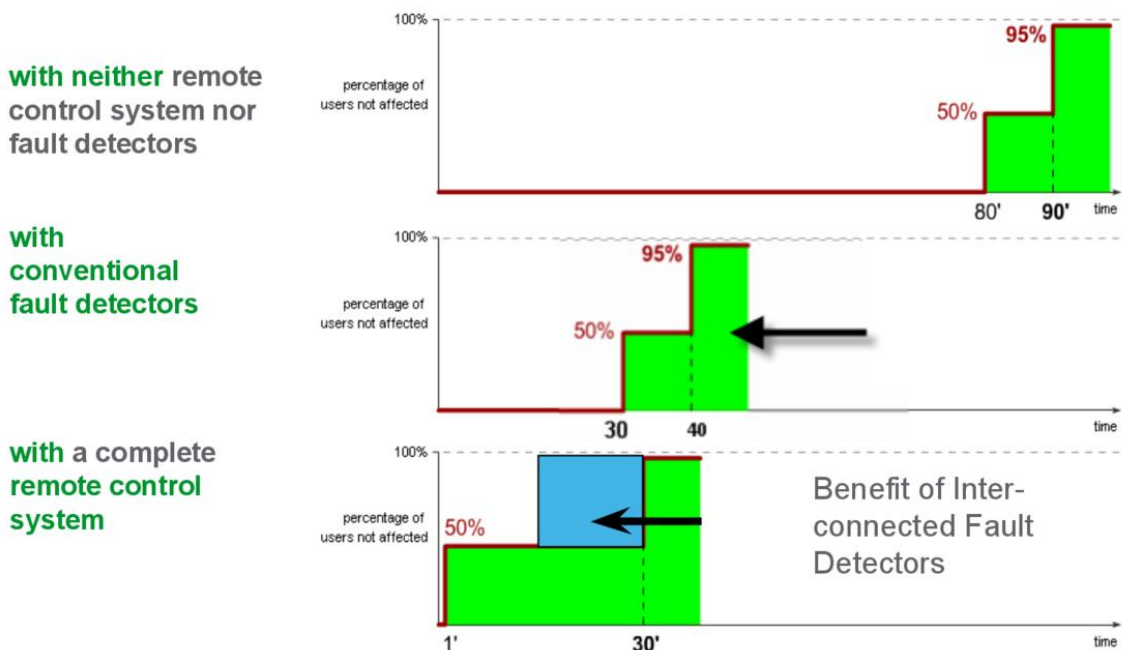
Kuva 8. LINAK:in valmistama kojeiston ulkopuolelle sijoitettava moottorinohjain



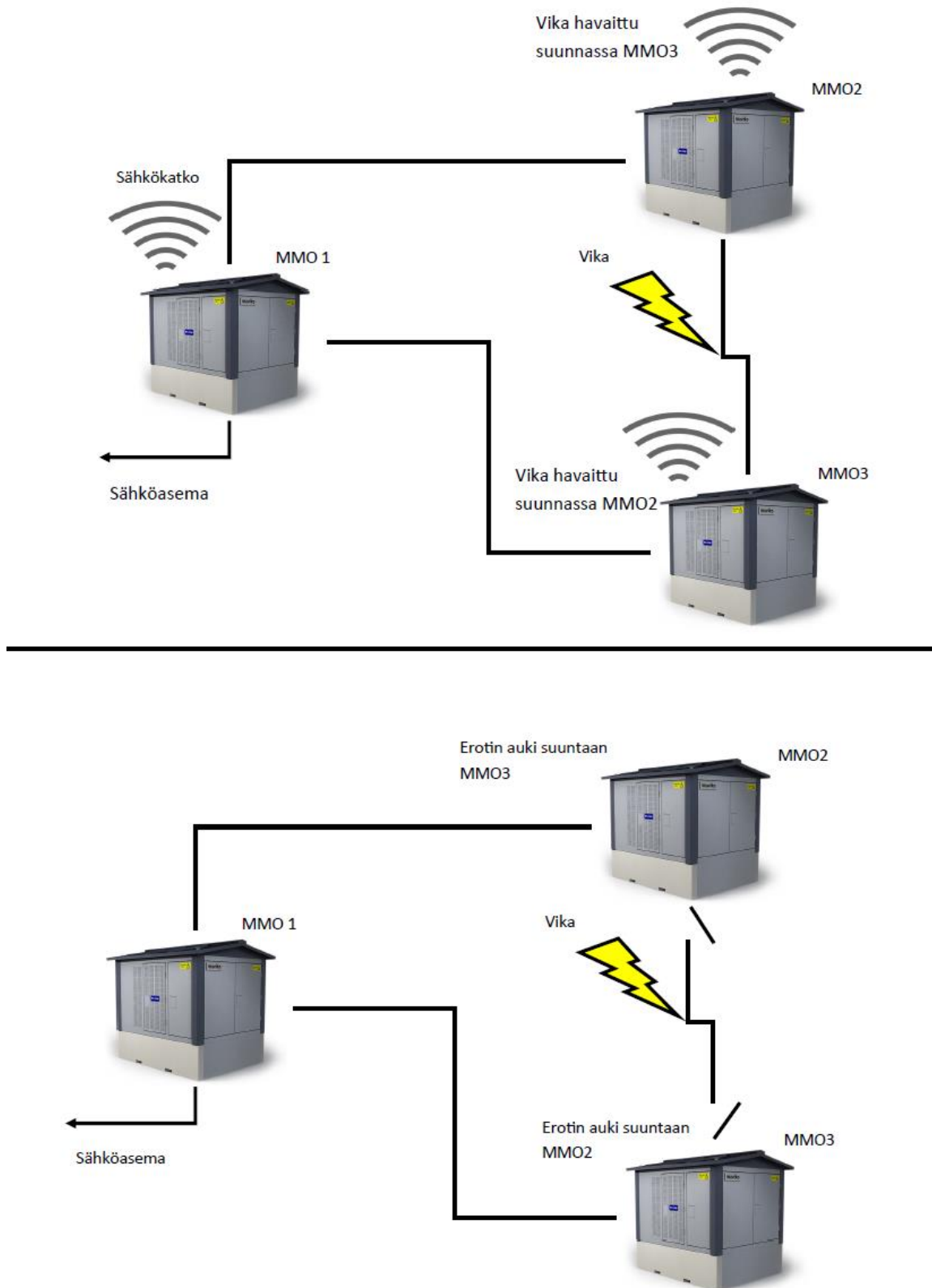
### 3.3.4 Automaattinen vianerotus

Nykypäivänä käyttöön otettava automatisointiaste vaatii vielä toistaiseksi ihmisen käyttökeskuksessa, joka ohjaa erottimia ala-asemilta saamansa datan perusteella. Tapa on huomattavasti nopeampi kuin asentajaryhmän käyttäminen erottimien avaukseen, mutta aiheuttaa silti useiden minuuttien katkon. Tulevaisuudessa verkko voi myös itse eristää itsestään vikaantuneen verkon osan ja näin olla niin sanotusti itsekorjautuva.

Itsekorjautuvassa verkossa muuntamo lähettää viestin viasta ja sen suunnasta sähköasemalle ja pyytää sähköaseman suojarieleltä katkoa vikaantuneeseen lähtöön. Suoja-rele katkaisee vikaantuneesta lähdöstä sähkön. Katkon aikana muuntamon ala-asema avaa erottimet siten, että vikaantunut verkko-osuus erotetaan terveestä verkosta. Erotuksen jälkeen ala-asema lähettää sähköaseman releelle viestin sähköjen palauttamiseksi. Sähkökatkojen aikaa saadaan lyhennettyä vain muutama sekuntiin, viestiyhteyksien ja toimilaitteiden nopeudesta riippuen. Itsekorjautuva verkko toimii niin säteittäisessä kuin rengasverkkossakin. Säteittäisessä verkossa sähköjä ei kuitenkaan saada palautettua vian ”takana” sijaitsevalle verkko-osuudelle. Seuraavalla sivulla oleva kuva 11 selventää vian erotuksen periaatetta rengasverkossa.



Kuva 9. Vertailu täysin automatisoimattoman, vika-antureilla varustetun ja täysin automatisoidun verkon välillä. Vaaka-akselilla aika minuutteina, pystyakselilla asiakkaat joille sähkö on saatu palautettua.



Kuva 10. Vian paikannuksen ja vikaantuneen verkonosuuden erotuksen periaate

#### 4 Eltel Networks Oy:n intressi muuntamoautomaatioon

Jakeluverkkomuuntamot ovat käytännössä ainut osuus sähköverkosta, johon verkon käyttäjällä ei vielä ole suoraa valvontaa ja ohjausta valvomosta. Automatisoimattomassa verkossa kaikki käyttötoimenpiteet joudutaan tekemään asentajaryhmien avulla, joka on paitsi hidasta, myös kallista. Varsinkin vikatapauksissa suurin intressi on palauttaa mahdollisimman monelle asiakkaalle sähköt mahdollisimman nopeasti ja juuri tähän muuntamoautomaatio auttaa suuresti, lyhentämällä vian paikallistamiseen ja vikaantuneen verkon erotukseen terveestä kuluvaan aikaan. Myös sähkön laadun seuranta nähdään monissa verkkoyhtiöissä erittäin tarpeellisena, sillä se helpottaa tulevien investointien suunnittelua. Tulevaisuudessa siintävä Smart-Grid-visio monimutkaistaa verkon rakennetta entisestään hajautetulla tuotannolla ja sähkön yksityisellä varastoinnilla. Kaikki nämä syyt puoltavat jakeluverkkomuuntamoautomaatiolaitteistoihin investoimista, useat verkkoyhtiöt ovatkin investoimassa nyt tai lähitulevaisuudessa siihen.

Eltel Networks Oy on yksi Suomen suurimmista sähköverkkourakoitsijoista ja rakentaa kuukausittain useita muuntamoita eri puolilla Suomea ja Skandinaviaa. Eltel Networks Oy:n tahtotilana on hankkia ala-asemalaitteisto parhaaksi todetulta laitetoimittajalta ja toimii pääurakoitsijana jakelumuuntamoiden automatisoinnista kiinnostuneelle sähköverkkoyhtiölle. Automaation lisääminen toimitukseen ja koko muuntamon toimittaminen yhtenä ”avaimet käteen”-pakettina toisi suuria synergiaetuja sekä Eltel Networks Oy:lle että jakeluverkkoyhtiöille.

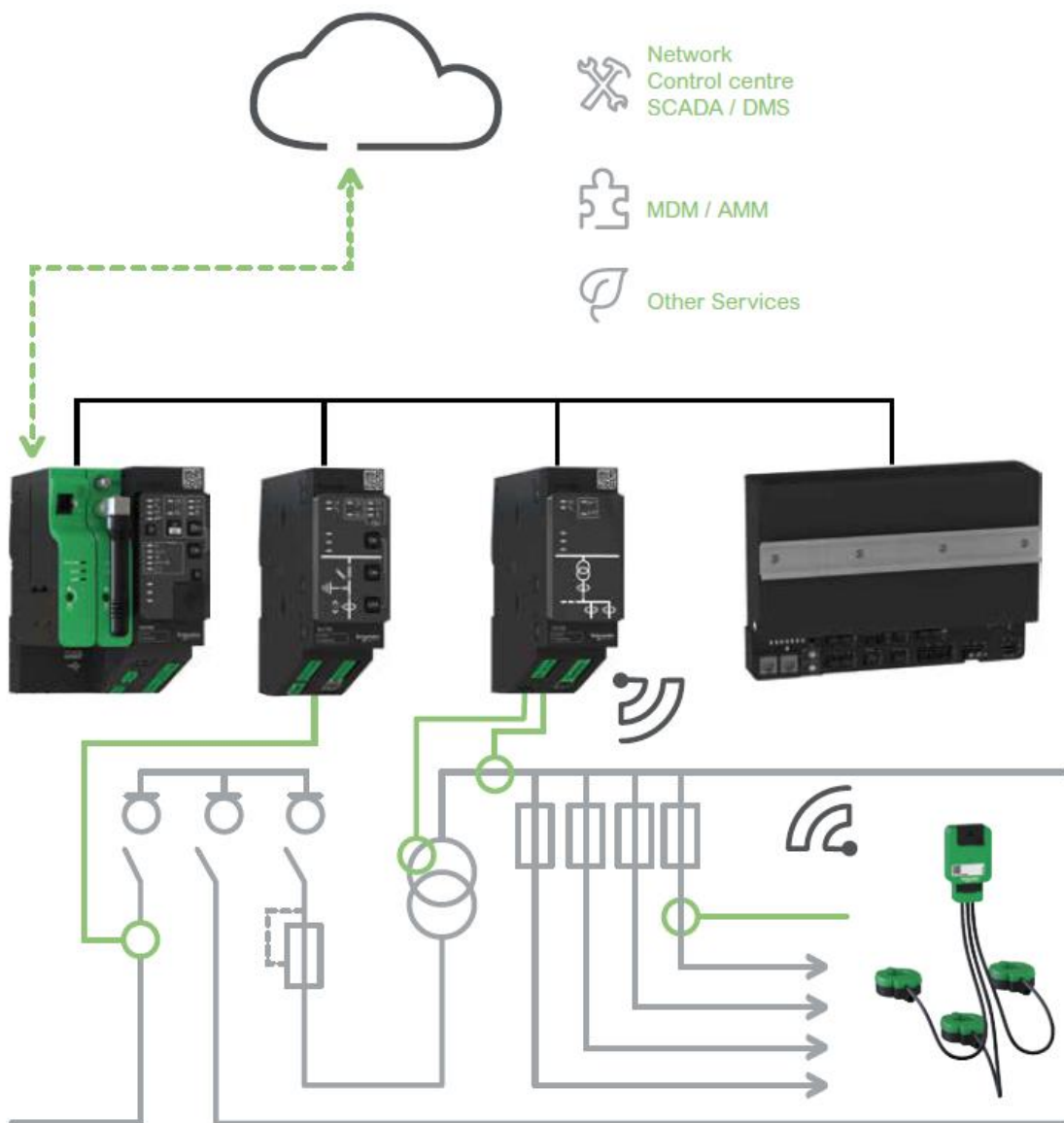
Verkkoyhtiöiden näkökulmasta avaimet käteen toimitus on ehdottomasti helpoin vaihtoehto ja samalla myös Eltel Networks Oy:n suurin etu muihin alan toimijoihin verrattuna. Saman katon alta saadaan hankittua kaikki muuntamon asennukset, kaikki pj- ja kj-asennukset ja samalla myös automaatio. Suurin osa alan muista toimijoista toimittaa joko vain automaatiota tai vain jakeluverkkoasennuksia.

Ala-asemalaitteistoja rakentaa ja toimittaa usea yritys ympäri maailman. Suomessa suurimmat toimijat ovat ABB, Siemens, NetControl ja Schneider Electric. Kaikkien toimittajien laitteistot ovat hyvin samankaltaisia toistensa kanssa ja tärkeimmät ominaisuudet löytyvät käytännössä kaikkien laitteistotoimittajien laitteista. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä ei juurikaan käsitellä laitteistojen vertailua, sillä eroja on hinnan lisäksi kovin vähän. Suurimmaksi kriteeriksi hinnan ohella nousee laitetoimittajan omat intressit. Esimerkiksi ABB toimittaa kokonaisia kaappeja valmiiksi kasattuna ja näin on tavallaan Eltel Networks Oy:n kilpailija. Verkkoyhtiö voi ostaa ABB:lta laitteistokaapin ja asennuttaa sen haluamallaan urakoitsijalla. Eltel Networks Oy:n intressinä on nimenomaan tarjota kaikki saman katon alta, avaimet käteen pakettina, jolloin myös laitteistosta voidaan laskuttaa verkkoyhtiötä, eikä vain pelkästä asennuksesta. Sama kaava toistuu myös NetControlin kohdalla. Siemens ja Schneider Electric eivät kumpikaan, ainakaan suoraa, tarjoa valmiita laitekaappeja, vaan Siemensin ratkaisuna on kasauttaa haluttu laitteisto erilliseen kaappiin ostajan niin halutessa. Schneider Electric ei ainakaan Suomessa tarjoa valmiskaappiratkaisuja laisinkaan. Eltelin toiveena on ostaa vain itse komponentit ja hoitaa kaapin kasaus aliurakoitsijalla. Siemens ja Schneider Electric ovat potentiaalisia toimittajia myös siitä syystä, että niiden kojeistot ovat erittäin yleisiä jolloin myös moottorinohjaimet voidaan ostaa samalla muun laitteiston kanssa. Eltelillä on myös pitkä historia molempien yhtiöiden kanssa toimimisesta muuntamon muiden komponenttien saralta.

Moottorinohjainten osalta Eltel Networksin intressinä on, että kojeistoihin joissa on varaus moottorinohjainten asennuttamiseen, käytettäisi kojeistotoimittajan moottorinohjaimia. Käytännössä tämä tarkoittaa 1990-luvulta alkaen toimitettuja kojeistoja. Sitä vanhempiin kojeistoihin ja niihin, joissa ei valmiutta moottorinohjainten asentamisen ole, käytettäisiin ylempänä esiteltyä LINAKin kojeiston ulkopuolelle asennettavaa moottorinohjainta. Suunnitelmissa oli myös kehittää oma versio LINAKin moottorinohjaimesta, sillä LINAKin versio on hyvin kallis verrattuna sen suhteelliseen yksinkertaiseen tehtävään.

## 5 Schneider Electric T-300

Schneider Electricin T-300 on jatkoa menestyneelle T-200-sarjan muuntamo ala-asemalaitteistolle. T-300-sarja on tarkoitus julkaista syksyllä 2016 ja se sisältää uuden Easergy HU250-keskussyksikön, PS25- ja PS50-varavirtalähteet, mitkä samalla toimivat taustalevyinä, mihin kaikki muut komponentit kiinnittyvät, SC150-kytkinohjaimet, LV150-muuntamo ja pj monitorintyöyksikön ja ehkä kiinnostavimpana uutuutena LV110-langaton pj mittaus joka saa käyttövirtansa suoraan mitattavasta pj-lähdöstä [19;20].



Kuva 11. T-300 tuoteperheen tuotteet ja käyttötarkoitukset esiteltynä [19]

## 5.1 Easergy HU250

Laitteiston ytimen muodostaa Schneider Electricin Easergy HU250-keskusyksikkö jossa on integroitu modeemi. Se kykenee kommunikoimaan valvomon kanssa useilla eri kommunikointiprotokollilla, tärkeimpinä Etelän näkökulmasta 3G ja 4G sekä Ethernet. Lisäksi HU250 tukee peer-to-peer-kommikointia itsekorjautuviaverkkoja varten. Peer-to-Peer-kommunikoinnissa ei tarvita keskitettyä keskusyksikkö tai valvomoa, vaan ala-asemat pystyvät keskustelemaan keskenään. HU250:ssä on sisään rakennettu verkkopalvelin, jonka kautta laitteiston konfigurointi tehdään joko etänä tai paikallisesti tietokoneella, tabletilla tai älypuhelimella. Lisäksi HU250:stä löytyy sisäänrakennettu ohjelmoitava loogiikka, jolla voidaan tehdä erilaisia lukituksia tai muita tarpeellisia automaattisia toimenpiteitä. Liitäntöjen puolesta HU250:stä löytyy kaksi digitaalista ulostuloa, kolme PT-100-lämpötilamittaus sisääntuloa, kahdeksan digitaalista sisääntuloa joista kaksi on pyhitetty erilliselle paikallis-/kaukokäyttö valintakytkimelle. Lisäksi HU250:ssä on myös sisäänrakennettu WiFi-tukiasema, jonka avulla konfigurointi paikan päällä voidaan hoitaa langattomasti Ethernet portin ohella. HU250:stä löytyy luonnollisesti myös edistyneet kyberturvallisuus työkalut, joiden avulla luvaton käyttö ja tunkeutuminen voidaan estää tehokkaasti. Kyberturvallisuus on erittäin tärkeä asia varsinkin yhteiskunnalle niinkin tärkeässä asiassa kuin sähkönjakelu. Varsinainen paikalliskäyttöliittymä HU250:ssä on hyvin rajoittunut ja se käsittää vain kolme eri nappia ja kourallisen indikaatiovaloja. Käytännössä aina HU250:n kanssa toimiessa on mukana oltava kannettava, tabletti tai älypuhelin, sillä itse laitteesta minkäänlaista konfigurointia ei voida tehdä [19;20].



Kuva 12. Easergy HU250-keskusyksikkö [19]

## 5.2 Easergy SC150-kytkinohjain

SC150-kytkinohjain on nimensä mukaisesti kojeistoa ja sen erottimia ohjaava ja monitoroiva moduuli. Siihen liitetään kj-kojeiston virta ja jännite mittaukset, moottorinohjaimet, erottimien asentoseuranta ja tehonmittaus. SC150:een on mahdollista liittää maksimissaan neljä rengasvirtamittausta siten, että jokaiselle vaiheelle on oma mittauksensa ja yksi mittaus kaikista vaiheista. Se on myös yhteensopiva monien eri jännitemittaustapojen kanssa, hyödyllisimpien ollessa kapasitiivinen jännitteen jakoon perustuva mittaus kj-kaapelin päätteestä tai normaali jännitemuuntaja mittaus. Mittausten perusteella SC150 ilmoittaa valvomoon viasta ja mahdollisuuksien mukaan ilmoittaa vian suunnan. Kaikista vioista, kuten korkean resistanssin maasulusta ei välttämättä saada kuitenkaan suunta-tietoa. Esimerkkinä tällaisesta viasta toimii pas-johtimeen nojaava puu. SC150 tukee myös itsekorjautuvan verkon sovelluksia, jos verkkoyhtiöllä on valmius sen käyttöönottoon.

SC150 seuraa myös hetkellisiä vikoja, jotka eivät välttämättä aiheuta pysyvää katkoa. Tämä helpottaa verkon tulevien kunnostustöiden suunnittelua. SC150:ssä on myös sisäänrakennettu sähkön laadun seuranta. Vianpaikannuksen vaatimia antureita käyttäen saadaan monipuolista tietoa keskijännitteen sähkönlaadusta, kuten jännitteen, virran tai taajuuden vaihteluista [19;20].

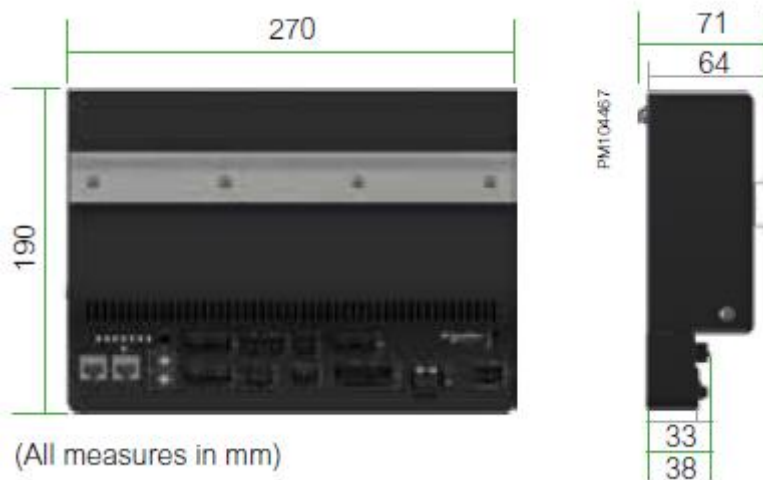


Kuva 13. Easergy SC150-kytkinohjain [19]

### 5.3 Easergy PS50- ja PS25-varavirtalähteet

PS50-varavirtalähde tarjoaa sähkökatkon aikaista varavirtaa T-300-järjestelmälle ja siihen liitetyille moottorinohjaimille, sekä mahdollisille kolmannen osapuolen sovelluksille, kuten vikailmaisimille. PS50:een on valittavissa maksimissaan 38Ah:n varauksellinen akku. PS25 on tarkoitettu lähinnä sovelluksiin, joissa muuntamoon on asennettu pelkkä valvonta. Sen tehonanto ja akun kapasiteetti eivät ole riittäviä moottorinohjainten ajamiseen. Molemmat varavirtalähteet on varustettu edistyneillä latauslaitteistoilla, jotka estävät akun liiallisen purkautumisen. Laturit myös monitoroivat akun tilaa ja indikoivat akun vaihtotarpeesta keskusyksikön kautta suoraan valvomoon. Akkujen elinikä on valmistajan ohjeistuksen mukaan yli kymmenen vuotta. Katkon aikana PS50:en akku on mitoitettu kestäämään noin kolme tuntia katkosta, riippuen luonnollisesti vaadittujen käyttötoimenpiteiden määrästä.

PS50 toimii varavirtalähteinä T-300-sarjan muuntamoautomaatiolaitteistolle ja samalla myös taustalevynä johon eri moduulit kuten HU250 ja SC150 kiinnitetään. PS50-varavirtalähteeseen on kiinnitetty DIN-kisko, johon eri moduulien kiinnittäminen on helppoa ja nopeaa. Moduulien määrää ei rajallisesta tilasta johtuen voida kasvattaa loputtomiin, mutta PS50 on mitoitettu siten, että normaaliin muuntamoon asennettavat moduulit mahduttavat siihen [19;20].



Kuva 14. PS50-varavirtalähde ja sen mitat [19]



#### 5.4 Easergy LV150 ja LV110

Sekä LV150 että LV110 julkaistaan varsinaisesti vasta syksyllä 2016. Kirjoitushetkellä kyseistä laitteista on hyvin vähän tietoa saatavilla, Schneider Electricin esittelyssä käytiin kuitenkin pikaisesti läpi kyseisiä laitteita.

Easergy LV150 on muuntaja- ja pienjännitemonitorointimoduuli, johon LV110 pj-mittaus liittyy langattoman verkon välityksellä. LV110 saa käyttövoimansa suoraan mitattavista pj-lähdöistä, jolloin se ei tarvitse omaa virtalähdettä tai johdotuksia. Jännitekatkon aikana LV110 ei luonnollisesti toimi, mutta pj-mittaukset ovat katkon aikana täysin toissijaisia eikä niitä silloin tarvitakaan. Yhdessä LV150 ja LV110 tarjoavat hyvin pitkälle viedyn sähkönlaadun mittauksia. Kuten aiemmin todettu, tämä helpottaa suuresti verkkoyhtiön työtä tulevia verkon investointeja suunniteltaessa. Lisäksi LV150 ja LV110 havaitsevat palaneen pj-sulakkeen. LV110:n asentamiseksi ei tarvita katkoa muuntamoon tai pj-lähtöön. LV110:n voikin kuvitella olevan hyvin kiinnostava laite verkkoyhtiön näkökulmasta [20].



Kuva 15. LV150 oikealla ja LV110 vasemmalla [16]

## 6 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä esiteltiin muuntamoiden automatisointiin käytettäviä laitteita, niiden yhteensopivuuksia ja vaatimuksia muilta muuntamon laitteilta Eltel Networks Oy:n tarpeita varten. Tämän opinnäytetyön pääasiallinen käyttötarkoitus oli luoda ohjenuora Eltel Networks Oy:n sisäiseen käyttöön. Visiona on, että Eltel Networks Oy:n toimipisteissä, joissa muuntamoautomaatiota ei ole ennen asennettu, voitaisiin tämän opinnäytetyön avulla saada kuva muuntamon automatisointiin vaadittavista laitteistoista, niiden yhteyksistä toisiinsa ja eri laitteiden tehtävistä.

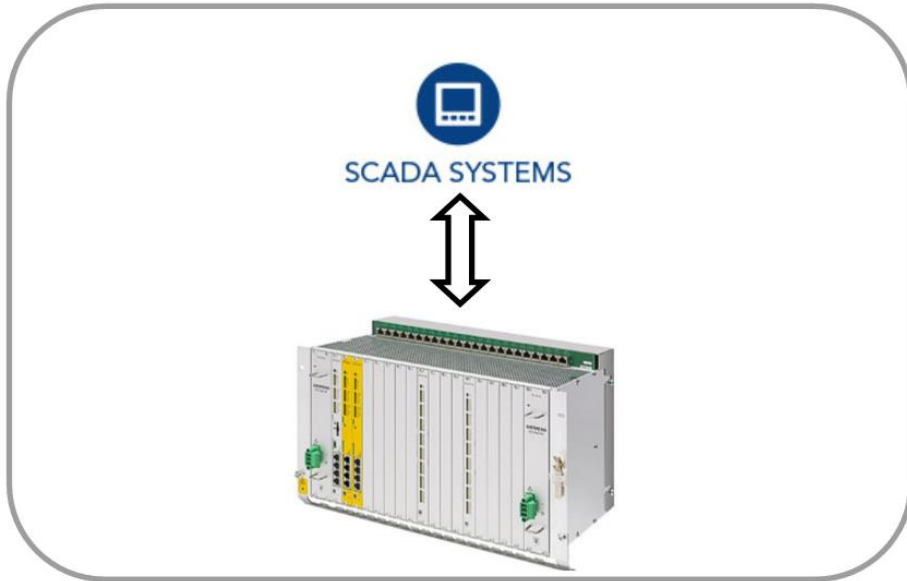
Sähkömarkkinalain kiristyneet määräykset pakottavat verkkoyhtiöt parantamaan sähkön toimitusvarmuutta. Muuntamoautomaatio on kriittinen osa, maakaapeloinnin ohella, sähkön toimitusvarmuuden parantamista. Verkkoyhtiöt ympäri Suomea ovatkin investoineet tai investoivat lähitulevaisuudessa voimakkaasti kumpaankin edellä mainituista. Eltel Networks Oy:n on tunnettu sähköverkkojen rakentaja ja sen intressinä on laajentaa osaamistaan myös muuntamoautomaation siten, että verkkoyhtiöille pystytään tarjoamaan avaimet käteen-paketti koko muuntamosta automaatiolaitteistoineen.

## Lähteet

1. Pörssitiedote, Tiedote <https://www.fortum.fi/fi/media/Pages/tapani-myrskyt-katkoiivat-sahkot-laajoilta-alueilta-ja-aiheuttivat-fortumille-noin-45-miljoonan-euron-kustannukset.aspx> Luettu 3.3.2016
2. Suomen sähkövoimajärjestelmä, Verkko-dokumentti <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx> Luettu 3.3.2016
3. Sähkönsiirto piirros, Verkko-dokumentti [https://www.stuk.fi/documents/12547/103407/Sahkonsiirto\\_piirros.pdf/1216a642-2cba-4543-9aa4-838871405c87](https://www.stuk.fi/documents/12547/103407/Sahkonsiirto_piirros.pdf/1216a642-2cba-4543-9aa4-838871405c87) Luettu 3.3.2016
4. Sähkön käyttö ja verkostohäviöt, Taulukko <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkonkulutus/sahkon-kaytto-ja-verkostohaviot> Luettu 15.3.2016
5. SF6-kaasu sähkökojeistoissa, Verkkodokumentti [http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/03\\_sf6-kaasu\\_sahkokojeistoissa.pdf](http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/03_sf6-kaasu_sahkokojeistoissa.pdf) Luettu 15.3.2016
6. Häviöiden minimointi lisää sähkön siirron energiatehokkuuta, Verkkodokumentti [http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/toimintaa\\_ja\\_tuloksia/esimerkillista\\_toimintaa/energiapalvelut-fingrid\\_oyj/](http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/toimintaa_ja_tuloksia/esimerkillista_toimintaa/energiapalvelut-fingrid_oyj/) Luettu 20.3.2016
7. Kustannustiedon käsittely sähköverkon suunnittelussa, Insinööriyö Roope Apponen <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57780/RoopeApponen.pdf?sequence=1> Luettu 23.3.2016
8. Sähköverkkoyhtiöt, Verkkodokumentti <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/sahkoverkkoyhtiot> Luettu 28.3.2016
9. Sähköverkkoyhtiön 10kV keskijänniteverkon kehittämissuunnitelma, Diplomityö Erkki Tiippana [https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Tiippana\\_Erkki\\_julk.pdf](https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Tiippana_Erkki_julk.pdf) Luettu 29.3.2016
10. Suurhäiriö sähkön kantaverkossa saisi Suomen kaaokseen alle kolmessa tunnissa, Artikkelit <http://www.hs.fi/sunnuntai/a1411184210683> Luettu 13.4.2016
11. Yhteisillä linjoilla, Verkkodokumentti [http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/Ajankoh-taista%20liitteet/Esitteet/fingrid\\_maanomistajaliite\\_2013\\_low.pdf](http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/Ajankoh-taista%20liitteet/Esitteet/fingrid_maanomistajaliite_2013_low.pdf) Luettu 13.5.2016
12. Käyttöhäiriöt, Verkkosivu <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/kayttohairiot/Sivut/default.aspx> Luettu 14.4.2016

13. Nosturin aiheuttama kaksivaiheinen pysyvä vika Naanatalinsalmi – Koroinen 110kV johdolla, Verkkodokumentti <http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimajarjestelmaliitteet/K%C3%A4ytt%C3%B6h%C3%A4iri%C3%B6t/20151202%20Naantalinsalmi-Koroinen%20EV.pdf> Luettu 19.4.2016
14. Verkon rakenne, Verkkosivu <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/verkonrakenne> Luettu 19.4.2016
15. Sähköverkosta maakaapeloituna alle kolmannes, Artikkelit <http://www.ts.fi/uutiset/kotimaa/845636/Sahkoverkosta+maakaapeloitu+alle+kolmannes> Luettu 20.4.2016
16. Ilmajohdotratkaisut 6-45kV, Verkkodokumentti [http://www.ensto.com/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/ensto/embeds/enstowwwstructure/13245\\_ilmajohtoratkaisut\\_6\\_45\\_kv.pdf](http://www.ensto.com/instancedata/prime_product_julkaisu/ensto/embeds/enstowwwstructure/13245_ilmajohtoratkaisut_6_45_kv.pdf) Luettu 24.4.2016
17. Kiinteistömuuntamo työohje, Opinnäytetyö Heikki Rinkinen <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13872/HeikkiRinkinenT066SN.pdf> Luettu 26.4.2016
18. Mittaavan kunnossapidon hyödyntäminen keskijänniteverkon häiriöiden vähentämisessä ja elinkaarihallinnassa, Diplomityö Jukka Vepsäläinen [https://portal.cleen.fi/\\_layouts/IWXmlPublications.aspx?Source=SGEM&FileId=2300](https://portal.cleen.fi/_layouts/IWXmlPublications.aspx?Source=SGEM&FileId=2300) Luettu 29.4.2016
19. Sähkömarkkinalaki, <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>
20. T-300 tuoteperheen esite, ei vielä julkisessa jakelussa. Schneider Electric.
21. Orjuela German, Sales Account Manager, Energy Business, Schneider Electric Espoo. Keskustelu 7.4.2016.

Verkkoyhtiön  
valvomossa



Kommunikointi 3/4G  
yhteyden avulla



Sijainti erillisessä laitekaapis-  
sa tai integroituna kojeis-  
toon.

