

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähköenergiatekniikan opintosuunta

Kaisa Nykänen

**VAASAN SÄHKÖVERKKO OY:N KESKIJÄNNITEVERKON NYKYTILAN
MÄÄRITYS SEKÄ KEHITTÄMISSUUNNITELMA KÄYTTÖVARMUUDEN
NÄKÖKULMASTA**

Työn tarkastajat: Professori Jarmo Partanen
 Diplomi-insinööri Juha Rintamäki

Työn ohjaaja: Insinööri Karl-Gustav Kolam

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähköenergiatekniikka

Kaisa Nykänen

Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkon nykytilan määrittäminen sekä kehittämissuunnitelma käyttövarmuuden näkökulmasta

Diplomityö

2009

134 sivua, 28 kuvaa, 62 taulukkoa ja 7 liitettä

Tarkastajat: Professori Jarmo Partanen
Diplomi-insinööri Juha Rintamäki

Hakusanat: sähkönjakeluverkko, nykytilan määrittäminen, käyttövarmuus, keskeytyskustannukset, maastokatkaisija.

Keywords: electricity distribution network, analysis of the present state of the network, reliability of distribution network, outage costs, pole circuit breaker.

Tämän työn tavoitteena on analysoida Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkon nykytila sekä selvittää verkon kehittämisen suuntaviivoja. Nykytilan määrittämisessä selvitetään kuormitettavuusasteet, jännitteenalenemat, häviöt oiko- ja maasulkusuojauksen toimivuus sekä keskeytyskustannukset. Nykytilan määrittämisen apuna käytettiin verkkotietojärjestelmä Xpowerin tehojako-, oikosulku- ja maasulkulaskentia. Nykytila on määritetty sekä normaalissa kytkentätilanteessa, että tilanteessa jossa yksi sähköasema kerrallaan on poissa käytöstä.

Nykytilan määrittämisen perusteella voidaan todeta, että normaalissa kytkentätilanteessa keskijänniteverkko täyttää suurilta osin sille asetetut tekniset reunaehdot, jotka ovat jännitteenalenema, kuormitettavuus, oikosulkukestoisuus sekä oiko- ja maasulkusuojauksen havahtuvaisuus. Jotta reunaehdot toteutuisivat kokonaisuudessaan, tulee oikosulkukestottomien lähtöjen releasetteluja muuttaa tai vaihtaa oikosulkukestottomat johto-osuudet suurempi poikkipintaiseen johtimeen. Nykytilan määrittämisen perusteella neljän päämuuntajan kuormitettavuusaste on yli 90 %, joten näiden asemien alueiden kehitystä tulee tarkkailla. Sähköasemien korvaustarkastelun perusteella viiden sähköaseman korvaus tuottaa ongelmia jo nykyisillä huippukuormilla.

Työssä tehtyjen selvitystöiden perusteella Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkkoon lisättiin 10 maastokatkaisijaa sekä selvitettiin verkon mahdollisia tulevaisuuden kehittämisen suuntaviivoja.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering
Electrical Power System

Kaisa Nykänen

An analysis of present state of Vaasan Sähköverkko Oy's medium voltage network and a development plan from a reliability point of view

Master's thesis

2009

134 pages, 28 figures, 62 tables and 7 appendices

Examiners: Professor Jarmo Partanen
M.Sc. Juha Rintamäki

Keywords: electricity distribution network, analysis of the present state of the network, reliability of distribution network, outage costs, pole circuit breaker.

The aim of this M.Sc thesis is to analyse the present state of Vaasan Sähköverkko Oy's medium voltage network and define the guidelines of development from the aspect of reliability. In the present state examination the present state of the network is defined with network information system Xpower's calculations of load flow, short-circuit and earth fault. In this thesis there is also analysed a situation where one substation at a time is out of use. It is examined if it is possible to replace a single substation via other substations.

According to results Vaasan Sähköverkko Oy's medium voltage network fulfils mainly the set technical boundary conditions. Boundary conditions cover voltage reduction, thermal load capacity, and functionality of earth fault and over-current protection. From the result it can be noticed that four substation transformers have over 90 % load capacity rate. The development of the areas near these substations has to be observed in the future. According to the result of substation replacements there are problems with replacing five substations on the present maximum loads.

Based on the results 10 pole circuit breakers were added to the Vaasan Sähköverkko Oy's medium voltage network and potential guidelines for the development of the network were presented.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Vaasan Sähköverkko Oy:n antamasta aiheesta marraskuun 2008 ja elokuun 2009 välisenä aikana. Työn tarkastajana on toiminut toimitusjohtaja, diplomi-insinööri Juha Rintamäki ja ohjaajana suunnittelupäällikkö, insinööri Karl-Gustav Kolam. Haluan kiittää heitä sekä kaikkia Vaasan Sähköverkko Oy:n työntekijöitä avuliaisuudesta diplomityöni aikana sekä miellyttävästä työympäristöstä.

Haluan esittää kiitoksen myös Lappeenrannan teknillisen yliopiston puolesta tarkastajana toimineelle professori Jarmo Partaselle tärkeistä neuvoista työtäni koskien sekä erinomaisesta opetuksesta. Suuren kiitoksen esitän myös ystävilleni, joista on ollut suuri apu työni oikoluvussa.

Lopuksi haluaisin kiittää perhettäni ja ystäviäni tuesta ja kannustuksesta, jota olen heiltä saanut koko elämäni ja opintojeni aikana.

Kiitos työni onnistumisesta kuuluu teille kaikille.

Vaasassa 31.8.2009

Kaisa Nykänen

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Taustatietoja Vaasan Sähköverkko Oy:stä.....	1
1.2	Työn tavoite	2
2	Lähtötiedot ja suunnitteluperusteet	3
2.1	Suunnittelua ohjaavat parametrit.....	3
2.2	Johtimen taloudellinen mitoittaminen.....	3
2.2.1	Uuden johtimen mitoitus.....	4
2.2.2	Johdinvaihto	6
2.3	Johtimessa ja muuntajassa syntyvät häviöt.....	7
2.4	Jännitteenalenema	8
2.5	Vikavirrat	10
2.5.1	Oikosulku	10
2.5.2	Maasulku	12
2.6	Vikavirtasuojaus.....	15
2.6.1	Oikosulkusuojaus	15
2.6.2	Maasulkusuojaus	17
3	Käyttövarmuus	19
3.1	Viranomaisvaatimukset luotettavuudesta	20
3.1.1	Sähkömarkkinalaki.....	20
3.1.2	Vakiokorvaukset	20
3.2	Verkon käyttövarmuutta kuvaavat tunnusluvut	22
3.3	Keskeytyskustannukset	24
4	Sähköverkkoliiketoiminnan sääntely	29
4.1	Verkkoliiketoiminnan sääntely	30
4.1.1	Verkkotoimintaan sitoutuneen pääoman arvostusperiaatteet.....	32
4.1.2	Sallittu tuotto.....	33
4.2	Tehostamistavoite	34

5	Nykytilan määrittäminen	36
5.1	Kuormitukset.....	38
5.1.1	Päämuuntajien kuormitukset.....	38
5.1.2	Lähtöjen kuormitukset	41
5.2	Häviöt ja niistä aiheutuvat kustannukset.....	50
5.3	Keskeytykset ja niistä aiheutuvat kustannukset	54
5.4	Vikavirrat ja niiden suojaus	58
5.4.1	Oikosulkulaskennan tulokset	58
5.4.2	Maasulkulaskennan tulokset	62
6	Sähköasemien korvaustarkastelu	66
6.1	Gerbyn sähköaseman korvaus.....	66
6.1.1	Raippaluodon jännitteenkorotusmuuntajan korvaus.....	68
6.2	Korsnäsin sähköaseman korvaus	69
6.3	Petolahden sähköaseman korvaus.....	69
6.4	Maalahden sähköaseman korvaus	72
6.5	Purolan sähköaseman korvaus	74
6.6	Ristinummen sähköaseman korvaus	77
6.7	Strömbergin sähköaseman korvaus.....	79
6.8	Tuovilan sähköaseman korvaus	81
6.9	Vaasan sähköaseman korvaus	83
6.9.1	Vaskiluodon kytkinaseman korvaus	86
6.10	Miettylän sähköaseman korvaus	87
6.11	Ratikylän sähköaseman korvaus	88
6.12	Mäkipään sähköaseman korvaus.....	90
6.13	Karvsorin sähköaseman korvaus.....	91
7	Käyttövarmuutta parantavat toimenpiteet	93
7.1	Johdintyyppi/johtojen mitoittaminen	94
7.2	Tienvarteen tai pellolle siirto	95
7.3	Kauko-ohjatut erotinasemat	95
7.4	Varayhteydet	96

7.5	Maastokatkaisijat.....	97
7.6	Maasulkuvirran sammutus	100
7.7	Ylijännitesuojaus.....	102
7.8	1000 V jakelujärjestelmä.....	102
8	Kuormitusennuste	106
9	Kehittämissuunnitelma.....	116
9.1	Maastokatkaisijat.....	116
9.1.1	Maastokatkaisijoiden sijoittaminen.....	116
9.1.2	Maastokatkaisijoiden vaikutukset	121
9.2	Kehittämisehdotuksia.....	122
10	Yhteenveto	126
	LÄHTEET.....	129

LIITTEET

- 1 Verkostokomponenttien yksikköhinnat 2009 ja laskennallisia pitoaikoja.
- 2 Energiamarkkinaviraston toisella valvontajaksolla käyttämiä laskentaparametreja.
- 3 Esimerkki keskeytyskustannusten laskennasta.
- 4 Vikavirrat ja taustaverkon oikosulkuimpedanssit VSV:n sähköasemilla.
- 5 Vaasan alueelle rakennettavaksi suunnitellut teollisuus- ja työpaikka-alueet.
- 6 Esimerkki maastokatkaisijalla saavutettujen säästöjen laskennasta.
- 7 Lähtöjen keskimääräiset vikatiedot 2006 – 2008.

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

<i>C</i>	kapasitanssi [F]
<i>D</i>	korollisen vieraan pääoman määrä
<i>E</i>	pääoman painotetun keskikustannuksen verkkotoimintaan sitoutuneen oman pääoman määrä
<i>f</i>	taajuus
<i>H</i>	hintaa [€/kW]
<i>I</i>	virta [A]
<i>INV</i>	investointien arvo [€]
<i>j</i>	imaginaariyksikkö
<i>JHA</i>	jälleenhankinta-arvo [€]
<i>K</i>	kustannus [€]
<i>k</i>	KAH-kustannus [€/kW, €/kWh]
<i>L</i>	induktanssi [H]
<i>lp</i>	likvidittömyyspreemio
<i>l</i>	johtimen pituus [km]
<i>NKA</i>	nykykäyttöarvo [€]
<i>NKA%</i>	nykykäyttöarvoprosentti
<i>R</i>	tarkasteltavan komponentin resistanssi [Ω]
<i>r</i>	kuormituksen kasvuprosentti [%/a], johtimen ominaisresistanssi [Ω /km]
<i>rk</i>	riskitön korkokanta
<i>RKI</i>	rakennusindeksi
<i>rp</i>	riskipreemio
<i>P</i>	pätöteho [W]
<i>p</i>	laskentakorko [%]
<i>S</i>	näennäisteho [VA]
<i>ST</i>	sallittutuotto
<i>T</i>	investoinnin käyttöaika [a]
<i>t</i>	huipunkäyttöaika [h], kesto [h], keskeytyksestä aiheutuva sähkötön aika [h], ajanjakso [a]
<i>TP</i>	tasapoisto [€]

U	jännite [V]
W	energia [Wh]
X	tarkasteltavan komponentin reaktanssi [Ω]
x	johtimen ominaisreaktanssi [Ω/km]
Z	impedanssi [Ω]

Kreikkalaiset

β	beetta-kerroin
$\cos\varphi$	tehokerroin
ε	annuiteettikerroin
κ	kapitalisointikerroin
τ	johtimen jäähtymisvakio
φ	vaihekulma
Ψ	kapitalisointikertoimen apukerroin
ω	kulmataajuus

Alaindeksit

a	vuosi
A1	johdinpoikkipinta 1
A2	johdinpoikkipinta 2
ajk	aikajälleenkytkennän jännitteetön, aikajälleenkytkentöjen
ajk,e	oikosulun kesto aika ennen aikajälleenkytkentää
ajk,j	oikosulun kesto aika aikajälleenkytkennän jälkeen
av	keski-
f	vika-
h	häviö
hid	hidastus-
h1	ensimmäisen vuoden häviö
I	investointi-
j	johdin
k	kuormitushäviö
kisko	kiskosto-

kN	nimelliskuormitushäviö
ks	syöttävän verkon oikosulku
k1s	1 sekunnin oikosulku-
k2	kaksivaiheinen oikosulku
k3	kolmivaiheinen oikosulku
m	muuntaja
maad	maadoitus-
n	nimellis-
N1	kantaverkon nimellis-
N2	kj-verkon nimellis-
odott	odottamattomien
opo	oman pääoman
pjk	pikajälleenkytkentöjen
Th	Thèvenin
toim	toiminta-
TP	sallittu kosketus-
v	vaihe-
vaihto	johdinvaihto
velaton	velaton
vika	vian, vika
vpo	vieraan pääoman
0	nolla, tähtipiste, tyhjäkäyntihäviö
1	ensimmäinen vuosit
110	110 kV:n verkko
%	prosentuaalinen-

Yläindeksit

, tietty

Lyhenteet

ajk aikajälleenkytkentä
ALS Alskatin kytkinasema

CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
DEA	Data Envelopment Analysis, verkkoliiketoiminnan tehokkuusmittausmalli
EMV	Energiamarkkinavirasto
GBY	Gerbyn sähköasema
KAH	keskeytyksen aiheuttama haitta
kj	keskijännite
KOR	Korsnäsin sähköasema
KVL	Koivulahden kytkinasema
KVR	Karvsorin sähköasema
MAIFI	Momentary Average Interruption Frequency Index
MAL	Maalahden sähköasema
MIE	Miettylän sähköasema
MÄK	Mäkipään sähköasema
pj	pienjännite
pjk	pikajälleenkytkentä
PRL	Purolan sähköasema
PTL	Petolahden sähköasema
RPL	Raippaluodon kytkinasema
RTK	Ratikylän sähköasema
RTN	Ristinummen sähköasema
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SFA	Stochastic Frontier Analysis, verkkoliiketoiminnan tehokkuusmittausmalli
STR	Strömbergin sähköasema
T-CAIDI	Muuntopiirikohtainen CAIDI
T-SAIDI	Muuntopiirikohtainen SAIDI
T-SAIFI	Muuntopiirikohtainen SAIFI
TUO	Tuovilan sähköasema
VSL	Vaskiluodon kytkinasema
vtj	verkkotietojärjestelmä

1 JOHDANTO

1.1 Taustatietoja Vaasan Sähköverkko Oy:stä

Vaasan Sähköverkko Oy vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta sekä niihin liittyvistä palveluista Vaasassa ja sen lähialueella. Jakelualueeseen kuuluvat Vaasan lisäksi Mustasaari, Laihia, Maalahti, Korsnäs, Vöyri sekä Närpiön pohjoisosat. Alueella on yhteensä 13 sähköasemaa. Vuoden 2008 loppuun mennessä siirtoasiakkaita oli 62406 kappaletta, joille sähköä siirrettiin yhteensä 954 GWh. Vaasan Sähköverkon alueella sähkökulutuksen kasvuprosentti vuonna 2008 oli 1 % vaikka keskimäärin kulutuksen kasvu Suomessa on pysähtynyt. Suurin osa Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkosta sijaitsee maaseudulla ja on näin ollen ilmajohtoverkkoa. Vaasan kaupungin alueella ja taajamien keskustoissa verkko on kuitenkin maakaapeloitu. Kaapelointiaste yhtiön keskijänniteverkossa on 20,5 %. Kuvassa 1 on esitetty Vaasan Sähköverkko Oy:n jakelualue kartalla. (Vaasan Sähkö 2008)



Kuva 1. Vaasan Sähköverkko Oy:n jakelualue.

1.2 Työn tavoite

Diplomityön aiheena on Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkon nykytilan määrittäminen sekä kehityssuunnitelman laatiminen. Kehityssuunnitelman perusteella yritys voi varautua tuleviin investointeihin aikaisempaa paremmin samalla tehostaen verkon käytettävyyttä sekä pienentäen mahdollisuutta vikainvestointien riskiin.

Työn teoriaosuudessa käsitellään sähköverkon mitoituksessa huomioonotettavia tekijöitä, käyttövarmuutta sekä käyttövarmuutta parantavia toimenpiteitä. Tämän jälkeen määritetään Vaasan Sähköverkko Oy:n verkon nykytila. Määrittämisessä apuna käytetään verkkotietojärjestelmän (vtj) tehonjako-, oikosulku- ja maasulkulaskentaa. Laskennan tuloksista selvitetään tämän hetken kuormitukset sekä täyttääkö nykyverkko sille asetetut tekniset reunaehdot. Lisäksi jokaiselle lähdölle määritetään keskeytyskustannukset. Nykytilan määrittämisen ulkopuolelle jätetään verkon komponenttien vanhenemisesta aiheutuvat kunnostustarpeet.

Ennen kuin tehonjako voidaan tehdä, täytyy verkkotietojärjestelmän alkutietoja tarkentaa, jotta laskennasta saatavat tulokset olisivat mahdollisimman todenmukaisia. Työtä varten käyttöpaikkojen kuormituskäyriä tarkistetaan ja laskentaan pyritään saamaan mukaan mahdollisimman monen suuren sähkönkuluttajan tuntisarjat.

Työn yhtenä osana jokaiselle sähköasemalle tehdään korvaustarkastelu. Korvaus tehdään tilanteessa, jossa yksittäinen sähköasema on kokonaan poissa käytöstä huippukuormituksen aikana. Korvaustarkastelun tavoitteena on taata sähköntoimitus kaikille asiakkaille vian aikana. Työssä esitetään jokaiselle sähköasemalle yksi tapa, kuinka jakaa sen kuormat muille sähköasemille vian sattuessa.

Työn lopussa analysoidaan sähköasemien kuormitusten historiaa ja tulevaisuutta. Analysoitaessa apuna käytetään sähköasemilta saatuja mittaus- ja tilastotietoja, tilastokeskuksen väestöennusteita, Vaasan kaupungin yleissuunnitelmaa sekä sähkönkulutuksen kehitystä koko Suomessa. Lopuksi määritetään keskijänniteverkon investointitarpeet sekä kehittämisen suuntaviivat.

2 LÄHTÖTIEDOT JA SUUNNITTELUPERUSTEET

2.1 Suunnittelua ohjaavat parametrit

Laskennassa käytetyt johdinten sähköiset parametrit saatiin verkkotietojärjestelmä (vtj) Xpowerista. Liitteessä 1 on listattu Energiamarkkina viraston (EMV) verkostokomponenttien yksikköhinnat vuodelle 2009 (EMV 2009) ja komponenttien pitoajat (EMV 2007).

Työn laskennoissa käytetyt tärkeimmät laskentaparametrit ovat

- laskentajännite $U_{kisko} = 20,5 \text{ kV}$
- korkoprosentti $p = 6 \text{ \%/a}$
- pitoaika $T = 20 - 45 \text{ a}$
- suurin sallittu jännitteenalenema
 - taajamassa $U_{h\%} = 5 \text{ \%}$ (normaalissa kuormitustilanteessa)
 $U_{h\%,vika} = 7 \text{ \%}$ (korvaustilanteessa)
 - maaseudulla $U_{h\%} = 7 \text{ \%}$ (normaalissa kuormitustilanteessa)
 $U_{h\%,vika} = 9 \text{ \%}$ (korvaustilanteessa)
- häviöiden huipunkäyttöaika $t_h = 2000 \text{ h}$

2.2 Johtimen taloudellinen mitoittaminen

Johtimen taloudellisen mitoittamisen tarkoituksena on löytää johtimelle poikkipinta, joka täyttää sekä tekniset reunaehdot, että on taloudellisesti mahdollisimman edullinen. Uuden johtimen pääasialliset kustannuserät ovat investointikustannukset K_I ja häviökustannukset K_h . Taloudellisinta vaihtoehtoa etsittäessä on otettava huomioon komponentin koko käyttöaika T . Jotta saadaan käyttöaikaa kuvaava häviökustannus, tulee häviöistä syntyvät kustannukset tehdä laskennallisesti vertailukelpoisiksi kapitalisointikertoimen κ avulla. Kustannusten K rakennetta voidaan havainnollistaa yhtälön 1 avulla, jossa K_{h1} on johtimen ensimmäisen vuoden häviökustannukset. (Lakervi 2008)

$$K = K_I + \kappa K_{h1} \quad (1)$$

Tapauksessa, jossa kuormitus kasvaa tasaisesti, kapitalisointikerroin saadaan yhtälön 2 mukaan käyttäen apuna kapitalisointikertoimen apukerrointa Ψ yhtälöstä 3, jossa r on kuormituksen kasvukerroin ja p laskentakorko.

$$\kappa = \frac{\Psi^T - 1}{\Psi - 1} \quad (2)$$

$$\Psi = \frac{(1+r/100)^2}{1+p/100} \quad (3)$$

Tapauksessa, jossa kuormitus kasvaa ensin r prosenttia vuodessa tietyn ajanjakson t' ja tämän jälkeen kasvu pysähtyy, kapitalisointikerroin saadaan laskettua yhtälöstä 4. Tässä tapauksessa kapitalisointikerrointa laskiessa tarvitaan kaksi apukerrointa Ψ_1 ja Ψ_2 , jotka saadaan yhtälöistä 5 ja 6. (Lakervi 2008)

$$\kappa = \Psi_1 \frac{\Psi_1^{t'} - 1}{\Psi_1 - 1} + \beta^{2t'} \frac{1}{\alpha^{t'}} \Psi_2 \frac{\Psi_2^{T-t'} - 1}{\Psi_2 - 1} \quad (4)$$

$$\Psi_1 = \frac{\beta^2}{\alpha} = \frac{(1+r/100)^2}{(1+p/100)} \quad (5)$$

$$\Psi_2 = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{(1+p/100)} \quad (6)$$

2.2.1 Uuden johtimen mitoitus

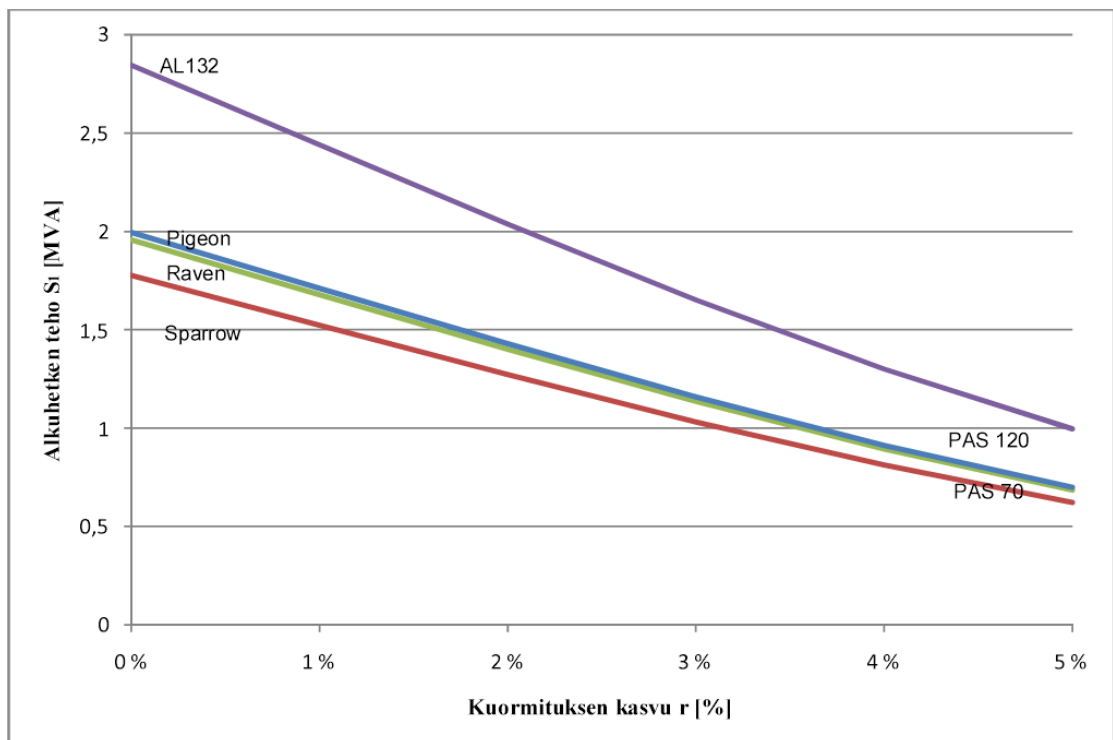
Uudet asiakkaat sekä siirtokapasiteetin riittämättömyys voivat johtaa uuden keskijännitejohtimen rakentamistarpeeseen. Uudella johtimella voidaan parantaa myös verkon käyttövarmuutta. Uutta johdinta mitoitettaessa on tavoitteena löytää poikkipintojen joukosta sopivin vaihtoehto kuhunkin tilanteeseen. Johtimen mitoitusohjeeksi voidaan määrittää rajakäyriä, joilla kaksi peräkkäistä poikkipintaa ovat taloudellisesti yhtä edullisia. Suunnittelussa on tarkoitus löytää rajateho, jolla suurempi ja kalliimpi poikkipinta A2 on taloudellisempi kuin poikkipinta A1 sen pienempien häviökustannuksien ansiosta. Tilannetta kuvaa epäyhtälö 7. (Lakervi 2008)

$$K_{hA1} - K_{hA2} > K_{IA2} - K_{IA1} \quad (7)$$

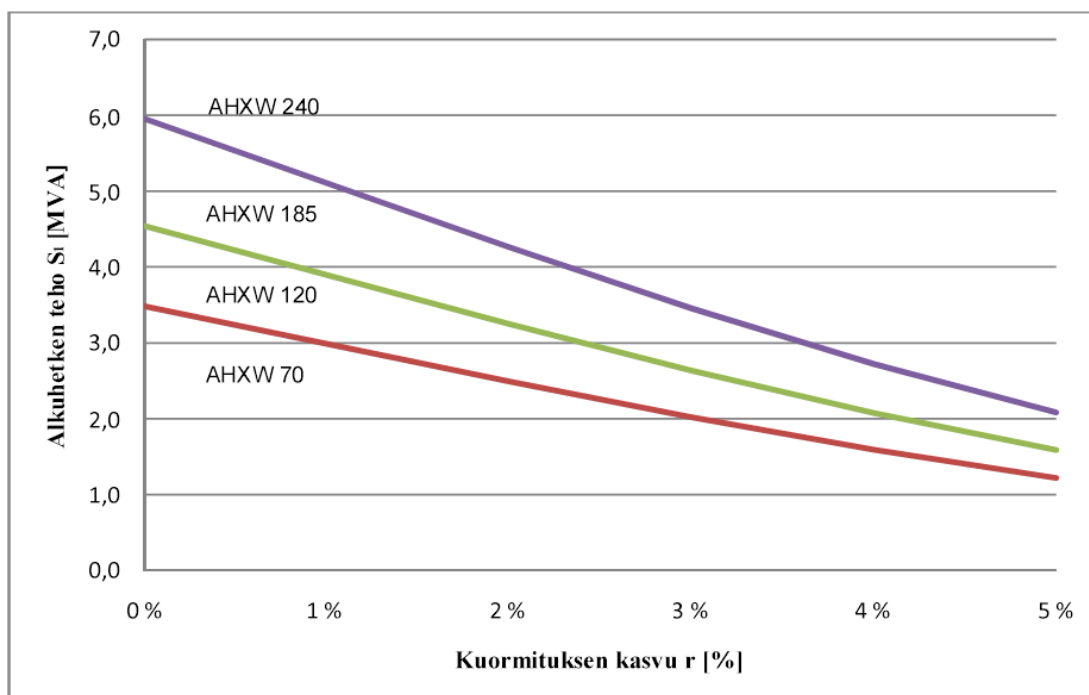
Epäyhtälöstä 7 saadaan johdettua epäyhtälö 8 rajateholle, jonka suuruinen johdon näennäistehon S tulisi olla tarkastelujakson ensimmäisenä vuonna, jotta suuremman poikkipinnan käyttäminen olisi kannattavaa. (Lakervi 2008)

$$S_1 \geq U \sqrt{\frac{K_{IA1} - K_{IA2}}{\kappa H_h (r_{A1} - r_{A2})}} \quad (8)$$

Epäyhtälössä r on johtimen resistanssi, U laskentajännite sekä H_h häviöiden hinta euroa per kilowatti. Kuvista 2 ja 3 voidaan nähdä yhtälön 8 mukaan laskettujen rajatehojen muutos kuormituksen kasvukertoimen suhteen ilmajohtoille ja maakaapeleille. Kuvassa 2 sininen rajatehokäyrä on rajateho PAS-johtimien välille, kun taas muut ovat ilmajohtimille.



Kuva 2. Kuormituksen rajateho S_1 kuormituksen kasvukertoimen r suhteen avo- ja PAS-johtimille.



Kuva 3. Kuormituksen rajateho S_1 kuormituksenkasvukertoimen r suhteen maakaapeleille.

Rajatehoihin vaikuttavat tekijät kuten häviöiden hinta, rakennuskustannukset sekä laskentakorkokanta voivat muuttua pienessäkin ajassa, joten rajakäyriä tulee päivittää riittävän usein. (Lakervi 2008)

2.2.2 Johdinvaihto

Johdinvaihtoa suunniteltaessa häviösäästöjä verrataan vaihtoinvestoinnin kustannuksen K_{vaihto} annuiteettiin eli vuotuiserä yhtälön 9 mukaisesti. Johdinvaihto perustuu siihen, että investoinnin häviöiden pienentymisestä syntyvä säästö on suurempi kuin investoinnin annuiteetti.

$$K_{hA1} - K_{hA2} > \varepsilon K_{vaihto} \quad (9)$$

Edellisestä yhtälöstä 9 saadaan johdettua epäyhtälö 10 johdinvaihdon rajateholle, jonka suuruinen johdon näennäistehon tulee olla jotta kyseinen laji kannattaisi valita.

$$S_1 \geq U \sqrt{\frac{\varepsilon K_{vaihto}}{H_h(r_{A1} - r_{A2})}} \quad (10)$$

Yhtälöissä 9 ja 10 tarvittava annuiteettikerroin ε saadaan laskettua yhtälön 11 mukaan.

$$\varepsilon = \frac{p/100}{1 - \frac{1}{(1+p/100)^T}} \quad (11)$$

Taulukossa 2.1 on esitetty esimerkkejä yhtälön 10 avulla lasketuista johdinvaihdon rajatehoista eri johdintyypeille. (Lakervi 2008)

Taulukko 2.1. *Johdinvaihdon rajatehoja.*

Vanha johdin	Uusi johdin	Teho [MVA]
Swan	→ Sparrow	1,70
Swan	→ Raven	1,56
Swan	→ Pigeon	1,58
Swan	→ Al132	1,85
Swan	→ PAS70	2,86
Sparrow	→ Raven	2,52
Sparrow	→ Pigeon	2,23
Sparrow	→ Al132	2,15
Sparrow	→ PAS70	4,46
Sparrow	→ PAS120	3,75
Raven	→ Pigeon	3,22
Raven	→ AL132	2,76
Raven	→ PAS120	5,64

2.3 Johtimessa ja muuntajassa syntyvät häviöt

Energian siirtämisestä paikasta toiseen syntyy aina häviöitä. Johtimissa ja muuntajissa häviöt syntyvät lähinnä sähköenergian muuttumisesta lämpöenergiaksi. Häviöillä on suuri merkitys sähkönjakelun taloudellisuuteen. Johtimen häviöteho P_h saadaan laskettua yhtälön 12 mukaan.

$$P_h = 3I^2R = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} R \quad (12)$$

Muuntajan häviöteho koostuu kuormitushäviöistä P_k ja tyhjäkäyntihäviöistä P_0 . Muuntajan kuormitushäviön määrittämiseen käytetään nimelliskuormitushäviötä P_{kN} ja

muuntajan nimelliskuormaa S_n , jotka esitetään muuntajan kilpiarvoissa. Muuntajan kuormitushäviöt kuormalla S voidaan laskea yhtälön 13 avulla.

$$P_k = \left(\frac{S}{S_n}\right)^2 P_{kN} \quad (13)$$

Muuntajan tyhjäkäyntihäviöt syntyvät magneettivuon vaihtelusta rautasydämessä. Magneettivuon vaihtelu synnyttää pyörrevirta- ja hystereesihäviöitä, jotka eivät ole riippuvaisia muuntajan kuormasta, joten muuntajan tyhjäkäyntihäviöt pysyvätkin vakiona koko käyttöajan ajan. Muuntajan tyhjäkäyntihäviöt saadaan muuntajan arvokilvestä.

Johtimessa ja muuntajissa tapahtuu myös energiahäviöitä W_h , joiden laskentaan tarvitaan häviöteho sekä häviöiden huipunkäyttöaika t_h yhtälön 14 mukaisesti. Energiahäviöiden tarkkaan määrittämiseen käytetään häviötehon integraalia.

$$W_h = \int_0^t P_h dt \approx P_{hmax} t_h \quad (14)$$

Häviöenergian tarkka määrä saadaan yhtälön 14 integraalista, jonka määrittämiseen tarvitaan häviötehoja vuoden jokaiselle hetkelle. Tämä on hyvin työläs toimenpide, jota käytetään vain verkkotietojärjestelmässä, joskin senkin laskennassa joudutaan supistamaan tarkasteltavien ajanjaksojen määrää. Käsinlaskennassa voidaan käyttää yhtälön 14 loppuosan likiarvoa, jossa huippuhäviöteho kerrotaan häviöiden huipunkäyttöajalla. (Lakervi 08)

2.4 Jännitteenalenema

Jännitteenalenemalla tarkoitetaan jännitehäviöitä, jotka syntyvät 20 kV:n syöttömuuntajan ja kuluttajan liittymäpisteen välisen johtoreitin impedansseissa siirrettävällä teholla. Kantaverkon jännitteenvaihtelut eivät vaikuta jakeluverkkoon sähköasemille asennettujen automaattisten käämikytkimien ansiosta. Käämikytkimien tehtävänä on pitää sähköaseman 20 kV:n kiskoston jännite asetellussa arvossa kuormituksesta riippumatta.

Jännitteenalenema on tärkeä sähkön laatutekijä ja siksi se on otettava huomioon suunniteltaessa verkkoa. Jännitteenaleneman arvo on olennainen etenkin sähkökäyttäjän kannalta, sillä kaikki laitteet eivät toimi liian pienellä jännitteellä. Mitoituksen kannalta jännitteenalenema on tärkeä mitoitusarvo etenkin pitkillä maaseutulähdöillä, joilla verkonmitoitus joudutaan tekemään usein juuri jännitteenaleneman perusteella.

Jännitehäviöistä johtuen sähkön siirtoon käytetyn reitin loppupään jännite U_2 on pienempi kuin alkupään jännite U_1 . Yhtälön 15 mukaan U_1 ja U_2 erotuksesta saadaan jännitteenalenema U_h .

$$U_h = |U_1| - |U_2| = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \quad (15)$$

Yhtälön 15 I on virta, $\cos \varphi$ on tehokerroin, R on resistanssi ja X on reaktanssi. Kun halutaan jännitteenalenema suoraan prosentuaalisena $U_{h\%}$, voidaan lasku suorittaa yhtälön 16 mukaan.

$$U_{h\%} = 100 \cdot \frac{P}{U^2} (R + X \tan \varphi) \quad (16)$$

Yhtälöt 15 ja 16 ovat likiarvokaavoja ja soveltuvat ainoastaan normaaleiden kuormitustilanteiden laskentaan, joissa jännitteenalenema ja kuormitukset ovat kohtuullisia. Tämän takia yhtälöitä ei tule käyttää vikatilanteiden käsittelyyn. Kuormitusten vaihtelu vaikeuttaa jännitteenaleneman käyttöä suunnittelussa. Sillä jännitteenaleneman suuruus vaihtelee kuormitustilanteiden mukaan. Tämän ongelman ratkaisemiseksi suunnittelun avuksi on asetettu tietyt sallitut jännitealenemat verkon mitoitusohjelmilla. Verkkotietojärjestelmät käyttävät jännitteenalenemaa laskiessa iteratiivisia ratkaisumenetelmiä, kuten Gauss-Seidelia ja Newton-Raphsonia. (Lakervi 2008) (Sener SA 5:94)

Jakeluverkon tilaa voidaan kuvata myös jännitejykkyuden avulla, joka on johdon jännitteenalenema suhteessa siirrettävään tehoon. Jännitejykkyuden yksikkönä käytetään prosenttia per megawatti [%/MW]. (Lakervi 2008)

Vaasan Sähköverkko Oy:llä sallitut prosentuaaliset jännitteenalenemat ovat

- normaalitilanteessa
 - taajamassa 5 %
 - maaseudulla 7 %
- korvaustilanteessa
 - taajamassa 7 %
 - maaseudulla 9 %

2.5 Vikavirrat

Vikavirrat syntyvät eristysvian tai ulkoisen kosketuksen vaikutuksesta virtapiirin sulkeutuessa suoraan, vikaimpedanssin tai valokaaren kautta. Tällöin syntyy oikosulku tai maasulku. Oikosulku syntyy kolmen tai kahden vaiheen välille, kun taas maasulku maan ja vaiheen välille. Vikavirtojen suuruudet ja käyttäytyminen on tärkeä tuntea, sillä niiden vaikutus keskeytyksiin, laitevaurioihin sekä turvallisuuteen on suuri. Seuraavissa luvuissa selvitetään oikosulun ja maasulun peruseriaatteet.

2.5.1 Oikosulku

Oikosulku syntyy virtapiirin sulkeutuessa suoraan, valokaaren tai jonkun muun vikaimpedanssin kautta eristysvian tai ulkoisen kosketuksen vaikutuksesta. Oikosulku voi syntyä kahden tai kolmen vaihejohtimen välille. Oikosulku aiheuttaa oikosulkuvirran, joka on tyypillisesti normaalia kuormitusvirtaa suurempi. Suurimmat oikosulkuvirrat syntyvät sähköasemien lähellä tapahtuvien vikojen seurauksena. Oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttavat päämuuntajan koko, johtimien pituudet ja poikkipinnat. Oikosulkuvirta voi aiheuttaa johtimien ja laitteiden kuumenemista, sähkönjakelun häiriöitä ja keskeytyksiä sekä verkon turvallisuustason heikkenemisen. Suojauksen avulla vioittunut verkon osa pyritään irrottamaan syötöstä. Oikosulkusuojauksen toteuttamisesta kerrotaan kappaleessa 2.6.1.

Oikosulkulaskennan avulla voidaan seurata laitteiden mekaanista kestoisuutta, katkaisijoiden katkaisukykyä sekä oikosulkuvirran laitteistolle ja johdoille aiheuttamia lämpötilan muutoksia. Oikosulkulaskennassa tarvitaan pääjännite U , vikaimpedanssi Z_f ja vikapaikasta näkyvä verkon impedanssi eli Thèveninin impedanssi Z_{Th} , jossa otetaan huomioon syöttävänverkon, päämuuntajan sekä muuntajan ja vikapaikan välillä olevien johdinten aiheuttamat impedanssit. Kolmivaiheinen oikosulku I_{k3} saadaan laskettua yhtälön 17 mukaan.

$$I_{k3} = \frac{U_v}{(Z_{Th} + Z_f)} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_{Th} + Z_f)} \quad (17)$$

Kaksivaiheinen oikosulku I_{k2} saadaan laskettua yhtälöstä 18.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3} \quad (18)$$

Thèvenin impedanssi Z_{Th} voidaan laskea yhtälön 19 mukaan itseisarvolaskuna.

$$Z_{Th} = \sqrt{(R_{110} + R_m + R_j)^2 + (X_{110} + X_m + X_j)^2} \quad (19)$$

Laskennassa käytetään resistanssin arvoa 40 °C:n lämpötilassa. Tämä arvo saadaan kertomalla resistanssi 20 °C:ssa 1,08:lla.

Kun tiedetään syöttävänverkon oikosulkuvirran ja vaihekulman suuruudet, saadaan laskettua kantaverkon kj-puolelle redusoitu impedanssi Z_{110} yhtälön 20 mukaan. Impedanssin avulla saadaan taas laskettua syöttävän verkon resistanssi R_{110} ja reaktanssi X_{110} yhtälöiden 21 ja 22 avulla.

$$Z_{110} = \frac{U}{\sqrt{3}I_{110}} \left(\frac{U_{N2}}{U_{N1}} \right)^2 \quad (20)$$

$$R_{110} = Z_{110} \cos \varphi_{110} \quad (21)$$

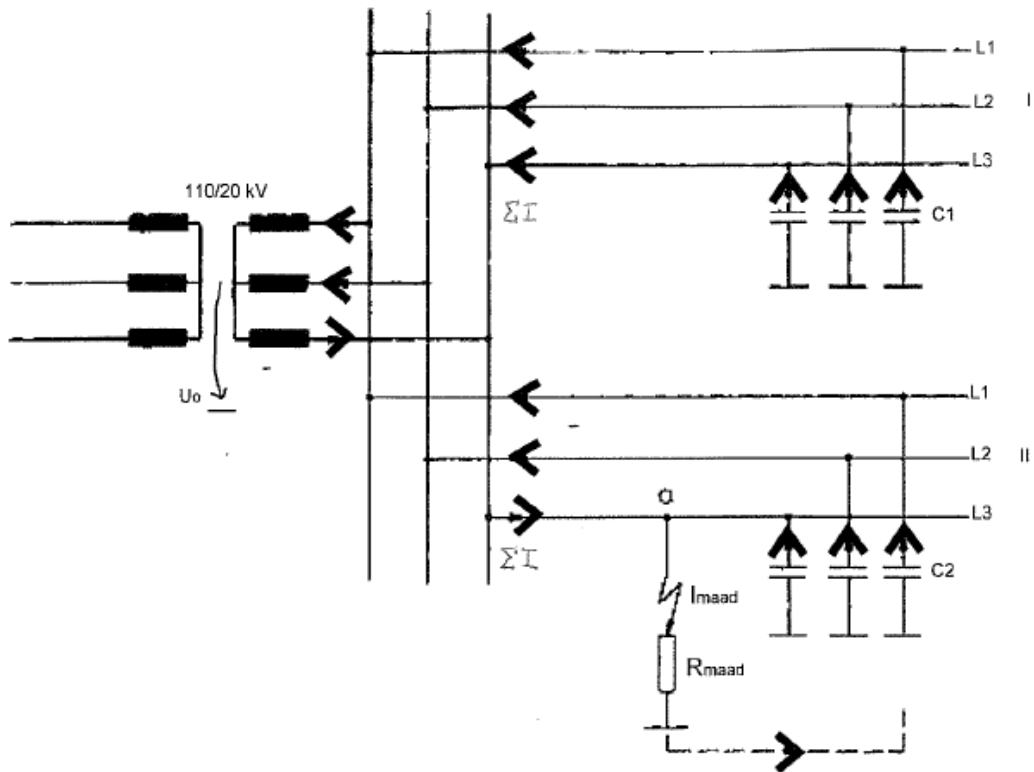
$$X_{110} = Z_{110} \sin \varphi_{110} \quad (22)$$

Oikosulkulaskennan tuloksia käytetään määrittäessä oikosulkusuojauksen asetteluarvoja, analysoitaessa johtimien oikosulkukestoisuutta sekä vikapaikan etsimisessä. Jokaisen verkon johto-osan tulee kestää siinä esiintyvän suurimman mahdollisen oikosulkuvirran aiheuttama mekaaninen ja terminen rasitus. Tämän vuoksi valmistajat ilmoittavat täysin kuormitetun johtimen 1 sekunnin oikosulkuvirran I_{k1s} oletetussa ympäristön lämpötilassa. (Lakervi 2008) (Sener SA 5:94)

2.5.2 Maasulku

Maasulku on maan ja johtimen välinen oikosulku, jonka vikavirran suuruuteen vaikuttaa verkon maadoitustapa ja muuntajan perään kytkeytyneen galvaanisesti yhtenäisen verkon laajuus. Suomessa käytetään tähtipisteestään maasta erotettua verkkoa tai sen erityismuotoa eli sammutettua verkkoa. Maasta erotettua verkkoa joudutaan käyttämään Suomen huonojen maadoitusolosuhteiden takia syntyvien kosketusjänniteongelmien takia. Maasulku tapahtuu usein vaihejohtimen valokaaresta tai kosketuksesta suojamaadoitettuun osaan ja tällöin kosketusjännite riippuu maasulkuvirrasta ja suojamaadoituksen resistanssista.

Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta kulkee kuvan 4 mukaan vikapaikasta maahan johtojen vaihejohtimien impedanssien ja useasti myös vikaresistanssin kautta päämuuntajan käämityksiin ja sieltä vaiheimpedanssien kautta vikapaikkaan.



Kuva 4. Maasulku maasta erotetussa verkossa.

Maasulkulaskelmissa johtimien ja muuntajien impedanssi voidaan olettaa nolliksi, koska ne ovat maakapasitansseihin nähden hyvin pieniä. Tätä oletusta käyttäen laskennasta saadaan riittävän tarkka tulos, mutta maasulun fyysiset tapahtumat jäävät selvittämättä. Maasta erotetun verkon maasulkuvirta I_f saadaan yhtälön 23 mukaan ja tähtipiste- eli nollijännite U_0 yhtälön 24 avulla. Yhtälöissä 23 ja 24 C on maadoituskapasitanssi, R_{maad} maadoitusresistanssi, I_f vikavirta sekä U_v vaihejännite.

$$I_f = \frac{j3\omega C}{1+j3\omega CR_{maad}} U_v \quad (23)$$

$$U_0 = \frac{1}{j3\omega C} \cdot (-I_f) = \frac{-1}{1+j3\omega CR_{maad}} U_v \quad (24)$$

Sammutetussa verkossa maasta erotettuun verkkoon on lisätty sammutuskuristin muuntajan tähtipisteeseen. Kuristimen mitoituksessa pyritään siihen, että kuristimen läpi

kulkeva virta on suurin piirtein yhtä suuri kuin maakapasitanssien kautta kulkevat virrat yhteensä.

Maasulun sammutuksella saadaan pienennettyä sekä maasulkuvirtaa että -jännitettä, lisäämällä verkon tähtipisteeseen kompensoiva sammutuskuristin. Sammutetun verkon maasulkuvirta I_{maad} saadaan yhtälöstä 25 ja nolajännite U_0 yhtälöstä 26, kun kuristimen induktanssi on L ja resistanssi R .

$$I_{maad} = \frac{U_v}{R_{maad} + jR\left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)} \quad (25)$$

$$U_0 = \frac{-R}{R_{maad} + R + jRR_{maad}\left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)} U_v \quad (26)$$

Maasulkuvirran arvo riippuu suurelta osin verkon laajuudesta, suomalaisissa verkoissa maasulkuvirrat ovat yleensä hyvin pieniä. Maasulun aiheuttama vikavirta aiheuttaa vikapaikalle maadoitusjännitteen U_{maad} , joka saadaan laskettua yhtälön 27 mukaan. Maadoitusjännite aiheuttaa ihmisille ja eläimille vaarallisen kosketusjännitteen U_{TP} . Sallitut kosketusjännitteiden arvot määritetään standardissa SFS 6001, jonka mukaan kosketusjännite ei saa ylittää yhtälön 28 mukaisia arvoja missään tilanteessa.

$$U_{maad} = I_f \cdot R_{maad} \quad (27)$$

$$U_{maad} \leq k \cdot U_{TP} \quad (28)$$

Sallitut kosketusjännitteet maasulun kestoajasta riippuen on esitetty taulukossa 2.2.

Taulukko 2.2. Sallitut kosketusjännitteet.

Laukaisuaika [s]	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U_{tp} [V]	390	280	215	160	132	120	110	102

Yhtälön kerroin k määräytyy maadoitusolosuhteista. Tavoitetasolla siitä käytetään arvoa $k=2$. Tämä tavoitetaso tarkoittaa, että muuntajan maadoituksen lisäksi

pienjänniteverkko on maadoitettu standardien mukaisesti. Jos tavoitetasoa ei voida saavuttaa teknisin tai taloudellisin perustein, käytetään $k:n$ arvoa 4. Arvoa $k=5$ käytetään, kun koko muuntopiirin alue on huonosti johtavaa. Tällaisessa tilanteessa on tehtävä muuntajalle potentiaalihojaus ja jokainen liittymä tulee maadoittaa. Jos nämä eivät ole mahdollisia toimenpiteitä, tulee liittymän rakennuksen ympärille tehdä potentiaalihojaus.

Sallitun kosketusjännitteen suunnittelussa pyritään arvoon, jolla vältetään hengenvaarallisen sydämen kammiovärinän syntyminen. Keinot kosketusjännitteen pienentämiseksi ovat maadoituksen parantaminen, laukaisun hidastusajan lyhentäminen tai maasulkuvirran pienentäminen. Maasulkuvirran pienentäminen onnistuu jakamalla verkko pienempiin osiin ja käyttämällä maasulkuvirran sammutusta.

Suomen huonojen maadoitusolosuhteiden takia maasulkuvirrat ovat hyvin pieniä ja näin ollen suojaus on haastavaa. Maasulkusuojauksesta kerrotaan enemmän kappaleessa 2.6.2. (Energiateollisuus RJ 19:06) (Lakervi 2008) (Rouhiainen 2008)

2.6 Vikavirtasuojaus

Keskijänniteverkon vikavirtasuojauksen tavoitteena on vähentää asiakkaiden kokemien lyhytaikaisten jännitekatkojen lukumäärää, suojata verkon komponentteja vaurioitumiselta sekä parantaa verkon turvallisuutta. Verkon suojauksen suunnittelun perustana on saada aikaan kattava ja aukoton suojaus verkon erilaisissa käyttötilanteissa.

2.6.1 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tärkeimpänä tavoitteena on suojella verkon osia suuren vikavirran aiheuttamilta lämpövaurioilta, vähentää asiakkaiden kokemien katkojen lukumäärää ja taata turvallisuus käyttäjille ja ulkopuolisille verkon normaali- sekä vikatilanteissa. Oikosulkusuojaukselta suunniteltaessa oikosukuvirrat eri tilanteissa ja eri osissa verkkoa on tunnettava hyvin. Suojauksen suunnittelussa releasettelut pyritään tekemään mahdollisimman kattaviksi, jotta suurin osa poikkeuksellisista kytkentätilanteista

voidaan toteuttaa ilman releiden uudelleenasetteluja. Tärkeää suojauksessa on, että sen avulla löydetään kaikki mahdolliset viat selektiivisesti. (ABB) (Lakervi 2008) (Jakelu 2008)

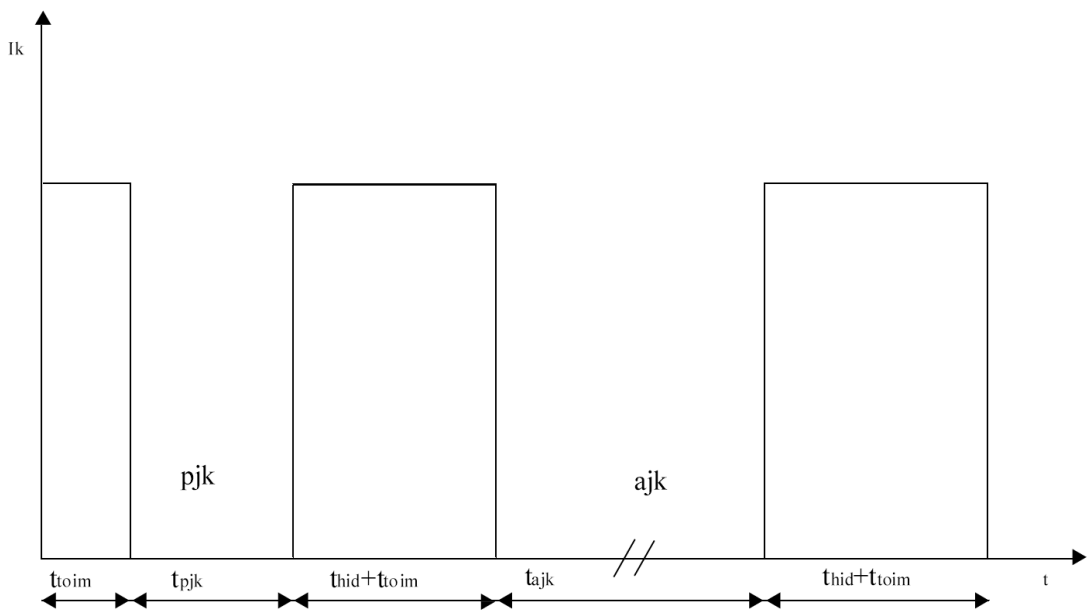
Suomessa verkon suojaukseen eli vioittuneen johtimen irrottamiseen verkosta käytetään sähköasemille asennettuja vakioaikaylivirtareleitä, jotka toimivat myös ylivirtasuojina. Tämän mahdollistaa releen hetkellislaukaisu, jonka aktivoi isot virrat. Ylikuormitus on suurempi ongelma kaapeliverkossa huonon jäähtymisen takia ja niinpä hetkellislaukaisun tulee toimia heti kuormitusvirran ylittyessä. Hetkellislaukaisu varmistaa sähköasemien lähellä olevien oikosulkuvikojen irtilaukaisun ja samalla saadaan jännitekuoppien kestoajat lyhyiksi. Hetkellislaukaisua, joka sijaitsee pääkatkaisijassa, käytetään sähköasemien kiskostoissa ilmenevien kiskosto-oikosulkujen poistamiseen. Pääkatkaisija laukaisee myös johtolähdöillä tapahtuvat oikosulut, ellei lähdönsuojakatkaisija katkaise sitä ensin. Sähköasemien katkaisijoiden lisäksi voidaan johtimille lisätä välikatkaisijoita. (Lakervi 2008)

Jälleenkytkentöjen avulla suurin osa valokaarivioista saadaan selvitettyä ilman pitempää katkoa. Avojohto- ja sekaverkossa käytetään sekä pikajälleenkytkentää (pjk) että aikajälleenkytkentää (ajk). Kaapeliverkossa ei yleensä käytetä jälleenkytkentöjä ollenkaan, sillä suojalaitteen havahtuminen kaapeliverkossa on merkki pysyvästä vauriosta. Pjk on hyvin tehokas ohimenevien valokaarivikojen selvittämisessä. (Lakervi 2008)

Suunniteltaessa suojausta termistä räsitystä vastaan on ajateltava pahinta mahdollista tapausta, jossa vika ei poistu jälleenkytkentöjen avulla. Oikosulkukestoisuutta analysoitaessa on otettava huomioon pjk:ä edeltävän ja sen jälkeisen oikosulun vaikutus johdon lämpenemiseen. Ajk:llä on myös lämmittävä vaikutus etenkin suuripoikkipintaisilla johtimilla ja maakaapeleilla. Yhtälön 29 avulla saadaan laskettua oikosulun ekvivalenttinen vaikutusaika t , jossa johtimen jäähtyminen ajk:ä edeltävän jännitteettömänä aikana otetaan huomioon.

$$t = t_{ajk,e} \cdot e^{-t_{ajk}/\tau} + t_{ajk,j} = (2 \cdot t_{toim} + t_{hid}) \cdot e^{-t_{ajk}/\tau} + (t_{hid} + t_{hid}) \quad (29)$$

Yhtälössä $t_{ajk,e}$ on oikosulunkesto aika ennen ajk:n jännitteetöntä aikaa, t_{ajk} ajk:n jännitteetön aika, $t_{ajk,j}$ ajk:n jälkeisen oikosulun kesto aika ja τ johtimen jäähtymisvakio. Kuvassa 5 on esitetty vikavirta I_k ajan funktiona. (Lakervi 2008)



Kuva 5. Vikavirta ajan funktiona, t_{toim} on releen ja katkaisijan toiminta-aika, t_{pjk} on PJK:n jännitteetön aika, t_{hid} on releen hidastusaika ja t_{ajk} on AJK:n jännitteetön aika. (Lakervi 2008)

2.6.2 Maasulkusuojaus

Suomessa vallitsevien maadoitusolosuhteiden takia maasulkusuojausta ei voida perustaa vain vikavirran suuruuteen, sillä se on yleensä kuormitusvirtaa pienempi. Mahdollisia maasulun havaitsemiskeinoja ovat esimerkiksi tähtipistejännitteen ja vaihejännitteen muutosten tarkkaileminen sekä summavirta, virran ja jännitteen yliaallot sekä suurtaajuiset muutosvirrat. Virran epäsymmetriaa kuvaava nollavirta saadaan lähdön vaihevirtojen osoitinsummasta, joka saadaan kolmen vaiheen virtamuuntajien summakytkenästä tai kaapelivirtamuuntajasta. Tähtipistejännite saadaan mitattua vaihejännitteisiin kytkettyjen jännitemuuntajien toisiokäämien avokolmiokytkennän avulla. (Lakervi 2008) (Jakelu 2008)

Maasulkusuojauksen suunnittelussa kiinnostavia arvoja ovat pienimmät nollavirrat ja tähtipistejännitteet sekä maadoitusjännitevaatimusten takia suurin maasulkuvirta ja

maasulun kesto aika. Maasulkulaskelmissa on laskettava virtojen suuruudet erilaisissa tilanteissa. On tärkeä tietää maasulkuvirrat mahdollisimman laajassa korvaustilanteessa sekä mahdollisimman pienessä verkossa. (Lakervi 2008) (Jakelu 2008)

Yleensä maasulkusuojaukseen käytetään maasulun suuntarelettä, joka sijoitetaan sähköasemille. Maasulun suuntareleen suojaustoiminto perustuu vaihevirtojen epäsymmetriaan sekä tähtipistejännitteen kohoamiseen. Rele pitää toteuttaa niin, että se havahtuu vain maasulkuun releen suojaamalla lähdöllä. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvalokaaren sammutukseen käytetään useasti pjk:ä. Maasulun aiheuttamia pikajälleenkytkentöjä voidaan karsia tehostamalla johtokatuja raivausta ja viivästyttämällä laukaisua. Nykyaikaisilla releillä on mahdollista käyttää aikaporrastusta. Suuret maasulkuvirrat voidaan poistaa nopeasti, kun taas pienemmillä virroilla voidaan käyttää hitaampaa laukaisua. Hitaamman laukaisun ansiosta maasulku joko sammuu itsestään tai muuttuu valokaaren levitessä oikosuluksi, joka on paljon helpompi paikantaa. (Lakervi 2008) (Rouhiainen 2008) (Jakelu 2008)

Maadoitusjännitevaatimus voidaan täyttää parantamalla maadoituksia, lyhentämällä maasulkusuojauksen toiminta-aikaa tai pienentämällä maasulkuvirtaa. Maasulkuvirtaa ja maadoitusjännitettä voidaan pienentää verkon sammutuksella. Maasulkuvirran pienentyessä myös todennäköisyys valokaarimaasulun itsestään sammumiseen kasvaa ja näin ollen pjk:jen aiheuttamat lyhyet keskeytykset vähentyvät. (Lakervi 2008)

3 KÄYTTÖVARMUUS

Keskeytykseksi lasketaan tapahtumat, joiden aikana liittymäkohdassa jännite laskee 1 % alle sopimuksen mukaisesta jännitteestä. Keskeytyksistä 90 % aiheutuu keskijänniteverkon ja 10 % pienjänniteverkon vioista. Sähkönjakelun keskeytyksen voi aiheuttaa joko pysyvä tai ohimenevä vika. Vian aiheuttajat ovat yleensä ulkopuolisia tapahtumia, laitevikoja tai -häiriöitä, joita ei voida ennustaa. Keskeytykset voivat olla myös suunniteltuja keskeytyksiä. Suunniteltu keskeytys on keskeytys, josta on aina ilmoitettu asiakkaalle etukäteen ja se on tarpeen verkon kunnossapidon tai saneerauksen vuoksi. Jos keskeytys on kiireinen eikä tieto ehdi asiakkaalle, keskeytys kirjataan vikakeskeytykseksi. Viranomaisten jakelurajoitukset ilmoitetaan yleensä etukäteen ja näin ollen ne ovat myös suunniteltuja keskeytyksiä. Keskeytykset voidaan jakaa myös niiden kestoajan mukaan lyhyisiin ja pitkiin keskeytyksiin. Lyhyt keskeytys on kestoltaan enintään kolme minuuttia ja sen aiheuttaja on ohimenevä vika, kun taas pitkä keskeytys on yli kolmen minuutin kestoinen ja aiheutuu pysyvästä viasta. Pysyvä vika vaatii aina vian paikannuksen. (Partanen 2006) (Energiateollisuus 2006)

Luotettavuutta arvioitaessa pitkien keskeytyksien merkitys on suuri. Myös asiakkaiden kannalta pitkät keskeytykset ovat merkittävien tapahtuma sähkön laadun kannalta. Pysyvä vika kj-verkossa aiheuttaa aluksi keskeytyksen kaikille vioittuneen verkon suojalaitteen takana oleville asiakkaille. Tämän takia vika tulee nopeasti paikantaa ja vikaantunut verkon osa erottaa erottimia hyväksikäyttäen. Vikapaikan erottamisen jälkeen pyritään terveisiin verkon osiin kytkemään jännite varayhteyksien avulla. Vian erotusaika ja rajatun alueen koko riippuvat vian sijainnista, saatavilla olevista varayhteyksistä ja erottimien paikasta sekä erottimien tyypistä. Työkeskeytystä toisin kuin vikakeskeytystä voidaan suunnitella ja näin ollen työkeskeytyksestä kärsivien asiakkaiden määrä saadaan pieneksi. Näin minimoidaan haitat ja kustannukset. Kj-avojohtoverkossa suurin osa eli noin 90 % on lyhytkestoisia vikoja, jotka poistuvat jälleenkytkentöjen avulla. Pjk selvittää yleensä 75 % vioista ja ajk 15 %. Pjk:n poistama vika aiheuttaa asiakkaalle noin 0,5 sekunnin katkon, kun taas vasta ajk:n ansiosta poistuva vika kestää pari minuuttia pidempään. (Partanen 2006)

3.1 Viranomaisvaatimukset luotettavuudesta

3.1.1 Sähkömarkkinalaki

Säädökset sähköntoimitusvarmuutta koskien on pääosin määritetty sähkömarkkinalaissa. Toimituksen vastuisiin liittyvät säädökset on määritetty myös tuotevastuu- ja sähköturvallisuuslaeissa. (Energiamarkkinavirasto 2006)

Sähkömarkkinalain luvussa kolme olevassa 9 §:ssä määritellään verkkoyhtiön verkon kehittämisvelvollisuus. Pykälä velvoittaa verkonhaltijan ylläpitämään, käyttämään ja kehittämään verkkooaan sekä yhteyksiä naapuriverkkoihin asiakkaiden kohtuullisten tarpeiden mukaan sekä turvaamaan riittävän laadukkaan sähkön saannin jokaiselle asiakkaalle. (Sähkömarkkinalaki)

Luvun kolme 12 § määrää verkkoyhtiön julkaisemaan verkkopalveluidensa hintatason sekä tehokkuutta, laatua ja kannattavuutta kuvaavat tunnusluvut määräysten mukaisesti. Verkonhaltijoiden on myös annettava tiedot Energiamarkkinavirastolle niitä pyydettyäessä. (Sähkömarkkinalaki)

Luvun kuusi 27 c, d ja e §:t määrittävät virheen sekä siitä johtuvat hinnanalennukset ja vahingonkorvaukset. Pykälässä 27 c sähköntoimitus määritetään virheelliseksi, kun sähkön laatu tai toimitustapa ei vastaa sovittua. Ellei erillistä sopimusta ole, sähkön laatu on virheellinen, jos laatu ei vastaa Suomessa noudatettavaa standardia SFS-EN 50160 tai sähköntoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä. Pykälien 27 d ja 27 e mukaan asiakkaalla on oikeus virheen perusteella virhettä vastaavaan hinnanalennukseen ja/tai vahingonkorvaukseen. (Sähkömarkkinalaki)

3.1.2 Vakiokorvaukset

Ensimmäinen syyskuuta 2008 tuli voimaan lakimuutos, joka sisälsi pykälän vakiokorvausmenettelystä. Lailla veloitetaan jakeluverkonhaltija maksamaan asiakkaalle korvauksia yli 12 tuntia kestävästä jakelukeskeytyksistä, riippumatta siitä

aiheutuiko asiakkaalle haittaa vai ei, ja riippumatta verkonhaltijan osallisuudesta keskeytyksen syntyyn. Korvauksen suuruus määräytyy keskeytysajan ja asiakkaan vuosittaisen verkkomaksun suuruuden perusteella. Lain muutoksella pyrittiin parantamaan sähkökäyttäjän asemaa keskeytystilanteissa, sillä aikaisempi järjestelmä ei toiminut halutulla tavalla ja asiakkaalle haluttiin luoda mahdollisuus saada korvauksia myös sääolosuhteista johtuvista keskeytyksistä. Toisena tärkeänä tavoitteena oli parantaa verkon toimitusvarmuutta. Vakiokorvausten uhan kannustamana verkon haltijoiden tulee pyrkiä ehkäisemään keskeytyksiä ja korjaamaan viat mahdollisimman nopeasti. (Sener 2004)

Vakiokorvausten suuruus on keskeytyksen pituuden mukaan määräytyvä prosenttimäärä asiakkaan verkkopalvelumaksusta:

- 10 %, kun keskeytys on kestoltaan vähintään 12 tuntia mutta lyhyempi kuin 24 tuntia;
- 25 %, kun keskeytys on kestoltaan vähintään 24 mutta lyhyempi kuin 72 tuntia;
- 50 %, kun keskeytys on kestoltaan vähintään 72 mutta lyhyempi kuin 120 tuntia;
- 100 %, kun keskeytys on kestoltaan vähintään 120 tuntia.

Vakiokorvauksen enimmäismääräksi on kuitenkin määritelty 700 € sähkökäyttäjää kohden. (Sener 2004)

Vakiokorvaus ei korvaa sähkömarkkinalain 27 §:ssä määriteltyä virheestä annettavaa hinnanalennusta. Edelleen virheen aiheuttamasta alle 12 tunnin keskeytyksestä tulee antaa hinnanalennusta. Tapauksissa, joissa virheestä aiheutunut keskeytys kestää vähintään 12 tuntia, maksetaan joko vakiokorvaus tai annetaan hinnanalennus, sen mukaan kumpi tapa on kannattavampi asiakkaan näkökulmasta. Vaikka virheestä maksetaan vakiokorvaus, voidaan lisäksi hakea korvauksia vahingosta, jonka asiakas on virheen vuoksi kärsinyt, kuten hinnanalennuksenkin yhteydessä. (Sener 2004)

3.2 Verkon käyttövarmuutta kuvaavat tunnusluvut

Kansainvälisen IEEE 1366-2001 standardin mukaan jakeluverkon sähköntoimitusvarmuutta voidaan kuvata koko yhtiön alueella seuraavien tunnuslukujen avulla:

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index)
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index)

SAIFI kuvaa keskeytysten keskimääräistä lukumäärää (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä ja se saadaan laskettua yhtälön 30 avulla

$$SAIFI = \frac{\sum_j n_j}{N_s}, \quad (30)$$

missä n_j = asiakkaan j kokemien keskeytysten määrä
 N_s = kaikkien asiakkaiden lukumäärä.

SAIDI kuvaa keskeytysten keskimääräistä yhteenlaskettua kestoaikaa tietyllä aikavälillä (h/asiakas) ja se saadaan laskettua yhtälön 31 mukaan

$$SAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N_s}, \quad (31)$$

missä t_{ij} = asiakkaalle j keskeytyksestä i aiheutunut sähkötön aika
 i = keskeytysten lukumäärä tietyllä aikavälillä
 j = keskeytyksen vaikutusalueella olleiden asiakkaiden määrä.

CAIDI taas kuvaa keskeytysten pituutta tietyllä aikavälillä (h/keskeytys) ja se saadaan laskettua yhtälön 32 avulla.

$$CAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{\sum_j n_j} = \frac{SAIDI}{SAIFI}, \quad (32)$$

MAIFI kuvaa jälleenkytkentöjen keskimääräistä lukumäärää (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä ja se saadaan laskettua yhtälöstä 33.

$$MAIFI = \frac{\sum_j n_{jk}}{N_s}, \quad (33)$$

missä n_{jk} = asiakkaan j kokemien jälleenkytkentöjen määrä.

Suomessa keskeytykset on tilastoitu yleensä muuntopiiritasolla eikä todellisiin asiakaskohteen tietoihin pohjautuen. Tunnuslukuina muuntopiirikohtaisiin tilastointiin käytetään kansainvälisiä T-SAIFI, T-SAIDI ja T-CAIDI merkintöjä, joissa ei oteta huomioon pj-verkon keskeytyksiä. Tunnusluvut lasketaan yhtälöiden 34, 35 ja 36 avulla. (Energiateollisuus 2006)

$$T - SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n mpk_i}{mp}, \quad (34)$$

missä mpk_i = niiden muuntopiirien lukumäärä, joihin keskeytys i on vaikuttanut
 mp = muuntopiirien kokonaismäärä jakelualueella.

$$T - SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^x mpk_{ij} \cdot h_{ij}}{mp}, \quad (35)$$

missä n = keskeytysten lukumäärä
 x = kunkin keskeytyksen yhteydessä esiintyvien erilaisten kestoajkojen määrä
 mpk_{ij} = muuntopiirien lukumäärä kullakin osa-alueella, jossa keskeytyksen kesto on h_{ij} .

$$T - CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n mph_i}{\sum_{i=1}^n mpk_i}, \quad (36)$$

missä mph_i = keskeytyksen i vaikutusalueella olleiden muuntopiirien yhteenlaskettu keskeytysaika.

3.3 Keskeytyskustannukset

Verkkoyhtiölle aiheutuu viasta kustannus, joka koostuu asiakkaille aiheutuneen haitan hinnasta, toimittamatta jääneestä energiasta sekä tapauskohtaisesti vian korjauskustannuksista. Kuitenkin yleensä keskeytyksen aiheuttamaa rahallista haittaa kuvataan KAH-arvoilla, jotka kuvaavat asiakkaalle aiheutuneen haitan suuruutta. Asiakkaalle aiheutuva kustannus on reilusti suurempi kuin toimittamattoman energian hinta. Suomessa on tehty laajoja tutkimuksia ja kyselyitä KAH-arvojen selvittämiseksi. Viimeisin tutkimus on tehty vuosina 2004 - 2005. Keskeytyskustannuksia laskettaessa EMV ottaa laskennassa huomioon pitkistä keskeytyksistä suunnitellut ja suunnittelemattomat keskeytykset sekä lyhyistä keskeytyksistä pjk:t ja ajk:t. KAH-arvot erityyppisille kuluttajille on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. KAH-arvot erityyppisille kuluttajaryhmille.

	Vikakeskeytyks		Työkeskeytyks		PJK	AJK
	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh		
kotitalous	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	0,48
maatalous	0,45	9,38	0,23	4,8	0,2	0,62
teollisuus	3,52	24,45	1,38	11,47	2,19	2,87
julkinen	1,89	15,08	1,33	7,35	1,49	2,34
palvelu	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44

Laskentaa voidaan yksinkertaistaa käyttämällä samaa hintaa kaikentyyppisille kuluttajille taulukon 3.2 mukaan. Hinnat on saatu määritettyä painottamalla asiakasryhmiä keskimääräisellä verkkoyhtiöiden asiakasjakaumalla.

Taulukko 3.2. *KAH-arvot painotettuna keskimääräisellä verkkoyhtiöiden asiakasjakaumalla.*

Vikakeskeytyks		Työkeskeytyks		PJK	AJK
€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
1,1	11,0	0,5	6,8	0,55	1,1

Vika- ja työkeskeytysten todellisia haittoja on hankala arvioida. Toisilla asiakkailla haitta voi olla esimerkiksi mittava tuotantokatkos, kun taas kotitalouksissa haitta on usein vain välillinen eikä niinkään rahassa mitattava.

Asiakkaalle keskeytyksen aiheuttamaan haittaan vaikuttavat vikojen määrä, vikojen kesto sekä asiakkaan tyyppi ja teho. Laskennassa keskeytystehona käytetään yleensä asiakkaan vuotuista keskitehoa. Keskeytyshaitan rahallista arvoa arvioidaan tehoon verrannollisella vakiotermillä sekä keskeytysaikaan verrannollisella termillä. Sähköverkonhaltijan verkkotoiminnan tuoton arvioinnissa asiakkaan kokema haitan kustannus lasketaan yhtälön 37 avulla.

$$KAH_{t,k} = \left(\frac{KA_{odott,t} \cdot h_{E,odott} + KM_{odott,t} \cdot h_{W,odott} + KA_{suunn,t} \cdot h_{E,suunn} + KM_{suunn,t} \cdot h_{W,suunn}}{AJK_t \cdot h_{AJK} + PJK_t \cdot h_{PJK}} \right) \cdot \left(\frac{W_t}{t_t} \right) \cdot (1 + \Delta RKI_k), \quad (37)$$

missä

$KAH_{t,k}$ = Toteutunut sähköntoimituksen keskeytyksistä verkonhaltijan asiakkaille aiheutunut haitta vuonna t vuoden k rahanarvossa.

$KA_{odott,t}$ = Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen 1-70 kV:n verkon odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergia painotettu keskeytysaika vuonna t , tunti.

$h_{E,odott}$ = Odottamattomista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta €/kWh vuoden 2005 rahanarvossa.

$KM_{odott,t}$ = Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen 1-70 kV:n verkon odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienergioilla painotettu keskeytysmäärä vuonna t , kpl.

$h_{W,odott}$ = Odottamattomista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta €/kW vuoden 2005 rahanarvossa.

$KA_{suunn,t}$ = Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen 1-70 kV:n verkon suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunut vuosienergioilla painotettu keskeytysaika vuonna t , tunti.

$h_{E,suunn}$ = Suunnitelluista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta €/kWh vuoden 2005 rahanarvossa.

$KM_{suunn,t}$ = Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen 1-70 kV:n verkon suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunut vuosienergioilla painotettu keskeytysmäärä vuonna t , kpl.

$h_{W,suunn}$ = Suunnitelluista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta €/kW vuoden 2005 rahanarvossa.

AJK_t = Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen 1-70 kV:n verkon aikajälleenkytkennöistä aiheutunut vuosienergioilla painotettu keskeytysmäärä vuonna t , kpl.

h_{AJK} = Aikajälleenkytkennöistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta €/kW vuoden 2005 rahanarvossa.

PJK_t = Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen 1-70 kV:n verkon pikajälleenkytkennöistä aiheutunut vuosienenergia painotettu keskeytysmäärä vuonna t , kpl.

h_{PJK} = Pikajälleenkytkennöistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta €/kW vuoden 2005 rahanarvossa.

W_t = Verkonhaltijan verkosta 0,4 kV:n ja 1-70 kV:n jännitteillä käyttäjille luovutettu energiamäärä vuonna t , kWh.

T_t = Vuoden tuntien lukumäärä.

ΔRKI_k = Rakennuskustannusindeksin muutos vuodelle k .

Tässä työssä lähtöjen keskeytyskustannukset on laskettu yhtälöiden 38, 39, 40 ja 41 avulla.

$$K_{vika} = f_{vika} \cdot l \cdot (k_{vika,kW} + k_{vika,kWh} \cdot t_{vika}) \cdot P_{av} \quad (38)$$

$$K_{PJK} = f_{PJK} \cdot l \cdot P_{av} \cdot k_{PJK} \quad (39)$$

$$K_{AJK} = f_{AJK} \cdot l \cdot P_{av} \cdot k_{AJK} \quad (40)$$

$$K_{keskeytys} = K_{vika} + K_{PJK} + K_{AJK} \quad (41)$$

joissa K_{vika} = Vikakeskeytyksistä syntyvät kustannukset, €/a.

f_{vika} = Vikakeskeytyksien vikataajuus kpl, /€a.

l = Lähdön pituus, km.

$k_{vika,kW}$ = Vikakeskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kW.

$k_{vika,kWh}$ = Vikakeskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kWh.

t_{vika} = Vikakeskeytyksen keskimääräinen kesto, h.

P_{av} = Lähdon keskiteho, kW

K_{PJK} = Pikajälleenkytkennöistä syntyvät kustannukset, €/a.

f_{PJK} = Pikajälleenkytkentöjen vikataajuus kpl, /€,a.

k_{PJK} = Pikajälleenkytkennöistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kpl.

K_{AJK} = Aikajälleenkytkennöistä syntyvät kustannukset, €/a.

f_{AJK} = Aikajälleenkytkentöjen vikataajuus kpl, /€,a.

k_{AJK} = Aikajälleenkytkennöistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kpl.

$K_{keskeytytys}$ = Kokonaiskeskeytyskustannus, €/a.

(EMV 2007) (Lakervi 2008) (Silvast 2005)

4 SÄHKÖVERKKOLIIKETOIMINNAN SÄÄNTELY

Sähköverkkoliiketoiminta on monopoliasemassa vailla avoimen kilpailun tuomia paineita kohtuulliseen hinnoitteluun ja toiminnan kustannustehokkuuteen. Se on määrätty lailla sääntelyn alaiseksi. Vuonna 1995 säädetyn sähkömarkkinalain mukaan verkkoyhtiöiden tulee olla taloudellisen sääntelyn kohteena.

Vuoden 2004 loppuun asti sääntely on ollut jälkikäteistä ja tapauskohtaista valvontaa. Sääntely toteutettiin vain jos asiakas esitti tutkintapyynnön. Vuosien 1995 - 1999 aikana valvontamethodiikka kehittyi tapauskohtaisten tarkastelujen yhteydessä. Siirtohinnan kohtuullisuutta arvioitiin verkkoliiketoiminnan toteutunutta laskennallista tulosta ja verkkoliiketoimintaan sitoutuneelle pääomalle laskettua kohtuullista tuottoa vertaamalla. Jos hinnoittelu todettiin kohtuuttomaksi, tuli yhtiön korjata hintaa viranomaisen vaatimuksesta.

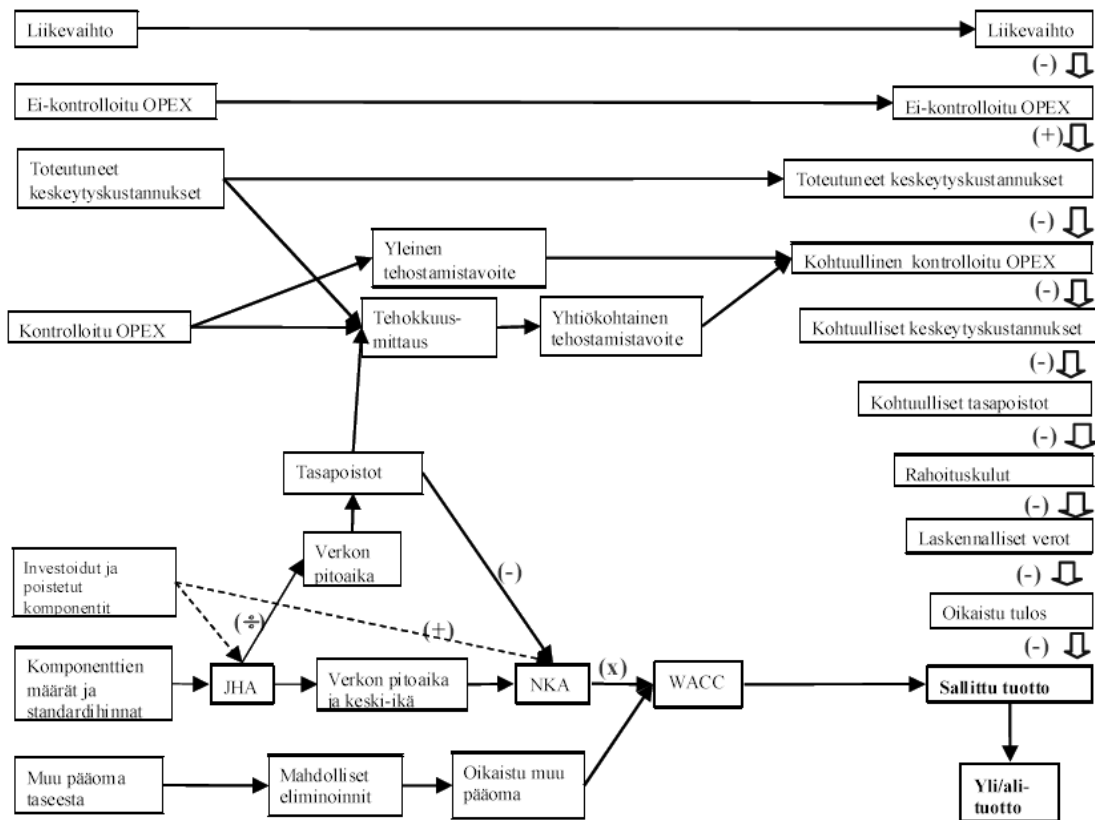
Vuonna 2001 Suomessa otettiin käyttöön tehokkuusmittaus, jonka tavoitteena oli kannustaa kustannustehokkaaseen verkon ylläpitoon. Järjestelmää pidettiin hyvin ongelmallisena, sillä vasta valvontajakson päätyttyä yhtiöille selvisi mihin kustannustasoon olisi pitänyt päästä. Niinpä sen tuloksia ei käytetty kuin hyvin pärjänneiden yhtiöiden palkitsemiseen.

Vuonna 2005 sääntelyjärjestelmää oli muutettava, jotta se täyttäisi EU:n sille asettamat vaatimukset. Sääntelyjakson pituudeksi määritettiin neljä vuotta aiemman yhden vuoden sijaan. Tosin ensimmäinen valvontajakso oli pituudeltaan vain kolme vuotta ja sijoittui vuosien 2005 - 2007 välille. Tässä valvontamallissa kohtuullisuutta arvioidaan kokonaisuutena ja valvontajakson lopussa valvontapäätös kertoo kuinka paljon valvontajaksona aikana kertynyt tuotto alitti tai ylitti kohtuulliseksi katsotun tuottotason. Ylituotto on palautettava asiakkaalle seuraavan valvontajakson aikana hinnanalennuksien muodossa, kun taas alituotto oikeuttaa hinnan nostoon. Sääntelymallissa on määritetty rajat verkkoliiketoiminnan operatiivisille kuluille, poistoille sekä pääoman tuotolle etukäteen. Myös liiketoiminnan liikevaihdolle on asetettu rajat. Valvontamallissa kulujen lähtötaso on vuosien 2000 - 2003 kulujen

keskiarvo johon tavoitteet on sidottu. Ensimmäisen valvontajakson operatiivisiin kuluihin kohdistuva tehostamistavoite on 1,3 %. (EMV 2004)

4.1 Verkkoliiketoiminnan sääntely

Valvontajaksolla 2008 - 2011 jokaiselle verkonhaltijalle määritetään vuosittain suurin sallittu tuotto. On määritetty raja, jota todellinen oikaistutuotto ei saa koko valvontajakson ajalla ylittää. Ali-/ylituotto oikaistaan seuraavan valvontakauden aikana hinnoittelun kautta. Kuitenkin yksittäisen vuoden ali-/ylituotto voidaan tasata valvontajakson aikana. Kuvassa 6 on esitetty Energiamarkkinaviraston liiketoiminnan valvontamalli ja yli-/alituoton laskenta.



Kuva 6. EMV:n verkkoliiketoiminnalle asettama valvontamalli. (Sähkömarkkinat 2008)

Keskeytyskustannuksilla ja niihin liittyvillä investoinneilla on suuri merkitys valvontamallissa. Investointien vaikutukset näkyvät myös verkon jälleenhankinta-

arvossa sekä verkon keski-iässä. Myös tehokkuusmittauksen ansiosta järkevät investoinnit vaikuttavat sallittuun tuottoon positiivisesti.

Energiamarkkinavirasto ilmoittaa keskeytyskustannusten yhtiökohtaisen referenssitason valvontajaksolle. Referenssitaso määritetään toteutuneiden vuosien 2005-2008 keskeytyskustannusten perusteella. Valvontamallissa sallittua tuottoa laskettaessa keskeytyskustannuksen arvona käytetään toteutuneiden keskeytyskustannusten ja referenssiarvon erotuksen puolikasta, kuitenkin niin ettei se voi vastata yli kymmentä prosenttia kyseisen vuoden verojen jälkeen lasketusta kohtuullisesta tuotosta. Taulukossa 4.1 on esitetty laskentamalli oikaistun tuloksen määrittämiseksi.

Taulukko 4.1. *Laskentamalli oikaistun tuloksen määrittämiseksi. (EMV 2007)*

Liikevoitto (Liiketappio)	
	+ 0,5 * Toteutuneet keskeytyskustannukset
	+ Toteutuneet kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset
	+ Maksetut verkkovuokrat
	+ Suunnitelman mukaiset poistot liikearvosta
	+ Suunnitelman mukaiset poistot sähköverkosta
	+ Taseen kirjattujen palautuskelpoisten liittymämaksujen kertymän nettomuutos (lisäykset-palautukset)
	- 0,5 * Keskeytyskustannusten vertailutaso
	- Tehostamistavoitteen mukaiset kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset
	- Verkon jälleenhankinta-arvosta lasketut vuotuiset tasapoistot
	- Verkkotoiminnan harjoittamisen turvaamiseksi tarvittavasta rahoitusomaisuudesta aiheutuva kustannus
=	Korjattu liikevoitto/-tappio
=	Laskennallinen tulos
	+/- Muut korjaukset
=	Tulos ennen veroja
	- Yhtiölle kuuluvat laskennalliset yhtiöverot
=	Toteutunut oikaistu tulos

Seuraavissa kappaleissa selvitetään tarkemmin sallitun tuoton määrittämisessä tarvittavat verkkotoimintaan sitoutuneen pääoman ja kohtuullisen tuoton laskenta. (EMV 2007) (Sähkömarkkinat 2008)

4.1.1 Verkkotoimintaan sitoutuneen pääoman arvostusperiaatteet

Lähtökohtana verkkotoimintaan sitoutuneen pääoman arvostamisessa on tilinpäätöksen mukainen sähköverkkotoiminnan tase, josta muodostetaan oikaistu tase. Oikaistussa taseessa verkon kirjanpitoarvon sijasta on käytetty verkon nykykäyttöarvoa. Lisäksi oma pääoma sekä korollinen että koroton vieras pääoma on eritelty. Sähköverkon nykykäyttöarvo NKA voidaan määrittää jälleenhankinta-arvon JHA avulla yhtälön 42 mukaan.

$$NKA = \left(1 - \frac{ikä}{pitoaika}\right) \cdot JHA \quad (42)$$

Valvontajakson vaihtuessa pyritään sähköverkon nykyarvon jatkuvuus säilyttämään niin, että verkon nykykäyttöarvoprosentti eli nykykäyttö- ja jälleenhankinta-arvojen välinen suhde pysyy mahdollisimman ennallaan. Toisen valvontajakson nykyarvon laskemiseen tarvitaan verkon ensimmäisen valvontajakson viimeisen vuoden nykykäyttöarvoprosentti $NKA\%$, verkon toisen valvontajakson ensimmäisen vuoden jälleenhankinta-arvo, verkkoon ensimmäisen valvontajakson viimeisen vuoden aikana tehdyt investoinnit INV sekä toisen valvontajakson ensimmäisen vuoden alun verkon jälleenhankinta-arvosta määritelty laskennallinen tasapoisto TP . Toisen valvontajakson ensimmäisen vuoden tasapoisto saadaan laskettua yhtälön 43 mukaan.

$$NKA_{2008} = (JHA_{2008} \cdot NKA\%_{2007}) + INV_{2007} - TP_{2008} \quad (43)$$

Valvontajakson seuraavina vuosina nykykäyttöarvo voidaan laskea edellisen vuoden nykykäyttöarvon, verkko-omaisuudesta tehtävien laskennallisten tasapoistojen sekä edellisen vuoden verkko investointien avulla yhtälön 44 avulla.

$$NKA_a = NKA_{a-1} - TP_{a-1} + INV_{a-1} \quad (44)$$

Edellä olevat yhtälöt kuvaavat nykyarvoa vuoden 2008 rahanarvossa. Jotta arvot saadaan tarkasteluvuoden rahanarvoon, korjataan ne rakennusindeksin RKI avulla. Korjattu nykykäyttöarvo $NKA_{a, korjattu}$ saadaan laskettua yhtälön 45 mukaan. (EMV 2007) (Sähkömarkkinat 2008)

$$NKA_{a, korjattu} = \frac{RKI_{a-1}}{RKI_{2007}} \cdot NKA_t \quad (45)$$

4.1.2 Sallittu tuotto

Verkkoliiketoiminnan sallittu tuotto ST_t määritetään pääoman painotetun keskikustannuksen verkkotoimintaan sitoutuneen oman pääoman määrän E ja korollisen vieraan pääoman määrän D avulla yhtälön 46, jossa t on tarkastelujaksolla voimassa oleva yhteisöverokanta.

$$ST_t = \left(K_{opo} \cdot \frac{E}{D+E} + K_{vpo} \cdot (1-t) \cdot \frac{D}{D+E} \right) \cdot (D+E) \quad (46)$$

Yhtälön 46 kohtuullinen verkkotoimintaan sitoutuneen oman pääoman kustannus K_{opo} lasketaan yhtälön 47 avulla, jossa rk on riskitön korkokanta, $\beta_{velaton}$ velaton beeta-kerroin, rp markkinoiden riskipremio ja lp likvidittömyyspremio.

$$K_{opo} = rk + \beta_{velaton} \cdot \left(1 + (1-t) \cdot \frac{D}{E} \right) \cdot rp + lp \quad (47)$$

Yhtälön 46 kohtuullinen verkkotoimintaan sitoutunut korollinen vieraan pääoman kustannus K_{vpo} voidaan selvittää yhtälön 48 avulla. (EMV 2007) (Sähkömarkkinat 2008)

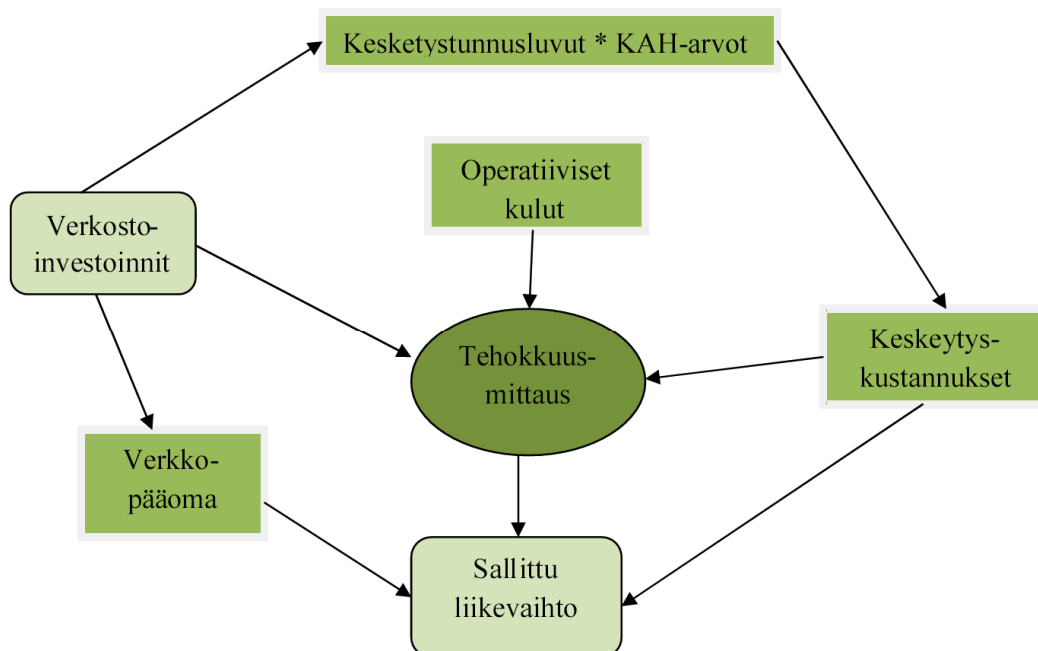
$$K_{vpo} = rk + 0,6\% \quad (48)$$

Liitteessä 2 on esitetty EMV:n toisella valvontajaksolla käyttämiä laskentaparametrejä.

4.2 Tehostamistavoite

Jokaiselle verkonhaltijalle on valvontajakson yhteydessä asetettu yhtiökohtainen tehostamistavoite sekä tuottavuuden kasvun alalla huomioon ottava yleinen tehostamistavoite. Tavoitteen määrittämiseksi tulee arvioida verkonhaltijoiden nykyinen tehostamispotentiaali tehokkuusmittauksien avulla sekä alan tuottavuuden kehitysnusteat. Tehostamistavoitteen tarkoituksena on kannustaa etenkin tehottomia verkonhaltijoita tehokkaaseen toimintaan.

Tehokkuusmittauksien tarkoituksena on selvittää verkonhaltijoiden eroja välillisessä kustannustehokkuudessa ja kunkin yrityksen tehostamispotentiaali suhteessa muihin verkonhaltijoihin. Toiminta on tehokasta, kun toimintaan käytetyt panokset ovat mahdollisimman pienet suhteessa toiminnasta saatavaan tuottoon. Kuvassa 7 on esitetty yksinkertaistettu malli tehokkuusmittauksen periaatteesta.



Kuva 7. Tehokkuusmittaus verkkoliiketoiminnan valvonnassa. (Honkapuro 2006)

Valvontamallissa verkonhaltijan tehokkuutta analysoidaan DEA- ja SFA- mallien avulla käyttämällä näiden kahden menetelmän keskiarvoa tehokkuuslaskennoissa. Näin saadaan mahdollisimman hyvin paikkaansa pitävä tulos tehokkuudesta, sillä kummallakin mallilla on sekä hyvät että huonot puolensa. Molempia malleja pidetään hyvin luotettavina, mutta keskiarvolla saadaan vähennettyä yksittäisestä mallista aiheutuvaa epävarmuutta. Sekä DEA- että SFA- mallissa muuttujat jakautuvat panostekijöihin ja tuotostekijöihin. Panostekijät kuvaavat asiakkaalle aiheutuvaa kokonaiskustannusta ja sisältävät kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset, poistot sekä keskeytyskustannukset. Tulostekijöitä taas ovat sähköverkon kokonaispituus, verkonhaltijan käyttäjämäärä sekä kulutukseen siirretyn energian arvo. Keskeinen ero malleissa on, että SFA- mallissa kustannusfunktio muoto valitaan etukäteen, kun taas DEA- mallissa funktio optimoidaan mittauksessa käytettävän aineiston pohjalta. (EMV 2007) (Honkapuro 2006)

5 NYKYTILAN MÄÄRITYS

Tässä työssä nykytilan määrittäminen tehtiin koko Vaasan Sähköverkko Oy:n jakelualueelle. Tarkastelun kohteina olivat kuormitukset, häviöt, jännitteenalenemat, vikavirrat sekä keskeytykset. Nykytilan määrittäminen aloitettiin tarkastelemalla alkutietojen oikeellisuutta.

Ennen verkkotietojärjestelmä Xpowerilla suoritettavaa tehonjakoa, päivitettiin asiakkaiden tyyppikulutuskäyriä. Asiakastietojärjestelmä Ellarexista haettiin käyttöpaikkatiedot excel-tilaukseen, jossa käyttöpaikan osoitteen, kulutuksen ja kuluttajan avulla päätettiin oikea tyyppikulutuskäyrä jokaiselle käyttöpaikalle. Tämän lisäksi noin 2500 käyttöpaikalta puuttui kokonaan tyyppikulutuskäyrä, jotka määritettiin ja lisättiin taulukkoon.

Kun uudet ja päivitettyt kulutuskäyrät saatiin Ellarexiin, tiedot siirrettiin Xpoweriin siirtotiedoston avulla. Siirrettäessä tiedot kohdistettiin käyttöpaikkanumeron avulla oikeisiin sähköliittymiin vtj:ssä. Tarkoituksena tästä lähtien on siirtää uudet ja päivitettyt tiedot Ellarexista Xpoweriin säännöllisin väliajoin (esim. kerran viikossa). Tietoja siirrettäessä tuli ilmi myös joukko liittymiä, joita ei löytynyt Xpowerista. Nämä liittymät tulee lisätä Xpoweriin, jotta ne voitaisiin ottaa huomioon verkkoa suunniteltaessa.

Tällä hetkellä kuormituskäyriä käytetään kahdesta tyyppikäyräkirjastosta SLYIND94:stä sekä SLYIND2004:stä, mutta tästä lähtien tarkoituksena on käyttää ainostaan jälkimmäistä. Samalla käytettävien tyyppikulutuskäyrien määrää pienennettiin ja ne nimettiin niin, että käyrien valinta olisi mahdollisimman helppoa. Alkuperäisestä 50 käytetystä käyrästä saatiin poistamalla ja yhdistämällä 40 käyrää. Taulukossa 5.1 on esitetty uudet käyrät ja niiden määritelmät.

Taulukko 5.1. Vaasan Sähköverkko Oy:ssä käytettävät kuormituskäyrät ja niiden määritelmät.

120	Omakotitalo, suorasähkölämmitys
300	Omakotitalo, varaava sähkölämmitys
400	Omakotitalo, lämpöpumppulämmitys
510	Omakotitalo, kaksoislämmitys, 1-tariffi
520	Omakotitalo, kaksoislämmitys, 2-tariffi
601	Omakotitalo, ei sähkölämmitystä
602	Omakotitalo, ei sähkölämmitystä, sähkökiuas
611	Rivitalo- tai kerrostaloasunto, ei sähkölämmitystä
612	Rivitalo- tai kerrostaloasunto, ei sähkölämmitystä, sähkökiuas
711	Karja- ja maitotalous
714	Karja- ja maitotalous, asuminen mukana, sähkölämmitys, sähkökiuas
721	Lihantuotanto ja turkistarhaus
732	Kasvintuotanto
735	Kasvihuoneet
1010	Rivi- tai kerrostalokiinteistö, ei asuntoja mukana, työmaakeskukset
1020	Rivi- tai kerrostalokiinteistö, asunnot mukana
1030	Rivitaloasunto, sähkölämmitys
1120	Loma-asunto
810430	Teollisuus, 1-vuoro, tekstiiliteollisuus
810440	Teollisuus, 1-vuoro, puutavaran valmistus
810452	Teollisuus, 1-vuoro, painotalot
810460	Teollisuus, 1-vuoro, kemianteollisuus
810480	Teollisuus, 1-vuoro, metalliteollisuus
820420	Teollisuus, 2-vuoro, elintarviketeollisuus
820430	Teollisuus, 2-vuoro, tekstiiliteollisuus
820460	Teollisuus, 2-vuoro, kemianteollisuus
820480	Teollisuus, 2-vuoro, metalliteollisuus
830400	Teollisuus, 3-vuoro, pumppaamot, GSM-tukiasemat
910810	Virastot ja konttorit (pankit ja vakuutuslaitokset)
910820	Koulut ja päiväkodit
910821	Suuret oppilaitokset
910830	Sairaalat ja terveydenhuolto
920610	Tukkukauppa, kuljetusliikkeet, varastot, autokorjaamot
920622	Tavaratalot ja marketit
920623	Vähittäiskauppa
920631	Huoltoasemat
920632	Autokaupat
920640	Hotellit ja majoituspaikat
920650	Kahvilat ja ravintolat
920670	Vapaa-ajan palvelut

Vaasan Sähköverkko Oy:ssä asiakaspalvelu täyttää asiakastiedot Ellarex-asiakastietojärjestelmään. Asiakaspalvelun työntekijät ohjeistettiin uudelleen, jotta tyyppikulutusikäyrät saataisiin pysymään mahdollisimman hyvin tilanteen tasalla ilman suurempia lisätöitä. Tästä lähtien tyyppikuormitusikäyrä lisätään aina uuteen

käyttöpaikkaan sekä päivitetään aina asiakkaan vaihtuessa ja asiakkaan ilmoittaessa kulutuksen muutoksista.

Vaasan Sähköverkolla on käynnissä mittarointiprojekti, jonka tavoitteena on asentaa etäluettavat mittarit kaikille käyttöpaikoille vuoden 2009 loppuun mennessä. Etäluennalla saatavat tuntisarjat voidaan siirtää Xpowerin, jolloin laskenta tarkentuu huomattavasti. Tämän työn tehonjakolaskentaan saatiin mukaan noin 280 asiakkaan tuntisarjat.

5.1 Kuormitukset

Kuormituksen nykytilan määrittämiseen apuna on käytetty verkkotietojärjestelmästä ja sähköasemien mittauksista saatuja kuormituksen huipputehoja ja -virtoja.

5.1.1 Päämuuntajien kuormitukset

Taulukossa 5.2 on esitetty päämuuntajien kuormitusten laskennalliset sekä mitatut huipputehot ja -virrat sekä lasketun ja mitatun arvon suhde.

Taulukko 5.2. Päämuuntajien laskennalliset ja mitatut kuormitukset.

Sähköasema	Muuntaja	Laskettu huipputeho [MW]	Mitatettu huipputeho [MW]	Laskettu/mitattu teho	Laskettu huippuvirta [A]	Mitatettu huippuvirta [A]	Laskettu/mitattu virta
Gerby	PT2	24,4	30,5	80 %	718	855	84 %
Karvsor	PT1	1,1	0,95	116 %	34	31	110 %
Korsnäs	PT1	16	20,4	78 %	483	570	85 %
Maalahti	PT1	11,3	15,4	73 %	335	429	78 %
Miettylä	PT1	5,9	7,56	78 %	177	205	86 %
Mäkipää	PT1	4,5	5,5	82 %	130	158	82 %
Petolahti	PT1	6,3	8,9	71 %	189	251	75 %
Purola							
	PT1	15,5	16,4	95 %	465	480	97 %
	PT2	17,2	18	96 %	535	505	106 %
Ratikylä	PT1	7,4	8,6	86 %	225	245	92 %
Ristinummi	PT1	19,1	21,3	90 %	571	608	94 %
Strömberg	PT1	25,2	25,4	99 %	774	765	101 %
Tuovila	PT1	7,6	9,4	81 %	223	264	84 %
Vaasan Asema							
	PT1	19,2	18,6	103 %	614	626	98 %
	PT2	15	19,9	75 %	416	563	74 %
Vaskiluoto	PT1	5,7	7,4	77 %	166	210	79 %

Edellisestä taulukosta 5.2 voidaan huomata, että laskennallinen teho/virta voi poiketa huomattavasti todellisesta mitatusta arvosta. Niinpä tässä työssä tehonjakolaskennassa ja korvaustarkastelussa käytettiin kertoimia, joilla päästiin lähimmäs todellisia mitattuja arvoja. Taulukossa 5.3 on esitetty käytetyt kertoimet päämuuntajittain.

Taulukko 5.3. *Laskennassa käytetyt kertoimet.*

Sähköasema	Muuntaja	Kerroin
Gerby	PT2	1,2
Karvsor	PT1	1,0
Korsnäs	PT1	1,3
Maalahti	PT1	1,3
Miettylä	PT1	1,3
Mäkipää	PT1	1,2
Petolahti	PT1	1,4
Purola		
	PT1	1,0
	PT2	1,0
Ratikylä	PT1	1,2
Ristinummi	PT1	1,1
Strömberg	PT1	
Tuovila	PT1	1,2
Vaasan Asema		
	PT1	1,0
	PT2	1,3
Vaskiluoto	PT1	1,3

Sähköasemien päämuuntajien huippukuorman aikaiset tehot, virrat ja kuormitusasteet on esitetty taulukossa 5.4.

Taulukko 5.4. Päämuuntajien huipputehot, -virrat sekä kuormitusasteet.

Sähköasema	Muuntaja	Kerroin	Kuormituksen huipputeho [MW]	Kuormituksen huippuvirta [A]	Kuormitusaste [%]
Gerby	PT2	1,2	29,35	861	98
Karvsor	PT1	1,0	1,12	34	19
Korsnäs	PT1	1,3	20,77	628	90
Maalahti	PT1	1,3	14,70	435	98
Miettylä	PT1	1,3	7,63	231	51
Mäkipää	PT1	1,2	5,34	155	55
Petolahti	PT1	1,4	8,87	264	59
Purola					
	PT1	1,0	15,53	465	55
	PT2	1,0	17,20	535	60
Ratikylä	PT1	1,2	8,89	270	60
Ristinummi	PT1	1,1	21,00	628	90
Strömberg	PT1	1,0	25,16	774	88
Tuovila	PT1	1,2	9,10	268	60
Vaasan Asema					
	PT1	1,0	19,16	614	69
	PT2	1,3	19,55	600	68
Vaskiluoto	PT1	1,3	7,38	215	76

Taulukosta 5.4 voidaan huomata neljän aseman olevan huippukuormassaan yli 90 % kuormitusasteella. Kuitenkin on otettava huomioon, että taulukossa käytetty huipputeho on huippulukema, joka voi kestoltaan olla vain hetkellinen. Tilannetta helpottaa huippujen osuminen vuoden kylmimmille päiville. Esimerkiksi -20°C pakkasessa muuntajaa voidaan väliaikaisesti kuormittaa 130 % kuormitusasteella. Vaasan Sähköverkko Oy omistaa 20 % osan Karvsorin sähköaseman päämuuntajasta. Taulukosta 5.4 ilmenee, että huippukuorman aikana 20 % osuus on lähes kokonaan käytössä.

5.1.2 Lähtöjen kuormitukset

Kj-lähtöjen kuormitukset selvitettiin ensin verkkotietojärjestelmän laskennan avulla, jonka jälkeen tuloksia verrattiin mittaustietoihin. Jotta tiedot olisivat mahdollisimman totuudenmukaisia, suurimmat poikkeamat isoissa virroissa korjattiin laskennassa käyt-

tämällä kerrointa. Kerroin ei kuitenkaan muuta tulosta täysin oikeaksi, sillä se olettaa virheen jakautuvan koko johtolähdölle tasaisesti.

Taulukossa 5.5 on esitetty Gerbyn sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.5. Gerbyn sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Ker- roin	K-aste [%]	Suurin jännitteen- alenema [%]	Laskettu huippu- virta [A]	Mitattu huippu- virta [A]	Lasken- nallisen ja mitatun virran erotus [A]	Lasken- nallinen/ mitattu virta	Huippu- teho [kW]
J07 Replot	1,2	63	4,37	182	188	6	97 %	6160
J01 Inkommande	1,2		4,37	175				5708
J02 Fjällskär	1,2		7,3	156				5056
J03 Köklot	1,2		5,2	17				583
J01 Inkommande	1,1		0,3	148				4498
J04 Björkö	1,1		3,5	31	31	0	100 %	430
J06 Industri	1,1		0,3	23	21	-2	110 %	33
J07 Kyrkoby	1,1		0,9	36	43	7	84 %	493
J08 Valgrund	1,1		3,3	58	59	1	98 %	987
J04 Gerby	1,6	87	1,6	251	254	3	99 %	8517
J05 Vestervik		57	2,03	193	136	-57	142 %	6578
J06 Singsby	1,2	33	2,09	111	110	-1	101 %	3766
J09 Halkbana	1,5	26	0,54	74	72	-2	103 %	2594
J10 Jungsund		25	3,59	82	86	4	95 %	2755

Gerbyn sähköaseman usean lähdön liian pientä laskennallista huippuvirtaa suurennettiin käyttämällä laskennassa kerrointa. Aseman kuormituspainopiste löytyy Gerbyn ja Vestervikin vierekkäisiltä asuinalueilta. Sähköaseman alueella on paljon loma-asutusta sekä saaristoa, jonka vaikutuksesta lähtöjen pituudet ovat suuria. Esimerkiksi lähtö J07 Replot on pituudeltaan noin 230 km. Lähdöltä löytyy kaksi kytkinasemaa sekä jännitteenkorotusmuuntaja, jotta saadaan keskeytyksien vaikutus minimoitua sekä jännitteenalenemat mahdollisimman pieninä. Suurimmillaan jännitteenalenema on 7,3 % Alskatin kytkinaseman lähdöllä J02 Fjällskär johto-osan loppupäässä. Kyseinen lähtö syöttää Raippaluodon kytkinaseman jännitteenkorotusmuuntajaa. Lähdön J04 Gerby kuormitusaste on kohtuullisen korkea 87 %. Tilanne ei ole vakava, sillä lähtö ei ole korvaustilanteissa oleellinen.

Taulukossa 5.6 on esitetty Ristinummen sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.6. Ristinummen sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Ker- roin	K-aste [%]	Suurin jännitteen- alenema [%]	Lasket- tu huip- pu-virta [A]	Mitattu huippu- virta [A]	Lasken- nallisen ja mitatun virran erotus [A]	Lasken- nallinen/ mitattu virta	Huippu- teho [kW]
J09 Kvevlax		62	3,57	122	135	13	90 %	4126
J02 Centrum			4,00	43	47	4	91 %	1394
J03 Pölsviken			3,60	7	7	0	100 %	234
J04 Hankmo	1,2		6,5	66	65	-1	102 %	2168
J06 Korsnästä			3,60	105				3451
J06 Smedsby	1,3	58	1,15	153	167	14	92 %	5126
J07 Vattenverk	1,2	70	1,6	134	139	5	96 %	4389
J08 Korsnäståget		60	0,92	174	121	-53	144 %	5637
J10 Fågelberg	1,3	27	1,12	88	88	0	100 %	3026
J12 Toby		1	0,01	4				104
J13 Nyåkers		50	0,68	121	135	14	90 %	3980

Ristinummen sähköaseman kuormituksen painopiste on aseman läheisyydessä olevilla asuinalueilla. Aseman lähdöt ovat suhteellisen lyhyitä ja kaapeloituja lukuun ottamatta lähtöä J09 Kvevlax, jolle pituutta kertyy kokonaisuudessaan noin 105 km. Lähdöllä J09 Kvevlax sijaitsee Koivulahden kytkinasema, jossa lähtö jakautuu kolmeen. Aseman lähtöjen jännitteenalenemia tarkasteltaessa voidaan huomata arvojen olevan merkittäviä ainoastaan pitkällä lähdöllä J09 Kvevlax. Koivulahden kytkinasemalle tultaessa jännitteenaleneman arvo on noin 3,6 %. Suurimmaksi jännitteenalenema nousee kytkinaseman lähdon J04 Hankmo loppupäässä, jossa se on pahimmillaan 6,5 %. Jännitteenalenema ylittää 5 % melkein kaikkialla 82 km pituisella lähdöllä J04 Hankmo. Korkein kuormitusaste on 70 % ja löytyy lähdöltä J07 Vattenverk.

Taulukossa 5.7 on esitetty Karvsorin sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.7. Karvsorin sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Laskettu huippu-virta [A]	Mitattu huippu-virta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huippu-teho [kW]
J07 Vörå	9	0,09	25	31	6	81 %	805
J08 Mäkipää	4	0,37	12				407

Karvsorin sähköasema on yhteiskäytössä Herrfors Nät-Verkko Oy:n kanssa. Vaasan Sähköverkko Oy omistaa asemasta 20 %. Aseman kahden lähdön kuormitusasteet ja jännitteenalenemat ovat hyvin pieniä.

Taulukossa 5.8 on esitetty Mäkipään sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.8. Mäkipään sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Ker-roin	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Lasket-tu huip-pu-virta [A]	Mitattu huippu-virta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huippu-teho [kW]
J02 Rökiö	1,4	29	1,53	80	83	3	96 %	2713
J03 Lotlax		3	0,21	9	20	11	45 %	312
J06 Centrum		21	0,92	58	57	-1	102 %	1929
J07 Södra		8	0,71	18	36	18	50 %	635

Mäkipään aseman kuormituksen keskipiste sijaitsee vanhan Vöyrin kunnan keskustassa. Lähdöistä korjauserrointa käytettiin vain yhdellä lähdöllä, sillä muiden lähtöjen virrat olivat suhteellisen pieniä. Lähtöjen kuormitusasteet pysyvät alle 30 %:ssa sekä jännitteenalenemat alle 1,53 %:ssa.

Taulukossa 5.9 on esitetty Vaasan Aseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.9. Vaasan Aseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Sähkö- asema	Ker- roin	Käyttö- aste [%]	Suurin jännitteen- alenema [%]	Laskettu huippu- virta [A]	Mitattu huippu- virta [A]	Lasken- nallisen ja mitatun virran erotus [A]	Lasken- nallinen/ mitattu virta	Huippu- teho [kW]
J06 Sairaala	VSA		47	0,57	137	130	-7	105 %	4303
J07 VSOy	VSA	1,2	49	0,39	143	149	6	96 %	4352
J08 Övis	VSA	1,1	47	0,36	136	145	9	94 %	4225
J09 Tele	VSA		61	0,58	177	171	-6	104 %	5602
J10 VR	VSA		10	0,06	34	23	-11	148 %	1086
J12 Kenkä t kuja	VSA	1,7	28	0,21	79	85	6	93 %	2457
J15 Wärtsilä teh.	VSA		50	0,17	145	103	-42	141 %	4699
J16 Vöyrinkaupunki	VSA		17	0,15	48	47	-1	102 %	1568
J17 Metpu	VSA		50	0,72	127	126	-1	101 %	4160
J18 VTLA	VSA		45	0,38	148	100	-48	148 %	4818
J19 Vatol	VSA	1,7	37	0,29	106	111	5	95 %	3452

Jotta Vaasan Aseman tehonjakolaskenta saatiin mahdollisimman todenmukaiseksi, jouduttiin muutaman lähdön laskennassa käyttämään kohtalaisen suuria korjauskertoimia. Vaasan Aseman lähdöt ovat lähes kokonaan maakaapeloituja. Vaasan Aseman lähtöjen jännitteenalenemat jäävät reilusti alle yhteen prosenttiin eivätkä kuormitusasteetkaan nouse korkeammillaan kuin 61 %:iin.

Taulukossa 5.10 on esitetty Vaskiluodon kytkinaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.10. Vaskiluodon kytkinaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Sähkö- asema	Käyttö- aste [%]	Suurin jännitteen- alenema [%]	Laskettu huippu- virta [A]	Mitattu huippu- virta [A]	Lasken- nallisen ja mitatun virran erotus [A]	Lasken- nallinen/ mitattu virta	Huippu- teho [kW]
J04 Sundom	VSL		1,37	83	112	29	74 %	2853
J06 Neste	VSL		0,03	27	30	3	90 %	896
J07 Frilundin	VSL		0,02	12	29	17	41 %	413
J08 Elverken	VSL		0,03	19	29	10	66 %	674
J09 EPV	VSL	44	0,10	166				5680
J12 Oljeham	VSL		0,07	63	82	19	77 %	2110

Vaskiluodon kytkinaseman lähdöillä ei käytetty korjauskertoimia, sillä lähtöjen virrat ovat suhteellisen pieniä. Lähtöjen kuormitusasteet pysyvät alle 45 %:ssa sekä jännitteenalenemat alle 1,5 %:ssa.

Taulukossa 5.11 on esitetty Purolan sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.11. *Purolan sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.*

Lähtö	Sähkö- asema	Ker- roin	Käyttö- aste [%]	Suurin jännitteen- alenema [%]	Laskettu huippu- virta [A]	Mitattu huippu- virta [A]	Lasken- nallisen ja mitatun virran erotus [A]	Lasken- nallinen/ mitattu virta	Huippu- teho [kW]
J03 Metsäkallio	PRL		4	0,03	14	20	6	70 %	492
J04 Vapenbröd	PRL	1,5	73	0,89	212	218	6	97 %	6995
J05 Teeriniemi	PRL		42	0,44	122	122	0	100 %	4081
J06 Gamla Vasa	PRL		42	0,58	108	80	-28	135 %	3464
J08 Klemetsö	PRL	1,9	58	0,48	168	174	6	97 %	5416
J15 Bobäck	PRL		54	0,96	179	198	19	90 %	5833
J16 Högbacken	PRL		23	0,36	56		-56		1863
J19 Ammattikoulu	PRL		27	0,22	80	82	2	98 %	2544
J20 Ruutikellari	PRL		66	0,90	218	132	-86	165 %	6790
J21 Hemstrand	PRL		53	1,06	173	122	-51	142 %	5860

Purolan sähköaseman lähdöistä lähes kaikki on maakaapeloitu 100 %:sti ja kuormitus jakautuu suhteellisen tasaisesti lähtöjen koko pituudelle. Tehtäessä tehonjakoa jouduttiin kahdella lähdöllä käyttämään kertoimia tulosten oikaisemiseksi. Purolan sähköaseman jännitteenalenemat nousevat korkeimmillaan vain 1,06 %. Kuormitettavuus sen sijaan nousee korkeimmillaan yli 70 % lähdöllä J04 Vapenbröd.

Taulukossa 5.12 on esitetty Strömbergin sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.12. Strömbergin sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Kerroin	K-aste [%]	Suurin jännitteenalennema [%]	Laskettu huippu-virta [A]	Mitattu huippu-virta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J05 Element fabr.	1,8	37	0,52	106	107	1	99 %	3508
J06 Runsor In		78	2,32	225	197	-28	114 %	7363
J09 Sunnanvik		43	0,76	124	128	4	97 %	3931
J10 Melaniemi		18	0,22	52	61	9	85 %	1721
J23 Strömberg 1		144	0,41	415	318	-97	131 %	13106

Suurin osa Strömbergin aseman lähdöistä on maakaapeloitu kokonaisuudessaan. Lähtöjen kuormitusten painopisteet ovat suuret teollisuuslaitokset sekä muutama asuinalue. Tehonjaon tuloksista voidaan huomata, että lähtöjen jännitteenalennemat pysyvät reilusti hyväksyttävien rajojen alapuolella. Kuormitusasteet nousevat kahdella lähdöllä korkeiksi, mutta tuloksessa on otettava huomioon, että laskennassa saatu kuorma on todellista mitattua kuormaa pienempi. Lisäksi Xpowerin laskenta summaa lähdöt Strömberg 1 ja 2 yhden lähdön J23 Strömberg 1 tuloksiin. Joten kun tulos jaetaan kahdelle lähdölle, kuormitettavuusaste laskee reilusti alle 100 prosenttiin.

Taulukossa 5.13 on esitetty Tuovilan sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.13. Tuovilan sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.

Lähtö	Kerroin	K-aste [%]	Suurin jännitteenalennema [%]	Laskettu huippu-virta [A]	Mitattu huippu-virta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J04 Helsingby	1,3	46	5,61	129	132	3	98 %	4337
J05 Rimal		11	0,49	33	36	3	92 %	1111
J06 Höstves		6	0,39	17	17	0	100 %	552
J07 Voitby		27	3,98	79	87	8	91 %	2700

Tuovilan sähköaseman lähdöt ovat maaseutulähtöjä. Kahden pisimmän lähdön jännitteenalennemat nousevat useampaan prosenttiin, lähdöllä J04 Helsingby 5,6 %:iin ja lähdöllä J07 Voitby noin 4 %:iin. Kuormitusasteet lähdöillä pysyvät alle 50 %:ssa.

Taulukossa 5.14 on esitetty Miettylän sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.14. *Miettylän sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.*

Lähtö	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Laskettu huippuvirta [A]	Mitattu huippuvirta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J04 Ylipää	14	0,52	43	52	9	83 %	1463
J05 Peltomaa	14	3,67	35	38	3	92 %	1160
J06 Alapää	14	1,81	39	48	9	81 %	1297
J07 Kirkonkylä	33	0,97	72	80	8	90 %	2284
J08 Vähäkyrö	15	0,09	30	32	2	94 %	985

Miettylän aseman lähtöjen tehonjakoa tehdessä ei tarvinnut käyttää kertoimia, sillä laskettujen ja mitattujen virtojen erot olivat vähäisiä ja jännitteenalenemat sekä kuormitusasteet pieniä. Ainostaan pitkällä Peltomaan lähdöllä jännitteenalenema nousi 3,67 prosenttiin. Kuormitusasteiltaan lähdöt ovat noin 15 %:n kuormassa lukuun ottamatta Laihian keskustaa syöttävää lähtöä J07 Kirkonkylän, jonka kuormitusaste on 33 %.

Taulukossa 5.15 on esitetty Ratikylän sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.15. *Ratikylän sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.*

Lähtö	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Laskettu huippuvirta [A]	Mitattu huippuvirta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J02 Asema	6	0,09	15	22	7	68 %	498
J04 Hulmi	17	0,64	46	53	7	87 %	1516
J06 Keskusta	28	0,65	74	70	-4	106 %	2403
J08 Paukku	24	0,59	63	65	2	97 %	2077
J10 Vedenoja	12	0,32	32	35	3	91 %	1054

Ratikylän aseman lähtöjen tehonjako suoritettiin ilman kertoimia, sillä mitatut ja lasketut virrat, joko täsmäivät hyvin tai virrat ovat suuruudeltaan pieniä, kuten lähdöllä

J02 Asema vain 22 A. Ratikylän lähtöjen jännitteenalenemat ovat reilusti alle yhden prosentin ja kuormitusasteet alhaisia.

Taulukossa 5.16 on esitetty Maalahden sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.16. *Maalahden sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.*

Lähtö	Kerroin	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Laskettu huippuvirta [A]	Mitattu huippuvirta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J04 Almedahl		26	0,90	56	72	16	78 %	1878
J05 Vias		52	2,95	133	136	3	98 %	4475
J06 Åminne		6	0,13	12	17	5	71 %	413
J07 Bofjärden	2,2	64	2,75	161	163	2	99 %	5400
J08 Söderfjärden	1,2	51	5,13	146	146	0	100 %	4906

Maalahden aseman lähdöistä J07 Bofjärden lähdön kuormitusaste on suurin 64 %. Kolmella lähdöllä jännitteenalenema nousee useampaan prosenttiin, lähdöllä J05 Vias 2,95 %:iin, lähdöllä J07 Bofjärden 2,75 %:iin ja lähdöllä J08 Söderfjärden 5,13 %:iin.

Taulukossa 5.17 on esitetty Petolahden sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.17. *Petolahden sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.*

Lähtö	Kerroin	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Laskettu huippuvirta [A]	Mitattu huippuvirta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J07 Häggvik	1,1	22	4,76	63	64	1	98 %	2147
J08 Bjurbäck		1	0,02	3				91
J09 Petalax centrum	1,6	67	6,55	140	139	-1	101 %	4608
J10 Nyby	2,3	36	3,82	104	107	3	97 %	3421

Petolahden aseman lähtöjen tehonjakoa tehtäessä jouduttiin käyttämään kerrointa kolmella lähdöllä. Näillä kolmella lähdöllä jännitteenalenemat ovat suhteellisen korkeita, lähdöllä J07 Häggvik 4,76 %, lähdöllä J09 Petalax Centrum 6,55 % ja lähdöllä

J10 Nyby 3,82 %. Kuormitusasteet ovat taas alhaisia muilla paitsi lähdöllä J09 Petalax Centrum, jolla se on 67 %. Kuormitusaste on aika suuri otettaessa huomioon, että Petolahden asema on hyvin tärkeässä asemassa Korsnäsin ja Maalahden asemien korvaustilanteissa.

Taulukossa 5.18 on esitetty Korsnäsin sähköaseman johtolähtöjen tehonjaon tulokset.

Taulukko 5.18. *Korsnäsin sähköaseman lähtöjen tehonjaon tulokset.*

Lähtö	Kerroin	K-aste [%]	Suurin jännitteenalenema [%]	Laskettu huippu-virta [A]	Mitattu huippu-virta [A]	Laskennallisen ja mitatun virran erotus [A]	Laskennallinen/mitattu virta	Huipputeho [kW]
J04 Harrström	1,1	49	6,42	140	146	6	96 %	4700
J05 Tuväng		21	2,26	59	65	6	91 %	1969
J06 Svartnäs	1,5	13	2,84	30	32	2	94 %	1026
J09 Korsbäck	1,4	35	4,52	104	110	6	95 %	3380
J10 Korsnäs	1,9	51	4,41	175	180	5	97 %	5740
J11 Träskböle	1,4	65	5,07	215	215	0	100 %	6753

Korsnäsin aseman tehonjakoa tehtäessä jouduttiin käyttämään suuria kertoimia lähes jokaiselle lähdölle. Aseman kaikkien lähtöjen jännitteenalenemat ovat kohtuullisen suuria 2,26 %:sta jopa 6,42 %:iin. Kuormitusasteiltaan kaikki lähdöt ovat alle 65 %.

5.2 Häviöt ja niistä aiheutuvat kustannukset

Nykytilan määrittämisen yhtenä osana määritettiin muuntajille ja lähdöille verkkotietojärjestelmän laskennan avulla häviötehon ja -energian määrät sekä häviöistä aiheutuvat kustannukset.

Taulukossa 5.19 on esitetty sähköasemien muuntajien häviöiden suuruus ja niiden aiheuttamat kustannukset. Muuntajan häviöt syntyvät kuormitus- ja tyhjäkäyntihäviöistä. Kuormitushäviöt ovat riippuvaisia kuormasta, kun taas tyhjäkäyntihäviöt pysyvät vakiona kuormasta riippumatta.

Taulukko 5.19. Päämuuntajien häviöt sekä niistä aiheutuvat kustannukset sähköasemittain.

Sähköasema	Muuntaja	Häviöteho [kW]	Häviöenergia [MWh]	Häviökustannus [€/a]
Gerby	PT2	115,28	180,85	10127
Karvsor	PT1	10,63	76,61	4290
Korsnäs	PT1	111,25	199,60	11177
Maalahti	PT1	94,06	135,32	7578
Miettylä	PT1	26,29	131,19	7346
Mäkipää	PT1	30,34	104,80	5868
Petolahti	PT1	45,42	125,71	7040
Purola				
	PT1	71,35	315,17	17649
	PT2	71,29	217,62	12186
Ratikylä	PT1	42,02	113,62	6362
Ristinummi	PT1	112,89	210,97	11814
Strömberg	PT1	129,33	251,46	14081
Tuovila	PT1	41,76	103,41	5791
Vaasan Asema				
	PT1	87,19	235,96	13213
	PT2	66,95	170,21	9531
Vaskiluoto	PT1	44,97	85,39	4781

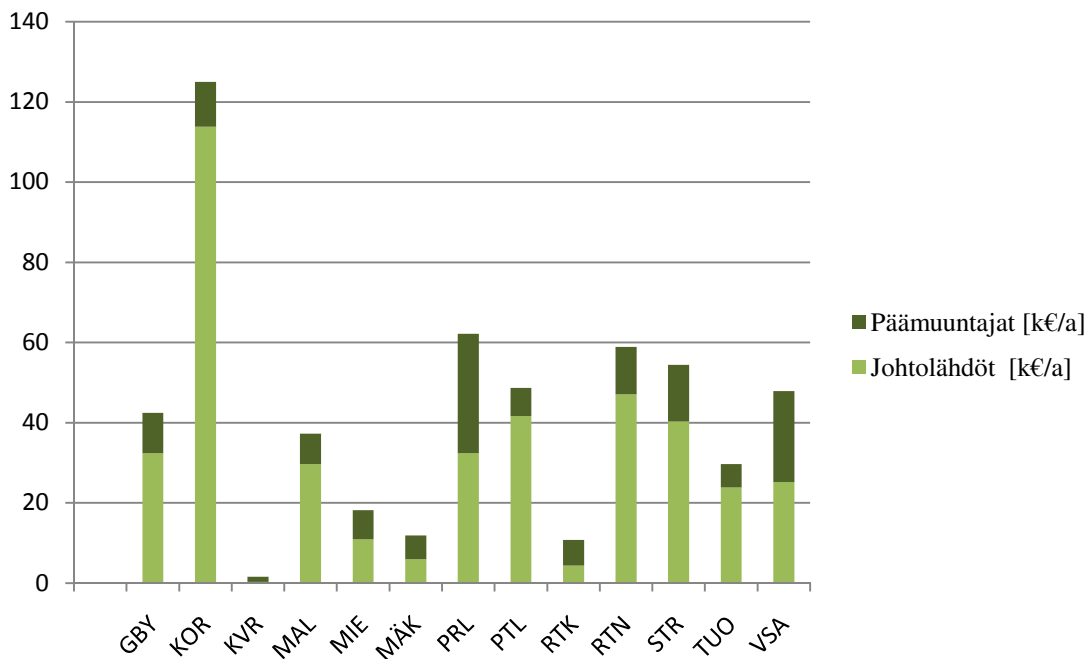
Aina energia paikasta toiseen siirrettäessä syntyy häviöitä johtimen/kaapelin poikkipinnasta riippuen. Taulukossa 5.20 on esitetty kj-lähtöjen häviöiden suuruudet sekä vuotuiset häviökustannukset lähdeittäin. Häviökustannus on ilmoitettu myös jokaiselle lähdölle €/km muodossa.

Taulukko 5.20. Kj-lähtöjen häviöt ja niistä aiheutuvat kustannukset.

Lähtö	Sähkö- asema	Häviöteho [kW]	Häviöenergia [MWh]	Häviökustannus	
				[€/a]	[€/km,a]
J04 Gerby	GBY	93,70	190,1	10645	1033
J05 Vestervik	GBY	91,00	151,0	8456	276
J06 Singsby	GBY	50,10	103,0	5769	251
J07 Replot	GBY	4,20	10,2	569	3
J09 Halkbana	GBY	11,32	22,1	1239	238
J10 Jungsund	GBY	56,00	101,3	5672	105
J04 Harrström	KOR	228,84	669,2	37473	589
J05 Tuväng	KOR	34,08	98,3	5507	266
J06 Svartnäs	KOR	19,93	51,3	2874	78
J09 Korsbäck	KOR	95,08	261,4	14639	501
J10 Korsnäs	KOR	185,81	585,3	32779	1599
J11 Träskböle	KOR	128,38	366,5	20522	2359
J07 Vörå	KVR	0,71	3,4	187	208
J08 Mäkipää	KVR	0,85	2024,0	125	5
J04 Almedahl	MAL	15,04	42,3	2368	376
J05 Vias	MAL	74,15	132,5	7417	110
J06 Åminne	MAL	0,32	0,7	40	3
J07 Bofjärden	MAL	117,59	57,0	3191	114
J08 Söderfjärden	MAL	150,46	298,4	16710	195
J04 Ylipää	MIE	4,70	12,9	722	21
J05 Peltomaa	MIE	29,19	87,9	4919	58
J06 Alapää	MIE	12,01	28,7	1605	25
J07 Kirkonkylä	MIE	21,51	63,8	3570	793
J08 Vähäkyrö	MIE	0,82	1,7	95	79
J02 Rökiö	MÄK	22,21	61,6	3447	74
J03 Lotlax	MÄK	0,21	0,4	1,07	0
J06 Centrum	MÄK	14,90	37,9	2122	204
J07 Södra	MÄK	2,89	7,0	394	12
J03 Metsäkallio	PRL	0,14	0,2	11	4
J04 Vapenbröd	PRL	44,90	112,8	6318	679
J05 Teeriniemi	PRL	14,14	13,2	736	121
J06 Gamla Vasa	PRL	13,84	19,3	1081	174
J08 Klemetsö	PRL	15,78	42,3	2369	640
J15 Bobäck	PRL	34,06	54,5	3053	268
J16 Högbacken	PRL	5,17	13,5	753	145
J19 Ammattikoulu	PRL	4,02	12,5	699	233
J20 Ruutikellari	PRL	50,43	78,2	4380	466
J21 Hemstrand	PRL	50,34	231,8	12981	1273
J07 Häggvik	PTL	63,50	148,3	8305	127

Lähtö	Sähkö- asema	Häviöteho [kW]	Häviöenergia [MWh]	Häviökustannus	
				[€/a]	[€/km,a]
J09 Petalax centrum	PTL	198,77	461,4	25837	762
J10 Nyby	PTL	62,96	134,4	7526	95
J02 Asema	RTK	0,30	0,7	41	11
J04 Hulmi	RTK	7,09	17,7	993	69
J06 Keskusta	RTK	12,77	38,9	2180	341
J08 Paukku	RTK	9,57	17,0	953	111
J10 Vedenoja	RTK	2,14	4,1	227	16
J06 Smedsby	RTN	45,00	70,3	3935	307
J07 Vattenverk	RTN	62,29	344,7	19300	6655
J08 Korsnäståget	RTN	38,61	50,3	2817	297
J09 Kvevlax	RTN	134,79	283,6	15884	150
J10 Fågelberg	RTN	23,22	43,8	2451	272
J12 Toby	RTN	0,04	0,3	15	2
J13 Nyåkers	RTN	18,71	48,2	2699	428
J05 Element fabr.	STR	13,32	42,4	2375	270
J06 Runsor In	STR	132,03	443,3	24823	1644
J09 Sunnanvik	STR	20,98	73,0	4087	417
J10 Melaniemi	STR	2,55	3,0	168	28
J23 Strömberg 1	STR	50,86	157,7	8833	1402
J04 Helsingby	TUO	159,23	320,7	17956	328
J05 Rimal	TUO	2,95	5,0	277	18
J06 Höstvesi	TUO	1,95	2,5	139	10
J07 Voitby	TUO	55,82	99,3	5560	81
J06 Sairaala	VSA	18,29	71,0	3973	828
J07 VSOy	VSA	11,18	19,6	1098	366
J08 Övis	VSA	11,80	41,0	2296	765
J09 EPV	VSA	36,01	95,0	5317	110
J09 Tele	VSA	26,01	96,0	5374	1581
J10 VR	VSA	0,54	1,6	88	42
J12 Kenkä t kuja	VSA	4,17	13,2	738	321
J15 Wärtsilä teh.	VSA	6,88	31,5	1761	489
J16 Vöyrinkaupunki	VSA	1,96	6,3	354	114
J17 Metpu	VSA	19,51	31,1	1739	232
J18 VTLA	VSA	12,98	24,0	1320	135
J19 Vatol	VSA	7,40	20,2	1133	378

Kuvassa 8 päämuuntajien ja kj-johtolähtöjen häviökustannukset on summattu sähköasemittain.

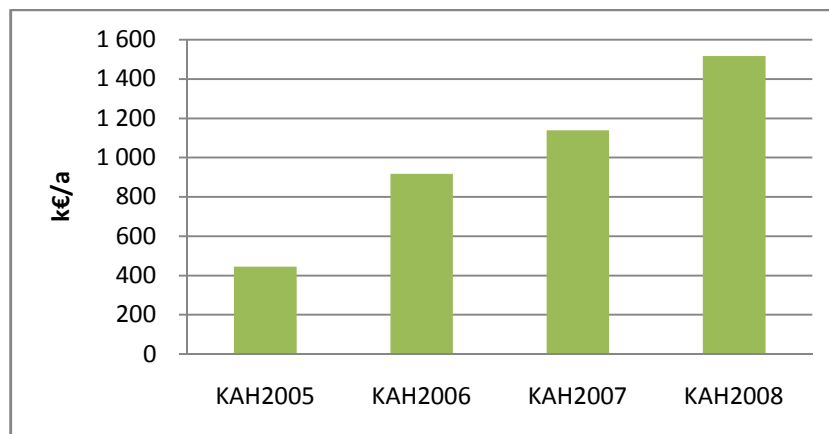


Kuva 8. Sähkösäemien häviökustannukset jaettuna päämuuntajan ja johtolähtöjen aiheuttamiin.

Kuvasta 8 nähdään, että häviökustannuksiltaan ylivoimaisesti suurin sähköasema on Korsnäsin asema. Tämä johtuu sen suuresta kuormitusasteesta sekä suurien kuormituspisteiden sijoittumisesta johtolähdöille. Lähdöillä on isoja kuormituspainopisteitä kaukanakin sähköasemasta kasvihuoneista johtuen. Mitä kauempana kuorma on, sitä enemmän siirtäminen aiheuttaa häviökustannuksia. Maaseutus sähköasemilla muuntajan häviökustannukset ovat pieniä suhteessa lähtöjen aiheuttamiin kustannuksiin. Tämä johtuu pitkistä siirtoetäisyyksistä. Kaupunkisähköasemilla, kuten esimerkiksi Purolan ja Vaasan asemilla, häviökustannukset koostuvat puoliksi muuntajan ja puoliksi lähtöjen häviöistä. Tämä johtuu muuntajien suuresta kuormitusasteesta sekä lyhyistä siirtoetäisyyksistä.

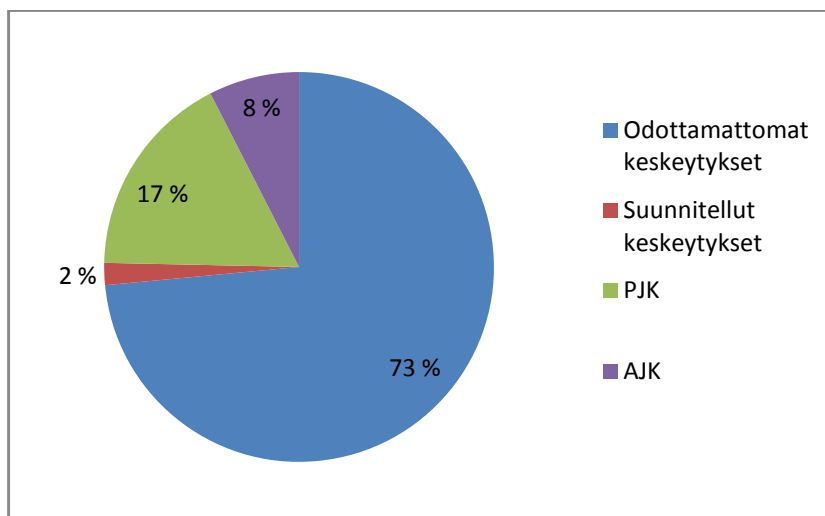
5.3 Keskeytykset ja niistä aiheutuvat kustannukset

VSV:n sähkönjakeluverkon vuotuiset keskeytyskustannukset 2005 - 2008 on esitetty kuvassa 9. Nämä vuotuiset keskeytyskustannukset on laskettu EMV:lle ilmoitettavien keskeytyslukujen mukaan yhtälön 37 avulla.



Kuva 9. Vaasan Sähköverkko Oy:n vuotuiset keskeytyskustannukset vuosina 2005 - 2008.

Taulukosta 9 voidaan huomata keskeytyskustannusten nousseen vuosittain huomattavasti vuoden 2005 445 k€:sta vuoden 2008 1,5 miljoonaan euroon. VSV:lle referenssitasoksi tälle valvontakaudelle on määritelty 1050 k€/a. Kuvasta 10 voidaan nähdä, kuinka kustannukset jakaantuvat eri keskeytystyypeille vuonna 2008.



Kuva 10. Vaasan Sähköverkko Oy:n keskeytyskustannusten jakautuminen eri keskeytystyypeille vuonna 2008.

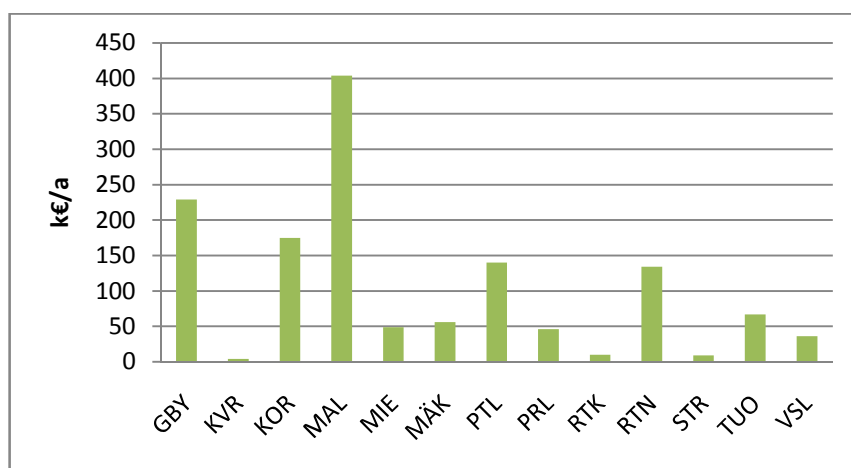
Seuraavassa taulukossa 5.21 on laskettu jokaiselle johtolähdölle keskeytyskustannukset yhtälöiden 38 - 41 avulla. Liitteessä 3 on esitetty yhden lähdön esimerkkilaskenta. Keskeytyskustannuksissa laskennasta jätettiin huomioimatta suunnitellut keskeytykset. Laskennassa vikataajuuksina käytettiin todellisia vikamääriä, jotka saatiin käytöntukijärjestelmästä.

Taulukko 5.21. Keskeytyskustannukset lähdöittäin, sähköasemittani järjestettynä.

Lähtö	Sähkö- asema	Pituus	Keskiteho	PJK	AJK	Viat		Keskeytys- kustannukset
		[km]	[kW]	[kpl/km,a]	[kpl/km,a]	[kpl/km,a]	[h/vika]	[€/a]
J04 Köklot	ALS	32,22	229,50	0,00	0,00	0,12	1,01	11172
J07 Replot	GBY	21,07	2938,50	0,05	0,00	0,24	0,30	66977
J10 Jungsund	GBY	54,01	1116,17	0,15	0,00	0,07	0,61	39618
J05 Vestervik	GBY	30,56	1929,17	0,00	0,00	0,10	0,28	25409
J06 Singsby	GBY	23,02	1280,42	0,00	0,00	0,09	0,06	4460
J08 Mäkipää	KVR	24,53	198,78	0,04	0,00	0,29	0,12	3420
J07 Vörrå	KVR	0,86	556,24	3,48	0,00	0,00	0,00	918
J04 Hankmo	KVL	82,26	799,29	0,18	0,00	0,04	1,01	35950
J02 Pölsviken	KVL	5,99	107,45	0,17	0,00	0,17	0,08	271
J04 Harrström	KOR	63,56	2131,33	0,44	0,00	0,06	0,47	86423
J06 Svartnäs	KOR	36,80	344,05	0,24	0,08	0,22	0,97	35230
J09 Korsbäck	KOR	29,23	1223,86	0,21	0,00	0,21	0,18	26458
J11 Träskböle	KOR	8,69	1250,29	0,81	0,00	0,46	0,01	10694
J10 Korsnäs	KOR	20,53	1594,93	0,24	0,05	0,05	0,05	8775
J05 Tuväng	KOR	20,67	889,06	0,15	0,00	0,10	0,19	7222
J06 Åminne	MAL	14,37	182,27	0,35	0,28	0,28	20,25	164544
J08 Söderfjären	MAL	85,74	1708,68	0,34	0,07	0,08	0,79	155504
J05 Vias	MAL	67,61	1840,87	0,00	0,01	0,09	0,35	56734
J04 Almedahl	MAL	6,28	957,97	2,23	0,00	0,16	0,65	15274
J07 Bofjärden	MAL	27,98	1207,98	0,04	0,00	0,07	0,33	12044
J06 Alapää	MIE	64,04	583,99	0,27	0,08	0,05	0,37	17666
J05 Peltomaa	MIE	84,21	619,98	0,49	0,04	0,01	0,12	17510
J04 Ylipää	MIE	34,96	730,07	0,31	0,03	0,06	0,40	13216
J08 Vähäkyrö	MIE	1,15	459,26	0,87	0,00	0,00	0,00	253
J07 Kirkonkylä	MIE	4,53	223,96	0,44	0,00	0,00	0,00	246
J06 Centrum	MÄK	10,40	851,58	0,00	0,00	0,10	2,47	24114
J02 Rökiö	MÄK	46,68	958,68	0,02	0,06	0,09	0,27	19471
J07 Södra	MÄK	33,24	292,04	0,30	0,00	0,21	0,15	7140
J03 Lotlax	MÄK	11,78	117,74	0,00	0,00	0,34	0,90	5193
J09 Petolahden kes.	PTL	33,91	1324,43	0,94	0,06	0,21	0,42	78830
J10 Nyby	PTL	79,18	617,34	0,16	0,04	0,08	0,86	45529
J07 Häggvik	PTL	65,20	912,75	0,40	0,02	0,02	0,07	15742
J08 Bjurbäck	PTL	10,02	35,91	0,10	0,00	0,30	0,05	194
J08 Klemettilä	PRL	3,73	1402,44	0,00	0,00	0,27	1,60	26284
J15 Bobäck	PRL	11,44	2241,48	0,00	0,00	0,35	0,04	13965
J19 Ammattikoulu	PRL	2,99	1417,00	0,00	0,00	0,67	0,08	5640
J08 Vallgrund	RPL	73,52	780,50	0,24	0,15	0,07	0,97	63243
J04 Björkö	RPL	41,52	415,50	0,34	0,14	0,07	1,00	21045
J07 Kyrkobyn	RPL	20,22	510,00	0,10	0,00	0,05	1,03	6886
J06 Industri	RPL	2,10	252,00	0,00	0,48	0,00	0,00	277
J04 Hulmi	RTK	14,41	860,97	0,97	0,00	0,07	0,00	7577
J10 Vedenoja	RTK	14,32	460,57	0,49	0,00	0,00	0,00	1773
J02 Asema	RTK	3,89	467,69	0,51	0,00	0,00	0,00	514
J10 Fågelberg	RTN	9,19	758,57	0,11	0,00	0,44	1,66	59327

Lähtö	Sähkö- asema	Pituus [km]	Keskiteho [kW]	PJK [kpl/km,a]	AJK [kpl/km,a]	Viat [kpl/km,a] [h/vika]		Keskeytys- kustannukset [€/a]
J09 Kvevlax	RTN	12,37	1783,33	0,32	0,08	0,24	0,35	32649
J13 Nyäckers	RTN	6,34	2110,39	0,47	0,00	0,16	0,00	5873
J12 Toby	RTN	8,55	50,87	0,00	0,00	0,12	0,01	59
J05 Element Fabr.	STR	8,79	808,37	0,00	0,00	0,34	0,22	8531
J04 Helsingby	TUO	54,82	1370,61	0,24	0,00	0,16	0,14	42139
J07 Voitby	TUO	68,52	1085,96	0,22	0,01	0,09	0,10	24478
J05 Rimal	TUO	14,96	438,57	0,07	0,00	0,07	0,03	858
J04 Sundom	VSL	22,10	1571,14	0,45	0,05	0,05	1,37	35719
yht.								1370458

Edellä olevassa taulukossa 5.21 on esitetty keskeytyskustannukset lähdöittäin. Lähdöt on järjestetty asemittain ja tämän jälkeen keskeytyskustannuksiltaan suurimmasta pienimpään. Kuvassa 11 on esitetty keskeytyskustannukset sähköasemittain taulukon 5.21 pohjalta.



Kuva 11. Keskeytyskustannukset sähköasemittain vuonna 2008.

Verrattaessa näitä kahta edellä esitettyä tulosta huomataan, että tulokset ovat lähellä toisiaan. EMV:lle ilmoitettuja keskeytyslukuja käyttäen vuoden 2005 rahanarvossa keskeytyskustannuksiksi saatiin 1400 k€, kun taas lähdöittäin laskiessa yhteenlasketuksi keskeytyskustannukseksi tuli noin 1370 k€. Ero voidaan olettaa tulevan siitä, että EMV:lle ilmoitettavilla tunnusluvuilla laskettuna tulos on energiapainotettu ja siinä on varmasti otettu kaikki keskeytykset huomioon. Lähdöittäin laskettaessa keskeytykset etsittiin suuresta tietokannasta ja näin yksittäisiä keskeytyksiä on voinut jäädä huomaamatta. Laskennassa on käytetty lähdön keskitehoa.

5.4 Vikavirrat ja niiden suojaus

Nykytilan määrittämisen osana tutkittiin VSV:n sähköverkon vikavirrat ja niiden suojausten toimivuus.

5.4.1 Oikosulkulaskennan tulokset

Yhtenä osana nykytilan määrittämisessä VSV:n koko kj-verkolle suoritettiin perusteellinen oikosulkulaskenta. Aluksi päivitettiin Fingrid Oy:n laskelmien pohjalta 110 kV:n verkon oikosulkuimpedanssin osat verkkotietojärjestelmään (liite 4). Oikosulkuimpedanssin arvot tulisi päivittää verkkotietojärjestelmään tasaisin väliajoin esimerkiksi vuoden välein, jotta laskenta pysyisi ajan tasalla.

Taulukossa 5.22 on esitetty asemien 20 kV:n kiskoston suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat I_{k3} , jotka on koottu verkkotietojärjestelmän oikosulkulaskennan tuloksista.

Taulukko 5.22. *Suurimmat kolmivaiheiset oikosulkuvirrat I_{k3} päämuuntajittain.*

Asema	Päämuuntaja	Max. Oikosulkuvirta 20 kV kiskostossa I_{k3} (kA)
Gerby	PT2	6,97
Karvsor	PT1	1,74
Korsnäs	PT1	5,11
Maalahti	PT1	3,85
Miettylä	PT1	3,79
Mäkipää	PT1	2,31
Petolahti	PT1	3,58
Purola		
	PT1	7,53
	PT2	7,30
Ratikylä	PT1	3,91
Ristinummi	PT1	5,80
Strömberg	PT1	7,01
Tuovila	PT1	3,99
Vaasan Asema		
	PT1	7,40
	PT2	7,58
Vaskiluoto	PT1	3,07

Oikosulkulaskennan avulla selvitettiin myös johtojen oikosulkukestoisuudet. Verkkotietojärjestelmän laskennan tuloksista voidaan poimia kolmivaiheisen oikosulkuvirran suhde A oikosulun ekvivalenttisen kestoajan ja 1 sekunnin oikosulkuvirran perusteella laskettuun suurimpaan sallittuun oikosulkuvirtaan. Jos arvo on yli 100 %, kyseinen johdin on oikosulkukestoton. Suoritettun laskennan perusteella VSV:n verkossa on 5746 metriä ilmajohtoa, jotka eivät ole oikosulkukestoisia. Taulukossa 5.23 on esitetty johto-osuudet, joilla oikosulkukestoisuuden vaatimukset eivät täyty. Taulukossa sijainti kertoo kohdan, jossa johto-osa sijaitsee. Kun sijainnissa on ilmoitettu ainoastaan yksi kytkinpiste tai muuntamo, johto-osa sijoittuu joko ennen tai jälkeen kyseisen pisteen.

Taulukko 5.23. Oikosulkukestottomat johto-osuudet.

Sähköasema	Lähtö	A [%]	Johdinlaji	Pituus [m]	Sijainti
Ristinummi	J10 Fågelberg	114	AF40	42	KP043 - KP227
	J10 Fågelberg	113	AF40	1167	KP227 – mmo 1014
Ristinummi	J07 Vattenver	104	AF62	618	mmo 151
Ristinummi	J06 Smedsby	104	AF62	378	KP016
	J06 Smedsby	173	AF24	1509	KP044 – mmo 737
Gerby	J03 Köklot	146	AF23	616	KP114 – mmo 4092
	J03 Köklot	122	AF23	360	mmo 4092 – mmo 488
Mäkipää	J02 Rökiö	151	AF16	1056	mmo 2033

Tuloksista selvitettiin myös oikosulkusuojauksen selektiivisyyttä. Relesuojauksen tulee olla selektiivinen koko verkossa, jotta vikatilanteessa vain vikaantunut verkon osa erotetaan verkosta. Näin asiakkaan kokemien vikojen määrä sekä kesto saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä. Suojaus ei ole selektiivinen, jos vian sattuessa toisessa suojausportaassa ensimmäisen suojausportaan katkaisija reagoi ensin. Laskennassa suojaus oletetaan selektiiviseksi, jos alemman suojausportaan aika-asetteluissa on pienikin ero ylemmän suojausportaan asetteluihin verrattuna. Suojauksen selektiivisyyden kannalta suojausportaiden välisten asetteluajkojen erojen tulee todellisuudessa olla vähintään 0,3 sekuntia. Käytettäessä numeerisia releitä kyseistä aikaa voidaan lyhentää. Taulukossa 5.24 on esitetty laskennassa ilmi tulleet epäselektiiviset suojausportaat.

Taulukko 5.24. *Epäselektiiviset suojausportaat nykyisillä asetteluarvoilla.*

Ylempi suojausporras	Alempi suojausporras
Vaasan Asema J19 Vatol	mmo 909 Paloyrityskeskus
Vaasan Asema J16 Vöyrinkaupunki	mmo 625 Valtion kk
Vaasan Asema J16 Vöyrinkaupunki	mmo 541 Minimani
Vaasan Asema J15 Wärtsilä	mmo 22 Wärtsilä
Vaasan Asema J10 VR	mmo 23 VR
Vaasan Asema J08 Övis	mmo 6 Keskuskortteli
Vaasan Asema J18 VTLA	mmo 544 Pättska pump
Vaasan Asema J09 Tele	mmo 610 Halli Oy
Vaasan Asema J09 Tele	mmo 609 Säästö-Kansa
Vaasan Asema J09 Tele	mmo 611 Sampo
Vaasan Asema J09 Tele	mmo 603 Vasa Telefon
Vaasan Asema J06 Sairaala	mmo 57 Centralsjukhuset
Vaasan Asema J06 Sairaala	mmo 35 Varuskunta
Vaasan Asema J06 Sairaala	mmo 24 Academill
Strömberg J05 Element Fabr.	mmo 567 Polarmill
Ristinummi J13 Nyåkers	mmo 4088 Hälsocentral
Ristinummi J07 Vattenverk	mmo 128 Vattenver
Maalahti J06 Åminne	Petalax Skären 01 Petal Skä
Maalahti J07 Bofjärden	Rankelön 01 Bockören
Korsnäs J04 Harrström	mmo1620 Asplund
Korsnäs J04 Harrström	Töjby Hamn 01 Tölby Ham

Laskenta ilmoittaa katkaisijoiden 01 Petal Skä, 01 Bockören ja 01 Tölby Ham suojausportaat epäselektiivisiksi. Todellisuudessa näin ei ole. Kaikki kolme katkaisijaa ovat vanhoja öljykatkaisijoita, joilla jälleenkytkentätoiminto ei ole käytössä. Selektiivisyys näkyy vasta ajk:n jälkeisessä laukaisuajassa, joka on lyhyempi kuin sähköaseman katkaisijalla.

Tässä työssä ei käsitellä tarkemmin ratkaisuja oikosulkukestoisuuden parantamiseksi eikä epäselektiivisyyden poistamiseksi. Kuitenkin oikosulkukestottomien lähtöjen pikalaukaisun asettelut tulee kuitenkin tarkistaa. Mikäli niiden avulla tilanne ei korjaannu, tulee harkita johdinvaihtoja oikosulkukestottomille johto-osuuksille. Myös epäselektiivisten suojausportaiden releiden asetteluarvot tulee tarkistaa sopiviksi. Suurin osa epäselektiivisistä suojauksista johtuu kj-asiakkaiden omista suojauksista.

Asiakkailta tulee ottaa selvää releiden asettelut ja korjata ne oikeiksi verkkotietojärjestelmään. Mikäli epäselektiivisyys ei näin korjaannu, tulee asiakkaille ohjeistaa uudet asetteluarvot.

5.4.2 Maasulkulaskennan tulokset

Taulukoon 5.25 on kerätty verkkotietojärjestelmän maasulkulaskennan tuloksista jokaiselle sähköasemalle maasulkuvirrat, pienin nollajännite maasulun aikana sekä käytetty laskentajännite. Maasulkuvirta 1 on laskettu käyttäen vikaresistanssina 0 ohmia, kun taas maasulkuvirta 2 laskettaessa vikaresistanssin arvona käytettiin 500 ohmia.

Taulukko 5.25. Keskijänniteverkon maasulkuvirrat, pienin U_0 -jännite maasulun aikana sekä käytetty laskentajännite sähköasemittain.

Asema	Maasulkuvirta 1 (A)	Maasulkuvirta 2 (A)	Pienin U_0 -jännite maasulun aikana (kV)	Laskentajännite (kV)
Gerby*	5,1	4,6	10,7	20,6
Karvsor	5,0	4,5	10,7	20,6
Korsnäs*	7,0	6,2	10,5	20,6
Maalahti*	7,1	6,3	10,5	20,7
Miettylä	33,1	19,2	6,9	20,5
Mäkipää	34,1	19,5	6,8	20,6
Petolahti	34,4	19,5	6,7	20,5
Purola PT1	115,5	23,2	2,4	20,5
Purola PT2	146,8	23,4	1,9	20,5
Ratikylä	56,4	21,8	4,6	20,5
Ristinummi*	5,5	4,9	10,7	20,8
Strömberg	158,9	23,5	1,8	20,6
Tuovila	39,8	20,5	6,1	20,7
Vaasan asema PT1	79,5	22,6	3,5	20,5
Vaasan asema PT2	120,8	23,3	2,3	20,6
Vaskiluoto	89	22,9	3,0	20,5

* asemalla maasulun sammutuslaitteisto

Taulukossa 5.26 on esitetty sallitut maadoitusresistanssit eri maadoitusryhmille. Asemalle on ilmoitettu ainoastaan yhdet arvot, jos kaikilla lähdöillä on yhtenäiset aikaasettelut. Jos näin ei ole, on sähköaseman arvojen alapuolella esitetty lähdöittäin eriävät arvot. Taulukossa maadoitusresistanssit on esitetty viidelle eri maadoitusryhmälle. A, B ja D ovat maadoitusryhmiä, jotka on esitetty Sähköturvallisuusmääräyksissä ja jaoteltu maadoitusjännitteestä aiheutuvan kosketusjännitteen vaarallisuuden perusteella. Ryhmään A kuuluvat laitteistot, joiden suojamaadoitettu osa on kosketeltavissa maasta. Ryhmään B sisältyvät laitteistot, joiden suojamaadoitus on kosketeltavissa muualta kuin maasta. Ryhmän D laitteistoissa suojamaadoitus ja pj-puolen käyttömaadoitus on yhdistetty. 2UTP ja 4UTP ryhmät on määritetty standardissa SFS 6001. Ryhmä 2UTP sisältää järjestelmät, joissa pj-verkon puolella on useita maadoituksia. Ryhmä 4UTP sisältää taas järjestelmät, joissa jokainen pj-haara on maadoitettu. (Sähköturvallisuusmääräykset)

Taulukko 5.26. Sallitut maadoitusresistanssit eri maadoitusryhmille.

Asema	Lähtö/Katkaisija	A (Ω)	B (Ω)	D (Ω)	2UTP (Ω)	4UTP (Ω)
Ristinummi		351	936	234	212	423
	J07 Vattenver	133	354	88	37	73
Gerby		131	349	87	38	76
	Gby skärg	267	712	178	152	304
	J02 Alskat	136	363	91	39	78
	J03 Alskat	159	423	106	45	90
	J04 Raippaluoto	159	423	106	45	90
	J06 Raippaluoto	159	423	106	45	90
	J07 Raippaluoto	159	423	103	45	90
	J07 Replot	110	295	74	35	70
	J08 Raippaluoto	159	423	106	45	90
Karvsor						
	J07 Vörå	167	446	112	48	96
	J08 Mäkipää	74	198	50	33	65
Mäkipää		33	88	22	15	29
Tuovila		18	49	12	5	10
Vaasan Asema PT2		7	20	5	2	4
	J11 VSA 2	6	16	4	2	3
	J19 VSA 1	6	16	4	2	3
Purola PT1		6	17	4	2	4
	Kemira	7	19	5	2	4
Purola PT2		5	13	3	1	3
Vaasan Asema PT1		12	31	8	3	7
Vaskiluoto		8	22	5	2	5
Strömberg		5	12	3	1	3
	J04 Purola	2	6	2	1	2
Maalahti		85	226	56	26	52
	J03 Sammutus	103	274	69	28	57
	J11 Kondensaattori	103	274	69	28	57
Miettylä		32	86	21	13	26
Ratikylä		16	44	11	5	10
Petolahti		21	57	14	6	12
Korsnäs		86	228	57	26	53

A - Altis suojamaadoitus

B – Suojamaadoitus

D - Yhdistetty suojamaadoitus

2UTP - Käyttömaadoitus, useita maadoituksia pj-puolella.

4UTP - Käyttömaadoitus, tai jokainen pj-puolen haara on maadoitettu.

VSV:n sähköverkossa suoritetaan parasta aikaa verkostokomponenttien maadoitusmittauksia. Mittausurakka ei ole vielä valmis, mutta jo nyt, kun osa tuloksista on saatu tallennettua verkkotietojärjestelmään, pystytään tuloksia vertaamaan sallittuihin maadoitusresistansseihin verkkotietojärjestelmän maasulkulaskennan avulla.

VSV on tehnyt alustavan suunnitelman kolmelle sähköasemalle asennettavista maasulun sammutuslaitteistoista. Laitteistot on tarkoitus sijoittaa Miettylän, Ratikylän ja Tuovilan sähköasemille. Tämä tulee ottaa huomioon pohdittaessa maadoituksen parantamista. Tulevaisuudessa tavoitteena on saada sammutuslaitteisto kaikille sähköasemille.

6 SÄHKÖASEMIEN KORVAUSTARKASTELU

Luvussa tutkitaan, kuinka hyvin Vaasan Sähköverkko Oy selviää huipputehon aikaisesta sähköaseman käyttökeskeytyksestä hyödyntämällä omia sisäisiä keskijännitevarayhteyksiä. Korvaustarkastelu on suoritettu huippukuorman tilanteessa. Jotta laskennan virheet saataisiin minimoitua, sähköaseman ja lähtöjen kuormitusten oikaisemiseksi on käytetty korjauskertoimia, jotka on määritetty edellisessä luvussa 5.

Korvaustarkastelu tehdään jokaiselle sähköasemalle kerrallaan. Useamman sähköaseman vioittuminen yhtä aikaa aiheuttaa liian suuren tehovajauksen ja näin ollen korvaaminen huippukuorman aikana olisi mahdotonta. Myös todennäköisyys useammalle sähköasemavialle yhtä aikaa on hyvin pieni ja näin ollen yhden vian aiheuttaman käyttökeskeytyksen tarkastelu todetaan riittäväksi. Käyttökeskeytyksessä lähdetään tilanteesta, jossa koko sähköasema on poissa käytöstä eli myöskään sähköaseman kiskostot eivät ole käytössä.

Seuraavissa kappaleissa käsitellään sähköasemat yksitellen. Jokaiselle asemalle on selvitetty, mitkä johtolähdöt ja päämuuntajat syöttävät korvattavan sähköaseman lähtöjä. Lisäksi selvitetään kuinka näiden lähtöjen ja päämuuntajien virrat, jännitteenalenemat ja kuormitusasteet muuttuvat korvaustilanteen vaikutuksesta.

6.1 Gerbyn sähköaseman korvaus

Gerbyn sähköaseman korvauksessa apuna voidaan käyttää Vaasan ja Ristinummen sähköasemia. Lisäksi Tuovilan ja Mäkipään asemia käytetään Ristinummen aseman kuorman keventämiseen.

Ensin Tuovilan lähdöltä J07 Voitby siirretään väli mmo418 – mmo758 Mäkipään aseman lähdölle J07 Södra avaamalla erotin ORI_J02_Q0 ja sulkemalla erotin LAR_J01_Q0. Tämän jälkeen lähdölle J07 Voitby siirretään Ristinummen aseman lähtö J09 Kvevlax KP041:stä eteenpäin lukuun ottamatta lähdön J04 Hankmo loppuosaa KP514 eteenpäin. KytKentä toteutetaan avaamalla erottimet KP041-03 ja 0145-02 sekä sulkemalla erotin ORI_J01_Q0. Taulukossa 6.1 on esitetty Gerbyn sähköaseman

korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Tuovilan ja Mäkipään asemilla.

Taulukossa 6.2. *Gerbyn sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Mäkipään ja Tuovilan sähköasemilla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Mäkipää	J07 Södra	8	18	0,71	31	63	4,57
Mäkipää	PT1	55	155		69	194	
Tuovila	J07 Voitby	27	79	3,98	70	169	9,9
Tuovila	PT1	60	268		77	344	

Ristinummen aseman lähdöllä J09 Kvevlax korvataan lähdöt J06 Singsby, J10 Jungsund ja osa lähdestä J09 Halkbana. Kytkentä toteutetaan avaamalla erotin 1102-04 sekä sulkemalla erottimet 0461-02, KOS_J01_Q0, 0145-01 ja 0100-01. Lähdöt J04 Gerby, J05 Vestervik ja J07 Replot Vaasan Asemalta. Ensin lähdön J18 VTLA kuormaa siirretään mahdollisimman paljon lähdölle J19 Vatol avaamalla erottimet 0517-02, 0070-02 ja 0637-03 sekä sulkemalla erottimet 0063-02, 0500-02 ja 0500-03. Tämän jälkeen lähdöllä J19 Vatol pyritään syöttämään lähtöä J07 Replot mahdollisimman suoraan. Verkon rakenteen vuoksi joudutaan kuitenkin lähdöllä syöttämään myös lähtö J05 Vestervik. Kytkentä toteutetaan avaamalla erottimet 0961-02, KP005-03 ja 0891-02 sekä sulkemalla erottimet 0637-02, 4078-04, 0891-01 ja KP074-01. Loppu Gerbyn aseman korvauksesta toteutetaan lähdön J17 Metpu avulla sulkemalla erottimet 1102-01, 0083-03 ja 0961-01. Taulukossa 6.2 on esitetty Gerbyn sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Vaasan ja Ristinummen asemilla.

Taulukossa 6.2. Gerbyn sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Vaasan ja Ristinummen sähköasemilla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Ristinummi	J09 Kvevlax	62	122	6,5	88	246	8,39
Ristinummi	PT1	90	628		108	753	
Vaasa Asema	J17 Metpu	50	127	0,72	153	388	4,62
Vaasa Asema	J18 VTLA	45	148	0,38	139	354	12,8
Vaasa Asema	J19 Vatol	37	106	0,26	68	196	1,13
Vaasa Asema	PT1	55	465		112	1081	

Korvaustilanteen aikaisista laskentatuloksista voidaan huomata, ettei korvaaminen huippukuorman aikana onnistu. Rajat tulevat vastaan sekä jännitteenalenemissa, oikosulkukestoisuuksissa että kuormitettavuusasteissa. Toisaalta tulkitessa tilannetta on otettava huomioon laskennan oikeellisuus. Tehon jaossa Gerbyn aseman lähtöjen laskennalliset virrat olivat hyvin erilaisia kuin mitatut virrat etenkin lähdoillä J04 Gerby, J05 Vestervik ja J09 Halkbana. Jos Gerbyn sähköaseman kiskosto olisi käytössä, tilanne aseman korvauksen aikana paranisi.

6.1.1 Raippaluodon jännitteenkorotusmuuntajan korvaus

Raippaluodon jännitteenkorotusmuuntaja on kytketty Raippaluodon kytkinaseman kiskoon. Jännitteenkorotusmuuntajan korvaus voidaan yrittää toteuttaa jakorajoja muuttamalla sekä siirtämällä Alskatin kytkinaseman lähtö J03 Köklot Gerbyn aseman lähdoille J10 Jungund. Tällöin Gerbyn lähdon J07 Replot suurin jännitteenalenema nousee 10,9 %:n. Tämä on sallittua rajaa 1,9 % suurempi. Taulukossa 6.3 on esitetty Raippaluodon kytkinaseman johtolähtöjen suurimmat jännitteenalenemat jännitteenkorotusmuuntajan ollessa irtikytkettynä.

Taulukko 6.3. Raippaluodon kytkinaseman johtolähtöjen huipputehon aikaiset jännitteenalenemat jännitteenkorotusmuuntajan ollessa irti verkosta.

Asema	Lähtö	Uh%
Raippaluoto	J04 Björkö	10,9
Raippaluoto	J06 Industri	6,2
Raippaluoto	J07 Kyrkobyn	6,2
Raippaluoto	J08 Vallgrund	10,0

6.2 Korsnäsin sähköaseman korvaus

Korsnäsin aseman korvaus voidaan todeta jo heti mahdottomaksi. Korsnäsin aseman kuorma on noin 22,5 MVA ja Petolahden asemalta löytyvän päämuuntajan koko on vain 16 MVA. Näin ollen vaikka koko Petolahden kuorma siirrettäisiin muille asemille, ei sen kapasiteetti riitä korvaamaan koko Korsnäsin asemaa. Rajoittavaksi tekijäksi tulee tämän lisäksi jännitteenalenemat, jotka nousevat yli 10 % lyhyelläkin matkalla.

6.3 Petolahden sähköaseman korvaus

Vaikka Petolahden sähköasema on vain noin 60 % kuormassa, on sen korvaaminen silti lähes mahdotonta huipputehon aikana. Ongelma johtuu viereisten sähköasemien Korsnäsin ja Maalahden suurista kuormitusasteista. Korvaus toteutetaan siirtämällä Maalahden ja Vaskiluodon voimalaitoksen kuormia toisille sähköasemille. Korsnäsisä tämä ei onnistu. Ensin Vaskiluodon kytkinaseman kaikki lähdöt lukuun ottamatta lähtöä J04 Sundom siirretään Vaasan Aseman Vaskiluoto lähdön syötettäväksi. Tämän jälkeen Maalahden sähköaseman lähdöstä J08 Söderfjärden suurin osa syötetään lähdöllä J04 Sundom. Tämä toteutetaan avaamalla ensin sähköasemalla oleva erotin MAL_J08_Q01 sekä avaamalla erottimet 0164-02 ja KP034-01. Tämän jälkeen suljetaan erottimet LAP_J02_Q0 ja KP034-04. Loppu Maalahden lähdöstä J08 Söderfjären välillä KP034 – mmo715 syötetään Tuovilan lähdöllä J04 Helsingby sulkemalla erotin TOL_J04_Q0. Lisäksi lähdölle J04 Helsingby siirretään pieni pätkä Maalahden lähdöstä J05 Vias välillä KP177 – KP300 avaamalla erotin VIA_J04_Q0 ja sulkemalla erotin KP177-01. Samalla kevennetään lähdön J04 Helsingby kuormaa siirtämällä väli KP154 – mmo1140 saman sähköaseman lähdölle J05 Rimal avaamalla erotin TOL_J03_Q0 ja sulkemalla erotin KP154-01. Taulukossa 6.4 on esitetty

Petolahden sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat lähdoillä ja muuntajilla, joiden avulla Maalahden aseman kuormaa kevennetään.

Taulukossa 6.4. *Petolahden sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat lähdoillä ja muuntajilla, joiden avulla Maalahden aseman kuormaa kevennetään.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Vaasan Asema	J05 Vaskiluoto				50	138	0,84
Vaasan Asema	PT1	69	614		78	694	
Vaskiluoto	J04 Sundom	44	112	0,32	54	204	6,2
Vaskiluoto	PT1	76	215		87	244	
Tuovila	J04 Helsingby	46	129	5,61	62	174	8,2
Tuovila	J05 Rimal	6	17	0,39	17	50	1,52
Tuovila	PT1	60	268		93	413	
Maalahti	PT1	98	435		67	298	

Korvaustilanteessa J04 Helsingby lähdon jännitteenalenema nousee 8,2 %, joka on hyväksyttävien rajoissa, jos aluetta pidetään maaseutuna.

Nyt Maalahden aseman kuormitusaste on saatu laskettua 68 %. Petolahden aseman korvausta suunniteltaessa rajoittavana tekijänä tulivat vastaan Korsnäsin ja Maalahden asemien kuormitusasteet, jotka nousivat 124 ja 142 %. Korsnäsin aseman lähdoillä J06 Svartnäs korvattiin lähtö J10 Nybyn sulkemalla erotin SVA_J01_Q0. Lähtö J07 Häggvik korvataan KP340 eteenpäin Korsnäsin lähdoillä J09 Korsbäck avaamalla erotin HAG_J05_Q0 ja sulkemalla erotin HAG_J02_Q0 lähdoillä J09 Korsbäck korvataan myös lähtö J08 Bjurbäck sekä lähdon J09 Petalax Centrum loppuosa välillä mmo1618 –mmo1517 avaamalla erotin 1517-01 sekä sulkemalla erottimet BJU_J03_Q0 ja MOL_J01_Q0. Maalahden lähdoillä J07 Bofjärden korvataan lähtöä J09 Petalax Centrum KP228:sta kahteen suuntaan mmo1517 ja KP327 asti avaamalla erotin KP327-01 sekä sulkemalla erotin SLA_J01_Q0. Loput lähdoistä J09 Petalax Centrum ja J07 Häggvik korvataan Maalahden lähdoillä J05 Vias sulkemalla erottimet KP320-02 ja NOT_J01_Q0. Jotta tämä onnistuu, lähdon J05 Vias kuorma väliltä KP504 – mmo1322 siirretään lähdoille J04 Almedahl avaamalla erotin KP504-01 sekä

sulkemalla erotin 1248-01. Taulukossa 6.5 on esitetty Petolahden sähköaseman korvaustilanteenaikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat korvaavilla asemilla.

Taulukossa 6.5. *Petolahden sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Maalahti	J04 Almedahl	26	56	0,9	34	74	1,2
Maalahti	J05 Vias	52	133	2,95	98	230	7,6
Maalahti	J07 Bofjärden	64	161	2,75	81	230	7
Maalahti	PT1	98	435		142	634	
Korsnäs	J06 Svartnäs	13	30	2,84	38	99	6,8
Korsnäs	J09 Korsbäck	35	104	4,52	52	158	8,6
Korsnäs	PT1	90	628		124	871	

Korvaustilanteessa Maalahden sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta on 9,0 ampeeria ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 10,3 kilovolttiin. Samat arvot Vaasan sähköaseman PT1:lle ovat 138,3 ampeeria ja 2,0 kilovolttia, Korsnäsin sähköasemalla 17,4 ampeeria ja 9,0 kilovolttia sekä Tuovilan sähköasemalla 42,7 ampeeria ja 5,8 kilovolttia. Maalahden ja Korsnäsin asemilla käytössä on maasulun sammutuslaitteistot, jotka suositellaan irrotettavaksi verkosta korvaustilanteen ajaksi. Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Vaskiluodon kytkinaseman J04 Sundom Sekä Maalahden aseman lähtöjen J07 Bofjärden ja J05 Vias aikalaukaisun havahtumisrajat ovat liian pieniä $I_{k,max}$:n nähden.

Korvaustilanteen aikaisia tehonjaon tuloksia tarkastellessa huomataan monen raja-arvon tulevan vastaan. Muuntamoiden kuormitukset, virtamuuntajien ensiövirran asetteluarvot sekä jännitteenalenemat taajamassa. Tuloksista voidaan huomata, ettei Petolahden aseman korvaaminen onnistu huippukuorman aikana.

6.4 Maalahden sähköaseman korvaus

Maalahden sähköaseman korvauksessa apuna voidaan käyttää Korsnäsin, Petolahden, Tuovilan ja Vaasan sähköasemia sekä Vaskiluodon kytkinasemaa, jota syöttää Vaskiluodon voimalaitos.

Ensin Petolahden aseman kuormaa siirretään mahdollisimman paljon Korsnäsin asemalle. Lähdölle J06 Svartnäs siirretään Petolahden lähdön J10 Nyby haara välillä KP446 – mmo 233. Kytkeä toteutetaan avaamalla erotin NYB_J02_Q0 ja sulkemalla erotin SVA_J01_Q0. Lähdön J09 Korsbäck kuorma välillä mmo 1619 – KP340 siirretään lähdölle J10 Korsnäs avaamalla erotin HAG_J01_Q0 ja sulkemalla erotin 1619-01. Tämän jälkeen lähdöllä J09 Korsbäck voidaan syöttää lähdön J07 Häggvik loppuosa KP340:sta eteenpäin sekä lähdön J09 Petalax Centrum loppu välillä mmo1618 – KP228. Kytkenät toteutetaan avaamalla erottimet HAG_J05_Q0 ja SLA_J02_Q0 sekä sulkemalla erottimet HAG_J02_Q0 ja MOL_J01_Q0. Taulukossa 6.6 on esitetty Maalahden aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Korsnäsin asemalla.

Taulukko 6.6. *Maalahden aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Korsnäsin asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Korsnäs	J06 Svartnäs	13	30	2,84	17	44	3,15
Korsnäs	J09 Korsbäck	35	104	4,52	48	144	9,14
Korsnäs	J10 Korsnäs	51	175	4,41	67	229	7,04
Korsnäs	PT1	90	628		109	763	

Vapautettaessa Petolahden päämuuntajan kuormaa Maalahden aseman korvaukseen Korsnäsin aseman lähdön J09 Korsbäck jännitteenalenema nousee hiukan yli 9 % eli ei pysy verkolle asetetuissa raja-arvoissa. Ylitys on kuitenkin hyvin pieni.

Pohjoisen suunnasta Maalahden asemaa korvataan samalla tavalla kuin sen kuormaa kevennettiin edellisessä kappaleessa 6.3 käyttäen apuna Vaasan ja Tuovilan sähköasemia sekä Vaskiluodon voimalaitoksen päämuuntajaa.

Petolahden lähdöllä J10 Nyby korvataan lähtö J05 Vias muuntamolta 1232 eteenpäin avaamalla erotin 1232-02 ja sulkemalla erotin KP230-01. Lähdöllä J07 Häggvik korvataan taas lähdöt J07 Bofjärden ja J06 Åminne sekä osa lähdöstä J04 Almedahl. Toteutus onnistuu avaamalla erottimet 0310-03 ja KP504-01 sekä sulkemalla erottimet SLA_J01_Q0, NOT_J01_Q0 ja 1322-01. Jotta lähtö J06 Åminne voidaan syöttää lähdöllä J07 Bofjärden, kytkentä vaatii erillisen yhdysjohdon sähköasemalla olevien kaapelipäätteiden välille sähköaseman kiskojen ollessa poissa käytöstä. lähdöllä J09 Petalax Centrum korvataan loput lähdöistä J05 Vias ja J04 Almedahl. Tämä toteutetaan sulkemalla erottimet KP320-02 ja KP169-04. Maalahden sähköaseman korvaus ei onnistu, jos lähdöllä J07 Bofjärden oleva iso kasvihuone on kiinni verkossa. Taulukossa 6.7 on esitetty Petolahden sähköaseman Maalahden aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat tilanteessa, jossa kyseinen kasvihuone on irrotettu verkosta.

Taulukko 6.7. *Petolahden aseman kuormitusaste, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Maalahden aseman korvaustilanteessa muuntamon 1322 ollessa irti verkosta.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Petolahti	J07 Häggvik	22	63	4,76	62	179	8,3
Petolahti	J09 Petalax centrum	67	140	6,55	50	145	8,8
Petolahti	J10 Nyby	36	104	3,82	35	102	7
Petolahti	PT1	59	264		95	429	

Huipputehon aikaisessa korvaustilanteessa Maalahden keskustan alueella jännitteenalenema nousee J09 Petalax Centrum syöttämällä alueella 8,8 % ja J07 Häggvik syöttämällä alueella 8,3 %. Nämä lukemat ovat yli prosenttiyksikön suurempia kuin sallittu arvo taajamassa korvaustilanteen aikana, joka on 7 %. Tuloksista voidaan huomata, että jännitteenalenema on usealla lähdöllä korvausta rajoittava tekijä.

Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Korsnäs in aseman lähdön J10 Korsnäs aikalauekaisu n havahtumisraja on liian pieni $I_{k,max}$:n nähden. Korvaustilanteessa Korsnäs in sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta nousee 12,9 ampeeriin ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 9,7 kilovolttiin. Samat arvot Petolahden sähköasemalle ovat 50,1 ampeeria ja 5,1 kilovolttia. Korsnäs in sähköasemalla on käytössä maasulun sammutuslaitteistot, jotka tulee irrottaa verkosta korvaustilanteen ajaksi.

Tuloksista voidaan päätellä, ettei Maalahden sähköaseman korvaus huippukuorman aikana onnistu.

6.5 Purolan sähköaseman korvaus

Purolan sähköaseman kuorma korvaustilanteessa jaetaan Ristinummen, Strömbergin sekä Vaasan sähköasemille. Purolan aseman lähdöt ovat pääosin kaapeliverkkoa, joten korvaustilanteessa rajoittavaksi tekijäksi tulee kaapeleiden terminen kuormitettavuus.

Strömbergin asemalta korvataan lähdöt J16 Högbacken, J06 Gamla Vasa ja J05 Teeriniemi. Lähtö J16 Högbacken korvataan lähdön J09 Sunnavik avulla avaamalla erotin 0585-02. Lähdöllä J10 Melaniemi korvataan lähdöt J06 Gamla Vasa ja J05 Teeriniemi sulkemalla erottimet 0543-01 ja 0640-03. Taulukossa 6.8 on esitetty Purolan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Strömbergin asemalla.

Taulukko 6.8. *Purolan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Strömbergin asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Strömberg	J09 Sunnavik	43	124	0,76	62	179	0,88
Strömberg	J10 Melaniemi	18	61	0,22	76	219	1,5
Strömberg	PT1	88	774		98	867	

Ristinummen lähdöllä J06 Smedsby korvataan lähtö J15 Bobäck. Ensin on siirrettävä lähdön J06 Smedsby kuormia toiselle Ristinummen aseman lähdölle J13 Nyåkers avaamalla erottimet 0857-01 ja KP004-01 sekä sulkemalla erotin 0868-02. Tämän jälkeen suoritetaan korvaus sulkemalla erotin 0857-02. Taulukossa 6.9 on esitetty Purolan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalennemat Ristinummen asemalla.

Taulukko 6.9. *Purolan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalennemat Ristinummen asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Ristinummi	J06 Smedsby	58	153	1,15	87	243	2,4
Ristinummi	J13 Nyåkers	50	121	0,68	74	190	1,46
Ristinummi	PT1	90	628		113	786	

Korvaustilanteessa Ristinummen aseman päämuuntajan kuormitusaste nousee 113 %, joka on suuruudeltaan hyväksyttävä huippukuorman sattuessa kylmänä talvipäivänä. Jos kuitenkin halutaan keventää muuntajan kuormaa, onnistuu se syöttämällä lähdöt J12 Toby ja J07 Vattenverk Tuovilan aseman lähdöllä J06 Höstvesi.

Vaasan Asemalta Purolan korvaustilanteessa käytetään viittä lähtöä. Lähtö J06 Sairaala muuntamolle 675 asti korvataan lähtö J20 Ruutikellari avaamalla erottimet SAN_J01_Q0 ja 0675-01 sekä sulkemalla erottimet SAN_J02_Q0 ja SAN_J03_Q0. Loppu lähdöstä J20 Ruutikellari korvataan lähdöllä J12 Kenkä t kuja sulkemalla erotin VID_J03_Q0. Lähdöllä J10 VR korvataan lähdöt J08 Klemetsö ja J19 Ammattikoulu sulkemalla erottimet 0045-01 ja 0076-03. Lähdön J18 VTLA kuormaa siirretään lähdölle J19 Vatol avaamalla erottimet 0517-01, 0070-01 ja 0669-04 sekä sulkemalla erottimet 0063-02 ja 0500-02. Nyt osa lähdöstä J17 Metpu siirretään taas lähdölle J18 VTLA avaamalla erotin BOC_J01_Q0 ja sulkemalla erotin BOC_J02_Q0. Lähdöllä J18 VTLA korvataan loppu lähdöstä J21 Hemstrand avaamalla erotin BOC_J03_Q0. Lähdöllä J18 VTLA korvataan myös lähdön J04 Vapenbröd loppuosa mmo1196 lähtien ja Ristinummen aseman lähdön J06 Smedsby loppuosa. Nämä korvaukset toteutetaan avaamalla erottimet 1196-02 ja 4021-04 sekä sulkemalla erottimet 4041-01 ja 4076-03. Lähdöllä J17 Metpu korvataan osa lähdöstä J21 Hemstrand avaamalla erottimet 0522-03

ja sulkemalla erotin 0651-02. Tämän jälkeen lähdöllä J17 Metpu korvataan vielä lähtö J03 Metsäkallio sekä lähdön J04 Vapenbröd vielä korvaamatta oleva alkuosa. Toteutus onnistuu sulkemalla erottimet 0508-03 ja 0025-03. Taulukossa 6.10 on esitetty Purolan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Vaasan asemalla.

Taulukko 6.11. *Purolan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Vaasan asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Vaasan Asema	J06 Sairaala	47	137	0,57	89	257	1,45
Vaasan Asema	J10 VR	10	34	0,06	88	275	1,81
Vaasan Asema	J12 Kenkä T Kuja	28	79	0,21	78	225	1,16
Vaasan Asema	J17 Metpu	50	127	0,72	94	240	1,94
Vaasan Asema	J18 VTLA	45	148	0,38	91	221	1,46
Vaasan Asema	J19 Vatol	37	106	0,29	77	224	1,45
Vaasan Asema	PT1	55	465		120	1065	
Vaasan Asema	PT2	60	535		92	816	

Korvaustilanteessa Vaasan aseman PT1 kuormitusaste nousee 120 %, joka on suuruudeltaan hyväksyttävä huippukuorman sattuessa kylmänä talvipäivänä. Jos kuitenkin halutaan keventää muuntajan kuormaa, voidaan Vaasan aseman päämuuntajien kuormia tasata päittäin.

Oikosulkusuojuksessa korvaustilanteen aikana Ristinummen aseman lähdön J06 Smedsby aikalaukaisun havahtumisraja jää liian pieneksi $I_{k,max}$:n nähden. Korvaustilanteessa Ristinummen sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta nousee 46,0 ampeeriin ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 5,4 kilovolttiin. Asemalla lähtöjen J06 Smedsby ja J08 Korsnästä maasulkusuojuksen $I_{0>}$ asetteluarvot ovat riittämättömiä korvaustilanteen aikana. Strömbergin aseman korvaustilanteen aikainen suurin mahdollinen maasulkuvirta on 238,6 ampeeria ja pienin mahdollinen maasulkuvirta 1,2 kilovolttia. Jokaisella aseman lähdöllä maasulkusuojuksen U_o -asetteluarvo jää riittämättömäksi korvaustilanteen aikana. Vaasan aseman korvaustilanteen aikaiset suurimmat mahdolliset maasulkuvirrat ovat PT1:llä 143,9 ja PT2:lla 196,8 ampeeria. Pienimmät mahdolliset tähtipistejännitteet taas ovat PT1:llä 1,9

ja PT2:lla 1,4 kilovolttia. PT2:n lähdoillä J11 VSA 2 ja J19 VSA 2 maasulkusuojausajan U_o -asetteluarvot jäävät riittämättömiksi korvaustilanteen aikana. Korvaustilanteessa on otettava huomioon myös Ristinummen sähköasemilla käytössä oleva maasulun sammutuslaitteisto, joka suositellaan irrotettavaksi verkosta korvaustilanteen ajaksi.

6.6 Ristinummen sähköaseman korvaus

Ristinummen sähköaseman korvaustilanteessa korvaava syöttö hoidetaan Gerbyn, Strömbergin, Purolan ja Tuovilan asemilta. Lisäksi Mäkipään asemaa käytetään helpottamaan Tuovilan aseman kuormaa.

Ensin Tuovilan sähköaseman kuormaa kevennetään siirtämällä lähdon J07 Voitby kuorma muuntamolta 418 eteenpäin Mäkipään lähdölle J07 Södra avaamalla erotin ORI_J02_Q0 ja sulkemalla erotin LAR_J01_Q0. Tämän jälkeen kaikki Koivulahden kytkinaseman lähdoistä lukuun ottamatta lähdon J04 Hankmo osaa muuntamolta 114 eteenpäin korvataan lähdöllä J07 Voitby avaamalla erottimet 0112-01 ja DAH_J02_Q0 sekä sulkemalla erotin ORI_J01_Q0. Tuovilan aseman lähdöllä J06 Höstvesi korvataan lähdot J07 Vattenverk ja J12 Toby sulkemalla erottimet KP066-02 ja 0127-02. Taulukossa 6.12 on esitetty Ristinummen sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Mäkipään ja Tuovilan asemilla.

Taulukko 6.12. Ristinummen korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenamat Mäkipään ja Tuovilan sähköasemilla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Mäkipää	J07 Södra	8	18	0,71	31	63	4,57
Mäkipää	PT1	55	155		69	194	
Tuovila	J06 Höstvesi	6	17	0,39	79	155	4,4
Tuovila	J07 Voitby	27	79	3,98	48	125	7,2
Tuovila	PT1	60	268		89	397	

Strömbergin asemalta korvaustilanteessa apuna käytetään lähtöä J05 Element fabr., jolla korvataan lähtö J08 Korsnästä sulkemalla erotin 0540-02. Purolan aseman lähdöllä

J15 Bobäck korvataan lähdön J06 Smedsby alku muuntamolle 489 asti sekä lähtö J13 Nyåkers. Ensin kuitenkin siirretään osa lähdön J15 Bobäck kuomasta lähdölle J05 Teeriniemi avaamalla erotin 0686-01 sekä sulkemalla erottimet 1082-03 ja 0867-01. Tämän jälkeen syöttö voidaan toteuttaa avaamalla erotin 0857-01 ja sulkemalla erotin 0857-02. Purolan lähdöllä J03 Metsäkallio syötetään lähdön J06 Smedsby loppuosa muuntamolta 857 eteenpäin. Ennen tätä on kuitenkin luotava yhteys lähtöjen välille avaamalla erotin 1177-01 ja sulkemalla erotin 0025-03. Nyt syöttö voidaan toteuttaa sulkemalla erotin 4041-01. Taulukossa 6.13 on esitetty Ristinummen sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Purolan ja Strömbergin asemilla.

Taulukko 6.13. Ristinummen korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenamat Purolan ja Strömbergin sähköasemilla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Purola	J03 Metsäkallio	4	14	0,03	60	174	1,97
Purola	J04 Vapenbrod	73	212	0,89	46	133	0,5
Purola	J05 Teeriniemi	42	122	0,44	53	155	0,58
Purola	J15 Bobäck	54	179	0,96	89	292	3,59
Purola	PT1	55	465		86	727	
Purola	PT2	60	353		69	615	
Strömberg	J05 Element fabr.	37	106	0,52	85	247	2,84
Strömberg	PT1	88	774		100	881	

Gerbyn asemalta korvataan lähdön J04 Hankmo loppu muuntamolta 114 eteenpäin, lähtö J07 Kvevlax muuntamolle 112 asti sekä lähtö J10 Fågelberg kokonaisuudessaan. Jotta lähdöllä J06 Singsby voitaisiin korvata lähdön J09 Kvevlax alku sekä lähtö J20 Fågelberg tulee sen kuormaa ensin keventää. Väli mmo100 – KP011 siirretään lähdölle J09 Halkbana avaamalla erotin KP011-01 ja sulkemalla erotin 0100-01. Lisäksi väli KP054 -mmo94 siirretään lähdölle J10 Jungsund avaamalla erotin KP054-01 ja sulkemalla erotin KOS_J01_Q0. Nyt voidaan varasyöttö toteuttaa sulkemalla erottimet 0461-02 ja KP068-01. Lopuksi korvataan vielä lähdön J04 Hankmo loppu J10 Jungsund lähdön avulla sulkemalla erotin 0145-01. Taulukossa 6.14 on esitetty Ristinummen sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Gerbyn asemalla.

Taulukko 6.14. Ristinummen korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenamat Gerbyn sähköasemalla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Gerby	J06 Singsby	33	111	2,09	64	165	6,9
Gerby	J09 Halkbana	26	74	0,54	34	98	0,81
Gerby	J10 Jungsund	25	82	3,59	41	122	6,53
Gerby	PT1	98	861		109	963	

Korvaustilanteen aikana Gerbyn aseman PT1:sen kuormitusaste nousee 109 prosenttiin. Muuntajan kuormitusta voidaan keventää siirtämällä osa kuormasta varalla olevalle PT2:lle.

Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Gerbyn aseman lähdön J10 Jungsund aikalaukaisun havahtumisraja jää liian pieneksi $I_{k,max}$:n nähden eikä katkaisijan laukaisua tapahdu kaksivaiheisen oikosulun tapauksessa. Korvaustilanteen aikana Mäkipään aseman suurin mahdollinen maasulkuvirta on 36,2 ampeeria ja pienin mahdollinen tähtipistejännite 6,5 kilovoltia. Samat arvot Tuovilan asemalle ovat 61,0 ampeeria ja 4,4 kilovoltia. Ristinummen korvaustilanteen aikaiset Purolan aseman suurimmat mahdolliset maasulkuvirrat ovat PT1:llä 157,0 ja PT2:lla 153,4 ampeeria. Pienimmät mahdolliset tähtipistejännitteet taas ovat PT1:llä 1,8 ja PT2:lla 1,8 kilovoltia. Strömbergin ja Gerbyn asemien maasulkulaskennasta saadut arvot taas ovat 201,5 ja 21,2 ampeeria sekä 1,4 ja 8,4 kilovoltia. Korvaustilanteessa on otettava huomioon myös Gerbyn sähköasemalla käytössä oleva maasulun sammutuslaitteisto, jota suositellaan irrotettavaksi verkosta korvaustilanteen ajaksi.

6.7 Strömbergin sähköaseman korvaus

Strömbergin aseman korvauksessa käytetään hyväksi Tuovilan, Maalahden, Purolan ja Ristinummen sähköasemia. Ensin kevennetään Tuovilan lähdön J04 Helsingby kuormaa. Lähdön väli KP177 – mmo1140 syötetään Maalahden aseman lähdöllä J05 Vias avaamalla erotin TOL_J02_Q0 ja sulkemalla erotin KP177-01. Tämän jälkeen lähdön väli KP077 – mmo1124 syötetään Tuovilan aseman lähdöllä J05 Rimal avaamalla erotin KP077-02 ja sulkemalla erotin KP154-01. Nyt voidaan lähdöllä

J04 Helsingby syöttää Strömbergin aseman lähtöä J06 Runsor IN välillä mmo1085 – mmo4116 avaamalla erotin 1141-03 ja sulkemalla erotin 1085-01. Loppu lähdöstä J06 Runsor IN syötetään Tuovilan aseman lähdön J06 Höstvesi avulla. Toteutus hoidetaan avaamalla erottimet 0137-02 ja 0540-01 sekä sulkemalla erottimet KP540-04 ja KP540-01. Ristinummen aseman lähdöllä J08 Korsnäståget syötetään lähtö J06 Runsor IN välillä mmo540 – Strömbergin sähköasema. Korvaus toteutetaan avaamalla erottimet KP017-01 ja 0540-03 sekä sulkemalla erottimet 0540-01 ja 0540-02. Lähtö J10 Melaniemi korvataan Purolan aseman lähdöllä J06 Gamla Vasa sulkemalla erotin 0543-01. Purolan lähdöllä J16 Högbacken korvataan lähtö J09 Sunnavik sulkemalla erotin 0585-02 sekä lähtö J06 Runsor IN välillä mmo1040 – KP017 sulkemalla erotin 1040-02.

Korvaamatta on enää ABB:n alue. Jos Strömbergin sähköaseman kiskosto on käytössä korvaustilanteen aikana, voidaan syöttö toteuttaa kiskoston kautta Purolan asemalta tulevan 110 kV:n lähdön avulla. Tilanteessa, jossa kiskoa ei voida käyttää, voidaan syöttö toteuttaa ainoastaan Purolan sähköaseman lähdön J07 Strömberg 4 avulla. Ongelmaksi ABB:n alueen korvauksessa tulee J07 Strömberg 4 lähdön kuormitettavuus, jonka raja on vain 290 A. Alkuvuodesta 2009 virran huippuarvo oli noin 330 A, joten huipun aikana kuorman siirtäminen ei ole mahdollista. Taulukossa 6.15 on esitetty Strömbergin sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukossa 6.15. *Strömbergin sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalennemat.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Maalahti	J05 Vias	52	133	2,95	64	159	4,62
Maalahti	J08 Söderfjärd	51	146	5,13	51	146	5,1
Maalahti	PT1	98	435		108	482	
Tuovila	J04 Helsingby	46	129	5,61	52	140	7,1
Tuovila	J05 Rimal	11	33	0,49	22	64	2,9
Tuovila	J06 Höstvesi	6	17	0,39	36	103	2,76
Tuovila	PT1	60	268		72	320	
Ristinummi	J08 Korsnästä	42	121	0,64	58	168	1,11
Ristinummi	PT1	90	628		92	636	3,98
Purola	J06 Gamla Vasa	42	108	0,58	63	161	1,05
Purola	J16 Högbacken	23	56	0,36	65	188	1,34
Purola	PT1	55	465		63	534	
Purola	PT2	60	535		85	758	

Korvaustilanteessa Ristinummen suurin mahdollinen maasulkuvirta on 3,3 ampeeria ja pienin mahdollinen tähtipistejännite on 10,9 kilovoltia. Samat arvot Tuovilan sähköasemalle ovat 90,4 ampeeria ja 3,1 kilovoltia sekä Maalahden asemalla 5,9 ampeeria ja 10,6 kilovoltia. Maalahden asemalla lähdön J03 Sammutus maasulkusuojauksen I_0 -asetteluarvo on riittämätön korvaustilanteen aikana. Ristinummen ja Maalahden sähköasemilla on käytössä maasulun sammutuslaitteistot, joiden irrotusta verkosta suositellaan korvaustilanteen ajaksi.

Tuloksista voidaan päätellä, ettei ABB:n alueen korvaus huippukuorman aikana onnistu. Ongelmana ei ole päämuuntajien kuormitettavuus vaan syöttökaapelin termisen kuormitettavuuden raja.

6.8 Tuovilan sähköaseman korvaus

Tuovilan sähköaseman korvaus toteutetaan käyttämällä apuna Ristinummen, Mäkipään, Miettylän ja Maalahden sähköasemia sekä Vaskiluodon kytkinasemaa. Tuovilan lähdön J07 Voitby loppu korvataan Mäkipään lähdöllä J07 Södra muuntajalle 418 asti. Tämä onnistuu avaamalla erotin ORI_J02_Q0 ja sulkemalla erotin LAR_J01_Q0. Ristinummen asemalta korvataan lähtö J06 Höstvesi lähdöllä J12 Toby. Lähdöltä

J07 Voitby väli mmo418 – KP130 korvataan Koivulahden kytkinaseman kautta lähdön J03 Pölsviken avulla avaamalla erotin KP130-01 ja sulkemalla erotin ORI_J01_Q0. Lähdön J06 Höstvesi korvaus toteutetaan sulkemalla erotin KP066-02.

Miettylän lähdöllä J06 Alapää korvataan lähtö J05 Rimal sekä lähtöjen J07 Voitby ja J04 Helsingby alut. Ensin sulkemalla erotin RUT_J01_Q0 saadaan korvattua lähdön J07 Voitby jäljellä olevat osat. Tämän jälkeen avaamalla erotin 0183-02 ja sulkemalla erotin 0184-02 saadaan syöttö lähdölle J04 Helsingby muuntamolalle 183 asti. Sulkemalla erotin KP128-01 saadaan lähdölle J05 Rimal syöttö.

Jotta lähdön J04 Helsingby korvaus Maalahden aseman kautta onnistuisi, tulee aseman kuormitusta keventää. Helppoin se onnistuu siirtämällä osa lähdöstä J08 Söderfjärden Vaskiluodon kytkinaseman lähdölle J04 Sundom avaamalla erottimet SOD_J02_Q2 ja KP078-01 sekä sulkemalla erottimet LAP_J02_Q0 ja KP034-02. Tämän jälkeen lähtö J08 Söderfjärden saadaan syöttämään lähtöä J04 Helsingby sulkemalla erotin TOL_J04_Q0. Taulukossa 6.16 on esitetty Tuovilan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukossa 6.16. *Tuovilan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Ristinummi	J09 Kvevlax	62	135	3,57	79	152	6,2
Ristinummi	J12 Toby	1	4	0,01	7	19	0,54
Ristinummi	PT1	90	628		97	670	
Mäkipää	J07 Södra	8	36	0,71	45	90	6,44
Mäkipää	PT1	55	155		82	231	
Miettylä	J06 Alapää	14	48	1,81	36	101	6,11
Miettylä	PT1	51	231		52	237	
EPV/VSL	J09 EPV	44	116	0,32	59	220	3,27
Vaskiluoto	PT1	76	215		78	220	
Maalahti	J08 Söderfjär	51	146	5,13	64	181	8,95
Maalahti	PT1	98	435		105	471	

Miettylän lähdön J06 Alapää virtamuuntaja on 100/5 A, joten korvaustilanteessa lähdön syöttämä virta on 11 A ensiön mitoitusvirtaa suurempi. Poikkeustilanteessa virtamuuntajaan voidaan kuitenkin kuormittaa 30 % suuremmalla virralla.

Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Maalahden aseman lähdön J07 Söderfjärden sekä Vaskiluodon kytkinaseman lähtöjen J09 EPV:n ja J04 Sundom aikalaukaisun havahtumisrajat ovat liian pieniä $I_{k,max}$:n nähden. Korvaustilanteessa Miettylän sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta nousee 51,3 ampeeriin ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 5,0 kilovolttiin. Samat arvot Mäkipään ja Vaskiluodon päämuuntajille ovat 36,2 ja 97,2 ampeeria sekä 6,5 ja 2,8 kilovolttia. Maasulkulaskennan mukaan Vaskiluodon kytkinaseman lähdön J09 EPV/VSL ja Ristinummen aseman lähdön J10 Fågelberg maasulkuvirtojen asetteluarvot ovat riittämättömiä. Maalahden ja Ristinummen sähköasemilla on käytössä maasulun sammutuslaitteistot, jotka suositellaan irrotettavaksi verkosta korvaustilanteen ajaksi.

6.9 Vaasan sähköaseman korvaus

Vaasan aseman korvauksessa apuna käytetään Gerbyn, Purolan ja Strömbergin sähköasemia. Haasteellisen korvauksesta tekee maakaapeleiden terminen kuormitettavuus.

Gerbyn sähköasemalta apuna Vaasan aseman korvaukseen käytetään lähtöjä J05 Vestervik, J07 Replot ja J09 Halkbana. Ensin lähdön J05 Vestervik kuormaa kevennetään lähdölle J07 Replot avaamalla erotin KP021-01 ja sulkemalla erotin KP074-01. Tämän jälkeen lähdöllä voidaan korvata lähtö J19 Vatol sekä väli mmo637 – mmo517 lähdöltä J18 VTLA avaamalla erottimet 0517-01 ja 0637-01 sekä sulkemalla erottimet 0637-02, 0500-02 ja 0063-02. Lähdöllä J09 Halkbana korvataan lähdön J17 Metpu loppuosa muuntamolta 896 eteenpäin avaamalla erotin 0896-01 sekä sulkemalla erotin 1102-01. Lisäsi lähdöllä korvataan lähdön J18 VTLA alkuosa sulkemalla erotin 0533-01. Purolan lähdön J21 Hemstrand loppuosa siirretään myös lähdölle J09 Halkbana muuntamosta 522 eteenpäin avaamalla erotin 0522-03 ja sulkemalla erotin BOC_J03_Q0. Taulukossa 6.17 on esitetty Vaasan sähköaseman

korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Gerbyn sähköasemalla.

Taulukossa 6.17. Vaasan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Gerbyn sähköasemalla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Gerby	J05 Vestervik	57	193	2,03	97	308	4,84
Gerby	J07 Replot	63	182	7,3	63	194	7,4
Gerby	J09 Halkbana	26	74	0,54	93	265	3,22
Gerby	PT1				99	438	
Gerby	PT2	98	861		109	967	

Laskennan mukaan Vaasan aseman korvaustilanteen aikana kuormitusaste nousee 97 %. Tuloksessa on otettava kuitenkin huomioon se, että normaalissa tilanteessa lähtöjen J05 Vestervik ja J18 VTLA mitatut virrat ovat 60 ja 50 ampeeria pienempiä kuin lasketut virrat. Näin ollen voidaan olettaa kuormitusasteen olevan todellisuudessa pienempi. Korvaustilanteessa Gerbyn aseman PT2 kuormitusaste nousee 109 %, joka on suuruudeltaan hyväksyttävä huippukuorman sattuessa kylmänä talvipäivänä.

Purolan sähköasemalta korvaukseen käytetään lähtöjä J16 Högbacken, J19 Ammattikoulu, J20 Ruutikellari ja J21 Hemstrand. Lähdön J17 Metpu alkuosa sekä koko lähtö J15 Wärtsilä teh. korvataan lähdöllä J21 Hemstrand sulkemalla erottimet 0896-02 ja 0896-04. Lähdöllä J19 Ammattikoulun korvataan Vaasan aseman lähdöt J10 VR, J12 Kenkä t kuja ja J16 Vöyrinkaupunki sulkemalla erottimet 0075-03, 0045-01 ja 0020-01. Jotta korvaus onnistuisi siirretään lähdön J20 Ruutikellari kuormia lähdölle J16 Högbacken avaamalla erotin 0667-02 ja sulkemalla erotin 003-01. Tämän jälkeen lähdöt J08 Övis ja J09 Tele korvataan lähdöllä J20 Ruutikellari sulkemalla erottimet 1032-03 ja 0610-01. Seuraavaksi lähdön J16 Högbacken kuormia siirretään Strömbergin aseman lähdölle J09 Sunnavik muuntamosta 629 eteenpäin avaamalla erotin 0629-03 ja sulkemalla erotin 4013-03. Tämän jälkeen saadaan korvattua lähtö J08 Övis lähdöllä J16 Högbacken avaamalla erotin SAN_J02_Q0. Jäljellä oleva lähtö J06 Sairaala voidaan korvata lähdöllä J09 Sunnavik sulkemalla erotin 0566-03. Tarvittaessa lähdön J06 Sairaala korvausta voidaan auttaa Vaskiluodon kytkinasemalta

muuntamon 2 kautta. Taulukossa 6.18 on esitetty Purolan ja Strömbergin sähköasemien Vaasan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukossa 6.18. *Vaasan sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat Purolan ja Strömbergin sähköasemilla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Purola	J16 Högbacken	23	56	0,36	97	209	1,94
Purola	J19 Ammattikoulu	27	80	0,22	88	255	1,14
Purola	J20 Ruutikellari	66	218	0,9	98	322	2
Purola	J21 Hemstrand	53	173	1,06	72	237	2,08
Purola	PT1	55	465		74	625	
Purola	PT2	60	535		116	1033	
Strömberg	J09 Sunnavik	43	124	0,76	96	278	2,09
Strömberg	PT1	88	774		111	979	

Vaasan aseman korvauksen aikana Purolan aseman lähtöjen J16 Högbacken ja J20 Ruutikellari kuormitusasteet nousevat hyvin lähelle 100 prosenttia. Strömbergin aseman lähdön J09 Sunnavik kuormitusaste nousee myös korkealle, mutta tähän saadaan apua tarvittaessa Vaskiluodon kytkinasemalta muuntamon 2 kautta. Korvaustilanteessa Purolan aseman PT2:n ja Strömbergin PT1:n kuormitusasteet nousevat yli 100 prosenttiin, joka on suuruudeltaan hyväksyttävä huippukuorman sattuessa kylmänä talvipäivänä. Tarvittaessa Purolan päämuuntajien kuormia voidaan tasata ja Strömbergin päämuuntajan kuormaa siirtää esim. Ristinummen asemalle.

Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Gerby aseman lähtöjen J05 Vestervik ja J09 Haklbana sekä Strömbergin lähdön J09 Sunnavik aikalaukaisun havahtumisrajat ovat liian pieniä $I_{k,max}$:n nähden. Korvaustilanteessa Gerbyn sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta on PT1:lle 29,6 ja PT2:lle 23,2 ampeeria sekä pienin mahdollinen tähtipistejännite PT1:lle 4,8 ja PT2:lle 8,1 kilovoltia. Samat arvot Purolan päämuuntajille 1 ja 2 ovat 128,6 ja 203,5 ampeeria sekä 2,1 ja 1,4 kilovoltia. Maasulkulaskennan mukaan Strömbergin aseman päämuuntajan suurin mahdollinen oikosulkuvirta on 191,3 ampeeria ja pienin mahdollinen tähtipistejännite 1,5 kilovoltia.

Gerbyn sähköasemalla on käytössä maasulun sammutuslaitteisto, jota suositellaan irrotettavaksi verkosta korvaustilanteen aikana.

6.9.1 Vaskiluodon kytkinaseman korvaus

Vaskiluodon kytkinaseman korvaus suoritetaan käyttäen apuna Maalahden, Tuovilan ja Vaasan sähköasemia. Kytkinaseman lähtö J04 Sundom korvataan Maalahden aseman lähdöllä J08 Söderfjären. Jotta tämä onnistuu, täytyy lähdön J08 Söderfjären kuormitusta keventää. Tämä toteutetaan syöttämällä lähdön väli mmo1140 – KP034 Tuovilan lähdön J04 Helsingby avulla avaamalla erottimet KP034-01 ja 0164-02 sekä sulkemalla erotin TOL_J04_Q0. Samalla osa lähdöstä J04 Helsingby välillä mmo1140 – KP300 syötetään Maalahden lähdöllä J05 Vias käyttäen apuna kauko-ohjattavia erottimia VIA_J04_Q0 ja TOL_J02_Q0. Nyt voidaan syöttää lähtö J04 Sundom sulkemalla erottimet LAPJ02_Q0 ja KP034-04. Loput Vaskiluodon kytkinaseman lähdoistä korvataan Vaasan Aseman lähdöllä J05 Vaskiluoto sulkemalla lähdön erotin Vaasan Asemalla sekä sulkemalla erottimet muuntamoilla 51, 53 ja 524. Taulukossa 6.19 on esitetty Vaskiluodon kytkinaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukko 6.19. Vaskiluodon kytkinaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Maalahti	J05 Vias	52	133	2,95	64	159	4,62
Maalahti	J08 Söderfjärd	51	146	5,13	71	201	4,74
Maalahti	PT1	98	435		116	515	
Tuovila	J04 Helsingby	46	129	5,61	53	149	6,88
Tuovila	PT1	60	268		62	276	
Vaasan Asema	J05 Vaskiluoto				41	114	0,69
Vaasan Asema	PT1	69	614		85	750	

Korvaustilanteessa Maalahden aseman kuormitusaste nousee 116 %, joka on suuruudeltaan hyväksyttävä huippukuorman sattuessa kylmänä talvipäivänä.

Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Maalahden aseman lähdön J08 Söderfjärden aikalaukaisun havahtumisraja on liian pieni $I_{k,max}$:n nähden. Korvaustilanteessa Maalahden sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta on 19,6 ampeeria ja pienin mahdollinen tähtipistejännite 8,7 kilovolttia. Tuovilan asemalle kyseiset lukemat ovat 41,2 ampeeria ja 6,0 kilovolttia. Korvaustilanteen aikana Vaasan asemalla PT1:sen suurin mahdollinen maasulkuvirta nousee 138,3 ampeeriin ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 2,0 kilovolttiin. Maasulku laskennan mukaan Maalahden sähköaseman lähdön J05 Vias maasulkusuojauksen I_0 -asetteluarvo on riittämätön. Korvaustilanteessa on otettava huomioon myös Maalahden sähköasemilla käytössä oleva maasulun sammutuslaitteisto, joka suositellaan irrotettavaksi verkosta korvaustilanteen ajaksi.

6.10 Miettylän sähköaseman korvaus

Miettylän sähköaseman korvaus toteutetaan Ratikylän ja Tuovilan asemien avulla. Tuovilan sähköaseman lähtö J04 Helsingby vapautetaan Miettylän korvaukseen siirtämällä sen kuorma lähdölle J05 Rimal avaamalla erotin 0184-01 ja sulkemalla erotin KP128-01. Tämän jälkeen lähtö J04 Helsingby yhdistetään Miettylän lähtöön J06 Alapää avaamalla erottimet 0188-02 ja 3071-01 sekä sulkemalla erottimet 0184-02 ja RUT_J01_Q0. Lähdöllä J04 Helsingby korvataan myös Miettylän aseman lähdön J05 Peltomaa alkupää erottimelle KP042-01 asti. Tämä toteutetaan avaamalla erotin KP042-01 ja sulkemalla erotin KP233-02. Taulukossa 6.20 on esitetty Tuovilan sähköaseman lähtöjen Miettylän sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukko 6.20. *Miettylän aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Tuovilan asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Tuovila	J04 Helsingby	46	129	5,61	18	44	3,49
Tuovila	J05 Rimal	11	33	0,49	57	166	4,97
Tuovila	J07 Voitby	27	79	3,98	27	78	4,01
Tuovila	PT1	60	268		67	300	

Ratikylän aseman lähdöllä J04 Hulmi korvataan Miettylän aseman lähdön J06 Alapää alkupää sulkemalla erotin 3098-01. Lähdön J07 Kirkonkylä korvaaminen ei onnistu siinä yhteydessä olevien lähtöjen J04 Hulmi, J06 Keskusta eikä J10 Vedenoja avulla. Lähtö J07 Kirkonkylä on korvattava Ratikylän aseman lähdöllä J09 Paukku. Jotta tämä onnistuu, on lähtöjen välille luotava yhteys avaamalla erotin KP287-01 ja sulkemalla erotin KP281-01. Tämän jälkeen korvaus onnistuu sulkemalla erotin 3020-02. Enää on korvaamatta lähtö J04 Ylipää sekä lähdön J05 Peltomaa loppuosa. Nämä korvataan lähdöllä J10 Vedenoja sulkemalla erottimet KP459-01, 3234-03 ja KP355-01. Taulukossa 6.21 on esitetty Ratikylän sähköaseman lähtöjen Miettylän sähköaseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalennemat.

Taulukko 6.21. Miettylän aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalennemat Ratikylän asemalla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Ratikylä	J04 Hulmi	17	15	0,64	29	77	2
Ratikylä	J08 Paukku	24	63	0,59	58	141	2,11
Ratikylä	J10 Vedenoja	12	32	0,32	42	112	4,99
Ratikylä	PT1	51	231		85	381	

Korvaustilanteessa Tuovilan sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta nousee 45,9 ampeeriin ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 5,5 kilovolttiin. Samat arvot Ratikylän sähköasemalle ovat 83,5 ampeeria ja 3,2 kilovoltia. Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana Tuovilan lähdön J04 Helsingby sekä Ratikylän lähdön J08 Paukku aikalaukaisun havahtumisrajat ovat liian pieniä $I_{k,max:n}$ nähden.

6.11 Ratikylän sähköaseman korvaus

Ratikylän sähköaseman korvaus toteutetaan Miettylän ja Tuovilan asemien avulla. Tuovilan sähköaseman lähtö J04 Helsingby vapautetaan samalla tavalla kuin Miettylän aseman korvauksessa siirtämällä sen kuorma lähdölle J05 Rimal avaamalla erotin 0184-01 ja sulkemalla erotin KP128-01. Lähdöllä J04 Helsingby on tarkoitus keventää Miettylän aseman päämuuntajan kuormaa siirtämällä lähdön J06 Alapää kuormia

Tuovilan asemalle. Ensin luodaan yhteys lähtöjen J04 Helsingby ja J06 Alapää välille avaamalla erotin 0188-02 ja sulkemalla erotin 0184-02. Lähdön J06 Alapää kuormaa siirretään lähdölle J04 Helsingby avaamalla erotin 3044-01 ja sulkemalla erotin RUT_J01_Q0. Samalla saadaan luotua yhteys Ratikylän lähdöille J04 Hulmi ja J02 Asema, joita lähtö J04 Helsingby saadaan syöttämään sulkemalla erottimet 3098-01 ja KP246-01. Taulukossa 6.22 on esitetty Tuovilan sähköaseman lähtöjen korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukko 6.22. *Ratikylän aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Tuovilan asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Tuovila	J04 Helsingby	46	129	5,61	52	115	7,26
Tuovila	J05 Rimal	11	33	0,49	57	166	4,97
Tuovila	J07 Voitby	27	79	3,98	27	78	4,01
Tuovila	PT1	60	268		83	372	

Loput Ratikylän kuormasta korvataan Miettylän aseman lähdöillä J07 Kirkonkylä ja J08 Vähäkyrö. Lähdöllä J07 Kirkonkylä korvataan Ratikylän lähtö J06 Keskusta sulkemalla erotin 3228-04. Lähdöllä J08 Vähäkyrö korvataan lähdöt J09 Paukku ja J10 Vedenoja sulkemalla erottimet KP459-01 ja KP281-01. Taulukossa 6.23 on esitetty Miettylän sähköaseman lähtöjen Ratikylän aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukko 6.23. *Ratikylän aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Miettylän asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Miettylä	J06 Alapää	14	39	1,81	6	17	0,37
Miettylä	J07 Kirkonkylä	33	75	1	51	138	1,9
Miettylä	J08 Vähäkyrö	15	30	0,09	33	103	1,63
Miettylä	PT1	51	231		68	305	

Korvaustilanteessa Tuovilan sähköaseman suurin mahdollinen maasulkuvirta nousee 53,1 ampeeriin ja pienin mahdollinen tähtipistejännite laskee 4,9 kilovolttiin. Samat

arvot Miettylän sähköasemalle ovat 76,3 ampeeria ja 3,5 kilovoltia. Oikosulkusuojauksessa korvaustilanteen aikana lähdön J04 Helsingby aikalaukaisun havahtumisraja on liian pieni $I_{k,max}$:n nähden.

6.12 Mäkipään sähköaseman korvaus

Mäkipään sähköaseman korvaus on hyvin ongelmallinen. Yhteydet sähköasemalta on Karvsorin aseman lähtöihin sekä Tuovilan aseman lähtöön J07 Voitby. Karvsorin asema on yhteisomistuksessa Herrfors Nät-Verkko Oy:n kanssa niin, että Vaasan Sähköverkko Oy:llä on 20 % osuus 6,3 MVA:n päämuuntajasta. Tällä hetkellä Karvsorin oma kuorma on juuri tuon 20 %. Korvaustilanteessa, jollei Herrfors Nät-Verkko Oy:n Oravaisten sähköasema ole vikaantunut, on mahdollisuus käyttää päämuuntajan kuormitettavuudesta noin 55 %. Sillä viime talven huippukuorma Herrfors Nät-Verkko Oy:n huippukuorma oli 2,7 MVA.

Mäkipään lähtö J03 Lotlax saadaan korvattua Karvsorin lähdöllä J07 Vörå. Ensin lähdön J08 Mäkipään kuormia siirretään lähdölle J07 Vörå avaamalla erotin KP394-05 ja sulkemalla erotin KP392-06. Tämän jälkeen lähtö J03 Lotlax saadaan korvattua sulkemalla erotin KP473-01. Karvsorin lähdöllä J08 Mäkipää syötetään lähtöä J02 Rökiö kytkinpisteiden KP386 ja KP371 välillä. Tämä onnistuu avaamalla ensin erotin KP371-01 ja tämän jälkeen sulkemalla erotin KP386-01. Taulukossa 6.24 on esitetty Karvsorin sähköaseman lähtöjen korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukko 6.24. Mäkipään aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Karvsorin asemalla.

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Karvsor	J07 Vörå	9	12	0,09	17	47	1,33
Karvsor	J08 Mäkipää	4	25	0,37	14	38	2,00
Karvsor	PT1	19	34		56	99	

Korvaustilanteessa Karvsorin muuntajan kuormitus nousee 56 prosenttiin, joka on ihan maksimi.

Loput Mäkipään kuormasta on korvattava joko Tuovilan lähdöllä J07 Voitby tai Koivulahden kytkinaseman lähdöllä J05 Vassor. Kummallakin toteutuksella jännitteenalenemat nousevat yli 20 prosenttiin ja lähtöä J05 Vassor käyttäessä Ristinummen aseman kuormitettavuusraja tulee vastaan. Näin ollen aseman kuormituksia olisi kevennettävä siirtämällä niitä muille asemille. Tämän takia yksinkertaisin ratkaisu on käyttää lähtöä J07 Voitby. Lähtö J07 Voitby saadaan syöttämään Mäkipään lähtöä J07 Södra sulkemalla erotin LAR_J01_Q0. Tämän jälkeen lähtö J06 Centrum saadaan lähdon J07 Voitby perään sulkemalla erotin KP456-01. Tässä vaiheessa jännitteenalenema on jo pahimmillaan 17,7 %. Lähdestä J02 Rökiö suurin osa on vielä ilman jännitettä. Syöttö voidaan toteuttaa sulkemalla erotin KP460-01. Tällaisella kytkentätilanteella johtojen kuormitettavuus tulee vastaan sekä jännitteenalenema nousee yli 24 %. Näin voidaan todeta Mäkipään aseman korvauksen olevan huippukuorman aikana mahdotonta. Ongelman tuottaa Vöyrin keskustan suuri kuormitus. Jos keskusta jätetään syöttämättä, korvaus onnistuu jännitteenaleneman ollessa noin 12 %

6.13 Karvsorin sähköaseman korvaus

Karvsorin asema on yhteydessä vain Mäkipään sähköasemaan. Tästä johtuen korvaus voidaan suorittaa ainoastaan kyseisen aseman kapasiteettiä käyttäen. Tämä onnistuu helposti, sillä Karvsorin aseman kuormitus on ainoastaan 31 A ja näin ollen korvaus voidaan suorittaa yhden lähdon avulla. Tässä ratkaisussa korvauksessa käytetään lähtöä J03 Lotlax sulkemalla erotin KP473-01. Taulukossa 6.25 on esitetty Mäkipään sähköaseman lähtöjen korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat ja suurimmat jännitteenalenemat.

Taulukko 6.25. *Karvsorin aseman korvaustilanteen aikaiset kuormitusasteet, huippuvirrat sekä suurimmat jännitteenalenemat Mäkipään asemalla.*

Asema	Lähtö	Normaalitilanteessa			Korvaustilanteessa		
		K-aste [%]	Imax [A]	Uh%	K-aste [%]	Imax [A]	Uh%
Mäkipää	J03 Lotlax	4	11	0,25	11	31	1,6
Mäkipää	PT1	55	115		60	169	

Laskennassa saattaa olla jonkin verran virhettä sillä laskennan tulokset poikkesivat enemmän ja vähemmän mitatuista arvoista. Tuloksia tulkitessa voidaan kuitenkin todeta korvauksen onnistuvan vaikka laskennan kuormitusvirrat olisivatkin liian pieniä, sillä kuormitusasteet ja jännitteenalenemat eivät nouse lähellekään ylärajaa.

7 KÄYTTÖVARMUUTTA PARANTAVAT TOIMENPITEET

Käyttövarmuutta parantavissa investoinneissa kannattavuutta arvioitaessa on otettava huomioon investoinnin hinta, vaikutus keskeytysten määrään ja keston, keskeytyksestä aiheutuva haitta, investoinnin muut hyödyt sekä laskentakorko ja pitoaika. Arviointi on haasteellinen ja monitahoinen tehtävä. Investoinnin kannattavuuden arviointia vaikeuttaa etenkin sääolojen vuosittaiset suuret vaihtelut. Alla olevassa taulukossa 7.1 on esitetty erilaisten investointien vaikutuksia käyttövarmuuteen. Taulukossa ++ tarkoittaa, että vaikutus on olennainen, + tarkoittaa, että tilanne parantuu hieman ja – tarkoittaa, että vaikutus on vähäinen tai jopa olematon. (Lakervi 2008)

Taulukko 7.1. Eri teknikoiden vaikutus keskeytysten määrään ja kestoihin. ++ tilanne paranee olennaisesti, + tilanne paranee hieman, - vähäinen tai olematon vaikutus. (Lakervi 2008)

	Pysyvien vikojen määrä		Pysyvien vikojen	Työkeskeytykset	Jälleenkytkennät
	Absoluut- tisesti	kpl/as.	kesto/as.	kpl/as.	kpl/as.
Uusi sähköasema	-	++	+	-	++
Kaapelointi	++	++	-	-	++
PAS-johdot	+	+	-	-	+
Tienvarteen rakentaminen	+	+	+	-	+
1 kV sähkönjakelu	+	++	-	-	++
Pylväskatkaisijat	-	++	-	-	++
Kauko-ohjattavat erottimet	-	-	++	-	-
Varayhteydet	-	-	++	++	-
Valvomoautomaatio	(+)	(+)	++	+	-
Maasulkuvirtojen sammutus	-	-	-	-	++
Varavoima	-	-	+	++	-
Yhteistyö	+	+	+	-	-

EMV:n valvontamalli kannustaa verkonhaltijoita pienentämään keskeytyskustannuksiaan. Valvontamallin mukaan vastineeksi keskeytyskustannuksien pienentämisestä yhtiö saa kasvattaa liikevaihtoaan. Luvussa 4 on tarkemmin esitelty verkkoliiketoiminnan sääntely ja tehostamistavoitteet.

Tässä luvussa on käyty läpi suurin osa taulukossa 7.1 esitetyistä käyttövarmuutta parantavista investoinneista. Työssä perehdytään kuitenkin tarkemmin ainoastaan maastokatkaisijoiden käyttövarmuutta parantaviin vaikutuksiin.

7.1 Johdintyyppi/johtojen mitoittaminen

Muuttamalla keskijänniteverkon avojohdot maakaapeleiksi saadaan jakelun käyttövarmuutta parannettua huomattavasti, sillä maakaapelin vikataajuus on 20 - 50 % avojohdon vikataajuudesta. Kaapeloinnin hyöty tulee esiin erityisesti suurhäiriötilanteissa. Myrskyn aiheuttamassa suurhäiriössä maakaapelointi on ainoa tapa välttyä laajoilta ja pitkiltä keskeytyksiltä. Maahan kaivamalla päästään kokonaan eroon myös jälleenkytkennöistä. Toisaalta kaapelointi on hyvin kallista, jopa 2 - 3 kertaa kalliimpaa kuin avojohdoverkon rakentaminen. (Partanen 2006) (Turunen 2006)

Kaapeloinnista seuraa myös muita investointitarpeita, jotka tulee ottaa huomioon päätöstä tehtäessä. Korkea kaapelointiaste synnyttää tarpeen maasulkuvirtojen kompensoinnille. Myös vikatilanteessa vian paikallistaminen ja korjaus on huomattavasti hitaampaa kuin avojohdoverkossa ja näin ollen tarvitaan varayhteyksiä, jotta asiakkaan keskeytyksen pituus pystyttäisiin minimoimaan. Lisäksi maakaapeliverkon saneeraus on hankalampaa ja kalliimpaa kuin avojohdoverkon. (Partanen 2006)

PAS-johdon eli päällystetyn avojohdon hyvät puolet normaaliin avojohdtoon verrattuna ovat sen käyttövarmuus ja pienempi johtokatu. Yksinkertaisen ja edullisen eristysrakenteen ansiosta johtimien hetkellinen kosketus ei johda läpilyöntiin. Tästä johtuen vaiheväliä voidaan pienentää ja johtokatua kaventaa. Linnut ja risut eivät aiheuta keskeytyksiä PAS-johdolle ja jopa puu voi nojata linjaan muutaman päivän ilman vikaantumista. Ongelmana taas ovat linjan kaatuminen ja taipuneet puut, jotka pitkällä aikavälillä aiheuttavat suuri-impedanssisen maasulun, jota suojaus ei kykene havaitsemaan. Maasulku voi samalla aiheuttaa vikapaikan läheisyydessä olevaan maastoon vaaralliselle tasolle nousevan askel- ja kosketusjännitteen. Niinpä PAS-johdot rakennetaan yleensä tien varsiin, jolloin ne on helppo tarkistaa aina myrskyn jälkeen. Ajan myötä voi eristeen kulumisen takia aiheutua keskeytys, joka on kestoltaan yleensä

pitkähkö sillä johto on hankala korjata. PAS-johdot on aina suojattava ylijännitteen aiheuttamilta valokaarilta, jotta johto ei pala poikki. Yleensä suojaukseen käytetään kipinäsarvia. Investointikustannuksiltaan PAS-johto on noin 30 % avojohtoa kalliimpaa. Kannattavimpia paikkoja päällystetyn avojohdon käytölle ovat alueet, joilla olosuhteet ovat hankalat keskeytyksien suhteen, esim. alueet, joilla esiintyy tykkylunta sekä sähköasemilta lähtevät kaksois- tai kolmoisjohdot. (Lakervi 2008)

7.2 Tienvarteen tai pellolle siirto

50- ja 60-luvuilla sähköverkkoa rakennettaessa tavoitteena oli minimoida materiaalikustannukset eli rakentaa verkkoa mahdollisimman lyhyttä reittiä pitkin yleensä metsän läpi. Tämä ei ollut ongelma silloin, sillä luotettavuus ei ollut sähkön laadun kriteeri eikä maankäyttösopimusten suhteen ollut ongelmia. Toinen syy metsiin rakentamiselle oli verkon näkymättömyys.

Nykyään luotettavuutta pidetään kuitenkin keskeisenä reunaehtona suunniteltaessa verkkoa. Näin ollen saneerauksien yhteydessä pyritään verkko siirtämään metsistä tien varsiin ja pelloille. Etenkin, kun verkko rakennetaan tien sille puolelle johon päin yleensä tuulee, hyöty on huomattava. Siirtämällä verkko pois metsästä vähenee keskeytyksien määrää puolella ja verkon huolto helpottuu. Tien vieressä linjat ovat yleensä myös lähempänä todellisia kulutuspisteitä sekä luonnon kannalta parempia ratkaisuja. Pyrkimystä siirtää linjoja hankaloittaa kuitenkin ihmisten asenne sähkön itsestänselvyydestä ja näin ollen maankäyttösopimuksien solmiminen on hankalaa. (Partanen 2006)

7.3 Kauko-ohjatut erotinasemat

Erottimen avulla voidaan paikantaa verkossa tapahtuva vika ja erottaa se toimivasta verkosta. Hyöty, joka erottimilla saadaan aikaiseksi, näkyy asiakkaalle keskeytysten pituudessa, vikojen määrään sillä ei ole minkäänlaista vaikutusta. Vikapaikan erottamisen jälkeen sähköttömien asiakkaiden määrä tippuu huomattavasti vikahetken alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna.

Käsi­käyt­toisen ja kauko-ohjatun erottimen kustannushyödyn ero saadaan suoraan kytkentäajan lyhenemisestä. Kauko-ohjattavan erottimen ohjaukseen kuuluva aika on muutamia minuutteja, kun taas käsinohjaukseen menee erottimen paikasta sekä päivystäjän sijainnista riippuen 10 minuutista muutamaan tuntiin. Kauko ohjauksen ansiosta vian paikannus nopeutuu huomattavasti ja varayhteyksien kytkentä helpottuu. Erottimet eivät sinänsä paranna verkon siirtokykyä. Toisaalta kauko-ohjattavat erotinasemat mahdollistavat hyvin monimutkaistenkin varayhteyksien toteuttamisen nopeasti ja näin ollen mahdollistavat verkon kapasiteetin täysimääräisen käytön.

Mitään suoraa yleispätevää sääntöä erottimien käytölle ja sijoittamiselle on vaikea antaa. Jokainen tapaus on yksilöllinen, sillä muuttuvia tekijöitä on useita. Laskennassa tulee ottaa huomioon verkossa jo olevat erottimet sekä mahdolliset varayhteydet. Peruseriaate on kuitenkin samanlainen joka tilanteessa. Kannattavuutta tarkasteltaessa on selvitettävä alue, jonka keskeytysten kesto on uusi erotin tulisi vaikuttamaan, sekä tutkia kyseisellä alueella olevat asiakkaat ja heidän keskitehot. Näitä tietoja ja keskeytystilastoja hyväksi käyttäen saadaan laskettua investoinnista saavutettava hyöty. Erottimien verkkoon lisäämisen yhteydessä on erittäin tärkeää tehdä tiivistä yhteistyötä verkonkäytöstä vastaavan tahon kanssa. Suunnittelussa on otettava huomioon myös komponentin maantieteellinen sijainti kunnossapidon helpottamiseksi. Kauko-ohjattavien erotinasemien sijoittamista tulee pohtia ainakin keskeisiin haarapisteisiin sekä jakorajoille. (Lakervi 2008) (Partanen 2006)

7.4 Varayhteydet

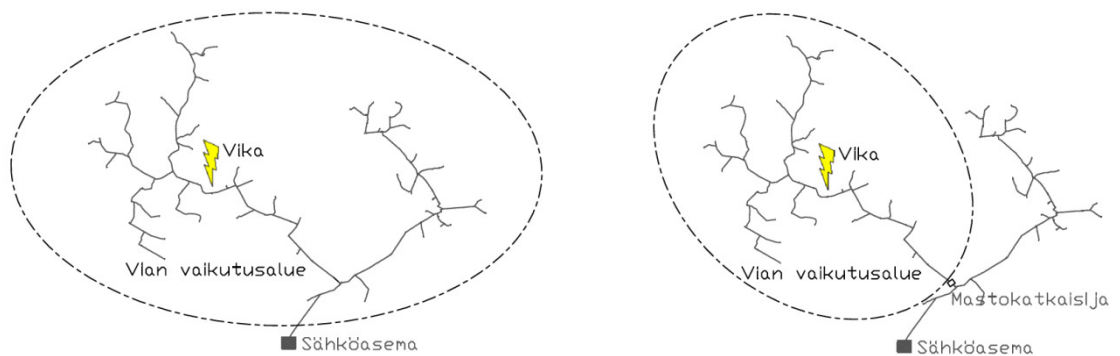
Varayhteyksillä tarkoitetaan syöttömahdollisuutta kahden lähdön tai jopa kahden verkkoyhtiön välillä. Tämä mahdollisuus tulee tarpeelliseksi, kun halutaan rajata vikapaikka mahdollisimman pieneksi ja minimoida keskeytyksestä aiheutuva haitta. Suomessa kj-verkko on yleensä rakennettu silmukkamaiseen muotoon vaikka sitä käytetään säteittäisenä. Verkon silmukkamainen muoto mahdollistaa varayhteyksien käytön. Haja-asutusalueella verkko on rakennettu säteittäin ja etäisyydet ovat pitkiä joten varasyöttömahdollisuudet ovat harvassa.

Yleensä varayhteyksiä käytetään vai häiriötilanteissa ja niillä pyritään lyhentämään keskeytysaikoja. Verkkoyhtiöiden väliset varayhteydet ovat strategia suurhäiriöiden ja vaikeiden vikatilanteiden varalle. Paras hyöty varayhteyksistä saadaan irti kytkemällä yhteys verkkoon kauko-ohjattavien kytkinlaitteiden avulla. Varayhteyksien tarvetta kartoitetaan yleensä vikaantuneen sähköaseman korvaustarkastelun yhteydessä. Varayhteys on kannattava, kun sen investointikustannus on pienempi kuin varasyötön avulla saavutettavat keskeytyskustannussäästöt. (Partanen 2006)

VSV:llä on kolme mahdollista varasyöttöä muiden verkkoyhtiöiden välillä. Etelän suunnasta kaksi yhteyttä on Fortum Sähkönsiirto Oy:n ja itään päin yksi yhteys Hiirikosken Energia Oy:n kanssa. Lisäksi pohjoisen suunnasta VSV:llä on kaksi lähtöä Herrfors Nät-Verkko Oy:n kanssa yhteisomistuksessa olevalla sähköasemalla.

7.5 Maastokatkaisijat

Johtolähdöille sijoitettavilla maastokatkaisijoilla eli suojarelleillä varustetuilla kauko-ohjatuilla pylväskatkaisijoilla voidaan vähentää vikojen määrää ja pienentää niiden kokonaiskestoja asiakkaiden näkökulmasta. Sinänsä viat eivät vähene, mutta niiden vaikutusalue vain pienenee, kuten kuvasta 12 voidaan huomata.



Kuva 12. Johtolähdöllä vian vaikutusalue ilman maastokatkaisijaa sekä maastokatkaisijan kanssa.

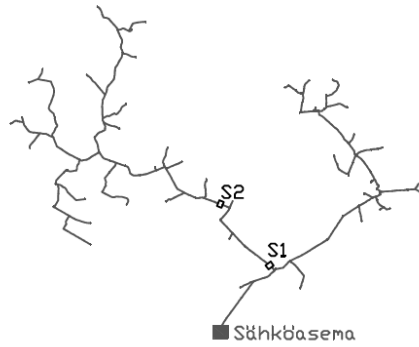
Katkaisijan takana tapahtuva vika ei vaikuta katkaisijan edessä olevien asiakkaiden sähkön jakeluun millään tavalla. Maastokatkaisijan rahallista hyötyä laskettaessa on otettava huomioon lähdön vikataajuudet, katkaisijan takana olevan verkon pituus sekä

sen edessä olevien asiakkaiden energiat. Maastokatkaisijalla saavutettu keskeytyskustannussäästö saadaan laskettua yhtälön 49 avulla.

$$\Delta KAH = \left[\frac{f_{vika} \cdot (k_{vika,kW} + \Delta t_{kyt} \cdot k_{vika,kWh})}{f_{PJK} \cdot k_{PJK} + f_{AJK} \cdot k_{AJK}} + \right] \cdot P_{alku} \cdot l_{loppu}, \quad (49)$$

- joissa ΔKAH = Keskeytyskustannussäästö, €/a.
- f_{vika} = Vikakeskeytyksien vikataajuus, kpl/€,a.
- Δt_{kyt} = Kytentäajan muutos, h.
- $k_{vika,kW}$ = Vikakeskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kW.
- $k_{vika,kWh}$ = Vikakeskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kWh.
- P_{alku} = Ennen katkaisijaa olevan verkon keskiteho, kW
- k_{PJK} = Pikajälleenkytkennöistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kpl.
- k_{AJK} = Aikajälleenkytkennöistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta, €/kpl.
- l_{loppu} = Katkaisijan takana olevan verkon pituus, km.

Jos samalle haaralle sijoitetaan kaksi maastokatkaisijaa peräkkäin kuvan 13 mukaisesti, saadaan niiden keskeytyskustannussäästö laskettua yhtälön 50 mukaan.



Kuva 13. Katkaisijoiden sijainti johtolähdöllä.

$$\Delta KAH = \left[\begin{array}{c} f_{vika} \cdot (k_{vika,kW} + \Delta t_{kyt} \cdot k_{vika,kWh}) + \\ f_{PJK} \cdot k_{PJK} + f_{AJK} \cdot k_{AJK} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} P_{ennen S2} \cdot l_{S2 \text{ jälkeen}} + \\ P_{ennen S1} \cdot (l_{S1 \text{ jälkeen}} - l_{S2 \text{ jälkeen}}) \end{array} \right], \quad (50)$$

joissa $P_{ennen i}$ = Katkaisijaa i edellä olevan verkon keskiteho, kW.

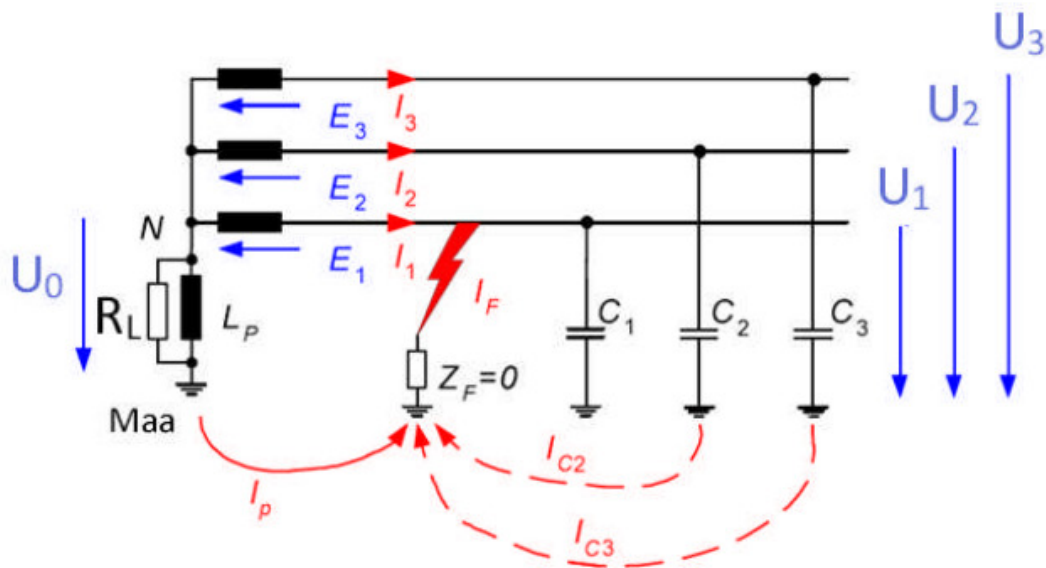
$l_i \text{ jälkeen}$ = Katkaisijan i takana olevan verkon pituus, km.

Hyvä yleisohje maastokatkaisijan sijoituspaikalle on sijoittaa katkaisija pitkälle johtolähdölle, jonka kuormitus painottuu lähdön alkupäähän. Maastokatkaisijan oikealla sijoittelulla voidaan saada aikaan huomattavia säästöjä keskeytyskustannuksista. Katkaisija on järkevä sijoittaa jo valmiina verkossa olevan erottimen taakse, sillä katkaisija tarvitsee aina erottimen, jotta sen takana oleva verkko voidaan erottaa muusta verkosta huollon ajaksi. (Lakervi 2008) (Partanen 2006)

VSV:llä on tarkoituksena lähivuosina investoida maastokatkaisijoihin keskeytyksistä aiheutuvien haittojen minimoimiseksi. Myöhemmin tässä työssä tullaan esittämään suunnitelma maastokatkaisijainvestoinneille sekä selvittämään niiden vaikutus sähkönjakelun luotettavuutta kuvaaviin tunnuslukuihin sekä keskeytyskustannuksiin.

7.6 Maasulkuvirran sammutus

Maasulkuvirran sammutuksen tarkoituksena on kumota verkon maakapasitanssit suurella induktanssilla ja näin saada verkon maasulkuvirta lähelle nollaa. Sammutukseen käytetään kompensointikuristinta, joka liitetään verkkoon joko keskitetysti tai hajautetusti. Hajautetulla kompensoinnilla pyritään lähinnä pienentämään maasulkuvirtaa, kun taas keskitetyllä vähennetään myös jälleenkytkentöjen määrää. Sammutuskuristimen rinnalle voidaan asentaa lisävastus, joka kasvattaa maasulkuvirran pätökomponenttia ja helpottaa releitten havahtumista. Kuvassa 14 on esitetty yksivaiheinen maasulku sammutetussa verkossa.



Kuva 14. Maasulku sammutetussa verkossa (Druml 2001)

Keskitetyssä kompensoinnissa kompensointikela ja apulaitteet asennetaan sähköasemalle. Kompensointikela asennetaan sähköaseman päämuuntajan tähtipisteen ja maan välille. Jos tähtipistettä ei ole käytettävissä, muodostetaan se keinotekoisesti maadoitusmuuntajan avulla. Keskitetyn kompensoinnin kustannukset ovat noin 125 k€. (EMV 2009) Hajautetussa kompensoinnissa kompensointilaitteet ovat pienempiä ja ne sijoitetaan johtolähdöille, yleensä haja-asutusalueilla. Lähtöjen varrella olevat kuristimet mitoitetaan kyseisen johdon tuottaman kapasitiivisen maasulkuvirran mukaisesti. Hajautetussa kompensoinnissa käytettävä 15 A kuristin maksaa noin 10 - 15 k€. Kompensointi-investointia tehdessä on otettava huomioon

kompensointilaitteiston investointikustannukset sekä säästöt, joita uudella ratkaisulla saavutetaan. (Rouhianen 2008) (ABB 2009)

Kompensointilaitteiston investoinnista saatavat säästöt muodostuvat maadoitusten rakentamis- ja parantamiskustannusten pienenemisestä; muuntamoiden määrän kasvusta, joilla suoja- ja käyttömaadoitus voidaan yhdistää sekä jälleenkytkentöjen vähentymisestä. (Rouhiainen 2008) Taulukossa 7.2 on esitetty keskimääräiset jälleenkytkentöjen määrät sataa kilometriä kohden eri tavoilla maadoitetuissa verkoissa.

Taulukko 7.2. Keskimääräiset jälleenkytkentöjen määrät sataa kilometriä kohden eri tavoilla maadoitetuissa verkoissa.

	Maasta erotettu	Sammutettu	Muutos
PJK	21,19	15,20	-28 %
AJK	6,89	5,26	-24 %

Kompensoinnista ei ole pelkkiä etuja vaan se tuo mukanaan myös ongelmia. Maasulkusuojaus voi havahtua aiheettomasti, sillä terveentilan tähtipisteen jännite voi nousta korkeaksi. Vian aiheuttaman suhteellisen nollajännitteen muutos pienenee, joten suuri-impedanssisien vikojen havainnointi heikkenee. Nollajännitteen noususta johtuviin ongelmiin ratkaisuna on pitää kompensointikelan asettelua tarpeeksi kaukana resonanssikohdasta ja kuormitusvastukset kytkettynä verkon terveessä tilassa. Lisäksi vaaditaan riittävä verkon vaiheiden vuorottelu. Kaapelointiasteeltaan suurella verkolla taas pieni nollajännitteen arvo voi aiheuttaa ongelmia kompensointikelan säädön kannalta, sillä resonanssisäätäjällä saattaa olla vaikeuksia tunnistaa resonanssikäyrä, koska säätö perustuu verkon terveentilan nollajännitteen maksimin etsimiseen. (Rouhiainen 2008)

VSV:n kj-verkossa maasulun kompensointi on toteutettu tähän mennessä neljällä sähköasemalla, Korsnäsin, Maalahden, Ristinummen sekä Gerbyn asemilla. Tulevaisuudessa tarkoituksena on investoida maasulun kompensointilaitteisiin jokaisella sähköasemalla. Alustavat suunnitelmat on tehty jo Tuovilan, Ratikylän sekä Miettylän asemille.

7.7 Ylijännitesuojaus

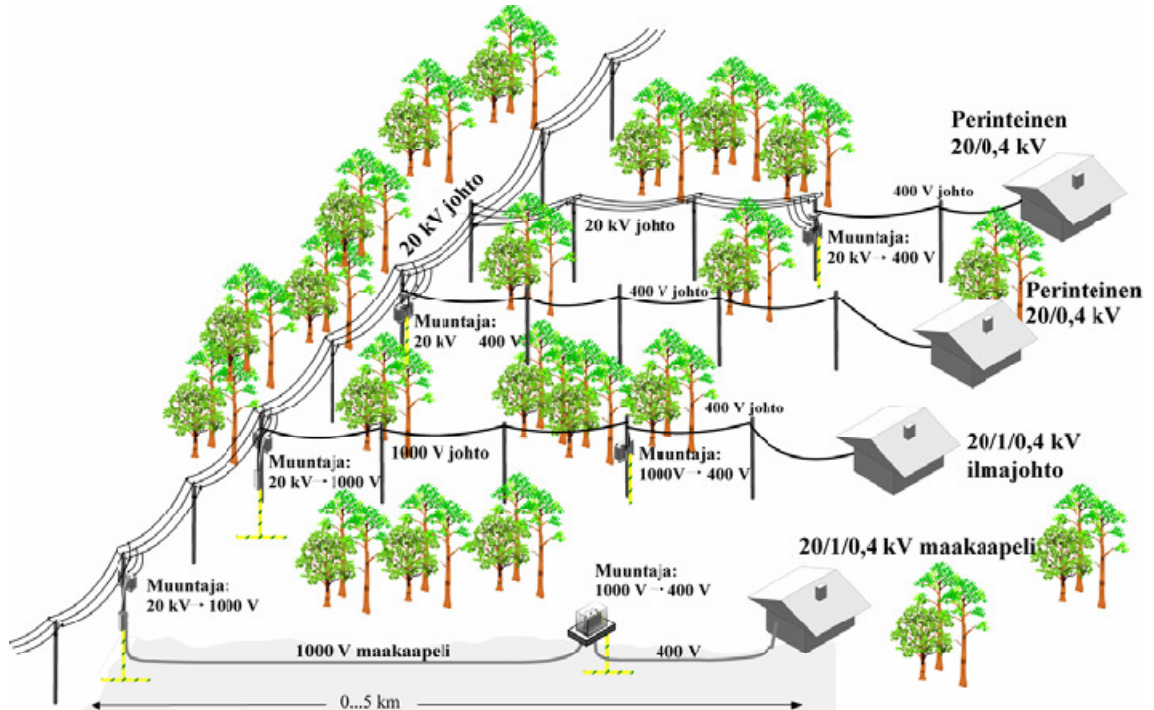
Ylijännitesuojausta käytetään suojaamaan jakelumuuntajia, kaapeleita sekä pas-johtoja. Suojauksen tarkoituksena on pitää jännitetaso alle suojattavan laitteen kestotason. Ylijännitesuojan tärkeimpänä tehtävänä kj-verkossa on estää ukkosen aiheuttamat ylijännitteet jakelumuuntajilla. Mahdollisimman hyvän suojauksen toteutuminen vaatii oikean mitoituksen ja sijoituspaikan. Suojina voidaan käyttää joko kipinäväliä, metallioksidisuojaia tai näiden yhdistelmää. Kipinäväli- ja yhdistelmäsuojia käytetään pas-johtojen ja alle 200 kVA jakelumuuntajien suojauksessa kun taas metallioksidisuojaia kaapeleiden ja isojen jakelumuuntajien suojina. (Lakervi 2008) (Turunen 2006)

Kipinävälisuojiin vaihtaminen yhdistelmäsuojiin vähentää verkon jälleenkytkentämääriä huomattavasti sekä estää valokaaren leviämisen vaiheiden välille ja näin ollen vähentää myös oikosulkuja, jännitekuoppia sekä laitevaurioita. Yhdistelmäsuojassa kipinävälin syttyessä myös sarjassa oleva metallioksidisuoja siirtyy johtavaan tilaan ja purkaa ylijännitteen maahan. Kipinävälin ansiosta metallioksidisuoja estää käyttötaajuuden jälkivirran kulun suojan läpi ja näin vältetään jälleenkytkennän aiheuttavalta maasululta. Haittana yhdistelmäsuojalle voidaan sanoa olevan korkea syöksyjännitetaso jyrkillä syöksyjänniteillä, jonka takia muuntajat on kojeistettava katkaistuilla syöksyjännitepulsseilla. Yhdistelmäsuoja on suhteellisen halpa tapa jälleenkytkentöjen vähentämiseksi. Suojat kannattaa asentaa muun työn ohessa ja samalla on suositeltavaa pohtia muuntajan muuta suojausta mm. pieneläinsuojia. (Lakervi 2008) (Turunen 2006)

7.8 1000 V jakelujärjestelmä

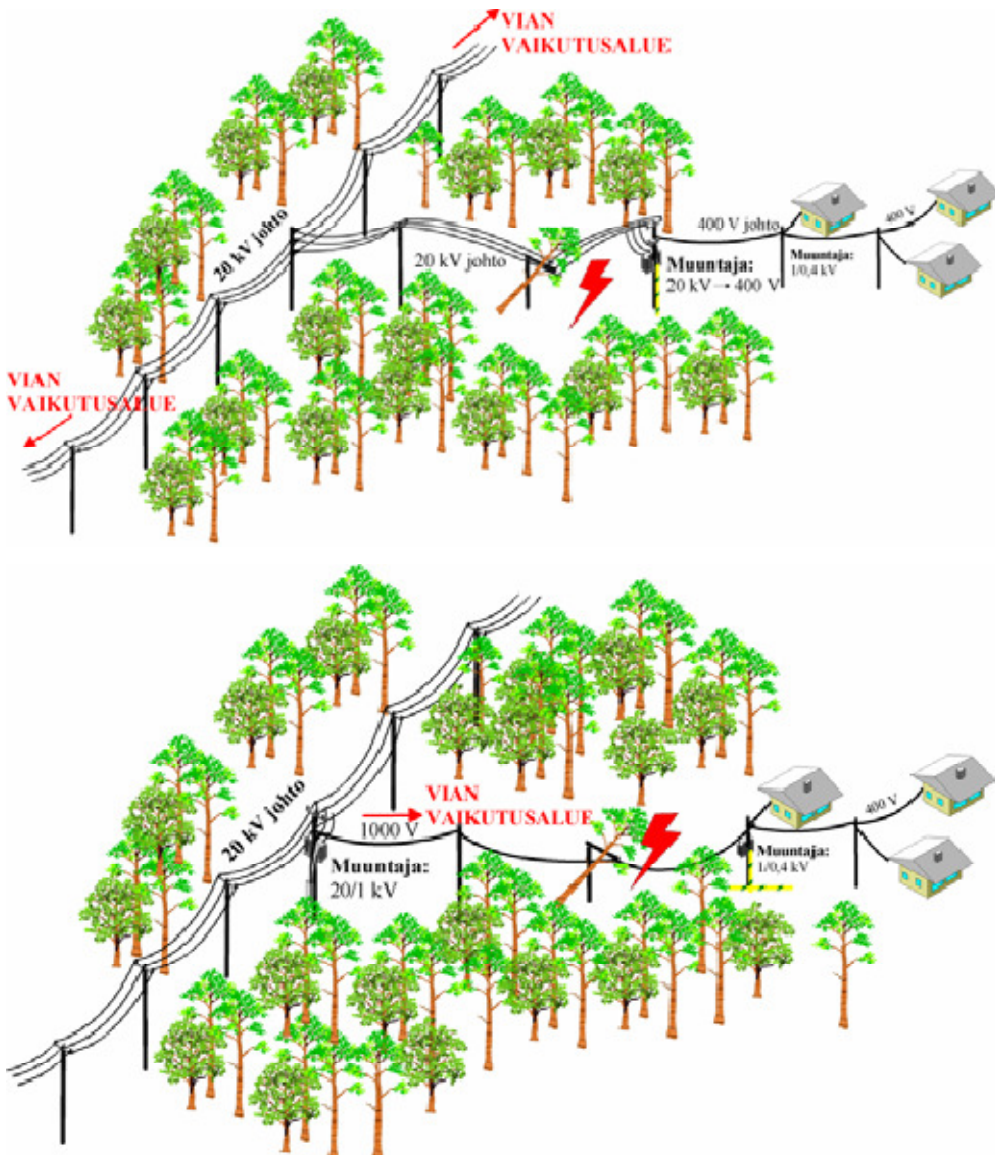
Hyödyntämällä 1000 V jakelujärjestelmää saadaan parannettua verkon käyttövarmuutta sekä pienennettyä verkon investointikustannuksia harvaan asutuilla metsäisillä ja vesistöisillä alueilla. 1000 V:n käyttöönotto tarkoittaa yhden jännitetason lisäämistä 20 kV:n ja 0,4 kV:n välille, sillä asiakkaat eivät pysty suoraan käyttämään 1000 V:a. Näin ollen jännitetasojen sekä yleensä myös muuntajien määrä kasvaa. Verkon pituuteen uudella jännitetasolla ei ole vaikutusta, mutta kj- ja 400 V:n verkko lyhenevät. 1000 V:n käyttöönotto vaatii usein aiemman verkkotopologian ainakin osittaista

muuttamista. Kuvassa 15 on esitetty erilaisia verkstotopologiavaihtoehtoja. (Lakervi 2008)



Kuva 15. Erilaisia verkstotopologiavaihtoehtoja käytettäessä 1000V jakelujännitettä. (Jakelu 2008)

Jopa 90 % jakeluverkon vioista aiheutuu kj-verkossa. Näin ollen muuttamalla pienitehoiset ja vika-alttiit kj-haarat kustannustehokkaasti 1000 V:n pienjännitteellä toimiviksi linjoiksi saadaan parannettua verkon käyttövarmuutta ja pienennettyä keskeytyskustannuksia. Uudella jännitetasolla saadaan vikojen määrää vähennettyä sekä pienennettyä vikojen vaikutusaluetta. Käyttövarmuutta parantavia tekijöitä 1000 V verkossa ovat uudet suojausalueet sekä mahdollisuus käyttövarmuudeltaan parempien komponenttien käyttöön. 1000 V:n verkossa jokainen johtohaara muodostaa oman suojausalueen, joten vikojen vaikutusalue pienenee. Uusi jännitetaso mahdollistaa AMKA-riippukierrekaapelin käytön laajemmalla alueella, sillä se sopii myös 1000 V:n jännitteelle. Kuvassa 16 on esitetty vian vaikutusalue 20/0,4 kV- ja 20/1/0,4 kV-järjestelmässä. (Lohjala 2005) (Jakelu 2008)



Kuva 16. Vian vaikutusalue 20/0,4 kV- ja 20/1/0,4 kV- järjestelmässä. (Jakelu 2008)

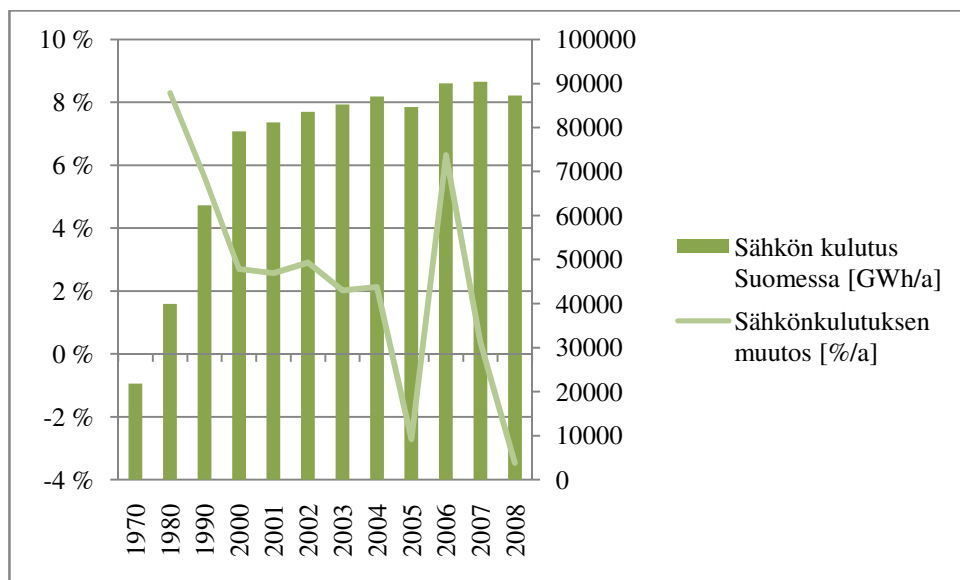
Etuja 1000 V:n jännitetasossa ovat kj-verkkoa pienemmät investointikustannukset sekä 400 V pj-verkkoa suurempi siirtokyky. 400 V johtimella voidaan siirtää sähköä alle 1 km liian suuren jännitteenaleneman takia, kun taas 1000 V:lla samainen matka on 1 - 5 km. Karkeana sääntönä voidaan sanoa, että 20 kV:n korvaajana 1000 V:a voidaan käyttää ilmajohtohaaroilla siirtotehon ollessa alle 60 kW ja maakaapelihaarassa tehon ollessa alle 100 kW. Hyödylliseksi 1000 V:n ratkaisu voi tulla myös tilanteissa, joissa pj-muuntopiiriin liitetään uusia asiakkaita, ja tämä ei onnistu perinteisellä ratkaisulla ilman muuntopiirin jakoa tai erittäin vahvoja 400 V:n linjoja. 1000 V:n valttina ovat myös sen tarvitsema kapeampi johtokatu ja huomaamattomammat johtorakenteet,

joiden ansiosta maksettavat johtoaluekorvaukset pienenevät, maankäyttösopimusten saaminen helpottuu sekä metsien luonnonmukaisuus säilyy. (Lohjala 2005)
(Jakelu 2008)

8 KUORMITUSENNUSTE

Jakeluverkon kuormitusta voidaan ennustaa tarkastelemalla sähköasemien kokonaisenergioiden kasvun, päämuuntajien pätötehojen sekä johtolähtöjen huippukuormitusvirtojen kehitystä. Apuna voidaan käyttää myös tilastokeskuksen väestöennusteita sekä koko Suomen sähkönkulutuksen kehitystä. Vaasan kaupungin alueen kohdalla tulevaisuuden näkymistä keskusteltiin kaupungin kaavoitusarkkitehti Hannu Niemisen kanssa.

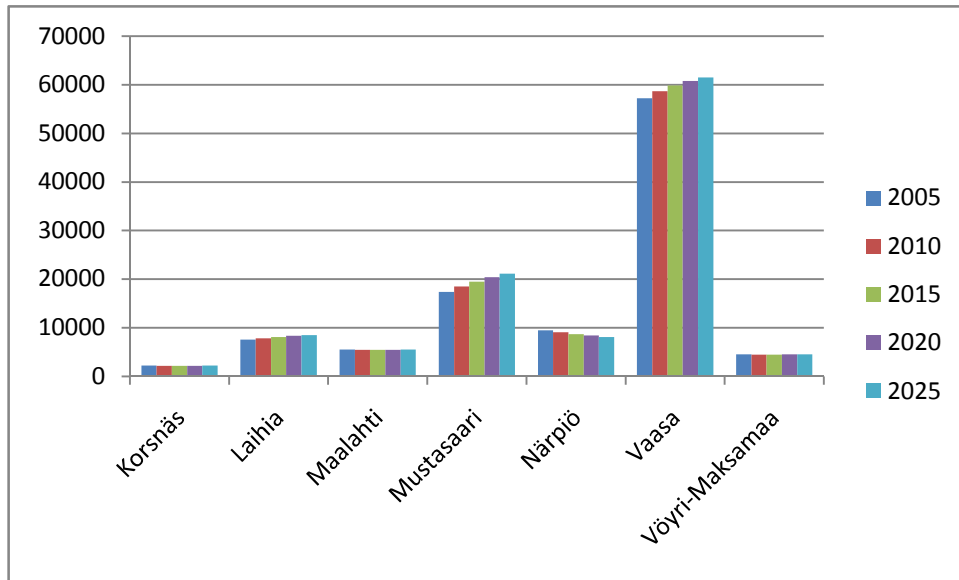
Kuvassa 17 on esitetty sähkönkulutuksen kasvu koko Suomessa vuosien 1970 - 2008 välillä. Kuvasta voidaan huomata kulutuksen kasvaneen vuosittain lukuun ottamatta vuosia 2005 ja 2008. Vuoden 2005 lasku voidaan selittää paperiteollisuuden työnseisauksesta johtuvaksi. Vuosi 2008 kulutuksen lasku puolestaan selittyy taloustilanteen huononemisesta ja tästä johtuvasta teollisuuden tuotantomäärien laskulla. Tulevina vuosina sähkönkulutus tulee todennäköisesti laskemaan jonkin verran tai pysymään ennallaan.



Kuva 17. Sähkönkulutus ja sen kasvu Suomessa vuosina 1970 – 2008. (Pikatilastot) (Sähkönkulutus)

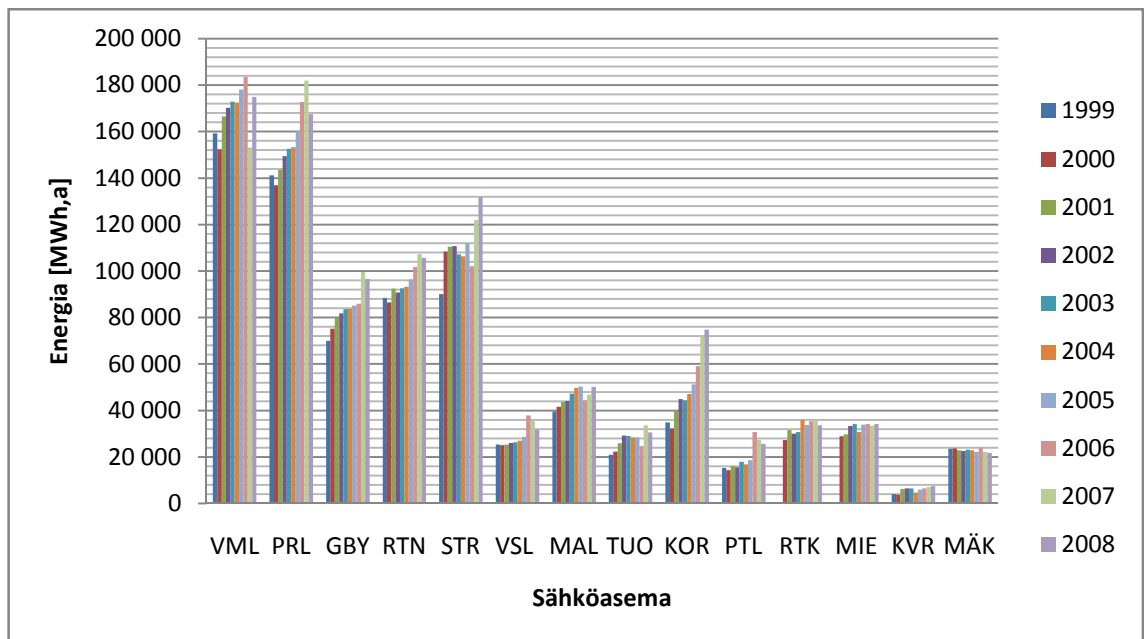
Kuvassa 18 on esitetty tilastokeskuksen väestöennusteet vuosille 2005 - 2025 jakelualueella oleville kunnille ja kaupungeille. Kasvua väestössä tapahtuu Vaasan

kaupungissa sekä Mustasaaren ja Laihian kunnissa. Muualla asukasluku pysyy entisellään tai jopa vähän pienenee.



Kuva 18. Vaasan Sähköverkko Oy:n jakelualueella olevien kuntien väestöennusteet vuoteen 2025 asti. (Tilastokeskus)

Kuvassa 19 on esitetty VSV:n sähköasemien sekä Vaskiluodon kytkinaseman kuormitukset viimeisen kymmenen vuoden ajalta.



Kuva 19. Vaasan Sähköverkko Oy:n sähköasemien ja Vaskiluodon kytkinaseman kuormitukset 1999-2008.

Korsnäsin sähköaseman syöttämän energian määrä on viime vuosina kasvanut nopeasti, mutta hyvin epätasaisesti. Aseman pätötehuippu on kasvanut paljon tasaisemmin ja ajallisesti se sijoittuu aamu kuuden ja yhdeksän välille. Tämä johtuu aseman jakelualueella sijaitsevista kasvihuoneista. Yksi uusi kasvihuone tai kasvihuoneen kapasiteetin lisäys näkyy suurena syötetyn energian määrään nousuna. Tilastokeskuksen väestöennusteiden mukaan Korsnäsin ja Närpiön kuntien asukasluvut pysyvät lähellä nykyistä tasoa, joten kasvihuoneet ovat ainoa vaikuttava tekijä kuormituksen kasvuun. Varmuudella tiedetään, että vuoden 2009 aikana kasvihuoneet tulevat tarvitsemaan 2350 kW lisätehoa. Vuosien 2010 ja 2011 tarvittava lisäteho on 350 kW kumpanakin vuonna. Investoinneilla Korsnäsin aseman alueella on suuret riskit, sillä yhden tai useamman kasvihuoneen lopettaessa verkko on aivan liian ylimitoitettu. Sähköaseman kymmenen suurinta kuluttajaa ovat kasvihuoneita ja ne kuluttavat noin 64 % koko aseman energiasta. Taulukossa 8.1 on esitetty suunnitellut tehon lisäykset muuntamottain.

Taulukko 8.1. *Suunnitellut tehon lisäykset muuntamoittain Korsnäsin sähköaseman alueella.*

Muuntamotunnus	Lähtö	Tehon lisäys [kW]		
		2009	2010	2011
1600 1+2	J04 Harrström	350	350	350
1613	J05 Tuväng	2000		
1584	J11 Träskböle	2000		

Petolahden aseman lähdöt syöttävät kuluttajia Korsnäsin, Närpiön ja Maalahden alueille. Petolahden aseman alueellakin on kasvihuoneita, mutta niiden kulutus suhteessa muuhun kulutukseen on paljon pienempi kuin Korsnäsin aseman alueella. Sähköaseman pätötehuippu osuu illalle noin kello kymmeneen ja on nyt kolme viimeistä vuotta tasaisena. Tästä voidaan päätellä, että suurin osa kuormasta muodostuu sähkölämmitteisistä asuintaloista. Sähköaseman alueella asukkaiden määrä ei seuraavan 15 vuoden aikana tule kasvamaan tilastokeskuksen väestöennusteiden mukaan. Vuonna 2006 tapahtunut suuri syötetyn energiamäärän kasvu voidaan selittää kytkentätilanteen muutoksella.

Maalahden asema syöttää asiakkaita Maalahden, Mustasaaren sekä Vaasan alueilla. Mustasaaren ja Vaasan alueella asukasluku tulee kasvamaan tilastokeskuksen mukaan,

kun taas Maalahdessa kasvua ei ole ennustettu. Kuvan 19 mukaan Maalahden asemalla syötetyn energian määrä on kasvanut tasaisesti vuosien mittaan. Ainoana poikkeuksena on vuosi 2006, jolloin kytkentätilannetta muutettiin ja kuormaa siirrettiin Petolahden asemalle. Huipputeho on pysynyt lähes samana lukuun ottamatta vuotta 2008, jolloin se oli normaalia alhaisempi. Aseman alueella on hyvin erilaista kulutusta, joten huippukuorman ajankohta vaihtelee suuresti. Vaasan yleiskaavassa Maalahden aseman alueen pohjoisosiin ollaan kaavoittamassa asuinalueita kuvan 20 ja taulukon 8.2 mukaisesti. (Nieminen) (Vaasa 2030)

Miettylän ja Ratikylän sähköasemat syöttävät kj-verkkoa Laihian kunnan alueella. Laihian kunta on kasvava alue, jonka väkiluku tilastokeskuksen mukaan kasvaa vuoden vaihteen 2008/09 7692 asukkaasta 8514 asukkaaseen vuoteen 2025 mennessä. Miettylän asemalla syötetyn energian määrä on viime vuosina vaihdellut ± 2 prosenttia. Huipputeho on taas vähän pienentynyt vuodesta 2007 lähtien. Huipputehon ajankohta vaihtelee huomattavasti aamu 8 ja ilta kymmenen välillä. Ratikylän aseman syöttämä energia on vaihdellut vuosien varrella ± 5 prosenttia. Huipputeho puolestaan on pysynyt lähes muuttumattomana. Tehohuippu sijoittuu noin ilta kymmeneen.

Tuovilan sähköaseman syötettävät alueet sijaitsevat Mustasaarella ja Vaasassa, joissa väestönmäärä on ennustettu tilastokeskuksen mukaan kasvavan. Vaasan puolella olevalle Höstvedelle, jota aseman yksi lähtö syöttää, on kaupungin yleiskaavassa vuoteen 2020 mennessä esitetty rakennettavaksi asuinalue 800 asukkaalle kuvan 20 mukaan. Syötetyn energian määrä on laskenut viimeisien vuosien aikana lukuun ottamatta vuotta 2007, jolloin nousu johtui kytkentätilanteen muutoksesta. Huipputeho on myös pysynyt lähes samana vuosien 2006 - 2009 aikana lukuun ottamatta vuoden 2007 kytkentätilanteesta johtuvaa nousua. Aseman huipputeho asettuu kello 22.00 tienoille, josta voidaan päätellä alueen kulutuksen muodostuvan suurimmaksi osaksi sähkölämmitteisistä asunnoista. (Nieminen) (Vaasa 2030)

Ristinummen asema syöttää useampaa isompaa asuinalueita Vaasan ja Mustasaaren alueella. Lisäksi yksi lähtö syöttää Koivulahden kytkinasemaa, jonka lähdöt ovat pitkiä maaseutulähtöjä. Ristinummen aseman syöttämän energian määrän kehitys on

vaihdellut +1 - 6 %/a. Poikkeuksena tässä on vuosi 2008, jolloin määrä laski noin 1,5 %. Huipputeho on kasvanut noin 3 % vuodessa. Huipputeho ajoittuu arkipäivisin aamupäivälle, lauantaisin yhdentoista aikoihin sekä sunnuntaisin noin iltakymmeneen. Ristinummen aseman alueelle ja sen lähialueille on suunniteltu Vaasan kaupungin yleiskaavassa viisi uutta asuinalueita kuvan 20 mukaan: Aurinkokylän 500 asukkaan pientaloalue, Vesilaitoksen 600 asukkaan pientaloalue sekä Böle I 500 asukkaan, Böle II 1400 asukkaan ja Böle III 1600 asukkaan pien-, rivi- ja kerrostaloalueet. Bölen asuinalueisiin liittyy myös Bölen asuinalueet Mustasaaren puolella. (Nieminen) (Vaasa 2030)

Mäkipään ja Karvsorin asemat sijaitsevat vanhan Vöyrin kunnan alueella. Tilastokeskuksen väestöennusteen mukaan Vöyri-Maksamaan kunnalle povataan hyvin pientä plusmerkkistä väestön kasvua. Mäkipään syöttämä energia on vähentynyt joitakin prosentteja vuodessa, lukuun ottamatta vuotta 2006. Tuolloin energian määrä kasvoi 8 %:lla, mutta heti seuraavana vuonna laski lähes saman verran. Tehohuippu on kasvanut ja vaihdellut 5 - 6 MVA välillä vuodesta riippuen. Tehohuippu osuu arkisin ja lauantaisin aamupäivälle ja sunnuntaisin illalle. Kvarsorin sähköasema on yhteisomistuksessa Herrfors Nät-Verkko Oy:n kanssa. Vaasan Sähköverkko omistaa kaksi lähtöä ja osuuden muuntajasta. Karvsorin syöttämän energian määrä on kasvanut vuodesta 2004 lähtien keskimäärin noin 8 % vuodessa. Pätotehohuippu taas on pysynyt lähes samana 2005 lähtien, jolloin se kasvoi noin 25 %:lla. Huippu sijoittuu vaihdellen aamu kahdeksasta ilta kuuteen.

Gerbyn sähköasema syöttää verkkoa Vaasan ja Mustasaaren alueilla. Aseman syötetyn energian määrä on kasvanut tasaisesti vuodesta 2002 0 - 2,5 % vuodessa. Poikkeuksina tässä ovat vuodet 2007 ja 2008, jolloin asemalle oli lisätty Vaasan kaupungin keskustan kuormia Vaasan Aseman rakennustöiden vuoksi. Aseman pätotehohuippu on myös kasvanut vähän vuosi vuodelta. Huipputeho ajoittuu kymmeneen iltaan, josta voidaan päätellä alueella olevan paljon sähkölämmitteisiä asuntoja. Vaasan yleiskaavassa esitetään rakennettavaksi useita asuinalueita Gerbyn aseman alueelle kuvan 20 mukaan. Gerbyn niemen kerros-, rivi- ja pientaloalue 600 asukkaalle on tarkoitus saada valmiiksi vuoteen 2020 mennessä niin, että osa on valmiina 2010. Lisäksi alueelle on suunniteltu

rakennettavaksi vuoteen 2020 mennessä 200 asukkaan Gerbyn rinteeseen kerros- ja rivitaloalue, Isolahden kerrostaloalue 200 asukkaalle sekä 500 asukkaan Norrskogenin ja Västervikin rannan pientaloalueet. Epävarmoina kaupunki on ilmoittanut suunnitelmat Vikenin 1000 asukkaan, Nyäng I:n 600 asukkaan sekä Nyäng II:n 1000 asukkaan pientaloalueet, joiden valmistuminen olisi ajankohtaista ennen vuotta 2030. (Nieminen) (Vaasa 2030)

Strömbergin sähköasema syöttää muun muassa Suvilahden ja Vanhan Vaasan asuinalueita sekä ABB:n tuotantoaluetta. Yksi lähtö syöttää myös nopeasti kasvavaa Runsorin teollisuusaluetta. Aseman syöttämän energian määrä on kasvanut vuodesta 2005 lukuun ottamatta vuotta 2006, jolloin energian määrä laski noin 9 %. Vuonna 2007 energian määrä taas nousi melkein 20 %:lla. Selitykset energian kulutuksen muutoksiin löytyy kytkentämuutoksista sekä Runsorin kasvavasta alueesta. Pätötehuippu on pysynyt vuosina 2008 - 2009 saman suuruisena. Tätä ennen vuosina 2003 - 2007 huippu on ollut myös tasainen, mutta hiukan lähivuotia pienempi. Päivittäinen huipputeho sijoittuu aamu kahdeksan ja iltapäivä kahden välille, josta voidaan päätellä, että kulutus rakentuu paljolti teollisuudesta ja palveluista. Vaasan kaupungin yleiskaavassa Strömbergin aseman vaikutusalueelle on suunniteltu kuvan 20 mukaan rakennettavaksi kolme uutta asuinaluetta. Vuoteen 2010 mennessä tulisi valmistua Suvilahden kerrostaloalue 900 asukkaalle. Vuoteen 2020 mennessä valmistuviksi asuinalueiksi on suunniteltu Mustikkamaan pien- ja rivitaloalue 800 asukkaalle, sekä Vanhan Sataman pientaloalue 200 asukkaalle. (Nieminen) (Vaasa 2030)

Vaasan Asema sekä Purolan sähköasema syöttävät Vaasan kaupungin keskustaa ja sen ympäristöä. Vaasan Asema on otettu käyttöön syksyllä 2007, joten siitä tilastotietoja on vain viime vuodelta. Vaasan Asema rakennettiin korvaamaan käytöstä poistettu Voimalaitoksen sähköasema, joten sen tilastoja voidaan käyttää lisäapuna. Vuosien energian kasvua analysoitaessa käytettävissä on vain vanhan aseman tiedot, joista voidaan nähdä, että energian määrä on kasvanut pieniä poikkeuksia lukuunottamatta muutamia prosentteja vuodessa. Päivittäinen aseman kummankin muuntajan pätötehon huippu sattuu yleensä aamupäivälle kello 9 - 13, mutta poikkeuksiakin on paljon ja välillä päivän huippulukemat mitataankin illalla. Purolan sähköasema syöttää useampia

asuinalueita sekä teollisuusalueita. Purolan aseman kuormituksen kasvu on ollut vuodesta 2001 lähtien tasaista noin nolhasta prosentista viiteen prosenttiin vuodessa lukuun ottamatta vuotta 2008, jolloin se laski noin 8 %. Tätä voidaan pitää seurauksena kytkentätilanteen muutoksista sekä yleisen taloustilanteen aiheuttaman teollisuuden tuotannon vähentämisestä. Aseman pätötehohuippu on pysynyt lähes samana viimeiset neljä talvea lukuun ottamatta 2008 vuoden huippua, joka oli noin 5 MW suurempi kuin muina vuosina. Pätötehon päivittäinen huippu sattuu päämuuntaja 1:lle yleensä ilta kymmenen ja yhdentoista tienoille, kun taas päämuuntaja 2:lle huipun ajankohta on paljon vaihtelevampi vaihdellen yleensä aamupäivän ja ilta yhdentoista välillä. Vaasan kaupungin yleiskaavassa kuvan 20 mukaan on suunniteilla kaksi asuinalueita Vaasan Aseman ja Purolan aseman syöttämien alueiden rajalle, Klemetilän kerrostalo alue 2000 asukkaalle sekä Rautatie alue 2000 asukkaalle. Purolan syöttämälle alueelle kuvan 20 mukaan on lisäksi tulossa useita uusia alueita. Vuoteen 2010 mennessä tarkoituksena on saada valmiiksi Böle I:n pientaloalue sekä vuoteen 2020 mennessä Böle II:n ja III:n rivi-, kerros- ja pientaloalueet, jotka sijoittuvat Ristinummen ja Purolan asemien syöttämille alueille. Lisäksi kaavasta löytyy suunnitelmat Purolan pientaloalueesta 1200 asukkaalle, Vältien pientaloalueesta 400 asukkaalle Melaniemen kerros- ja rivitaloalueesta 1800 asukkaalle sekä Raviradan kerrostaloalueesta 1500 asukkaalle. (Nieminen) (Vaasa 2030)

Alla olevassa taulukossa 18.2 on esitetty Vaasan kaupungin yleiskaavassa suunnitteilla olevat asuinalueet ja niille ennustetut vuosienenergiat sekä huipputehot. Ennusteet on laskettu Verkostosuosituksinen SA 5:94 ja SA 1:87 mukaan. Jos alueelle ollaan rakentamassa pientaloja sekä kerros- ja rivitaloja, ollaan pientalojen suhteeksi oletettu 30 % ja kerros- ja rivitaloasuntojen 70 %. Asukasta kohti oletettiin asuintilaa olevan 50 m² Vaasan kaupungin asettaman tavoitteen/ennusteen mukaan. Pientaloissa oletettiin keskimääräiseksi asukasmääräksi neljä henkilöä sekä kerros- ja rivitaloissa kaksi henkilöä.

Taulukko 18.2. *Suunnitteilla olevat asuinalueet ja niille ennustetut vuosienergiat ja huipputehot. (Nieminen) (Vaasa 2030)*

ALUE	ASUKKAITA	TYYPPI	KERROSALA [m ²]	AIKA- TAULU	ASUNTOJA [kpl]	VUOSI- ENERGIA [kWh]	HUIPPU- TEHO [kW]	SYÖTTÄVÄ SÄHKÖ- ASEMA
Klemetilä	2000	AK	100000	2010	1000	3500000	2490	VSA
Ravirata	1500	AK	75000	2020	750	2625000	1890	PRL
Suvilahti	800	AK	30000	2010	400	1200000	810	STR
Vaskiluoto	1600	AK	80000	2020	800	2800000	2010	VSA/VSL
Myrgrund	4000	AK	200000	2020,2030	2000	7000000	4890	VSL/MAL
Huutoniementie	300	AP,AK	15000	2020	100	1020000	606	PRL
Melaniemi	1800	AKR	90000	2020,2030	900	3150000	2250	PRL
Gerbyn Rinne	300	AKR	15000	2020	150	525000	450	GBY
Isolahti	200	AK	10000	2020	100	350000	330	GBY
Mustikkamaa	800	AK,AP	40000	2020	270	2730500	1506	STR
Gerbyn Niemi	600	AKR,AP	30000	2010,2020	200	2040000	1146	GBY
Välitie	400	AP	20000	2020	100	2900000	1290	PRL
Aurinkokylä	500	AP	25000	2030	125	3625000	1610	RTN
Vesilaitos	600	AP	30000	2030	150	4350000	1930	RTN
Purola	1200	AP	60000	2010	300	8700000	3850	PRL
Gerby V	200	AP	10000	2010	50	1450000	650	GBY
Sundom A	900	AP	45000	2020	225	6525000	2890	MAL/VSL
Böle III	1600	AP,AKR	80000	2020	530	5429500	2946	RTN/PRL
Sundom B	300	AP	15000	2030	75	2175000	970	MAL/VSL
Nyäng I	600	AP	30000	2030	150	4350000	1930	GBY
Höstvesi	800	AP	40000	2020	200	5800000	2570	TUO/RTN
Vanha Satama	200	AP	10000	2020	50	1450000	650	STR
Böle I	500	AP	25000	2010	125	3625000	1610	RTN/PRL
Böle II	1400	AP,AKR	70000	2020	470	4770500	2586	RTN/PRL
Norrskogen	500	AP	25000	2020	125	3375000	1610	GBY
Viken	1000	AP	50000	2030	250	7250000	3210	GBY
Nyäng II	1000	AP	50000	2030	250	7250000	3210	GBY

Kuvassa 20 on esitetty edellisen taulukon 8.2 asuinalueet kartalla ja niiden aikataulu sekä asukasmäärät.



**UUEDET ASUNTOALUEET
NYA BOSTADSOMRÅDEN**

VAASAN KAUPUNKISUUNNITTELU
VASA STADSPLANERING

ASUKKAITA INVÅNARE	2008	58000
	2030	72000
UUEDET PALVELUT NY SERVICE	•	ALAKOULU AK 1-6
	■	ELINTARVIKE LIVSMEDEL
ASEMAKAAVA DETALJPLAN	■	→ 2010
	■	→ 2020
	■	→ 2030

Kuva 20. Suunnitteilla olevat asuinalueet. (Vaasa 2030)

Taulukossa 8.3 on esitetty Vaasan alueelle rakennettavaksi suunnitellut teollisuus- ja työpaikka-alueet. Alueelle on ilmoitettu vain tontin pinta-ala, rakennuksien kerrosala, henkilöstömäärän arvio sekä arvio siitä, onko toimiala julkinen/palvelu vai teollisuus.

Alueille ei ole laskettu arvioita energian kulutukselle ja huipputeholle, sillä tiedot tulevista yrityksistä ja toimialoista ovat vajavaiset. Näin ollen tulokset olisivat hyvin hataria arvauksia. Alueet on esitetty kartalle sijoitettuna liitteessä 5.

Taulukko 8.3. Vaasan alueelle rakennettavaksi suunnitellut teollisuus- ja työpaikka-alueet.(Vaasa 2030)

Alueen tunnus	Pinta-ala [ha]	Kerrosala [m ²]	Henkilöstö [kpl]	Tyyppi
KM	9,1	27300	137	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P	22,0	66000	660	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P1	2,5	7500	75	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P	17,3	51900	519	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P	12,1	36300	363	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P1	6,0	18000	180	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P1	13,9	41700	417	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
KM	36,1	108300	542	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P	1,7	5100	51	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P	24,7	74100	741	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P1	1,9	5700	57	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P1	9,4	28200	282	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
P/LL	17,1	51300	513	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
PY	15,1	45300	906	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
PY	31,6	94800	1896	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
PY	3,4	10200	204	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
TP	10,4	52000	1040	Teollisuudentyöpaikat
TP	14,6	73000	1460	Teollisuudentyöpaikat
TP	1,9	9500	190	Teollisuudentyöpaikat
TP	38,6	193000	3860	Teollisuudentyöpaikat
TP	6,7	33500	670	Teollisuudentyöpaikat
TP	2,6	13000	260	Teollisuudentyöpaikat
TP	3,2	16000	320	Teollisuudentyöpaikat
AK	3,9	11700	234	Julkiset- ja palvelutyöpaikat
T	64,1	128200	641	Teollisuudentyöpaikat
T	32,6	65200	326	Teollisuudentyöpaikat
T	1,3	2600	13	Teollisuudentyöpaikat
T	5,5	11000	55	Teollisuudentyöpaikat
T	7,8	15600	78	Teollisuudentyöpaikat
T	3,3	6600	33	Teollisuudentyöpaikat
T	70,8	141600	708	Teollisuudentyöpaikat

9 KEHITTÄMISSUUNNITELMA

Tässä luvussa käsitellään työssä aikaisemmin tehtyjen selvitystöiden perusteella maastokatkaisijainvestointeja sekä verkon kehittämisen tulevaisuuden suuntaviivoja.

9.1 Maastokatkaisijat

Vaasan Sähköverkon jakelualue sijoittuu suurelta osin maaseudulle. Näin ollen löytyy paljon johtolähtöjä, joilla kuormitus keskittyy lähdön alkupäähän ja loppuosa lähdöstä kulkee joko metsässä, pellolla tai saaristossa. Näin ollen maastokatkaisijoiden hyväksikäyttäminen käyttövarmuuden parantamiseksi on taloudellinen vaihtoehto. Suurimpia haasteita verkon luotettavuudelle ovat tuuli ja linnut, jotka aiheuttavat paljon jälleenkytkentöjä. Sijoittamalla maastokatkaisijoita verkkoon saadaan keskeytyksen vaikutusaluetta rajattua pienemmäksi. Yhtiön tarkoituksena on investoida jo vuonna 2009 kymmeneen maastokatkaisijaan. Seuraavissa kappaleissa esitetään valinnat investoitaviksi katkaisijoiksi sekä selvitetään niiden vaikutus käyttövarmuutta kuvaaviin tunnuslukuihin sekä keskeytyskustannuksiin.

9.1.1 Maastokatkaisijoiden sijoittaminen

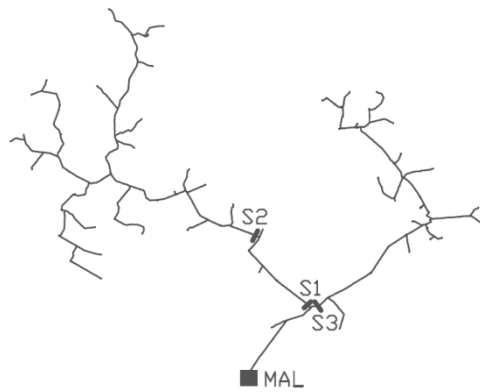
Mahdollisia katkaisijanpaikkoja on vertailtu laskemalla katkaisijalla saavutettu keskeytyskustannussäästö kappaleen 7.5 yhtälöiden 49 ja 50 mukaisesti. Yhden lähdön esimerkkilaskenta on esitetty liitteessä 6. Paikat, joille katkaisijan kannattavuus on laskettu, on valittu verkon rakenteen ja kuormituskeskittymien mukaan. Laskennassa on käytetty vuosien 2006 - 2008 keskimääräisiä vikatietoja. Taulukossa 9.1 on esitetty keskimääräiset vikatiedot kappaleessa käsitellyille lähdöille. Viat on jaettu tasaisesti koko johtolähdölle, sillä vikapaikkatietoja ei ole saatavilla. Kaikkien lähtöjen keskimääräiset vikatiedot on esitetty liitteessä 7. Kytkeäajan muutoksena Δt_{kyt} on käytetty viittä minuuttia, kun paikalla on ollut aikaisemmin kauko-ohjattava erotinasema ja 60 minuuttia, kun paikalla on ollut käsin ohjattava erotin. Katkaisijan eteen jäävä energia on saatu Xpower-verkkotietojärjestelmästä.

Taulukko 9.1. Lähtöjen vikataajuuksia.

Sähköasema	Lähtö	Pituus [km]	Keskeytystaajuudet [kpl/km,a]			
			PJK [kpl/km]	AJK [kpl/km]	Vika [kpl/km]	Vian kesto [h/vika]
MAL	J08 Söderfjär	78,79	0,22	0,05	0,06	0,5167
KOR	J04 Harrström	63,56	0,51	0,02	0,1	0,4866
MAL	J05 Vias	67,61	0	0,03	0,11	0,5207
PTL	J09 Petolahden keskusta	33,91	0,66	0,04	0,14	0,4768
TUO	J04 Helsingby	54,82	0,44	0,02	0,1	0,2476
MAL	J07 Bofjärden	27,98	0,07	0,16	0,09	0,5402
RPL	J08 Vallgrund	73,52	0,22	0,09	0,04	1,0321
GBY	J05 Vestervik	42,02	0,01	0	0,05	0,1893

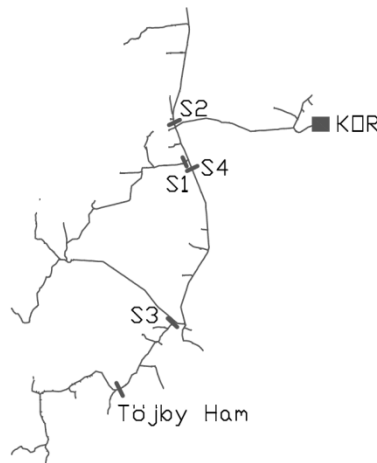
Kaiken kaikkiaan 70 potentiaalista katkaisijanpaikkaa tarkasteltiin laskennallisesti. Laskennassa on selvitetty myös kahden peräkkäisen katkaisijan kannattavuutta. Kahta peräkkäistä maastokatkaisijaa pohdittaessa on mietittävä pystytäänkö suojaus toteuttamaan näin monella suojausportaalla. Tällä hetkellä Vaasan Sähköverkon päämääränä on parantaa luotettavuutta mahdollisimman laajasti, joten aluksi katkaisijoita lisätään eri puolille verkkoa.

Maastokatkaisijan paikat Maalahden sähköaseman lähdöllä J08 Söderfjärden on esitetty kuvassa 21. Lähtö J08 Söderfjärden on ihanteellinen maastokatkaisijan sijoittamiseksi. Suurin osa kuormasta on haaralla, jolle kuvassa 21 on sijoitettu katkaisija S3. Katkaisijan S2 takana taas on saaristoa ja näin ollen suurin osa asutuksesta on vapaa-ajan asumista. Laskennallisesti taloudellisin sijoituspaikka on S2, mutta käytännön kokemuksesta tiedetään, että katkaisijoiden S1 ja S2 välillä on suuria ongelmia lintujen takia. Näin ollen päätettiin vuonna 2009 investoida katkaisijaan S1 ja lisätä sitten myöhemmin katkaisija S2.



Kuva 21. Låhdön J08 Söderfjärden mahdolliset katkaisijan paikat.

Maastokatkaisijoiden mahdolliset paikat Korsnäsin sähköaseman lähdöllä J04 Harrström on esitetty kuvassa 22. Kohdassa Töjby Ham on tällä hetkellä vanha öljykatkaisija, jonka toiminta on hyvin epävarmaa. Lähtö on maaseutulähtö, jonka kuormituksesta suurin osa tulee suurista kasvihuoneista. Laskennallisesti kannattavin ratkaisu on S1 ja siihen päätettiin myös investoida. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa positiivisesti myös tulevaisuudessa lähdölle tehtävät muutokset, jolloin samalle haaralle S1 taakse saadaan kaikki lähdön rannikolla kulkevat linjat. Suurin osa kasvihuoneista sijaitsee katkaisijan S4 takana olevalla haaralla ja näin katkaisijalla S1 saadaan niiden sähkön saanti luotettavammaksi.



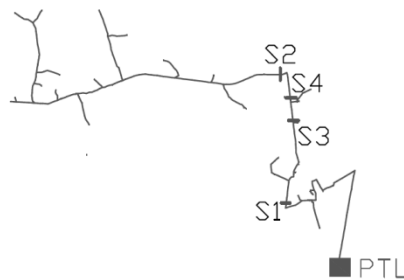
Kuva 22. Låhdön J04 Harrström mahdolliset katkaisijan paikat.

Maalahden sähköaseman lähdön J05 Vias mahdolliset katkaisijan paikat on esitetty alla olevassa kuvassa 23. Laskennallisesti kannattavin paikka on S1. Katkaisijan S1 takana oleva haara on pitkä metsäinen johto-osuus. Katkaisija S3 on toiseksi kannattavin ja sijoitettu Vias asutuskeskuksen maakaapeliosuuden jälkeen paikkaan, jossa linja siirtyy ilmaan. Asutuskeskuksen jälkeen linja kulkee pelloilla ja metsissä. Tällä lähdöllä päätettiin investoida kahteen katkaisijaan.



Kuva 23. Lähdön J05 Vias mahdolliset katkaisijan paikat.

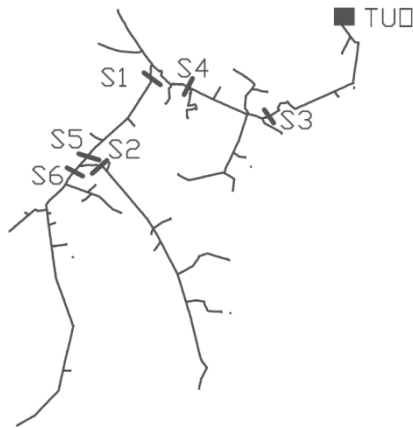
Kuvassa 24 on esitetty lähdön J09 Petalax Centrum mahdolliset vikapaikat. Laskennallisesti kannattavin katkaisijan paikka on S4, mutta käytännön kokemuksen perusteella investointikohteeksi tälle vuodelle valittiin S2. Paikkojen S2 ja S4 välillä ei ole yhtään kuluttajaa, mutta katkaisija on helpompi sijoittaa kohtaan S2.



Kuva 24. Lähdön J09 Petalax Centrum mahdolliset katkaisijan paikat.

Tuovilan sähköaseman lähdölle J04 Helsingby laskettiin kuvan 25 mukaan seitsemän mahdollisen katkaisijapaikan kannattavuudet. Laskennallisesti kannattavin katkaisijan paikka on S4, koska näin lähdön suurin kulutus jäisi sen eteen. Kuitenkin

todellisuudessa S4 on hyvin hankala sijoituspaikka katkaisijalle, joten katkaisija päätettiin sijoittaa paikkaan S1, jossa saatavat säästöt ovat lähes yhtä suuret kuin paikassa S4.



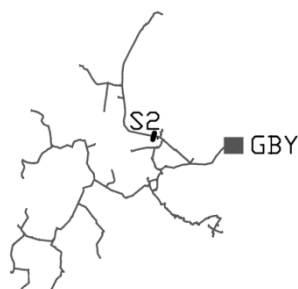
Kuva 25. Lähdön J04 Helsingby mahdolliset katkaisijan paikat.

Maalahden sähköaseman lähdölle J07 Bofjärden potentiaalisia katkaisijan paikkoja on vain yksi kuvan 26 mukaisesti. Lähdön kuormitus on suurelta osin painottunut lähdön alkuun suuren sikalan ja kasvihuoneen vaikutuksesta. Katkaisijan S4 jälkeen koko lähdön kuormituksesta on vain 8,5 prosenttia.



Kuva 26. Lähdön J07 Bofjärden mahdolliset katkaisijan paikat.

Gerbyn aseman lähdöllä J05 Vestervik alkupää on maakaapeloitua asutuskeskusta ja loppupää saaristossa ja metsässä kulkevaa ilmalinjaa. Ainut otollinen paikka maastokatkaisijalle on kuvan 27 mukainen S2. Lähdöllä on jo ennestään katkaisija ennen Gerbyn saaristoa.



Kuva 27. Lähdön J05 Vestervik mahdolliset katkaisijan paikat.

9.1.2 Maastokatkaisijoiden vaikutukset

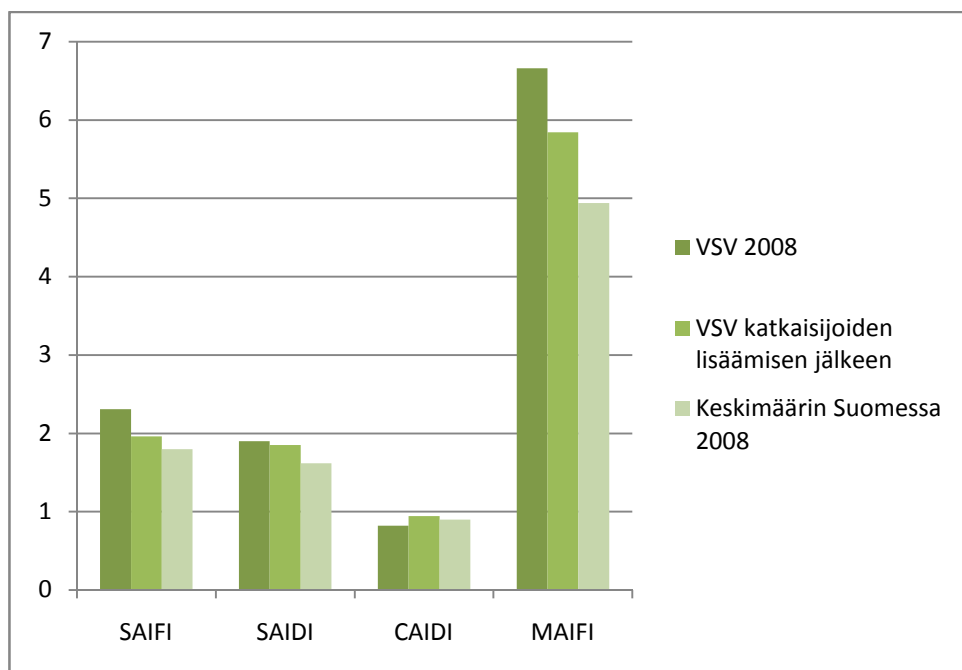
Taulukossa 9.2 on esitetty vuonna 2009 investoitavat katkaisijat ja niiden vaikutukset keskeytyskustannuksiin. Investointien suuruus on EMV:n yksikköhintojen mukaan noin 224 k€. Maastokatkaisijoista syntyvät laskennalliset säästöt ovat yhteensä noin 172 k€/a.

Taulukko 9.2. Vuonna 2009 investoitavat katkaisijat ja niiden vaikutukset keskeytyskustannuksiin.

Katkaisijan sijainti			Katkaisijan eteen jäävä teho	Katkaisijan taakse jäävän verkon pituus	Lähdön keskeytyskustannukset 2006-2008	Katkaisijalla saavutettava säästö
Sähköasema	Lähtö	Tunnus	[kW]	[km]	[k€/a]	[k€/a]
MAL	J08 Söderfjär	S1	1929,21	47,78	132	18
KOR	J04 Harrström	S1	1813,01	20,22	132	55
MAL	J05 Vias	S1	1619,18	23,23	96	10
PTL	J09 Petolahden keskusta	S2	898,63	19,74	57	12
MAL	J05 Vias	S2	1662,79	16,44	96	34
TUO	J04 Helsingby	S5	907,53	26,65	48	11
MAL	J07 Bofjärden	S4	1105,71	21,04	23	16
RPL	J08 Vallgrund	S2	457,53	34,51	38	5
RPL	J08 Vallgrund	S1	341,89	29,34	38	3
GBY	J05 Vestervik	S2	1834,13	5,62	14	8

172

Kuvassa 28 on esitetty katkaisijoiden vaikutukset käyttövarmuutta kuvaaviin tunnuslukuihin SAIFI:n, SAIDI:n, CAIDI:n ja MAIFI:n.



Kuva 28. Käyttövarmuutta kuvaavat tunnusluvut Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkossa vuonna 2008 ja 10 katkaisijainvestoinnin jälkeen sekä keskimäärin Suomessa vuonna 2008. (Energiateollisuus 2008)

Kuvasta 28 voidaan huomata, että katkaisijoilla on huomattava vaikutus käyttövarmuutta kuvaaviin tunnuslukuihin. Ainoastaan CAIDI, eli keskeytyksen keskimääräinen pituus per asiakas, kasvaa. Tämä johtuu siitä, ettei katkaisijalla lyhennetä keskeytyksen pituutta vaan pienennetään siitä kärsivien asiakkaiden määrää. Näin ollen CAIDI:n ollessa SAIDI:n ja SAIFI:n suhdeluku, SAIFI:n pienentyessä huomattavasti CAIDI:n arvo nousee.

9.2 Kehittämisehdotuksia

Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkon nykytilan määrittäminen sekä korvaustarkastelu toivat esille useita mahdollisia kehittämisen suuntaviivoja. Tässä kappaleessa on esitetty verkon kehittämiseen tähtäviä toimenpidevaihtoehtoja sekä yksittäisiä verkostosuunnittelua helpottavia toimenpiteitä.

Suunnittelun helpottamiseksi sekä laskentatulosten tarkentamiseksi tehtäviä toimenpiteitä:

- uusien tarkastettujen kuormituskäyrien siirtäminen Xpowerin tietokantaan
- siirtyminen ainoastaan SYLIND2004 tyyppikäyräkirjaston taulukossa 5.1 esitettyihin käyriin lisättäessä uusia kuluttajia
- kuormituskäyrien päivittäminen asiakkaan vaihtuessa tai asiakkaan ilmoittaessa kulutuksen muutoksesta
- tuntisarjojen käyttöönotto laskennassa suurille kuluttajille
- vuosittainen keskeytyskustannusten seuranta lähdöittäin
- syöttävän verkon oikosulkuimpedanssien päivitys tehtäväksi kerran vuodessa.

Oikosulkulaskennan tulosten perusteella syntyneet toimenpide-ehdotukset:

- oikosulkukestottomien lähtöjen pikalaukaisujen asetteluarvojen tarkistaminen. Ellei ongelma ratkea asetteluarvoilla, tulee harkita johdinvaihtoja
- epäselektiivisten suojausportaiden releasettelujen tarkistaminen. Elleivät verkkotietojärjestelmän arvot ole todellisia, tulee asetellut muuttua oikeiksi
- kj-asiakkaitten omien laitteistojen releasettelut tulisi ohjeistaa.

Seuraavassa on esitetty työssä esiin tulleita yksittäisiä ongelmakohtia.

- Syöttö kaupungista pohjoiseen - Mahdollistaa Gerbyn aseman korvaustilanteessa jakaa Gerbyn, Vestervikin ja Raippaluodon kuormat kolmelle lähdölle ilman Gerbyn aseman kiskostoa.
- Tuovilan aseman J04 Helsingby lähdön vahvistaminen – Parantaa lähdön käyttömahdollisuuksia korvaustilanteissa.

- Korsnäsin, Petolahden ja Maalahden välisten yhdysjohtojen vahvistus - Jännitteenalennemien pienentämiseksi korvaustilanteissa.
- Pohdittava Bofjärdenin kasvihuoneen korvausmahdollisuuksia
- Pohdittava ABB:n alueen korvausmahdollisuuksia
- Taloudelliset johdinvaihdot - Verkostohäviöiden pienentämiseksi.
- Keskeytyskustannuksien pienentäminen – Työssä esitettyjen menetelmien avulla.

Työssä ilmeni tarpeita uusien sähköasemien rakentamiseksi kuormitusennusteiden ja korvaustarkastelun perusteella. Seuraavassa on esitetty ideoita, jotka ovat syntyneet diplomityön aikana koskien sähköasemia.

Sähköasema Korsnäsin aseman kuormien keventämiseksi. Korsnäsin aseman kuormitusaste huipputehon aikana oli vuonna 2009 98 %. Tulevaisuuden näkymät aseman kuormitettavuuden kasvussa ovat ongelmallisia. Tällä hetkellä näyttää siltä, että kasvihuonetuotantoa tuetaan hyvin ja näin ollen uusia kasvihuoneita voidaan olettaa rakennettavan useita. Tilanne voi kuitenkin muuttua hyvin nopeasti tukipolitiikan muuttuessa. Tämä tekeekin alueen investoinneista riskiltään suuria, siksi investointeja tulee punnita hyvin tarkasti. Korsnäsin kuorman siirtäminen muille alueen asemille ei ole mahdollista, joten kapasiteetin lisäämistä alueelle on pohdittava. Lisäksi uusi asema ratkaisisi puuttuvan kapasiteetin ongelman nykyisen Korsnäsin aseman korvaustilanteessa. Oikein sijoitetulla uudella kapasiteetilla ja hyvillä yhteyksillä voidaan parantaa myös Petolahden aseman korvausmahdollisuuksia.

Pohjoisen jakelualueen kehittäminen. Gerbyn sähköaseman kuormitusaste vuonna 2009 oli huipputehon aikana 98 %. Tilannetta helpottaa kuitenkin asemalla oleva varamuuntaja, jolle voidaan kuormaa jakaa huipputehon aikana. Kuitenkin Gerbyn ja Vestervikin alueille on kaupungin yleissuunnitelmassa suunniteltu useita asuinalueita. Suunnitelmien etenemistä tulee seurata tarkkaan, jotta voidaan varautua mahdollisiin kuorman lisäyksiin. Ristinummen ja Gerbyn asemien välille on tulossa isot Bölen asuinalueet, joiden kuormia on vaikea sovittaa kummallekaan asemalle. Tämä johtaisi

huipputehojen aikaisten kuormitusasteiden nousemiseen yli 100 prosenttiin kummallakin asemalla.

Mäkipään sähköaseman korvaus. Mäkipään aseman korvaustilanne huippukuorman aikana ei onnistu. Ongelmaksi muodostuvat suuret jännitteenalenamat. Ongelmaa voidaan pienentää esim. Tuovilan ja Mäkipään asemien välisen yhteyden vahvistuksella, muodostamalla nykyisen yhden yhteyden vierelle toinen yhteys ja jakamalla korvattava kuorma Koivulahden kytkinasemalle ja Tuovilan sähköasemalle.

Kahteen edelliseen kohtaan ratkaisuvaihtoehtona voisi olla myös uuden sähköaseman rakentaminen Gerbyn aseman ja Mäkipään aseman välille. Koivulahden kytkinasema olisi asemalle luonnollinen ja helppo sijoituspaikka. Asema helpottaisi Mäkipään, Ristinummen ja Gerbyn asemien korvaustilanteita sekä mahdollistaisi Ristinummen kuorman vapauttamista Bölen asuinalueille.

Vaskiluodon päämuuntaja. Vaskiluodon kytkinasemaa syöttävä Vaskiluodon päämuuntaja, joka sijaitsee Vaskiluodon voimalaitoksella, on EPV Energia Oy:n omistuksessa. Näin ollen ei voida olla varmoja riittävästä kapasiteetin saatavuudesta tulevaisuudessa. Tällä hetkellä päämuuntajan kapasiteetti voidaan korvata Maalahden ja Vaasan asemilta. Tulevaisuutta on kuitenkin pohdittava, sillä muuntajan lähialueiden kuormat tulevat kasvamaan suunnitteilla olevien asuinalueiden myötä huomattavasti.

10 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli analysoida Vaasan Sähköverkko Oy:n keskijänniteverkon nykytilaa sekä määrittää kehittämissuunnitelma käyttövarmuuden näkökulmasta. Työssä ei kuitenkaan pyritty hakemaan ratkaisuja tulevaisuuden ongelmakohtiin vaan ainoastaan tuomaan ne esille ja esittämään ajatuksia mahdollisiksi ongelman ratkaisuvaihtoehdoiksi. Nykytila määritettiin tämän hetkisillä huippukuormilla ja kapasiteetin riittävyyttä pohdittiin nykytilan määrittämisen tulosten ja tulevaisuuden kuormitusennusteiden perusteella. Työn yhtenä tarkoituksena oli tarkentaa tehonjakolaskennan luotettavuutta.

Jotta nykytilan määrittäminen olisi mahdollisimman todenmukainen, tulisi laskennan alkutiedot olla mahdollisimman tarkat. Työn yhteydessä verkkotietojärjestelmän laskennassa käytettyjä kuormituskäyriä tarkennettiin ja syöttävänverkon oikosulkuimpedanssit päivitettiin päämuuntajille. Lisäksi osalla asiakkaista käytettiin todellisia tuntimittauksen tietoja. Tehonjakolaskennan tuloksia verrattiin todellisiin sähköasemalla mitattuihin arvoihin. Vertailtaessa arvoja huomattiin, että osa tuloksista ei vielä täsmännyt. Virheen korjaamiseksi muuntajille ja lähdöille määritettiin kertoimet, joilla tulosta korjattiin.

Vaasan Sähköverkko Oy:n nykytila on termisten kuormitettavuusrajojen ja jännitteenalenemien suhteen kohtuullisen hyvä. Normaalin kytkentätilanteen aikana suurin jännitteenalenema kaupunki- ja taajama-alueilla on reilusti alle 3 prosenttia ja maaseudulla vain kuudella lähdöllä jännitteenalenema nousee yli 5 prosenttiin. Nykytilan määrittämisen yhteydessä todettiin neljän päämuuntajan olevan yli 90 % kuormassa huipputehon aikana. Näiden asemien alueiden kehittymistä tuleekin seurata hyvin tarkkaan. Nykytilan määrittämisen yhteydessä jokaiselle johtolähdölle laskettiin keskeytyskustannukset käytöntukijärjestelmästä saatujen vikatilastoiden perusteella. Vaasan Sähköverkko Oy:n johtolähtöjen keskeytyskustannukset ovat suhteellisen suuret, noin 1,4 M€/a. Keskeytyskustannuksiltaan suurimpia lähtöjä ovat pitkät maaseutulähdöt. Yksi suurimpia keskeytyskustannuksia omaava lähtö on Maalahden aseman lähtö J08 Söderfjärden, jonka kustannukset ovat 156 k€/a. Oikosulkulaskennan perusteella verkosta löytyi alle kuusi kilometriä oikosulkukestottomia johto-osuuksia.

Verkosta löytyi myös useita keskijänniteasiakkaita joiden kojeistojen releasettelut aiheuttivat suojausportaiden epäselektiivisyyden.

Sähköasemien korvaustarkastelu toteutettiin tilanteessa, jossa koko sähköasema oli poissa käytöstä huippukuorman aikana. Korvaustarkastelu tehtiin jokaiselle asemalle yksitellen. Useamman aseman vioittuminen yhtä aikaa aiheuttaa liian suuren tehovajauksen ja näin ollen korvaus olisi mahdotonta. Lisäksi todennäköisyys kahden sähköaseman vioittumiseksi yhtä aikaa on häviävän pieni.

Sähköaseman korvaustarkastelun yhteydessä huomattiin usean aseman korvauksen olevan hankalaa. Korsnäsin ja Mäkipään asemien korvaus ei onnistu ollenkaan. Korsnäsin asemalla ongelmaksi tulee viereisen aseman Petolahden päämuuntajan koko ja suuret jännitteenalenemat. Mäkipään aseman korvauksen onnistumisen estää liian suuriksi kasvavat jännitteenalenemat. Petolahden ja Maalahden asemia korvattaessa osa jännitteenalenemista nousi asetettujen rajojen yläpuolelle. Gerbyn aseman korvaustarkastelussa ongelmaksi tulivat korvauksen suorittavien lähtöjen termiset kuormitettavuudet sekä jännitteenalenemat, jotka nousivat Raippaluodossa hyvin suuriksi.

Työssä esitettiin useita tapoja keskeytyskustannusten pienentämiseksi. Tarkempi analyysi tehtiin kuitenkin vain maastokatkaisijoiden vaikutuksista käyttövarmuuteen ja keskeytyskustannuksiin. Verkosta valittiin useita mahdollisia maastokatkaisijan paikkoja verkon rakenteen ja kulutuskeskittymien perusteella. Tämän jälkeen katkaisijan paikkojen kannattavuutta vertailtiin laskennallisesti. Laskentojen ja käytännönkokemusten perusteella työssä valittiin kymmenen paikkaa, joihin sijoitetaan maastokatkaisijat vuoden 2009 aikana. Näillä kymmenellä katkaisijalla saavutetaan 172 k€:n vuosittainen säästö. Investointien kustannuksen ollessa EMV:n yksikköhintojen mukaan 224 k€ voidaan takaisinmaksuajan todeta olevan alle kaksi vuotta. Katkaisijoilla on myös suuri positiivinen vaikutus käyttövarmuutta kuvaaviin tunnuslukuihin.

Nykytilan ja korvaustarkastelun perusteella sijoitettiin verkkoon siis kymmenen maastokatkaisijaa sekä pohdittiin keskijänniteverkon kehittämisen suuntaviivoja. Tulevaisuudessa tämän työn tuloksia voidaan päivittää työssä esitettyjen menetelmien perusteella.

LÄHTEET

- (ABB) ABB. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Saatavilla
www-muodossa:
[http://www.abb.fi/cawp/fiabb255/C46D5509D325
D21AC225695B002FB07B.aspx?/](http://www.abb.fi/cawp/fiabb255/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B.aspx?/)
[Viitattu 16.6. 2009]
- (Druml 2001) Druml Gernot, Kugi Andreas, Parr Bodo. 2001.
Control of Petersen Coils. Saatavilla www-
muodossa:
http://www.a-eberle.de/pdf/iste216_pp1.PDF
[Viitattu 18.5.2009]
- (Energiateollisuus 2006) Energiateollisuus Ry. 2007. Keskeytystilasto-ohje
2006 v.3.1. Saatavilla www-muodossa:
[http://www.energia.fi/fi/tilastot/keskeytystilastot/
KESKEYTYSTILASTO-OHJEv3.1.pdf](http://www.energia.fi/fi/tilastot/keskeytystilastot/KESKEYTYSTILASTO-OHJEv3.1.pdf)
- (Energiateollisuus 2008) Energiateollisuus Ry. 2009. Keskeytystilasto
2008. Saatavilla www-muodossa:
[http://www.energia.fi/content/root%20content/ene
rgiateollisuus/fi/tilastot/keskeytystilastot/liitteet/ke
skeytystilasto%202008.pdf?SectionUri=%2ffi%2ft
ilastot%2fkeskeytystilastot](http://www.energia.fi/content/root%20content/energiateollisuus/fi/tilastot/keskeytystilastot/liitteet/keskeytystilasto%202008.pdf?SectionUri=%2ffi%2ftilastot%2fkeskeytystilastot)
- (Energiateollisuus RJ 19:06) Verkostosuositus RJ 19:06, Pylväserotinasemien
ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS
6001 mukaan, Energiateollisuus Ry. 2006.

- (EMV 2004) Energiamarkkinavirasto. 2004. Sähkön jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnin suuntaviivat vuosille 2005-2007. Saatavilla www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Sahko_jakelu_suuntaviivat_9-429-2004.pdf
- (EMV 2007) Energiamarkkinavirasto. 2007. Vahvistuspäätös sähköverkonhaltijan verkkotoiminnan tuoton määrittämistä koskeviksi menetelmiksi 2008-2011, Liite 1. Saatavilla www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Liite1_413-501-424-2007.pdf
- (Fingrid 2009) Fingrid Oyj. 2009. Vikavirrat Vaasan Sähkö Oy:n 110 kV:n sähköasemilla. Fingrid voimajärjestelmän suunnittelu/ Ulla Huhtanen. Muistio 27.7.2009.
- (Honkapuro 2006) Honkapuro Samuli, Tahvanainen Kaisa, Viljanen Satu, Lassila Jukka, Partanen Jarmo, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kivikko Kimmo, Mäkinen Antti, Järventaus Pertti, Tampereen teknillinen yliopisto. 2006. DEA-mallilla suoritettava tehokkuusmittauksen kehittäminen. Saatavilla www-muodossa: http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/DEA-jatkokehitys_LUT_20061208.pdf

- (Jakelu 2008) Opintojakson BL20A0500 Sähkönjakelutekniikka luentomateriaali ja laskuharjoitukset. Saatavalla [www-muodossa:](http://www.muodossa:)
<http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710500/materiaalit.html>
- (Lakervi 2008) Lakervi Erkki, Partanen Jarmo. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto. ISBN 978-951-672-357-3. 285 s.
- (Lohjala 2005) Lohjala Juha. Haja-asutusalueiden sähkönjakelujärjestelmien kehittäminen erityisesti 1000 V jakelujännitteen käyttömahdollisuudet. 2005. Väitöskirja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Digipaino. ISBN 952-214-020-1. 201 s.
- (Partanen 2006) Partanen Jarmo, Lassila Jukka, Kaipia Tero, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Martikainen Mika, Suur-Savon Sähkö Oy. Järventausta Pertti, Verho Pekka, Mäkinen Antti, Kivikko Kimmo, Pylvänäinen Jouni, Nurmi Veli-Pekka, Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkönjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja-arvot sekä sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettavien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. Tilaustutkimusraportti. 26.10.2006. 137 s. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa:)
http://www.tem.fi/files/17485/KTM-LTY-TTY_26_10_06.pdf

- (Pikatilasto 2008) Sähkön kuukausittaiset pikatilastot 2002 - 2008. Energiateollisuus Ry. 2008. Saatavilla www-muodossa:
<http://www.energia.fi/fi/tilastot/pikatilasto>
- (Rouhiainen 2008) Rouhiainen J. Maasulkuvirtojen kehitys ja kompensointi Hamina Energia Oy:n keskijänniteverkossa. Diplomityö. Saatavilla www-muodossa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/42480/nbnfi-fe200810152007.pdf?sequence=3>
- (Sener 2004) Vakiokorvaukset – sovellusohje 1.1.2004. Senerin vakiokorvaustyöryhmä. Sähköenergialiitto Ry. 2004.
- (Sener SA 5:94) Verkostosuositus SA 5:94. Keskijänniteverkon sähköinen mitoitus. Sähköenergialiitto Ry. 1994.
- (Sähkömarkkinalaki) Sähkömarkkinalaki 386/1995. 17.3.1995 Eduskunnan päätöksen mukaisesti säädetty, sisältäen muutokset 1018/1995, 332/1998, 138/1999, 466/1999, 623/1999, 444/2003, 1130/2003, 1172/2004, 624/2007, 1326/2007 ja niihin liittyvät hallituksen esitykset.
- (Sähkömarkkinat 2008) Partanen Jarmo, Viljanen Satu, Lassila Jukka, Samuli Honkapuro, Kaisa Tahvanainen, Risto Karjalainen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2008. ISBN 951-764-819-9. Saatavilla www-muodossa: <http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710400/Smpruju-22092006.pdf>

- (Sähkönkulutus) Sähkön tuotanto ja ulkomaankauppa – tilasto. Energiateollisuus Ry. Saatavana www-muodossa: <http://www.energia.fi/fi/tilastot/sahkotilasto/tuotanto/sahkontuotantojaulkomaankauppa>
- (Sähköturvallisuusmääräykset) Sähköturvallisuusmääräykset Julkaisu A1-93. Sähkötarkastuskeskus. Gummerus Kirjapaino Oy, 1993, 297 s. ISBN 951-8921-69-5.
- (Tilastokeskus) Väestöennuste 2007 iän ja sukupuolen mukaan kunnittain (PARAS-hankkeen vuodet ja ikäryhmät). Tilastokeskus. Saatavan www-muodossa: http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/vrm/vaenn/vaenn_fi.asp
- (Turunen 2006) Turunen Taisto, Hirvonen Ritva, Jauhiainen Matti, Kinnunen Markku, Lehtinen Harri, Lehtisalo Tapio, Rajala Arto, Sandholm Pekka, Seppälä Päivi, Turkki Juha, Öhman Leila. Sähkönjakelun toimitusvarmuuden kehittäminen, Sähkön jakeluhäiriöiden ehkäisemistä ja jakelun toiminnallisia tavoitteita selvittäneen työryhmän raportti. Kauppa- ja teollisuusministeriön asettaman työryhmän raportti, 19.12.2006. Saatavilla [www-muodossa: http://www.tem.fi/files/17096/Sahkokatkostyoryhman_raportti.pdf](http://www.tem.fi/files/17096/Sahkokatkostyoryhman_raportti.pdf)
- (Vaasa 2030) Vaasan kaupunki. Vaasan yleiskaava 2030. Ehdotus 28.10.2008.

(Vaasan Sähkö 2008)

Vaasan Sähkö Oy, Vuosikertomus 2008.

Palaverit

(Nieminen)

Vaasan kaupunki. 5.5.2009. Nieminen, Harri.

LIITE 1 Verkostokomponenttien yksikköhinnat 2009 ja laskennallisia pitoaikoja.

20 kV ilmajohtot	Hinta [€/km]	Pitoaika [a]
Sparrow	17930	30 - 45
Raven	22000	
Pigeon	25140	
Al 132	29110	
SAXKA 70 tai pienempi	50650	
SAXKA 120 tai suurempi	60060	
PAS 35-70	29280	
PAS 95 tai suurempi	32640	
Muut	17930	

20kV maakaapelit	Hinta [€/km]	Pitoaika [a]
enintään 70 maakaapeli	25270	30 - 45
95-120 maakaapeli	34600	
150-185 maakaapeli	41990	
240-300 maakaapeli	47680	
enintään 70 vesistökaapeli	58230	
Kojeistopääte	1260	
Pylväspääte	2650	
Jatko	2490	

20 kV maakaapelit (kaivu)	Hinta [€/km]	Pitoaika [a]
Haja-asutusalue	10190	
Taajama-alue	21700	
Kaupunkialue	67100	

20 kV erottimet ja katkaisijat	Hinta [kpl/km]	Pitoaika [a]
Johtoerotin, kevyt	3650	25 - 30
Johtoerotin, katkaisukammio	6750	
Kauko-ohjattu erotinasema 1 erotin	16610	
Kauko-ohjattu erotinasema 2 erotinta	31590	
Kauko-ohjattu erotinasema 3-4 erotinta	41420	
Pylväskatkaisijat (kauko-ohjattava)	22140	
20 kV katkaisija-asema	75450	
20 kV kytkinasema	44380	
20/20 kV säätöasema	210810	

Sähköasemat ja 20 kV kojeistot	Hinta [kpl/km]	Pitoaika [a]
110 kV kevyt sähköasema	403850	45
Maasulun sammutuslaitteisto	125700	
Kuristin < 50 MVA	71670	
Kuristin > 50 MVA	46930	

LIITE 2 Energiamarkkinaviraston toisella valvontajaksolla käyttämiä laskentaparametreja.

Parametri	Sovellettava arvo	Sovellettava arvo
	(yhteisöverovelvolliset)	(muut)
Riskitön korkokanta	10 v valtion obligaatiokorko (edellisen vuoden toukokuun arvo)	10 v valtion obligaatiokorko (edellisen vuoden toukokuun arvo)
Riskipreemio	5 %	5 %
Likvidittömyyspreemio	0,20 %	0,20 %
Velaton beetta	0,3	0,3
Velallinen beetta	0,395	0,429
Veroaste	26 %	0 %
Pääomarakenne (velat/oma pääoma)	30/70	30/70
Korollinen vieraan pääoman kustannus	riskitön korko + 0,6 %	riskitön korko + 0,6 %

LIITE 3 Esimerkki keskeytyskustannusten laskennasta.

Lasketaan Maalahden aseman J08 Söderfjärden lähdön keskeytyskustannukset yhtälöiden 38 - 41 avulla. Keskeytyskustannuksista jätettiin huomioimatta suunnitellut keskeytykset. Laskennassa vikataajuuksina käytettiin todellisia vikamääriä vuodelta 2008. Ensin lasketaan vikakeskeytyksien kustannukset:

$$\begin{aligned}K_{vika} &= f_{vika} \cdot l \cdot (k_{vika,kW} + k_{vika,kWh} \cdot t_{vika}) \cdot P_{av} \\ &= 0,08 \frac{kpl}{km, a} \cdot 85,74 km \cdot \left(1,1 \frac{\text{€}}{kW} + 11,0 \frac{\text{€}}{kWh} \cdot 0,79\right) \\ &\quad \cdot 1709 kW = 116973 \frac{\text{€}}{a}\end{aligned}$$

Seuraavaksi lasketaan pika- ja aikajälleenkytkentöjen aiheuttamat kustannukset:

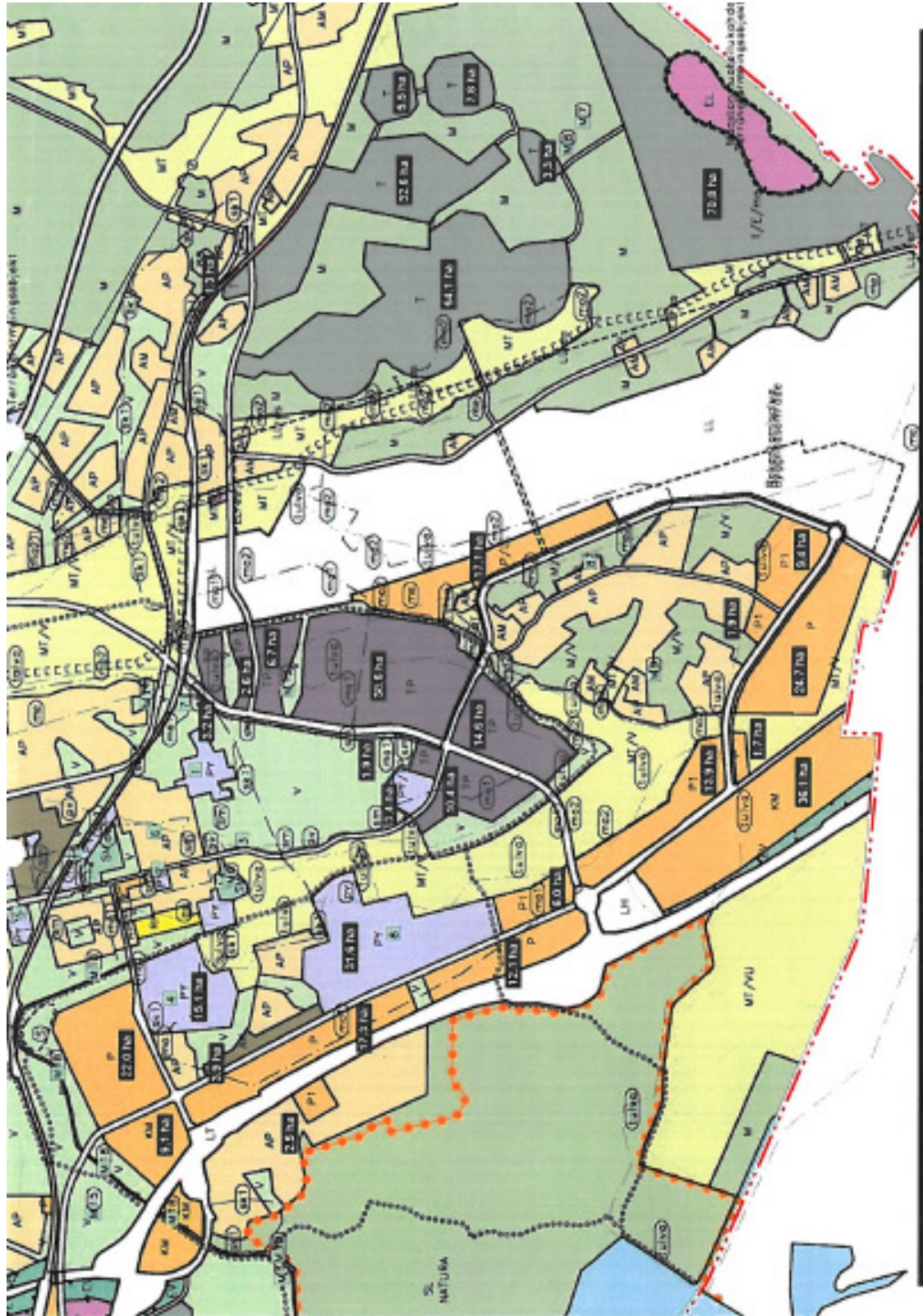
$$K_{PJK} = f_{PJK} \cdot l \cdot P_{av} \cdot k_{PJK} = 0,34 \frac{kpl}{km, a} \cdot 85,74 km \cdot 1709 kW \cdot 0,55 \frac{\text{€}}{kW} = 27254 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_{AJK} = f_{AJK} \cdot l \cdot P_{av} \cdot k_{AJK} = 0,07 \frac{kpl}{km, a} \cdot 85,74 km \cdot 1709 kW \cdot 1,1 \frac{\text{€}}{kW} = 11277 \frac{\text{€}}{a}$$

Lopuksi vikakeskeytyksistä sekä pika- ja aikajälleenkytkennöistä aiheutuvat kustannukset lasketaan yhteen:

$$\begin{aligned}K_{keskeytyks} &= K_{vika} + K_{PJK} + K_{AJK} = 116973 \frac{\text{€}}{a} + 27254 \frac{\text{€}}{a} + 11277 \frac{\text{€}}{a} \\ &= 155504 \text{ €}/a\end{aligned}$$

Sähköasema	Normaali maksimitilanne I_k''			
	I_k''/kA	Rk/ohm	Xk/ohm	310/kA
Gerby	7,9	1,6	8,4	2,0
Korsnäs	4,3	4,6	15,0	1,5
Maalahti	8,2	1,7	8,1	2,1
Petolahti	6,2	2,6	10,5	1,9
Purola	14,0	0,7	4,8	2,5
Ristinummi	11,6	1,1	5,8	2,3
Strömberg	11,6	1,1	5,8	2,3
Tuovila	16,8	0,6	4,0	2,6
Vaasan Asema	15,6	0,6	4,3	2,5
Vaskiluoto	18,4	0,5	3,7	2,6
Karvsor	4,0	3,9	16,5	1,5
Miettylä	7,2	2,8	9,1	2,0
Ratikylä	9,2	1,7	7,3	2,2
Mäkipää	4,6	3,7	14,6	1,5



Ote Vaasan yleiskaavaehdotuksesta 2030

LIITE 6 Esimerkki maastokatkaisijalla saavutetuista säästöistä.

Lasketaan Maalahden aseman J08 Söderfjärden lähdöllä sijaitsevan katkaisijalla S1 saavutettava säästö yhtälön 49 avulla. Laskennassa vikataajuuksina käytettiin todellisia vikamäärien keskiarvoja vuosilta 2006 – 2008.

$$\Delta KAH = \left[\frac{f_{vika} \cdot (k_{vika,kW} + \Delta t_{kyt} \cdot k_{vika,kWh})}{f_{PJK} \cdot k_{PJK} + f_{AJK} \cdot k_{AJK}} + \right] \cdot P_{alku} \cdot l_{loppu} =$$

$$\left[\begin{array}{l} 0,06 \frac{kpl}{km, a} \cdot \left(1,1 \frac{\text{€}}{kW} + 0,08333h \cdot 11,0 \frac{\text{€}}{kWh} \right) + \\ 0,22 \frac{kpl}{km, a} \cdot 0,55 \frac{\text{€}}{kW} + 0,05 \frac{kpl}{km, a} \\ \cdot 1,1 \frac{\text{€}}{kW} \end{array} \right] \cdot 1291 kW \cdot 47,78 km = 18 k\text{€}$$

Lähtö	Sähkö- asema	Pituus [km]	Keskeytykset keskiarvo 2006-2008						
			PJK		AJK		Viat		
			[kpl/a]	[kpl/km,a]	[kpl/a]	[kpl/km,a]	[kpl/a]	[kpl/km,a]	[h/kpl]
J04 Köklot	ALS	32,22	1,67	0,05	0,00	0,00	4,67	0,14	0,545
J04 Gerby	GBY	10,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,06	2,249
J05 Vestervik	GBY	30,56	0,33	0,01	0,00	0,00	1,67	0,05	0,189
Gby Skärg	GBY	20,81	0,67	0,03	0,00	0,00	8,00	0,38	4,203
J06 Singsby	GBY	23,02	0,33	0,01	0,00	0,00	3,67	0,16	0,596
J07 Replot	GBY	21,07	0,67	0,03	0,00	0,00	3,00	0,14	0,594
J10 Jungsund	GBY	54,01	6,00	0,11	1,33	0,02	4,00	0,07	0,679
J07 Vörå	KVR	0,86	1,67	1,93	0,00	0,00	0,67	0,77	0,000
J08 Mäkipää	KVR	24,53	8,33	0,34	0,00	0,00	7,00	0,29	0,221
J02 Pölsviken	KVL	5,99	0,67	0,11	0,00	0,00	0,33	0,06	0,079
J04 Hankmo	KVL	82,26	11,00	0,13	1,00	0,01	3,00	0,04	0,671
J04 Harrström	KOR	63,56	32,33	0,51	1,00	0,02	6,67	0,10	0,487
J05 Tuväng	KOR	20,67	7,67	0,37	0,00	0,00	1,33	0,06	0,392
J06 Svartnäs	KOR	36,80	8,67	0,24	1,00	0,03	3,67	0,10	1,046
J09 Korsbäck	KOR	29,23	10,33	0,35	0,67	0,02	5,00	0,17	0,236
J10 Korsnäs	KOR	20,53	9,33	0,45	0,33	0,02	1,00	0,05	0,195
J11 Träskböle	KOR	8,69	2,67	0,31	0,00	0,00	2,33	0,27	0,076
J04 Almedahl	MAL	6,28	16,33	2,60	0,00	0,00	1,00	0,16	0,533
J05 Vias	MAL	67,61	0,00	0,00	2,00	0,03	7,33	0,11	0,521
J06 Åminne	MAL	14,37	7,33	0,51	2,33	0,16	3,67	0,26	7,972
J07 Bofjärden	MAL	27,98	8,33	0,30	0,33	0,01	2,00	0,07	0,540
J08 Söderfjär	MAL	85,74	19,00	0,22	4,67	0,05	5,33	0,06	0,517
Granö	MAL	42,74					2,00	0,05	3,934
J04 Ylipää	MIE	34,96	11,67	0,33	0,67	0,02	1,00	0,03	0,290
J05 Peltomaa	MIE	84,21	24,00	0,28	3,00	0,04	2,67	0,03	0,164
J06 Alapää	MIE	64,04	14,00	0,22	2,67	0,04	2,67	0,04	0,256
J07 Kirkonkylä	MIE	4,53	2,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
J08 Vähäkyrö	MIE	1,15	1,67	1,45	0,00	0,00	0,67	0,58	0,087
J02 Rökiö	MÄK	46,68	3,33	0,07	7,33	0,16	4,33	0,09	0,164
J03 Lotlax	MÄK	11,78	4,00	0,34	0,67	0,06	7,00	0,59	0,315
J06 Centrum	MÄK	10,40	2,00	0,19	3,33	0,32	2,00	0,19	0,478
J07 Södra	MÄK	33,24	9,67	0,29	0,67	0,02	6,33	0,19	0,063
J07 Häggvik	PTL	65,20	27,00	0,41	3,67	0,06	4,33	0,07	0,228
J08 Bjurbäck	PTL	10,02	1,67	0,17	0,33	0,03	4,00	0,40	0,048
J09 Petolahden kes- kusta	PTL	33,91	22,33	0,66	1,33	0,04	4,67	0,14	0,477
J10 Nyby	PTL	79,18	15,00	0,19	2,00	0,03	7,00	0,09	0,939
J04 Vapenbröd	PRL	9,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
J06 Vanha Vaasa	PRL	6,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
J08 Klemettilä	PRL	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,09	1,604
J15 Bobäck	PRL	11,44	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,15	0,043
J19 Ammattikoulu	PRL	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,22	0,081
J20 Krutkällarvägen	PRL	9,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,04	0,035
J04 Björkö	RPL	41,52	17,67	0,43	7,00	0,17	2,33	0,06	0,809
J06 Industri	RPL	2,10	0,33	0,16	0,67	0,32	0,00	0,00	0,000
J07 Kyrkobyn	RPL	20,22	1,67	0,08	0,00	0,00	0,33	0,02	1,027
J08 Vallgrund	RPL	73,52	16,00	0,22	6,33	0,09	2,67	0,04	1,032

