



Antti Löppönen

Varmennetun sähköverkon selvitystyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
5.5.2011

Alkusanat

Insinööriyön laatiminen oli mielenkiintoinen prosessi. Uskon kehittäneeni paljon ammattiosaamistani ja luonnettani tätä työtä tehdessä. Itselleni sopii hyvin tämän tyyppinen laaja työ, jossa saa toteuttaa itseään ja luoda omia tavoitteita. Myös aikataulun laatiminen itselleni sopivaksi, loi lisää mielenkiintoa ja paineettomia kirjoitushetkiä, vaikka mieli toisinaan keväthangille tekikin.

Olen ollut tyytyväinen, että olen saanut tehdä työtä yhteiskunnallisesti merkittävässä kohteissa sekä nähnyt mielenkiintoisia järjestelmiä ja rakennuksia. Yhteistyö kaikkien insinööriyöhön liittyvien tahojen kanssa on ollut antoisaa.

Haluan kiittää työn aiheen antanutta Medifast-Tekniikka KY:tä ja työni ohjaajaa diplomi-insinööri Markku Lehmustoa. Haluan kiittää myös Metropolia-ammattikorkeakoulua ja työni valvojaa Matti Sundgreniä.

Suurimmat kiitokset kuuluvat perheelleni, ystäväilleni ja valmentajalleni siitä, että tuitte minua mahtavasti tämän kiireisen kevään aikana!

5.5.2011 Nummelassa

Antti Löppönen

Tekijä(t) Otsikko	Antti Löppönen Varmennetun sähköverkon selvitystyö
Sivumäärä Aika	35 sivua + 21 liitesivua 5.5.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Talotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennusten sähkö- ja tietotekniikka
Ohjaaja(t)	Markku Lehmusto, DI Matti Sundgren, lehtori
<p>Tämän insinööriytyön tavoitteena on kehittää työmenetelmä ja työkaluja varmenne- tun sähköverkon selvitystyötä varten. Tavoitteena on myös selvittää millainen var- mennetun sähköverkon tulisi nykyvaatimusten mukaan olla ja millaisia vaatimuksia siltä ja sen toiminnalta tänä päivänä vaaditaan.</p> <p>Työmenetelmän laatimisen apuna käytettiin kolmea referenssikohdetta pääkaupunki- seudulla. Kohteet olivat suuria ja yhteiskunnallisesti merkittäviä. Kohteissa tehtiin useita selvitystyötehtäviä ja mittauksia. Kirjallisen osion laadinnassa käytettiin lähde- kirjallisuutta ja kokemuseräistä tietoa.</p> <p>Insinööriytyö osoitti että varmennetut verkot ovat monimutkaisia järjestelmiä, ja ne on aina laadittu yksilöllisesti kunkin kiinteistön tarpeisiin. Haasteeksi muodostuu tä- ten se, että varmennetuilta sähköjärjestelmiltä vaaditaan aina luotettavuutta. Lisäksi varmennettuja verkko ei koskaan rakenneta turhaan, vaan niiden olemassa ololle on painavat syyt.</p> <p>Lopputuloksena saatiin neliportainen työmenetelmämalli, joka helpottaa työn teke- mistä ja organisointia. Konkreettisenä tuloksena työstä saatiin prosessilomake, toi- mintamalli ja analysointiohjeita.</p>	
Avainsanat	varavoimakone, sähkökatkos, selvitystyö, varmennettu verkko

Author(s) Title	Antti Löppönen Reserve electrical network analysis work
Number of Pages Date	32 pages + 7 appendices 2 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	Electrical Engineering for Building Services
Instructor(s)	Markku Lehmusto, Master of Science Matti Sundgren, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to develop a method for the analysis of reserve electrical networks. The aim was to develop an operating model, and create tools for the method. The aim was also to decide what is required of a reserve electrical network, and what kinds of requirements are sought.</p> <p>The final year project was based on both source literature and profound experience. To create a method for the analysis, three example buildings were studied. The studied buildings were large and nationally significant, located in the Metropolitan area.</p> <p>This project proves that the reserve electrical systems are complicated. But they are also very important and it is absolutely paramount that they are reliable. As a result of the final year project, a four-step work method was created. The method makes the task easier to perform and organise. The method includes a process form, operational model and instructions for analysis.</p>	
Keywords	blackout, reserve power, standby power plant, reserve electrical network

Lyhenteitä ja käsitteitä

AJK	Aikajälleenkytkentä vastaa toiminnallaan pikajälleenkytkentää mutta toiminta-aika on 1–3 sekuntia jännitteen katoamisesta.
AMCMK	Lyijytön, PVC-eristeinen ja PVC-vaippainen kaapeli, jossa on kerratut sektorimaiset alumiinijohtimet.
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i> . Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
EN	<i>European Standard</i> . Eurooppalainen standardi, joka on laadittu joko CENissä, CENELECissä tai ETSI:ssä.
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> . Matkapuhelinjärjestelmä, jota käytetään maailmanlaajuisesti.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> . Suuntaajatekniikassa yleisesti käytetty tehopuolijohde.
I_n	Nimellisvirta
IP	<i>International Protection</i> . IP-luokitusjärjestelmä on Euroopassa käytössä oleva järjestelmä sähkölaitteiden tiiviyyden määrittämiseksi.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> . Kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
kVA	Kilovolttiampeeri on näennäistehon yksikkö.
LVISA	Lämpö Vesi Ilma Sähkö Automaatio. Yleisesti voidaan puhua talotekniikasta.
MCMK	Lyijytön, PVC-eristeinen ja PVC-vaippainen kaapeli, jossa on kerratut sektorimaiset tai pyöreät kuparijohtimet.
mm^2	Neliömillimetri, käytetään kaapeleiden poikkipinta-aloja määriteltäessä.
N	Nollajohdin
PE	Suojamaadoitusjohdin

PJK	Pikajälleenkytkentä on esimerkiksi syöttöjohtoa syöttävän katkaisijan laukeamista vian seurauksena ja automaattista kiinniohjautumista n. 0,3 sekunnin kuluttua jännitteen katoamisesta.
PK	Pääkeskus
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry on suomalainen standardisoinnin keskusjärjestö.
TN-C	Nelijohdinjärjestelmä
TN-S	Viisijohdinjärjestelmä
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> . Järjestelmä tai laite, jonka tehtävä on taata tasainen ja katkoton virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa.
VVPK	Varavoimapääkeskus

Sisällys

Lyhenteitä ja käsitteitä

1	Johdanto	1
2	Varmennetun verkon vaatimukset	3
2.1	Sähköjakeluhäiriöt Suomessa	3
2.2	Kiinteistöjen vaatimukset	5
2.3	Määräysten mukaiset vaatimukset	6
2.4	Varmennusajan määrittäminen	7
3	Varmennetun verkon rakenne	8
3.1	Toiminta	9
3.2	Varavoimaryhmäkeskukset	11
3.3	Maadoitus	11
3.4	Suojaus	13
3.5	Mitoitus	14
3.6	Katkottoman syötön toteutus	15
3.7	Redundanttisuus	15
4	Varmennetun verkon kuormat	15
4.1	Kuormien erityispiirteet	16
4.2	Kuormien aiheuttamat häiriöt	16
4.3	Kuormien vaikutus mitoitukseen	17
5	Varmennetun verkon komponentit	17
5.1	Keskukset	17
5.2	Katkaisijat ja kontaktorit	18
5.3	Kaapelointi	19
6	Varmennetun verkon tehonsyöttö	19
6.1	Varavoimakone	19
6.2	UPS-laitteet	20
7	Varmennetun verkon selvitystyö	22
7.1	Työmenetelmän kehittäminen	23

7.2	Henkilöstö	23
8	Varmennetun verkon selvitystyön työmenetelmä	24
8.1	Lähtökohdat ja tavoitteet	24
8.1.1	Lähtökohdat	24
8.1.2	Tavoitteet	24
8.1.3	Henkilöihin tutustuminen	25
8.1.4	Dokumenttien hankkiminen	26
8.2	Kohteen ja dokumenttien selvitystyö	26
8.2.1	Henkilöihin haastattelu	26
8.1.1	Dokumenttien tutkiminen	26
8.1.2	Fyysinen selvitystyö	27
8.2	Mittaukset ja analysointi	28
8.2.1	Kuormituksen mittaus	30
8.2.2	Häiriöiden mittaus	31
8.2.3	Sähkön laadun vertaaminen standardiin EN 50160	31
8.2.4	Mittaustulosten analysointi	32
8.3	Lopputulokset ja toimenpiteet	33
9	Esimerkkikohteiden malliraportit	34
9.1	Espoossa sijaitseva toimistorakennus	34
9.2	Suuri hotellikiinteistö meren äärellä	35
9.3	Kansallisesti merkittävä kulttuurirakennus Helsingissä	35
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite 1. Varmennetun verkon perusrakenteen mallikaavio	
	Liite 2. Esimerkkikaavio sähköverkkojen jaosta	
	Liite 3. Standardin EN 50160 mukaiset laatuksiteerit sähkönlaadulle	
	Liite 4. Espoolaisen toimistorakennuksen selvitystyöraportti	
	Liite 5. Suuren hotellikiinteistön selvitystyöraportti	
	Liite 6. Kansallisesti merkittävän kulttuurirakennuksen selvitystyöraportti	
	Liite 7. Kansallisesti merkittävän kulttuurirakennuksen prosessilomake	

1 Johdanto

Nyky-yhteiskunnassa on tullut entistä tärkeämmäksi varmentaa yhteiskunnallinen ja elinkeinoelämän häiriötön toiminta. Vierailimme päivittäin rakennuksissa, joiden toiminta on jatkuvaa, ja mahdolliset häiriötilanteet rakennuksen toiminnoissa aiheuttavat suuria taloudellisia tappioita ja jopa inhimillistä kärsimystä. Yhteiskunnallisten toimintojen säilyminen kriisi- ja erikoistilanteissa on ensiarvoisen tärkeää. Edellytyksenä tälle on sähkönsyötön turvaaminen. Sähkön syötön katketessa kaikki pysähtyy. Useissa kiinteistöissä varmennettu sähkönsyöttö onkin viranomaisten määräysten vaatimaa. Kuitenkin on yhä enemmän tahoja, jotka vaativat katkottoman sähkönsyötön taloudellisista syistä, koska usein on liian kallista antaa toiminnan keskeytyä.

Yhteiskunta ja sen tärkeät toiminnot perustuvat yhä enemmän sähkön ja tietotekniikan varaan. Tekniikan kehittyessä järjestelmät laajeneva ja monimutkaistuvat. Järjestelmiä integroidaan yhteen ja niistä otetaan maksimaalinen hyöty irti. Pitkän kokemuksen osaajat ovat jäämässä eläkkeelle, ja pian alkaa olla kiire siirtää tietotaitoa tuleville sukupolville.

Nykyisin kiinteistöjämme kuitenkin korjataan ja remontoidaan nopealla vauhdilla. Olemme saaneet lukea, että työn alle on tulossa isoja yhteiskunnallisesti tärkeitä kohteita. Usein remontin yhteydessä tehdään hyvinkin laajoja laajennuksia ja muutoksia. Usein nämä muutokset koskevat sähköjärjestelmiä ja siten myös varmennettuja verkkoja. Suomessa on urakointipuolella aina pyritty tarkkuuteen ja huolellisuuteen, ja siinä on uusien kohteiden osalta hyvin onnistuttu. Kiinteistön vanhetessa ehditään siihen tekemään vuosikymmenten kuluessa useita muutoksia, joiden dokumentointi on usein vajavaista. Kun kiinteistöä aletaan remontoida, tullaan usein tilanteeseen, jossa varmennetun verkon osalta vaaditaan selvitystyötä, joka helpottaa sähkösuunnittelua.

Vaikka saneerausta ei suoritettaisikaan, on rakennuksen tehokkaan käytön kannalta usein tärkeää tietää, miten varmennettu verkko kiinteistössä on toteutettu ja mitä kuormia siihen sisältyy. Tämä tieto on tärkeää mm. silloin kun tulee tarve tietää, voidaananko varmennettuun verkkoon lisätä kuormia ja kuinka paljon.

Usein joudutaan toteamaan, että generaattorisytöllä varmennetun verkon syöttämät laitteet eivät toimi oikein tai ne ovat rikkoutuneet. Tällöin varmennetulle verkolle ja sitä

syöttävälle varavoimakoneelle on suoritettava sähkölaadun analyysseja ja muita mittauksia. Mittaustulokset voivat johtaa varavoimalaitoksen korjaamiseen tai pahimmassa tapauksessa koko laitteiston uusimiseen.

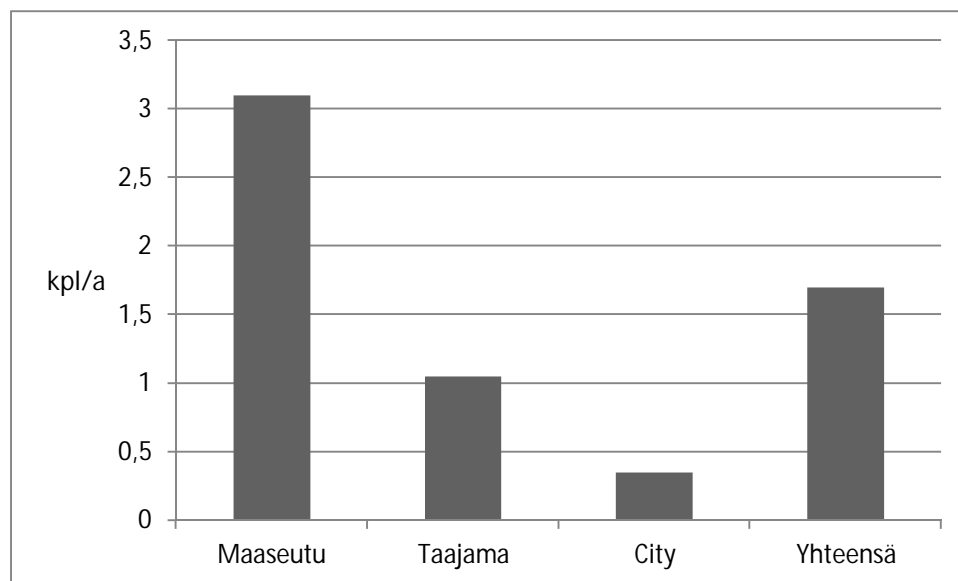
Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää, millainen varmennetun verkon tulisi määräysten ja asiakkaiden tarpeiden mukaan nykyään olla. Lisäksi tutustutaan siihen, millaisten vaatimusten mukaan varmennetut verkot rakennettiin kymmeniä vuosia sitten. Pää tavoitteena on kehittää selvitystyön tekijälle keinoja ja työkaluja varmennetun verkon selvitykseen, vianhakuun ja analysointiin. Lisäksi luodaan toimintatapoja ja malleja varmennetun verkon selvitystyön tekemiseen. Selvitystyömenetelmän kehittämisen apuna käytetään kolmea referenssikohdetta pääkaupunkiseudulla.

2 Varmennetun verkon vaatimukset

2.1 Sähkönjakeluhäiriöt Suomessa

Suomessa sähkönjakeluverkko on luotettava, ja sen toiminta on laadukasta ja hyvää. Suomessa sähköverkon kantaverkon ylläpitämisestä ja kehittämisestä vastaa Fingrid, jonka vastuulla on kantaverkon käytön suunnittelu, valvonta sekä verkon ylläpito ja kehittäminen (5).

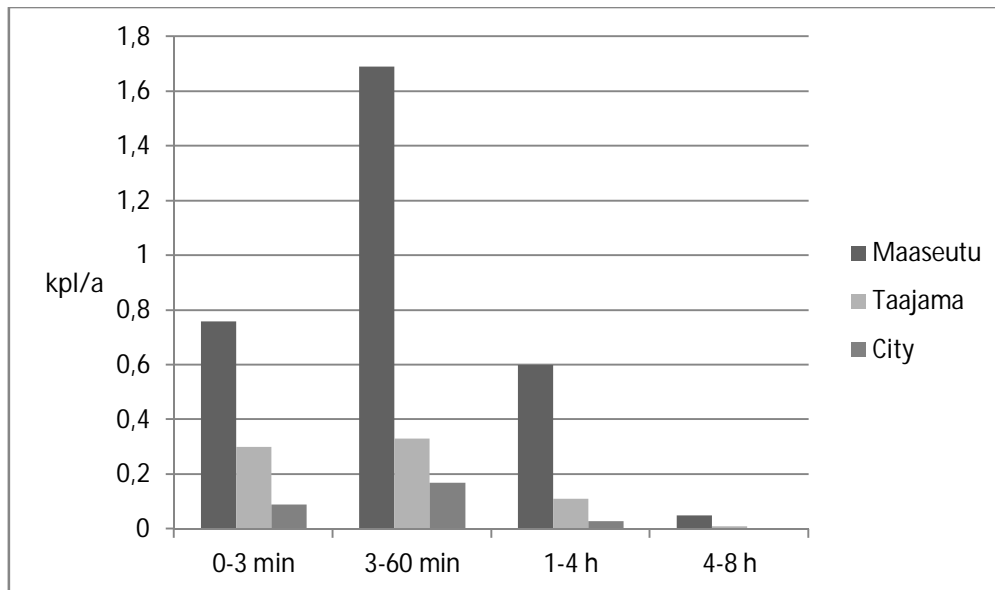
Suomessa sähkönjakeluhäiriöt ovat harvinaisia ja usein myös lyhytkestoisia, sillä ne johtuvat lähinnä satunnaisista luonnonvoimien aiheuttamista häiriöistä, kuten myrskytuhoista. Kaupungeissa siirtolinjat on toteutettu pääasiassa maakaapeleilla (2, s. 7), ja tästä johtuen kaupungissa tapahtuvat sähkönjakeluhäiriöt ovat erittäin harvinaisia (kuva 1). Juuri luonnonilmiöistä johtuen maaseudulla jakelukeskeytyksiä on lähes 6 kertaa enemmän. Yleisimmät jakeluhäiriöiden syyt ovat lumen, tuulen ja ukkosen aiheuttamat häiriöt.



Kuva 1. Keskeytysten keskimääräinen lukumäärä asiakkaalla vuodessa kpl/a (1, s. 4)

Tavallisimmin sähkökatko on ohi ennen kuin sitä edes huomaa. Yleisimmät jakelukeskeytysten pituudet ovat alle tunnin mittaisia (kuva 2). Maaseudulla nähdään joskus pitkiäkin jakelukeskeytyksiä, mutta nämä koskevat usein vain harvoja asiakkaita, jotka yleensä sijaitsevat pitkien ja vaikeiden siirtomatkojen päässä. Tämäntyylisissä paikoissa

harvemmin sijaitsee merkittäviä kohteita, esimerkiksi sairaaloita tai pankkeja, joiden sähkösaanti pitäisi varmentaa.



Kuva 2. Keskeytykseen osallistuneiden käyttöpaikkojen lukumäärä jaettuna ko. verkon (maaseutu, taajama, city) käyttöpaikkamäärällä (1, s. 8).

Lyhin sähköjakelun katkos on ns. pikajälleenkytkentä (PJK), joka tarkoittaa johtoa syöttävän katkaisijan laukeamista vian seurauksena ja automaattista kiinniohjautumista n. 0,3 sekunnin eli 300 ms:n kuluttua jännitteen katoamisesta. Pidempi jälleenkytkentä on aikajälleenkytkentä (AJK), joka vastaa pikajälleenkytkentää mutta jonka toiminta-ikä on 1–3 sekuntia (3, s. 14). Nämä ovat jakeluverkon automaattisia korjaustoimintoja. Keskeytystilastoista voidaan todeta se, että jälleenkytkennät selvittävät huomattavan osan sähköjakeluverkon vioista, varsinkin kun tiedetään, että kaupungeissa sähköjakeluhäiriöt ovat harvinaisia ja niitä on määrällisesti vähemmän (taulukko 1).

Taulukko 1. Pika- ja aikajälleenkytkentöjen selvittämät viat kaikista vikakeskeytyksistä (1, s. 15).

	Maaseutu	Taajama	City
PJK:n selvittämät viat	61 %	57 %	25 %
AJK:n selvittämät viat	20 %	19 %	22 %
Pitkät keskeytykset	19 %	25 %	53 %

Vaikka kantaverkko ja alueelliset jakeluverkot ovat luotettavia sähkötoimittajia, sattuu pääkaupunkiseudulla silloin tällöin pitkiäkin sähkökatkoja, taajamista ja maaseuduista puhumattakaan. Vuonna 2003 Helsingissä tapahtui laajamittainen sähkökatkos, joka

aiheutti mittavia vahinkoja, mm. vaikutti hätäkeskuksen ja monien muiden tärkeiden laitosten toimintaan (2, s. 46).

Tällaisten tilanteiden varalle tarvitaan toimintavarmoja sähkön syötön varmennusjärjestelmiä, jotka antavat kiinteistön toiminnoille sähköenergiaa erikoistilanteissa. Tietotekniikan yleistyessä myös lyhyet sähkökatkot vaativat myös varmennusta, koska tietokoneet ja palvelimet eivät saa menettää sähkötehoa hetkeksikään. Usein tietotekniikan ja vastaavien laitteiden varmennus on toteutettu UPS-järjestelmillä, jotka tarjoavat katkottoman sähkönsyötön 10–60 minuuttiin asti.

Yleisimmin sähköjakelu on varmennettu sairaaloissa, hotelleissa, kauppakeskuksissa, valtion virastoissa, puolustusvoimien kohteissa, väestönsuojissa, voimalaitoksissa ja suurten yritysten kiinteistöissä. Näissä tiloissa sähköjakeluhäiriöistä aiheutuu mittavia taloudellisia tai henkilöturvallisuuteen liittyviä vahinkoja, ja siksi sähkösaanti on varmistettava kaikissa olosuhteissa.

Kiinteistön sähköverkon huoltotoimenpiteistä aiheutuu myös usein sähköjakeluhäiriöitä. Muuntajapuhdistus joka joudutaan suorittamaan 3–5 vuoden välein, aiheuttaa kiinteistöön 3–6 tunnin sähkökatkon. Jos kiinteistössä ei ole rengassyöttöä, joudutaan kiinteistön sähköverkkoa syöttämään varavoimakoneella. Samanlainen tilanne voi tulla keskuksen muutostöiden yhteydessä.

2.2 Kiinteistöjen vaatimukset

Varmennetuilta verkoilta odotetaan aina täydellistä toimintavarmuutta, ja tämä on varmennettujen järjestelmien peruseriaatteena kunnossapidossa ja suunnittelussa. Kiinteistöstä ja sen toiminnoista usein riippuu, millaisia vaatimuksia siltä vaaditaan. Pankeissa vaatimukset ovat erilaiset kuin esimerkiksi tuotantolaitoksissa.

Tietotekniikan räjähdysmäinen yleistyminen on luonut viime vuosikymmeninä valtavia paineita rakentaa hyvin luotettavia varmennettuja verkkoja. Nämä verkot toimivat lähes aina yhteistyössä UPS-laitteiden kanssa. Sairaaloissa, hotelleissa ja puolustusvoimien kohteissa intressit sähkönsyötön turvaamiseen ovat olleet jo pidempään, koska syyt varmennukseen ovat olleet erilaiset, mm. valaistus.

Suunnittelun tärkeimpänä lähtökohtana on varmennustason valinta ja tarpeiden määrittäminen (3, s. 27). Halutaanko sähkönsyötön olevan katkotonta, vai riittääkö katkollinen syötönvaihto? Kuinka pitkäksi ajaksi halutaan tehonsyötön riittävän ja kuinka paljon tehoa varmennettuun verkkoon voidaan liittää? Nämä kaikki tekijät riippuvat paljolti siitä millainen kohde on, mitä toimintaa kohteessa tapahtuu ja kuinka paljon kiinteistön omistajalla on halua panostaa varmennettuun sähköverkkoon taloudellisesti.

Vaatimuksia voidaan tarkastella myös käyttövarmuustasoilla. Ideana on tehdä vertailu kuinka suuren vahingon sähköjakeluhäiriö aiheuttaa verrattuna varavoimajärjestelmän investointeihin (taulukko 2).

Taulukko 2. Sähköjakeluhäiriöiden aiheuttamien vahinkojen luokittelu verrattuna varavoimajärjestelmän investointeihin (6, s. 25).

Luokka 1	Aiheuttaa erittäin suuren vahingon verrattuna investointiin.
Luokka 2	Aiheuttaa suuren vahingon verrattuna investointiin.
Luokka 3	Aiheuttaa kohtuullisen vahingon verrattuna investointiin.

Vahingot voivat olla taloudellisia tai liittyä henkilöiden tai yhteiskunnan turvallisuuteen. Esimerkiksi vakavan henkilöturvallisuusriskin ja suuren taloudellisen vahingon ollessa kyseessä on ilmeistä, että sijoitutaan luokkaan yksi. (6, s. 25.)

2.3 Määräysten mukaiset vaatimukset

Standardi SFS6000, joka koskee kiinteistöjen sähköasennuksia, ohjeistaa turvasyöttöjärjestelmiä ja varavoimajärjestelmiä. Turvasyöttöjärjestelmää kuvataan järjestelmäksi, jonka tarkoituksena on varmistaa ihmisen turvallisuudelle tärkeiden laitteiden toiminta. Turvasyöttöjärjestelmiä käytetään mm. turvavalistus-, paloilmoitin-, lääkintätilojen ja/tai poistumisvalvontajärjestelmissä. (3, s. 54.)

Varavoimajärjestelmä kuvataan syöttöjärjestelmänä, jonka tarkoituksena on varmistaa asennuksen tai sen osan toiminnan jatkuminen muista kuin henkilöturvallisuuteen liittyvistä syistä normaalin syötön keskeytyessä. Varavoimajärjestelmiä käytetään usein mm. pumpuissa, hisseissä, lämmityksissä, valaistuksessa ja tietokonesalien syötöissä. Lähes aina turvasyöttöjärjestelmät ja varavoimajärjestelmät on sulautettu toisiinsa ja niiden ominaisuuksia ja vaatimuksia käytetään hyödyksi ristiin. (3, s. 57.)

Varmavoima- ja turvasyöttöjärjestelmille asetettuja vaatimuksia on käsitelty mm. standardeissa SFS 6000-7 kohdassa 710 lääkintätilat, ISO 8528-12 Emergency power supply to safety services, 1997 ja IEC 60364-5-56 Safety services, 1996 (6, s. 25). Toteutukseen ja suunnitteluun on sisäasiainministeriöllä ja paikallisilla viranomaisilla useita vaatimuksia standardien lisäksi. Usein vaatimukset on eritelty tapauskohtaisesti. Esimerkiksi väestönsuojille, lääkintätiloilta, voimalaitoksille, laboratorioille, ilmailulaitokselle ja merenkulkulaitokselle on omat vaatimukset siitä, miten varmennetut järjestelmät tulee toteuttaa.

Vakuutusyhtiöt tai Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto voivat esittää omaisuuden suojeleuhteissaan vaatimuksia, jotka voivat edellyttää sähkönjakelun varmentamista. Viestijärjestelmien sähkön saannin varmentamista koskevat vaatimukset on esitetty Viestintäviraston määräyksissä, jotka on annettu viestintämarkkinalain nojalla. Viestintäviraston määräysten mukaan pitää varmentaa myös tietoliikenne- ja tietojärjestelmien toiminta (3, s. 33, 33).

Varavoimailaitteilta vaaditaan usein standardin SFS-EN 50160 mukaista sähkön laadun tasoa (4, s. 124). Lisäksi vaaditaan, että varavoimakone pystyy ylläpitämään vaadittavan käyttövarmuustason koko sen käyttöajan ajan. Tämän toteuttaminen edellyttää suunnitelmallista kunnossapitoa. Suunnitelmallisella kunnossapidolla päästään myös matalaan kokonaiskustannustasoon (3, s. 214).

Varmennetuilta verkoilta edellytetään, että valmiina toimitettavien laitteistojen kohdalla suoritetaan koneikolle tehtaalla tarkastukset SFS-EN 60204:n mukaisesti ja työmaalla asennukset tarkastetaan SFS 6000 - julkaisun mukaisesti. Lisäksi valmiina toimitettavilta laitoksilta edellytetään, että valmistaja toimittaa CE-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laitoksen valmistamisesta sitä koskevien EU-direktiivien mukaisesti (6, s. 97).

2.4 Varmennusajan määrittäminen

Varmennusajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka järjestelmä kykenee syöttämään varmennettua kuormaa ilman normaalia verkkosyöttöä. Pienet tehontarpeet voidaan syöttää suoraan akustolta (UPS). Raja-arvona voidaan pitää 40–50 kVA:n tehoa ja noin 10

min:n akustoa. Tätä raja-arvoa suuremman varmennuskapasiteetin tarve pitää tyydyttää käyttäen varavoimakonetta.

UPS-järjestelmän varmennusaika määritellään suojaustasoa määritellessä (taulukko 3). Minimivarmennusajaksi esimerkiksi konesalin tapauksessa voidaan määrittää aika, joka riittää palveluiden hallittuun alasajoon. Kun UPS-järjestelmän verkkosyöttö varmistetaan varavoimakoneella, voidaan varmennusaikaa harkinnan mukaan pienentää verrattuna pelkällä UPS-järjestelmän varassa toimivaan sähkön syöttöjärjestelmään.

Taulukko 3. Esimerkki varmennettavien toimintojen vaatimuksista (3, s. 89)

Toiminto	Suojaustaso				Varmennusaika			Järjestelmä		
	Häiriö-suojaus-jännite	Häiriö-suojaus-taajuus	Katkoton	Sallittu katkon-aika	Auto-maattinen	Miehi-tetetty	Jatkuva	Ei redund-dantti	Redun-dantti tehon-lähde	Redun-dantti jakelu
Tuotanto-tietokoneet-prosessi	X	X	X	-	4 h	7 vrk	-	-	X	-
Tuotanto-LVIJ				2 min	4 h	7 vrk	-	-	-	X
Tuotanto-paineilma				< 10 s	4 h	7 vrk	-	-	-	X

3 Varmennetun verkon rakenne

Varmennettuja verkkoja voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla, keskitetysti tai hajautetusti. Keskitetty varmennettu verkko rakentuu usein yhden varavoimapääkeskuksen (VVPK) ja yhden dieselgeneraattorin ympärille. Varmennettujen verkkojen yhteydessä esiintyy myös usein käsite "saarekkeessa toimiva". Tällöin jakeluverkko erottuu omaksi saarekkeekseen silloin, kun varavoimakone syöttää saarekettä. Tämä toteutusmalli tekee varmennetusta verkosta yksinkertaisen ja pieniin kohteisiin täysin riittävän. Suunnittelussa on aina muistettava, että verkon rakenne on aina ratkaistava tapauskohtaisesti.

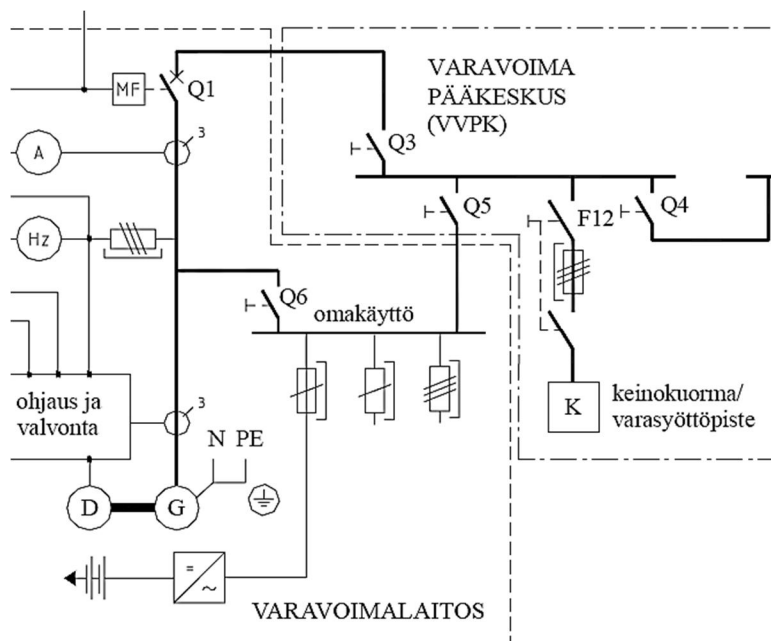
Hajautetussa mallissa kaksi tai useampi dieselgeneraattori syöttää eri kuormia. Tällöin tarvitaan myös useampia varavoimapääkeskuksia. Hajautetun mallin etuna on, että dieselgeneraattoreita voidaan sijoittaa maantieteellisesti eri paikkoihin. Esimerkiksi tehdashalleissa vältetään pitkiltä siirtolinjoilta, kun dieselgeneraattori on lähellä syötettäviä kuormia.

Lisäksi kiinteistöissä käytetään usein rengassyöttöä kahdella tai useammalla muuntajalla. Rengassyötön ideana on, että yhden muuntajan pettäessä toinen muuntaja pystyy syöttämään verkkoa toista reittiä. Rengassyöttöä suunniteltaessa on huomattava, että muuntajat pitää mitoittaa riittävän suuriksi. Tässä työssä keskitymme kuitenkin vain keskitettyyn malliin ja jätämme rengassyötön sekä hajautetun mallin tarkastelun vähäisemmäksi.

Varmennettu verkko on aina erikoisverkko, ja siksi sen merkintöihin sekä dokumentointiin on kiinnitettävä aina erityistä huomiota. Kaikilla alan asiantuntijoillakaan ei ole riittävää tietoa toimia varmennetun verkon kanssa oikein ja turvallisesti. Varavoimalaitokseen on kiinnitettävä aina varoituskilpi ulkopuolisesta ohjausjännitteestä ja siitä että laiteisto käynnistyy automaattisesti.

3.1 Toiminta

Kuvassa 3 ja liitteessä 1 on esitetty varmennetun verkon perusrakenne. Ratkaisussa on otettu huomioon mahdollisen keinokuorman ja varasyötön liittynät omaan kiskonosaan. Verkojännitteen ollessa syöttävässä verkossa normaali varavoimalaitos seisoo, eli se ei ole käynnissä. Tällöin dieselvarmennetut kuormitukset saavat syöttönsä verkosta katkaisijan Q2 kautta.



Kuva 3. Varmennetun verkon mallikaavio.

Normaalitilanteessa katkaisijat Q3 ja Q4 ovat kiinni ja katkaisija Q1 auki. Varavoimalaitoksen jännitteen tunnistelurele tunnustelee syöttöverkon jännitteen tilaa heti muuntajan jälkeen ennen pääkeskusta. Varavoimalaitos käynnistyy, mikäli jännitteen tunnistelurele havaitsee poikkeuksia verkkojännitteessä. Tällöin varavoimalaitoksen automatiikka avaa katkaisijan Q2 ja ohjaa katkaisijan Q1 kiinni, tällöin dieselvarmennetut kuormat saavat syöttönsä varavoimalaitoksesta. Edellytyksenä tälle on, että varavoimakone on sellaisessa tilassa, että se kykenee syöttämään dieselvarmistettua verkkoa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että dieselgeneraattori on saavuttanut riittävät kierrokset ja laitteiston valvonta on kytkeytynyt päälle. (6, s. 30.)

Kun syöttävän verkon jännite on palautunut normaaliksi, tapahtuu asetellun hidastusajan jälkeen syötön vaihto, jolloin varavoimalaitoksen syötönvaihtoautomatiikka siirtää syötön varavoimalaitokselta takaisin verkolle. Kun varavoimalaitteisto on varustettu katkottomalla paluukytkennällä, syötönvaihtoautomatiikka antaa tahdistimille tahdistuskäskyn ja tahdistin ohjaa katkaisijan Q2 kiinni. Ennen tätä varavoimalaitoksen syöttämän jännitteen ja syöttöverkon syöttämän jännitteen on oltava tahdissa, mikä tarkoittaa, että verkoilla on oltava sama taajuus ja taajuuseroa ei saa olla. Viimeiseksi syötönvaihtoautomatiikka ohjaa katkaisijan Q1 auki-asentoon, jolloin kuormat siirtyvät katkotta takaisin syöttöverkolle.

Vanhemmissa varavoimalaitteistoissa ei ole mahdollista katkottomaan syötön vaihtoon, tällöin syötönvaihtoautomatiikka ohjaa katkaisijan Q1 auki ja tämän jälkeen sulkee katkaisijan Q2. Tästä aiheutuu varmennettuun sähköverkkoon katkos.

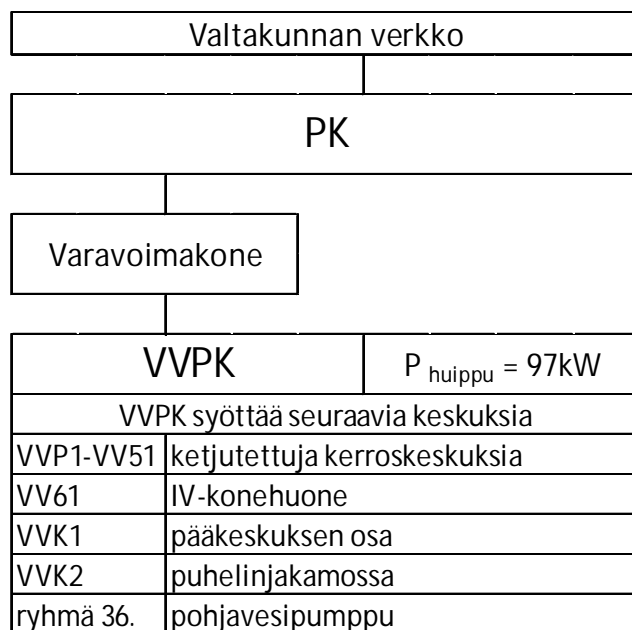
Huollon tai korjauksen ajaksi varavoimalaitos voidaan erottaa muusta verkosta avaamalla kytkinlaite Q3 tai Q4. Avaamalla pelkästään Q4 voidaan varavoimalaitoksella käyttää ulkoista keinokuormaa, joka kytketään kytkinvarokkeeseen F12. Yleensä keinokuormana käytetään suuritehoista lämpöpuhallinta.

Varavoimakoneen ollessa huollossa tai jos kiinteistössä tarvitaan lisätehoa esimerkiksi muuntajahuollon takia, voidaan kytkinvarokkeeseen F12 liittää myös ulkoinen siirrettävä varavoimakone. Tässä tilanteessa katkaisija Q3 ohjataan auki ja Q4 kiinni, tällöin varasyöttö syöttää pelkästään dieselvarmennettua verkkoa ja varavoimalaitosta voidaan huoltaa turvallisesti. Varasyöttöä voidaan tarvita erittäin tärkeissä kohteissa kuten sairaaloissa, joissa edes varmennettu sähkönsyöttö ei voi olla koskaan pois käytöstä, ei edes hetkellisesti. (6, s. 30.)

3.2 Varavoimaryhmäkeskukset

Varavoimapääkeskus syöttää usein varavoimaryhmäkeskuksia. Esimerkkikuvasta (kuva 4) selviää, kuinka varavoimakeskukseen on kytketty kymmeniä keskuksia. Fyysisesti varavoimaryhmäkeskukset on erotettu ryhmäkeskuksista omaan osioonsa, ja ne on yleensä merkattu sinisin keskuskansin tai rajattu selkeästi. Usein varavoimapääkeskus syöttää myös suuritehoisia kuormia suoraan. Tämän tyyppisiä kuormia voivat olla esimerkiksi hissit tai pumpput.

Varmennettu verkko voi olla myös toteutettu siten, että se ei ota kaikkea kuormaa suoraan syöttöön. Tällöin varmennettuun verkkoon on kytketty kuormia porrastetusti esimerkiksi hidastetusti sulkeutuvalla kontaktorilla tai kauko-ohjattavalla katkaisijalla. Kuormien porrastamisella saadaan varavoimalaitoksen taajuuden ja jännitteen vaihtelut pidettyä sallituissa rajoissa, eikä laitosta tarvitse ylittää sen takia. (6, s. 31.)



Kuva 4. Varmennetun verkon perusrakenne.

3.3 Maadoitus

Varmennetun verkon maadoitus on periaatteeltaan normaalin verkon kaltainen ja siinä noudatetaan SFS6000:n luku 3:n (312) vaatimuksia. Lisäksi varmennetun verkon maadoituksessa on otettava huomioon muutamia yksityiskohtia. Varavoimalaitokselle on

aina vedettävä oma erillinen potentiaalintasauskaapeli. Potentiaalintasauskaapelin poikkipinta-ala riippuu varavoimalaitoksen tehosta (taulukko 4)

Taulukko 4. Potentiaalintasaus kaapelin poikkipinta-alan määrittäminen (8).

Poikkipinta-ala	Varavoimalaitoksen teho
16 mm ²	< 50 kVA:n laitteet
50 mm ²	> 50 kVA:n laitteet

Varavoimalaitoksessa tehtävän N:n ja PE:n yhdistyksen tulee olla tarvittaessa avattava ja sen yhdistyspaikka on merkittävä (kuva 5). Tämä on syytä tehdä mahdollisten asennustarkastusten ja mittausten (mm. eristysvastusmittaus) takia. On myös suositeltavaa, että varavoimaverkko on varustettu riittävällä määrällä työmaadoituspisteitä. (6, s. 31.)



Kuva 5. N:n ja PE:n yhdistys, joka voidaan tarvittaessa avata.

Yleisesti suositellaan, että varavoimalaitokset liitetään aina TN-S-järjestelmällä (5-johtiminen) toteutettuun verkkoon. Jos varavoimalaitos joudutaan liittämään TN-C-järjestelmään, on verkkokontaktorin tai -katkaisijan oltava ehdottomasti 4-napainen ja N:n ja PE:n yhdistyksen on jätävä verkkokytinlaitteen etupuolelle (8).

TN-C-järjestelmää käytettäessä voi myös ilmetä potentiaalieroja, jotka aiheutuvat "puumaisesta" potentiaalintasauksesta. Tilanteessa nollajohtimeen pääsee muodostu-

maan jännitettä, joka pienentää vaiheen ja nolla välistä potentiaaliero. Potentiaalieron pieneneminen voi aiheuttaa varmennettuun verkkoon liitetyissä automaatiolaitteissa häiriöitä.

3.4 Suojaus

Kuten maadoituksenkin kohdalla, varmennetun verkon suojaus toteutetaan pääsääntöisesti samalla tavalla kuten normaaliverkko, mutta muutamia poikkeuksia on varmennetussa verkossa.

Suojauksessa on huomioitava se, että generaattorin oikosulkuvirta on tyypillisesti $3 \times I_n$. Tästä seuraa, että pienimmillä generaattoreilla oikosulkuvirta on usein liian pieni riittääkseen automaattiseen poiskytkentään 0,4 sekunnin aikana. Tällöin suojalaitteena on hyvä käyttää vikavirtasuojakytkimiä, alijännitelaukaisua tai jotain muuta maasulun laukaisulaitetta (8). Huomioitavaa on, että vikavirtasuojakytkimiä voidaan käyttää vain TN-S-järjestelmässä.

Sama koskee UPS-laitteita, joilla on heikko virransyöttökyky. Tällöin on suositeltavaa kuormittaa UPS-laitetta vain 60 %:lla nimellisvirrasta, jolloin jäljelle jäänyt virta riittää suojalaitteiden laukaisuun. Täytyy myös muistaa, että UPS-laitteiden kyky syöttää vikavirtaa vaihtelee voimakkaasti eri valmistajien kesken.

Kosketusjännite- ja ylikuormitussuojaus voidaan tällöin toteuttaa normaalisti standardin SFS 6000 mukaan, kun generaattorin syöttämä alhaisempi oikosulkuvirta otetaan vaan huomioon mitoittaessa suojalaitteita. Suojalaitteet on mitoitettava selektiivisesti siten, että vikatilanteessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää ilman sähköä. (7, s. 62.)

Suurien virtojen käsittelyssä käytetään pääasiassa katkaisijoita. Kun katkaisija on oikein valittu ja suojareleet aseteltu mahdollisimman tarkasti, voidaan katkaisijalla toteuttaa esimerkiksi ylijännite ja kosketusjännitesuojaus sulaketta tehokkaammin. Katkaisijan mitoittamisesta on valmistajilla yksityiskohtaiset ja tarkat ohjeet, joita noudatetaan mitoituksessa.

Generaattorin suojauksesta vastaa laitteiston valmistaja. Laitteistoissa on suojausreleitys, joka mittaa virtaa, jännitettä, taajuutta, tehoa sekä vaihe-eroa. Häiriötilanteessa ne ohjaavat generaattorikatkaisijan auki. Lisäksi varavoimalaitoksissa tarkkaillaan die-

selmoottorin suureita, kuten lämpötilaa, öljynpainetta, jne. Vakavan vian sattuessa (esim. yllilämpö) automatiikka sammuttaa dieselmoottorin, ettei laitteisto pääse vahingoittumaan.

Myös UPS-laitteistoissa suojauksen määrittää valmistaja. Laitteen valmistaja määrittelee suojalaitteet, joilla ylivirtasuojaus sekä terminen että dynaaminen oikosulkukestoisuus toteutuvat, eikä laitteisto pääse vahingoittumaan. (7, s. 77.)

3.5 Mitoitus

Varmennetun verkon mitoitus pyritään usein toteuttamaan hyvin tarkasti, koska ylimitoittaminen tulee kalliiksi. Toisaalta mitoituksessa on huomioitava riittävä laajennusvara, koska laitteiston uusiminen tulee ylimitoittamistakin kalliimmaksi. Mitoituksessa on kaksi vaihetta. Ensin määritellään teho, joka vaatii katkotonta syöttöä. Tämän tehon syöttö toteutetaan UPS-järjestelmällä. Tämän jälkeen määritellään kuormat, joille "kelpaa" katkollinen syöttö, joka toteutetaan varavoimakoneella. Varavoimakoneen on siis kyettävä hoitamaan katkolliset kuormat ja UPS-järjestelmän takana olevat katkottomat kuormat. Lisäksi on huomioitava lisätehon tarpeet, kuten UPS-laitteen akuston latauksen vaatima lisäteho (10–15 % nimellistehosta) ja generaattorilaitteiston tarvitsema omakäyttöteho (3–7 % nimellistehosta). (3, s. 88.)

Mitoituksessa on myös huomioitava epälineaarista virtaa ottavat kuormat, joista UPS-laite on usein merkittävin. Epälineaariset kuormat aiheuttavat generaattorin jännitteen säröytymistä. Myös riittävän nopealla poiskytkentä ajalla ja verkon selektiivisyysvaatimuksilla on tärkeää merkitystä mitoituksen kannalta. (3, s. 88–89.)

Varavoimalaitoksen generaattorin mitoituksessa on varmistettava suojalaitteiden toiminta ja otettava huomioon generaattorin pieni oikosulkuvirta. Tästä syystä tullaan usein tilanteeseen, jossa generaattorin kokoa joudutaan kasvattamaan, jotta poiskytkennät saadaan toteutumaan. Tästä tuleekin määräävin tekijä generaattorin koon määrittelyssä (8).

3.6 Katkottoman syötön toteutus

Varavoimakone ei koskaan kykene yksin tuottamaan monien laitteiden vaatimaa katkottomaa sähkönsyöttöä. Tämä johtuu dieselin käynnistymisestä vevästä ajasta. Useimmat varavoimakoneet pystyvät syöttämään pääosaa kuormista vasta 6–12s:n kuluttua verkkohäiriöstä (6, s. 85).

Jos kiinteistöissä on kuormia, jotka vaativat katkottoman syötön, tarvitaan UPS-järjestelmiä. UPS-järjestelmät voidaan toteuttaa varmennettuun verkkoon integroituina tai erillisinä ja laitekohtaisina. Jälkimmäinen vaihtoehto on useimmiten toteutettu. Esimerkiksi tietokonesalit ovat hyvin usein ensin UPS-varmennettuja omalla järjestelmälään, ja tähän järjestelmään energiaa syöttää varavoimakone varmennetun verkon välityksellä, pitkien katkosten varmentamiseksi. (liite 2)

3.7 Redundantisuus

Varmennetuissa verkoissa redundantisuus on usein toteutettu varavoimakoneen ja UPS-järjestelmien kesken. Varavoimakoneen vikaantuessa UPS-laitteistot tarjoavat pelivaraa varavoimakoneelle mitoituksesta riippuen n. 30–60 min. Täydellisiä syötön kahdennuksia eli kahta varavoimakonetta on harvemmin toteutettu korkeiden kokonaiskustannusten takia. Usein kahdennus on toteutettu käyttämällä moduulityyppistä kahdennusta. Moduulityyppisessä kahdennuksessa esimerkiksi kolme normaalisti käytössä olevaa varavoimakonetta tai UPS-laitetta varmennetaan yhdellä saman tehoisella laitteistolla. Tällä päästää huomattavasti kustannustehokkaampaan ja järkevämpään ratkaisuun.

4 Varmennetun verkon kuormat

Varmennetun verkon pitää pystyä toimimaan hyvin monenlaisten kuormien kanssa sujuvasti. Usein kuormat vaativat hyvälaatuista sähköä, mutta ne tuottavat toiminnallaan häiriöitä sähköverkkoon. Varmennettu verkko ei ole samantasoinen verkko kuin normaali kiinteistön sähköjakeluverkko, joten varmennetun sähkönsyötön perässä olevat kuormat ovat useinkin ongelmallisia sähkön laadun kannalta.

4.1 Kuormien erityispiirteet

Suurin yksittäinen kuorma, joka saattaa olla hyvinkin hankala varavoimakoneen kannalta on UPS-laite, joka aiheuttaa sähköverkkoon virtasäröä. Varsinkin vanhat UPS-laitteistot ovat tässä suhteessa kaikkein hankalimpia, sillä niiden särö voi olla jopa 30 %. Nykyiset IGBT-tekniikalla toteutetut UPS-laitteet voivat aiheuttaa sähköverkkoon vain 5 %:n virtasärön.

Moottorikuormat (esim. hissit) ovat aina hankalia varmennetussa verkossa. Moottorit aiheuttavat ongelmia lähinnä suuren käynnistysvirran ja sen kestoajan takia. Käynnistysvirta on yleensä 6–7-kertainen moottorin nimellisvirtaan nähden. Muuntajilla on samanlaisia ominaisuuksia kuin moottoreilla, ja ne voivat aiheuttaa sähköverkkoon jopa 10-kertaisen kytkentävirtasysäyksen kytkentähetkellä.

Paljon ongelmia aiheuttavat myös kapasitiiviset kuormat, jotka pyrkivät nostamaan verkon jännitettä. Varavoimakoneen suojat estävät huomattavan ylikompensoinnin tapahtumisen. Ylikompensointia voi tapahtua passiivisten yliaaltosuodattimien ja keski-jännitemaakaapeliverkon kapasitanssista johtuen.

4.2 Kuormien aiheuttamat häiriöt

Kuormat aiheuttavat monenlaisia muitakin häiriöitä kuin kytkentävirtasysäyksiä ja jännitteen vaihteluita. Yhtenä vaikeimmista ovat yliaallot. Yliaaltoja aiheutuu kuormista joiden ottama virta poikkeaa siniaallosta. Yliaallot aiheuttavat sähköverkkoon lukuisia häiriöitä. Kolmas yliaalto summautuu nollajohtimeen aiheuttaen sen ylikuormitusta ja lämpiämistä. On myös hyvä muistaa, että epäsymmetrinen kuormitus saa nollajohtimen virralliseksi ja tällöin nollajohtimen mitoitus on kiinnitettävä huomiota.

Yliaaltolähteinä toimivat kuormat aiheuttavat resonansseja. Tämänäyttöisiä kuormituksia ovat mm. tasasuuntaajat, taajuusmuuttajat, tyristorikäytöt ja purkauslamput. Eniten resonanssiongelmaa verkon eri komponenttien välille aiheuttaa viides yliaalto. Resonanssi tilanne aiheuttaa verkkoon yliaaltovirtaa ja jännitteen säröytymistä. Yliaaltovirta voi taas aiheuttaa verkon komponenttien, kuten muuntajien, ylikuumentumista. Yliaallot voivat aiheuttaa myös radiohäiriöitä ja EMC-häiriöitä, näitä aiheuttavat lähinnä korkeataajuiset yliaallot.

Kun joku kuorma kytketään tai katkaistaan verkosta, voi siitä aiheutua transientti, eli lyhytkestoinen syöksyvirta. Transientti voi olla joku jännite- tai virtapiikki. Tasasuuntaajien kommutointi voi aiheuttaa jatkuvasti transienteja, myös muuntajat ja oikeastaan kaikki induktanssit aiheuttava transienteja.

4.3 Kuormien vaikutus mitoitukseen

Kuormista johtuvien erityispiirteiden ja niiden aiheuttamien häiriöiden vuoksi varmennetun verkon mitoituksessa on huomioitava muutamia seikkoja. Käynnistys- ja kytkentätilanteista johtuvat jännite- ja virtapiikkien takia vaaditaan UPS-laitteelta ja varavoimakoneelta riittävää mitoitusta. Varavoimakoneen generaattorikatkaisijan alijännitelaukaisu on hidastettu, jolloin varavoimakone kykenee syöttämään lyhytaikaisen piikin ilman, että katkaisija laukeaa ja sähkönsyöttö katkeaa. Kuitenkin jos varavoimakoneella syötetään moottoria, saa sen ottama käynnistysvirta olla enintään varavoimakoneen nimellisvirran suuruinen. Tällöin sallitaan hetkellinen 15 %:n jännitteenalennus. UPS-laitteet pystyvät syöttämään 1,5-kertaisen virran noin 5 sekunnin ajan, ja siksi moottorin ottama virta voi olla 1,5-kertainen UPS:n nimellisvirtaan nähden.

5 Varmennetun verkon komponentit

5.1 Keskukset

Varmennetun verkon keskukset valmistetaan aina tilaustyönä, koska keskusvalmistajilla ei ole mallistoissaan valmiita varavoimakeskuksia. Yhtenä tunnusmerkkinä varavoimakeskuksissa on sinisellä huomiovärillä maalatut keskuskannet, jotka erottuvat normaalin verkon keskusosista asentajille ja käyttäjälle. Lisäksi varmennetun verkkoa suunniteltaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota asianmukaisiin merkintöihin.

Varmennetun verkon keskukset eivät eroa peruskomponenteiltaan mitenkään perinteisistä ryhmä- ja pääkeskuksista. Samantyyppisiä johdonsuojakatkaisijoita ja sulakkeita voidaan käyttää myös varmennetun verkon keskuksissa verrattuna normaalin verkon keskuksiin, kunhan mitoitus on tehty huolellisesti. (7, s. 37.)

5.2 Katkaisijat ja kontaktorit

Varmennetun verkon syötönvaihto tilanteissa käytetään katkaisijoita (kuva 6) tai kontaktoreja, joiden toimintavarmuuden ja -tarkkuuden on oltava luotettavia. Uudemmissa verkoissa käytetään yleisesti katkaisijoita ja vanhemmat kohteet on toteutettu kontaktorien avulla.

Katkaisija on verkon primäärinen osa, joka saa ohjausimpulssinsa suojarieleltä tai suoraan automatiikalta. Oikein mitoitettuna katkaisija kykenee suorittamaan kaikki tarvittavat kytkentätoimenpiteet ko. kohdassa sähköverkkoa. Yleisesti käytössä olevat katkaisijat ovat ilma- tai kompaktikatkaisijatyyppejä. (7, s. 36.)



Kuva 6. Erään valmistajan ilmaeristeinen katkaisija, joka on varustettu mm. nykyaikaisella elektronisella ylivirtasuojalla.

Kontaktori on perinteinen kelakytkin ja vastaa toiminnaltaan relettä. Nykyaikaisilla katkaisijoilla on paljon hyviä ominaisuuksia, joiden takia niiden käyttöä suositellaan perinteisten kontaktorien sijaan. Näitä ominaisuuksia ovat mm. ulosvedettävyys, kaksoiseristys, monipuoliset lisälaitteet ja suojausluokka saatavissa jopa IP 54:ään saakka. Lisäksi ylikuormitus-, oikosulku-, momentti- ja maasulkusuojaus voidaan toteuttaa katkaisijaan liittyvillä aseteltavilla releillä.

5.3 Kaapelointi

Kaapelointina varmennetussa verkossa käytetään tyypillisesti MCMK- ja AMCMK-kaapeleita, kuten normaalissa sähkönjakeluverkossa perinteisesti. Varmennetuissa verkoissa kannattaa kuitenkin harkita käytettäväksi palonkestävää kaapelia. Näin kaapelireittejä voidaan suunnitella eri paloalueiden läpi. Palonkestävillä kaapeleilla on vähäinen savunmuodostus ja palon levittävyys, lisäksi ne säilyvät paremmin toimintakykyisinä tulipalossa. (7, s. 34.)

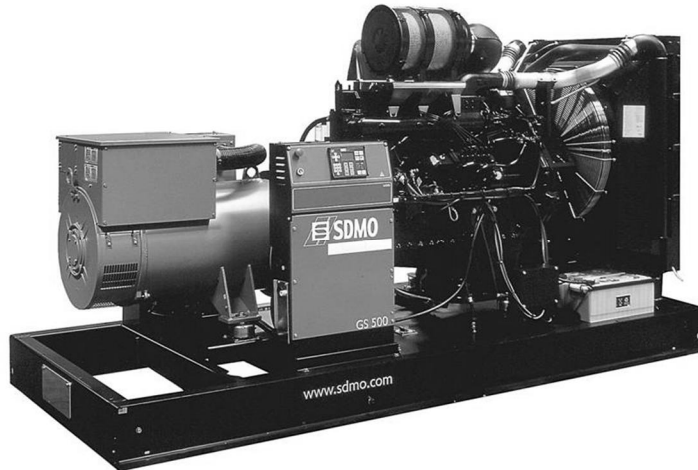
Sähkön loppukäyttäjille varmennettu verkko näkyy pistokkeiden värikoodeina. Esimerkiksi sairaaloissa varmennetun verkon pistokkeen on merkattu sinisen värein. Laitteita liitettäessä käyttäjä pystyy värin perusteella valitsemaan, liittääkö laitteen normaali- verkkoon vai varmennettuun verkkoon.

6 Varmennetun verkon tehonsyöttö

6.1 Varavoimakone

Varmennetun verkon tarvitsema teho saadaan usein yhdestä tai useammasta dieselgeneraattorista (kuva 7), jotka apujärjestelmineen muodostavat yhden varavoimalaitoksen. Dieselgeneraattori koostuu dieselmoottorista, generaattorista, niiden välisestä kytkimestä ja ohjausautomaatiikasta.

Voimanlähteenä käytetään usein monisylinteristä ja suoraruiskutteisia dieselmoottoreita, jonka hyötysuhde on riittävän hyvä varavoimalaitoskäyttöön. Generaattori tuottaa mekaanisesta pyörimisliikkeestä sähkötehoa varmennetun verkon käyttöön. Varavoimakoneissa käytetyt generaattorit tuottavat 50 Hz:n vaihtovirtaa. Yleensä generaattorit ovat harjattomia kolmivaiheisia sisänapatahtigeneraattoreita, jotka ovat itseherätteisiä ja –säättöisiä. (6, s. 47.)



Kuva 7. Erään valmistajan dieselgeneraattori, jonka varavoimateho 50 Hz:n taajuudella on 537.5 kVA/430kW.

Ohjausautomaatiikka toimii varavoimalaitoksen ohjaavana osana. Ohjausautomaatiikka koostuu elektronisesta ohjelmoitavasta logiikasta, jonka apuna on lukuisia releitä, kontaktoreja, suojalaitteita ja muita lisäkomponentteja. Ohjausautomaatiikka vastaa usein koko järjestelmän toiminnasta, kuten tahdistuksesta, syötön vaihdosta ja dieselin sekä sen apulaitteiden hallinnasta. Lisäksi ohjausautomaatiikka rekisteröi mahdolliset häiriötilanteet ja ilmoittaa ne eteenpäin esimerkiksi kiinteistönvalvontajärjestelmään ja sen alakeskuksiin (VAK). Varavoimakoneissa käytetään yleisesti ohjausjännitteenä 24:ää voltia, jolloin se on sama kuin käynnistysakuston jännite.

Varavoimadieselin tarkoituksen on luoda varmennettuihin verkkoihin pääsiallista suurta sähkötehoa pitkään ja luotettavasti. Varavoimakoneen käynnistyminen ja häiriötön toiminta on kaiken lähtökohtana. Polttoainetta voi olla tarpeesta riippuen jopa viikkojen käyttöön riippuen kohteen tärkeydestä yhteiskunnalle, tämän takia moottorin on kestävä useiden satojen tuntien yhtämittainen käyttö. Yleinen käytäntö on mitoittaa käyttösäiliön tilavuus siten, että sen tilavuus riittää 8 tunnin yhtämittaiseen käyttöön nimellisteholla. (6, s. 58.)

6.2 UPS-laitteet

UPS (Uninterruptible Power System) on keskeyttämättömän tehon järjestelmä. UPS-järjestelmässä kaikki syötönvaihtotilanteet tapahtuvat ilman katkoja. Staattisia UPS-

järjestelmiä käytetään usein erillisinä järjestelminä, jotka saavat syöttönsä kuitenkin aina varmennetulta verkolta. Ideana on, että UPS-järjestelmä antaa elektroniikkalaitteille katkottoman syötön hetkellisesti (5–10 min) ja varavoimakone hoitaa dieselmoottorin avulla pitkäaikaisemman tehon syötön. Teoriassa syötönvaihto aiheuttaa UPS-laitteen lähtöliittimissä 2–4 ms:n katkon, joka käytännössä on mitätön ja johon eivät herkimmätkään laitteet reagoi mitenkään. (3, s. 60.)

Staattisen UPS-laitteistojen (kuva 8) tehon syöttö perustuu akustoon, sen varaajaan, vaihtosuuntaajaan ja elektroniseen ohituskytkimeen. Lisäksi laitteistossa on usein mekaaninen käsikäyttöinen huolto-ohituskytkin. UPS-laitteistoja on saatavissa hyvin erikoiseen tarpeeseen. Suurimmat laitteistot pystyvät syöttämään tehoa jopa 750 kVA, pienimpien ollessa muutaman sadan watin tehoisia pöytämalleja.

Staattisen UPS-laitteen perustoimintoihin kuuluu vaihtosähkön muuttaminen tasasähköksi ja tasasähkön muuttaminen vaihtosähköksi puolijohdesiltoja käyttäen. Perustoimintoihin kuuluu myös UPS-laitteen ohitustoiminto ylikuormaa ja vikatilanteita varten. Ohitustoiminnossa staattinen UPS-laite tahdistaa itsensä automaattisesti ohitusyöttöön. Laitteen staattinen ohituskytkin siirtää kuorman katkotta ohitusyöttölle, jos laitteisto ei pysty syöttämään tarpeeksi virtaa. Ohituslinjalle syöttö voi tulla varavoimakoneelta tai pääkeskuksesta. Paluu takaisin suuntaajasyöttöön tapahtuu katkotta tilanteen normalisoiduttua. (7, s. 22.)



Kuva 8. Erään valmistajan dynaaminen UPS-laitteisto.

Usein UPS-järjestelmät ovat redundantteja eli kahdennettuja, huollon ja vikaantumisen takia. Monilla UPS-laitteiden valmistajilla on moduulimallisia järjestelmiä, joilla päästään taloudellisempaan ratkaisuun kahdennuksessa.

Käytössä on myös dynaamisia UPS-järjestelmiä, joissa energia varastoidaan akkujen sijasta pyörivään suureen massaan. Dynaamisen UPS-järjestelmän lähtöjännite synnytetään täten moottori-generaattoriyhdistelmässä. Tämän tyyppiset järjestelmät ovat kuitenkin harvinaisia ja käytössä lähinnä teollisuudessa suurien yksikkökokojen (150 – 1670 kVA) vuoksi.

7 Varmennetun verkon selvitystyö

Rakentamisen huippuvuodet sijoittuivat Suomessa 1970-luvulle. Tähän aikaan maassamme rakennettiin paljon yhteiskunnallisesti merkittäviä kohteita, jotka sisälsivät varmennettuja sähkönsyöttöjärjestelmiä. Kiinteistöillämme alkaa olla jo merkittävästi ikää, ja niiden saneeraukset ovat käsillä. Saneerauksien yhteydessä kiinteistöjä laajennetaan kovasti. Laajennuksien ja saneerausten yhteydessä myös sähköjärjestelmät muutetaan kiinteistöä paremmin palveleviksi.

Usein edellä mainittujen hankkeiden yhteydessä tulee usein tarve selvittää millainen on kiinteistön varmennettu sähköverkko. Suunnittelija ja käyttäjä haluavat tietää, onko verkkoon mahdollista lisätä kuormia, millainen verkko todellisuudessaan tällä hetkellä on ja millaista kuormaa varavoimakoneeseen voidaan ylipäätänsä liittää.

Varmennetun verkon selvitystyö on periaatteeltaan tutkimustyötä dokumenteista, joh-tojen seuraamista kaapelihyllyillä tai mittauksien analysointia. Selvitystyö vaatii tekijältään monialaista kokemusta LVISA-tekniikasta ja monipuolisia ominaisuuksia.

Käytän työssäni esimerkkinä kolmea kohdetta pääkaupunkiseudulla. Ensimmäinen kohde on kansallishistoriallisesti erittäin merkittävä kohde Helsingissä. Kohteessa on meillä remontti ja varmennettuun verkkoon halutaan liittää uusi hissi. Toisena kohteena on suuri toimistorakennus Espoossa. Toimistorakennus on saneerauksen alla ja varmennetun verkon rakenne sekä kuormat halutaan selvittää. Toimistorakennuksessa on ollut epäselvyyksiä siitä, mitkä kuormat on varmennettu.

7.1 Työmenetelmän kehittäminen

Suomessa tehdään harvoin selkeästi rajattuna työnä varmennettujen verkkojen selvitystyötä. Viime vuosina on voimakkaasti kasvanut kysyntä sellaisille ammattilaisille, joilla olisi riittävästi näkemystä varavoimalaitoksista ja varmennetuista verkoista. Tällöin on tullut tarpeen kehittää työmenetelmä varmennettujen verkkojen selvitystyön tekemiseen. Työmenetelmän kehittämisen rungoksi valittiin neliportainen työmenetelmäprosessi. Tällä menetelmällä työ voidaan jakaa selkeästi eri vaiheisiin, ja työn hallinta yrityksen sisällä on helpompaa eri asiantuntijoiden kesken.

Työn jakamisella neljään portaaseen on pyritty myös siihen, että vain toista ja kolmatta porrasta suorittaessa täytyy vierailta asiakkaan tiloissa. Ensimmäisen ja neljännen portaan voi suorittaa selvitystyötä tekevän toimistolla.

7.2 Henkilöstö

Varmennetun verkon selvitystyötä tekeville henkilöillä on oltava riittävästi kokemusta sähköisestä talotekniikasta ja varmennetuista järjestelmistä. Lisäksi varavoimalaitoksen ominaisuudet ja voimanlähteenä olevan dieselmoottorin perusteet on oltava selvillä, koska varavoimalaitoksen ja dieselin ohjaukseen vaikutetaan usein varmennetun verkon kautta. Selvittäjällä on oltava laajasti näkemystä koko LVISA-tekniikasta, koska järjestelmät sulautuvat aina jollain tavalla toisiinsa ja talotekniikassa kaikki vaikuttaa kaikkeen.

Lisäksi selvitystyön tekijöiltä vaaditaan sähköalan ammattitutkinto, jotta heillä on pätevyys ylipäättänsä toimia sähkölaitteiden parissa. Mittaustuloksia analysoitaessa henkilön tulee tuntee sähködynamiikan ja tilastitiikan perusteet. Lisäksi henkilöllä tulee olla paljon kokemuspohjaista tietoa järjestelmistä ja komponenteista.

Selvitystyön tekijöitä vaaditaan paljon kärsivällisyyttä ja ongelmanratkaisukykyä, koska usein selvitystyö on jäänyt tekemättä asiaan perehtymättömiltä henkilöiltä juuri siksi, että he ovat tuskastuneet ja luovuttaneet. Lisäksi hyvät sosiaaliset taidot ovat välttämättömiä, jotta voi tulla hyvin toimeen työssä mukana olevien ihmisten kanssa.

8 Varmennetun verkon selvitystyön työmenetelmä

8.1 Lähtökohdat ja tavoitteet

8.1.1 Lähtökohdat

Prosessin ensimmäisenä vaiheena on selvittää kohteen nykytilanne ja lähtökohdat. Tässä vaiheessa on myös hyvä selvittää, kuinka paljon asiakkaalla on selvitystyöhön käytettävänä taloudellisia resursseja, koska alussa voidaan vielä vaikuttaa tuleviin kustannuksiin helposti. Alussa on hyvä käydä neuvotteluja ja selvittää tarpeet yksityiskohdaisesti, koska silloin tehdään vain oleellisia asioita eikä rönsyillä turhaan. Suuntaamalla selvitystyö järkevästi kustannukset pysyvät helpoiten kurissa.

Lähtökohtia selvitettäessä tärkein vaihe on selvittää, mikä on todellinen ongelma. Onko kysymys vain yleisestä selvitystyöstä varmennetun verkon osalta vai liittyykö selvitystyö johonkin suurempaan kokonaisuuteen? Tällainen kokonaisuus voisi olla kiinteistön saneerauksen yhteydessä tehty sähkösuunnitelma. Yleensä kuitenkin selvitystyö on tarpeellinen silloin kun halutaan lisätä varmennettuun verkkoon uusia kuormia tai todetaan, että jokin kuorma ei olekaan varmennetussa verkossa, vaikka sen pitäisi olla. Lisäksi varmennetun verkon häiriötilanteiden selvittäminen on usein tarpeellista. Tämä tulee eteen yleensä tilanteissa, joissa varavoimasyötöllä huomataan herkkien laitteiden kuten taajuusmuuttajien hajonneen.

8.1.2 Tavoitteet

Selvitystyön lähtökohtana on aina sen tavoitteiden määrittäminen asiakkaan tarpeen mukaan. Joskus kyse voi olla lisäkuorman liittämisestä varmennettuun verkkoon, varmennetun verkon ongelmista tai tarpeista tietää mitä kuormia varmennettuun verkkoon liittyy. Varmennetun verkon selvitystyönä pitäisi saada aikaan aina selkeä tulos ja vastaus asiakkaan "kysymykseen".

Tärkeänä tavoitteena on myös selvitystyön aikataulun laatiminen. Selvittäjän kannattaa ehdottomasti luvata mieluummin liian väljä aikataulu kuin luvata liikoja. Varmennetun verkon selvitystyö voi viedä joskus yllättävän paljon aikaa varsinkin, jos vaaditaan lisä-

konsultointia esimerkiksi varavoimakoneen valmistajalta tai sähkösuunnittelijalta. Lisäksi selvitystyön suorittaja voi joutua perehtymään johonkin hänelle uuteen järjestelmään. Asiakkaalla on usein vaatimuksia aikataulujen suhteen varsinkin, jos joudutaan tekemään koestuksia. Esimerkkinä voidaan mainita, että hotellit toivovat selvitystöiden tapahtuvan joulun aikaan, jolloin asiakkaita on vähiten ja hotellit ovat jopa usein kiinni.

Tavoitteita asettaessa pitää myös sopia työn laajuus sekä se sisältyykö siihen kaapeli-merkintöjen lisäämistä/korjaamista, dokumenttien päivitystä ja huoltotehtäviä.

8.1.3 Henkilöihin tutustuminen

Ensimmäisenä tehtävä varsinaisessa selvitystyössä on ottaa yhteyttä asianomaisiin henkilöihin. Suurien kiinteistöjen sähköjärjestelmien parissa työskentelee iso joukko rutinoituneita asiantuntijoita, joiden ammattitaitoa tulee käyttää hyödyksi. On hyvin suositeltavaa keskustella kaikkien kiinteistön sähköjärjestelmästä vastaavien henkilöiden kanssa ja kertoa heille aikeistaan tehdä selvitystyö. Tilaajana selvitystyölle toimii usein isännöitsijä, jonka kautta saa asianomaisten yhteystiedot helposti. Seuraaviin henkilöihin on syytä olla yhteydessä:

- Kiinteistön huoltomies, jonka on hyvä olla mukana fyysistä selvitystyötä tehtäessä koska hän tuntee kiinteistön usein parhaiten ja tietää keskustusten sijainnin.
- Kiinteistön isännöitsijä, toimii yleensä tilaajana.
- Sähkösuunnittelija, tuntee järjestelmän ja voi auttaa dokumenttien hankinnassa.
- Sähkön käytön johtaja, vastaa sähköjärjestelmästä ja antaa luvan mahdollisille mittauksille ja koestuksille.
- Laitteiston toimittajaan tarpeen mukaan.

Varmennettuja verkkoja sijaitsee yleensä arvokkaissa kiinteistöissä, jotka ovat hyvin tiukasti valvottuja. Selvittäjän on hyvä hankkia riittävät kulkuoikeudet ja avaimet kiinteistön eri tiloihin jo etukäteen. Usein voi tulla eteen tilanne, jossa henkilöstä vaaditaan tarkkoja tietoja, jotka pitää toimittaa valvomoon jo päiviä etukäteen. Näin kiinteistön turvallisuudesta vastaaville asiantuntijoille jää aikaa tarkistaa tiedot ennen avaimien luovutusta. Usein pankeilla ja virastoilla on tällainen käytäntö.

8.1.4 Dokumenttien hankkiminen

Varmennetun verkon selvitystyön toisena tärkeänä työkaluna on dokumenttien tutkiminen. Suomessa on käytössä vahvat periaatteet siitä, että sähködokumentit pidetään ajan tasalla myös muutoksia tehdessä. Dokumenttien tutkiminen on kohtalaisen helppo tapa aloittaa tutustuminen varmennetun verkon rakenteeseen. Varmennetut järjestelmät ovat harvinaisia ja monimutkaisia järjestelmiä, joten asiakirjat on aina laadittu huolellisesti, ja ne yleensä löytyvät myös pienen etsimisen jälkeen.

Yleensä suurin osa piirustuksista ja kaavioista löytyy kiinteistön sähköpääkeskuksesta tai varavoimakonehuoneesta. Niille on yleensä varattu oma tila seinälle kiinnitetystä postilaatikosta tai ne on sijoitettu sähkökaapin omaan koteloon, joka on ilmoitettu tekstillä kannessa. Suunnittelijoilla, isännöitsijöillä ja huoltoyhtiöllä on myös usein kattavasti kiinteistön asiakirjoja omissa arkistoissaan.

8.2 Kohteen ja dokumenttien selvitystyö

8.2.1 Henkilöihin haastattelu

Varsinainen selvitystyö on hyvä aloittaa huoltomiehen eli laitteiston käyttäjän kanssa. Hänen kanssaan on hyvä keskustella järjestelmässä havaituista ongelmista, muutoksista ja haasteista, koska huoltomies tuntee järjestelmän nykytilanteen parhaiten. Varsinaista fyysistä selvitystyötä tehdessä on huoltomiehen hyvä olla mukana, koska huoltomiehet lähes poikkeuksetta tietävät tarkalleen missä kiinteistön keskuskeskukset sijaitsevat.

8.1.1 Dokumenttien tutkiminen

Dokumentteihin tutustuminen on hyvä aloittaa perehtymällä kiinteistön käyttötarkoitukseen. Sitä kautta on helppo ymmärtää, millaisia vaatimuksia kiinteistöltä ja myös sen varmennetuilta järjestelmiltä vaaditaan. Dokumentteja tulkittaessa tulee huomioda, että piirustuksiin on usein tehty paljon muutoksia, jotka voivat olla usein hyvinkin epäselviä. Niihin tulee suhtautua suurella varauksella ja selvittää kaikki epäselvyydet siirryttäessä kiinteistössä tapahtuvaan selvitystyöhön.

Varsinaisten sähköpiirustusten selvitystyö kannattaa aloittaa tutkimalla kiinteistön sähköjärjestelmän periaatteet pää- ja nousujohtokaaviosta. Kyseisistä kaavioista saa hyvän kuvan sähköjärjestelmän perusrakenteesta. Varmennetuista järjestelmistä on aina sähkösuunnittelija laatinut omat piirustukset, mutta on oleellista, että selvitystyön tekijä tuntee ainakin pääpiirteissään myös normaalin verkon puolen. Keskusten pääkaaviot ovat hyvä apuväline tutkittaessa, mitä kuormia varmennettu verkko sisältää. Usein niihin on eritelty yksityiskohtaisesti kuormien nimet ja sijainnit. Jokaisesta keskuskaaviosta löytyy ainakin kuormaa syöttävän kaapelin koko ja tyyppi sekä sitä suojaava suoja-laite ja sen koko. Pelkästä suojalaitteen koosta osataan helposti määrittää, kuinka merkittävä kuorma on ja millaisia vaikutuksia sillä on varmennettuun verkkoon.

8.1.2 Fyysinen selvitystyö

Vanhemmissa kiinteistöissä asiakirjojen hankkiminen voi olla mahdotonta ja voi olla, että kaapelin perässä juoksemisilta ei voida tällöin välttyä lähes ollenkaan. Vanhemmissa kiinteistöissä selvitystyön haastetta lisää entisestään kaapelireittien hankala sijainti, puuttuvat merkinnät sekä erittäin pölyiset ja sotkuiset kaapelihyllyt. Lisäksi kaapelireitit menevät usein seinien läpi, joiden läpiviennit on palokatkomassattu umpeen.



Kuva 9. Esimerkkikuva asiallisista kaapelimerkinnöistä.

Usein joudutaan tilanteeseen, jossa kaapelihyllyjen kaapeliniippuja pitää purkaa ja palokatkomassauksia avata, jotta kaapeleiden todellinen määränpää voidaan varmuudella selvittää. Palokatkomassauksien avaamisen jälkeen ne on taas massattava umpeen. Palokatkomassaus on luvanvaraista hommaa, joten siihen on hankittava erillinen urakoitsija työtä suorittamaan.

Usein jo tässä vaiheessa kannattaa suorittaa merkintöjen tekemistä (kuva 9), koska se helpottaa huomattavasti jälkikäteen toimeenpantavaa merkkaustyötä. Myös muut mahdolliset alustavat merkinnät kuten keskustunnusten lisäämiset kannattaa suorittaa jo fyysistä selvitystyötä tehtäessä.

8.2 Mittaukset ja analysointi

Vaikka selvitystyötä on suoritettu dokumentteja tutkimalla ja käymällä läpi järjestelmää fyysisesti, usein joudutaan suorittamaan mittauksia sähkönlaadun analysaattorilla. Maailman markkinoilla on muutamia valmistajia, joiden mittalaitteita on yleisesti käytössä. Sähkönlaadun analysaattori (kuva 10) koostuu keskusyksiköstä, viidestä jännitemittapästä ja neljästä virtapihtimittauspästä. Analysaattori mittaa jännite- ja virta-arvoja, ja niiden perusteella se prosessoi eri tehoja. Analysaattori pystyy myös huomiomaan transientteja, yliaaltoja ja virta/jännitepiikkejä. Monipuolisten ominaisuuksien ansiosta analysaattorilla voidaan todeta myös jännite- ja virtasymmetria, taajuuden muutokset sekä jännite- ja virtatasot vaiheittain. Lisäksi analysaattorista löytyy suoratoiminto, jolla voidaan verrata tietyn ajanjakson mittaustuloksia EN 50160-sähkönlaatustandardiin.



Kuva 10. Erään suuren valmistajan sähkönlaadun analysaattori.

Analysaattori kytketään varmennettuun verkkoon jännitemittausta varten hauenleuka liittimin jännitteisiin kohtiin. Virtamittauksen suorittavat pihtivirtamittapäät, joiden tilalle on saatavissa myös ns. Flex-virtapihtejä. Flex-virtapihti on helpompi kytkeä ahtaisiin tiloihin, koska se on rakenteeltaan paksu joustava kaapeli. Yleensä sopiva paikka mittarin liittämiseen löytyy varavoimapääkeskuksesta tai varavoimakoneen ohjauskeskuksesta generaattori- ja verkkokontaktorin läheisyydestä. (kuva 11.)

Analysaattori vaatii toimiakseen tukevan ja hyvin maadoitetun suojamaadoituspisteen. Päämaadoituskiskoa kannattaa käyttää maadoituspisteenä. Sähköturvallisuuteen on kiinnitettävä huomiota, koska analysaattori joudutaan liittämään jännitteisiin osiin ja vielä paikkoihin, joissa on hyvin suuret oikosulkuvirrat. Jännitetyökalujen ja suojaimien käyttö on pakollista analysaattorin mittapäitä asennettaessa.



Kuva 11. Sähkölaadun analysointijärjestely eräessä kohteessa.

Analysaattorit vaativat toimiakseen 230 V:n verkkosyötön. Pääkeskus- ja varavoimakonehuoneista löytyy kiitettävästi pistorasioita analysointijärjestelmän liittämiseen. Hyvä on myös muistaa, että verkkosyöttö analysointijärjestelmän muuntajalle kannattaa ottaa varmennetusta verkosta, jos mahdollista.

Ennen mittauksen aloittamista on mittari kalibroitava. Analysointijärjestelmä vaatii tietoonsa, onko järjestelmä TN-S vai TN-C, mikä on järjestelmän nimellisjännite, mitä standardeja noudatetaan, jne. Ennen käyttöönottoa on aina suositeltavaa tutustua käyttöoppaaseen. Näin vältetään vääriä ja harhaan johtavia mittaustuloksia.

8.2.1 Kuormituksen mittaus

Lisättäessä varmennettuun verkkoon lisäkuormia on hyvä tarkistaa verkon todellinen kuormitus sähkölaadun analysointijärjestelmällä. Tällöin varmistetaan, ettei verkko pääse ylikuormittumaan missään tilanteessa. Kuormitusta mitattaessa pitää varmennetun ver-

kon kaikki kuormat kytkeä verkkoon. Myös satunnaisesti käynnistyvät kuormat kuten puhaltimet, pumput ja hissit, pitää käynnistää useaan kertaan, jotta nähdään niiden todelliset vaikutukset varmennetussa verkossa. Mittauksen tulosten selvittyä on syytä selvittää laitevalmistajan kanssa uuden kuorman todelliset vaikutukset varmennettuun verkkoon.

8.2.2 Häiriöiden mittaus

Selvitystyö voi perustua tai siihen voi sisältyä verkossa olevien ongelmien selvittäminen. Tämäntyyppiset mittaukset ovat yhä enemmän ajankohtaisempia, koska varmennetussa verkossa sijaitsee entistä enemmän sähkönlaadulle herkempiä laitteita. Usein varmennetussa verkossa on laitteistoja, jotka tuottavat varmennettuun verkkoon paljon yliaaltoja ja transientteja. UPS-laitteet ja taajuusmuuttajat ovat tämäntyyppisiä laitteistoja. Syötettäessä varmennettua verkkoa generaattorikäytöllä on myös vaara, että laitteistot voivat tuhoutua. On tiedossa useita tapauksia, joissa varavoimalaitoksen generaattori ei ole pystynyt syöttämään ominaisuuksiltaan riittävän laadukasta sähköä ja laite on sen seurauksena tuhoutunut.

Usein taloteknisissä järjestelmissä on myös laitteita, joiden suojausautomaatiikka estää niiden toiminnan generaattorikäytöllä. Jos laitteeseen ei ole mahdollista suorittaa säätöä, on varavoimakoneeseen tehtävä muutostöitä. Yleinen ongelma vanhoissa varavoimakoneissa on niiden jännitteensäätö. Vanhoissa moottoreissa kierrosluvunsäätö on toteutettu mekaanisesti, eikä se pysty reagoimaan nopeisiin kuorman muutoksiin. Tällöin dieselin kierrosluku laskee, jolloin se vaikuttaa generaattorin taajuuteen ja jännitteeseen sitä laskien. Usein ongelma voidaan korjata vaihtamalla mekaanisen kierrosluvunsäätimen tilalle sähköinen kierrosluvunsäädin, joka kykenee reagoimaan nopeisiin muutoksiin tehokkaammin. Joskus ainoa taloudellisesti järkevä vaihtoehto on varavoimalaitoksen uusiminen kokonaan.

8.2.3 Sähkön laadun vertaaminen standardiin EN 50160

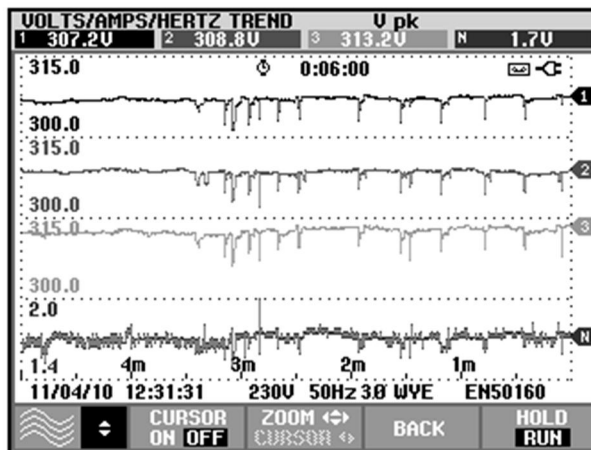
Eurooppalaisessa standardissa EN 50160 on määritelty selkeitä raja-arvoja sähkönlaadulle. Useat sähkönlaadun analysaattorit antavat tuloksensa suoraan EN 50160:n mu-

kaan, ja vertailu on niiden avulla helppoa. Standardin rakenne perustuu kolmeen eri sähkölaadun tasoon, jotka ovat hyvä laatu, normaali laatu ja standardi laatu. Käytännössä valtakunnan verkon taso on ”hyvä laatu” ja generaattorikäytöllä sähkölaatu lähes poikkeuksetta ”standardi laatu”.

Liitteessä 3 on standardin EN 50160 mukaisesti laadittu taulukko helpottamaan tulosten analysointia ja vertailua standardiin. Taulukkoon on koottu selkeästi jännitteen, taajuuden, harmonisten yliaaltojännitteiden ja jännitesymmetria raja-arvot kaikille kolmelle tasolle.

8.2.4 Mittaustulosten analysointi

Mittaustapahtuman viimeisenä tehtävänä on suorittaa mittaustulosten analysointia. Sähkölaadun analysaattorista voidaan mittaustulokset kätevästi purkaa tietokoneelle ja sitä kautta analysoida mittaustuloksia yhä uudelleen ja uudelleen. Analysaattorin mukana toimitetaan tietokoneelle asennettava ohjelma, jolla analysointi suoritetaan. Analysoitua mittaus tapahtumaa pystytään simuloimaan tietokoneella videon tapaan tai mittaustapahtumasta voidaan ottaa pysäytyskuvia (kuva 12), joita sitten voidaan analysoida ja liittää raporttiin.



Kuva 12. Erään valmistajan sähkölaadun analysaattorin tuottama pysäytyskuva jännitetrendistä.

Mittaustulosten analysoinnin haasteena on rajoittaa työ vain oleellisesti tärkeisiin asioihin. Analysaattori tuottaa valtaisan määrän dataa mittaustapahtumasta ja oleellisen tiedon poimiminen on haasteellista. Suositeltavaa on ensin katsoa mittaustapahtumaa ko-

konaisuutena. Taajuuden ollessa riittävällä tasolla verrattuna EN 50160-standardiin, voidaan se vain mainita, eikä sitä tarvitse sen suuremmin analysoida. Analysoinnissa pitää siis pyrkiä keskittymään vain ongelmallisiin tai selvitystyön tavoitteiden mukaisiin kohtiin.

8.3 Lopputulokset ja toimenpiteet

Mittaustulosten analyysin jälkeen voidaan selvitystyöstä laatia raportti, jossa selvitystyön tulokset ja johtopäätökset. Lopullinen raportti sisältää

- kohteen perustiedot
- selvitystyön tavoitteet ja lähtökohdat
- kuinka selvitystyö toteutettiin ja mitä työkaluja sen suorittamiseen käytettiin
- mittaustulosten analyysit ja kuvia
- loppupäätelmät ja johtopäätökset
- ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi
- liitteenä voi olla piirustuksia ja kaavioita

Raporttiin on hyvä liittää kuvia kohteesta ja varsinkin huomautettavista yksityiskohdista. Mittauksen analyysissa on hyvä selvittää vain kohteelle ja selvitystyön tavoitteille olennaisia asioita eikä analysoida turhia tietoja. Tietenkin jos mittauksessa havaitaan selkeästi poikkeavia asioita kuten alhainen verkkojännite, tämä on hyvä mainita, vaikkei se suoraan liittyisikään selvitystyön alkuperäisiin tavoitteisiin. Tällöin mittauksen tekeminen tukee selvitystyötä tehokkaasti ja raportin lukija ymmärtää mittauksen ja selvitystyön yhteyden selkeästi.

Selvitystyön jälkeen usein toimeenpannaan useita toimenpiteitä. Toimenpiteiden toteuttajana voi olla töiden laajuudesta johtuen itse selvitystyön tehnyt yritys, tai se voi siirtää tehtävät toiselle toimijalle. Suuremmissa kiinteistöissä on yleensä suunnittelutyöt tilattu suurilta insinööri-toimistoilta ja huoltotehtävät huoltoyhtiöiltä. Näillä toimijoilla on usein riittävät resurssit hoitaa varmennetun verkon selvitystyössä huomautettavat asiat hyvällä ammattitaidolla.

Selvitystyön perusteella voidaan toimeenpanna seuraavia toimenpiteitä:

- dokumenttien kuten piirustusten, kaavioiden ja luetteloiden päivittäminen sähkösuunnittelijan toimesta
- kaapelimerkintöjen, keskustunnusten ja muiden merkintöjen lisääminen ja päivittäminen
- keskushuoneen, varavoimakonehuoneen, kaapelihyllyjen ja keskuskaappien korjaaminen sekä puhdistaminen
- suojamaadoituksen parantaminen
- suuremmat muutostyöt, kuten varavoimakoneen, keskusten sekä kaapeloinnin uusiminen.

9 Esimerkkikohteiden malliraportit

Työmenetelmään kehitettäessä käytettiin apuna kolmea pääkaupunkiseudulla sijaitsevaa kohdetta, joissa suoritettiin erilaajuiset varmennetun verkon selvitystyöt. Tässä työssä en julkaise kohteista yksityiskohtaisia tietoja, jotta niitä ei pystytä yksilöimään.

9.1 Espoossa sijaitseva toimistorakennus

Ensimmäisenä kohteena on Espoossa arvokkaalla paikalla sijaitseva toimistorakennus. Tämä toimistorakennus on saneerauksessa ja sinne ollaan etsimässä uusia vuokralaisia. Kiinteistö sisältää laajasti rakennetun varmennetun verkon ja suuritehoisen varavoimakoneen. Kohteessa on myös UPS-laitteisto, joka syöttää koko varmennettua verkkoa, eikä toimi erillisenä kuten yleensä.

Kohteen rakennuttaja halusi, että varmennettuun verkkoon tehdään selvitystyö ja selvitetään, mitä kuormia varmennettu verkko sisältää. Tämä tuli tarpeelliseksi, kun sähkökatkon aikana todettiin, että katolla sijaitsevat GSM-tukiasemat eivät ole varmennetussa verkossa, kun ne sähkökatkon aikana sammuivat akkujensa loputtua.

Täten urakoitsijan tilauksesta kohteessa teetettiin varmennetun verkon selvitystyö. Apuna ei käytetty analysointia, koska se ei ollut mahdollista. Haasteena tässä kohteessa oli myös se, että sähködokumentit olivat puutteellisia. Liitteessä 4 on selvitystyöstä tehty raportti.

9.2 Suuri hotellikiinteistö meren äärellä

Toisena kohteena on Helsingissä sijaitseva suuri hotellirakennus. Varmennetun verkon selvitystyö rajoittui ainoastaan analyysointilla suoritettuun mittaukseen varavoimapäätelystä. Asiakas ei varsinaisesti tilannut selvitystyötä. Selvitystyö suoritettiin, koska varavoimakoneen määräaikaishuollon yhteydessä todettiin, että N:n ja PE:n välillä on huomattava potentiaaliero eli jännitettä. Alettiin epäillä, että maadoitus ei ole riittävällä tasolla ja tästä syystä suoritettiin mittaus varavoimapäätelystä.

Selvitystyön perusteella loppupäätelmissä ehdotettiin, että maadoitusta parannetaan varavoimapäätelystä ja päätelystä välillä. Nykytilanteessa maadoitus oli toteutettu ainoastaan konsentrisella suojajohtimella ja se ei näytä riittävältä. Liitteessä 5 on raportti hotellikiinteistön selvitystyöstä.

9.3 Kansallisesti merkittävä kulttuurirakennus Helsingissä

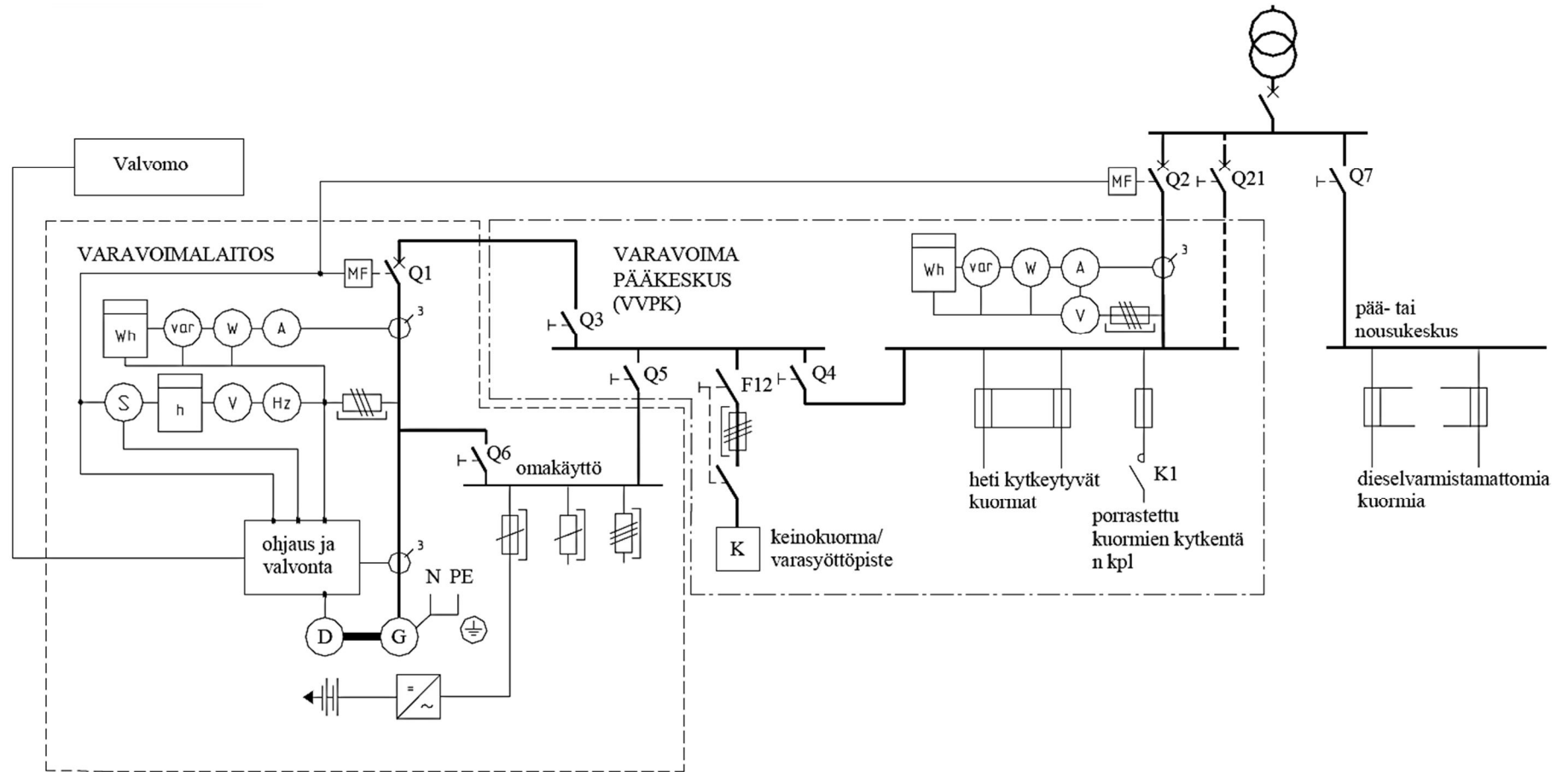
Viimeisenä kohteena on kansallisesti hyvin merkittävä kulttuurirakennus Helsingin ydinkeskustassa. Kohteessa on useita varavoimakoneita ja siten myös rinnakkain rakennettuja varmennettuja verkkoja. Selvitystyö kohdistui vain toiseen niistä, ja tarkoituksena oli selvittää, voidaanko varmennettuun verkkoon liittää uusi hissi. Työmenetelmän kehittäminen oli tässä kohteessa jo pitkällä, ja siten kolmannessa kohteessa on voitu hyödyntää työmenetelmää tehokkaasti.

Työkaluina käytettiin kaikkia työmenetelmän apuvälineitä, dokumentteja, asiantuntijoita, analyysointia sekä fyysistä selvitystä. Kohteessa käytettiin hyväksi myös tarkistuslistaa ja sähkön laadun standardin raja-arvotaulukkoa. Liitteinä 6 ja 7 ovat kohteen selvitystyöstä tehty raportti ja prosessilomake.

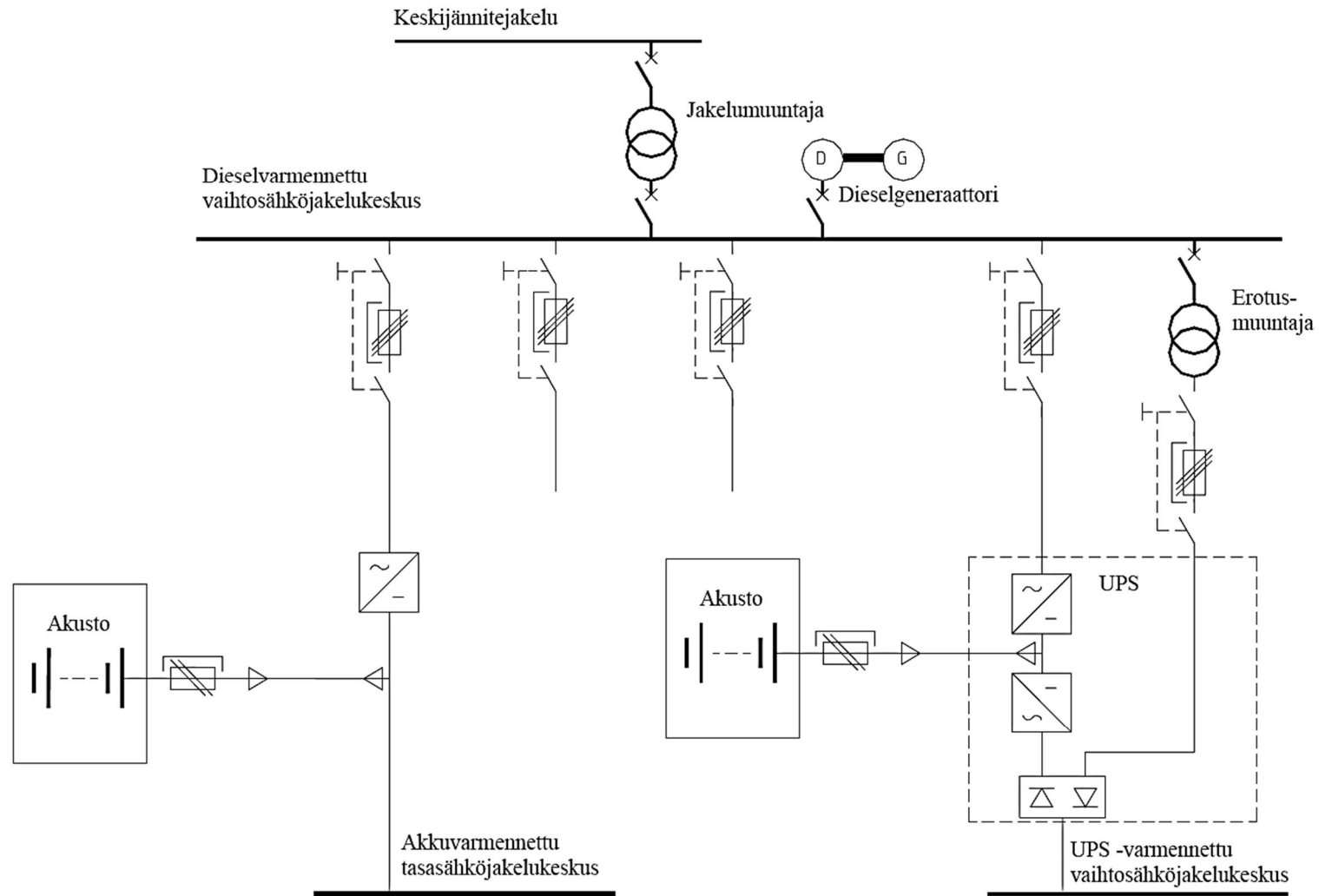
Lähteet

- 1 Lehtomäki, Elina. 2009. Keskeytystilasto. Helsinki: Energiateollisuus Ry.
- 2 Laitinen, Jaana (toim.). Vainio, Suvi (toim.). 2008. Pitkä sähkökatko ja yhteiskunnallisten toimintojen turvaaminen. Helsinki: Puolustusministeriö.
- 3 Hakanen, Pertti (toim.) 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät, ST-käsikirja 20. Espoo: Sähkötieto Ry.
- 4 Torri, Janne. 2008. Varavoimakoneiden vikaantuminen ja luotettavuuden parantaminen. Insinööriyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- 5 Suomen sähköjärjestelmä. 2010. Verkkodokumentti. Findgrid Oy. <http://www.findgrid.fi/portaali/suomeksi/yritysinfo/suomen_sahkojarjestelma/>. Luettu 17.1.2011.
- 6 Sandback, Ismo (toim.) 2000. Varavoimalaitokset, ST-käsikirja 31. Espoo: Sähkötieto Ry.
- 7 Jantunen, Matti. 2004. Sellutehtaan varavoimajärjestelmän mitoitus ja teknis-taloudellinen vertailu 400 ja 690 voltin jännitteillä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- 8 FinGen suunnitteluopas. 2010. Verkkodokumentti. Findgrid Oy. <<http://www.fingen.fi/suunnittelu.htm>>. Luettu 19.1.2011.

Varmennetun verkon perusrakenteen mallikaavio



Esimerkkikaavio sähköverkkojen jaosta



Standardin EN 50160 mukaiset laatuksiteerit sähkön laadulle								
Suure	Hyvä laatu		Normaali laatu		Standardilaatu			
					normaali tilanne		saareke/varavoima	
Taajuus	50 Hz ±1%	49,5-50,5 Hz	50 Hz ±1%	49,5-50,5 Hz	50 Hz ±1%	49,5-50,5 Hz	50 Hz ±2%	49,0-51,0 Hz
Jännitetaso	$U_n \pm 4\%$	221-239 V	$U_n \pm 10\%$	207-253 V	$U_n \pm 10\%$	207-253 V	$U_n \pm 10\%$	207-253 V
Harmoniset U	THD ≤ 3 %		THD ≤ 3 %		THD ≤ 3 %		THD ≤ 3 %	
Jännitesymmetria	Unbal. [%] ≤ 2 %		Unbal. [%] ≤ 2 %		Unbal. [%] ≤ 2 % (mit.)		Unbal. [%] ≤ 2 % (mit.)	

Asiakas
Yhteyshenkilö
Osoite

Asia:

Viite:

Varavoimakoneen määräaikaishuollon yhteydessä tehtiin pyynnöstä varmennetun verkon selvitystyö. Työn tarkoituksena oli selvittää miten varmennettu verkko on toteutettu ja mitä kuormia varmennetussa verkossa on tällä hetkellä. Selvitystyö toteutettiin tutkimalla olemassa olevia dokumentteja ja tarkastamalla varmennetun verkon keskuksat silmävaraisesti.

Varmennetun verkon syöttö kulkee pääkeskuksesta 166 kVA dieselgeneraattorille, joka edelleen antaa syötön 100 kVA:n UPS-laitteelle, joka syöttää varavoimapääkeskusta. UPS on asennettu jälkeenpäin ja muutoksen jälkeiset kaapelimerkinnot puuttuvat. Dokumentointi on epämääräinen. UPS-laite on asetettu ”Pois Käytöstä”-tilaan ja akkujohdo on irroitettu. UPSin ohituskytkin on päällä.

Varmennetussa verkossa UPS antaa katkottoman syötön noin 15-20 minuutiksi ja dieselsyöttö varmistaa UPSin toiminnan pidemmän katkon aikana. Diesel käynnistyy ja antaa tehon 10 sekunnin sisällä katkon alkamisesta. Nyt vain dieselsyöttö ohi UPSin on toiminnassa.

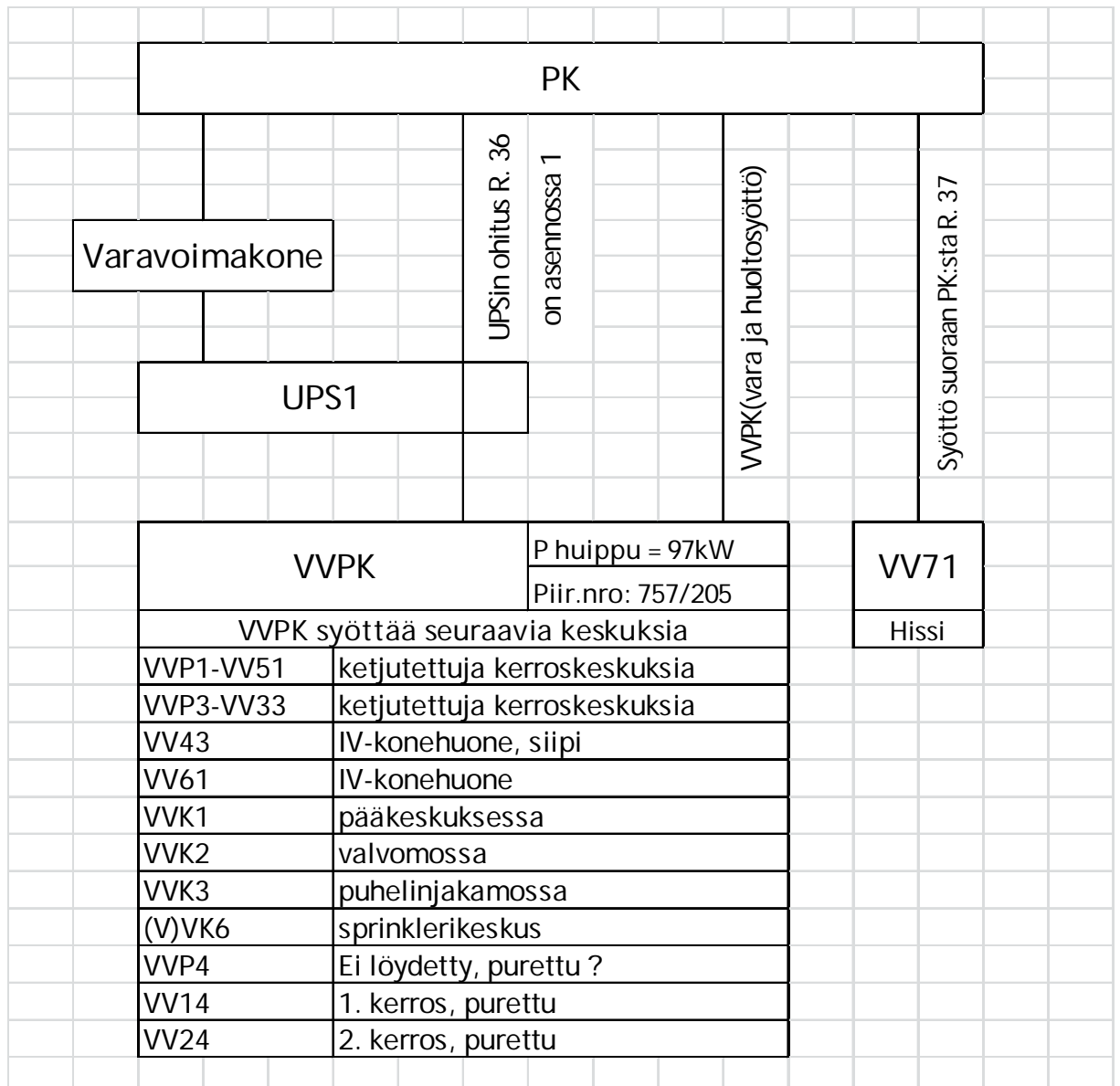
Taulukossa 1 on kuvattu varmennetussa verkossa olevat keskuksat. Varavoimapääkeskus (VVPK) syöttää yhteensä 16 keskusta. Taulukossa 2 on listattu tällä hetkellä VVPK:n perässä olevat kuormat.

Selvitystyön yhteydessä tehtiin seuraavia huomioita:

- Hissijä ei ole kytketty varmennettuun verkkoon. Hissikonehuoneessa oleva keskus VV71 on saanut syötön ennen VVPK:sta. Syöttö tulee nykyään pääkeskuksen ryhmästä 37 eikä näin ole varmennetussa verkossa. Pääkeskuksesta tai mistään kaavioista ei löydy selviä merkintöjä tehdystä muutoksesta. Syöttökaapeli on jatkettu varavoimakonehuoneessa VVPK:n päällä.
- Hissikonehuoneen valaistus ja pistorasiat saavat syötön varmennetusta verkosta keskuksen VV61 kautta.
- Rakennuksessa sijaitsevat tukiasemat eivät ole varmennetussa verkossa, tukiasemat sijaitsevat huoneessa 4605.
- Väestönsuojissa sijaitsevat keskuksat K4 ja K5 eivät ole varmennetussa verkossa.
- Varavoimakeskus VK6 on todennäköisesti merkattu väärin ja sen merkinnän pitäisi olla VVK6, tämä keskus sijaitsee sprinklerihuoneessa.

- UPS:n teho on 100kVA ja näytössä lukee ”kuorman poiskytkentä”. Lisäksi UPS:n akuston yksi akkukaapeli on irrotettu.
- Pääkeskuksessa sijaitseva UPS:n ohituskytkin(kenttä 10, ryhmä 36) on asennossa 1.
- Pohjavesipumppu olisi syytä olla varmennetussa verkossa.

Markku Lehmusto / Antti Löppönen
Medifast-Tekniikka Ky



Taulukko 1. Varmennetun verkon keskuksset.

VVPK:n perässä olevat keskuksset ja kuormat		
Keskus	Kuorma	Lisätietoja
(V)VK6	Sprinkleripumppu P1, 10A	
	Lämmönjakopaketti, 3x16A	lämmin käyttövesi
VVK3	Pistorasioita	
	Puhelinjakamo	
VVK2	Kiinteistövalvonta	
	Kulunvalvonta	ei käytössä
	Kameravalvonta	ei käytössä
	Turvavalot	uudet tulee akkuvarmennetuiksi
VVK1	Porrastilat	
	Jätevesipumppu	ryhmä 9. EKT2S PJK
	Perusvesipumppu	ryhmä 10. EKT2S PJK
	Huolto-ovia	
	Tekn. tilojen valaistus	
	UPS:n jäähdytys	
	Pistorasioita	
VVP3	Käytävän valaistus	
	Paloilmoitinkeskus	siirtyy
VVP1	Valaistus	
	Ovimootoreita	
	Turvavalot	uudet tulee akkuvarmennetuiksi
VV11	Ei mitään	
	Kameroita ollut	
VV13	Ei mitään	
	Ristikytkentäpaneeli ollut	
VV21	Ei mitään	
VV23	Ei mitään	
VV31	Ei mitään	
VV33	Ei mitään	
	Ristikytkentäpaneeli ollut	
VV41	Ei mitään	
	Ristikytkentäpaneeli ollut	
	Jäähdytystä ollut	
VV51	Ei mitään	
VV61	Kiertopumppu 4kpl	
	Valaistus(hissikonehuone, aula)	
	Pistorasia(hissikonehuone)	
	VAK	
	PIK-1	

	IV-konehuoneen valaistus	
	Satelliittipeilit	
VV43	Kiertopumppu 1LP1	
	Valaistus	
	VAK2	
	VKL2	lauhdutin
	VLK3	lauhdutin
	VKL1	lauhdutin

VV71 on todellisuudessa PK:n(ryhmä 37) perässä, vaikka piirustukset kertovat muuta.

VV71	Hissikonehuoneen valot	
	Hissikonehuoneen pistorasiat	
	Hissit 1, 2 ja 3	(moottoriteho 13.5 kW)

Taulukko 2. VVPK:n perässä olevat keskuksat ja niiden kuormat.



Kuva 1. Varavoimakone



Kuva 2. UPS kaapeliliitäntä.



Kuva 3. Varavoimapäätöskeskus VVPK



Kuva 4. Syöttö UPSilta.



Kuva 5. Jakokeskus 61



Kuva 6. Syöttö varmentamattomasta verkosta vaikka varmennettukin on.



Kuva 7. Lämmityksen kojeistoja voisi olla varmennetussa verkossa.



Kuva 8. Lämmityksen kojeakaappeja.

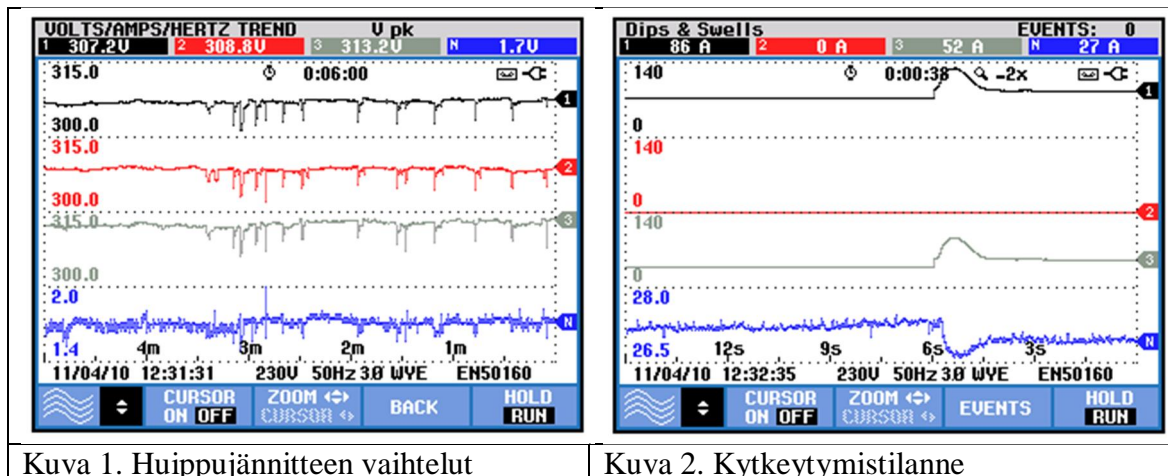
Asiakas
Yhteyshenkilö
Osoite

Asia:

Viite:

Scandic Grand Marinassa tehtiin varavoimakoneen huollon yhteydessä varmennetun verkon sähkönlaadun mittaus. Varmennettu verkko sai mittaus hetkellä syöttönsä normaalista verkosta, eikä varavoimakoneelta, koska kuormitettua koekäyttöä ei ollut mahdollista toteuttaa.

Mittaus suoritettiin Fluke-434 sähkön laadun analysaattorilla varavoimapääkeskuksen pääsulakkeista. Kaapelien ollessa kovin lyhyet, pihtivirtamittarin asentaminen 2. vaiheen kaapeliin oli mahdotonta ja siksi 2. vaihetta ei pystytty virran osalta mittaamaan. Tämä ei kuitenkaan aiheuta lopputuloksiin mitään merkittävää muutosta. Kuvissa toiseen vaiheen osalta tulos näyttää nolaa jos suureen mittaukseen/laskemiseen tarvitaan virta-arvoa.



Kuvasta 1 voidaan todeta että varmennettu verkko sisältää paljon kytkeytyviä kuormia kuten pumppuja, ohjattuja valaistuksia jne. KytKentä hetkellä kuorma ottaa varmennetusta verkosta reilun käynnistys/kytKentä virran (ks. kuva 2). Varmennettuun verkkoon aiheutuu tällöin hetkellinen jännitealenema (ks. kuva 1.). Tämä on täysin normaali tämän tyyppisessä verkossa.

Volts/Amps/Hertz					Power & Energy				
0:06:18					FULL 0:01:14				
	L1	L2	L3	N		L1	L2	L3	Total
V _{rms}	217.2	219.0	221.0	0.7	kW	12.1	- 0.0	7.5	19.7
V _{pk}	306.8	308.0	312.1	1.7	kVA	15.7	0.1	8.8	31.3
CF	1.41	1.41	1.41	OL	kVAR	9.9	0.1	4.5	24.3
Hz	50.04				PF	0.77	---	0.86	0.63
	L1	L2	L3	N	Cos ϕ	0.78	---	0.86	
A _{rms}	86	0	53	26.9	A _{rms}	72	0	40	
A _{pk}	122	1	76	51.1					
CF	1.41	OL	1.44	1.90					
11/04/10 12:31:48 230V 50Hz 3Ø WYE ENS0160					11/04/10 12:35:35 230V 50Hz 3Ø WYE ENS0160				
VOLTAGE					VOLTAGE				
TREND					ENERGY				
HOLD RUN					HOLD RUN				

Kuva 3. Jännitteen ja virran arvot

Kuva 4. Tehotaulukko

Huollon yhteydessä tehtävän generaattorikotelon tarkistuksen ja sitä seuranneen mittauksen yhteydessä todettiin että generaattorin navoilla nolla- ja suojamaadoitusjohtimen välillä on huomattava jännite. Myös analysaattorilla tehdyssä mittauksessa huomataan että nollajohtimessa vaikuttaa jännite ja siellä kulkeva virta on myös huomattava (ks. kuva 3).

Jatkotutkimuksissa totesimme että varavoimapäikeskukselta eteenpäin menevä suojamaadoitus on puutteellinen tai se voisi ainakin olla parempi. Suojamaadoitus olisi hyvä vetää erillisellä kuparijohtimella päämaadoituskiskolle asti. Tällä hetkellä suojamaadoitus jatkaa varavoimapäikeskukselta konsentrisena johtimena. Varavoimapäikeskuksen ja varavoimakoneen väliin on kytketty asianmukaisesti erillinen suojamaadoitusjohdin.

Tehotaulukosta (ks. kuva 4) voidaan todeta että varmennetun verkon kuormitus on melko epäsymmetristä. Myös virroista (ks. kuva 3) nähdään että ensimmäisen ja kolmannen vaiheen välillä on lähes 33 ampeeri ero. Tämä epäsymmetrinen tasaantuu, aiheuttaen nollajohtimeen suuren virran.

Taulukoista (ks. kuva 3 & 4) nähdään myös että verkonjännite on melko alhainen. Verkkojännite hädin tuskin yltää 220 volttiin, nykyisen verkkojännitteen ollessa 230 V. Ilmiö voi johtua vanhentuneesta muuntajasta tai väliottokytkimen väärästä asennosta.

Yhteenvedona voidaan todeta että maadoituksen lisääminen varavoimapäikeskuksen ja pääpotentiaaliskon välillä voisi olla hyvä toimenpide. Tällä lisäpotentiaalitin tasauksella nollajohdin saataisiin jännitteettömäksi. Se ei ole kuitenkaan kiireellistä eikä vaikutta kiinteistön toimintaan merkittävästi. Lisäksi alhaisen verkkojännitteen syy olisi hyvä selvittää jotta päästään varmuuteen, onko se tehty tarkoituksella vai onko se jäänyt huomioimatta.

Asiakas
Yhteyshenkilö
Osoite

Asia:

Viite:

Kohteen tiedot

Kohteen nimi:
Osoite:
Rakennusvuosi:
Yhteyshenkilön nimi:
Yhteyshenkilön puh:

Varavoimakone

Moottorin malli: Scania DS 11
Generaattorin tyyppi: Strömberg 452 02 09
Generaattorin teho ja virta: 155 kVA, 221 A

Lähtökohdat ja tavoitteet

Finlandia-talon kongressisiivessä suoritettiin 22.2. ja 24.2 varmennetun verkon selvitystyö. Selvitystyön tavoitteena oli selvittää voidaanko kongressisiiven varavoimakoneen taakse liittää uusi asennettava hissi. Kyseinen hissi uusitaan ja samalla sen kuilua pidennetään 22 metrillä jotta se ulottuu uuteen louhittavaan parkkihalliin. Asiakkaan toivomuksena olisi saada hissi varmennetun verkon syöttöön, koska hissien pysähtyessä 22 metriä pitkään kuiluun ei ole toivottavaa.

Varavoimakoneen kuorman arveltiin olevan pieni ja hissien lisäämisestä ei koituisi siten ongelmia. Lisäksi muutostyötä helpottaa se että varavoimapääkeskus (VVPK) ja pääkeskus (PK) sijaitsevat samassa tilassa. Kaapelin siirtäminen pääkeskuksesta varavoimapääkeskukseen on täten pieni asennustyö. Tästä huolimatta varmennetun verkon rakenne päätettiin selvittää.

Sähköjärjestelmän saneeraus on suoritettu vuonna 2007. Saneerauksen yhteydessä on uusittu varavoimapääkeskus ja pääkeskus. Lisäksi dokumentteja on päivitetty huolellisesti saneerauksen yhteydessä.

Miten työ toteutettiin ja mitä työkaluja käytettiin

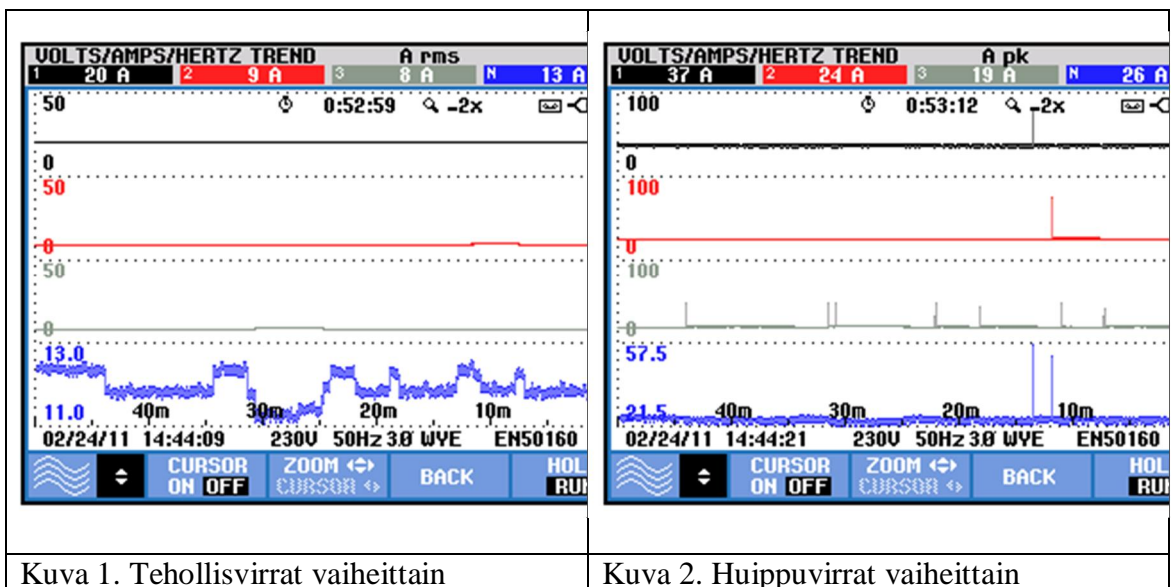
Työ toteutettiin tutustumalla ensin kohteeseen ja keskusteltiin asianomaisten henkilöiden kanssa. Tutustumisen jälkeen suoritettiin dokumenttien selvitystyö. Dokumentit löytyivät helposti pääkeskushuoneen sinisestä postilaatikosta. Osa keskuskaavioista oli kuitenkin toisaalla, mutta keskustelun perusteella keskustusten kuorman luonne saatiin kuitenkin selville.

Dokumentteja ja haastattelemalla saatiin selville varmennetun verkon rakenne. Varmennetun verkon perusrakenne on hyvin tyypillinen, yksinkertainen ja luotettava. Kuormat ovat pääasiallisesti valaistusta, pistorasioita ja tärkeitä elektronisia laitteita ja järjestelmiä. Varmennettu verkko sisältää myös muutamia moottorikäyttöjä.

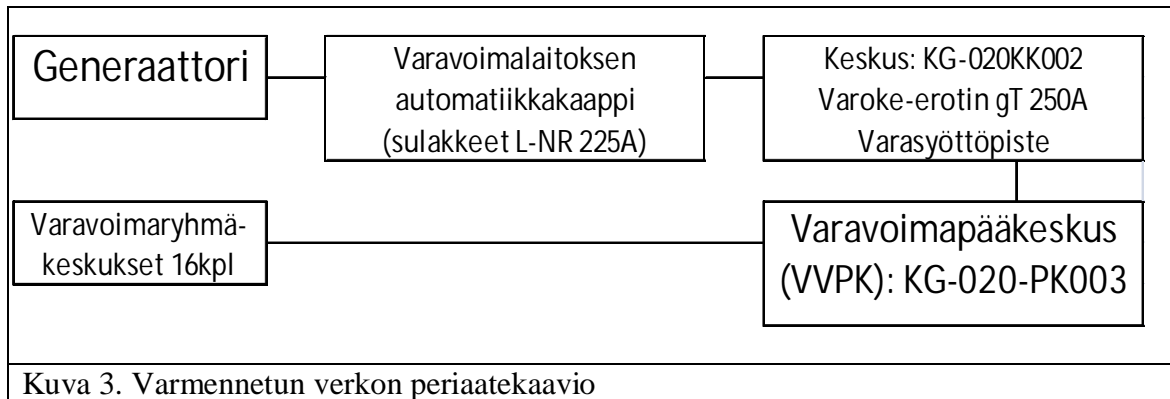
Viimeiseksi suoritettiin mittaus Fluken-434 sähkönlaadun analysaattorilla. Analysaattorilla mitattiin varmennetun verkon kuorma verkkokatkaisijan jälkeen. Mittauksesta ei saatu todellista kuvaa, koska remontin takia kaikkia kuormia ei voitu kytkeä verkkoon. Selvitystyön ohessa todettiin että varavoimapääkeskukseen oli kytketty hissi josta käyttäjällä ei ollut tietoa. Hissin todettiin olevan henkilöhissi huoltokäytävässä ja sitä käytiin käynnistämässä jotta saatiin hissin käynnistymishetki mitattua analysaattorilla.

Mittaustulosten analyysi ja johtopäätökset

Kiinteistön sähkönlaadun ja kuormituksen mittaus suoritettiin pääkeskushuoneessa. Mittauskohtana oli varavoimapääkeskuksen verkkokatkaisija. Mittauspääät asetettiin katkaisijan yläpuolelle, ennen katkaisijaa (ks. kuva 10). Mittaus suoritettiin tilanteessa, jossa varavoimapääkeskusta syötti normaali verkko. Varavoimakoneen käyttöön ei todettu olevan tarvetta koska kaikkia varmennetun verkon kuormia ei ollut käytössä, joten todellista tilannetta ei voitu simuloida.

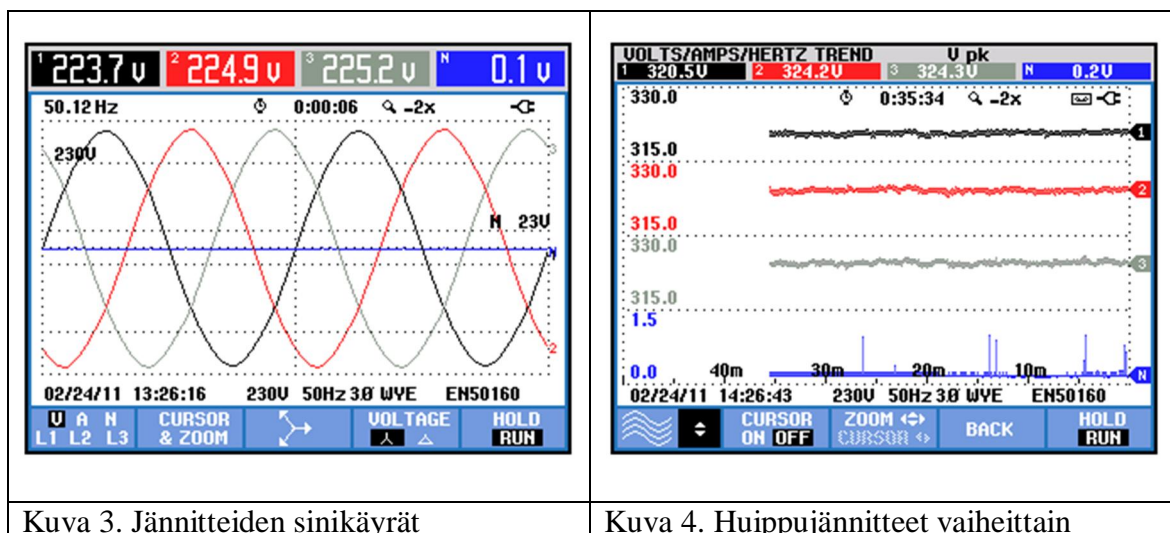


Kuvassa 1. nähdään varmennetun verkon kuormitusvirta vaiheittain ja tehollisarvoina. Kuvasta voidaan todeta että ykkösvaiheessa virta on huomattavan suuri verrattuna muihin vaiheisiin(epäsymmetrisyys). Tämä johtuu pelkästään siitä, että mittaus hetkellä sattui olemaan sellaisia yksivaihekuormia päällä jotka on ryhmitelty ykkösvaiheeseen. Kuvassa 2 nähdään sama tilanne virran huippuarvoina. Muutamat virtapiikit johtuvat moottorikuormien, kuten hissien ja pumppujen käynnistymisistä. Nollajohtimessa vaikuttaa kohtalaisen suuri virta, joka johtuu kohtalaisen suuresta kuormitusvirtojen epäsymmetrisyydestä.



Kuva 3. Varmennetun verkon periaatekaavio

Kuvassa 3. on kuvattu varmennetun verkon perusrakenne. Generaattori syöttää varavoimalaitoksen ohjauskaappia jossa on 225 A sulakkeet. Varavoimalaitoksen ohjauskaapin vieressä sijaitsee keskus(KG-020KK002) jossa on taas pääkatkaisija ja 250 A:n varoke-erotin. Tämä keskus syöttää varavoimapääkeskusta(VVPK) joka sijaitsee pääkeskushuoneessa. Lisäksi keskuksessa on varasyöttö mahdollisuus. VVPK syöttää yhteensä 16 ryhmäkeskusta, jotka sijaitsevat ympäri kongressisiipeä.

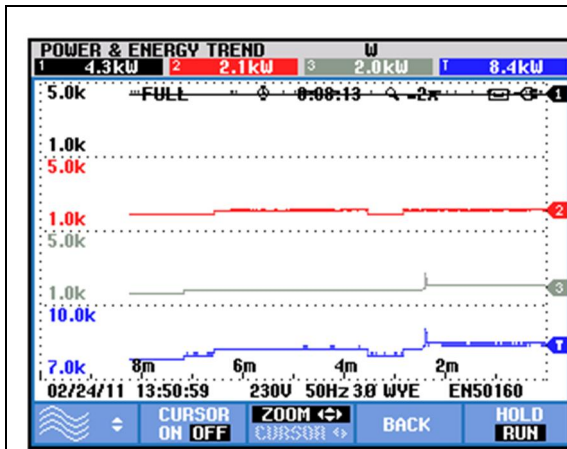


Kuva 3. Jännitteiden sinikäyrät

Kuva 4. Huippujännitteet vaiheittain

Verkkojännite kiinteistössä on hieman matalalla verrattuna standardiin, mutta se on kuitenkin riittävällä tasolla. Keskustelun yhteydessä todettiin että verkkojännitettä oli

laskettu sähkön käytön johtajan toimesta. Kuvista 3 ja 4 voidaan todeta että verkkojännite on laadukasta sinikäyrrää ja se pysyy tasaisena kuorman vaihteluista johtumatta.



Kuva 5. Kuormitustehot vaiheittain

Power & Energy				
	FULL			0:00:16
	L1	L2	L3	Total
kW	4.3	2.1	1.9	8.4
kVA	4.4	2.3	2.1	9.3
kVAR	0.8	0.9	0.7	4.2
PF	0.98	0.91	0.94	0.90
cosφ	1.00	0.99	1.00	
Arms	20	10	9	
	L1	L2	L3	
V _{rms}	223.7	225.2	225.2	
02/24/11 13:50:59 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
02/24/11 13:27:40 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
VOLTAGE		ENERGY		TREND
HOLD RUN		HOLD RUN		HOLD RUN

Kuva 6. Tehotaulukko

Tärkeimpänä mittauksena uutta kuormaa lisättäessä on huipputehon mittaus. Kuten on jo tullut todettua, mittaushetkellä kuormaa oli varmennetussa verkossa aivan liian vähän, jotta olisi voitu varmistua siitä, voiko generaattorin perään kytkeä uuden hissini. Kuvassa 5 nähdään tehot vaiheittain ajan funktiona. Kuorma oli 8 min mittaushetkellä tasainen ja eikä siinä havaittu suuria heilahteluja. Kuvassa 6 on ilmoitettu varmennetussa verkossa olevat kuormat tehotaulukkona. Tehotaulukosta nähdään että loisteho on melko alhainen, joten loistehon kompensointi on toimivalla tasolla.



Kuva 7. Generaattorin jännitteensäätö



Kuva 8. Varavoimalaitoksen ohjauskaappi

Generaattorin jännitteensäätö on tällä hetkellä mekaaninen. Jännitteensäätö hoidetaan ohjauspotentiometrillä, joka sijaitsee varavoimakoneen generaattorin kuomun alla (ks. kuva 7). Varavoimalaitoksen ohjauskaapissa (ks. kuva 8) olevat kontaktorit eivät ole käytössä vaan syötönvaihto on toteutettu uusitussa varavoimapääkeskuksessa.



Kuva 9. N:n ja PE:n erotettava yhdistys



Kuva 10. Mittausjärjestely

Määräysten mukaan varavoimalaitoksissa N ja PE:n yhdistyksen on oltava avattava. Varavoimakonehuoneessa sijaitsevassa keskuksessa on yhdistys toteutettu ruuviliitännällä ja on täten tarpeen tullen avattava (ks. kuva 9).

Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi

Seuraava askel on suorittaa varmennetussa verkossa maksimikuorman mittaus. Tilanne ja aika on oltava sellaisia että kaikki mahdollinen varmennetun verkon kuorma voidaan kytkeä päälle. Lisäksi pitää voida pystyä suorittamaan mieluiten useampia syötönvaihtotilanteita ja käyttää kuormaa varavoimakoneella tunnin verran. Samalla kun tehdään koestuksia ja käytetään sähkönlaadun analysointia selvittämään mikä on varmennetun verkon maksimikuorma.

Lisäksi selvitetään miten varavoimakone pystyy kuormaansa syöttämään. Tässä vaiheessa on hyvä olla jo hissien toimittajalta saatuna tarkat tiedot siitä millaista sähkönlaatua hissien koneisto tarvitsee. Tämän perusteella pystytään määrittämään se, millaisia vaikutuksia hissien lisäämisellä on koko varmennettuun verkkoon.

Selvitystyön yhteydessä todettiin että kaapelimerkkinit, keskus- ja kojettunnukset olivat asiallisia. Huomautettavaa on keskusten siisteydessä. Selvitystyön yhteydessä keskusteltiin ja todettiin että sähköjärjestelmille on tulossa huoltokierros, jonka aikana puutteita korjataan.

Varmennetun verkon selvitystyö									
Tehtäväluettelo - työmenetelmän prosessi									

I. Vaihe

Lähtökohdat ja tavoitteet

1.1 Lähtötiedot	
Kohteen nimi	Kulttuurirakennus
Katuosoite	Kulttuuritie
Osoite	Helsinki
Rakennusvuosi	
Sähköpuolen viimeisin saneeraus: Sähköpuolelle on tehty pääkeskusten uusiminen ja kaapeloinnin uusimistöitä vuonna 2007.	

1.2 Tavoitteiden asettaminen	
Selvitystyön tavoitteet: Selvitystyön tavoitteena on selvittää voidaanko kongressisiiven varavoimakoneen perään liittää uusi hissi.	

1.3 Selvitystyöhön sisältyy		Lisätietoja
Merkintöjen tekeminen		toinen urakoitsija hoitaa
Laitteistojen puhdistaminen		"
Dokumenttien päivittäminen		"
Huoltotehtävät		"

1.4 Aikataulu	
1. vaihe	viikko 8
2. vaihe	viikko 8
3. vaihe	viikko 8
4. vaihe	viikko 9

1.5 Henkilöihin tutustuminen									
Isännöitsijä									
Huoltomies									
Sähkön käytön johtaja									
Sähkötöiden johtaja									
Sähkösuunnittelija									

1.6 Tarvittavien asiakirjojen hankkiminen		X							
Pääkaaviot	X								
Maadoituskaaviot	X								
Keskuskaaviot	X								
Nousujohtokaaviot	X								

1.7 Kulkulupien ja avaimien hankinta		X							
--------------------------------------	--	---	--	--	--	--	--	--	--

II. Vaihe

Kohteen ja dokumenttien selvitystyö

2.1 Tutustutaan kohteeseen									
<p>Henkilöiden haastattelu: Huoltovastaava oli mukana selvitystyötä tehtäessä ja hänelle näytettiin mittaustuloksia livenä analysointorista. Lisäksi huoltovastaavalta tiedusteltiin muutamien epäselvien kuormien sijaintia ja luonnetta.</p>									

2.2 Dokumenttien tutkiminen				
Pääkaavion numero				
Pääkeskus		KG-010-PK003	3001.2	
Varavoimapääkeskus		KG-020-PK003	3003.2	
Varavoimaryhmäkeskukset				
KG-020-RK 004	3373vv.2		KG-020-RK 445	3404vv.2
KG-020-RK 005	3374.2		L48	
KG-020-RK 008	3377.2		KG-021-NK401	
KG-020-RK 112	3386vv.2		L012 (Hissit)	
KG-020-RK 222	3391vv.2		KG-020-RK 009	
KG-020-RK 332	3396vv.2		L12 VV-OSAT	
KG-020-RK 111			KG-020-RK 331	
KG-020-RK 221			KG-020-RK 441	
Maadoituskaavion numero		2300		
Nousujohtokaavion numero				
2.3 Fyysinen selvitys		X		
III. Vaihe				
Mittaukset ja analysointi				
3.1 Kuormien ja/tai häiriöiden mittaus				
Kuorman mittaus			X	
Häiriöiden mittaus			X	
Vertaus standardiin			X	
3.2 Analysoidaan mittaustulokset				
			X	

<h1>IV. Vaihe</h1>		
<h2>Lopputulokset ja toimenpiteet</h2>		
4.1 Yhteenveto		
Kohteen tiedot		X
Työn tavoitteet ja lähtökohdat		X
Miten työ toteutettiin ja mitä työkaluja käytettiin		X
Mittaustulosten analyysi ja johtopäätökset		X
Ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi		X
Jatkotoimenpiteet		
Kaapelimerkinnät		
Keskusmerkinnät		
Kojemerkinnt		
Dokumenttien päivitys	X	Merkintöjä puuttuu
Huoltotehtäviä	X	Keskuksien läpivientejä ja suoja puuttuu
Puhdistustöitä	X	Keskukset ovat pölyisiä ja roskaisia