



Sävarmuuden parantaminen Vatajankosken Sähkön keskijännite- verkossa.

Markku Uusi-Rasi

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

MARKKU UUSI-RASI:

Säävarmuuden parantaminen Vatajankosken Sähkön keskijänniteverkossa.

Opinnäytetyö 73 sivua, josta liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2013

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on helpottaa Vatajankosken Sähkö Oy:n päätöksentekoa, kun he kehittävät keskijänniteverkkonsa säävarmuutta. Kehittämistarve johtuu Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosaston esittämästä sähkömarkkinalain muutoksesta, jolla pyritään parantamaan sähkönjakelun luotettavuutta. Keskijänniteverkon parannusehdotuksia, joita työssä annetaan, muodostettiin verkkotietojärjestelmän tietojen avulla, tutkimalla eri ilmakehä- ja 3D-karttoja ja käymällä keskusteluja yhtiön työntekijöiden kanssa.

Verkon tarkastelusta saatuja tuloksia ovat johtolähtökohtaiset parannusehdotukset säävarmuuden parantamiseksi ja näiden parannustöiden aikataulut. Aikataulutuksen painopisteenä on, että vaadittu säävarmuus saavutettaisiin mahdollisimman vaivattomasti. Lisäksi parannustoimista laaditaan kustannusarvio. Kaikkia johtolähtöjä ei käsitellä yleisesti julkaistavassa opinnäytetyön versiossa, vaan siinä käsitellään tyypillisimpiä kehityskohteita ja niihin tehtäviä parannuksia. Tilaava verkkoyhtiö saa haltuunsa kaikki kehitystoimenpiteet sisältävän version.

Työtä tehdessä olen päässyt hyödyntämään aiempaa osaamistani sähköverkon kuntotarkistuksista, mutta olen oppinut myös paljon uutta. Olen lisäksi päässyt keskustelemaan jo useita vuosia sähköverkkoalalla työskennelleiden henkilöiden kanssa, joilla kullakin on oma näkemyksensä, miten verkkoa tulisi kehittää. Näissä keskusteluissa oma näkökantani asiaan on laajentunut. Työn tilaajalle tekemästäni opinnäytetyöstä on se hyöty, että verkkoyhtiö saa tiedot kehitettävistä kohteista ja niihin mahdollisesti tehtävistä parannustoimista. Näin yhtiön henkilöstön on helpompi tehdä tarkempia ratkaisuja, kun pohjatyo on jo tehty valmiiksi.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Electrical engineering
Electrical power engineering

MARKKU UUSI-RASI:

How to improve Vatajankosken Sähkö's medium-voltage grid's resiliency against weather-related outages.

Bachelor's thesis 73 pages, appendices 3 pages
April 2013

This thesis is meant to help decision making in Vatajankosken Sähkö, as they are improving the resiliency of their medium-voltage grid against weather-related outages. The need for grid's improvement comes from the Ministry of Employment and the Economy's energy-department's proposal, which is about altering the current law of electricity market, to improve the reliability of electricity supply. The methods, which were used in making improvement suggestions for medium-voltage grid, were inspecting the data of network managing-program, using different aerial view and 3D maps, and having conversations with the company's employees.

The results of studying the condition of the current grid are given as circuit-specific improvement suggestions and as schedules for these improvements. The main focus in scheduling the improvement tasks is how to achieve the desired resiliency against weather-related outages with least effort. An estimate is also made for the improvement tasks.

All circuits are not presented in the public version of this thesis; only the most typical cases and improvements for them are shown. The electric company to which this thesis is made, receives the full version.

While writing this thesis, I have been able to utilize my experience from my days as an inspector of the condition of electrical grids, but I have also learnt many new things. I've had conversations with people who have been working in the electrical grid-business for years, and all of them have their own opinions on how to improve the grid. My perspective to the subject has greatly widened during these conversations.

The benefit for the electric company is that they acquire information about targets that need improvement and possible solutions for them. As the groundwork is made, it's easier for them to make more sophisticated decisions.

Key words: electrical grid, distribution network, medium-voltage, resiliency against weather-related outages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	VATAJANKOSKEN SÄHKÖ OY	8
3	TYÖN LÄHTÖKOHTA	10
3.1	2011 Tapaninpäivän myrskyt	10
3.2	Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosaston muistio 16.3.2012	13
3.3	Energiateollisuuden keskeytystilasto 2011.....	14
4	VIKATYYPIT JA KATKAISIJATOIMINNOT	17
4.1	Maasulku.....	17
4.2	Oikosulku	19
4.3	Maaosulku	21
4.4	Jännitekuoppa	22
4.5	Pika- ja aikajälleenkytkentä.....	23
5	SUOMEN ILMASTO JA SEN VAIKUTUKSET SÄHKÖVERKKOON	25
5.1	Tuulet ja myrskyt.....	26
5.2	Lumi ja jää.....	29
5.3	Ukkonen ja salammat	31
6	RATKAISUJA SÄÄVARMUUDEN PARANTAMISEKSI.....	32
6.1	Maakaapelointi.....	32
6.2	Ilmajohtojen sijoittelu ja varasyöttöyhteydet.....	35
6.3	Päällystetyt avojohdot.....	38
6.4	Verkostoautomaatio ja älykäs verkko.....	39
6.5	Johtokadun vierimetsien hoito.....	41
6.6	1000 V jakeluverkko	44
6.7	Ylijännitesuojaus.....	45
6.8	Verkoston kunnonvalvonta	47
6.9	Korjaustöistä aiheutuvien keskeytysten vähentäminen	47
6.9.1	JT-erotuspaikka	48
6.9.2	Kaatuneiden puiden ja lumikuorman poisto linjalta jännitteisenä	49
7	VATAJANKOSKEN SÄHKÖ OY:N KJ-VERKON TARKASTELU.....	50
7.1	Johtolähdöille tehtävät parannukset päämuuntajittain.....	52
7.2	Esimerkkejä johtojen uudelleen sijoittamisesta.....	57
7.3	Esimerkkejä varasyöttöyhteyksien ja vikojen rajauksen parantamisesta	59
7.4	Esimerkkejä kilovoltin jakelun hyödyntämisestä	63
8	VUODEN 2019 LOPPUUN MENNESSÄ PARANNETTAVAT LÄHDÖT.....	65

8.1	Parannustoimien kustannusarvio	66
9	POHDINTA	67
	LÄHTEET	68
	LIITTEET.....	71
	Liite 1. Kustannuslaskelma	71
	Liite 2. Opinnäytteeseen käytetyn ajan kuvaaja ja taulukko	72

LYHENTEET JA TERMIT

AJK	Aikajälleenkytkentä
BLL-T	Päällystetty avojohto, teräsvahvisteinen
Dfc	Subarkkinen mannerilmasto (Köppen-Geiger luokitus)
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
ET	Energiateollisuus ry
J	Johtolähtö
JT	Jännitetyö
KJ	Keskijännite
kV	Kilovoltti
PAS	Päällystetty avojohto
PJ	Pienjännite
PJK	Pikajälleenkytkentä
PM	Päämuuntaja
SF ₆	Rikkiheksafluoridi
TEM	Työ- ja elinkeinoministeriö
UPS	Uninterruptible Power Supply, eli varavirtalaite sähkökatkojen ajaksi
VSO	Vatajankosken Sähkö Oy
VHNK	Vatajankosken Sähkö Oy, Honkajoki (sähköasema)
VHKI	Vatajankosken Sähkö Oy, Honkakoski (kytkinasema)
VJYL	Vatajankosken Sähkö Oy, Jylinkoski (vesivoimala)
VKAP	Vatajankosken Sähkö Oy, Kankaanpää (sähköasema)
VKNI	Vatajankosken Sähkö Oy, Kantti (sähköasema)
VKVI	Vatajankosken Sähkö Oy, Karvia (sähköasema)
VLAS	Vatajankosken Sähkö Oy, Lassila (kytkinasema)
V LAV	Vatajankosken Sähkö Oy, Lavia (sähköasema)
VNVI	Vatajankosken Sähkö Oy, Narvi (sähköasema)
VPOM	Vatajankosken Sähkö Oy, Pomarkku (sähköasema)
VSDN	Vatajankosken Sähkö Oy, Suodenniemi (sähköasema)
VVAT	Vatajankosken Sähkö Oy, Vatajankoski (vesivoimala)

1 JOHDANTO

Tapaninpäivän myrsky vuonna 2011 herätti suomalaiset siihen tosiasiaan, että yhteiskuntamme toimintakyky on äärimmäisen riippuvainen sähköverkosta ja etenkin sen varmuudesta poikkeuksellisissa oloissa. Heti vuoden 2012 alussa elinkeinoministeri Jyri Häkämies antoikin Työ – ja elinkeinoministeriön energiaosastolle tehtäväksi selvittää, kuinka sähkön jakeluvarmuutta voisi parantaa. 16.3.2012 julkaistiin muistio, jossa annettiin luonnoksia, kuinka sähkömarkkinalakia täydennettäisiin uusilla säädöksillä. Säädökset olisi tarkoitettu nopeuttamaan ja helpottamaan jakeluvarmuuden kehittämistä.

Insinöörityöni aihe kumpuaa muistion ehdotuksesta, jossa jakeluverkonhaltijoiden on portaittain vuoden 2027 loppuun mennessä parannettava sähköverkkonsa säävarmuutta. Työ keskittyy pääasiassa siihen, millä toimilla Vatajankosken Sähkö Oy saa kehitettyä keskijänniteverkkonsa säänkestävyyttä, ja sitä kautta sähkön toimitusvarmuutta asiakkailleen. Ensimmäisenä tavoitteena kehitystyössä on, että vuoden 2019 loppuun mennessä 50 % VSO:n asiakkaista tulisi kuulua niiden sallittujen keskeytysaikojen piiriin, jotka Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosasto on muistiossaan esittänyt.

Työn teoriaosiossa esitellään ratkaisuja säävarmuuden parantamiseksi, joita sitten sovelletaan työn käytännönsiossa. Päätyökaluna on VSO:n verkkotietojärjestelmä, ABB DMS 600 Integra, jonka avulla tutkitaan sähköasemien keskijännitelähdöt ja tehdään ehdotus niiden kehittämiseksi kohti parempaa säävarmuutta. Painotus tapahtuu kuormitusten ja asiakasmäärien mukaan

Työni ohjaajana Tampereen ammattikorkeakoulusta on toiminut sähkötekniikan koulutusohjelman koulutuspäällikkö DI Jarkko Lehtonen ja toimeksiantajan puolelta Vatajankosken Sähkö Oy:n verkostopäällikkö insinööri Markku Salo. Kiitos heille kaikesta avusta, jota työtä tehdessäni sain.

Pitkä opiskeluvaihe elämässäni on nyt viimeisillään, ja edessä siintävät uudet haasteet. Nähtäväksi jää, mihin elämä tästä heittääkään. Haluan kiittää perhettäni, avovaimoani, ystäviäni ja muita läheisiäni. Teidän ansiostanne matka tähän pisteeseen on ollut paljon helpompi ja valoisa.

2 VATAJANKOSKEN SÄHKÖ OY

Vatajankosken Sähkö Oy:n tarina alkoi 1920-luvulta, jolloin Karvianjoen Vatajankoskeen valmistui yhtiön ensimmäinen vesivoimalaitos. Nykyäänkin VSO on paikallinen ja itsenäinen energiayhtiö, joka myy sähköenergiaa Pohjois-Satakunnassa ja lähialueilla noin 18 000 käyttöpaikalle, ja lisäksi kaukolämpöä Kankaanpäässä ja höyryä Honkajoen alueella. Yhtiön päätoimipiste sijaitsee Kankaanpäässä ja sivutoimipisteet Laviassa ja Karviassa. VSO on tyypillinen maaseutuverkkoyhtiö, jossa on asiakasmäärään suhteutettuna suhteellisen laaja verkko, jossa hallitsevana siirtoratkaisuna ovat ilmajohdot.

Vatajankosken Sähkön liiketoiminta-alueet ovat:

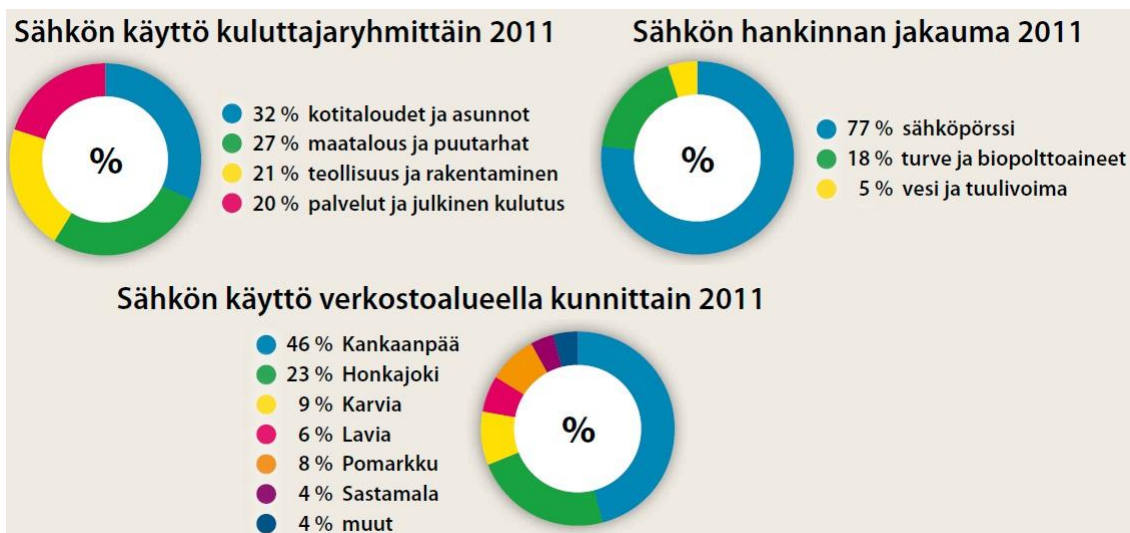
- Energia
- Lämpö
- Verkosto

(Vatajankosken Sähkö 2013)

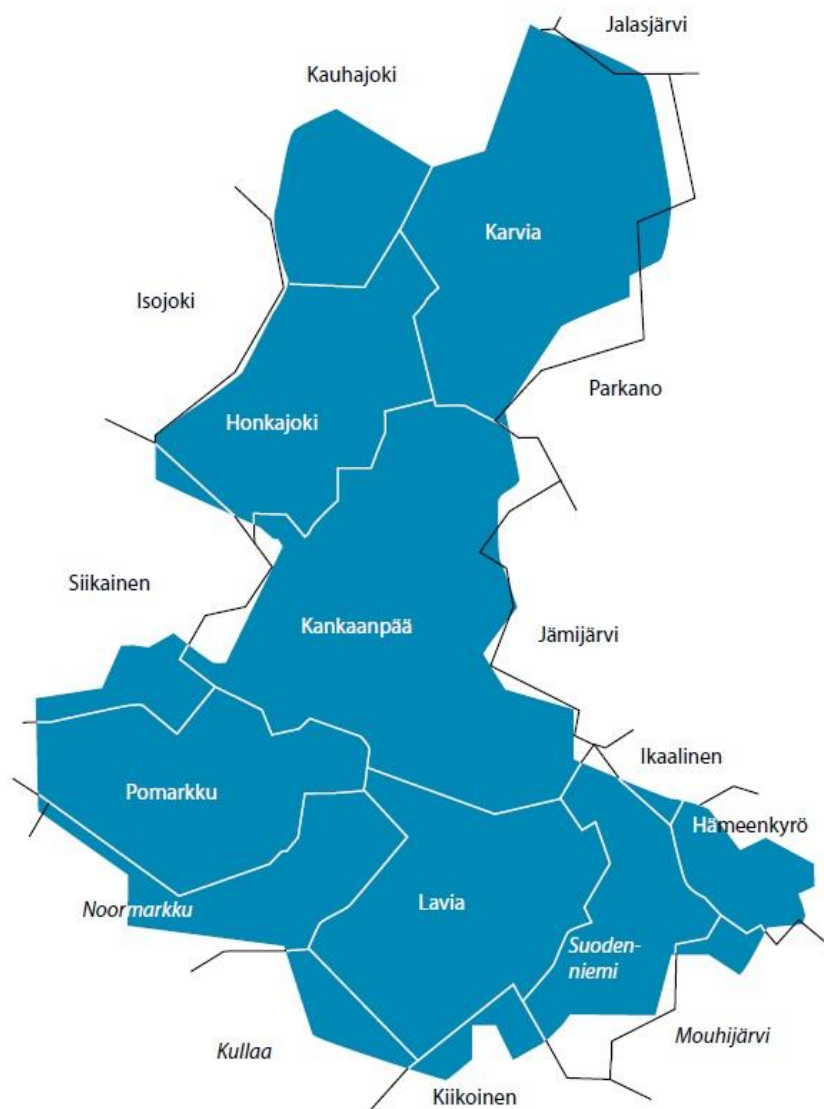
Taulukossa 1 on esitetty Vatajankosken Sähkön avainlukuja, kuviossa 1 yhtiön sähkön käytön ja hankinnan jakautumista ja kuvassa 1 yhtiön jakelualue.

TAULUKKO 1. Vatajankosken Sähkön avainlukuja (Vatajankosken Sähkö 2012b, 5)

Avainlukuja 2011	
Aukkaita toiminta-alueella noin	24 000
Sähkönkäyttöpaikkoja	17 701 kpl
Sähköverkon kokonaispituus	3 838 km
Jakelumuuntamoita	1 263 kpl
Sähköasemia (110/20kV)	8 kpl
Henkilöstön määrä	78
Sähkön kulutus toiminta-alueella	264,5 milj. kWh, muutos -5,4 %
Sähkön hankinta yhteensä	246,0 milj. kWh, josta
- omalla vesivoimalla	4,7 %
- omalla lämpövoimalla	9,5 %
- tuotanto-osuuksilla	8,3 %
- tukkuostoina	77,5 %
Sähkön myynnin liikevaihto	12,7 milj. euroa
Sähkön siirron liikevaihto	8,5 milj. euroa
Lämmön ja höyryn myynnin liikevaihto	5,9 milj. euroa



KUVIO 1. Vatajankosken Sähkö Oy:n sähkön käytön ja hankinnan jakautuminen (Vatajankosken Sähkö 2012b, 5)



KUVA 1. Vatajankosken Sähkö Oy:n jakelualue (Vatajankosken Sähkö 2012b, 2)

3 TYÖN LÄHTÖKOHTA

Ilmasto on aina ensimmäisistä lennätinlinjoista alkaen aiheuttanut harmaita hiuksia verkostojen kunnosta ja toimivuudesta vastaaville sähköinsinööreille. Puut kaatuvat kovalla tuulella johtimien päälle katkoen niitä, kaatavat kannatinpylväitä ja rikkovat rakenteita. Jo pelkkä navakka tuulenpuuska saa kohtalaista harmia aikaan heiluttaessaan oksia avojohtolinjoille. Olosuhteet Suomessa ovat esimerkiksi eteläisempiin maihin verrattuna vieläkin vaativammat sähköverkolle, sillä täällä ei ongelmia aiheuta ainoastaan tuuli, vaan talvisin myös lumi ja jää.

Aivan kuin jo ennestään sähköverkolla ei olisi tarpeeksi harmia normaaleista sääilmiöistä, viime vuosien poikkeukselliset myrskyt sisämaassa ovat laittaneet sähköverkot ja varsinkin niitä korjaavat verkostoasentajat koetukselle. Vuoden 2010 myrskyt Asta, Veera, Lahja ja Sylvi aiheuttivat merkittävää tuhoa osuen monesti lyhyen ajan sisällä samoille alueille, josta edellisen myrskyn tuhot oli juuri saatu korjattua. Viimeistään vuoden 2011 lopun Tapaninpäivän myrsky sytytti suomalaisten päättäjien päähän ajatuksen, että jotain on tehtävä yhteiskunnan toimintojen turvaamiseksi poikkeuksellisissa sääoloissa.

3.1 2011 Tapaninpäivän myrskyt

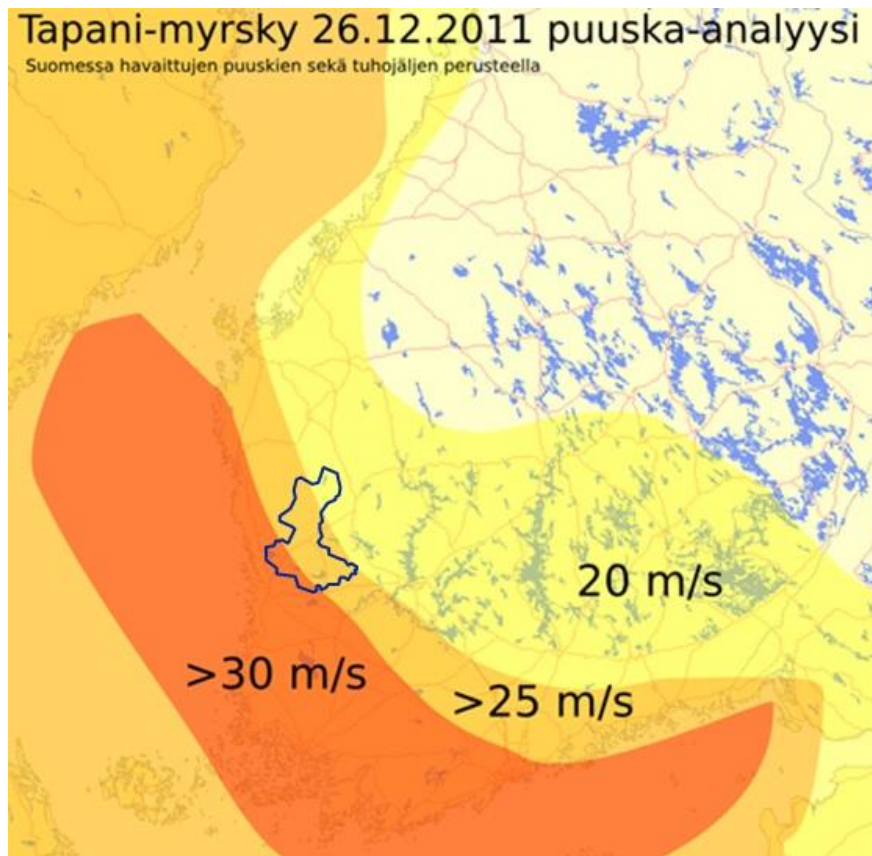
Ilmatieteen laitoksen mukaan Tapaninpäivän myrsky oli harvinainen, mutta ei poikkeuksellinen. Myrskyn aiheutti 26.12.2011 Suomeen saapunut voimakas matalapaine, joka liikkui Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun yli itään. Voimakkaimmillaan tuulet olivat alkuyöstä iltapäivään matalapaineen eteläpuolella, suurimpien tuulituhojen syntyessä hetkittäisistä puuskista.

Suurin keskituulen nopeus oli 28,5 m/s Kaskisten kaupungin edustalla, ja kovin lyhytkestoinen puuska maa-alueilla oli Espoon Sepänkylässä mitattu 31,5 m/s.

Seikka joka myös vaikutti tuulituhojen vakavuuteen, oli joulukuun poikkeuksellisen lauha ilma, korkeimmillaan jopa 9,9 astetta Kemiön saarella. (Ilmatieteen laitos, Tapaninpäivän myrsky harvinainen 2011.)

Talven lauha ilma aiheutti sen, että maaperä oli pehmeää, jolloin varsinkin kangasmaastossa matalajuuriset männyt kaatuivat helposti tuulenpuuskan iskiessä niihin.

Kuvassa 2 on havainnollistettu, kuinka Vatajankosken Sähkön jakelualue sijoittuu suhteessa Tapani-myrskyn vaikutusalueeseen. Kuvasta näkee, että verkon lounainen osa joutui pahimpien tuulien riepoteltavaksi.



KUVA 2. Tapani-myrskyn puuska-analyysi (Vatajankosken Sähkö 2012a)

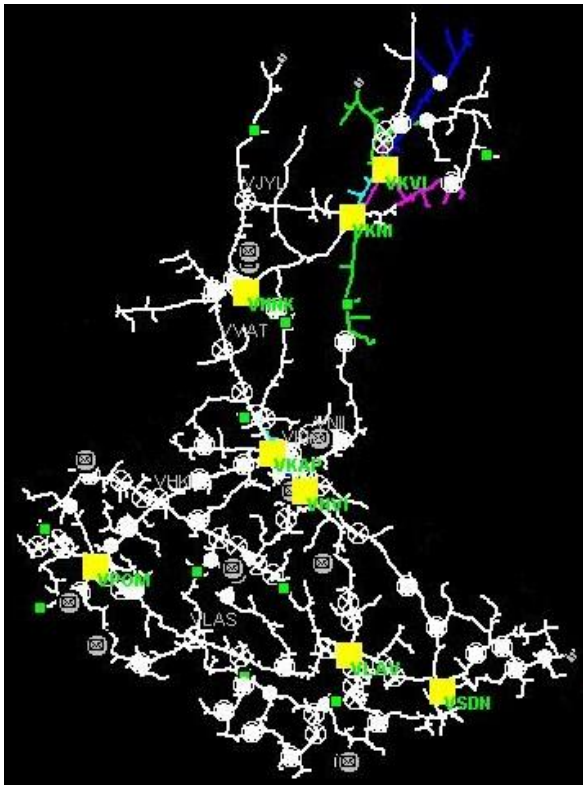
Vatajankosken Sähkö Oy:lle Tapaninpäivänä noin kello 01:00 alkanut myrsky oli yhtiön historian pahin, pahimmillaan yhtiön asiakkaista 80 % oli ilman sähköä ja vikojen korjausnopeus ei yltänyt yhtiön haluamaan. Johtojen päältä raivattiin tuhansia puita, noin 300 uutta pylvästä pystytettiin katkenneiden tilalle ja yhdeksän muuntamoita rakennettiin uudestaan. Parhaimmillaan töissä oli 100 henkilöä, yhtiön oman henkilöstön lisäksi asentajia naapuriyhtiöistä ja sähköurakoitsijoita, koneurakoitsijoita, verkoston raivausurakoitsijoita ja metsureita. Myrskyn VSO:n jakeluverkolle aiheuttamat vahingot olivat kokonaisuutena noin 3 miljoonaa euroa, joista maksettavat vakiokorvaukset liki 1,2 miljoonaa euroa.

Kuvassa 3 on pieni osa Vatajankosken Sähkö Oy:n KJ-linjaa, jolle on kaatunut useita mäntyjä.



KUVA 3. Myrskytuhoja VSO:n KJ-avojohdolla (Kuva: Juha Levonen 2011)

Kuvassa 4 on esitetty VSO:n keskijänniteverkko Satapirkan Sähkön valvomosta 26.12.2011 kello 10:47 nähtynä. Kuvassa valkoisella piirretyt johdot ovat sähköttömiä, värilliset puolestaan toimintakuntoisia. Yli kuudestakymmenestä lähdöstä vain kymmenkunta oli toiminnassa, nekin vain osittain. Tilanne oli ennennäkemättömän paha.



KUVA 4. Vatajankosken Sähkön KJ-verkon tilanne Tapani-myrskyn jälkeen

3.2 Työ- ja elinkeinoministeriön energiaosaston muistio 16.3.2012

Elinkeinoministeri Jyri Häkämies antoi 3.1.2012 Työ – ja elinkeinoministeriön energiaosastolle toimeksiannon, jonka tarkoituksena oli sähkökatkojen vahinkoriskin pienentäminen ja kansalaisten ja yritysten palvelun parantaminen. TEM:n energiaosasto julkaisi 16.3.2012 muistion, joka toimii Työ- ja elinkeinoministeriön ehdotuksena toimenpiteistä sähköjakelun varmuuden parantamiseksi sekä sähkökatkojen vaikutusten lieventämiseksi.

TEM:n muistion mukaan keskeisin keino sähkökatkojen haittojen ehkäisemiseksi on toimitusvarmuuden tason nosto. Jotta tavoite toteutuisi, TEM valmistelee lainmuutoksen, jossa sähköverkoille asetetaan portaittain tavoitteet sähkön toimitusvarmuuden parantamiseksi. Tavoitteet muodostavat siten jakeluverkkoyhtiöille perusteet verkon suunnitteluun ja mitoitukseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 3.)

”Ehdotuksen mukaan jakeluverkko olisi suunniteltava, rakennettava ja ylläpidettävä siten, että jakeluverkon vikaantuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella asiakkaalle yli 6 tuntia kestävästä sähköjakelun keskeytystä eikä muulla alueella asiakkaalle yli 24 [vaihtoehtoisesti 36] tuntia kestävästä sähköjakelun keskeytystä.” (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 3.)

Edellä mainittu vaatimus on pystyttävä täyttämään kokonaan viimeistään 31.12.2027 mennessä. Porrastus tapahtuu siten, että vaatimusten on täyttyvä 50 prosentilla 31.12.2019 mennessä ja 75 prosentilla 31.12.2023 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 3.)

Muistiossa alusta alkaen käsitellään paljon maakaapelointia ja sen määrän lisäämistä verkossa, mutta siinä ei suoranaisesti vaadita merkittävää panostusta siihen, vaan verkonhaltijat saavat valita kustannustehokkaimmat tekniset ratkaisut, kunhan varmuustavoitteet täyttyvät.

Lisäksi suunnittelussa on otettava erityishuomioon sellaiset sähkökäyttöpaikat, jotka ovat yhteiskunnan johtamisen tai turvallisuuden, väestön toimeentulon taikka elinkeinoelämän toimintakyvyn kannalta tärkeitä. Ratkaisut joita tavoitteiden täyttämiseen käytetään, on sisällytettävä kehittämissuunnitelmaan, jonka toteutumista Energiamarkkinavirasto valvoisi. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 4.)

Toimenpiteet joilla TEM aikoo parantaa sähkön toimitusvarmuutta, ovat seuraavia:

- Pakkokeinot ja seuraamukset kehittämisvelvollisuuden laiminlyönnistä
- KJ- ja PJ-johtojen maakaapeloinnin edistäminen
- Kaapeleiden tiealueelle asentamisen suojausvaatimusten keventäminen
- Kaapeleiden sijoituslupien käsittelyn tehostaminen
- Kaapelointisuunnitelmien avoimuuden lisäys ja yhteistyö televerkkojen kanssa
- Säännöksiä johtojen sijoittamisesta tiealueille kehitetään
- Toimenpidepaketin toteutuksen ja seurannan vastuujako
- KJ-johtojen reunametsien hoito
- Sähköverkkojen ja asiakkaiden varautumisen kehittäminen
- Asiakkaille sähkökatkosta maksettavien korvausten korottaminen

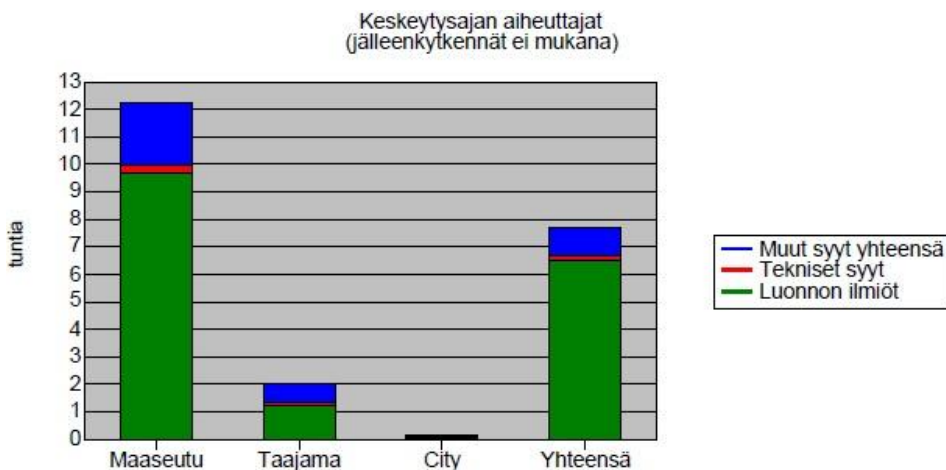
(Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 9–14)

3.3 Energiateollisuuden keskeytystilasto 2011

Sähkö- ja kaukolämpöalaa edustava Energiateollisuus ry (ET), julkaisee vuosittain keskeytystilaston, johon on Suomen sähköyhtiöille lähetetyn kyselyn perusteella koottu tietoa sähkötoimituksen varmuudesta ja sen kehittymisestä. Vuoden 2011 tilastoon on saatu tietoa 74 verkonhaltijalta, kattaen 98,6 % koko Suomen jakeluverkkotoiminnasta. Johtuen pääasiassa talven myrskyistä ja lumikuormista, keskeytysten määrä oli poikkeuksellinen. Maaseudulla asuvan sähkökäyttäjän keskimääräinen yhteenlaskettu keskeytysaika oli hieman yli 12 tuntia. Taajamassa keskimääräinen keskeytysaika oli noin 2 tuntia ja kaupungissa 10 minuuttia. (Energiateollisuus ry 2012, 2–3.)

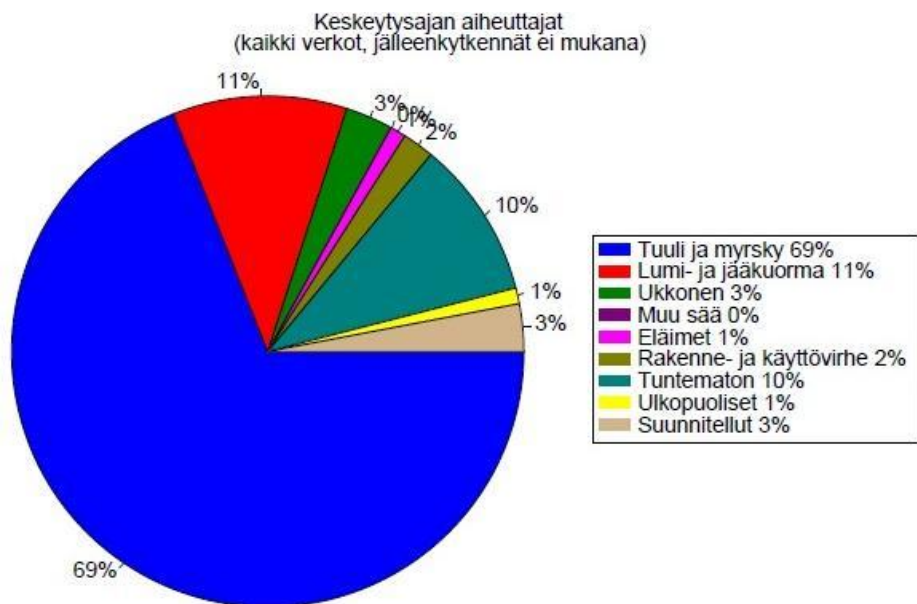
Alla esiteltävissä keskeytystilaston kuvioista 2–4 näkee selvästi, kuinka suurimpina viikojen ja keskeytysten aiheuttajana ovat olleet luonnon ilmiöt, joista erityisesti esille nousee tuuli- ja myrsky. Myös lumi- ja jääkuorma on merkittävässä osassa verrattuna muihin syihin. Lisäksi havaitaan että keskeytykset painottuvat maaseudulle, jossa on paljon avojohtoverkkoa metsien lähellä. Ajallisesti keskeytykset painottuvat talviaikaan, suuren keskeytyspiikin ollessa ennen vuodenvaihdetta, johtuen vuoden 2011 Tapaninpäivän myrskyistä.

Kun kuviosta 2 tarkastellaan sähköjakelun keskeytysten aiheuttajia maaseudulla, taajamissa ja kaupungeissa, havaitaan luonnon ilmiöiden olevan ylivoimaisesti suurin tekijä. Koska maaseudun sähköverkko on laajaa ilmajohtoverkkoa, siellä pelkäästään luonnon ilmiöistä aiheutuvia keskeytyksiä on enemmän, kuin taajamien ja kaupunkien kaikki keskeytykset yhteen laskettuna.



KUVIO 2. Keskimääräinen keskeytysaika erityyppisissä verkoissa ja syiden jakauma (Energiateollisuus ry 2012, 3)

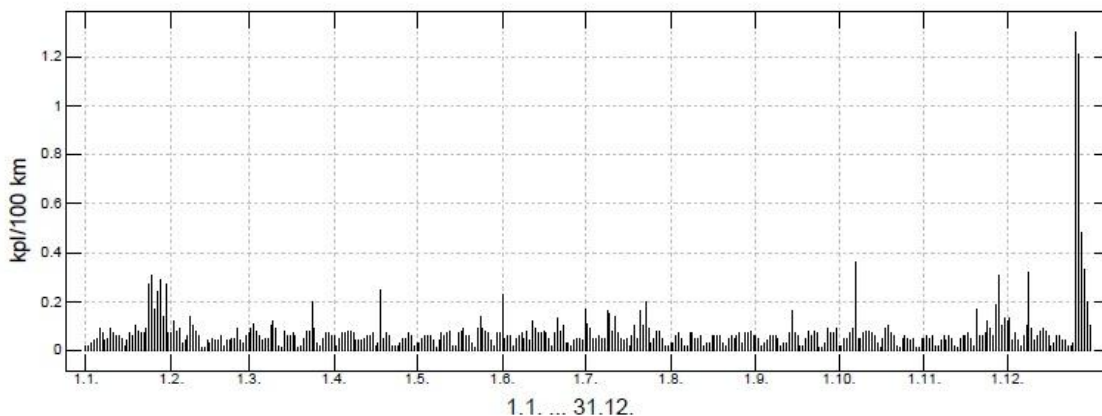
Kun ei eritellä sähköverkon tyyppiä, vaan tarkastellaan tarkemmin keskeytysten aiheuttajia, kuviosta 3 nähdään tuulen ja myrskyn olevan pahin uhka jakeluvarmuudelle 69 prosentin osuudella. Toiseksi pahin uhka on lumi- ja jääkuorma, ja kolmanneksi ukkonen. Tunnettujen keskeytysten kärkikolmikko on siis suoraan sääilmiöihin liittyviä.



KUVIO 3. Keskeytysten aiheuttajat (Energiateollisuus ry 2012, 3)

Kuvion 4 avulla voidaan tarkastella sähköverkon vikatiheyttä vuoden mittaiselta ajankaksolta. Suurimmat vikojen esiintymispiikit sijoittuvat talvikuukausille, jolloin myrskyt ovat yleisempiä kuin muuna aikana. Tarkasteltava kuvio on poikkeuksellinen, sillä siinä näkyy vuoden 2011 Tapaninpäivän myrskyn aiheuttama valtava keskeytyshuippu juuri ennen vuodenvaihdetta.

Vikakeskeytysmäärien jakautuminen vuoden aikana kpl/100km



KUVIO 4. Vikakeskeytykset vuoden aikana (Energiateollisuus ry 2012, 9)

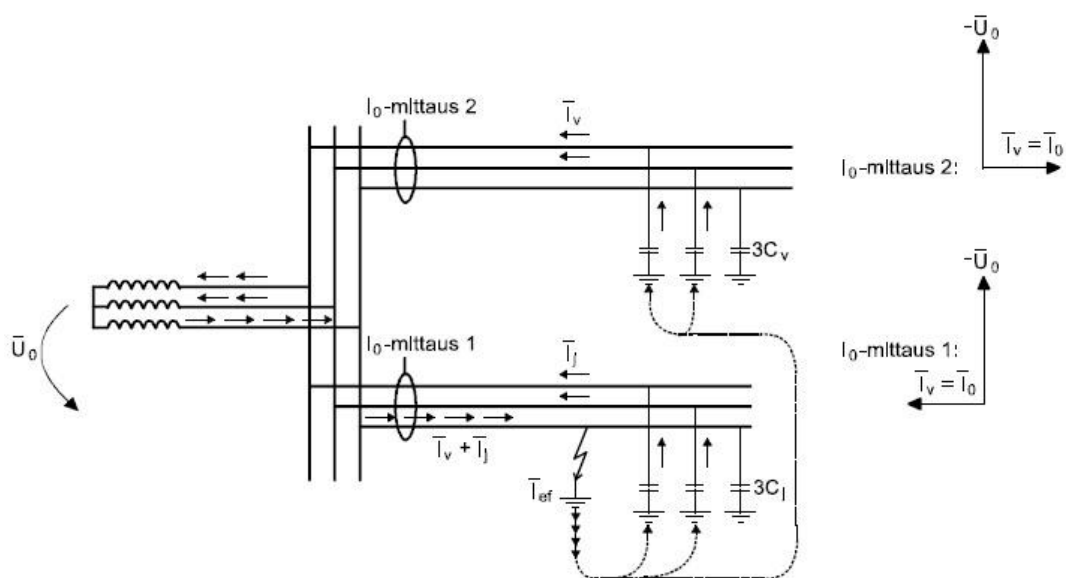
Energiateollisuus ry:n keskeytystilastot vahvistavat sen, että Suomen sähköverkko on todella haavoittuvainen sääilmiöille. Vaarassa on varsinkin maaseudun ja muiden haja-asutusalueiden jakeluvarmuus. Lisäksi viat painottuvat pääasiassa talvikuukausille vaikeiden työskentelyolosuhteiden aikaan, jolloin korjaustoimet kestävät kauan.

4 VIKATYYPIT JA KATKAISIJATOIMINNOT

4.1 Maasulku

Maasulku, joskus myös nimellä 1-vaiheinen oikosulku, aiheutuu kun vaihejohtimen ja maan välille syntyy johtava yhteys. Yleisimmin kyseessä on johtimille kaatunut puu tai eristinvika.

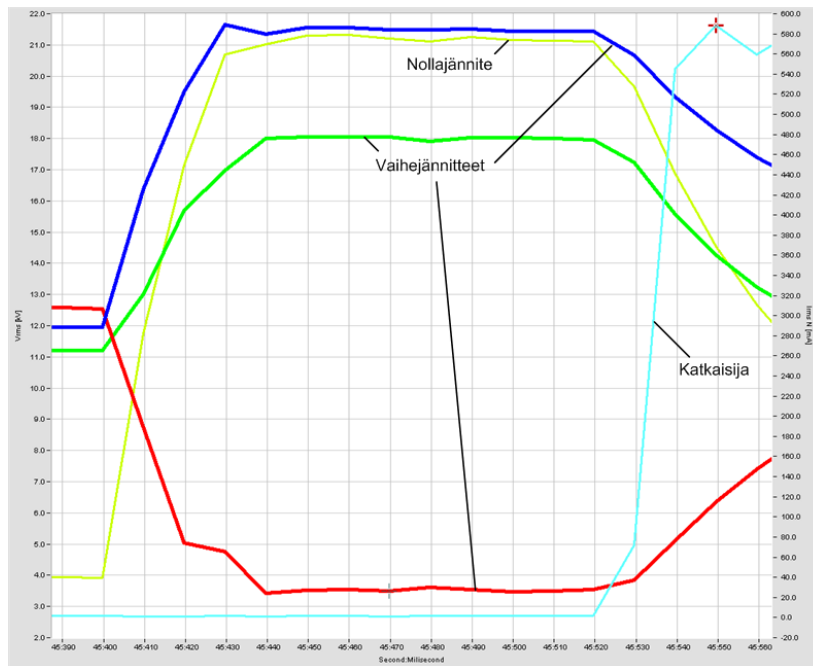
Maasulun tapahtuessa syntyy vikavirtapiiri, jossa viallisesta vaihejohtimesta kulkee vikavirta maahan, ja edelleen johtimien maakapasitanssien kautta päämuuntajan tähtipisteeseen. Tätä virtaa kutsutaan maasulkuvirraksi. Kuviossa 5 on havainnollistettu tämä vikavirtapiiri.



KUVIO 5. Maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa verkossa (ABB 2000a, 5)

Maasulku havaitaan nollajännitteen kasvusta ja viallinen lähtö selvitetään virtamittareiden avulla, summavirtojen suunnan perusteella. Terveissä lähdöissä summavirrat ovat kohti päämuuntajaa, ja viallisessa taas kohti vikapaikkaa. Normaalisissa käyttötilanteissa summavirrat ovat lähestulkoon nolla.

Muita maasulun tunnusmerkkejä ovat kahden vaihejännitteen nousu kun yksi vaihejännite romahtaa. Vaihejännitteet kasvavat maksimissaan pääjännitteiden tasolle ja nollajännite noin vaihejännitteen tasolle. (Hurkala 2009, 14.) Kuviossa 6 on tätä havainnollistettu.



KUVIO 6. Maasulku (Hurkala 2009, 14)

Maasulku aiheuttaa tapahtumapaikkansa läheisyyteen vaarallisia jännitteitä ja lämpövaikutuksia, sekä erilaisia ylijännitteitä verkkoon maasulkutyyppistä riippuen. Maasululle tyypillistä on vaarallisen askeljännitteen syntyminen vikapaikkaan, kun maasulkuvirta nostaa maan potentiaalitasoa. Myös vaarallisia kosketusjännitteitä syntyy.

Jos KJ-verkossa tapahtuu puhdas maasulku, vikapaikan löytämisessä voi kestää aikaa. Tämä johtuu siitä, että valvomoon tulee tietona se lähtö, missä maasulku on tapahtunut. Vikapaikan sijaintia saadaan rajattua avaamalla ja sulkemalla erottimia, jolloin selvitetään se erottimien väli, joka aiheuttaa katkaisun. Myös maastossa kuuntelemalla ja tarkkailemalla mahdollisia valonvälähdyksiä voidaan vian suuripiirteinen sijainti selvittää. On kehitetty laskentamalleja, joilla maasulun sijainti pystytään selvittämään samaan tapaan kuin oikosulun sijainti metrien tarkkuudella. Laskennassa on kuitenkin toistaiseksi puutteita, sillä ne pystyvät luotettavasti osoittamaan ainoastaan pienivikaresistanssien maasulkujen etäisyyden sähköasemalta, joten niiden käyttö ei ole yleistynyt.

Maasulussa lähtöä suojaava katkaisija suorittaa aluksi pikajälleenkytkennän, jolla yleensä selvitetään, jos kyseessä on esimerkiksi johtoon hipaissut puun oksa. Jos vika ei poistu PJK:llä, katkaisija tekee aikajälleenkytkennän. Jos sekään ei auta, kyseessä on todennäköisesti johdoille kaatunut puu tai johdin on katkennut ja makaa maassa. Tällöin paikalle on lähetettävä vikapartio ja selvitettävä vian sijainti.

4.2 Oikosulku

Oikosululla tarkoitetaan sitä tilannetta, kun verkon jännitteisten osien välille syntyy pieniresistanssinen johtava yhteys, muun kuin kuormituksen kautta. Sähköverkossa oikosulku syntyy yleensä avojohtojen koskiessa toisiinsa, suoraan tai esimerkiksi johdoille pudonneen oksan kautta, kaapeleiden eristinvaurioissa tai muuntajakoneiden sisäisissä eristysvivoissa. Myös salamaniskujen ylijännitteet ja eläimet aiheuttavat oikosulkuja.

Oikosulkuja on monenlaisia, on symmetrinen 3-vaiheinen oikosulku ja epäsymmetriset 2-vaiheinen ja 1-vaiheinen oikosulku (maasulku), sekä oiko- ja maasulun yhdistelmiä. Kuviossa 7 on havainnollistettu näistä kolme ensimmäistä.



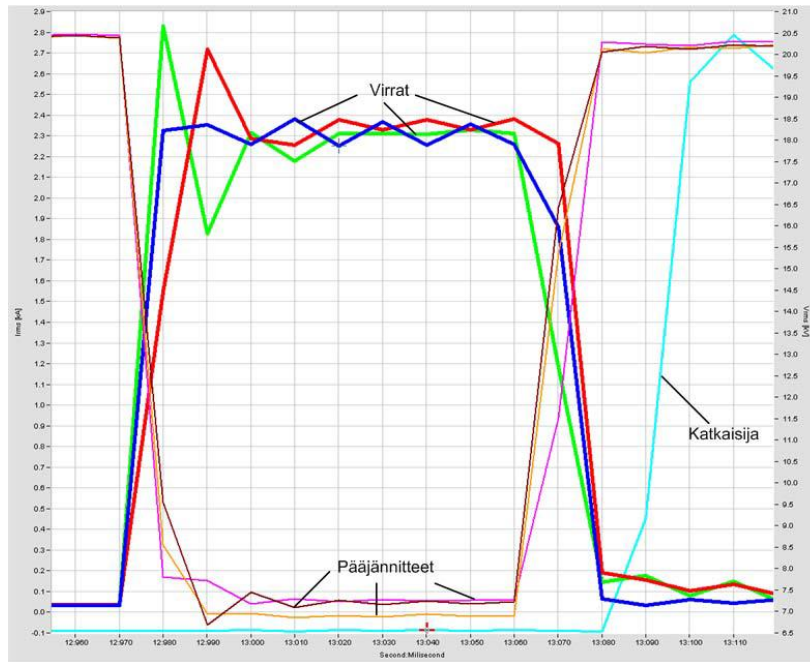
KUVIO 7. 3-, 2- ja 1-vaiheinen oikosulku

Oikosulun tapahtuessa keskijänniteverkossa, sen sijainti pystytään verkon mallinnuksen tarkkuudesta riippuen laskemaan muutamien metrien tarkkuudella, joten vikapaikan rajaus on nopeampaa kuin maasulussa. Laskenta antaa oikosulun sijainnin metreinä sähköasemasta, joten verkonhallintajärjestelmässä voi olla vikapaikkaa indikoivia merkkejä useammassa kohdassa, jos verkossa on paljon haaroja sopivalla etäisyydellä. Tässäkin tarkka sijainti saadaan selvitettyä avaamalla ja sulkemalla erottimia, kunnes vikapaikka löytyy.

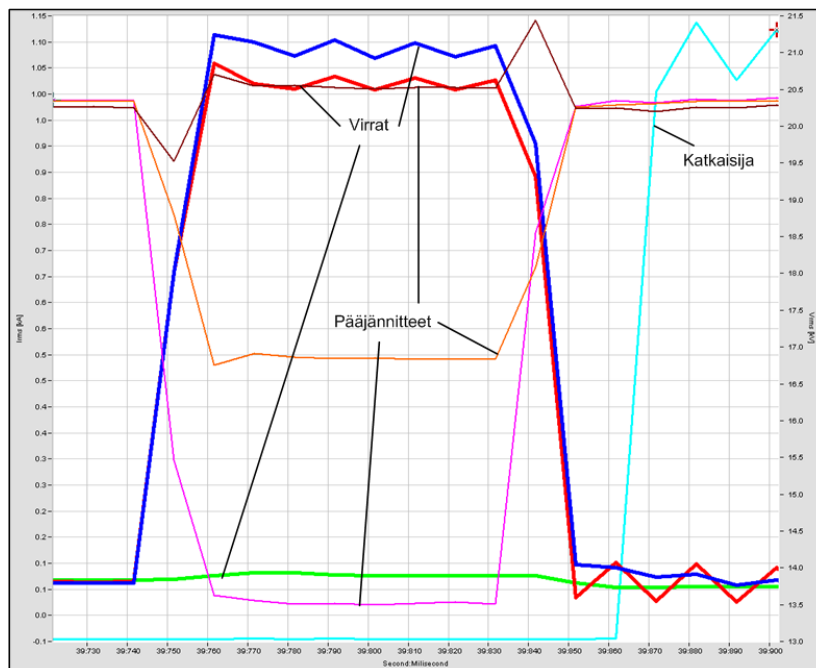
3-vaiheinen oikosulku havaitaan virta- ja jännitemittauksen avulla. Siinä kaikki vaihevirratt nousevat merkittävästi samalla, kun pääjännitteet romahtavat nolajännitteen pysyessä alkuperäisellä tasolla (Hurkala 2009, 17).

2-vaiheisessa oikosulussa kaksi vaihevirtaa nousee kolmannen pysyessä ennallaan. Vikaresistanssittomassa tilanteessa pääjännitteistä yksi romahtaa täysin kahden tippuessa vähemmän. (Hurkala 2009, 15.)

Kuvioissa 8 ja 9 on havainnollistettu 3- ja 2-vaiheisen oikosulun tilanteet virtojen ja pääjännitteiden osalta.



KUVIO 8. 3-vaiheinen oikosulku (Hurkala 2009, 17)



KUVIO 9. 2-vaiheinen oikosulku (Hurkala 2009, 15)

Oikosulussa lähdön katkaisija havahtuu, ja aiheutuu pikajälleenkytkentä. Jos PJK ei auta, tehdään aikajälleenkytkentä. Kun PJK:ssa jännitteetön aika on alle sekunnin luokkaa, AJK:ssa pidetään lähtö jännitteettömänä noin minuutin, jonka aikana vian, esimerkiksi johtimilla makaavan oksan, toivotaan poistuvan itsestään. Jos vika ei poistu, automatiikka jättää katkaisijan auki, kunnes vika on partioimalla löydetty ja poistettu.

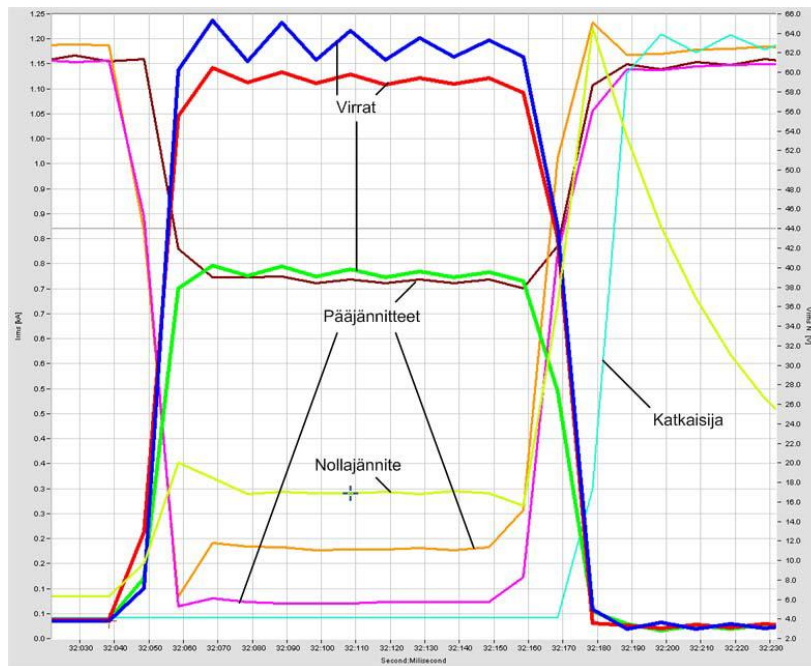
4.3 Maaikosulku

Maaikosulku on nimensä mukaisesti yhdistelmä maa- ja oikosulusta. Se on melko yleinen, sillä puun kaatuessa johdoille se painaa myös johtoja yhteen, joko suoraan tai oksiansa ja rungon kautta. Maaikosulkujakin on 3- ja 2-vaiheisia, riippuen kuinka monta johdinta on kosketuksissa toisiinsa.

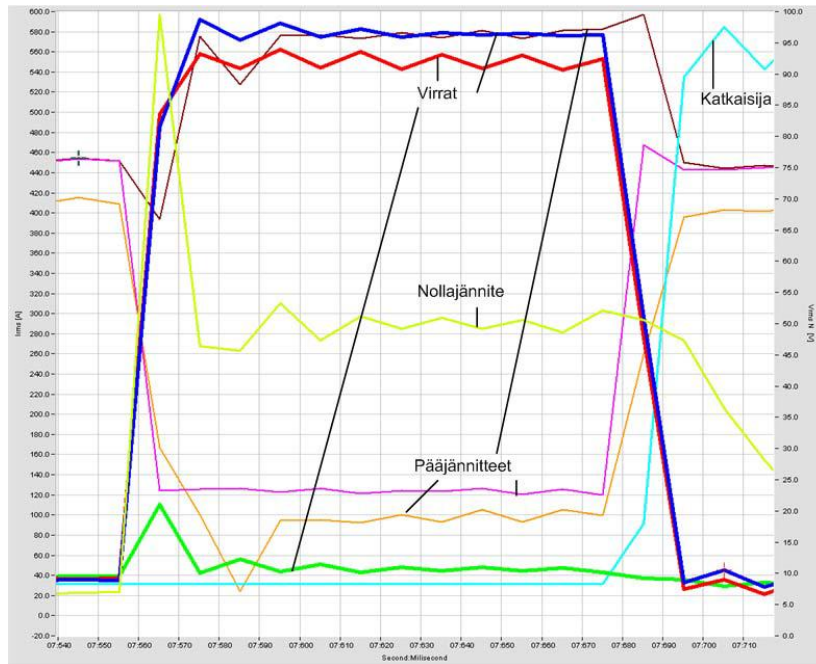
3-vaiheisessa maaikosulussa kaikki kolme vaihevirtaa nousevat merkittävästi. Erona 3-vaiheiseen oikosulkuun, tässä nollajännite nousee hieman ja pääjännitteet eivät laske symmetrisesti. (Hurkala 2009, 18.)

2-vaiheisessa maaikosulussa kaksi vaihevirtaa nousee ja pääjännitteet muuttuvat siten, että yksi notkahtaa kahta muuta enemmän. Pääjännite voi myös nousta hieman, kun taas nollajännite nousee merkittävästi. (Hurkala 2009, 16.)

Kuvioissa 10 ja 11 on havainnollistettu näitä maaikosulun tyyppisiä virtojen ja jännitteiden käyttäytymisen osalta.



KUVIO 10. 3-vaiheinen maaikosulku (Hurkala 2009, 18)



KUVIO 11. 2-vaiheinen maaokosulku (Hurkala 2009, 16)

4.4 Jännitekuoppa

Standardin SFS-EN 50160 mukaan jännitekuoppa on jakelujännitteen äkillinen aleneminen välille 1...90 % alkuperäisestä ja jännitteen palautuminen lyhyen ajan kuluttua. Ajallisesti jännitekuopan kesto on tavallisesti 10 millisekunnista 1 minuuttiin.

Jännitekuopat aiheutuvat yleensä kuormien kytkeytymisestä ja verkon vioista, kuten oikosuluista.

Vian etäisyys sähköasemasta vaikuttaa siihen, kuinka paljon kiskoston jännite laskee ja kuinka paljon kuoppa vaikuttaa muihin sähköaseman lähtöihin. Mitä lähempänä vika on sähköasemaa, sitä suurempi sen vaikutus. (Tainio 2006, 12.)

Jännitekuoppa aiheuttaa seuraavia haittoja (Mäkinen 2007, 6):

- Nopeussäädettyjen sähkökäyttöjen toimintahäiriöt ja pysähtymiset
- Prosessilaitteiden ja automaation toimintahäiriöt
- Kontaktorien päästämiset ja toimintahäiriöt
- Elektroniikkalaitteiden toimintahäiriöt
- Valaistuksen muutokset ja purkauslamppujen sammumiset

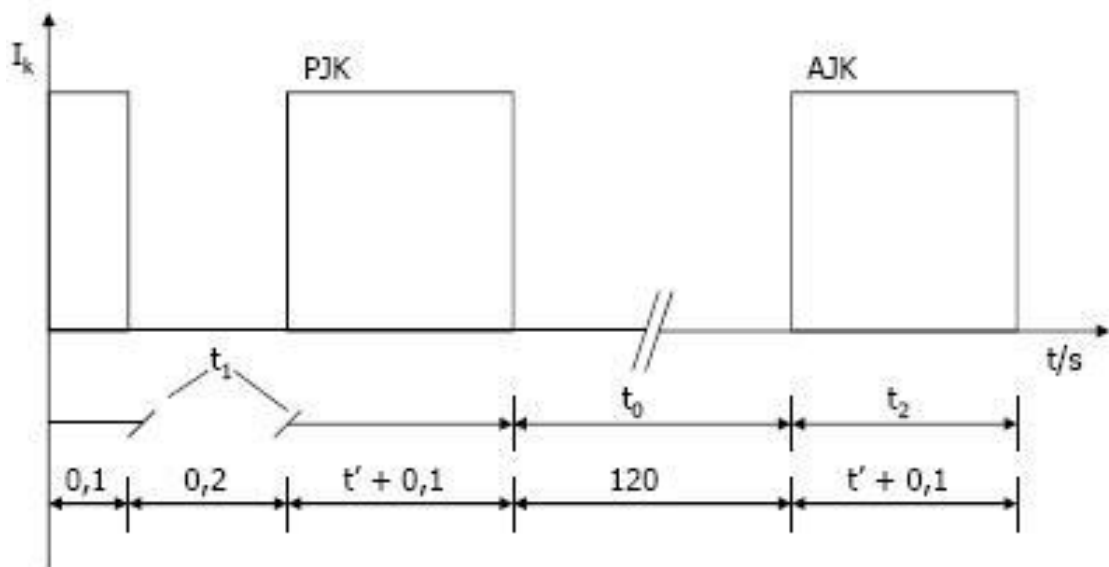
4.5 Pika- ja aikajälleenkytkentä

Vian tapahtuessa johtolähdössä, katkaisijan suojariele havaitsee sen asettelunsa määräämissä puitteissa, jonka jälkeen se antaa katkaisijalle käskyn suorittaa pikajälleenkytkentä. Pikajälleenkytkennässä katkaisija kytkee lähdön jännitteettömäksi lyhyeksi ajaksi, tyypillisesti alle sekunniksi, jotta johtoja vaurioittava valokaari sammuisi ja vian aiheuttaja ehtisi poistua. Jännitteettömän ajan jälkeen katkaisija kytkee taas jännitteet päälle. Jos vian aiheuttaja ei ole poistunut, suoritetaan välittömästi aikajälleenkytkentä.

Aikajälleenkytkennässä lähtö kytketään jännitteettömäksi huomattavasti PJK:ta pidemmäksi aikaa, esimerkiksi minuutiksi tai kahdeksi. Tällä jännitteettömällä ajalla pyritään siihen, että vian aiheuttaja, esimerkiksi johtimille pudonnut oksa, poistuisi itsestään. Asetteluista riippuen AJK voidaan toistaa muutamaan otteeseen, ennen kuin katkaisija kytkee lähdön lopullisesti jännitteettömäksi, jos vian aiheuttaja ei ole poistunut. Tällöin selvitetään vian sijainti ja vikapartio käy korjaamassa sen.

Kuviossa 12 on esimerkki PJK:n ja AJK:n toiminnasta.

Esimerkki PJK/AJK toiminnasta



t' = releeseen aseteltava laukaisun aikahidastus

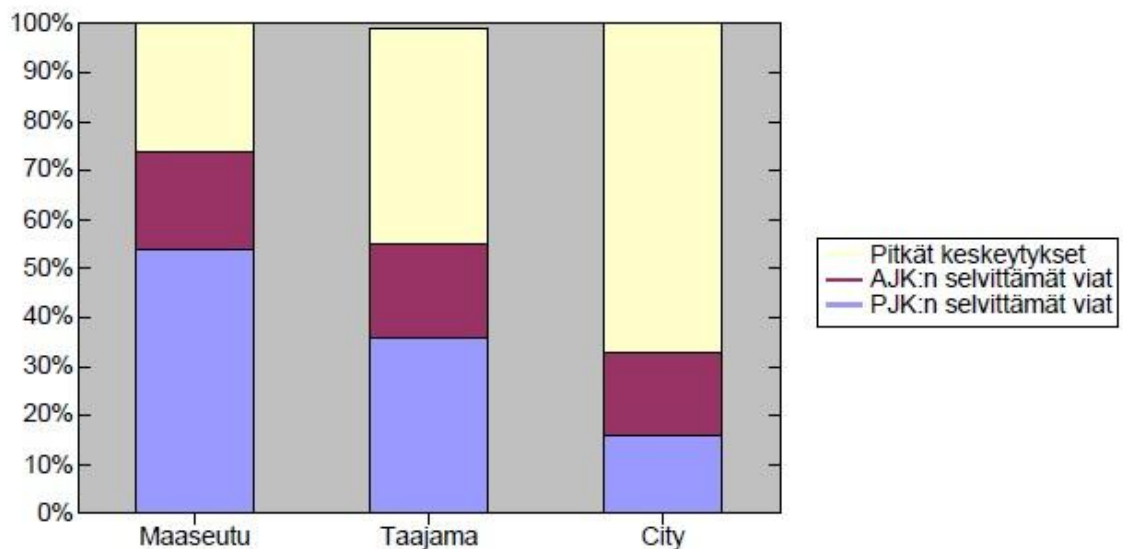
PJK = pikajälleenkytkentä

AJK = aikajälleenkytkentä

KUVIO 12. Pika- ja aikajälleenkytkentä (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2013, 20)

Pika- ja aikajälleenkytkennöillä saadaan selvitettyä suurin osa sähköverkossa tapahtuvista vikatilanteista. Tyypillisiä vikatyyppejä, joita jälleenkytkennöillä selvitetään, ovat salamaniskut, puiden koskettelu johtimiin ja eläinten aiheuttamat viat. Kuvioista 13 nähdään jälleenkytkentöjen selvittämien vikojen määrä vuonna 2011.

	Maaseutu	Taajama	City
PJK:n selvittämät viat	54%	36%	16%
AJK:n selvittämät viat	20%	19%	17%
Pitkät keskeytykset	26%	44%	67%



KUVIO 13. PJK:n ja AJK:n selvittämät viat vuonna 2011 (Energiateollisuus ry 2012, 15)

Jälleenkytkennät ovat yleisiä maaseutuverkossa, jossa avojohdot kulkevat suurelta osin metsissä. Ne ovat asiakkaille kiusallisia, varsinkin jos johtokatujen raivauksia ei ole hoidettu kunnolla, jolloin kovien tuulien aikaan puut jatkuvasti koskettelevat johtimiin ja aiheuttavat toistuvia katkoksia. Tämä vaikeuttaa merkittävästi esimerkiksi tietokoneella työskentelyä, jolloin asiakas voi joutua pakon sanelemana hankkimaan UPS-laitteiston sähkönjakelun katkojen varalle.

5 SUOMEN ILMASTO JA SEN VAIKUTUKSET SÄHKÖVERKKOON

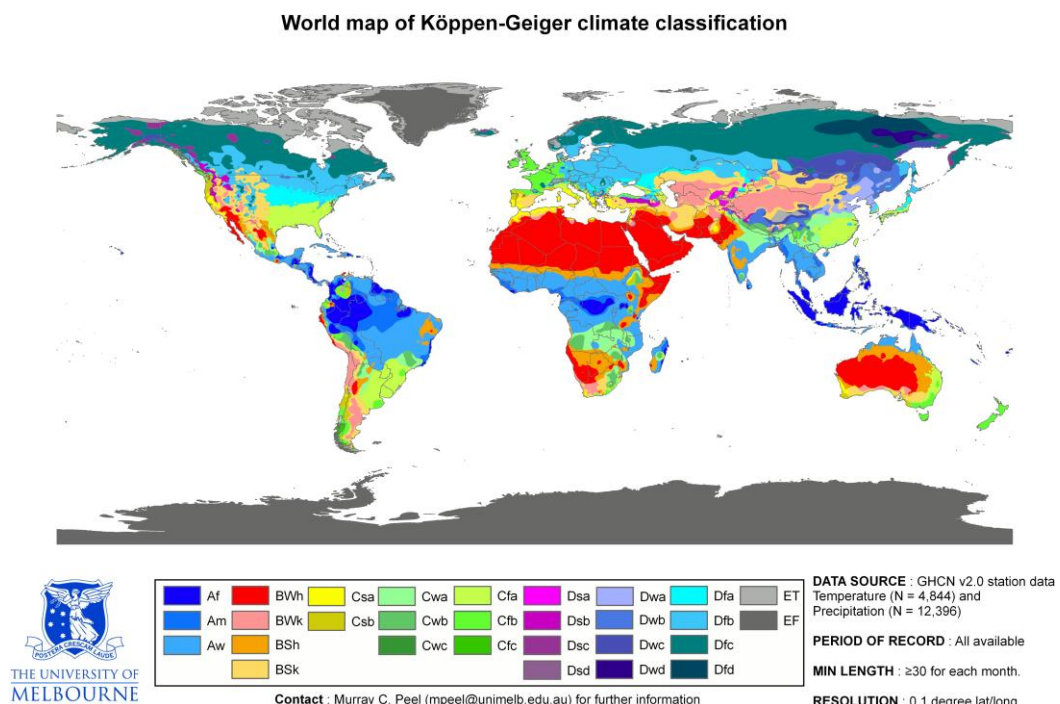
Suomen jakeluverkosta suurin osa on sääilmiöille altista kaapeloimatonta verkkoa, jossa on keskijänniteilmajohtoja yli 100 000 km ja pienjänniteilmajohtoja yli 190 000 km. Harvaan asutussa maassa sähkön toimitusvarmuuden ongelmat sijoittuvat erityisesti metsäisten haja-asutusalueiden ilmajohtoverkkoon, sen ollessa erityisen altis haitallisille sääilmiöille. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 3.)

Maamme sijainnin takia sähköverkon luotettavuutta rasittaa vuodenaikojen mukaan vaihtuvat ilmastolliset tekijät, jotka talviaikaan voivat kasautua ja pitkittää merkittävästikin vikojen korjaustöitä, kuten Tapaninpäivän jälkeiset päivät osoittivat.

Suomen ilmasto on tyypiltään väli-ilmasto, sillä siinä on piirteitä meri- ja mannerilmastoista, johtuen sijainnistamme korkeilla leveysasteilla suuren mantereen reunalla, ja merialueitamme lämmittävästä Golfvirrasta. Kullakin hetkellä vallitseva merelliseen tai mannermaiseen ilmastoon viittaava säätila riippuu matala- ja korkeapaineiden liikkeistä ja ilmavirtausten suunnasta. (Ilmatieteen laitos 2012a.)

Köppen-Geiger ilmastoluokituksen mukaan Suomi kuuluu luokkaa Dfc, eli subarktiseen mannerilmastoon, jossa on viileä ja lyhyt kesä, joka on sateisempi kuin talvi.

Kuvassa 5 on esitettyä maailman ilmastotyyppit Köppen-Geiger luokituksella.



KUVA 5. Köppen-Geiger ilmastoluokitus (Finlayson, McMahon & Peel 2010)

5.1 Tuulet ja myrskyt

Ilmastotyyppimme aiheuttaa sen, että tuulen suunta ja nopeus vaihtelee suuresti päivästä toiseen. Kovia tuulia ei kuitenkaan esiinny Suomessa kovin usein, ja sisämaassa ne ovat harvinaisia. Myrskypäiviä on eniten talvisin, kesällä myrskyjä taas on vähiten. (Ilmatieteen laitos 2012c.)

Kun talven myrskyt yhdistetään lumeen ja pakkaseen, on sanomattakin selvää, että myrskytuhoja korjaavien verkostoasentajien työolot eivät ole mitenkään miellyttävät, toisinaan jopa vaaralliset. Tämä osaltaan pidentää keskeytysaikoja.

Taulukossa 2 on esitetty miten tuuli vaikuttaa sisämaassa eri nopeuksilla.

TAULUKKO 2. Tuulen nopeuden vaikutus maalla (Ilmatieteen laitos 2012b)

Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen nimitys	Tuulen vaikutus maalla
0	Tyyntä	Savu nousee pystysuoraan
1–2	Heikkoa	Tuulen suunnan näkee savusta
2–3	Heikkoa	Puiden lehdet kahisevat
4–5	Kohtalaista	Puiden lehdet liikkuvat
6–7	Kohtalaista	Pienet oksat heiluvat
8–10	Navakkaa	Pienet lehtipuut heiluvat
11–13	Navakkaa	Suuret oksat heiluvat
14–16	Kovaa	Puut heiluvat
17–20	Kovaa	Katkoo puiden oksia
21–24	Myrskyä	Katkoo puita
24–28	Kovaa myrskyä	Kiskoo puita juurineen
29–31	Ankaraa myrskyä	Kaataa metsää
32 tai enemmän	Hirmumyrskyä	Suurta tuhoa, rakennukset vakavassa vaarassa

Tuulen vaikutus sähköverkon toimintaan alkaa, kun tuulen nopeus on noin 6–7 m/s. Tällöin puiden oksat alkavat heilua, jolloin johto-osuuksilla, joiden johtokadun reunapuiden oksat ovat kasvaneet liian pitkiksi, alkaa syntyä hetkittäisiä maasulkuja oksien kosketellessa johtimiin. KJ-johtolähdön katkaisijan releasettelu ei yleensä reagoi näihin, mutta oksien lehdet palavat pois.

Kuvassa 6 on ottamani kuva työharjoittelujaksoltani verkostotarkastajana, josta näkee miten liian kauan raivaamattomana ollut puurykelmä on tuulen heiluttamana palanut johtimien ympäriltä.



KUVA 6. Maasulkuvirtojen vahingoittama puurykelmä

Tuulen nopeuden ollessa 8–20 m/s, eli navakasta kovaan, alkaa ilmaantua lisää ongelmia. Johtimien lähellä kasvavat nuoret lehtipuut, jotka muuten eivät ole kosketusetäisyydellä johtimiin, taipuvat tuulen voimasta ja aiheuttavat maasulkuja painuessaan johtimiin kiinni.

Kun tuuli yltyy niin kovaksi, että suuremmat oksat liikkuvat, alkavat pylväiden välillä roikkuvat johtimetkin heilua sen voimasta. Vaikka johtokatu olisi raivattu kohtuullisen leveäksi, saattaa kovalla tuulella oksat ja johtimet koskea toisiinsa. Tämä voi tapahtua tuulen painaessa oksaa ja johtimen heilahtaessa sattumalta oksan suuntaan, jatkaessaan edestakaista värähtelyään aiempien tuulenpuuskien jäljiltä. Kovalla tuulella puiden oksat saattavat myös katketa ja pudota johtimien päälle, jolloin syntyy oikosulkuja.

Myrskyrajan, eli tuulen nopeuden 21 m/s, rikkoutuessa puita alkaa katkeilla ja kaatumaan juurineen. Kuuset ovat erityisen herkkiä kaatumaan myrskyllä, sillä valtaosa niiden juurista on lähellä maanpintaa, toisin kuin esimerkiksi männyillä.

Johdoille kaatunut puu aiheuttaa maasulun, tai maasulun ja oikosulun yhdistelmän, riippuen kuinka moneen johtimeen puu on kosketuksissa. Tällöin johtolähdön katkaisija suorittaa PJK:n ja AJK:n, mutta todennäköisesti paikalle on lähettävä partio korjaamaan kaatunut puu pois linjalta. Jos puu kaatuu tarpeeksi suurella voimalla, se voi aiheuttaa lisäksi johtimiin säieaurioita ja katkoa niitä, tai kaataa mukanaan jopa tukipylväitä.

Pahin tilanne on kovissa myrskyissä esiintyvät puuskat ja syöksyvirtaukset, joissa tuulen nopeus voi nousta jopa 30–50 metriin sekunnissa. Tämä aiheuttaa metsissä massiivisia tuhoja, ja jos sähkölinja sattuu olemaan kaatuvien puiden tiellä, kaatuu se auttamatta mukana johtimien ja pylväiden katkeillessa. Tällöin sähkölinja on käytännössä rakennettava kokonaan uudestaan.

Kuvassa 7 on nähtävissä syöksyvirtauksen aiheuttama tuho kuusivaltaisessa metsässä.



KUVA 7. Asta-myrskyn syöksyvirtauksen vaikutus Sulkavalaisessa metsässä (Kuva: Länsi-Savo 2010)

5.2 Lumi ja jää

Talvisin kovien tuulien lisäksi sähköjakelua haittaa lumen ja jään aiheuttama kuormitus, joka voi aiheuttaa lukuisia keskeytyksiä metsissä kulkevilla johto-osuuksilla, joiden puuston raivaus on ollut huolimaton, tai edellisestä raivauksesta on liian pitkä aika. Myös metsätyyppi vaikuttaa lumikuormasta johtuviin keskeytyksiin, sillä nuoressa lehtipuumetsässä puiden rungot taipuvat ja melko pienestä taakasta johtimiin kiinni.

Lumikuorman aiheuttajana on tykkylumi, jota syntyy kun talvisin ilmassa on suuri määrä kosteutta, kuten sumua, jolloin tykkylunta voi kertyä puihin ja johtimiin.

Tykkylumella on kaksi päälajia:

- Huurretykky, joka kasaantuu huurrekertymistä ja huurteen sitomista lumi- ja jääkiteistä. Huurre syntyy pilvi- ja sumupisaroista, joiden halkaisija on alle 0,1 mm.
- Nuoskatyky, jonka massasta yli puolet on kosteana satanutta lunta, tai kostean lumen sitomaa ”tavallista” lunta. Nuoskatykkyä syntyy tehokkaimmin kun lämpötila on 0 ja +0,5 asteen välillä, mutta lyhyet käväisyet pakkasen puolella voimistavat kertymän kasvua. Myös vesisade edistää kertymän kasvua, kun pisaran halkaisija yli 0,1 mm.

Tuuli vaikuttaa myös tykkylumen määrään, kohtalainen (3–6 m/s) tuuli edesauttaa kertymän kasvua, mutta tuulen voimistuessa navakaksi alkaa jo syntyntä lumikertymää varista oksistosta maahan. Tuulen lisäksi sään lämpeneminen selvästi suojan puolelle puhdistaa latvuksia. (Ilmatieteen laitos 2012d.)

Tykkylumi aiheuttaa puille suurta rasitusta, normaalikokoisessa kuudessa tykkylunta voi olla jopa 3–4 tonnia. Lehtipuut taipuvat helposti lumitaakan alla ja lakimetsän puut voivat katkeilla, erityisesti männyn oksat ovat herkkiä katkeamaan lumen painaessa niitä. (Tainio 2006, 21.)

Avojohtojen ollessa lähettyvillä, voi niihin osuvat puiden latvat ja oksat aiheuttaa maa- ja oikosulkuja. Jos heikkokuntoisten kannatinpylväiden rakenteisiin ja johtimiin kertyy paljon raskasta lunta, niiden rakenteet voivat vääntyä, liitokset rikkoontua, johtimet painua johtokadun aluskasvillisuuteen tai jopa maahan kiinni, tai koko pylväs kaatua taakan alla.

Kuvassa 8 on esimerkki tykkylumen aiheuttamasta maasulkuun johtavasta viasta talvella keskijännitejohdolla.



Kuva 8. Tykkylumen painama koivu KJ-johtimella (Yleisradio 2012)

Tykkylumen aiheuttama puiden taipuminen johdoille on siitä kiusallinen vika, että jos se ei aiheuta pysyvää keskeytystä, niin paikalle ei välttämättä lähetetä vikapartiota. Tällöin se sama puu, joka aiheutti vian, voi jatkossakin lumikuorman johtavissa olosuhteissa taipua johtimille.

Ja jos tilannetta mennään tutkimaan liian myöhään, jolloin lukikuorma on vähentynyt, ei välttämättä pystytä tunnistamaan niitä puita, jotka ovat olleet taipuneena johtimille.

Myös lumien poistuminen puiden päältä voi aiheuttaa vikoja. Lumen paino on saattanut painaa puuta vinoon poispäin johdoista, ja yhtäkkisen lumikuorman poistumisen takia puu heilahtaa johtimiin kiinni aiheuttaen maasulun. Puu on myös voinut kääntyä lumen painosta johtimien suuntaisesti, ja lumen sopivasti sulaessa se nouseekin kiinni johtimiin niiden alapuolelta.

5.3 Ukkonen ja salamet

Ukkosen syntyyn Suomessa on Ilmatieteen laitoksen mukaan kaksi päätapaa, ilmamasaukkonen ja rintamaukkonen.

Ilmamassaukkonen on tyypillinen kesäaikaan, touko-syyskuussa, syntyvä ukkonen, kun auringonpaiste lämmittää maata ja kosteaa ilmaa, jolloin syntyy ylöspäin nouseva ilmamassa. Noustessaan tämä ilmamassa muuttuu kumpupilveksi, siitä kuuropilveksi ja edelleen ukkospilveksi, jonka sisäisten hiukkasten törmäyksistä syntyvä hankaussähkö purkautuu salamointina.

Rintamaukkonen syntyy kylmän ja lämpimän ilmamassan kohdatessa, jolloin lämmin ja kostea ilma joutuu nousemaan ylöspäin kylmän ilman painuessa sen alle. Lämpimän ilman noustessa syntyy ukkospilvi ja edelleen salamointia. Rintamaukkoseen ei niinkään vaikuta auringonvalo, jolloin se voi syntyä yhtä hyvin päivällä kuin yöllä. (Ilmatieteen laitos 2013.)

Salamointi aiheuttaa sähköverkkoon transienttilyijännitteitä kolmella tavalla:

- Induktiolla, jota tapahtuu salaman iskiessä lähelle johtoa maahan tai puihin
- Suoralla iskulla vaihejohtimeen
- Takaiskulla, joka aiheutuu osumasta verkon maadoitettuun osaan

Syntyneet ylijännitteet aiheuttavat verkossa maa- ja oikosulkuja, jotka johtavat pikajälkeenkytkentään valokaaren sammuttamiseksi. Pahimmillaan ylijännitteet rikkovat verkon komponentteja, kuten eristimiä ja muuntajia. On myös mahdollista, että ylijännite pääsee kulkeutumaan maakaapeliverkkoon ja vioittamaan sitä, jolloin siitä aiheutuva keskeytys voi olla pitkäkin vian paikallistamisen ja korjaamisen hankaluuden takia.

Jos salama osuu kantaverkkoon, se synnyttää epäsuorasti vian myös jakeluverkon puolelle. Salamaniskusta johtuva magneettikenttä aiheuttaa induktiolla jakeluverkon ilmajohdoin jännitetransientin, joka purkautuu ylilyöntinä eristimissä tai läpilyöntinä ki-pinäväleissä, jolloin tapahtuu maasulku. Jos käytössä ei ole virtaa rajoittavia suojia tai venttiilisuojia, katkaisija kytkee lähdön jännitteettömäksi valokaaren sammuttamiseksi.

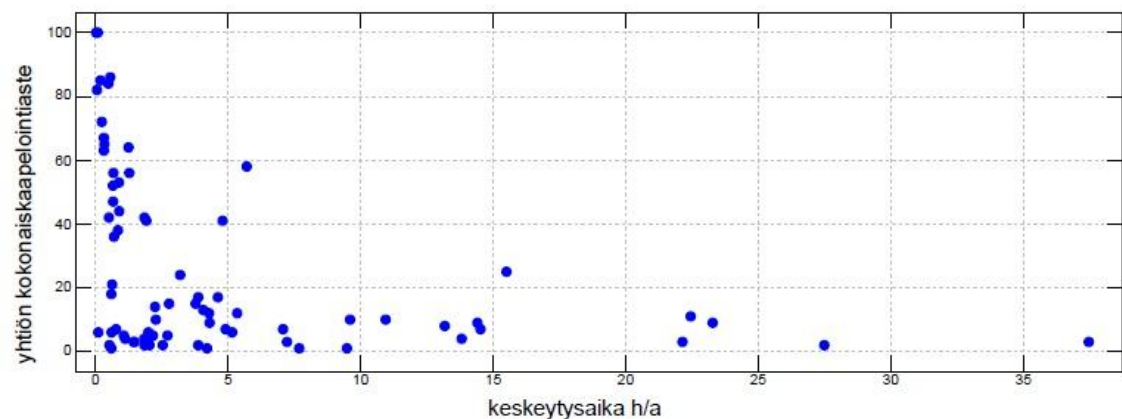
6 RATKAISUJA SÄÄVARMUUDEN PARANTAMISEKSI

6.1 Maakaapelointi

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisemassa muistiossa pidetään maakaapelointiasteen nostamista yhtenä tärkeimmistä ratkaisuista jakeluvarmuuden parantamiseksi. Kaapelointiasteen lisäämistä puoltaa maakaapeloinnin alempi vikataajuus, joka on 10–50 % avojohtojen vikataajuudesta (Lakervi & Partanen 2008, 146), ja kaapeloinnin käyttövarmuus korostuu suurhäiriötilanteissa, koska se on käytännössä immuuni tuulen kaatamille puille, irronneille oksille ja tykkylumelle. Kuitenkin maakaapeloitukin verkko on säävarma ainoastaan niin kauan, kuin maakaapeliosuutta syöttävä ilmajohtoverkko on toimintakykyinen pahoissa sääoloissa.

Energiateollisuus ry:n julkaisemassa vuoden 2011 sähkön jakelun keskeytystilastossa on kuvaaja, josta on nähtävissä kuinka runsaasti maakaapeloidussa verkossa keskeytysajat lyhenevät olennaisesti. Kyseinen kuvaaja on esitetty kuviossa 14.

Keskeytysaika asiakkaalla verkonhaltijoittain h/a (ei jälleenkytkentöjä) sisältäen vikakeskeytykset ja suunnitellut keskeytykset



KUVIO 14. Maakaapeloinnin määrän vaikutus keskimääräisiin keskeytysaikoihin (Energiateollisuus ry 2012, 9)

Maakaapeloinnilla on seuraavia hyviä puolia:

- Kaapeli on suojassa maan sisällä tuulen ja lumen vaikutuksilta
- Salamaniskut eivät osu maakaapeliin läheskään yhtä usein kuin ilmajohtoon
- Ei kosketeltavissa, vahinkojen sattuminen ja ilkivalta epätodennäköisempää
- Mahdollista käyttää yhteisiä infrareittejä tietoliikenneyhteyksien, vesi- ja jätevesiputkien, kaukolämpöputkien ja katuvalokaapeleiden kanssa
- Pienempi jännitteenalenema
- Ei vaadi merkittävää puuston raivaamista
- Puolta pienemmät kunnossapitokulut ilmajohtoon nähden (VSO:n verkossa maakaapelille n. 200 €/km, ilmajohtolle n. 400 €/km)

Huonoina puolina maakaapeloinnissa on:

- Maasulkuvirtojen kasvu, jolloin verkko vaatii sammutuksen
- Vikapaikkojen paikallistaminen tarkasti vaikeaa ja vikojen korjaus hidasta
- Kaapeloituun verkkoon on kalliimpaa ja hitaampaa tehdä muutoksia kuin avojohtoverkkoon
- Vikojen korjauksen ajaksi tehtävät varasyötöt vaikeampi toteuttaa
- Rakentaminen, sisältäen koko infran, toistaiseksi noin kaksi kertaa kalliimpaa kuin avojohtoverkon rakennus (VSO:lla maakaapelointi n. 60 000 €/km, uusi ilmajohto n. 38 000 €/km)
- Korkeat vaatimukset suojaukselle ja suunnittelulle tien viereen rakennettaessa

Lakervin ja Partasen (2008, 148) mukaan eräs perusohje kannattavaan maakaapelointiin voisi olla, että keskijännitejohto kaapeloidaan, kun ollaan taajamien keskustoissa tai kun kyseisen KJ-lähdön kuorma on pääasiassa palvelu- ja teollisuusasiakkaita, ja KJ-lähdön huipputeho on suurempi kuin 2 MW.

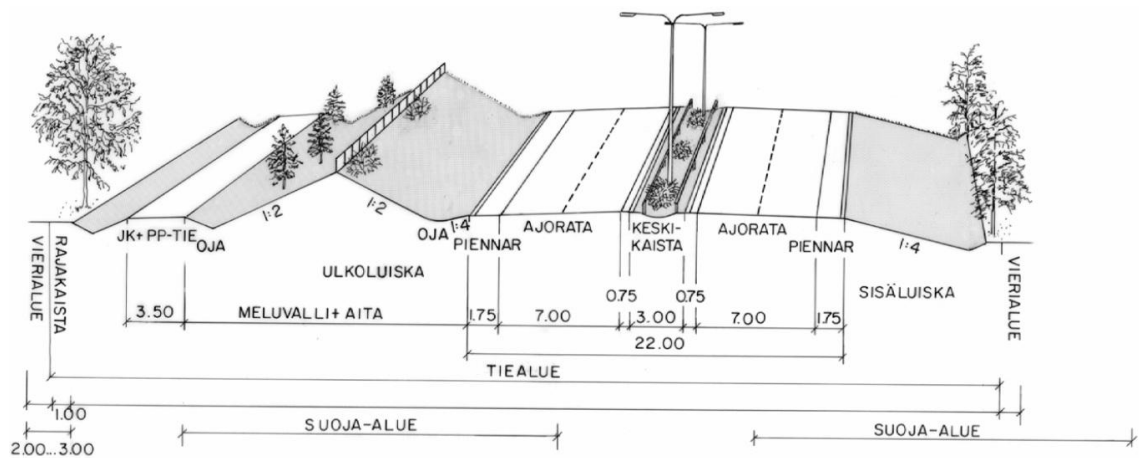
Maakaapeloinnin kustannuksia saataisiin alaspäin, kun itse kaapeleiden, päätteiden, puistomuuntamoiden ja muiden komponenttien hinnat laskisivat. Kustannuksia kasvat-
taa myös vielä melko kehittymätön kaapeleiden auraustekniikka, johon saataisiin paran-
nuksia uusien laitteiden ja aurauksen kestävien kaapeleiden avulla. Pienjännite-
kaapeloinnissa ongelmat on jo aurauksesta selätetty ja sitä on tehty pitkään, johtuen eri
suojausvaatimustasosta, joka on PJ-kaapelille paljon kevyempi kuin KJ-kaapelille.

Liikennevirasto antoi 28.6.2012 uuden ohjeluonnoksen Sähköjohdot ja maantiet, jossa on kevennetty kaapeleiden mekaanisen suojauksen vaatimuksia. Pirkanmaan ELY-keskus, johon on keskitetty johto- ja kaapelilupien myöntäminen Suomessa, antoi 8.11.2012 toimintaohjeen suunnitteluun liittyvistä selvityksistä, kun haetaan kaapelille sijoituslupaa uuden Liikenneviraston ohjeluonnoksen mukaisesti.

Jos selvitykset ovat puutteelliset tai sijoitusehdot eivät täyty, hakemus käsitellään Liikenneviraston ohjeita 4/2011 Sähköjohdot ja maantiet (7.3.2011) mukaisesti (Elinkeino- ja ympäristökeskus 2012).

Kun käytetään Liikenneviraston vanhempaa ohjetta, suojausvaatimukset ovat vaativammat, joka kasvattaa maakaapelin rakentamisen kustannuksia.

Liikenneviraston ohjeluonnoksen mukaan teiden kunnossapitotoimien kannalta paras sijoituspaikka maakaapeleille olisi sivuojan ja tiealueen rajan välillä. Ongelmaksi siinä muodostuu kuitenkin puut ja niiden juuret, koska niiden raivaus kasvattaa kustannuksia ja heikentää tiemaisemaa. Kuvassa 9 on selvennetty tien eri osat ja niiden nimet.



KUVA 9. Tien osat (Liikennevirasto 2011, liite 1/8)

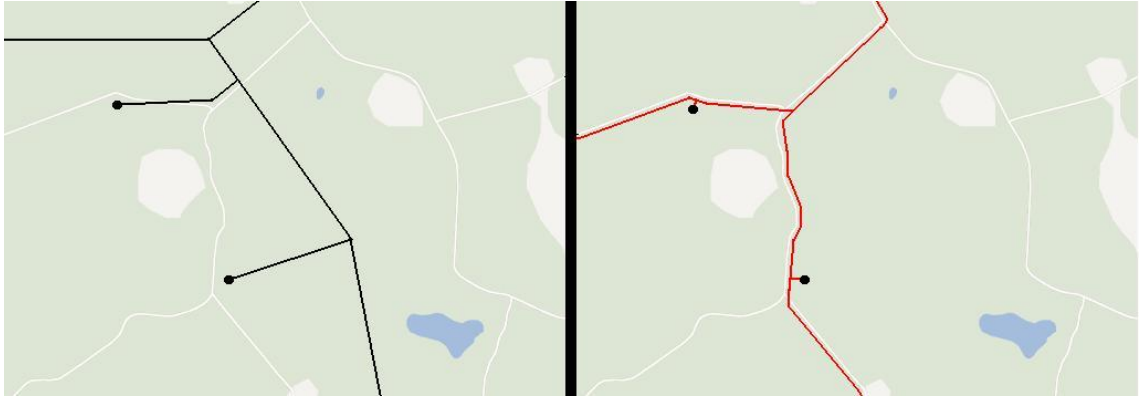
Jos sähkökaapeli aiotaan sijoittaa tien sisäluiskaan tai ojan pohjalle, on selvitettävä ELY-keskukselta lupaa haettaessa tiedot tien rakenteesta, luiskista, pohjamaasta, olemassa olevista kaapeleista ja mahdollisista tien ja siltojen parannustoimista.

6.2 Ilmajohdojen sijoittelu ja varasyöttöyhteydet

Vatajankosken Sähkö Oy on maaseutuverkkoyhtiö, jolle on tyypillistä maaseudun sähköistämisen huippuvuosina 1950- ja 1960-luvulla tapahtunut johtojen suoraviivainen rakentaminen metsiin. Tällä tavoiteltiin aikanaan verkostorakentamisen investointien materiaalikustannusten pienentämistä, eikä maankäyttösopimusten saannissakaan metsiin rakentaessa ollut ongelmia. (Lakervi & Partanen 2008, 143.)

Koska rakentaminen myös tapahtui pala palalta uusien kulutuspaikkojen ilmaantuessa, sähköverkon topologiakaan ei välttämättä ole paras mahdollinen käytettävyyttä ajatellen. Jotta keskeytysaikoja rikkonaisessa verkossa saataisiin laskettua, tulisi pyrkiä rengrakenteeseen, jolloin varasyöttöjen järjestäminen nopeutuu.

Kuvassa 10 on esitettyä tyypillinen haja-asutusalueen KJ-johtoreitti ilmasta kuvattuna vasemmalla ja paremmin sijoitettu johto oikealla. Kuvasta on nähtävissä, että säävarmuuden kannalta parempi reitti johdolle kulkee maantien varressa, eikä uudelle johdolle tien varteen tulisi edes merkittävästi lisää pituutta.



KUVA 10. Ilmajohdon siirto metsästä tien varteen

Johtojen järkevämmällä sijoittelulla pois keskeltä metsää voidaan parantaa paljonkin säävarmuutta, esimerkiksi rakentamalla niitä maan- ja rautateiden viereen, hyödyntämällä kanta- ja alueverkon johtoaukkoja tai luontaisesti puustollisesti väljempää paikkaa, kuten jokien ja järvien rantoja. Tässä käsittelen teiden varsiin siirtoa, sillä se on kokemusten perusteella toimivaksi havaittu ratkaisu.

Johtojen siirrolla metsistä tien viereen on monia hyviä puolia:

- Parantaa käyttövarmuutta, vikojen määrä noin puolet verrattuna linjaan metsässä
- Huoltotoimet, kuten tarkastukset ja kasvuston raivaus helpompaa
- Metsän raivaustarve sekä johtoaluemaksut pienenevät
- Kuormitus pääosin teiden lähellä, jolloin jakelujohtoa saadaan lähemmäs niitä
- Vikojen paikallistaminen helpompaa

Huonoja puolia taas ovat:

- Kuluja lisää kulmapylväiden määrän kasvaessa (harustukset, vetoeristimet yms.)
- Liikenneturvallisuuden heikkeneminen, joskin törmäysturvallisia pylväitä käytettäessä vaara ei niin suuri
- Aiheuttaa vakavan hengenvaaran jos puutavaraa on varastoitu KJ-johtojen alle tien viereen määräysten vastaisesti
- Asutuksen ollessa lähellä tietä, suojaetäisyyksien täyttäminen hankalaa
- Tien leventäminen, meluvallien rakennus yms. voi vaatia johtojen siirtämistä
- Sivuoijien perkuussa koneen puomi voi olla vaarallisen lähellä avojohtoja
- Suurten opastemerkkien pesu vesisuihkulla voi hankaloitua
- Tien hoidossa auton lava voi osua risteäviin johtoihin
- Maisemallisesti ei yhtä miellyttävä

Kuitenkaan kaikkia johtoja ei ole järkevää siirtää teiden varsille säävarmuutta tavoiteltaessa. On pidettävä mielessä kustannukset, aina ei ole järkevää rakentaa johtoa tien viereen, jos sen kulkeman lisämatkan takia materiaalikulut nousevat liikaa.

Jotkut metsäosuudetkin ovat niin kitukasvuisia tai harvoja, ettei siellä ole puustosta haittaa johdoille, eivätkä myöskään pelloilla ja laitumilla kulkevat johdot ole alttiina puiden ja tuulen aiheuttamille ongelmille.

Pelloilla sähköverkkoa tyypillisesti vahingoittavat työkoneet maataloustöissä, jotka irtottavat sähköpylväistä paloja tai kaatavat niitä, sekä katkovat haruksia ja maadoitusjohdimia. Vähemmissä määrin vahingoksi ovat myös laiduntavat eläimet, jotka pureskelemalla heikentävät pylväiden tyviä sekä johtimiin törmäävät linnut, kuten joutsenet ja kurjet.

Paikoissa joissa on paljon suurten lintujen liikehdintää, kuten muuttoreiteille tai pesimispaikkojen lähialueille, tulisi johdoille asentaa niiden havaitsemista helpottavat huomioväriset lintupallot.

Kuvassa 11 on esimerkki, miten keskijännitejohdon sijoittamisessa on hyödynnetty tehokkaasti sekä tien reunustaa, että jo ennalta olemassa olleen alueverkon johtokatua. Näin puut eivät aiheuta juurikaan uhkaa johdoille, ja huolto- sekä tarkastustoimet on helppo suorittaa.



KUVA 11. KJ-johto tien varrella (Kymenlaakson Sähkö)

Verkon rakenteen ollessa sopiva, kannattaa selvittää uusien varasyöttöyhteyksien rakentamisen mahdollisuudet. Varasyöttöyhteyksiä voidaan rakentaa joko samaan johtolähtöön silmukoiksi, tai haaroina kokonaan toiseen johtolähtöön. Joskus on jopa mahdollista saada yhteys oman verkkoyhtiön jakelualueen ulkopuolelle. Kaikissa tapauksissa täytyy todennäköisesti rakentaa samalla uusia linjaerottimia, jotta saadaan vikapaikan rajaukselta helpotettua ja vältettyä verkon tahdistusongelmat.

Varasyöttöjä rakennettaessa on huomioitava myös olemassa olevan verkon johdinten kuormitettavuus. Jos verkko on heikko, ei varasyöttöä voida rakentaa ilman muun verkon vahvistusta, jolloin saattaa aiheutua kohtuuttomia lisäkuluja.

6.3 Päällystetyt avojohdot

Päällystettyjä avojohdota, eli PAS-johdota, voidaan käyttää säävarmuuden parantamiseen, sillä esimerkiksi sen päälle lentävät pienet oksat eivät aiheuta vikakeskeytystä. Kuten jo nimikin osittain kertoo, PAS-johdolla on ohut eristys, joka kestää vaihejohtimien hetkellisen kosketuksen toisiinsa ja puiden johtimiin nojaamista.

Vaikka välitöntä keskeytystä ei tapahdukaan, johtimiin nojaava ja hiertävä puu ajan myötä aiheuttaa suuri-impedanssisen maasulun, jota suojalaite ei välttämättä havaitse. Tällöin syntyy merkittävä turvallisuusriski, sillä vikapaikan läheisyydessä askel- ja kosketusjännite nousevat vaaralliselle tasolle. (Lakervi & Partanen 2008, 145.)

Lakervin ja Partasen (2008, 145) mukaan PAS-johdota kannattaa käyttää esimerkiksi sähköasemilta lähteissä kaksois- ja kolmoisjohdoissa sekä sellaisilla alueilla, missä käyttövarmuuden kannalta on hankalat olosuhteet, kuten lumikuormaherkässä lehti-puumetsässä. Myös teiden varret ovat hyviä sijoituspaikkoja, sillä johdon kunto myrskyjen jälkeen on helppo tarkastaa siinä.

Johtimien ollessa eristettyjä, ne voidaan sijoittaa orsirakenteessa lähemmäs toisiaan, jolloin johtokatukin kapenee. Tätä voidaan hyödyntää maisemallisesti tärkeillä alueilla.

PAS-johdolla on kuitenkin huonojakin puolia. Kuten jo mainittiin, johtimiin nojaavia puita eivät suojalaitteet välttämättä havaitse, lisäksi PAS-johdota katkeaa helposti puun tai suuren oksan voimasta. Katkeamisherkyys johtuu siitä, että johdon sisällä ei ole teräsvahviketta. Johtimen päällä olevan eristeen takia korjausten tekeminenkin on hankalaa. Lisäksi jos on käytetty kaksois- tai kolmoisjohtorakennetta, ja näistä yhteen johtolähtöön tulee korjausta vaativa vika, on kaikki samassa rakenteessa olevat lähöt kytkettävä pois päältä. PAS-johdot tulee myös partioimalla tarkastaa jokaisen myrskyn jälkeen, joka vie aikaa jos johdot on sijoitettu vaikeakulkuiseen maastoon.

PAS-johdon katkeavuuden takia VSO käyttääkin BLL-T johdota, joka on muuten samanaista kuin PAS, mutta sisällä on teräsvahvike ja päällä hieman erilainen eristys, joka on vesitiivis. Eristyspinnoite on vihreää, josta se on saanut kutsumanimen metsä-PAS.

PAS-johdota on suojattava ylijännitteiltä, sillä valokaari polttaa johtimen helposti poikki. Tähän käytetään kipinäsarvia, jotka ohjaavat valokaaren palamaan riittävän etäälle johtimesta. Ylijännitesuojausta käsitellään myöhemmin tarkemmin omassa kappaleessaan.

6.4 Verkostoautomaatio ja älykäs verkko

Tämän päivän trendinä on automaation lisääminen jakeluverkossa, jolloin keskeytysai-koja saadaan lyhennettyä olennaisesti. Eniten tästä on hyötyä uudisrakennuskohteissa, jossa koko verkon infrastruktuuri voidaan alusta alkaen suunnitella ja rakentaa ”älyk-
kääksi”. Älykäs verkko sisältää käsitteenä kuormien ohjausta, hajautetun energiantuo-
tannon hyödyntämistä sekä verkon kytkentätilan muuttamista ja vikapaikkojen erotta-
mista ilman ihmisvälisiä.

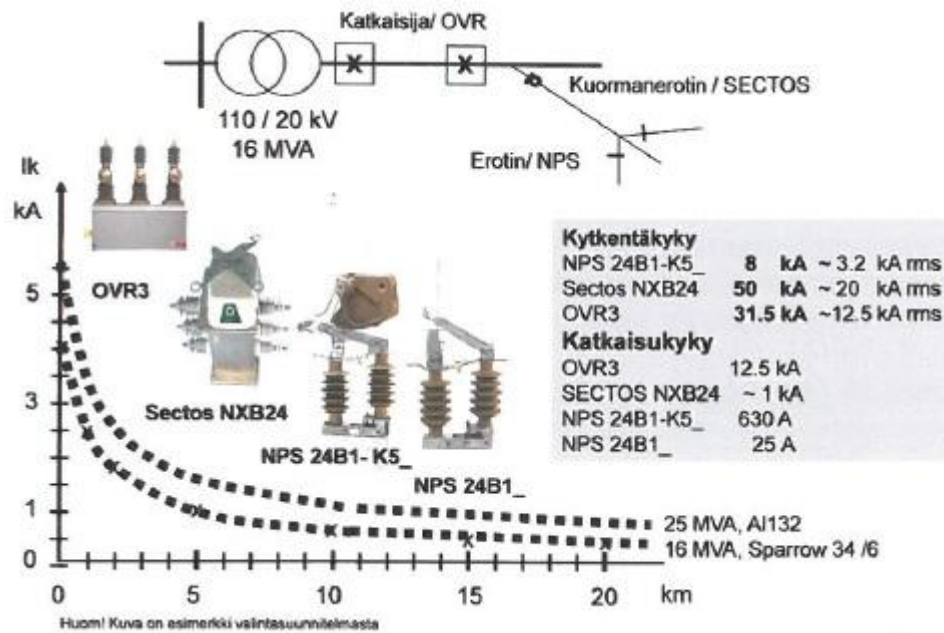
Vanhoissa kohteissa, joissa verkon rakenne ei välttämättä mahdollista kaikkia markki-
noilla olevia ratkaisuja, voidaan joitakin säävarmuutta parantavia toimenpiteitä silti teh-
dä. Näitä ovat esimerkiksi maastokatkaisijoiden käyttö vikapaikkojen erottamiseen ja
asiakkaille asennettavien etäluettavien sähkömittareiden hyödyntäminen vikapaikan
paikannuksessa, sekä kaukokäyttöisillä erottimilla kytkentätilan nopea muuttaminen.

Keskijänniteverkkoon voidaan asentaa maastokatkaisijoita, joilla voidaan vikaantuneita
verkon osia erottaa aiheuttamatta muuhun verkkoon käyttökeskeytystä. Soveltuvia koh-
teita ovat esimerkiksi pitkät haarajohdot, jotka on havaittu vikaherkiksi, mutta niille ei
ole kannattavaa tai mahdollista tehdä suurempia muutoksia.

VSO:n henkilöstön mukaan tähän kannattaa käyttää mieluiten koppimallisia katkaisijoi-
ta, sillä pylvääseen asennettavissa on havaittu olevan puutteita katkaisukyvyssä. Lisäksi
koppimallisten katkaisijoiden huollettavuus on parempi, sekä se on suojassa säältä.

ABB on tuonut markkinoille uudenlaisen SF₆-kaasutäytteisen Sectos-
kuormanerotinkytkimen, jonka suojaustoiminnoilla päästään suunnattuun ja suuntaa-
mattomaan ylivirta- ja maasulkusuojaukseen selektiivisellä asettelulla sähköasema-
suojaan nähden.

Sectosta kannattaa hyödyntää vikojen rajaukseen syvällä verkossa, sillä sen vikavirran
katkaisukyky ei ole maastokatkaisijoiden tasolla, jolloin sitä ei voi käyttää lähellä pää-
muuntajaa. Hyvä kohde on esimerkiksi vikaherkät haarajohdot, joihin ei kannata raken-
taa katkaisijaa. Sectos on tarkoitettu pylväsasennettavaksi, mutta se on asennettavissa
myös suojattuun tilaan. Kuviossa 15 on ABB:n esimerkkivalintataulukko verkon suo-
jauskomponenteista, jossa Sectos sijoittuu katkaisijan ja normaalin kuormanerotimen
väliin.



KUVIO 15. Esimerkki ABB:n eri komponenttien vikavirran katkaisukyvyistä (SLO 2013, 18)

Edistyneillä etäluettavilla sähkömittareilla on mahdollista saada jännitetietoja, joita voidaan käyttää pienjänniteverkon vikojen korjaamisen nopeuttamisessa. Laitteilla voidaan havaita niin vaihejohtimien kuin nollassojen katkeaminen, jolloin siitä lähtee tieto verkkoyhtiölle. Kosketusjännitevaaran uhatessa kun nollassojen on poikki, voidaan automaattisesti katkaista virta liittymästä.

Myös verkon vikatilanteissa, jossa on jouduttu muodostamaan varasyöttöyhteys, jonka kuormitettavuus on pienempi kuin alkuperäisen syötön, voidaan etäluettavilla mittareilla ohjata ei-kriittisiä kuormituksia pois päältä vikatilanteen selvittämisen ajaksi.

Hajautetussa energiantuotannossa sähköverkon kannalta pyritään siihen, että kulutuspienien lähetyksillä olisi pieniä sähköenergiaa tuottavia laitoksia. Tuotantolaitoksina voi olla tuuli- ja aurinkovoimaloita sekä esimerkiksi pieniä biopolttoainekattiloita. (Motiva Oy 2010, 6.)

Hajautetulla energiantuotannolla on hyviä ja huonoja puolia. Hyvänä puolena on asiakkaiden sähköenergian saannin turvaaminen verkon vikatilanteissa entistä paremmin, kun se on tuotettu lähellä, jolloin myös siirtohäviöt ovat pienet. Toisaalta huonona puolena ovat verkkoon tehtävät lisäinvestoinnit ja verkon suojausten järjestämisen vaikeutuminen.

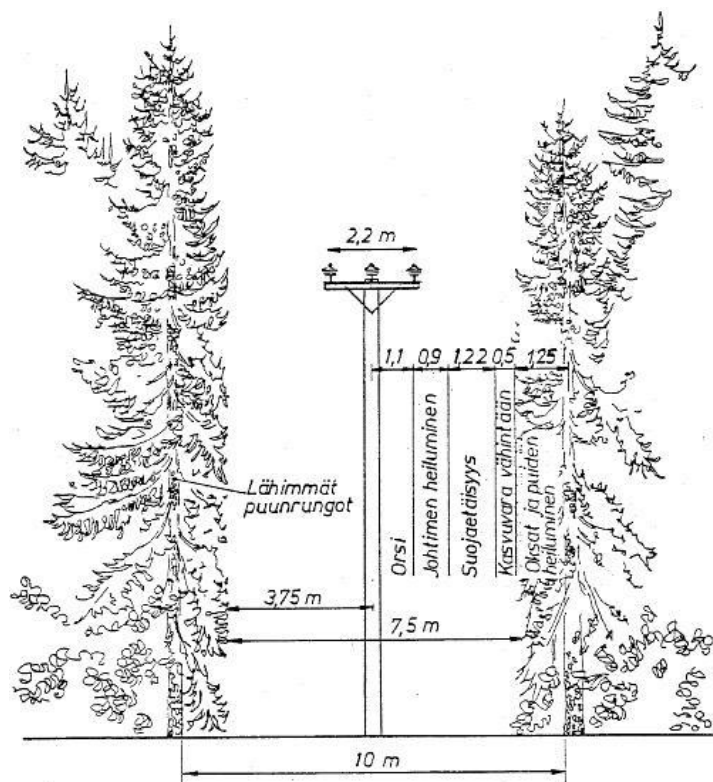
6.5 Johtokadun vierimetsien hoito

Puiden aiheuttaessa suurimman osan keskeytyksistä keskijänniteverkossa, niiden tuottama riski on pyrittävä minimoimaan ennaltaehkäisevästi. Helpoin ratkaisu olisi raivata KJ-johdoille niin suuret johtokadut, ettei puiden olisi edes mahdollista kaatua johtimien päälle. Tämä ei ymmärrettävästi ole mahdollista, sillä maanomistajille maksettavat korvaukset kasvaisivat liian suuriksi.

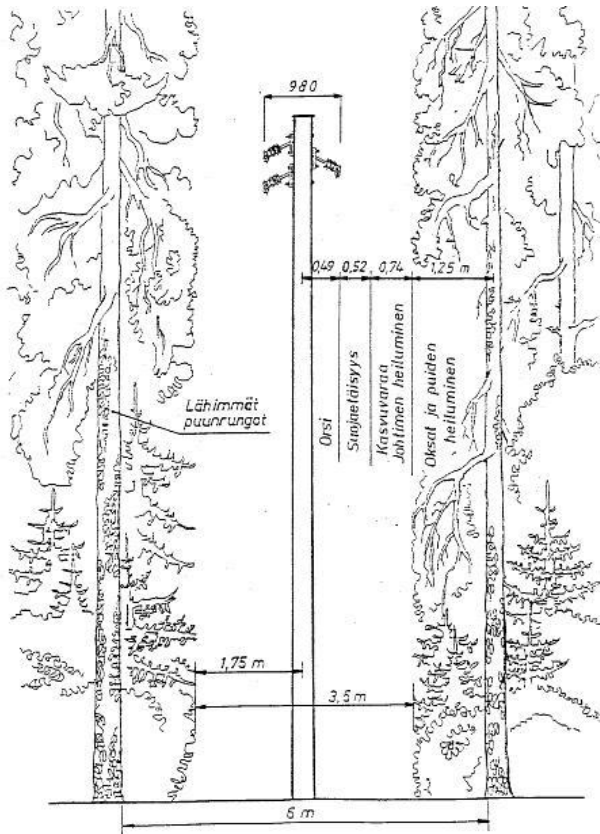
Nykyisin verkonhaltijoilla on voimassa olevien käyttöoikeussopimuslomakkeiden mukaan oikeus poistaa ainoastaan yksittäisiä puita, jotka voivat haitata sähköjakelua. Suuremmatkin oikeudet puiden raivaamiselle johtojen lähetyviltä olisi mahdollista saavuttaa, mutta se vaatisi aina tapauskohtaisen sopimuksen teon maanomistajan kanssa.

Maanomistajilla ei ole velvollisuutta hoitaa johtoja ympäröivää metsää, eikä siihen kannustetakaan nykyisin millään tavalla.

Sähköenergialiitto ry:n verkostosuosituksessa Ilmajohtojen johtoalueet on esitetty keskijänniteilmajohtojen johtokaduille kuvien 12 ja 13 mukaiset vähimmäisleveydet, jotka ovat paljaalle avojohdolle 10 m, ja päällystetylle avojohdolle 6 m.



KUVA 12. 20 kV paljaan avojohdon johtokatu (Sähköenergialiitto ry 1992, 4)



KUVA 13. 20 kV päällystetyn avojohdon johtokatu (Sähköenerialiitto ry 1992, 6)

Johtokatu tulee raivata sääntillisesti määrävuosin, jotta vierimetsä ja aluskasvusto eivät pääse liian huonoon kuntoon. Vierimetsän puista on karsittava oksat, jotka tuulen tai lumikuorman takia voisivat osua johtimiin. Lisäksi johtokadun reunoilta on poistettava pystyyn kuolleet, johtimia liian lähellä olevat, lumikuormasta mahdollisesti taipuvat ja uhkaavasti kallellaan olevat puut.

Aluskasvillisuus, kuten nuoret puut ja pensaat, tulee raivata johtokadulta pois. Tällä estetään toistuvat pikajälleenkytkennät, kun nuorten puiden oksat koskettelevat johtimia. Lisäksi raivaus helpottaa työskentelyä ja liikkumista johtoalueella.

Urakoitsijoilla, jotka hoitavat johtokadun raivausta, täytyy olla kokemusta työskentelystä jännitteisten johtojen lähetyvillä, tai työmaalla on oltava mukana esimerkiksi verkko-yhtiön sähköasentajia varmistamassa työn turvallisuuden.

Eräs tehokas tapa karsia johtoaukon oksia ja lumikuormasta taipuneita lehtipuita, on helikopterilla tehtävä linjaraivaus. Siinä helikopterista roikkuvalla linjasahalla saadaan sahattua pystysuunnassa kaikki johtojen puolella olevat oksat. Tällöin puu taipuu sähköjohdoista pois päin toisen puolen oksien painaessa sitä, jolloin se ei tuulen vaikutuksesta taipu tai kaadu johtojen suuntaan yhtä helposti. (Helitour 2013b.)

Kuvassa 14 on kevyt helikopteri, johon on kiinnitetty raivauksessa käytetty linjasaha.



KUVA 14. Johtokadun raivaukseen käytettävä helikopteri ja linjasaha (Helitour 2013a)

Myös metsänomistajia tulisi tavalla tai toisella valistaa, kuinka he omalla toiminnallaan voivat vaikuttaa sähköverkon säävarmuuteen. Metsää kaadettaessa tulisi jättää puita tuuliesteeksi, jotta johtimien lähellä olevat puut eivät myrskyllä kaatuisi liian helposti. Verkolle muodostavat uhan myös yksittäiset puukaistaleet ja pystyyn jätetyt siemenpuut, joilla ei ole muun puuston tarjoamaa tuulensuojaa.

Tapio, joka on metsätalouden kehittämis- asiantuntijaorganisaatio, aloitti syksyllä 2012 projektin, jonka tarkoituksena on tutkia metsänhoitomenetelmiä vierimetsien myrskyn ja lumikuormien kestävyuden parantamiseksi (Tapio 2013). Projekti on vielä kesken, toivottavasti selvityksen tuloksista olisi jatkossa hyötyä jakeluvarmuutta parantamaan.

Vaikka raivaukset olisikin hoidettu asianmukaisesti, joskus olosuhteet voivat olla ylivoimaiset. Esimerkkinä Tapaninpäivän myrskyn aiheuttamat tuhot, joita edesauttoi saateinen ja lämmin syksy sekä talvi. Maaperä ei monissa paikoin ehtinyt jäätyä kovaksi, jolloin varsinkaan kuusien juuret eivät pystyneet pitämään runkoa pystyssä kovissa tuulissa.

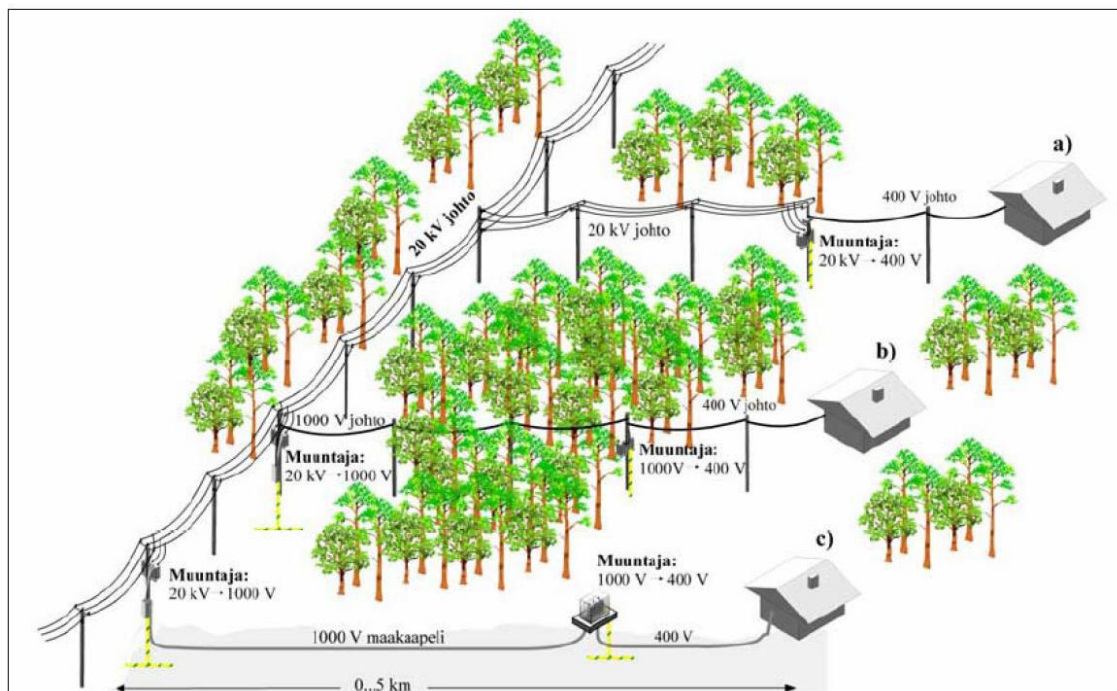
6.6 1000 V jakeluverkko

Alueilla jonne ei voi, tai ei kannata rakentaa 20 kilovoltin jakeluverkon osaa, tai 400 V-tasossa jännitteenalenema on liian suuri, voidaan hyödyntää kilovoltin järjestelmää. Kohteita johon kilovoltin jakelua kannattaa käyttää, ovat esimerkiksi luonnonsuojelu- ja maisemallisesti arvokkaat alueet, vaikeasti maakaapeloitavat alueet, vesistön rikkomat alueet, pienitehoiset keskijännitejohtohaarat sekä vikaherkät haarat.

Näihin kilovoltin jakelu sopii hyvin, sillä se ei vaadi merkittävää puuston raivausta johtokadun ollessa pieni, sen rakentamiseen käytetään samoja tarvikkeita kuin 400 voltin verkossa, se sietää puiden ja oksien koskettelua ja on rakennus- ja ylläpitokustannuksiltaan pienempi kuin 20 kV verkko.

Kilovoltin verkossa tarvitaan uusina komponentteina muuntajia, jotka ovat 20/1/0,4 kV, 20/1 kV ja 1/0,4 kV, sekä kilovoltin verkon suojausyksikön tarvikkeet. Lisäksi tarvitaan uudet merkinnät kilovoltin erottamiseksi muista jännitetasoista. (Norri 2006, 6.)

Kuvassa 15 on havainnollistettu, kuinka kilovoltin jakelua voidaan hyödyntää eri koh-teissa.



KUVA 15. Esimerkki kilovoltin jakelun hyödyntämisestä (Norri 2006, 6)

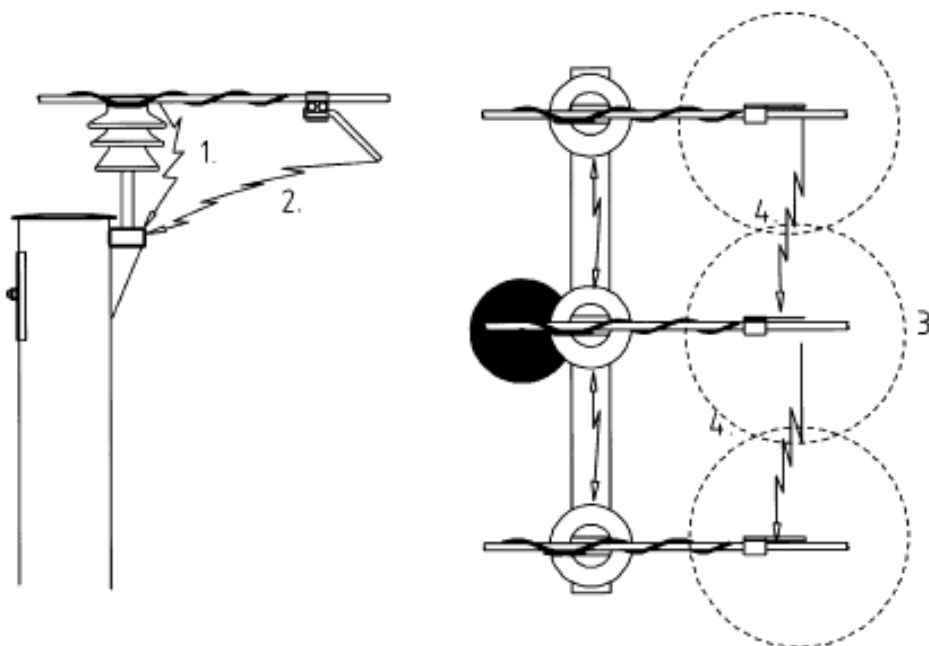
6.7 Ylijännitesuojaus

Koska verkkoon syntyy ylijännitteitä monilla eri tavoilla ja täysin sattumanvaraisesti, täytyy se suojata niitä vastaan käyttökeskeytysten vähentämiseksi. Suojattavia kohteita ovat esimerkiksi jakelumuuntajat, ilmajohdon ja maakaapelin muutoskohdan kaapelipäätteet ja päällystetyt avojohdot.

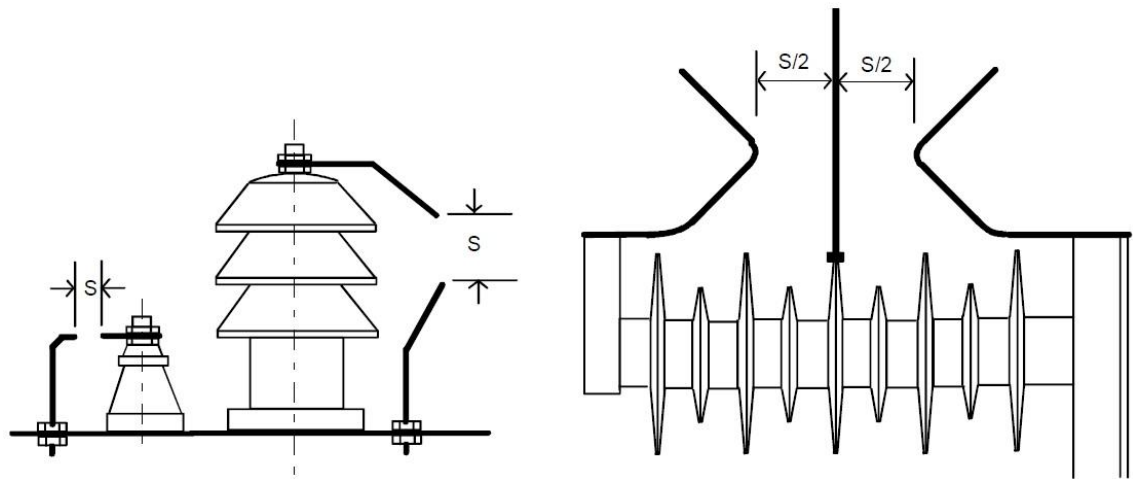
Tavallisesti käytetään kahta ylijännitesuojatyyppeä, kipinävälejä ja venttiilisuojia. On lisäksi olemassa näiden yhdistelmä. Kipinävälisuojia käytetään PAS-johtojen ja pienitehoisten jakelumuuntajien, alle 200 kVA, suojauksessa. Vatajankosken Sähkö asentaa nykyään kylläkin kaikkien uusien muuntajien suojaksi venttiilisuojat niiden parempien ominaisuuksien takia. Venttiilisuojia käytetään eniten jakelumuuntajien ja kaapelipäätteiden suojaamiseen.

Kipinävälisuojan toiminta perustuu ylijännitteen synnyttämän valokaaren syttymiseen elektrodien välille, jossa valokaari sammuu joko ylijännitteen poistuttua tai magneettisen puhalluksen avulla. Kipinävälisuoja on rakenteeltaan yksinkertainen ja se on halpa, mutta toiminnallaan aiheuttaa aina maasulun ja kovan jännitteenalenneman. Lisäksi eläimet voivat aiheuttaa läpilyöntejä suojaamattomissa kipinäväleissä. (Tainio 2006, 42.)

Kuvissa 16 ja 17 ovat PAS-johdoille ja muuntajille tarkoitetut kipinävälisuojat.



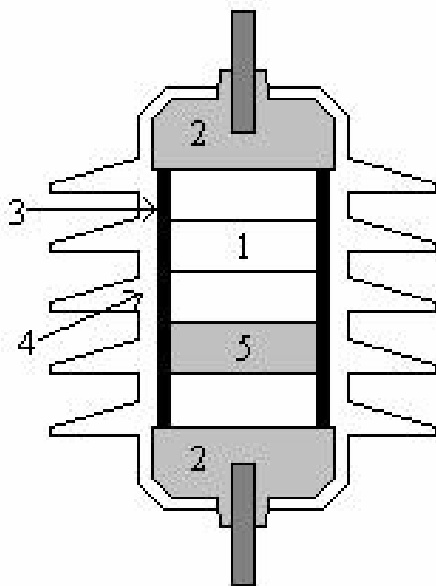
KUVA 16. Kipinäväli valokaaren sammuttamiseksi PAS-johdolla (Ensto 2013)



KUVA 17. Yksivälisuoja ja lintuesteellä varustettu kaksivälisuoja (ABB 2000b, 9)

Venttiilisuoja-nimitys kattaa erilaisia suoja, joista yleisimmin on käytössä metallioksidiventtiilisuoja, eli MO-suoja. Metallioksidisuoja toimii siten, että normaalilla käyttöjännitteellä se on eristävä komponentti, mutta ylijännitteellä se muuttuu johtavaksi. Tällöin normaalitilanteesta poikkeava virta ohjautuu maadoitusjohdinten kautta maahan, eikä verkkoon aiheudu käyttökeskeytystä. Ainoa haitta MO-suojassa on jatkuva vuotovirta sen läpi, mikä aiheuttaa vastusmateriaalin ikääntymistä. (Tainio 2006, 40–41.)

Kuvassa 18 on havainnollistettu metallioksidisuojan rakennetta, jossa 1 = metallioksidierio, 2 = päätyelektrodit, 3 = metallinen tukisylinteri, 4 = kuorimateriaali ja 5 = metallinen välilevy.



KUVA 18. Metallioksidisuojan rakenne (Tainio 2006, 40)

6.8 Verkoston kunnonvalvonta

Säännöllisillä tarkistuksilla saadaan selville verkon kuntotila, jolloin verkon kunnostukseen käytettäviä resursseja voidaan kohdistaa tehokkaammin. Kuntotarkistuksia voidaan suorittaa joko helikopterilla reaaliaikaisesti tarkastamalla tai kuvaamalla sitä, tutkien saatua tallennetta myöhemmin, tai miesvoimin maastossa kulkemalla.

Helikopterikuvauksella saadaan nopea, mutta ei niin syvä arvio verkon kunnosta. Tällä havaitaan helposti rikkinäiset eristimet ja orret, sekä johtimia liian lähellä olevat oksat ja puut.

Miesvoimin ”boots on the ground”-tavalla tehty tarkistus mahdollistaa tarkemman havainnoinnin ja pylväiden lahoisuustarkistukset, sekä pienet raivaus- ja korjaustoimet. Tämä on tietenkin hitaampaa kuin lentäen tehty tarkistus.

Säävarmuuden kehittämisen kannalta kumpikin tapa on hyvä, sillä niissä pystytään tarkistuksen tuloksissa merkkamaan johtoja uhkaavat puut ja oksat, sekä pylväsvälit, jotka tarvitsevat raivausta. Myös kiireellisyysluokat voidaan määrittää, jolloin on helpompi päättää raivausten teettämisestä.

6.9 Korjaustöistä aiheutuvien keskeytysten vähentäminen

Koska vikoja kaikesta mahdollisesta varautumisesta huolimatta kuitenkin tapahtuu, niiden korjausten aikaisien keskeytysten kestot kannattaa minimoida. Tähän on ratkaisuna jännitetyönä tehtävät korjaustoimet ja vikapaikkojen rajaus 1-vaiheisilla erotuspaikoilla, eli JT-katkoilla.

Kun tehdään jännitetöitä, on työhön osallistuvilla oltava asianmukaiset pätevyyydet jännitetyöhön ja koulutus käytettäviin työmenetelmiin. On myös huomioitava olosuhteet, jossa töitä tehdään jännitteisenä, sillä toisinaan työn kustannukset tai työstä aiheutuvat riskit kasvavat liian suuriksi.

6.9.1 JT-erotuspaikka

Normaalien linjaerottimien ja mahdollisten maastokatkaisijoiden lisäksi, voidaan verkkoon rakentaa lyhyisiin haaroihin JT-erotuspaikkoja, joilla haarassa tapahtuva vika voidaan rajata korjauksen yhteydessä muusta verkosta irti jännitetyöhön tarkoitettujen eristesauvojen avulla. JT-erotuspaikkoja on kahdenlaisia, pelkkiä vetoeristinohitusjomppirakenteisia ja erotinveitsillä varustettuja malleja. Kuvassa 19 on esitetty 20 kV avojohtoverkossa oleva JT-erotuskohta ilman erotinveitsiä.



KUVA 19. JT-erottuspaikka ilman erottimia (Kärkkäinen 2012)

Jos JT-erotuskohta on varustettu erotinveitsillä, voidaan haara erottaa muusta verkosta normaalilla kuormavirralla aiheuttamatta käyttökeskeytystä muuhun verkkoon. Muussa tapauksessa koko lähtö on tehtävä katkaisijalla jännitteettömäksi erotuksen ajaksi, joka ei kuitenkaan kestä kauaa. JT-erotuspaikoista on muutakin hyötyä, kuten linjaerottimien huoltotöiden helpotus.

6.9.2 Kaatuneiden puiden ja lumikuorman poisto linjalta jännitteisenä

Jos esimerkiksi PAS-johdolle on kuivissa olosuhteissa kaatunut puu, se ei välttämättä aiheuta tarpeeksi suurta maasulkuvirtaa, jolloin katkaisija ei toimi.

Tällaisen tilanteen tullessa verkkoyhtiön tietoon, esimerkiksi maallikon vikailmoituksena, voidaan puu tietyin edellytyksin poistaa linjalta johdon ollessa jännitteinen. Tähän on Energiateollisuus ry antanut ohjeet julkaisussaan Ohjeet koneelliseen oksintaan sekä puun poistoon sähkölinjalta.

Ideana kyseisessä työmenetelmässä on, että johdolle kaatuneen puun latva katkaistaan vaihejohtimien alapuolelta kaatuneen rungon puolelta, jolloin latva putoaa johtimilta ja runko kaatuu johtojen alle. Työssä on käytettävä joko jännitetyökelpoista heittosahaa tai eristävävirtista oksasahaa, työntekijöiden ollessa turvallisella etäisyydellä puusta, pylvästä ja haruksista askeljännitteen vaaran takia. (Energiateollisuus ry 2011.)

Kuvassa 20 on havainnollistava piirros heittosahan käytöstä kaatuneen puun poistossa.



KUVA 20. Heittosahan käyttö puun poistossa johdolta (Energiateollisuus ry 2011, 3)

Talvisin kun johtimille kertyy tykkylunta, joka rasittaa pylväiden rakenteita mekaanisesti, voidaan ongelmapaikoista poistaa lumikuormaa siihen soveltuvilla työvälineillä. Tähän on kehitetty jännitetyön kestävä lasikuitupäinen eristesauva, jolla pystytään keskeytystä aiheuttamatta pudottamaan johtimia painavat lumet ja jää pois. (Kärkkäinen 2012, 27.)

VSO:n työntekijöiden mukaan, jotka ovat olleet yhtiössä töissä useita vuosia, keskijänniteverkossa on paljonkin alueellisia eroavaisuuksia säävarmuuden suhteen. Verkon pohjoisosassa, jota ympäröivä metsä on pääosin kangasmetsää, puiden aiheuttamat viat ovat vähäisiä. Tämä johtuu pääosin siitä, että puusto on joko matalaa tai muuten heikkokasvuista, sekä koostuu suurelta osin hyvin tuulta kestävästä männyistä.

Huonoin tilanne on taas lännessä rannikkoa lähestyttäessä, sillä siellä on paljon lehtipuumetsää. Lehtipuuvaltaisessa metsässä on varsinkin talvisin paljon keskeytyksiä lumikuorman takia, puiden taipuessa johtimiin kiinni.








Jakelualan keski-, itä- ja eteläosa taas ovat keskeytyksiltään keskitasoa, johtuen siitä, että metsätyyppi on sekametsää. Sielläkin tapahtuu puiden aiheuttamia keskeytyksiä, muttei läheskään niin paljon kuin lännessä.

VSO:n verkossa on 10 päämuuntajaa, joiden teho vaihtelee välillä 25–10 MVA. Suurimmat päämuuntajat sijoittuvat siten, että niistä kaksi syöttää Kankaanpään kaupungin keskustaa ja lähialueita, ja kolmas Honkajoen kunnan keskustaa sekä lähialueita. Näille muuntajille kuormitus tulee pääasiassa taajama-asutuksesta ja teollisuudesta.

Pienimmät päämuuntajat sijaitsevat puolestaan alueilla, joissa asutus on kohtalaisen harvaa, tai liittymistä suuri osa on vapaa-ajan asuntoja järvien ja jokien rannoilla.

Muina huomioina voidaan sanoa, että verkossa on 5 20 kilovoltin kytkinasemaa, joista kaksi ovat vesivoimalaitoksissa, jotka sijaitsevat Jyllinkoskessa ja Vatajankoskessa. Myös Kankaanpään keskustan lähetyvillä olevassa kaukolämpölaitoksessa on kytkinlaitos, jossa on myös generaattori sähkön tuotantoon. Verkkotietojärjestelmän symbolien selitteet ovat taulukon 3 mukaisia:

TAULUKKO 3. Verkkotietojärjestelmän symbolien selitteet

Symboli	Selite
	Sähköasema / Kytkinasema / Voimalaitos
	Katkaisija
	Haarapiste
	Muuntamo (saman värinen kuin syöttävä johto)
	Erotin kiinni
	Erotin auki
	Kauko-ohjattu erotin

7.1 Johtolähdöille tehtävät parannukset päämuuntajittain

Koska tässä opinnäytteen versiossa ei käsitellä yksityiskohtaisesti kaikkia johtolähtöjä, tähän on lyhyesti sanoin selitetty KJ-lähdöille tehtävät säävarmuuden parannustoimet.

Päämuuntajan Narvi syöttämät johtolähdöt:

- VNVII03 Taulunkylä: Tilanne hyvä, ei toimenpiteitä.
- VNVII04 5-Erotinasema: Saneeratussa maakaapeloinnin lisäystä kaupungissa.
- VNVII05 Mettälä: Tilanne melko hyvä, toimina johdon siirto pois metsästä ja toisen metsäosuuden kaapelointi.
- VNVII06 Pansia: Aseman paras tilanne, ei kehitettävää.
- VNVII09 Myllymäki: Saneerausten tullessa ajankohtaisiksi, muuntajien Lauri ja Kooni syötöt muutettaisiin kulkemaan tien viertä, joko maakaapelina tai ilmajohtona. Alkuratkaisuna kaukokäyttöerottimien rakentaminen.
- VNVII16 Peräkylä: Vanhojen ilmajohtojen siirto tien viereen, ja metsään jäävien johtojen tarkkailu- ja raivaustoimet. Lisäksi Kaupin muuntamon sekä syötön korvaus 1000 V järjestelmällä, ja maastokatkaisijan asennus pitkään metsähaaraan runkolinjan suojaaksi. Ensiapuna Sectos-kuormanerotinkytkin
- VNVII17 Sävi: Tulevien saneerausten aikana Korkeakoskentie lähellä kulkevan 70-luvun johdon purku ja uuden rakennus tien varteen.
- VNVII18 Vihteljärvi: Lähdön tilanne myös melko hyvä, parannustoimena maastokatkaisijoiden asennus kahden päähaaran alkuun.
- VNVII24 Kankaanpään Sähköasema: Ei tarvetta tehdä muutoksia

Honkajoen päämuuntajien syöttämät johtolähdöt:

- VHNKJ04 Santaskylä: Lähdön loppupään avojohtohaaran muuttaminen maakaapeliksi saneerauksen tullessa ajankohtaiseksi.
- VHNKJ06 Hirsivainio: Tilanne hyvä, ei normaalien kuntotarkistusten ja raivaustoimien lisäksi muita toimenpiteitä.
- VHNKJ08 Marjakylä: Säävarmuus todella hyvä, ei parannettavaa.
- VHNKJ10 Honko: Säävarmuus hyvä, kiinnitettävä ainoastaan huomiota jokivarren kasvuston raivauksiin.
- VHNKJ11 Kettuharju: Ei normaalista huollosta poikkeavia toimenpiteitä.
- VHNK2J25-27 Tuulipuisto 1-3: Lähdöt maakaapeloitu, ei parannettavaa.

Kankaanpään päämuuntajan syöttämät johtolähdöt:

- VKAPJ01 Venesjärvi: Lähdössä voisi rakentaa suurten haarojen alkuun katkaisijoita, ja myöhemmin johtojen tullessa saneerausikään, niiden kulkureitti muutetaan pois metsästä ja uusitaan samalla varasyöttöyhteyksiä.
- VKAPJ05 Santaskylä: 60-luvun johtojen siirto pois metsistä, ja kilovoltin järjestelmän hyödyntäminen.
- VKAPJ06 Vataja: Lähdössä tilanne kohtalainen, muuntamohaaroihin kannattaisi rakentaa linjaerottimia tai JT-katkoja. Lisäksi erään metsäosuuden poisto johdon siirrolla.
- VKAPJ10 Käpylä: Lähdön ollessa taajama-alueen verkkoa, sitä kannattaa maakaapeloida.
- VKAPJ11 Niinisalo: Johtojen siirto tien varteen ja varayhteyden rakennus Koskenoja lähtöön. Lisäksi kaapeloinnin lisäys Niinisalon kylässä.
- VKAPJ12 Koskenoja: Hieman kaapeloinnin lisäystä ja varayhteys Niinisalo-lähtöön.
- VKAPJ13 Kankaanpää 1: Tilanne hyvä, saneerausten aikaan maakaapeloinnin lisäys.
- VKAPJ14 Myllymäki: Johdot jo yli 40-vuotiaita, joten kaapelointi on tällaisella asutusalueella paras ratkaisu. Nyt kunnan valvontaa ja raivauksia.
- VKAPJ17 Jyllinmäki & VKAPJ18 Honkakoski: Paljon turhaa metsässä kulkevaa johtoa, sen siirto tien varteen kannattavaa.
- VVATJ01 Honkajoki: Lähdössä on paljon metsässä kulkevaa johtoa, ratkaisuna maastokatkaisijoiden hyödyntäminen, aikanaan johtojen siirto pois puuston keskeltä. Ennen johtojen siirtoa voi käyttää myös JT-katkoja metsässä kulkeviin haaroihin. Luoteisen pääharan lopussa voi hyödyntää 1000 V jakelua vanhojen muuntamohaarojen säävarmuuden parannuksessa.
- VHKIJ01 Veneskoski: Lähdössä samat toimenpiteet kuin Honkakoskella, eli johtojen siirto tien varteen.
- VHKIJ02 Saarikoski: Keskijännitelähdössä voi hyödyntää useita ratkaisuita, kuten maakaapelointia, kuormanerotinkytkintä ja johdon uudelleensijoittelua.
- VHKIJ03 Tuunajärvi: Lähdössä säävarmuuden parannukseksi kannattaa käyttää johtojen uudelleen sijoittelua ja uusien erottimien rakentamista.
- VHKIJ04 Ojatorpi: Runkojohdon siirto Valtatie 23:n varteen sekä maakaapeloinnin ja maastokatkaisijoiden hyödyntäminen haarajohdoissa.

Karvian päämuuntajan syöttämät johtolähdöt:

- VKVIJ10 Ämmälä: Lähdön loppupäässä 60-luvun Swan johtojen purku ja uuden ilmajohdon rakentaminen tien varteen, sekä Elliharjun muuntamon johdolle linjaerotin rakennus.
- VKVIJ11 Keskusta: Säävarmuus erinomainen, ainoa kehitystoimenpide olisi JT-katkojen rakentaminen muuntamohaaroihin.
- VKVIJ14 Tupamäki: Lähtöön rakennettaisiin kaksi JT-erotuspaikkaa parantamaan vikojen rajausta Karvian keskustan alueella.
- VKVIJ15 Alkkia: Lähdössä tilanne todella hyvä, parannuksena kaukokäyttöerotinaseman rakennus
- VKVIJ16 Sarvela: KJ-lähtöön uuden kytkinlaitoksen rakentaminen ja lähdön koillisosan maakaapelointi.

Lavian päämuuntajan syöttämät johtolähdöt:

- VLAVJ02 Peräkylä: Johtoreittien muuttamista, Sectos-kuormanerotinkytkimien asennus ja 1000 V jakelun hyödyntäminen.
- VLAVJ03 Kankaanpää: Lähdössä on tarpeita haarajohtojen säävarmuuden kehittämiseen. Ratkaisuihin maastokatkaisijat, mahdollisesti johdon siirrot ja 1000 V jakelu.
- VLAVJ04 Taipale: Kaukokäyttöisten erotinasemien rakentaminen ja Sectos-kuormanerotinkytkimien hyödyntäminen.
- VLAVJ05 Roikka: Tilanne säävarmuuden kannalta huono. Siellä täytyy siirtää johtoja, rakentaa kaukokäyttöisiä erotinasemia ja Sectos-kuormanerotinimia haarojen alkuihin. Yksi kriittisimmistä parannuskohteista.
- VLAVJ11 Lavia: Lähdössä säävarmuuden parantamiseksi laajasti maakaapelointia.
- VLAVJ12 Kalliala: Uusien kaukokäyttöerotinasemien rakennusta ja johdon siirtoja tien varteen.

Kantin päämuuntajan syöttämät johtolähdöt:

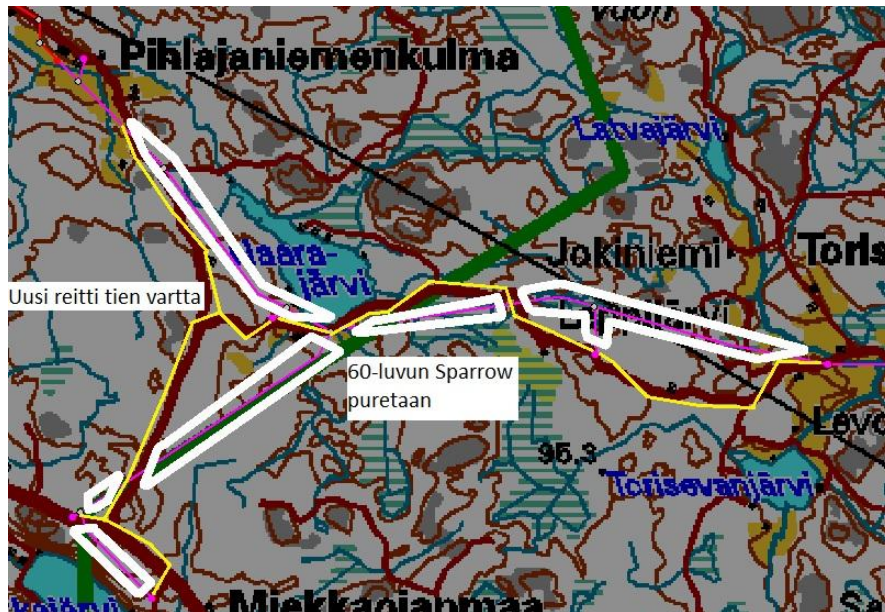
- VKNIJ01 Hautalankylä: Lähdössä joko johtojen siirto pois metsästä, tai kaukokäyttöisten erottimien rakentaminen.
- VKNIJ02 Partalankylä: Parannukset ovat samat kuin Hautalankylän lähdössä.
- VKNIJ03 Jylli: Kaukokäyttöerottimien rakentaminen varasyöttöjen nopeuttamiseksi.
- VKNIJ04 Honkajoki: Lähdössä uuden kaukokäyttöerotinaseman rakennus.
- VKNIJ05 Korvaluoma: Tilanne hyvä, parannuksia muuntamohaaroihin Sectoskuormanerotinkytkimillä ja johdon siirrolla.
- VKNIJ06 Suomijärvi: Lähdössä johtojen siirtoa teiden varsiin.
- VJYLJ02 Kauhajärvi: Lähdössä metsäosuuden erotus Sectoskuormanerotinkytkimellä tai johdon siirto pois metsästä.

Suodenniemen päämuuntajan syöttämät johtolähdöt:

- VSDNJ01 Pajuniemi: Lähdössä tilanne hyvä, parannuksena lähdon lopun metsäosuuden automaattinen erotus vikatilanteessa Sectoskuormanerotinkytkimellä.
- VSDNJ02 Suodenniemi: Lähdössä säävarmuus on hyvä. Parannuksena Sectoskuormanerotin muuntamohaaran alkuun.
- VSDNJ08 Lahdenperä: Kaukokäyttöerottimia ja Sectoskuormanerotinkytkin.
- VSDNJ09 Makkonen: Kaukokäyttöerottimia, Sectoskuormanerotinkytkintä ja johtojen siirtoa.
- VSDNJ10 Sävi: Kaukokäyttöerottimien rakennus ja kilovoltin jakelu syöttämään mökkitontteja.
- VSDNJ11 Pesinmaa: Lähdössä tilanne huono, melkein koko runkojohto täytyy rakentaa uudestaan säävarmuutta tavoitellessa.

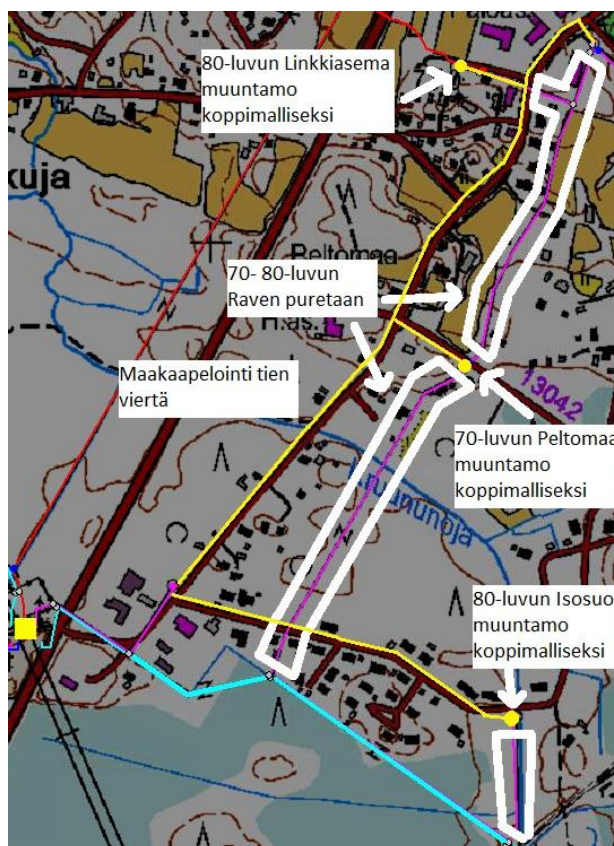
Pomarkun päämuuntajan syöttämät johtolähdöt:

- VPOMJ01 Lassila: Lähdössä säävarmuus melko huono, parannuksina kaukokäyttöerottimet, johdon siirto, Sectos-kuormanerotinkytkimet ja uusi varayhteys.
- VPOMJ05 Noormarkku: Tilanne huono, paljon siirrettäviä johtoja. Kilovoltin jakelua ja Sectos-kuormanerotinkytkimiäkin voi hyödyntää.
- VPOMJ06 Kiilholma: Säävarmuus kohtalainen VSO:n parannusten jälkeen. Lisänä haarajohdoille Sectos-kytkimiä, kilovoltin jakelua ja uusi varasyöttöyhteys.
- VPOMJ07 Leväsjoki: Kahden kaukokäyttöerotinaseman rakennus.
- VPOMJ09 Honkakoski: Lähdössä maakaapelointia, kaukokäyttöerottimien rakentamista sekä silmukoinnin lisäystä.
- VPOMJ11 Pomarkku: Lähdön parannukset nivoutuvat yhteen Honkakoskilähdön parannusten kanssa, lisäksi maakaapeloinnin lisäystä.
- VLASJ03 Kynäslahti: Lähdössä paras ratkaisu olisi koko runkojohdon saneeraus, ensiapuna Sectos-kuormanerotinkytkimet vikapaikkojen rajaukseen.
- VLASJ04 Kalliala: Varasyötön rakennus Myöntäjä lähtöön ja kaukokäyttöisten erottimien ja Sectos-kuormanerotinkytkimien hyödyntäminen.
- VLASJ05 Myöntäjä: Parannuksista osa on samoja kuin Kallialassa, lisäksi yhden uuden kaukokäyttöerotinaseman rakennus johtojen siirto ja Sectos-kuormanerotinkytkimen hyödyntäminen.
- VLASJ06 Rudanmaa: Johtojen siirto, kilovoltin jakelun ja Sectos-kytkimien hyödyntäminen.



KUVA 23. Koko runkojohdon saneeraus KJ-lähdössä VSDNJ11 Pesinmaa

Maakaapeloinnin käytöstä on esimerkki kuvassa 24. Siinä Pomarkun keskustassa olevat Raven-avojohdot korvataan maakaapelilla, jolloin myös vanhoja pylväsmuuntamoita uusitaan. Purettavaa Raven-johtoa on noin 2100 m, ja korvaavaa maakaapelia rakennetaan noin 1900 m. Muuntamoja uusitaan tässä kolme kappaletta.



KUVA 24. Maakaapelointia KJ-lähdössä VPOMJ11 Pomarkku

7.3 Esimerkkejä varasyöttöyhteyksien ja vikojen rajauksen parantamisesta

Verkkoa ei aina ole järkevää saneerata suurissa määrissä, joten silloin ratkaisuksi tulee mahdollisten vikapaikkojen rajausta ja varasyöttöyhteyksien muodostaminen. Näihin voidaan käyttää kaukokäyttöisiä erottimia, maastokatkaisijoita, Sectos-kuormanerotinkytkimiä ja JT-katkopaikkoja.

Kuvassa 25 on esimerkki kuinka Lavian keskustan lähetyvillä voisi parantaa kolmen eri lähdön jakeluvarmuutta nopeuttamalla niiden välille muodostettavia varayhteyksiä. Noin saadaan kierrettyä lähdön alkupäässä tapahtuvat viat. Tässä ehdotuksessa vanha käsikäyttöinen erotinasema modernisoidaan kaukokäyttöiseksi ja siitä rakennetaan uusi yhteys kolmanteen lähtöön. Edelleen uuteen liittymispisteeseen rakennetaan kauko-ohjattava erotinasema.



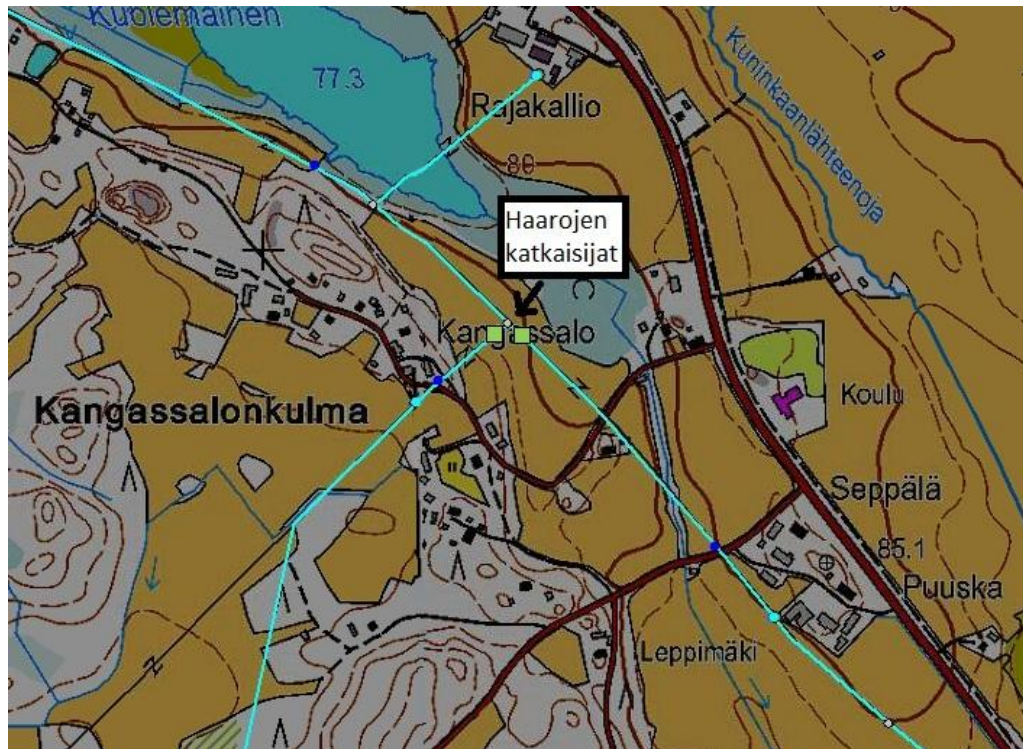
KUVA 25. Varasyöttöyhteyksien parantaminen KJ-lähdöille VLAVJ04 Taipale, VLAVJ11 Lavia ja VLAVJ05 Roikka

Myös kokonaan uuden kytkinlaitoksen rakentaminen voi tulla kyseeseen, jos sopiva tilaisuus siihen tulee. Esimerkkinä tästä on kuvassa 26 Karvian pohjoispuolelle rakennettava kytkinlaitos, joka korvaa sillä paikalla olevan kaukokäyttöerotinaseman. Uudella kytkinlaitoksella saadaan muodostettua samat kytkentätilanteet kuin ennenkin, mutta lisäksi on parantunut vikojen rajausta katkaisijoiden avulla.

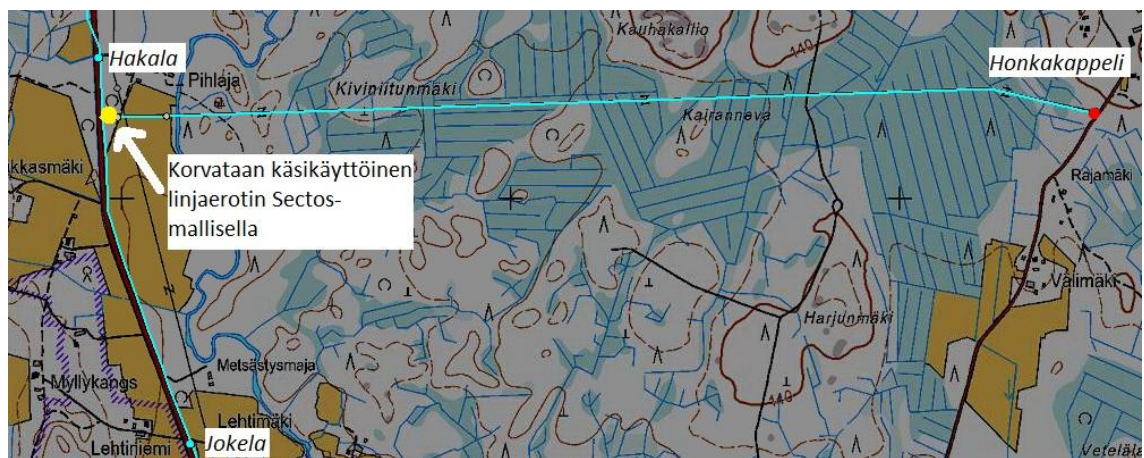


KUVA 26. Uuden kytkinlaitoksen rakentaminen Karvian pohjoispuolelle

Pienemmissä määrin vikapaikkoja voidaan rajata maastokatkaisijoilla ja Sectos-kuormanerotinkytkimillä. Ne ovat toiminnaltaan samankaltaisia, erona on vain vikavirran katkaisukyky. Sectosta ei voida käyttää vahvassa verkossa lähellä päämuuntajaa, sillä se ei kykene katkaisemaan kuin noin yhden kiloampeerin verran oikosulkuvirtaa. Maastokatkaisijoilla taas ovat samat ominaisuudet kuin varsinaisilla lähtöjen suojakatkaisijoilla. Kuvassa 27 on ehdotettu maastokatkaisijoiden asennusta haarajohtojen alkuun, kun 3-vaiheinen oikosulkuvirta on kyseisessä pisteessä noin 3,3 kA. Kuvassa 28 taas voidaan käyttää muuntamohaaran erottamiseen Sectos-kuormanerotinkytkintä, sillä haaran suurin vikavirta on noin 1,2 kA.

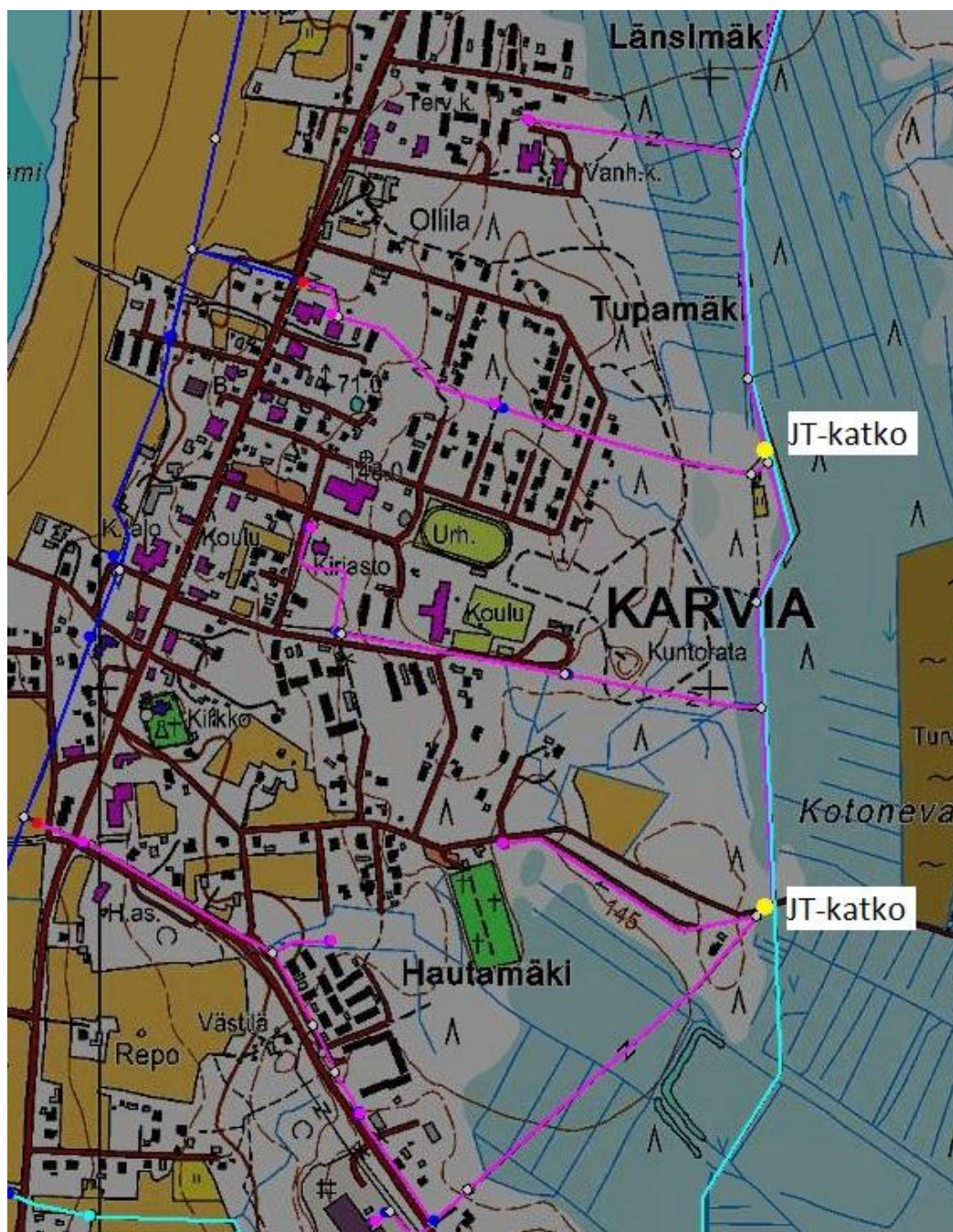


KUVA 27. Maastokatkaisijoiden käyttö KJ-lähdössä VNVIJ18 Vihteljärvi



KUVA 28. Sektoksen käyttö KJ-lähdössä VKNIJ05 Korvaluoma

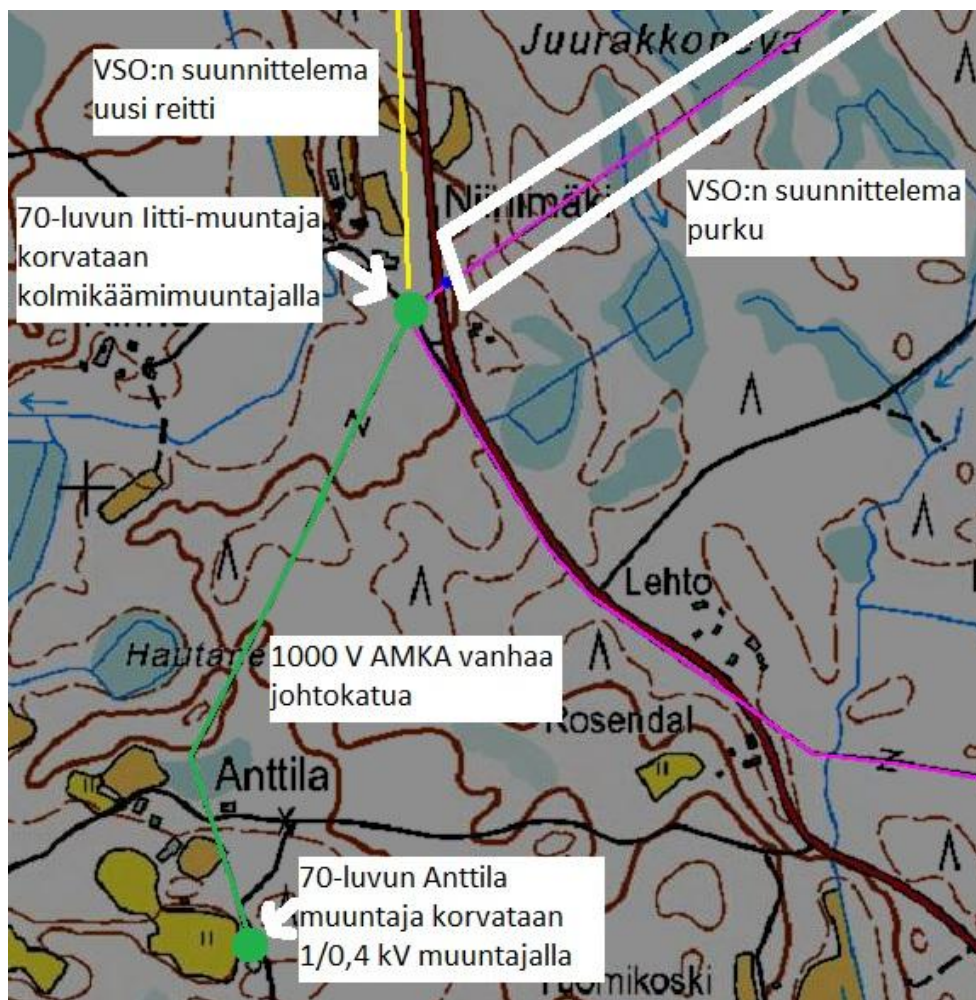
Jos halutaan rajata vikojen korjausten aikana tapahtuvia jakelukeskeytyksiä, kannattaa käyttää JT-erotuspaikkoja. Näin esimerkiksi lyhyiden muuntamohaarojen huoltotoimet eivät aiheuta keskeytystä muuhun verkkoon. Kuvassa 29 on havainnollistettu JT-erotuspaikkojen käyttöä edellä esitetystä tarkoituksesta Karvian keskustan alueella.



KUVA 29. JT-erotuspaikkojen käyttö KJ-lähdössä VKVII14 Tupamäki

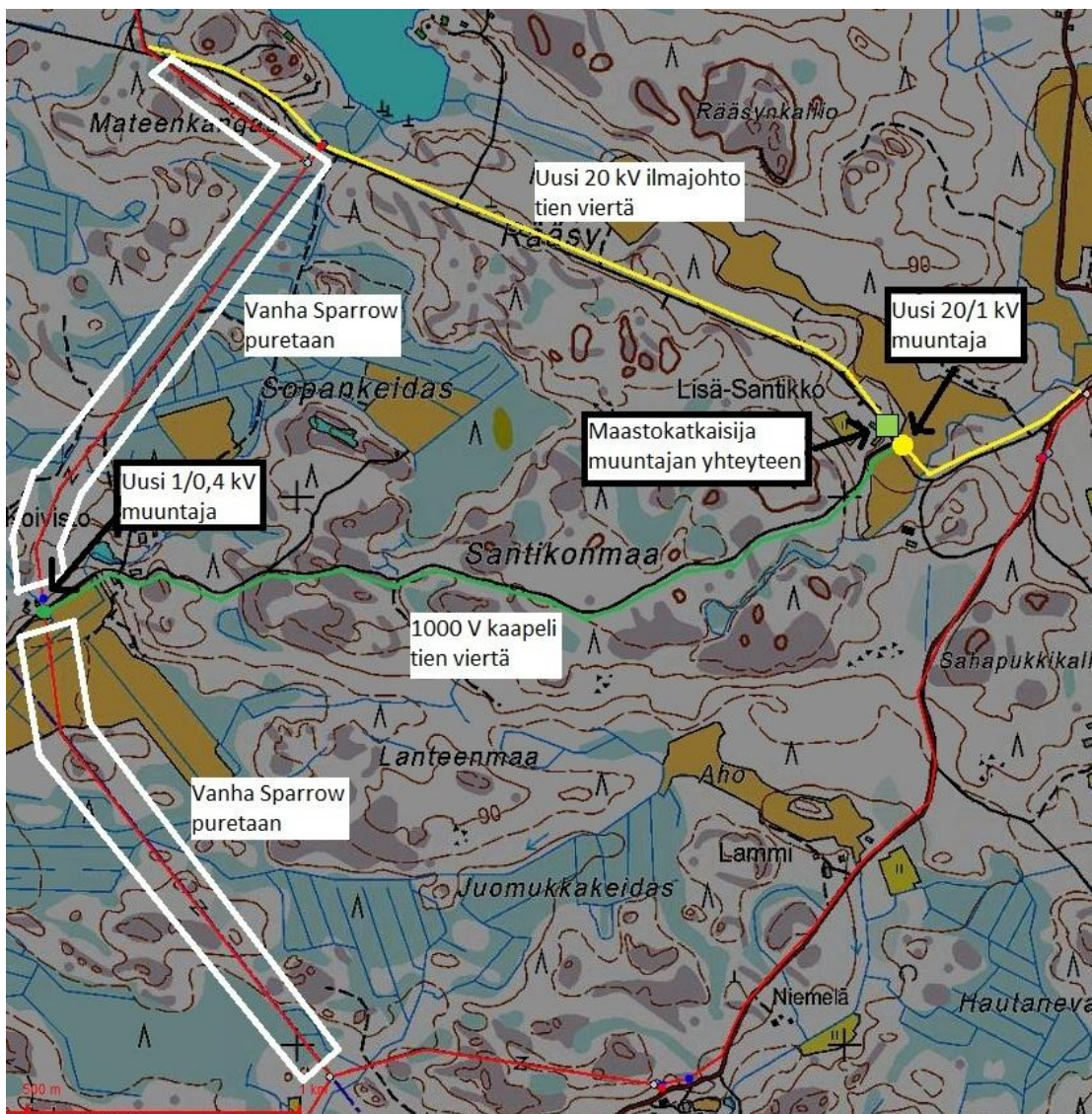
7.4 Esimerkkejä kilovoltin jakelun hyödyntämisestä

Kilovoltin jakelua kannattaa hyödyntää VSO:n verkossa paikoissa, joissa kuormitukset ovat pieniä, siirtomatkat lyhyitä ja 20 kV jännitetasen johdot ovat vikaherkkiä. Kuvassa 30 on tyypillinen esimerkki, jossa vanhat pienikuormaiset muuntamot korvataan kilovoltin jakelussa käytettävillä 20/1/0,4 kV ja 1/0,4 kV muuntajilla. Kilovoltin AMKA on tässä tapauksessa vanhan 20 kV johdon paikalla, mutta sen olisi voinut rakentaa myös tien varteen ilmajohtona tai maakaapelina.



KUVA 30. Kilovoltin jakelun hyödyntäminen KJ-lähdössä VPOMJ06 Kiilholma

1000 V jakelua rakennettaessa voidaan samalla hyödyntää myös edellä esitettyjä parannustoimia. Kuvassa 31 on tästä esimerkki, jossa vanhat 70-luvun Sparrow-avojohdot on korvattu 1000 V maakaapelilla ja uudella tien viertä kulkevalla 20 kV ilmajohtolla, joka on lisäksi varustettu katkaisijasuojuksella.



KUVA 31. Usean eri parannustavan hyödyntäminen KJ-lähdössä VNVII16 Peräkylä

8 VUODEN 2019 LOPPUUN MENNESSÄ PARANNETTAVAT LÄHDÖT

Suunnitellessa KJ-verkon parannuksia, jotta asiakkaista 50 % saadaan vaadittujen käyttökeskeytysaikojen piiriin vuoden 2019 loppuun mennessä mahdollisimman vaivattomasti, on otettava huomioon seuraavia kriteerejä:

- Lähtöjen kuormitustiedot
- Käyttöpaikkojen määrä ja tyyppi
- Lähtöjen ikätiedot
- Vikatilastot (2008–2012)
- Tarvittavien parannustoimien määrä

Näiden kriteerien avulla lähdöt arvosteltiin ja laitettiin tärkeysjärjestykseen. Tästä vielä suhteellisten vikamäärien ja parannustoimien laajuuden perusteella valittiin harkinnan mukaan ne johtolähdöt, joihin on tehtävä parannuksia vuoden 2019 loppuun mennessä. Jos olettaa, että tehtävät muutokset riittävät vaadittuihin keskeytysaikarajoihin, saadaan lähtöjen asiakastietojen perusteella noin 55 % asiakkaista säävarmuuden pariin. Taulukossa 4 on esitetty parannettavat johtolähdöt sähköasemittain.

TAULUKKO 4. Johtolähdöt, joihin tehtävä parannuksia säävarmuuden kohottamiseksi

Sähköasema:	Narvi	Honkajoki	Kankaanpää	Karvia	Lavia	Kantti	Suodenniemi	Pomarkku
Parannettavat lähdöt:	Mettälä	Honko	Kankaanpää 1	Tupämäki	Lavia	Kauhajärvi	Pajuniemi	Honkakoski
	K.pään sähköasema	Hirsivainio	Myllymäki	Keskusta	Kankaanpää	Korvaluoma	Suodenniemi	Pomarkku
	Vihteljärvi	Marjakylä	Koskenoja	Ämmälä	Taipale	Partalankylä	Sävi	Lassila
	Taulunkylä	Kettuharju	Niinisalo			Honkajoki		Leväsjoki
		Santaskylä	Käpylä			Hautalankylä		Kiiholma
			Vataja					
			Jyllinmäki					

Johtolähdöt joihin parannuksia tehdään, ovat pääasiassa sellaisia lähtöjä, joiden säävarmuus on jo ennestään hyvä. Ne sijoittuvat pääosin suurten asukastiheyden alueille, tai ne ovat muusta syystä tärkeitä, esimerkkinä kytkinasemia ja tärkeitä kuormia syöttävät johdot.

Taulukossa 5 on lyhyt yhteenveto tehtävien muutostöiden määristä, jotta päästään haluttuun 50 % säävarmuuteen.

TAULUKKO 5. Yhteenveto parannustöiden määrästä

		km
Ilmajohdon rakennus:	Avojohto	26,6
	Päällystetty	6,8
	1000 V	4,0
Kaapelien rakennus:	Maa	12,3
	Vesistö	1,4

		kpl
Muuntamoiden rakennus:	Pylväs	20
	Puisto	19
	Kiinteistö	1
Erottimien rakennus	Kaukokäyttö	37
	Linja	1
	JT-katko	2
Katkaisijoiden rakennus	Maasto	4
	Sectos	10

8.1 Parannustoimien kustannusarvio

Parannustoimien budjetointia suunniteltaessa on tärkeää tietää tulevat kustannukset, jolloin tehtiin karkeahko kustannuslaskelma käyttäen hyväksi Energiamarkkinaviraston julkaisemia sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhintoja (Energiamarkkinavirasto 2012). Arviossa ei ole huomioitu PJ-verkon muutoksia, vanhojen rakenteiden purkamiskuluja, kuormien kasvua tai pienenemisiä eikä maasulkuvirtojen kompensointilaitteiden kustannuksia ajanpuutteen vuoksi. Myös joitain pienempiä töitä, kuten kaikkia JT-katkojen rakentamisia ei ole listattu laskelmaan.

Tehdyt laskelmat on taulukoituna liitteessä 1, josta nähdään, että edellisessä kappaleessa esitetyille johtolähdöille säävarmuutta kohottavien toimenpiteiden kokonaiskustannukseksi tulee noin 3,5 miljoonaa euroa.

Keskimäärin johtolähdön säävarmuuden parannus kustantaa siis noin 100 000 €. Kustannukset eivät todellisuudessa sijoitu läheskään tasan lähtöjen välillä, suurimmat kustannukset tulevat kaapeloitaessa kaupunkeja ja taajamia, kustannusten ollessa satoja tuhansia euroja, kun taas vähemmän kiireellisissä paikoissa selvittää muutamalla kymmenellä tuhannella.

9 POHDINTA

Tehty työ on ollut todella laaja, toisinaan työtä tehdessä tuntuikin että olen haukannut liian suuren palan pureskeltavakseni. Myöhemmin muisteltavaksi olenkin lisännyt liitteeseen 2 tiedot työhön käytetyistä tunteista. Sinnikkäällä työn teolla ja hyvillä neuvoilla työstä kuitenkin selvittiin kunnialla. Vaikka tehty opinnäyte on melko kattava, se on todellisuudessa vain pintaraapaisu säävarmuuden kehittämisessä. Annetut parannusehdotukset ovat yleissuunnittelua, josta edetään tarvittavin muutoksin sähkösuunnitteluun. Kun on saatu selvitettyä suunnitelman vaatimukset sähköisen mitoituksen kannalta, alkaa maastosuunnittelun ja maankäyttö- sekä muiden sopimusten teon vaihe. Tehtävää siis riittää. Olenkin monelta taholta kuullut, että valmistun juuri oikeaan aikaan, sillä työt eivät sähköverkkopuolelta ole ainakaan aivan heti loppumassa.

Työn painopisteen ollessa keskijänniteverkossa, on kuitenkin myös pienjännitepuolella haasteita säävarmuuden kannalta. AMKA-johdot vanhenevat ja kulkevat raivaamattomissa metsissä, lisäksi rasitteena ovat nollakuormaiset PJ-liittymät, joista olisi tarve päästä eroon. Muutenkin muuttotappioisilla alueilla verkkoyhtiöille aiheuttaa ongelmia vanha verkko, josta tulisi karsia turhia osia pois, mutta kuitenkin pitää yllä tarpeellisia johtoja. Olisi siis löydettävä tasapaino purkamisen ja saneerauksen välillä.

Työssä esitetyt säävarmuuden parannustoimet ja niiden kustannukset tulevat kiistatta nostamaan sähkönsiirtomaksuja, josta onkin jo julkisuudessa noussut poru. Eri keskustelupastoilla saakin lukea valistuneita kommentteja kuinka sähkönjakelun ongelmat ratkotaan käden käänteessä. Säävarmuuden kehitys on kuitenkin pitkä prosessi, joka hyödyttää koko yhteiskuntaa. Onkin melko ironista, että sähkönjakelun katketessa kovaäänisimmät vaativat välittömästi ”syyllisten” päitä vadille, mutta kun jakeluvarmuutta ollaan kehittämässä, ei missään nimessä haluta itse maksaa hieman suurempaa sähkölaskua parannustoimien rahoittamiseksi.

LÄHTEET

ABB Oy. 2000a. TTT-käsikirja. Maasulkusuojaus.

ABB Oy. 2000b. TTT-käsikirja. Ylijännite- ja häiriösuojaus.

Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus. 2012. Toimintaohje sähkömaakaapeleiden sijoittamiseksi maantien tiealueelle Liikenneviraston ohjeita 4/2011 Sähköjohdot ja maantiet Luonnos 28.6.2012 mukaisesti. Tulostettu 27.11.2012.

www.elykeskus.fi/fi/Liikenne/Lupaasiat/Kaaapelitjohdotputket/Documents/Toimintaohje_S%C3%A4hk%C3%B6johdot_ja_maantiet_ohjeluonnos_08112012.pdf

Energiamarkkinavirasto. 2012. Sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat 2012. Tulostettu 12.4.2013.

<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=2759&pgid=195&languageid=752>

Energiateollisuus ry. 2011. Ohjeet koneelliseen oksintaan sekä puun poistoon sähkölinjalta. Tulostettu 13.2.2013 <http://energia.fi/julkaisut/ohje-koneelliseen-oksintaan-seka-puun-poistoon-sahkolinjoiltatyomenetelmat>

Energiateollisuus ry. 2012. Sähkön keskeytystilasto 2011. Tulostettu 5.12.2012. <http://energia.fi/julkaisut/sahkon-keskeytystilasto-2011>

Ensto. 2013. PAS-suunnittelu. Tulostettu 25.2.2013. <http://www.ensto.com/www/files/523Iv9ZPx/Attachment/PAS-suunnittelu.pdf>

Finlayson, B., McMahon, T. & Peel, M. 2010. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Tulostettu 28.11.2012. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Koppen_World_Map.png

Helitour. 2013a. Johtokatuja raivaussaha lennolla. Tulostettu 26.1.2013. http://www.helitour.fi/images/galleria/tyolennot/Heli3_thumb.jpg

Helitour. 2013b. Linjaraivaus. Luettu 26.1.2013. <http://www.helitour.fi/raivaus.php>

Hurkala, M. 2009. Sähkönjakeluverkon vikojen automaattinen analysointi. Elektronii-kan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Sähkötekniikan laitos. Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.

Ilmatieteen laitos 2013. Salama ja ukkonen. Luettu 14.2.2013. <http://ilmatieteenlaitos.fi/salama-ja-ukkonen>

Ilmatieteen laitos. 2012a. Suomen nykyilmasto. Luettu 28.11.2012. <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/1c8d317b-5e65-4146-acda-f7171a0304e1/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot.html>

Ilmatieteen laitos. 2011. Tapaninpäivän myrsky harvinainen. Luettu 26.11.2012. <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/462442>

Ilmatieteen laitos. 2012b. Tuulet ja myrskyt. Luettu 27.11.2012.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

Ilmatieteen laitos. 2012c. Tuulitilastot. Luettu 29.11.2012.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>

Ilmatieteen laitos. 2012d. Tykky eli tykkylumi. Luettu 5.12.2012.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tykky-eli-tykkylumi>

Kymenlaakson Sähkö. 2012. Kuvapankki. Verkosto: tie, metsä ja sähkölinja. Tulostettu 27.11.2012.
http://www.ksoy.fi/var/ezwebin_site/storage/images/kymenlaakson-sahko/tietoa-yrityksesta/media/kuvapankki/verkosto-tie-metsa-ja-sahkolinja/6938-1-fin-FI/verkosto-tie-metsa-ja-sahkolinja.jpg

Kärkkäinen, J. 2012. Jakelukeskeytyksettömät menetelmät sähköverkon töissä. Sähkötekniikan laitos. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2013. Sähköverkkotekniikan peruskurssi. Vikavirtasuojaus. Tulostettu 19.3.2013.
<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/.../vikavirtasuojaus.pdf>

Levonen, J. 2011. Kankaanpään Seutu. Myrsky riehui alueellamme. Tulostettu 23.11.2012.
<http://www.kankaanpaanseutu.fi/Uutiset/1194711945406/artikkeli/myrsky+riehui+alueellamme.html>

Liikennevirasto. 2012. Sähköjohdot ja maantiet. Luonnos 28.6.2012. Tulostettu 13.11.2012.
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_201104_sahkojohdot_maantiet_web.pdf

Länsi-Savo. 2010. Asta-myrskyn tuhoja. Tulostettu 27.11.2012. http://www.lansi-savo.fi/Uutiset/astamyrskyn_tuoja_korjataan_edelleen_10405332.html

Motiva Oy. 2010. Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. Luettu 27.3.2013.
http://www.motiva.fi/julkaisut/kaikki_julkaisut/selvitys_hajautetusta_ja_paikallisesta_energiantuotannosta_erilaisilla_asuinalueilla.4969.shtml

Mäkinen, A. 2007. Jakeluverkon jännitekuopat-luentomateriaali.

Norri, P. 2006. 1000 voltin jakeluverkon rakentaminen. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö.

SLO Oy. 2013. SLO verkko 1-tuoteluettelo.

Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet.

Sähköenergialiitto ry. 1992. Verkostosuositus RJ 21-92. Ilmajohtojen johtoalueet. Helsinki: Sähköenergialiitto ry.

Tainio, T. 2006. Käyttökeskeytysten vähentäminen keskijänniteverkossa. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö.

Tapio-konserni. 2013. Sähkölinojen vierimetsät. Luettu 11.4.2013.
<http://www.tapio.fi/sahkolinjojen-vierimetsat>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012. Energiaosaston muistio. Työ- ja elinkeinoministeriön ehdotus toimenpiteistä sähkönjakelun varmuuden parantamiseksi sekä sähkökatkojen vaikutusten lieventämiseksi. Tulostettu 9.11.2012.
http://www.tem.fi/files/32354/Muistio_TEMin_ehdotuksiksi_toimitusvarmuudesta_16032012_final_clean.pdf

Vatajankosken Sähkö Oy. 2012a. Puuska-analyysi.

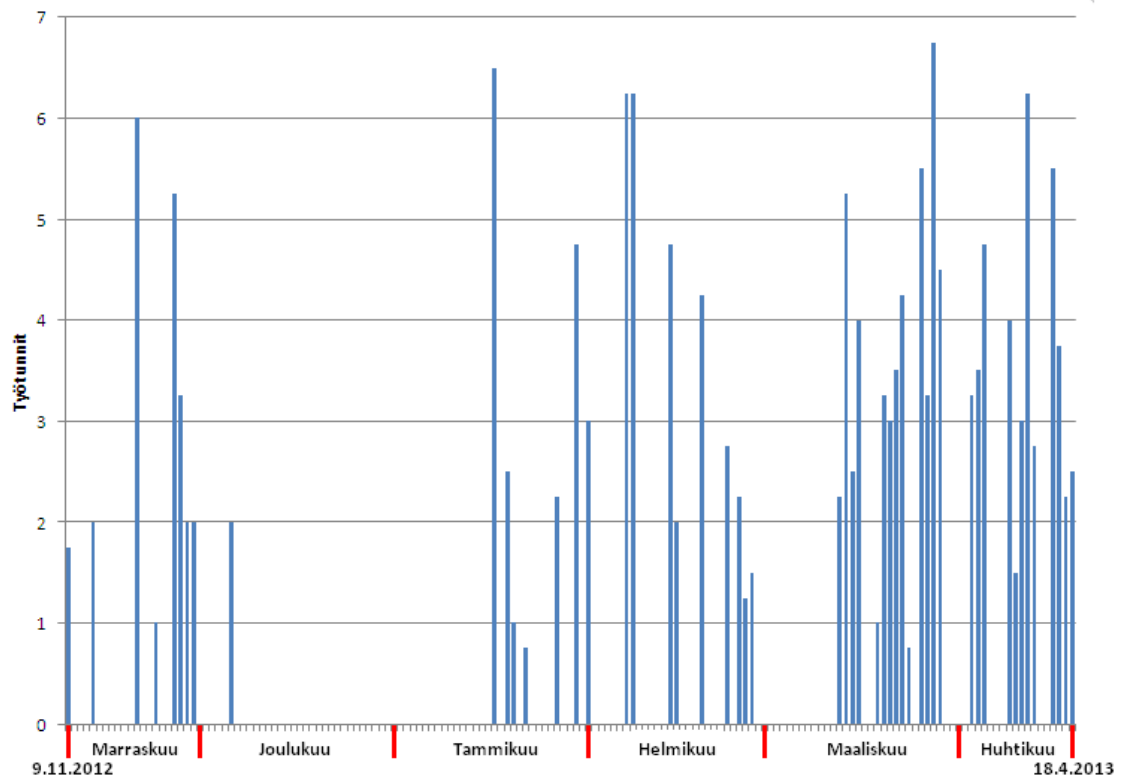
Vatajankosken Sähkö Oy. 2012b. Vuosikertomus 2011. Tulostettu 20.11.2012.
www.vatajankoski.fi/upload/sisaltokuvat/vatajankoskensahko/vatajankoski_vuosikertomus_2011_valmis.pdf

Vatajankosken Sähkö Oy. 2013. Vuosikertomus 2012.

Vatajankosken Sähkö Oy. 2012. Yritysesittely. Luettu 20.11.2012.
<http://www.vatajankoski.fi/fi/vatajankosken-sahko/yritysesittely.html>

Yleisradio. 2012. Sähkökatkot voivat jatkua päivien ajan Etelä-Savossa. Tulostettu 29.11.2012.
http://yle.fi/uutiset/sahkokatkot_voivat_jatkua_paivien_ajan_etela-savossa/5058434

Liite 2. Opinnäytteeseen käytetyn ajan kuvaaja ja taulukko



pvm.	Mistä	Mihin	Työtunnit	Tunnit yhteensä
9.11.2012	12:15	14:00	1,75 h	1,75
13.11.2012	15:30	17:30	2 h	3,75
20.11.2012	11:45	17:45	6 h	9,75
23.11.2012	12:00	13:00	1 h	10,75
26.11.2012	12:15	17:30	5,25 h	16
27.11.2012	14:00	17:15	3,25 h	19,25
28.11.2012	15:30	17:30	2 h	21,25
29.11.2012	12:30	14:30	2 h	23,25
5.12.2012	15:15	17:15	2 h	25,25
16.1.2013	9:00	15:30	6,5 h	31,75
18.1.2013	21:15	23:45	2,5 h	34,25
19.1.2013	1:15	1:45	1 h	35,25
	13:15	13:45		
21.1.2013	11:45	12:30	0,75 h	36
26.1.2013	13:30	14:45	2,25 h	38,25
	15:15	16:15		
29.1.2013	12:00	16:45	4,75 h	43
31.1.2013	11:30	14:30	3 h	46
6.2.2013	7:45	14:00	6,25 h	52,25
7.2.2013	8:15	13:15	6,25 h	58,5
	13:45	15:00		
13.2.2013	11:00	11:15	4,75 h	63,25
	12:00	14:45		
	15:00	16:45		
14.2.2013	10:45	12:45	2 h	65,25
18.2.2013	10:30	14:45	4,25 h	69,5
22.2.2013	14:00	16:30	2,75 h	72,25
	17:00	17:15		
24.2.2013	14:15	15:45	2,25 h	74,5
	18:15	19:00		
25.2.2013	12:45	14:00	1,25 h	75,75
26.2.2013	20:00	21:30	1,5 h	77,25
12.3.2013	14:45	17:00	2,25 h	79,5
13.3.2013	12:30	17:45	5,25 h	84,75
14.3.2013	15:30	18:00	2,5 h	87,25
15.3.2013	13:15	17:15	4 h	91,25
18.3.2013	16:30	17:30	1 h	92,25
19.3.2013	13:00	14:30	3,25 h	95,5
	16:15	18:00		
20.3.2013	9:00	12:00	3 h	98,5
21.3.2013	14:30	18:00	3,5 h	102
22.3.2013	11:15	12:30	4,25 h	106,25
	15:00	18:00		
23.3.2013	14:45	15:30	0,75 h	107
25.3.2013	11:00	16:30	5,5 h	112,5
26.3.2013	14:45	18:00	3,25 h	115,75
27.3.2013	11:30	18:15	6,75 h	122,5
28.3.2013	13:00	17:30	4,5 h	127
2.4.2013	14:15	17:30	3,25 h	130,25
3.4.2013	11:15	13:30	3,5 h	133,75
	15:30	16:45		
4.4.2013	13:00	17:45	4,75 h	138,5
8.4.2013	11:45	15:45	4 h	142,5
9.4.2013	14:30	16:00	1,5 h	144
10.4.2013	9:00	12:00	3 h	147
11.4.2013	11:30	17:45	6,25 h	153,25
12.4.2013	11:30	12:45	2,75 h	156
	14:00	15:30		
15.4.2013	11:30	17:00	5,5 h	161,5
16.4.2013	12:45	16:30	3,75 h	165,25
17.4.2013	12:00	14:15	2,25 h	167,5
18.4.2013	11:00	13:30	2,5 h	170