

Mika Nieminen

# Jakeluverkon mittaustiedon hyödyntäminen Netcon 100 -järjestelmällä verkonhaltijan näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinööriytyö

26.9.2013

## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö tehtiin Netcontrol Oy:lle, joka tarjosi mahdollisuuden työn tekemiseen. Haluan kiittää työn ohjaajana toiminutta tuotekehitysjohtajaa Marcus Biströmiä Netcontrol Oy:stä sekä työni valvojaa lehtori Sampsa Kuparia Metropolia Ammattikorkeakoulusta kannustavasta ohjauksesta.

Kiitos myös ystäville ja perheelle sekä erityisesti vaimolleni Jatalle henkisestä tuesta ja kannustuksesta opiskeluideni aikana.

Lohjalla 26.9.2013

Mika Nieminen

Tekijä Otsikko	Mika Nieminen Jakeluverkon mittauksien hyödyntäminen Netcon 100 - järjestelmällä verkonhaltijan näkökulmasta
Sivumäärä Aika	36 sivua + liite 26.9.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkövoimatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkösuunnittelu
Ohjaajat	lehtori, dipl.ins. Sampsa Kupari dipl.ins. Marcus Biström, tuotekehitysjohtaja, Netcontrol Oy
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Netcontrol Oy:lle Netcon 100 -järjestelmän tuotekehityksen ja markkinoinnin avuksi. Työssä päätavoitteena oli selvittää jakeluverkkoyhtiöiden kiinnostuksen kohteet muuntamotason mittauksissa sekä nykyisin käytössä olevat mittaustekniikat. Nykyisin muuntamotasolla sekä mittauksia että kaukokäyttöä on varsin vähän.</p> <p>Työn teoriaosuus tehtiin kirjallisuustutkimuksena. Teoriaosuudessa on käyty läpi sähkömarkkinalain asetukset sekä sähkön laadulliset määreet laatustandardin SFS-EN 50160 mukaisesti. Teoriaosuudessa havainnollistetaan sähkövoimajärjestelmän toiminnallisuutta. Työssä on havainnollistettu järjestelmän erilaisia vikatilanteita sekä niiden vaikutuksia sähkön siirtoon ja sähkön laatuun. Työn loppuosassa on käyty läpi kahden eri pilottiasennuksen toimivuutta ja näistä saatuja käyttökokemuksia.</p> <p>Työ osoitti, että tulevaisuudessa jakeluverkkoyhtiöt tarvitsevat nykyistä enemmän mittaustekniikkaa sekä kaukokäyttöä myös muuntamotasolla. Netcon 100 -järjestelmän avulla muuntamotasoa pystytään seuraamaan tarkemmin kuormituksen ja sähkön laadun osalta. Järjestelmällä voidaan parantaa myös kaukokäyttöä, jolloin sähköverkon kunnossapito helpottuu, ja käyttövarmuus paranee.</p>	
Avainsanat	sähkön laatu, älykäs verkko, muuntamoautomaatio, muuntajat, sähkönjakelu, sähköverkot

Author Title Number of Pages Date	Mika Nieminen Measurement Data Utilization in a Distribution Network with Netcon 100 -System - Operator's Point of View 36 pages + 1 appendix 26 September 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, M.Sc, Senior Lecturer Marcus Biström, M.Sc, Director, Product Management & Development, Netcontrol Oy
<p>This bachelor's thesis was carried out for Netcontrol Ltd as a part of a research and development project for Netcon 100 -system. The aim of this thesis was to examine the distribution companies' interests for transformer substation level measurements, as well as the currently used measurement techniques. Nowadays there is not much automation for a transformer substation level.</p> <p>The theoretical part is a literature review. The theoretical part goes through the Electricity Market Act regulations, as well as power quality attributes in accordance with the quality standard SFS-EN 50160. The theoretical part illustrates the power system's functionality. The thesis demonstrates the electric power system for a variety of fault conditions, as well as their effects on power transmission and power quality. The final part the thesis explores two different pilot installations, operation and obtained use experience.</p> <p>Results indicate that the future distribution companies need more measurement technology as well as remote operation of the transformer substation level. With Netcon 100 -system it is possible to follow more closely the load and power quality at the transformer substation level. With the system, also remote operation can be improved, allowing easier maintenance of the electricity network and improving reliability.</p>	
Keywords	power quality, smart grid, transformer substation automation, transformers, power distribution, grids

## Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Netcontrol Oy	2
3	Sähkömarkkinalaki ja sähkön laatu	2
3.1	Sähkömarkkinalain asetukset	3
3.2	Sähkön laadun seuranta	3
3.3	Sähkön laadun mittaaminen	5
3.4	Sähkön laadun mittauslaitteet	6
4	Sähkön laadun osatekijät	7
4.1	Jännitteen vaihtelut	8
4.2	Harmoniset ja epäharmoniset jännitteen yliaallot	9
4.3	Nopeat jännitteen muutokset eli välkyntä	10
4.4	Jännitteen epäsymmetria ja transienttiylijännitteet	11
5	Sähkövoimajärjestelmät	12
5.1	Siirtoverkon luotettavuus	12
5.2	Sähkön jakelun keskeytykset	13
5.3	Keskeytyksestä aiheutuva haitta	14
5.4	Luotettavuusindeksit	15
6	Voimansiirtojärjestelmien vikatapauksia	18
6.1	Asema-automaatio, kaukokäyttö ja käytön valvonta	19
6.2	Sähköasema	19
6.3	Keskijänniteasiakkaan liittymiskohta ja jakelumuuntajat	20
6.4	Pienjänniteasiakas	21
7	Netcon 100 -järjestelmä	21
8	Case Helsingin Sähköverkko Oy	24

8.1	Sähköverkon rakenne	24
8.2	HSV:n verkostoautomaatio ja vianpaikannus	25
8.3	Netcon 100:sta saadut hyödyt	28
9	Case Vantaan Sähköverkot Oy	29
10	Mittaustiedon hyödyntäminen jakeluverkon valvonnassa ja suunnittelussa	30
11	Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet sähkön siirrossa ja jakelussa	31
12	Yhteenveto	33
	Lähteet	35
Liite	PowerQ:n esimerkkiraportti	

## Lyhenteet

AMR	Automatic Meter Reading; automaattinen mittarinluenta
AJK	aikajälleenkytkentä
DMS	Distribution Management System; sähköjakeluverkon hallintajärjestelmä
GPRS	General Package Radio Service; pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
KAH	keskeytyksestä aiheutunut haitta
KJ	keskijännite, jännite välillä 1 000 V - 36 000 V
Pilvipalvelu	palvelu fyysisesti muualla
PJ	pienjännite, alle 1 000 V:n jännite
PQ	Power Quality; sähkön laatu
RTU	Remote Terminal Unit; yleisnimitys käytönvalvontajärjestelmien alaseemille
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition; käytönvalvontajärjestelmä

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteet ovat jakeluverkoissa olevan mittaustekniikan kartoittaminen sekä mittaustiedon hyödyntäminen verkonhaltijan näkökulmasta. Mittausdatan avulla pyritään selvittämään, mitä kerätyn tiedon avulla voidaan päätellä jakeluverkon kunnosta sekä sähkön laadusta. Työssä tutkitaan, mitä erilaisia ilmiöitä jakeluverkosta tai sähkön laadusta voidaan havaita, ja voidaanko mittaustiedon avulla ennaltaehkäistä mahdollisia tulevia verkkohäiriöitä. Työ tehtiin tapaustutkimuksena (*case*), Netcon 100 -järjestelmän olemassa olevissa asennuskohteissa. Laitteen antamia hyötyjä verrattiin muihin käytössä oleviin mittausteknisiin järjestelmiin.

Sähkövoimajärjestelmää voidaan pitää yhteiskuntamme tärkeimpänä infrastruktuurina. Nykypäivänä oikeastaan mikään ei toimi ilman sähköä, joten jo perustarpeiden tyydyttäminen ilman toimivaa jakeluverkkoyhteistämää on mahdotonta. Voidaankin todeta, että sähkö on yhteiskunnan toimintojen keskeinen hyödyke ja mahdollistaja. Tulevaisuudessa jakeluverkoilta vaaditaan yhä enemmän tehoa, joustavuutta, luotettavuutta ja älykkyyttä. Myös kasvava uusiutuvan energian osuus sähköntuotannosta edellyttää sähkövoimajärjestelmän uudistusta.

Perinteisesti sähkö on virrannut pääasiassa yhteen suuntaan suurista voimalaitoksilta loppukäyttäjille. Näin verkon ainoa työ on ollut energian siirtäminen. Hajautetun energiantuotannon lisääntymisen myötä sähkön tuotanto ei ole niin tasaista kuin ennen, joten verkon on pystyttävä reagoimaan muutoksiin nykyistä nopeammin ja tarkemmin. Myös lisääntynyt loppukäyttäjien tehon tarve ja lisääntynyt loistehon kulutus antavat oman haasteensa jakeluverkkoyhtiöille.

Luotettavuus on jakeluverkkoyhtiöiden käyntikortti loppukuluttajille, joten sähkön laadun seuraamiseen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Myös mahdollisten vikatilanteiden nopea havainnointi ja paikallistaminen tulevat vähentämään verkon käyttö- ja huoltotoimenpiteitä. Tulevaisuuden älykkäämpää verkkoa voidaan tarkkailla ja hallita entistä paremmin, joten sen vikasuojaus, analysointiominaisuudet, joustavuus ja ennakoivasti toimiva infrastruktuuri toimivat nykyistä monipuolisemmin.



## **2 Netcontrol Oy**

Netcontrol Oy on maantieteellisesti hajautettujen prosessien valvonta- ja ohjausjärjestelmiin erikoistunut yritys. Yhtiön tuotteisiin kuuluvat mm. käyttökeskukset, ala- sekä erotinasemat. Näiden keskusten ja asemien välille on lisäksi tarjolla useita erityyppisiä liikennöintiratkaisuja. Nämä ratkaisut tukevat runsaasti liikennöintiä automaatio- ja prosessitekniikan aloilta. Netcontrol tarjoaa ratkaisuja tietoliikenteeseen, verkostoautomaatioon, sähköasema-automaatioon ja valvomoihin.

Tämä insinööriyö koskettaa muuntamojärjestelmien etävalvontaan ja -ohjaukseen tarkoitettua Netcon 100 -hallintajärjestelmää. Netcon 100 on kehitetty keskijänniteverkon valvontaan ja ohjaukseen sekä pienjänniteverkon valvontaan. Vakioprotokollien ja -rajapintojen ansiosta liitettävyyden muihin järjestelmiin on suoraviivaista.

Netcontrol Oy:n asiakkaita ovat sähkönsiirto- ja jakeluyhtiöt, voimalaitokset, kaukolämpö- ja kaukokylmäyhtiöt, raideliikenteen rakennuttajat, öljy- ja kaasuyhtiöt sekä energiaintensiivinen teollisuus. Netcontrol Oy on suomalainen yritys, joka on perustettu 1991. Pääkonttori sijaitsee Helsingissä Pitäjänmäellä ja kolme muuta konttoria Ruotsissa (Västerås), Norjassa (Oslo) ja Isossa Britanniassa (Manchester). Kaikki toimistot tarjoavat myynti-, projekti- ja tukipalveluita. Tuotekehitys on keskitetty Suomeen ja Ruotsiin.

Omien toimistojen lisäksi Netcontrol Oy:llä on yhteistyökumppaneita ja jälleenmyyjiä eri puolilla maailmaa. He ovat sijoittuneet Puolaan, Balkanille, Lähi-itään, Etelä-Afrikkaan ja Malesiaan. Työntekijöitä Netcontrol Oy:ssä on nykyisin noin 90. Netcontrol on 100 % henkilökunnan omistama. Netcontrol Oy:n laatujärjestelmä on ISO9001:2008 sertifioitu. [1.]

## **3 Sähkömarkkinalaki ja sähkön laatu**

Suomessa Energiainfo valvoo ja edistää sähkö- ja maakaasumarkkinoiden toimintaa sekä tukee ilmastotavoitteiden saavuttamista. Energiainfo (EMV) on työ- ja elinkeinoministeriön alainen asiantuntijavirasto, joka toteuttaa valvontatehtävänsä mm. Kilpailuviraston kanssa. Toimintaa rahoitetaan pääosin sähkö- ja maakaasunverkonhaltijoilta perittävillä lupa- ja valvontamaksuilla. [2.]

### 3.1 Sähkömarkkinalain asetukset

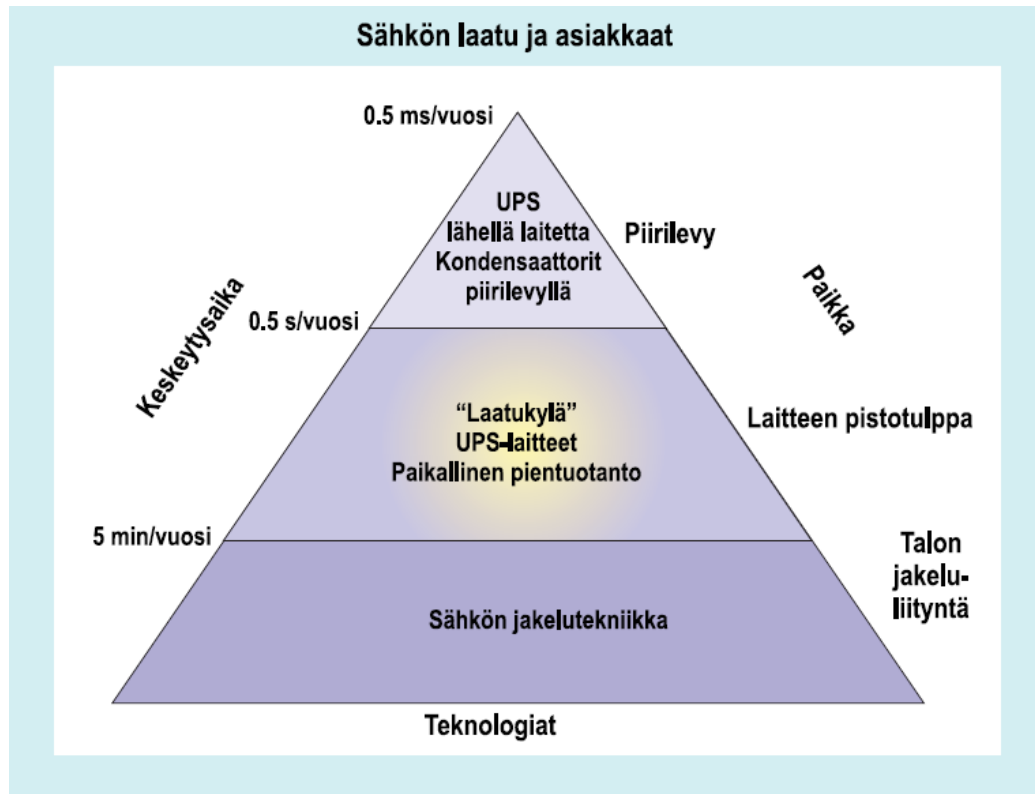
Sähkökaupan vapauduttua sähkömarkkinalain (386/1995) tarkoituksena on varmistaa edellytykset tehokkaasti toimiville sähkömarkkinoille siten, että kohtuuhintaisen ja riittävän hyvälaatuisen sähkön saanti varmistetaan. Lain tavoitteiden toteutumiseksi ensisijainen keino on terve ja taloudellinen kilpailu sähkön myynnissä, tuotannossa sekä tasapuolisten palveluperiaatteiden vaaliminen sähköverkkojen toiminnassa. Sähkömarkkinoilla toimivien yritysten tehtäviin kuuluu edistää sähkön tehokasta ja säästäväistä kulutusta niin omassa kuin asiakkaidensa toiminnassa [3: 1. luku, 1. §.]

Edellä mainitun järjestelmän luonnilla pyrittiin alun perin siihen, että vapaan kilpailun myötä myös sähkön hinta alenisi. Loppukuluttajien maksama hinta on alkanut nousta markkinoiden vapautumisen myötä, vaikkakin tietyt kilpaillut loppukomponentit ovat halventuneet. Elovaaran ja Haarlan [4, s. 47 - 48] mukaan tähän ovat vaikuttaneet mm. polttoaineiden hintojen kohoaminen, päästöoikeuksien hinta, sähkövero ja riittämättömän tarjonnan aiheuttama todellinen kilpailun puute.

### 3.2 Sähkön laadun seuranta

Vuoden 1995 asetetun sähkömarkkinalain myötä syntyi kaksi toisistaan erillistä liiketoiminta-aluetta eli sähköverkkotoiminta ja sähkön myynti. Tämän vuoksi laatuakin alettiin tarkkailla kahdesta eri näkökulmasta, eli sähköntoimituksen laadun näkökulmasta sekä verkkotoiminnan laadun näkökulmasta. On sanomattakin selvää, että näistä kahdesta muodostuu kokonaisuus, jotka ovat riippuvaisia toisistaan.

Sähkön laadun seuranta on tärkeää, sillä myös sähkö on tuote, jota myydään (kuva 1, ks. seur. s.). Tämän takia on tärkeää, että yhtiö tietää, millaista tuotetta se myy ja pyrkii näin toimittamaan riittävän hyvänlaatuista sähköä aina jakeluverkon kauimmaisellekin käyttäjälle asti. Laadun seurantajärjestelmää ei välttämättä tarvita jokaiselle kuluttajalle vaan riittää, että laatu mitataan kaikkein kriittisimmistä verkon kohdista. [4, s. 419 - 420.]



Kuva 1. Sähkön laatu ja asiakkaat

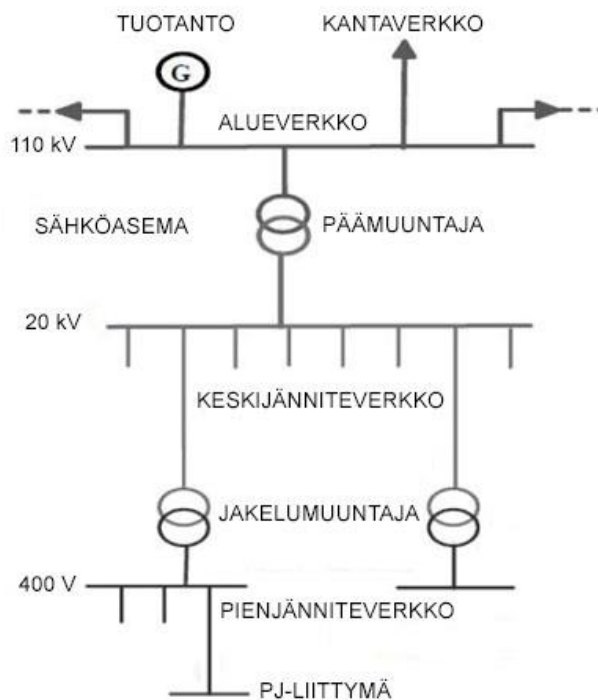
Verkostolaskentaa eli jakeluverkon siirtokykyä ja jänniteenvaihteluja on perinteisesti tarkasteltu kuormitustietojen avulla. Verkon nykytilan lisäksi laskelmien avulla voidaan arvioida tulevien verkostosuunnitelmien vaikutusta nykyisiin arvoihin. Verkossa tehtävillä reaaliaikaisilla mittauksilla voidaan tarkentaa ja tarkistaa verkostolaskennan tuloksia. Jännitteen säätö jakeluverkoissa tehdään pääasiassa perustuen sähköasemilla olevaan jännitemittaukseen ja verkostolaskentaan. Tulevaisuudessa on kuitenkin mahdollista toteuttaa tarkempaa jänniteensäätöä laatumittauksien avulla. [5, s. 23.]

Sähkön laatua käsitellään sähköenergialiitto Senerin suosituksessa ”Jakeluverkon sähkön laadun arviointi”. Sähkön laatustandardi SFS-EN 50160 määrittelee konkreettisia raja-arvoja jännitteen ominaisuuksista taajuudelle, jänniterajoille, yliaalloille, nopeille jännitemuutoksille, epäsymmetrialle sekä ohjausjännitetasoille. Standardissa ei anneta raja-arvoja jännitettä koskeville laatusuureille, kuten tasajännitekomponentille, epäharmonisille yliaalloille, epäsymmetrian nollakomponentille, jännitekuopille, keskeytyksille (lyhyet/pitkät) tai ylijännitteille.

Sähkötoimituksessa sähköverkko on luonnollinen monopoli. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakas ei voi valita sähkötoimittajaa, ainoastaan sähkönyyjän. Sähköverkkotoiminnassa on isot kiinteät kustannukset, eikä kahden kilpailevan verkon rakentaminen tuottaisi asiakkaille edullisempia siirtohintoja. [4, s. 419 - 420.]

### 3.3 Sähkön laadun mittaaminen

Perinteisesti jakeluverkko on ollut säteittäinen rakenteeltaan. Tehon suunta on ollut hierarkkinen ylemmältä jännitetasolta alemmalle kuvan 2 mukaan. Kaikki mittaukset on suoritettu pääasiassa kiinteillä laitteilla alueverkoissa ja sähköasemilla. Perusajatus on ollut, että ylemmässä jännitetasossa tapahtunut muutos on vaikuttanut kaikkiin alempiin jännitetasoihin. Pienjännitepuolella on keskitytty ainoastaan vuosittaiseen energiankulutukseen. [6, s. 23 - 24.]



Kuva 2. Jakeluverkon perusrakenne

Sähkökaupan vapauduttua sähkölaadusta on muodostunut merkittävä osa markkinointia. Pidemmällä aikavälillä on huomattavissa, että sähkön laadun hyvyydestä on tulossa kilpailuvaltti jakeluverkkoyhtiöille. Hyvän maineen lisäksi laatu merkitsee myös tuloksen kasvua. Nykyisen valvontamallin ansiosta huonosta sähkön laadusta sakotetaan ja paremmasta laadusta on mahdollisuus saada entistä enemmän tuottoa. Valvontamalli

mallinnetaan keskeytyskustannusten avulla. Tulevaisuudessa jakeluverkkoyhtiöt tulevat yhä enemmän kilpailemaan hyvän laadun ja brändin avulla.

### 3.4 Sähkön laadun mittauslaitteet

Nykyään mittareille asetetaan yhä enemmän toimintavaatimuksia. Myös halventunut muisti ja laskentateho mahdollistavat sen, että mitatun tiedon esikäsittelyssä ja varastoinnissa hyödynnetään yhä enemmän mittareita. Alan keskeiset toimijat ovatkin päätyneet siihen, että hankittavat tai asennettavat mittarit kattavat myös tulevaisuuden tarpeet. Älykkäissä mittareissa on yksi prosessori perusmittaustoimintoja varten, ja yksi, tai useampi, prosessori tietojen jatkokäsittelyä, hallintaa ja tietoliikennettä varten. Lisäksi mittari sisältää muistia, joilla mittaus- ja ohjelmistotietoja voidaan tallentaa ja joissa tiedot säilyvät myös jännitteen syötön keskeydyttyä. Etätiedonsiirtoa varten on modeemi tai vaihtoehtoisesti liitännäismahdollisuus tiedonsiirtoväylään.

Kärkkäisen ym. [7, s. 34] mukaan älykkäiden mittareiden tärkein toiminnallinen ominaisuus on kulutuksen ajantasainen rekisteröiminen ja tietojen eteenpäin siirtäminen etäyhteydellä. Lisäksi mittarilla voi olla myös sähkönkäytönhallintaan liittyviä toimintoja, kuten mittarin läpi kulkevan tehon rajoittaminen tai jopa katkaisu. Älykästä mittaria voidaan käyttää myös sähköverkon sähkönlaadun seurantaan ja sähkönjakeluverkon vikojen paikannukseen.

Automaattisella mittarinluennalla tarkoitetaan järjestelmää, jossa kuluttajan energiamittari luetaan automaattisesti etäyhteyden avulla energiayhtiön tietokantaan. Termiksi on vakiintunut AMR (Automatic Meter Reading), ja se sisältää muutakin kuin vain kulutuslukemien siirron. Perinteisesti asiakkaan energiamittari on luettu manuaalisesti kerran vuodessa tai asiakas on ilmoittanut itse lukemat. Automaattisen mittarinluennan avulla päästään kulutuksia seuraamaan miltei reaaliajassa. [7, s. 34–35.]

Netcontrol Oy:n kehittämä Netcon 100 -hallintaratkaisu sähkönjakeluautomaatioon osaa kattavan sähkön laadunmittauksen ohella myös valvoa sekä ohjata keskijännite- ja pienverkkoja. Käyttökatkosten keskipituutta pystytään vähentämään valvomosta suoritettavan etäohjauksen ja kehittyneen vianpaikannuksen avulla. Verkon kuntoa ja kuormitusta voidaan valvoa entistä tehokkaammin reaaliajassa lisäämällä laitteistoa

myös muuntamotasolle. Tämän myötä sähkön laatua pystytään parantamaan tulevaisuudessa.

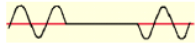
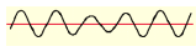
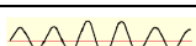
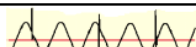
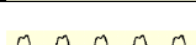
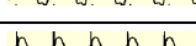
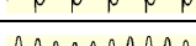
#### 4 Sähkön laadun osatekijät

Sähkönlaatua käsittelevä standardi SFS-EN 50160 määrittelee raja-arvoja jännitteen ja muiden ominaisuuksien osalta pien-, keski- ja suurjänniteverkoissa. Standardissa ei määritellä yksityiskohtaisesti mittauslaitteelta vaadittavia ominaisuuksia eikä mittausmenetelmiä, vaan esitetään mitattavat suureet yleisesti ja annetaan niille raja-arvoja. Mittauksia käsitellään kansainvälisessä standardissa EN 61000-4-30 *Electromagnetic compability* (EMC). Tässä työssä keskitytään pienjänniteverkkoihin (nimellisjännite alle 1 kV) ja keskijänniteverkkoihin (nimellisjännite 1 kV - 36 kV).

Standardin SFS-EN 50160 mukaan laatukriteerit tulee täyttyä kuluttajan liittämiskohdassa normaaleissa käyttöolosuhteissa. Standardissa mainitaan kuitenkin, että arvot tai rajat, jotka on määritetty, oletetaan täyttyvän kuluttajan liittymispisteessä. Jännitteen laatuun vaikuttaa syöttävän verkon rakenne sekä rakennusten omat sisäiset verkot ja niihin kytketyt laitteet. Sähkön laadun hallinnan keskeisimmät kohteet ovat ylijännitteen, harmonisten aaltojen, jännitteen vaihtelun, jännite-epätasapainon ja transienttien hallinta. Sähkön laatuun liittyvät tyypillisimmät ongelmat ja niiden syyt nähdään taulukossa 1 (ks. seur. s.). [8.]

Elovaaran ja Haarlan [4, s. 421] mielestä sähkön laadun mittaamisessa keskeisimmät asiat ovat jännitteen laadun ja sähköverkon käyttövarmuuden seuranta. Sähkön toimituksen keskeytymisen hättäväikutus riippuu sähkökatkoksen pituudesta ja ajankohdasta. Ennalta ilmoitetusta keskeytyksestä aiheutuva hättäväikutus on yleensä selvästi pienempi kuin yllättävästä keskeytyksestä.

Taulukko 1. Sähkönjakelun luotettavuuteen ja laatuun liittyvät keskeisimmät ongelmat ja niiden syyt

Häiriötyyppi	Kuvaus	Mahdolliset syyt
Sähkön jakelun katkos (> 1min)		Huoltotoimet, linjaviat, onnettomuudet, sää, tuuli, salamet, jää
Pitkäaikainen ylijännite		Pieni kuormitus, huono säätö
Pitkäaikainen alijännite		Raskas kuorma, voimakkaat kuormitushuiput, ei loistehonsäätöä, huono tehokerroin
Hetkelliset katkokset		Katkaisijoiden laukeaminen, vian selvitystilanne, syötön vaihto
Jännitekuopat		Suurien kuormien kytkentä, hetkelliset viat, katkaisijoiden toiminta, induktiiviset kuormat
Hetkelliset ylijännitteet		Piirin kapasitanssi, suurten kuormien poiskytkentä, vaihevika
Transienttijännitteet		Valaistus, kapasitiivien kytkentä, virtasuojan laukeaminen, epälineaariset kuormat, häiriöt
Harmoniset virran yliaallot		Epälineaariset komponentit, korkeataajuiset kytkennät, TV, tietokoneet, valaistus, huono tehokerroin, laitteiden aiheuttama signaalihäiriö
Jaksolliset häiriöt (t < 0,5 sykliä)		Tehoelektronikkalaitteet
Välkyntä		Eritaajuinen jännitteen vaihtelu, valaistus, loistehon vaihtelu
Jännite-epätasapaino		Epätasainen kuormitus, kompensointikondensaattorit, moottorit

Myyntiyhtiön välitön haitta aiheutuu keskeytysajan energian myyntikatteen saamatta jäämisestä. Myynnistä osa siirtyy kuitenkin katkoksen jälkeiseen ajankohtaan. Välillisiä haittoja katkoksista syntyy yrityskuvan huononemisen seurauksena. Sähkön käyttäjille keskeytyksistä aiheutuvat haitat ovat paljon suurempia kuin energian arvo. Katkos voi aiheuttaa tuotantotappioita tai poikkeamia tavanomaisesta toiminnasta. [4, s. 421 - 422.]

#### 4.1 Jännitteen vaihtelut

Sekä pien- että keskijänniteverkoissa jännitetason vaihtelut eivät saisi ylittää  $\pm 10\%$  nimellijännitteestä  $U_n$ . Pienjännitteen on pysyttävä 95 % tällä  $U_n \pm 10\%$  välillä 10 minuutin jaksoilta mitatuista keskiarvoista viikon pituisen mittausjakson aikana, jolloin jännite täyttää standardin sille asettamat vaatimukset. Keskeytyksiä ei lueta tähän mukaan, niitä käsitellään muun muassa jakeluverkkoyhtiöiden verkkopalveluehdoissa.

Keskijännitteessä sovelletaan SFS-EN 50160 luvun 5.2.2.1 raja-arvoja:

— vähintään 99 % 10 minuutin mittausjaksolta mitatuista jännitteen tehollisarvojen keskiarvoista on oltava luvussa 5.2.2.1 annetun jännitteen alapuolella, ja

— vähintään 99 % 10 minuutin mittausjaksolta mitatuista jännitteen tehollisarvojen keskiarvoista on oltava luvussa 5.2.2.1 annetun jännitteen yläpuolella, ja

— yksikään 10 minuutin mittausjaksolta mitatuista jännitteen tehollisarvojen keskiarvoista ei saa olla rajojen  $U_c \pm 15\%$  ulkopuolella. [8.]

Jännitteen alenemaan voivat vaikuttaa verkossa oleva kuorma P (siirrettävä pätöteho) ja Q (siirrettävä loisteho). Myös johdon impedanssi sekä verkon kompensointi vaikuttavat jännitteeseen alentavasti. Jännitteen kohoamiseen voivat johtaa kondensaattorin kytkentä tai vastaavasti vika jossakin kohtaa verkkoa.

#### 4.2 Harmoniset ja epäharmoniset jännitteen yliaallot

Ihannetilanteessa vaihtojännitteiden ja -virtojen käyrämuodot ovat puhtaasti sinimuotoisia. Käytännössä jännitteiden ja -virtojen aaltomuodot poikkeavat puhtaasta siniaallosta mm. välkynnän, yliaaltojen ja signaalijännitteiden johdosta. Kun käyrämuodot poikkeavat siniaallon muodosta, verkko on säröytynyt ja puhutaan harmonisten tai epäharmonisten yliaaltojen aiheuttamasta jännite- tai virtasäröstä. Epälineaarinen kuormitus ottaa verkosta myös samanmuotoisen tehon. Harmoniset yliaallot ja verkon säröytyminen ovat todellinen haaste nykypäivänä niin sähkölaite- kuin jakeluverkon suunnittelijoille.

Yliaaltoja verkkoon aiheuttavat kotitalouksissa erilaiset viihde-elektronikan laitteet ja tietokoneet. Teollisuudessa taajuusmuuttajat ja sähkömoottorit ja erilaiset tasasuuntaustekniikkaa käyttävät laitteet aiheuttavat yliaaltoja verkkoon. Muita yliaaltoja aiheuttavia tekijöitä ovat UPS- ja hitsauslaitteet, purkauslamput, loisteputkivalaisimet, energiasäästölamput, hakkuriteholähteet ja valokaariunit.

Epäharmonisia yliaaltoja syntyy erittäin epälineaarisissa laitteissa, joiden ottama virta vaihtelee jännitejaksoista riippumattomasti. Ne eivät ole perustajuuden



kerrannaisia. Summautuessaan verkkotaajuuden päälle ne aiheuttavat verkkotaajuuden sinimuotoon joko alle tai yli 50 Hz:n jaksollista vaihtelua. Epäharmoniset yliaallot ovat kuitenkin hyvin harvinaisia eivätkä aiheuta mainittavia ongelmia nykypäivän verkossa. [5, s. 16 - 18.]

Standardi SFS-EN 50160 määrittelee harmonisille yliaaltojännitteille tietyt raja-arvot. Kokonaissärökertoimen raja-arvot esitetään taulukossa 2. Hyvässä ja normaalissa laadussa yksittäisten särökertoimien tulee olla taulukossa 3 esitettävien rajojen alapuolella. Standardilaadussa riittää, kun 95 % yliaaltojännitteistä on ko. rajojen alapuolella. [8.]

Taulukko 2. Harmonisten yliaaltojännitteiden sallitut arvot liittämiskohdassa järjestyslukuun 25 saakka prosentteina perustaajuisesta jännitteestä  $U_1$

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset		järjestysluku n	suhteellinen jännite
järjestysluku n	suhteellinen jännite	järjestysluku n	suhteellinen jännite		
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6–24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Taulukko 3. Harmonisten yliaaltojännitteiden laatukriteerit

Jännitteen ominaisuus	Hyvä laatu (Sener)	Normaali laatu (Sener)	SFS-EN 50160:n mukainen laatu
Harmoniset yliaaltojännitteet	$U_{nSh} \leq$ Taulukko 2-3 arvot ja THD $\leq 3 \%$	$U_{nSh} \leq$ Taulukko 2-3 arvot ja THD $\leq 6 \%$	95 % $U_{nSh} \leq$ Taulukko 2-3 arvot ja THD $\leq 8 \%$

#### 4.3 Nopeat jännitteen muutokset eli välkyntä

Nopeilla jännitteenmuutoksilla tarkoitetaan jännitteiden tehollisarvojen nopeaa muutosta vakaiden arvojen välillä. Nämä jännitemuutokset ovat alle 10 % muutoksia

nimellisjännitteestä ja muutos aika on yleensä millisekuntien luokkaa. Kuormituksen tai tuotannon nopeat muutokset tai verkossa tehtävät kytkennät aiheuttavat jännitetason muutoksia. Ilmastolliset ylijännitteet, kuten salamaniskut indusoituessaan sähkölinjoihin aiheuttavat myös jännitevaihteluita. [5. s. 18 - 19.]

Usein ja toistuvasti esiintyviä jännitemuutoksia nimitetään välkynnäksi. Välkkyminen havaitaan valojen vilkkumisena. Vilkkuminen aiheuttaa luminanssi ja värieroja erilaisille pinnoille ja näitä pidetään häiritsevinä. Toimistotyössä näyttöpäätteen ja valonvärinänyhteisvaikutus aiheuttaa silmien rasitusta, ja tämän seurauksena saattaa esiintyä päänsärkyä ja pahoinvointia. On todettu, että vaikka ihmissilmä ei välkkymistä erottaisikaan, niin aivot havaitsevat värinän jopa 1 000 Hz:iin saakka. Aivoihin vaikuttava näkymätön loisteputkivalaisimista aiheutuva häirintä aiheuttaa stressiä ja työvirheitä. Jännitetason suuruuden vaihtelu sekä jännitetason muutoksen kesto aika vaikuttaa siihen, kuinka häiritsevästä ihmiset pitävät välkyntää. [9.]

SFS-EN 50160 -standardin mukaan normaaleissa käyttötilanteissa 95 % ajasta pitkäaikaisen häiritsevyyssindeksin tulee olla  $P_{lt} \leq 1$ . Sähköenergiailiitto Senerin asettaman normaalin laadun mukaan tulee aina olla  $P_{lt} \leq 1$ . Hyvässä laadussa tulee aina olla  $P_{lt} \leq 0,74$  ja päivän kolmanneksi korkein lyhytaikainen häiritsevyyssindeksi korkeintaan yksi. Arvot esitetään kootusti taulukossa 4:

Taulukko 4. Nopeiden jännitemuutosten laatu kriteerit

Jännitteen ominaisuus	Hyvä laatu (Sener)	Normaali laatu (Sener)	SFS-EN 50160:n mukainen laatu
Nopeat jännitemuutokset (pj- ja kj-verkoissa)	$P_{st,3 \max} \leq 1$ ja $P_{lt, \max} \leq 0,74$	$P_{lt, \max} \leq 1$	95 % ajasta $P_{lt} \leq 1$

#### 4.4 Jännitteen epäsymmetria ja transienttiylijännitteet

Standardin SFS-EN 50160 mukaan normaaleissa käyttöolosuhteissa 95 % jakelujännitteen vastakomponentin 10 minuutin tehollisarvoista tulee olla alle 2 % perustaajuisesta myötäkomponentista. Senerin ohjeissa hyväksi ja normaalilaaduksi määritetään tilanne, jossa kaikki vastakomponentit ovat korkeintaan 2 %.

Transienttilylijännitteet eli äkilliset, lyhytaikaiset ylijännitteet johtuvat ukkosen aiheuttamasta salamasyöksystä tai suurien kuormien kytkennästä. Ne voivat aiheuttaa suojaamattomassa verkossa suuria tuhoja kuluttajien laitteissa. Ratkaisevana tekijänä ovat ylijännitteen amplitudi ja nousuaika. Transienttilylijännitteistä ei ole olemassa varsinaista standardia. [8.]

## 5 Sähkövoimajärjestelmät

Sähkövoimajärjestelmää voidaan pitää yhteiskunnan tärkeimpänä infrastruktuurina. Nykyaikana sähköllä on hyvin keskeinen rooli yhteiskunnassamme ihmisten perustarpeiden tyydyttämisessä. Oikeastaan mikään ei toimi nykypäivänä ilman sähköä, joten tämä asettaa erittäin kovat vaatimukset sähkövoimajärjestelmän käyttövarmuudelle.

Suomen voimajärjestelmä koostuu voimalaitoksista, kantaverkosta, alueverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Se on osa yhteispohjoismaista voimajärjestelmää yhdessä Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmien kanssa. Lisäksi Venäjältä ja Viirosta on Suomeen tasasähköyhteys, jolla nämä eri periaattein toimivat järjestelmät voidaan yhdistää. Vastaavasti yhteispohjoismainen järjestelmä on kytketty Keski-Euroopan järjestelmään tasavirtayhteyksin. [4, s. 271.]

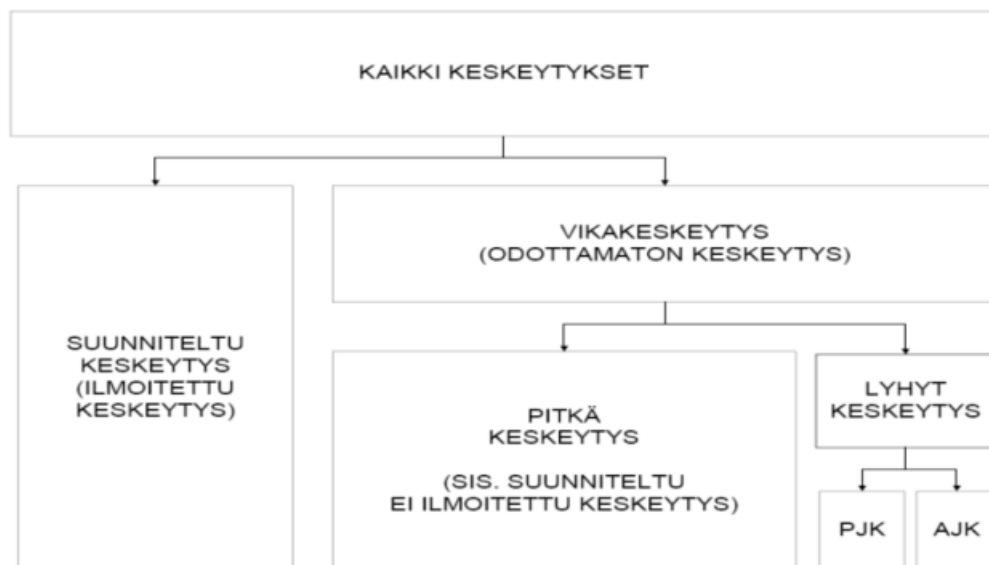
### 5.1 Siirtoverkon luotettavuus

Voimajärjestelmän luotettavuus (*power system reliability*) jaetaan kahteen osaluueeseen: riittävyteen ja käyttövarmuuteen. Tätä mitataan pitkällä aikavälillä ja se kuvaa järjestelmän käyttäytymistä erilaisissa kuormitus-, vika- ja keskeytystilanteissa. Jotta järjestelmän voidaan todeta olevan luotettava, sen on oltava käyttövarma suurimman osan ajasta. Riittävyydellä (*adequacy*) tarkoitetaan sitä, että järjestelmä kykenee syöttämään kuormille vaadittamat energiat ja tehot kaikkina aikoina. Käyttövarmuus (*security*) tarkoittaa taas järjestelmän kykyä selviytyä erilaisista vikatilanteista ja häiriöistä, kuten oikosulut ja komponenttien irtoamiset. Ollakseen käyttövarma voimajärjestelmän on kestävä vikatilanteen ilman, että seurauksena on stabiilius- tai muita ongelmia. Myös vian jälkeisiin tilanteisiin tulee varautua mahdollisten ylikuormatilanteiden varalta. [4, s. 276 - 277.]

Standardi SFS-EN 50160 ei määrittele varsinaisia raja-arvoja sähkön jakelun luotettavuuteen liittyville ilmiöille, kuten jännitekuopille ja keskeytyksille. Standardissa IEEE 1159 luokitellaan katkokset, kuopat ja ylijännitteet. Standardissa IEEE 1366-2001 määritellään verkon sähköntoimitusvarmuutta kuvaavia tunnuslukuja.

## 5.2 Sähkön jakelun keskeytykset

Standardissa SFS-EN 50160 keskeytys määritetään tilanteeksi, jossa jännite on liittämiskohdassa alle 5 % vertailujännitteestä. Keskeytykset voidaan luokitella suunniteltuihin, etukäteen loppukäyttäjille tiedotettuihin ja yleensä huoltotöistä aiheutuviin keskeytyksiin sekä pysyvistä tai ohimenevistä vioista aiheutuviin häiriökeskeytyksiin, jotka enimmäkseen liittyvät ulkopuolisiin tapahtumiin, laitevikoihin tai häiriöihin. Häiriökeskeytykset jaetaan vielä lyhyiksi ja pitkeksi keskeytyksiksi. Pitkäkestoiisiin keskeytyksiin lasketaan yli 3 minuuttia kestävät keskeytykset. Pitkäkestoiset keskeytykset aiheutuvat yleensä pysyvästä sähköverkon viasta. Lyhyet keskeytykset kestävät korkeintaan 3 minuuttia. Niiden aiheuttajana on yleensä jokin ohimenevä vika, jolloin jännite saadaan yleensä palautettua automaattisella jälleenkytkennällä. Keskeytykset luokitellaan kuvan 3 mukaisesti. [8.]



Kuva 3. Keskeytysluokittelu [10.]

### 5.3 Keskeytyksestä aiheutuva haitta

Keskeytyksestä aiheutuva haitta (KAH) ilmaisee sähkön loppukäyttäjälle sähkön toimituksen keskeytymisestä aiheutuvaa kustannusta. Odottamattomien ja suunniteltujen keskeytysten sähkönkäyttäjille aiheuttaman haitan arviointi on monitahoinen ja haasteellinen tehtävä. Yksiselitteisiä käyttäjäryhmäkohtaisia KAH-arvoja on vaikea määrittää, sillä eri osalle sähkönkäyttäjiä haitta on mitattavissa oleva suure, esimerkiksi tuotannon keskeytys tai hukattu työaika.

Osalle sähkönkäyttäjiä haitta on vaikeasti mitattavissa, esimerkiksi kotitalouksille keskeytyksestä aiheutuva haitta on enemmänkin välillistä (kotirutiinien ajoituksen muuttuminen, yms.) kuin suoraan rahassa mittavaa haittaa. Lisäksi keskeytysajankohta ja -pituus vaikuttavat haitan suuruuden määräytymiseen eri tavoin. Taulukossa 5 esitetään sähkönkäyttäjien euromääräiset haittavaikutukset eri keskeytystilanteissa:

Taulukko 5. KAH-arvot (Jakeluverkkojen tekninen laskenta 2010)

KAH-arvot	Vikakeskeytys		Työkeskeytys		Pikajälleenkytkentä	Aikajälleenkytkentä
	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
Asiakasryhmä						
Kotitalous	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	0,48
Maatalous	0,45	9,38	0,23	4,8	0,2	0,62
Julkinen	1,89	15,08	1,33	7,35	1,49	2,34
Palvelu	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44
Teollisuus	3,52	24,45	1,38	11,47	2,19	2,87
Painotettu keskiarvo	1,1	11	0,5	6,8	0,55	1,1

Keskeytyskustannukset lasketaan seuraavasti:

$$K = P \times n \times KAH_1 + P \times t \times KAH_2 \quad (1)$$

missä  $P$  = teho, kW

$n$  = vikojen lukumäärä, kpl

$t$  = vikojen kesto

$KAH_1, KAH_2$  = vikakeskeytys, €/kW

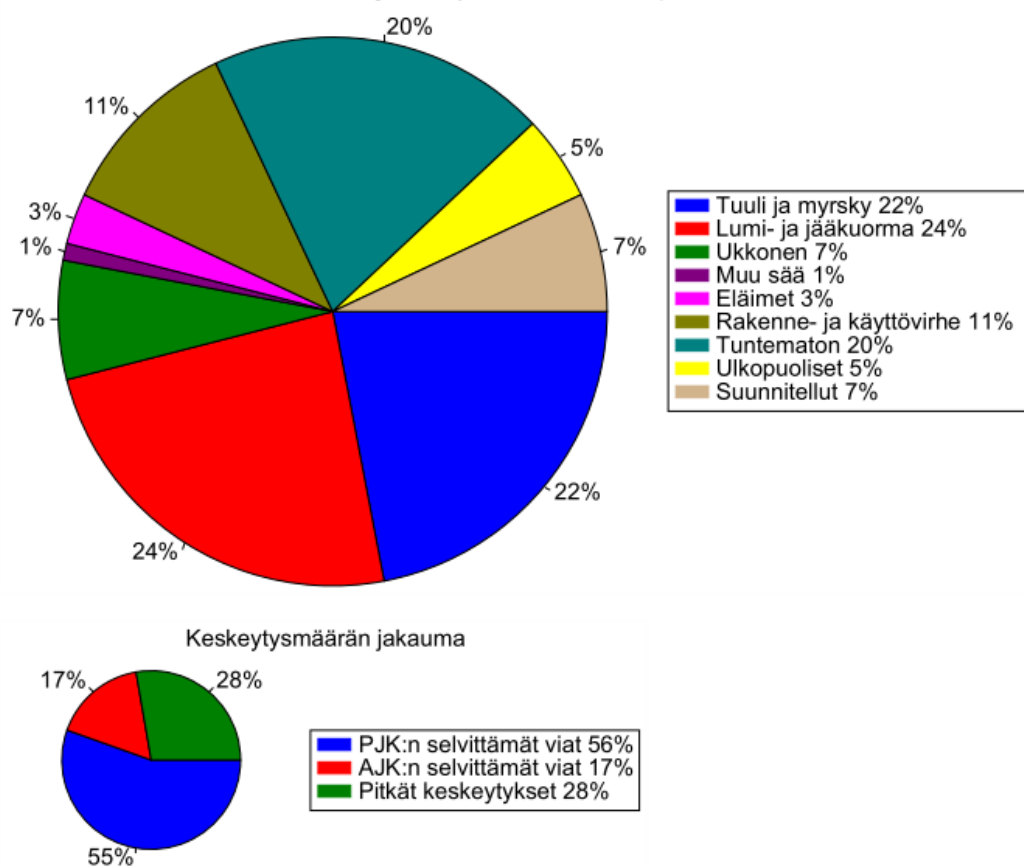
#### 5.4 Luotettavuusindeksit

Asiakaskeskeiset indeksit kuvaavat sähköjakelun luotettavuutta asiakkaan näkökulmasta. Kansainvälisessä IEEE 1366-2001-standardissa määritetään seuraavat asiakaskeskeiset indeksit:

Vikojen keskimääräistä määrää asiakasta kohden tarkasteluajanjaksolla (*System Average Interruption Frequency Index*) kuvataan yhtälön

$$SAIFI = \frac{\text{asiakkaiden kokemien keskeytysten kokonaismäärä}}{\text{kokonaisasiakasmäärä}} = \frac{\sum_j n_j}{N} \quad (2)$$

avulla, jossa  $n_j$  on asiakkaan  $j$  kokemien keskeytysten määrä tarkasteluajanjaksolla ja  $N$  on kokonaisasiakasmäärä. Kuvassa 4 esitetään vuoden 2012 keskeytysmäärien osuudet aiheuttajittain:



Kuva 4. Keskeytyksen aiheuttajat vuonna 2012 [10.]

Kuvassa 5 nähdään keskeytysten lukumäärät asiakkailta vuodessa eri verkkotyypin osalta:

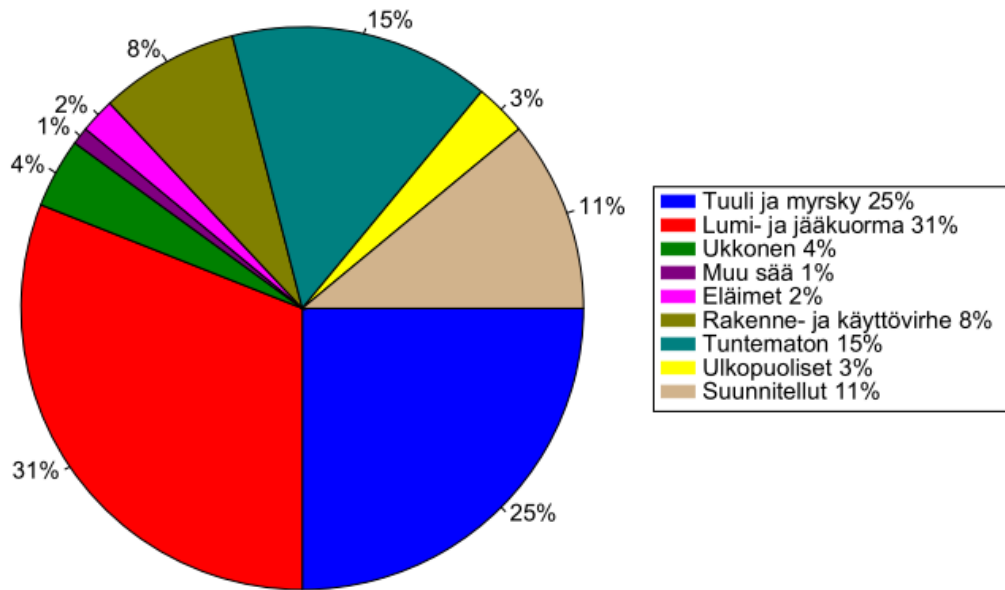
Keskeytyslaji	Maaseutu	Taajama	City	Kaikki yhteensä
Oman jakeluverkon vikakeskeytykset	4.19	0.74	0.16	1.84
Muun verkon aih. keskeytykset	0.30	0.13	0.03	0.14
Pitkät vikakeskeytykset yhteensä	4.40	0.81	0.18	1.94
AJK:t	2.84	0.41	0.04	1.41
PJK:t	7.38	0.82	0.05	3.89
Vikakeskeytykset yhteensä	14.84	2.06	0.26	7.29
Suunnitellut keskeytykset	0.41	0.16	0.04	0.21
Kaikki ilman jälleenkytkentöjä	4.72	0.93	0.20	2.12
Kaikki keskeytykset	14.94	2.16	0.28	7.42

Kuva 5. Keskeytysten keskimääräinen lukumäärä asiakkaalla vuodessa kpl/a

Vikojen keskimääräinen kokonaiskestoaika asiakasta kohden tarkasteluajanjaksolla (*System Average Interruption Duration Index*) kuvataan yhtälön

$$SAIDI = \frac{\text{asiakkaiden kokonaiskeskeytysaika}}{\text{kokonaisasiakasmäärä}} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N} \quad (3)$$

avulla, jossa  $t_{ij}$  on asiakkaalle  $j$  keskeytyksestä  $i$  aiheutunut sähkötön aika,  $i$  on keskeytysten lukumäärä tarkasteluajavälillä,  $j$  keskeytyksen vaikutusalueella olleiden asiakkaiden määrä sekä  $N$  kokonaisasiakasmäärä. SAIDI viittaa yleisesti asiakkaan kokeisiin keskeytysminuutteihin tai -tunteihin tarkasteluajanjakson aikana. Suhteelliset keskeytysajat vuonna 2012 aiheuttajan mukaan jaoteltuna esitetään kuvassa 6 (ks. seur. s.):



Kuva 6. Keskeytysten aiheuttajat keskimääräisen asiakkaalle aiheutuneen keskeytysajan mukaan vuonna 2012 (jälleenkytkennät ei mukana) [10.]

Kuvassa 7 esitetään keskeytysten kestoajat asiakkailla vuodessa eri verkkotyyppien osalta:

Keskeytyslaji	Maaseutu	Taajama	City	Kaikki yhteensä
Oman jakeluverkon vikakeskeytykset	3.99	0.67	0.12	1.72
Muun verkon aih. keskeytykset	0.10	0.08	0.01	0.05
Pitkät vikakeskeytykset yhteensä	4.06	0.71	0.12	1.75
AJK:t	0.11	0.02	0.00	0.07
Vikakeskeytykset yhteensä	4.17	0.73	0.12	1.82
Suunnitellut keskeytykset	0.58	0.18	0.07	0.30
Kaikki ilman jälleenkytkentöjä	4.56	0.85	0.15	2.01
Kaikki keskeytykset	4.66	0.87	0.16	2.08

Kuva 7. Keskimääräinen keskeytysaika asiakkaalla vuodessa h/a

Tarkasteluajanjaksolla koettujen vikojen keskimääräistä kestoaikaa asiakasta kohden (*Customer Average Interruption Duration Index*) kuvataan yhtälön

$$CAIDI = \frac{\text{asiakkaiden kokonaiskeskeytysaika}}{\text{asiakkaiden kokonaiskeskeytysmäärä}} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (4)$$

avulla. CAIDI kuvaa keskimääräistä aikaa, joka tarvitaan järjestelmän palauttamiseen ennalleen.



SAIFI:a vastaava lyhyiden keskeytysten (PJK ja AJK) raportointiin soveltuva indeksi on MAIFI (*Momentary Average Interruption Frequency Index*), joka määritetään yhtälöllä

$$MAIFI = \frac{\text{asiakkaiden kokemien lyhyiden kesk.summa}}{\text{kokonaisasiakasmäärä}} = \frac{\sum_j n_{js}}{N}, \quad (5)$$

jossa  $n_{js}$  on asiakkaan  $j$  kokemien lyhyiden keskeytysten lukumäärä tarkasteluajanjaksoilla.

Perinteisesti keskeytystiedot on jakeluverkkoyhtiöissä tilastoitu muuntopiiritasolla eikä todellisiin asiakaskohtaisiin tietoihin perustuen. Näitä muuntopiiritason tunnuslukuja on merkitty T-lisäkirjaimella: T-SAIFI, T-SAIDI ja T-CAIDI. Näissä tunnusluvuissa ei näy pienjänniteverkon keskeytyksiä. Tunnusluvut on toimitettu Energiamarkkinavirastolle (EMV) ja niiden avulla on arvioitu jakeluverkkoyhtiön toimintaa. [11.]

## 6 Voimansiirtojärjestelmien vikatapauksia

Vikatilanteiden analysoiminen on tärkeä osa voimansiirtojärjestelmän suunnittelua. Tavallisesti järjestelmässä esiintyy oiko- ja maasulkuja, mutta toisinaan myös katkoksia. Oikosulut (*short-circuits*) ovat vaiheiden välisiä vikoja ilman maakosketusta. Maasuluissa (*earth-faults*) vikavirtapiiriin kuuluu aina myös maa. Näitä vian aiheuttajia ovat esimerkiksi

- ylijännitteet (esim. salamaniskuista johtuvat)
- laitteiden toimintahäiriöt ja virhetoiminnot (mekaaniset)
- verkkokomponenttien eristyskyvyn aleneminen.

Kyseiset viat voivat aiheuttaa järjestelmän häiriön, mikä voi johtaa sähkönjakelun täydelliseen tai osittaiseen katkeamiseen. N-1 kriteerin mukaan mitoitetussa silmukkaverkossa sähkönsiirto ei asiakkaille katkea, kun taas säteittäisessä verkossa täydellinen katkeaminen on todennäköistä.

Jotkin vikatapauksista ovat symmetrisiä (*symmetrical faults*), eli vian vaikutukset kohdistuvat kaikkiin vaiheisiin tasaisesti. Näitä symmetrisiä vikoja ovat mm. kolmivaiheinen oikosulku, johdon tai muuntajan laukeaminen ja suuren tuotantoyksikön äkillinen irtoaminen verkosta. Kyseiset muutokset vaikuttavat suuresti verkon tehonjakoon ja jännite-tasoon. Epäsymmetriset viat (*unsymmetrical faults*) näkyvät eri lailla eri vaiheissa. Näitä vikoja ovat mm. 1- tai 2-vaiheiset maasulut. Epäsymmetriset viat ovat laskennallisesti hankalampia käsitellä kuin symmetriset. 3-vaiheiset vikatapaukset ovat pahimpia termisesti, kun taas 1-vaiheiset viat vaikeimpia havaita. [4, s. 166 - 167.]

## 6.1 Asema-automaatio, kaukokäyttö ja käytön valvonta

Sähkön siirron alkuvaiheiden jälkeen verkon käyttö ja valvonta on hoidettu kaukomi-tauksin ja kauko-ohjauksiin sekä paikallisiin automaattisiin toimenpiteisiin. Tästä tyypil-lisinä paikallisautomaation hoitamia toimintoja ovat eräät osat relesuojauksista. Suo-messa sähköasemat ovat olleet jo pitkään miehittämättömiä, kauko-ohjattuja ja kauko-valvottuja järjestelmiä. Muissa maissa tähän ei ole pyritty systemaattisesti, vaikkakin valmiudet olisivat samaan kuin Suomessa.

Sähkön siirto- ja jakeluverkostot ulottuvat laajoille alueille, joten ohjaamalla ja valvomal-la järjestelmää keskitetysti voidaan parantaa verkon ja sen käytön teknistä laatutasoa. Tällaisesta keskitetystä ja osin automaattisesta valvonnasta ja ohjauksesta käytetään nimitystä kaukokäyttö (*remote control*). Sähköverkon valvontajärjestelmä on tyypillisesti hierarkkinen järjestelmä. Suomessa kantaverkkoyhtiön voimajärjestelmäkeskus valvoo suurjännitesiiirtoverkkoja. Keskijänniteverkon valvonta ja ohjaus on keskitetty joko verk-kokeskukseen (kantaverkkoyhtiöt) tai omiin keskusvalvomoihin (alueverkkoyhtiöt). Pien-jännitesiiirtoverkkojen valvonta ja ohjaus kuuluu taas jakeluverkkoyhtiöille. [12, s. 385 - 386.]

## 6.2 Sähköasema

Sähköasema-automaatiojärjestelmä tarjoaa paikallisesti tai kaukokäyttöjärjestelmän kautta pääsyn järjestelmään. Järjestelmän avulla mahdollistetaan paikalliset manuaali-set tai automaattiset toiminnot. Järjestelmä kokoaa kaiken saamansa tiedon ns. ym-märrettävään muotoon, jotta kommunikointi valvomon ja paikallisten toimilaitteiden vä-

lillä olisi mahdollista. Sähköasemalla tehtävät mittaukset ovat tärkeässä roolissa koko jakeluverkon hallinnan kannalta. Jännitemittauksen avulla on pyritty ylläpitämään keskijänniteverkossa riittävä jännitetaso. Senerin suositusten mukaan sähköasemalla tehtäviä jatkuvan seurantamittauksen kohteina tulisi olla: jännitetason vaihtelut, jännitekuoppien ja kohoumien rekisteröinti, keskeytykset sekä harmoninen kokonaissärö (THD).

Sähköasematasolla suoritetuista mittauksista saadaan hyvä yleiskuva jakeluverkon tilasta. Perinteisiä mittauksia on käytetty verkon tilan estimointiin käytöntukijärjestelmän avulla, mutta tarkkaa tilaestimointia on vaikea saada. Laskentaohjelmien myötä saadaan muuttuneen kytkentä- tai kuormitustilanteentilanteen pohjalta tehojaonlaskennan avulla kuormitukset ja jännitetasot. Lakervin ja Partasen mielestä laskennan alkuoletusten virheellisyyden tai epätarkkuuden takia olisi hyvä, että laskennan tueksi voitaisiin liittää keskijänniteverkolta saatavia mittaustietoja, joiden avulla voidaan paremmin estimoida sähköverkon tilaa ja saada tarkempia laskentatuloksia. [13, s. 247 - 248.]

### 6.3 Keskijänniteasiakkaan liittymiskohta ja jakelumuuntajat

Jakeluverkkoyhtiön koosta riippuen sen verkkoalueella voi sijaita keskijänniteasiakkaita huomattava määrä. Senerin suositusten mukaan keskijänniteliitymissä tulisi olla valmius mitata yleensä tilapäisesti ja tapauskohtaisesti seuraavia suureita: pätö-, loistehot, vaihevirratt ja nopeat kuormitusvaihtelut, jännitetason vaihtelut, jännitekuopat ja -kohoumat, keskeytykset, jännitesärö (THD), yliaaltojännitteet ja -virrat, jakelujännitteen epäsymmetria sekä välkyntä. Nämä edellä mainitut mittaukset voivat tulla eteen mahdollisissa asiakkaiden reklamaatioissa tai muissa selvitystarpeissa. [5, 28 - 29.]

Jakelumuuntajalla suoritettuja sähkön laadun mittauksia on tehty varsin vähän. Pienjännitepuolen jännitettä onkin ainoastaan arvioitu sähköasemalta saatavaan jännitetietoon perustuen. Senerin suositusten mukaan jakelumuuntajien pienjännitepuolelta tulisi olla valmius mitata yleensä tilapäisesti tai tapauskohtaisesti seuraavia suureita: jännitetason vaihtelut, harmoninen kokonaissärö (THD), harmoniset yliaaltojännitteet 3., 5., 7., 9., 11. ja 13., epäsymmetria, jännitekuopat ja -kohoumat, keskeytykset sekä välkyntä. Uuden laitetekniikan kehittymisen myötä suositellaan harkittavaksi tärkeimmille jakelumuuntamoille jatkuvaa mittausta sähkön laatuominaisuuksille ja kuormitustiedoille sekä mahdollisesti erilaisille tilatiedoille kuten hälytyksille ja lämpötiloille. Näin saadaan

muuntajan kuormituksen tasosta reaaliaikaista tietoa ja mahdollisia ylikuormitustiloja voidaan välttää nykyistä paremmin. [5, s. 30 - 31.]

#### 6.4 Pienjänniteasiakas

Vuonna 2009 voimaan tulleeseen valtioneuvoston asetukseen pohjautuen 80 % prosenttia kaikista käyttöpaikoista tulee varustaa älykkäällä AMR-mittarilla vuoden 2013 loppuun mennessä. Senerin suosituksen mukaisesti pienjänniteasiakkaan liittymissä tulisi olla valmius mitata yleensä tilapäisesti ja tapauskohtaisesti seuraavia suureita: jännitetason vaihtelut, jännitekuopat ja -kohoumat, keskeytykset, jännitesärö ja yliaaltojännitteet, epäsymmetria sekä välkyntä. Lisäksi Sener suosittelee, että jännitteen ominaisuuksiin liittyvien vaihteluiden syiden selvittämiseksi tulisi kyetä mittaamaan seuraavat suureet: pätöteho, loisteho, vaihevirratt ja yliaaltovirratt.

Alasen ja Hätösen mielestä tulevaisuudessa AMR-mittarointia tullaan käyttämään osana jakeluverkon tilan arviointia. AMR mahdollistaa verkon tilan laaja-alaisemman hallinnan ja pienimuotoiset laadun mittaukset. Mahdollisissa asiakkaiden reklamaatioissa tai muissa selvitystarpeissa AMR-mittaroinnin avulla saadaan tulokset selville helposti ja nopeasti. [5, s. 32 - 35.]

## 7 Netcon 100 -järjestelmä

Netcontrol Oy toimittaa energiaverkkojen automaattioratkaisuja. Netcon 100 on kehitetty keskijänniteverkon valvontaan ja ohjaukseen sekä pienjänniteverkon valvontaan. Vakioprotokollien ja -rajapintojen ansiosta liitettävyyys muihin järjestelmiin on suoraviivaista.

Muuntamo- ja verkonkehitysinvestoinnit perustuvat usein laskelmiin, jotka perustuvat tilastollisiin menetelmiin. Todellinen kuormitus voikin poiketa huomattavasti lasketusta arvosta. Netcon 100 -järjestelmällä saadaan tarkkaa kuormitusdataa reaaliaikaisilla mittauksilla ja näin voidaan välttää muuntajan ylikuormituksilta sekä ylivarovaisilta uusimisinvestoinneilta. Järjestelmästä saatavan tarkan kuormitustiedon ja kehitystrendin perusteella voidaan kasvattaa muuntamoiden elinikää ja vähentää ylikuormituksen aiheuttamia ongelmia.

Järjestelmä sisältää seuraavat toiminnot:

- jakeluverkon ja muuntajien hallinta
- kytkinlaitteiden kauko- ja paikallishaus
- järjestelmän etä- ja paikallishallinta
- vikojen havainnointi ja paikallistaminen
- sähkön laadunmittaus
- monipuoliset tietoliikennetoiminnot.

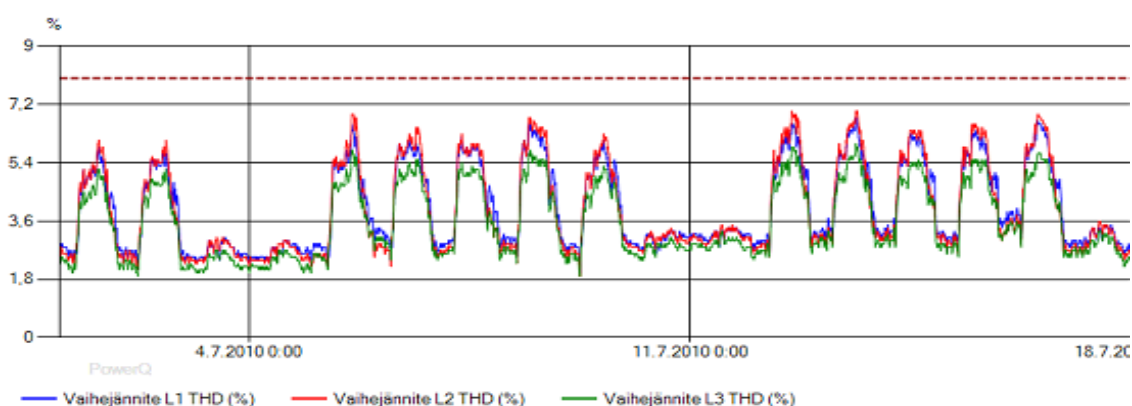
Järjestelmän pienjänniteverkon valvontayksikkö sisältää sähkön laadunmittaukset, pienjännitevianilmaisut, häiriötallentimet, 3-vaihe jännite- sekä virtamittaukset ja neljä erillistä lämpötilamittausta. Etätiedonsiirtoa varten järjestelmässä on GPRS/3G modeemi ja 10/100 Ethernet-liitäntä. Netcon 100 on modulaarinen järjestelmä (kuva 8), joka on helposti muunneltavissa käyttökohteen ja tarpeiden mukaan. Järjestelmän asennettavuus on helppoa ja voidaan helposti sulauttaa myös jo olemassa oleville muuntamoille sekä sähköasemille. Netcon 100 voidaan sekä konfiguroida että päivittää etänä. Erillisen *Application Managerin* avulla myös järjestelmien ryhmäpäivitys on mahdollista. [14.]



Kuva 8. Netcon 100 -ala-asema

## Netcon PQA sähkön laadun analysointimenetelmä

Netcon 100 -järjestelmän mittaustietoa voidaan seurata ja luoda raportteja Netcon PQA sähkön laadun analysointimenetelmän avulla. Järjestelmä on toteutettu yhteistyössä Tamperelaisen PowerQ Oy:n kanssa. PowerQ Oy on mittaustietojen käsittelyratkaisuja tuottava asiantuntijayritys. Laaturaportit voidaan luoda helposti yksinkertaisen selain-pohjaisen käyttöliittymän avulla. Sähkön laadun raportit pohjautuvat SFS-EN 50160 -standardiin. Mitattu data voidaan lähettää asiakkaan toiveen mukaisesti omille servereille tai vaihtoehtoisesti PowerQ:n pilvipalveluun. Kuvassa 9 havainnollistetaan vikaantuneen laitteen aiheuttamaa häiriötä:



Kuva 9. Viallisen ilmastointilaitteen aiheuttamat harmoniset yliaallot (PQNet-laaturaportti)

Analysointimenetelmän avulla voidaan tehdä tulevaisuuden ennusteita, sekä tarkkailla jakeluverkon kuntoa mittausten avulla. Tämän myötä verkon suunnittelu paranee ja kunnostamistarpeet voidaan optimoida tarpeen mukaan. Muuntamoilta kerätyt mittaukset mahdollistavat muuntajan käyttöiän ennustamisen seuraamalla muuntajan lämpötilan suhdetta kuormitusprosenttiin pitkällä aikavälillä. Mittauksilla voidaan ennakoida pidemmällä aikavälillä muuntamoiden lisästarpeita. Jos muuntaja käy jatkuvasti täydellä kuormalla tai lähellä sitä, johtovälille pitää lisätä toinen muuntaja.

Muuntajista voidaan mittausten perusteella havaita, milloin ne ovat huollon tai vaihdon tarpeessa. Muuntajien ylikuormitukseen vaikuttavat myös sähkön laadun suureet kuten välkyntä, säröt ja yliaallot. Näitä sähkön laadun haitallisia suureita esiintyy useimmin kohteissa, joissa on paljon tietokoneita ja muuta epälineaarista kuormaa. Yliaallot

aiheuttavat muuntajissa ylimääräisiä häviöitä ja lämpenemistä. Nämä sähkön laatusuureet tulee myös ottaa huomioon muuntajan kuormituksissa nykypäivänä.

Muuntamon valvontayksikön mittaustiedon analysointi onnistuu PQNetin avulla. PQNet on selainpohjainen raportointi ja analysointisovellus sähköverkosta saadun mittaustiedon esittämiseen. Mittaustieto voidaan esittää käyttäjälle joko käyrä- tai taulukkomuodossa. Datan varsinaisen esittämisen lisäksi PQNet sisältää erilaisia raportointityökaluja ja mittauksen automaattista luokittelua. (SFS-EN 50160 -standardin mukainen PQNet-palvelun laaturaportti, ks. liite.)

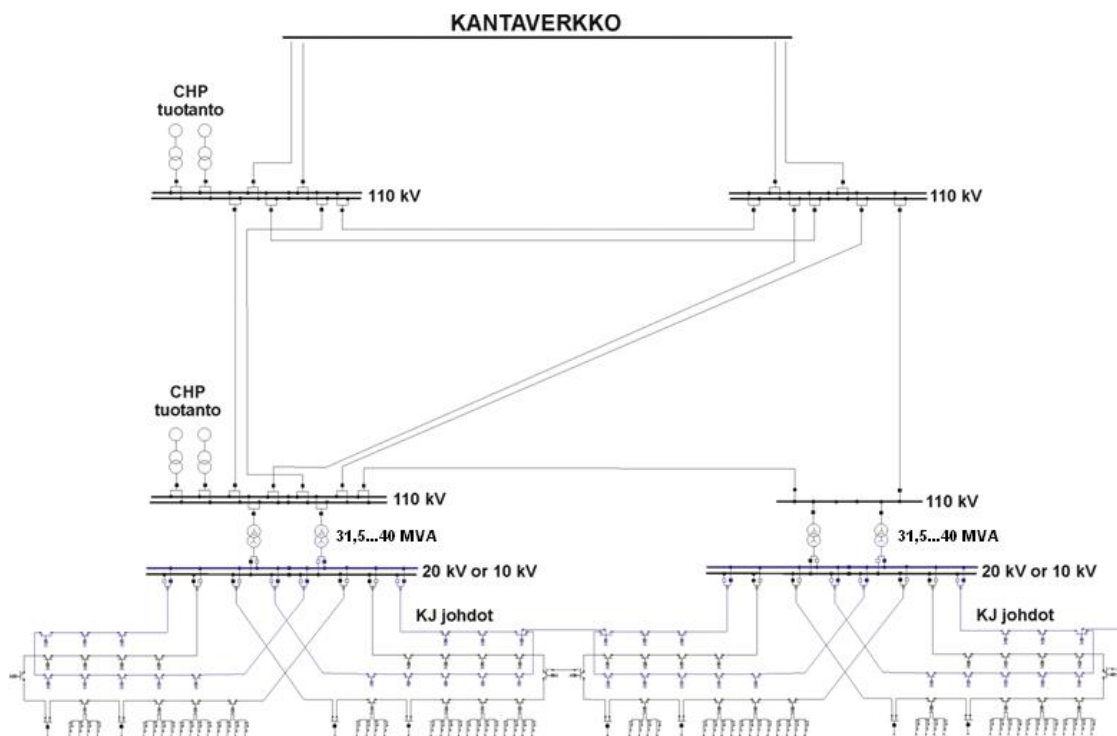
PQNetin PQDB-tietokannalla voidaan käsitellä mitattavia suureita, tapahtumatietoja sekä muita vapaasti valittavia teksti- tai lukematietoja. Uusia mittareita voidaan liittää PQDB-mittaustietokannan rajapinnan kautta. PQNetin mittaustietokannan rakenteessa on panostettu nopeuteen, tietoturvaan ja erilaisten tietojen käsittelyyn. Rakenne on suunniteltu suuren tietomäärän pitkäaikaiseen varastointiin. [15.]

## **8 Case Helsingin Sähköverkko Oy**

Helen Sähköverkko Oy (HSV) on Helen-konsernin tytäryhtiö ja yksi konsernin pääliiketoiminta-alueista. HSV vastaa sähkönsiirrosta ja sähköverkon hallinnasta Helsingin kaupungin alueella. Sen tehtäviin kuuluu ylläpitää ja kehittää vastuualueensa sähköverkkoa ja tarjota asiakkaille sekä muille sähkömarkkinaosapuolille hyvälaatuinen verkopalvelu ja edistysellinen markkinapaikka. Yhtiö ylläpitää ja kehittää verkkoaan kuluksen ja tuotannon tarpeita vastaaviksi. [16.] Tässä tapaustutkimuksessa tarkasteltiin HSV:n saamia hyötyjä Netcon 100:lla suoritetuista mittauksista.

### **8.1 Sähköverkon rakenne**

Helen Sähköverkko Oy:n sähköverkko koostuu 110 kV:n verkosta, sähköasemista, 10 kV:n ja 20 kV:n keskijänniteverkoista, muuntamoista, jakokaapeista ja pienjännitejohtoista. 110 kV:n verkko on yhteydessä kantaverkkoon, ja siihen on myös liitetty Helsingin alueella olevat voimalaitokset. 110 kV:n johdot syöttävät sähköasemia, jotka puolestaan syöttävät keskijännitejohtoja. Kuvassa 10 (ks. seur. s.) havainnollistetaan sähköverkon rakennetta:



Kuva 10. Sähköverkon rakenne Helsingissä

HSV:n keskijänniteverkko on rakennettu rengasmaiseksi sähköasemalta katsottuna niin, että minkään yksittäisen johdon vioittuminen katkaisee sähkönsiirtoa. Rengasverkko muodostuu yleensä yhdestä tai useammasta johtolähdöstä ja sähköaseman kiskoston eri ryhmistä. Ryhmiä syötetään eri päämuuntajilla, jolloin vikatilanteessa renkaan osat ovat korvattavissa. Sähköasemien ja keskijännitejohtojen normaali käyttötapa on niin sanottu kiskokäyttö. Keskijännitesilmukan molemmat päät ovat samalla kiskolla, joten normaalit jakorajakytkennät voidaan tehdä turvallisesti yhden päämuuntajan syötäessä. Silmukoinnilla parannetaan verkon käyttövarmuutta erilaisissa vika- ja huoltotilanteissa. Rengasyhteyden rakentaminen on erityisen kannattavaa maakaapeliverkossa, koska kaapeleiden korjaaminen on hidasta. [17.]

## 8.2 HSV:n verkostoautomaatio ja vianpaikannus

Helen Sähköverkko Oy on edelläkävijä muuntamoiden automaattisen valvonnan käyttöönottajana. Muualla Euroopassa ei ole vielä toteutettu yhtä laajaa sähköverkon valvonnan automatisointia. Jo 260 Helsingin sähköverkon muuntamoita valvotaan ja niiden häiriöt hoidetaan kauko-ohjauksella valvomosta. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin vikojen yllättäessä.



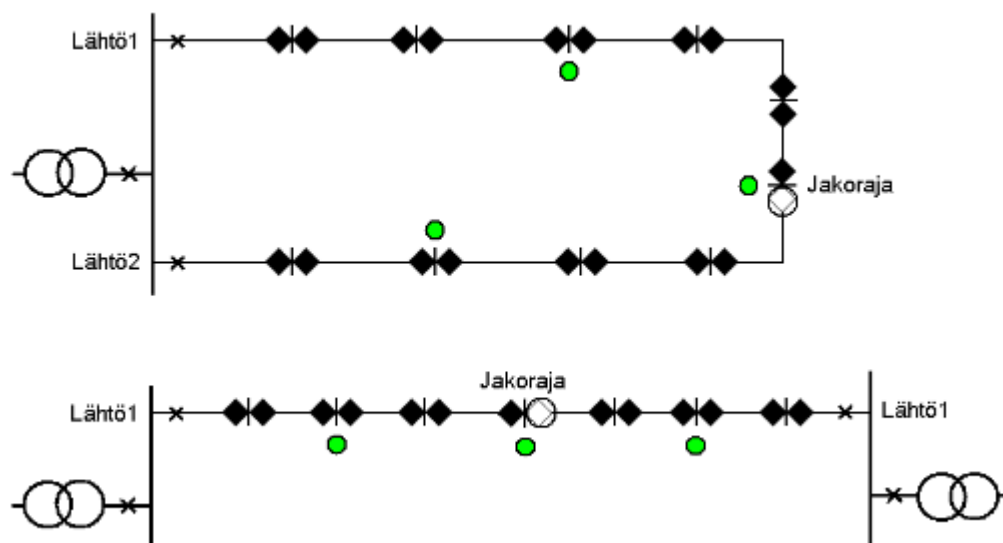
Automatisoinnin tavoitteena on sähkön jakeluhäiriöiden minimointi ja mahdollisten keskojen lyhentäminen. Helsingissä jakeluverkko on pääasiassa maan alla kulkevana kaapelina, joten vikapaikan löytäminen on hankalaa ilman toimivaa valvontajärjestelmää. Sähkönkäyttäjille aiheutuvista keskeytyksistä yli 90 % johtuu tavallisimmin keskijänniteverkon vioista. Sähkönkäyttäjät odottavat lähes keskeytymätöntä sähkön toimitusta ja tämän vuoksi jakeluverkkoyhtiöt pyrkivätkin vähentämään keskeytysaikoja.

Helsingissä sähköverkon vioista kaksi kolmasosaa johtuu maasulkuvioista. Toiseksi suurin ongelma ovat oikosulkuviat. Vianpaikannus on hoidettu HSV:llä täysin vikaindikoinnin avulla. Indikoinnin avulla havaitaan niin maasulkuviat kuin oikosulkuviatkin, joista tulee ilmoitus käyttökeskukseen.

Verkostoautomaatio tuo hyötyjä maasulkuvian paikantamiseen. Maasulkuhälytykset saadaan suoraan käyttökeskukseen, jonka seurauksena vianpaikannus nopeutuu. Kaukokäytettävät erottimet nopeuttavat verkkokytkentöjä, jolloin sähkönjakelun palautukset saadaan tehtyä nopeammin rengasverkon ansiosta.

Kauko-ohjattavia erottimia ja vikailmaisimia on sijoitettu lähtöjen ja jakorajojen puoliväliin sekä sähköasemien välisiin johtolähtöjen jakorajoihin (kuva 11, ks. seur. s.). Kaukokäytöllä sähköasemien välinen syöttö voidaan jakaa vyöhykkeisiin, ja näin vioittunut vyöhyke saadaan erotettua.

Maasulun syntyessä vikailmaisin havahtuu ja indikoi maasulkua, kun maasulku on automatisoidun muuntamon jälkeisellä osuudella. Hälytys maasulusta tulee käyttökeskukseen SCADA-järjestelmään ja DMS-käyttötukijärjestelmään. Järjestelmä ilmoittaa myös maasulkuvirran arvon. Hälytysten perusteella pystytään rajaamaan vikapaikkaa tarkemmin tietyille erotinvälille.



Kuva 11. Muuntamoautomaation sijoitus sähköverkossa

Sähkösäemalla sijaitsevat oikosulkusuojat laukaisevat vikaantuneen johtolähdön oikosulkuviassa. Valvomo saa tiedon vikaantuneesta johtolähdöstä suojarieleeltä. Vikaantunut johto-osa paikannetaan automaation avulla samalla tavalla haarukoiden kuin maasulkutapauksissa.

HSV:n verkostoautomaatiojärjestelmä koostuu kaukovalvonnasta ja -ohjauksesta. Kaukokäytettävistä kohteista mittaus- ja hälytystiedot siirretään GPRS:n avulla valvomoon. Kauko-ohjaukset voidaan tehdä valvomosta käsin. Järjestelmässä ei ole hyödynnetty automaattisia kytkentöjä, jotka tapahtuisivat automaattisesti automaatiolaitteiden toimesta. Tätä verkostoautomaatoratkaisua sanotaankin keskitetyksi automaatiojärjestelmäksi.

HSV:n verkostoautomaatiojärjestelmä käsittää SCADA-liitännän, viestiliikenteen laitteiden, muuntamoiden valvonta- ja vikapaikannuslaitteet sekä mittautietokannan ja sähkön laadun raportoinnin. Järjestelmän toimittaa Netcontrol Oy. Mittautietokannan ja sähkön laadun raportointiohjelmiston toteuttaa PowerQ Oy ja monitorointi- ja vianpaikannustekniikan toimittaa Vamp Oy.

HSV:llä on nykyisin käytössä 30 Netcon 100 -järjestelmää. Netcon 100 auttaa entisestään jo hyvin hoidettua vianhallintaa. Netcon 100:n ansiosta parantunut kaukokäytön

hallinta auttaa verkon hallinnassa ja näin koko verkon käyttövarmuus paranee. Järjestelmä valvoo jatkuvasti käyttäjien asettelemia rajoja eri mittauksille, jolloin sähkön laatu ja häiriöiden vaikutus sähkön laatuun on helposti seurattavissa. PowerQ:n PQNet-järjestelmän web-käyttöliittymä mahdollistaa sähkön laatuun liittyvän tiedon jakamisen tehokkaasti organisaatiossa. [18.]

### 8.3 Netcon 100:sta saadut hyödyt

Verkostoautomaation hankintaan on kaksi pääsyötä: automatisoinnista saadaan kustannussäästöjä ja verkon automatisointi kohentaa verkon käytettävyyttä parantamalla käyttöastetta ja lisäämällä luotettavuutta. Kaukovalvonnan ja kaukokäytön tärkeimmät perusteet ovat vianpaikannustietojen, kuten oikosulku- ja maasulkuvikojen paikannustietojen, saaminen kaukokäyttö- ja/tai käytöntukijärjestelmään ja ohjausten suorittaminen kaukokäyttöisesti. Kun vianpaikannustiedot saadaan suoraan käytöntukijärjestelmään, nopeutuu häiriön tunnistus ja rajaaminen, minkä seurauksesta myös kuluttajien sähkönjakelu voidaan palauttaa nopeammin.

Siirron [19] mukaan HSV:llä on jo käytössään suhteessa Suomen laajin automatisoitu sähköverkko. Netcon 100:sta saadut mittaustulokset ovat helpottaneet muuntajien kunnossapitoa ja selkeyttäneet konkreettiset muuntajien vaihdon tarpeet. Ilman Netcon 100:sta saatuja mittaustuloksia, muuntajia olisi käytetty pidempään. Myös normaalissa verkon käyttötoiminnassa ja kunnossapitotoimissa Netcon 100:sta saadut mittaukset antavat varmuutta käytön suunnittelussa sekä poikkeuskytkentöjen tekemisessä.

Kattavien tietoliikenneominaisuuksien ansiosta jo hyvää kaukokäyttöyhteyttä on pystytty parantamaan entisestään. Verkon keskimääräinen keskeytysaika (T-SAIDI) on pystytty puolittamaan vuodesta 2009, kompensoinnin ja kehittyneiden vianpaikannusmenetelmien avulla. Kompensoinnin myötä maasulkuvirtojen pienet ja katkeilevat virrat ovat hankalasti havaittavissa, ja tähän Netcon 100:n tarkat mittauseräominaisuudet pystyvät reagoimaan.

Tulevaisuudessa mittaustarpeet tulevat entisestään lisääntymään jolloin Netcon 100:aa pystytään hyödyntämään monipuolisemmin hyvien mittauskapasiteettien sekä monien mittaustulojen avulla. Mahdollisuus etänä tehtävään konfigurointiin sekä päivityksiin on tärkeä ominaisuus muuttuvan verkon kannalta. Mahdolliset muutokset pystytään näin

hoitamaan valvomosta käsin, jolloin muutoksien käyttöönotto nopeutuu ja on helpompaa. [18.]

## 9 Case Vantaan Sähköverkot Oy

Vantaan Energia -konserniin kuuluva Vantaan Energia Sähköverkot Oy (VES) vastaa Vantaalla sähkönsiirrosta, sähköverkon kunnosta ja sähkön laadusta. Vantaan Energia Oy on yksi Suomen suurimmista kaupunkienergiayhtiöistä. Yhtiön omistavat Vantaan (60 %) ja Helsingin (40 %) kaupungit. Tässä tapaustutkimuksessa tarkasteltiin VES:n näkemyksiä Netcon 100 -järjestelmästä.

Yhtiöllä on noin 108 000 sähkönsiirtoasiakasta, jotka koostuvat kotitalouksista, yrityksistä ja yhteisöistä. Sähkönjakeluverkon pituus on yhteensä noin 3 200 kilometriä, josta yli 80 prosenttia on kaapeloitu maan alle. Keskimääräinen sähkön keskeytysaika yhtiön asiakkaalle vuonna 2012 oli noin 5,5 minuuttia, ja keskeytyksiä tuli jokaista asiakasta kohden 0,21 kappaletta. [20.]

VES:n verkostoautomaatio ja vianpaikannus

Vantaan Energia Sähköverkot Oy:llä on käytännössä ainoastaan sähköasemat varustettu automatisoinnilla. Muutamassa muuntamossa on käytössä kauko-ohjattavat erottimet, jotka on toteutettu vanhemmalla tekniikalla. Nyt VES:lla on käytössään viisi Netcon 100 -järjestelmää, joiden avulla testataan järjestelmän toimivuutta ennen laajempaa muuntamotason automatisointia.

VES:lla ei ole ollut aikaisemmin käytössä vikavirtaindikoitinta eikä ohjauksia muuntamotasolla. Tällä pilottiprojektilla onkin tavoitteena vika-aikojen pienentäminen sekä vika- paikkojen tarkan sijainnin määrittäminen. Nykyään jakeluverkon vikatilanteissa joudutaan ajamaan autolla vikaantuneen johdon luokse ja tekemään paikanpäällä tarvittavat toimenpiteet sähkökatkon korjaamiseksi.

Tellan mukaan Netcon 100 -järjestelmän avulla toivotaan, että saadaan lisää tietoa aluksi kuormitusvirroista sekä sähkön laadun suureista. Myöhemmin, kun järjestelmä saadaan käyttöön laajemmin, mittaustietoa aletaan analysoida tarkemmin. Järjestel-

män käyttöönotto on sujunut normaalin tapaan, ja pääsyy Netcon 100:n hankintaan oli integroitu kokonaisuus sekä yhteensopivuus nykyisien komponenttien kanssa. [21.]

## **10 Mittaustiedon hyödyntäminen jakeluverkon valvonnassa ja suunnittelussa**

Tehonjakolaskenta on ollut yksi tärkeimmistä verkostosuunnittelun työkaluista. Se perustuu asiakkaiden vuosienergian pohjalta tehtyyn kuormituskäyrä perusteiseen tietokoneella tehtävään mallinnukseen. Kuormituskäyrät ovat asiakasryhmäkohtaisia tyyppikäyriä, jotka kuvaavat tehon keskimääräisiä arvoja tunneittain. Kuormituskäyräperusteisen tehonjakolaskennan ongelmana onkin se, etteivät kuormituskäyrät sovellu hyvin yksittäisen asiakkaan huipputehon määrittämiseen. Yksittäisen asiakkaan sähkön kulutus voi olla luonteeltaan hyvinkin vaihtelevaa ja epäsäännöllistä. Käytettäessä kuormituskäyriä tehonjakolaskennan lähtötietoina laskennan tulos vastaa todellista kulutusta sitä paremmin mitä suurempaa asiakasmäärää tarkastellaan kerrallaan.

Älykkäillä mittalaitteilla saadaan suuri määrä reaaliaikaista mittaustietoa muuntamoiden virroista, jännitteistä, kuormista, lämpötiloista, jne. Näitä tietoja voidaan käyttää mahdollisimman monipuolisesti hyödyksi. Tällä tavalla nähdään tarkkaa tietoa sähkön kulutuksesta, eikä tarvitse nojautua ainoastaan keskiarvoisiin kuormituskäyriin. PowerQ-yrityksen tarjoama PQNet-palvelu tarjoaa tietokannan kaikille muuntamoilta saataville mittausdatoille. Tietokannan avulla kaikki data on saatavilla analysoitavaksi. PQNet-palveluun saadaan laatumittareiden tiedon lisäksi liitettyä muuntamoiden laitteiden tapahtumat ja mittaukset.

Muuntamoilta kerätyt mittaukset mahdollistavat esimerkiksi ennustamaan muuntajan käyttöiän, joka tapahtuu seuraamalla muuntajan lämpötilan suhdetta kuormitusprosenttiin pitkällä aikavälillä. Kuormituksen mittaamisella voidaan myös ennakoida pidemmällä aikavälillä muuntamoiden lisäystarpeita. Jos muuntaja on jatkuvasti täydellä kuormalla tai lähellä sitä, johdolle pitäisi lisätä muuntaja tai vaihtaa nykyinen muuntaja suurempaan. Tilanteissa, joissa muuntajan lämpötila on usein lähellä hälytysrajaa, vaikka kuormitus muuntajalla olisi vähäistä, voidaan olettaa muuntajan olevan huollon tai vaihdon tarpeessa. Muuntajan kuormitukseen vaikuttavat lisäksi sähkön laadun suureet, esimerkiksi välkyntä, särö ja yliaallot. Kyseisiä sähkön laadun haittasuureita esiintyy usein kohteissa, joissa on paljon tietokoneita ja

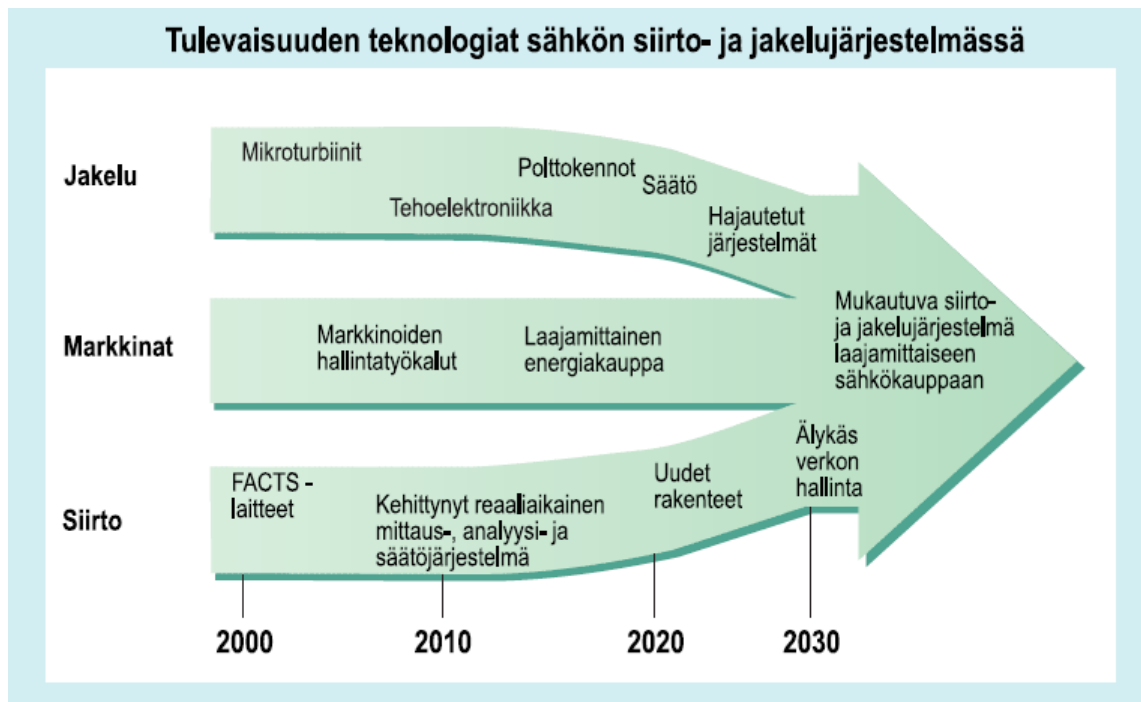
muuta epälineaarista kuormaa, mutta ei resistiivistä kuormaa. Yliaallot aiheuttavat muuntajissa ylimääräisiä häviöitä ja lisälämpenemistä, mitkä tulee ottaa huomioon muuntajan kuormituksissa.

Netcon 100:sta saatujen tarkkojen mittaustietojen avulla pystytään optimoimaan muuntamoinvestoinnit ja parantamaan käyttökeskeytysten hallintaa. KAH-arvoja pienentämällä jakeluverkkoyhtiöt saavuttavat säästöjä, joiden avulla pystytään kompensoimaan uusien laitteistojen investointia. Koska mittausdataa voidaan säilyttää rajaton määrä vuosikymmenienkin ajan, ja siitä on helppo kerätä tarvittavat tiedot, pystytään tulevaisuuden verkostosuunnitelmat tekemään tarkemmin ja kustannustehokkaammin.

Jakelujännitteen laadun hallintaa voidaan parantaa uuden sukupolven AMR-mittareilta saatavien jännitetietojen avulla. Ne mahdollistavat entistä kattavamman ja monipuolisemman kokonaiskuvan jännitteen laatuongelmista sähkönkäyttäjien liittymispisteissä. Ne mahdollistavat myös jännitteen laatua arvioitaessa asiakkaiden tasa-arvoisemman kohtelun. AMR-mittareilla ei voida kuitenkaan korvata jännitteen laatumittauksia, sillä AMR-mittarit eivät varsinaisesti ole jännitteen laatumittareita vaan ensisijaisesti energiamittareita.

## **11 Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet sähkön siirrossa ja jakelussa**

Sähkön siirto- ja jakeluverkkoa on Suomessa noin 380 000 km. Jännitetasot ovat 400 voltista 400 kilovolttiin. Verkon käyttöikä on normaalisti 40 - 50 vuotta, joten nyt tehtävät investoinnit ovat käytössä vielä tulevaisuudessakin. Tietoyhteiskunta edellyttää tulevaisuudessa entistä suurempaa joustavuutta ja luotettavuutta. Näihin haasteisiin voidaan vastata uusien teknologioiden, kuten tehoelektroniikkaan perustuvien laitteiden, ja paremman reaaliaikaisen valvonnan ja säädön avulla. Kuvassa 12 (ks. seur. s.) havainnollistetaan sähkön siirto- ja jakeluteknologian kehittymistä. [22, s. 23.]



Kuva 12. Sähkön siirto- ja jakeluteknologian kehittyminen

EU:n 2008 hyväksymässä ilmasto- ja energiapaketissa tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä vuoden 1990 tasoista vuoteen 2020 mennessä 20 prosentilla. Myös uusiutuvien energialähteiden osuus pyritään kasvattamaan 20 prosenttiin sekä energiatehokkuutta nostamaan 20 prosentilla. Suomen osalta uusiutuvan energialähteiden tavoite on 38 prosenttia. Tämä merkitsee hajautetun energiatuotannon huomattavaa kasvua nykyisestä. Tulevaisuudessa sähkön pienkuluttaja voi olla myös sähkön myyjä, joten sähkö siirtyy molempiin suuntiin, mikä taas vaatii jakeluverkolta enemmän.

Perinteinen verkko ei kykene kantamaan kasvavaa ja entistä monimuotoisempaa kuormaa. Vanhenevia verkkoja ja sähköasemia on uudistettava, jotta sähkön toimitusvarmuus pystytään takaamaan. Tulevaisuuden verkossa tieto ja sähkö kulkevat kulutuspiisteessä kahteen suuntaan. Älykkään järjestelmän avulla voidaan taata sähkönsiirron tehokkuus ja luotettavuus.

#### Älykkään sähköverkon tuomat mahdollisuudet

Kuluttajia voidaan auttaa hallitsemaan paremmin energiameinojaan uusilla energiapalveluilla, jotka mahdollistavat energiatehokkaamman kulutuksen ja auttavat kuluttajia tuottamaan itse sähköä omaan kulutukseen. Tulevaisuuden tekninen kehitys tukee tätä

suuntausta. Älykkäät mittausjärjestelmät sekä edistävät kuluttajien omaa mikrotuotantoa että auttavat vähentämään kotitalouksien energiankulutusta. Lisäksi älykkäät mittausjärjestelmät mahdollistavat energian kulutuksen reaaliaikaisen mukauttamisen markkinahintojen vaihteluun.

Edullisimman vaihtoehdon löytäminen voi tarkoittaa esimerkiksi energian toimittajan vaihtamista kustannusten vähentämiseksi tai palvelun laadun parantamiseksi. Se voi myös tarkoittaa sellaisen hinnoittelun valitsemista, joka kannustaa energiatehokkuuteen tai helpottaa omaa mikrotuotantoa. Kilpailuun perustuvilla markkinoilla kuluttajilla on monipuolisesti valinnanvaraa toimittajien pyrkiessä vastaamaan kuluttajien erilaisiin tarpeisiin ja mieltymyksiin. Jotkin energian toimittajat tavoittelevat hintatietoisia asiakkaita kilpailemalla kustannuksilla, kun taas toiset tarjoavat laadukasta palvelua tai lisäarvo- ja liitännäispalveluja tai jopa energiapalvelujen yhdistämistä muihin palveluihin.

Kuluttajille voidaan esimerkiksi antaa mahdollisuus hyötyä alhaisemmista hinnoista heikon kysynnän aikana välttämällä energian kulutusta kysynnän ollessa suurinta. Tämä on kuluttajien etujen mukaista ja laajentaa valinnanvaraa. Tällaisen palvelun tarjontaa edellyttää yrityksiltä paitsi kykyä ymmärtää erilaisia syitä kuluttajien käytökseen ja energian kulutukseen liittyviä valmiuksia, kuin myös monipuolisten, joustavien ja dynaamisten hinnoittelujärjestelmien saatavuutta.

## **12 Yhteenveto**

Netcon 100 -järjestelmän avulla jakeluverkkoyhtiöt pystyvät parantamaan sähkön laadun valvontaa sekä verkon kaukokäytönhallintaa myös muuntamotasolla. Järjestelmästä saatava hyöty vaihtelee jakeluverkkoyhtiöiden jo olemassa olevasta automatisoinnin tilasta sekä verkon rakenteen takia. Järjestelmän helppo asennettavuus sekä integroitu kokonaisuus helpottavat Netcon 100:n käyttöönottoa ja sulautumista jo käytössä olevaan kokonaisuuteen.

Saaduilla mittaustiedoilla pystytään valvomaan muuntajien kuntoa tarkasti ja optimoimaan mahdolliset muuntajien vaihdot sekä lisäykset. Myös kaapeleiden kuntoa ja niiden tilaa voidaan havainnollistaa mittauksien avulla. Näin kautta pystytään lisäämään sähköverkon luotettavuutta sekä parantamaan sähkön laatua. Muuntamoautomaation investoinnin kannattavuutta on vielä vaikea todeta vähäisien käyttökokemusten



vuoksi. Investointien kannattavuudessa tulee ottaa huomioon kuitenkin mahdolliset säästöt, joita saavutetaan muuntamoautomaatiolla KAH-arvossa verkon vikatilanteissa.

Järjestelmällä voidaan valvoa johtolähtöjen vikatietoja ja kauko-ohjata kytkinlaitteita. Näiden avulla vikojen havainnointi ja paikallistaminen nopeutuu, mikä taas vähentää keskeytyksien määriä sekä kestoja. Järjestelmän etähallinnointi auttaa varsinkin paikoissa joihin on hankala pääsy tai paikoissa, jotka sijaitsevat pitkien matkojen päässä. Näitä voivat olla kaupungin keskustoissa sijaitsevat muuntamot (liikenneuuhkat), suurlähetystöt (rajoitettu pääsy) ja maastollisesti hankalat paikat kuten saaret. Järjestelmän avulla erilaisia mitattavia suureita on lukuisia. Saatuihin mittaustuloksiin pitää perehtyä tarkemmin, jotta niitä voidaan hyödyntää verkon suunnittelussa.

Tulevaisuudessa sähköjakeluverkko on älykäs verkko, joka mahdollistaa nykyistä jakeluverkkoa monipuolisemman sekä tehokkaamman käytön. Jakeluverkkoyhtiöt ovat jo asentaneet AMR-mittalaitteet asiakkaille. Mittalaitteiden avulla saadaan selville tunti-kohtaiset kulutukset sekä jännitearvot. AMR-mittalaitteiden antamia arvoja ei kuitenkaan voida hyödyntää laatumittauksissa epätarkkojen tuloksien vuoksi. Tämän vuoksi jakeluverkkoyhtiöillä on tarve mitata ja hallita jakeluverkkoa myös muuntamotasolla. Nykyään monella jakeluverkkoyhtiöllä löytyy verkostoautomaatiota ainoastaan sähköasematasolla.

Vaikkakin tässä työssä tarkastelluissa kohteissa käyttökokemuksia Netcon 100:sta oli varsin vähän, voidaan todeta järjestelmästä olevan hyötyä sekä mittausteknisessä mielessä että kaukokäytön suhteen. Kehitettävää järjestelmässä on vielä alkavien maasulkujen eli ns. *transient*-virtojen havaitsemisessa. Varsinkin kompensoidussa maakaapeliverkossa maasulkuvirrat ovat niin pieniä, että niitä on teknisesti erittäin haasteellisia havaita.

## Lähteet

- 1 Netcontrol yhtiö. Verkkodokumentti. <<http://www.netcontrol.com/fin/tietoa-meistae/netcontrol-yhtioe/>>. Luettu 20.3.2013
- 2 Energiamarkkinavirasto. Verkkodokumentti. <<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/alasivu.asp?gid=27&languageid=246>>. Luettu 20.3.2013
- 3 Sähkömarkkinalaki. 386/1995. FINLEX - Valtion säädöstietopankki. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19950386>>. Luettu 22.3.2013.
- 4 Elovaara, Jarmo - Haarla Liisa. Sähköverkot 1, Järjestelmäteknikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto. 2011.
- 5 Alanen Raili – Hätönen Hannu. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>>. Luettu 28.5.2013.
- 6 Pikkarainen Marko. Muuttuneista kuormituksista aiheutuvat sähkön laadun ongelmat sekä niiden arviointi ja mittaaminen. Diplomityö. 2010.
- 7 Kärkkäinen Seppo, Koponen Pekka, Martikainen Antti & Pihala Hannu. Sähkön pienkuluttajien etäluettavan mittaroinnin tila ja luomat mahdollisuudet. VTT:n tutkimusraportti. 2006. Verkkodokumentti. <<http://www.tem.fi/files/16745/Raportti-lopullinen.pdf>>. Luettu 11.4.2013.
- 8 SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2010.
- 9 Adlux. Verkkodokumentti. <[http://www.adlux.fi/public/pdf/elektronisetliitantalaitteet\\_varina.pdf](http://www.adlux.fi/public/pdf/elektronisetliitantalaitteet_varina.pdf)>. Luettu 28.5.2013.
- 10 Energiateollisuus. Verkkodokumentti. <[http://energia.fi/sites/default/files/keskeytystilasto\\_2012.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/keskeytystilasto_2012.pdf)>. Luettu 25.5.2013
- 11 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. IEEE Std 1366. 2001 Edition. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- 12 Elovaara, Jarmo - Haarla Liisa. Sähköverkot 2, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto. 2011
- 13 Lakervi Erkki - Partanen Jarmo. Sähkönjakeluteknikka. Helsinki. Otatieto. 2009.

- 14 Netcontrol – Netcon 100. Verkkodokumentti.  
<<http://www.netcontrol.com/fin/tuottet/sahkoasema-automaatio/muuntamot/netcon-100/>>. Luettu 12.4.2013.
- 15 PowerQ. Verkkodokumentti. < <http://www.powerq.net/action/getNews>>. Luettu 28.5.
- 16 Helsingin energia verkkosivut. Verkkodokumentti.  
<<http://www.helen.fi/yritys/helen.html>>. Luettu 13.6.2013
- 17 Areva Nikolas. Maasulkuvian paikannus kompensoidussa keskijänniteverkossa. Insinöörityö. 2010
- 18 Hakala Sanna. Kaukokäytettävien kohteiden valinta Helsingin keskijänniteverkossa. Diplomityö. 2009
- 19 Siirto Osmo. Jakelupäällikkö, Helen. Haastattelu 27.6.2013.
- 20 Vantaan Energia verkkosivut. Verkkodokumentti.  
<<http://www.vantaanenergia.fi/fi/Sahko/SahkoverkotVantaalla/ves/Sivut/default.aspx>>. Luettu 23.8.2013
- 21 Tella Mikko. Yleissuunnittelija, Vantaan Energia Sähköverkot Oy. Sähköpostiviesti. 22.8.2013.
- 22 Suomen energiavisio 2030. Verkkodokumentti.  
<[http://www.vtt.fi/files/projects/energy\\_book\\_series/ev\\_2030\\_tiivistelma.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/energy_book_series/ev_2030_tiivistelma.pdf)>. Luettu 29.5.2013

## PowerQ:n esimerkkiraportti

Laaturaportti

<https://www.netiraportti.fi/PQRreport/PQRreport.aspx>

Page 1/4



### VOLTAGE CHARACTERISTICS Measurement Report

#### Measurement information

**Measurement location** Secondary substation 1234  
**Measured by**  
**Ordered by**  
**Distribution company**  
**Measurement period** 09.04.2012 00:00 - 15.04.2012 23:59  
**Purpose**  
**Metering device**  
**Short circuit current (A)** L1            L2            L3  
**Main fuse (A)**

#### Additional information

**Reported by**

**Date** 7.8.2013

**Signature**

\_\_\_\_\_

## PowerQ:n esimerkkiraportti

Laaturaportti

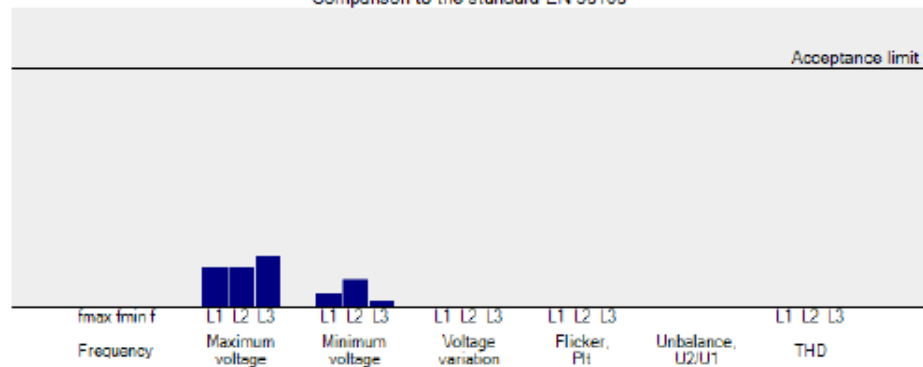
<https://www.nettiraportti.fi/PQRReport/PQRReport.aspx>

Summary - Page 2/4

### Quantities defined in the standard EN 50160

Quantity	ID	Acceptable limits	Acceptable percentage	Measurement procedure (std/non-std)	Measurement result	Assessment
Maximum frequency	fmax	52.0 Hz	0.0 %			
Minimum frequency	fmin	47.0 Hz	0.0 %			
Frequency	f	49.5 - 50.5 Hz	0.5 %			
Maximum voltage	Umax(L1)	253 V	0.0 %	std	234 V	
Maximum voltage	Umax(L2)	253 V	0.0 %	std	234 V	
Maximum voltage	Umax(L3)	253 V	0.0 %	std	235 V	
Minimum voltage	Umin(L1)	196 V	0.0 %	std	228 V	
Minimum voltage	Umin(L2)	196 V	0.0 %	std	226 V	
Minimum voltage	Umin(L3)	196 V	0.0 %	std	229 V	
Voltage level variation	U(L1)	207 - 253 V	5.0 %	std	0.0 %	Good
Voltage level variation	U(L2)	207 - 253 V	5.0 %	std	0.0 %	Good
Voltage level variation	U(L3)	207 - 253 V	5.0 %	std	0.0 %	Good
Total harmonic distortion	THD(L1)	8.0 %	5.0 %	std	0.0 %	Good
Total harmonic distortion	THD(L2)	8.0 %	5.0 %	std	0.0 %	Good
Total harmonic distortion	THD(L3)	8.0 %	5.0 %	std	0.0 %	Good

### Comparison to the standard EN 50160



## PowerQ:n esimerkkiraportti

Laaturaportti

<https://www.netiraportti.fi/PQReport/PQReport.aspx>

Voltage dips and distribution table - Page 3/4

### Voltage dips by phases (L1, L2, L3)

Voltage	<20 ms	20...<100 ms	100...<500 ms	0.5...<1 s	1...<3 s	3...<20 s	20...<60 s	1...<3 min	>=3 min
over 110 %	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0
90...85 %	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0
85...>70 %	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0
70...>40 %	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0
40...>10 %	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0
below 10 %	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0

### Distribution table

	f	U(L1)	U(L2)	U(L3)	THD(L1)	THD(L2)	THD(L3)
Unit	Hz	V	V	V	%	%	%
max	0.00	234	234	235	1.40	1.60	1.30
99%	0.00	234	233	235	1.40	1.50	1.20
95%	0.00	233	232	234	1.30	1.40	1.20
50%	0.00	231	229	231	1.10	1.20	1.00
5%	0.00	229	228	230	1.00	1.00	0.90
1%	0.00	228	227	229	1.00	1.00	0.90
min	0.00	228	226	229	1.00	1.00	0.80
Acceptable limits	+/-1%	+/-10%	+/-10%	+/-10%	8%	8%	8%
Perusarvo	50 Hz	230 V	230 V	230 V	230 V	230 V	230 V
Measurement procedure	Non-std	Std	Std	Std	Std	Std	Std
Measurement interval	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min
Standard interval	10 s	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min
Measurement period	3 d	3 d	3 d	3 d	3 d	3 d	3 d
Standard meas. period	365 d	7 d	7 d	7 d	7 d	7 d	7 d

## PowerQ:n esimerkkiraportti

Laaturaportti

<https://www.nettiraportti.fi/PQReport/PQReport.aspx>

Trend curves - Page 4/4

