

Mikko Pihlajasaari

OUTOKUMMUN ENERGIA OY:N  
KESKIJÄNNITEVERKON  
LUOTETTAVUUSANALYYSI

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikka


Huhtikuu 2015



MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 27.4.2015
<b>Tekijä(t)</b> Mikko Pihlajasaari	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka
<b>Nimeke</b> Outokummun Energia Oy:n keskijänniteverkon luotettavuusanalyysi	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli analysoida Outokummun Energia Oy:n keskijänniteverkkoa sekä tutkia, miten verkon luotettavuutta voitaisiin parantaa. Verkon analysointiin on käytetty Virtaveikot Oy:n kehittämää SLIMO Power Grid Analyzer - tietokoneohjelmistoa.</p> <p>Työssä keskityttiin viiteen johtolähtöön, joista selvitettiin johtolähtöjen KAH-arvot, kriittiset johtosuudet, uusien erottimien sijoituspaikat sekä uudet varasyöttöyhteydet. Lisäksi työssä otettiin kantaa uudistettaviin muuntajiin sekä maakaapelointiin.</p> <p>Työn tuloksena syntyi raportti, jossa esitetään, millaisia uudistuksia verkkoon tehtäisiin ja miten ne vaikuttaisivat verkon luotettavuuteen. Koko verkon KAH-arvot saadaan laskemaan noin 14,5 %.</p>	
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> KAH, keskeytyksestä aiheutuva haitta, keskijänniteverkko, luotettavuus	
<b>Sivumäärä</b> 29	<b>Kieli</b> Suomi
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>	
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Juha Korpijärvi	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Outokummun Energia Oy

## DESCRIPTION

 <p style="font-size: 24pt; font-weight: bold; margin: 0;">MAMK</p> <p style="margin: 0;">University of Applied Sciences</p>	<p><b>Date of the bachelor's thesis</b></p> <p>27.4.2015</p>
<p><b>Author(s)</b> Mikko Pihlajasaari</p>	<p><b>Degree programme and option</b> Electrical engineering</p>
<p><b>Name of the bachelor's thesis</b></p> <p>Reliability analysis of the medium-voltage network of Outokummun Energia Ltd.</p>	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this thesis was to analyse Outokummun Energia Ltd's medium-voltage network and to research, how to improve reliability of the network. The study is part of Outokummun Energia Ltd's investment in weatherproof network.</p> <p>Network analysis has been made using SLIMO Power Grid Analyzer - computer software. The SLIMO Power Grid Analyzer - computer software is developed by Virtaveikot Ltd. The study focuses of five feeder zones, which examined annual outage cost of feeder zones, critical feeder parts, new locations of disconnectors and new reserve connections. The study also discusses renewed transformers and underground cabling.</p> <p>Result of the study was a report, which presents what kind improvement should make to network and how they affect reliability of the network. With these improvements, outage cost of the network decreases about 14,5 %.</p>	
<p><b>Subject headings, (keywords)</b></p> <p>OC, outage cost, medium-voltage network, reliability</p>	
<p><b>Pages</b></p> <p>29</p>	<p><b>Language</b></p> <p>Finnish</p>
<p><b>Remarks, notes on appendices</b></p>	
<p><b>Tutor</b> Juha Korpijärvi</p>	<p><b>Bachelor's thesis assigned by</b> Outokummun Energia Ltd</p>

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	OUTOKUMMUN ENERGIA OY.....	1
2.1	Historia .....	1
2.2	Avainluvut .....	2
3	SLIMO POWER GRID ANALYZER.....	2
3.1	Ohjelmisto.....	3
3.2	Ohjelmiston rakenne.....	3
4	KESKIJÄNNITEVERKKO JA SEN KOMPONENTIT .....	4
4.1	Sähköasemat .....	5
4.2	Ilmajohdot ja voimakaapelit .....	5
4.3	Jakelumuuntamot.....	6
4.4	Katkaisijat ja erottimet.....	7
5	LUOTETTAVUUSLASKENTA .....	8
5.1	Luotettavuuteen liittyviä käsitteitä .....	8
5.2	Vikaantumistodennäköisyys .....	8
5.3	KAH-arvon laskentaperusteet.....	11
6	VERKON NYKYTILA .....	13
7	JOHTOLÄHTÖJEN KAH-ARVOT .....	13
7.1	Johtolähtöjen priorisointi kriittisyyden mukaan .....	13
7.2	Johtolähtöjen priorisointi kriittisyyden ja uusintainvestoinnin mukaan.....	14
7.3	Johto-osuuksien priorisointi kriittisyyden ja uusintainvestoinnin mukaan .	15
7.3.1	Törisevä.....	15
7.3.2	Kokonvaara .....	16
7.3.3	Viuruniemi .....	17
7.3.4	Lähtevä ja Kuusjärvi .....	18
8	UUSIEN EROTTIMIEN SJOITUSPAIKAT .....	19
8.1	Sähköasema Vuonos 1 .....	20
8.2	Sähköasema Ruuttu 2 .....	22
8.3	Kaukokäytettävät erottimet.....	23
8.4	Uusien erottimien vaikutus KAH-arvoon.....	24

9	VARASYÖTTÖYHTEYKSIEN RAKENTAMISPAIKAT .....	25
10	MUUT HUOMIOITAVAT ASIAT .....	25
10.1	Uudistettavat muuntajat .....	26
10.2	Verkon osien kaapelointi .....	26
11	YHTEENVETO .....	26
12	POHDINTA .....	28
	LÄHTEET .....	29

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on parantaa Outokummun Energia Oy:n kj-verkon luotettavuutta. Työssä on hyödynnetty Virtaveikot Oy:n kehittämää SLIMO power grid analyzer – ohjelmistoa, jolla verkon eri analysoinnit on suoritettu. Työ on osana Outokummun Energia Oy:n investointia säävarman verkon rakentamiseen sekä olemassa olevan verkon kunnostamiseen. Tavoitteena on taata luotettava sähkönsiirto myös haja-asutusalueelle. Pääsääntöisesti työssä on tarkasteltu kahden sähköaseman viittä johtolähtöä: sähköasemalta Vuonos 1 johtolähdöt Törisevä ja Kokonvaara sekä sähköasemalta Ruuttu 2 johtolähdöt Viuruniemi, Kuusjärvi ja Lähtevä. Näistä viidestä johtolähdöstä on selvitetty koko johtolähdön KAH-arvot, kriittiset johto-osuudet, uusien erottimien sijoituspaikat sekä uudet varasyöttöyhteydet. Työssä otetaan myös kantaa uudistettaviin muuntajiin sekä maakaapelointiin. Tulokset on esitetty komponenttikonaisuus kerrallaan sekä lopuksi miten kaikki muutokset vaikuttavat koko verkon KAH-arvoon.

## 2 OUTOKUMMUN ENERGIA OY

Outokummun Energia Oy on Pohjois-Karjalassa, Joensuun seudulla toimiva energia-yhtiö. Outokummun Energia Oy myy ja siirtää sähköä sekä kaukolämpöä ja on osakkaana Kaakon Energia -yhtiössä. Noin puolet sähköstä tuotetaan käyttämällä fossiilisia energialähteitä sekä hitaasti uusiutuvia energialähteitä, kuten turvetta. Hieman yli kolmannes tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä ja jäljelle jäävä n. 17 % tuotetaan ydinvoimaa käyttämällä. Yhtiön toimitusjohtajana aloitti 1.7.2013 Esa Koivula. [3.]

### 2.1 Historia

Yrityksen juuret ulottuvat 1950-luvulle saakka, kun kaivoskaupungin ympärille perustettiin sähköosuuskuntia. Nämä sähköosuuskunnat rakennuttivat verkostoja Outokummun seuduille, joita muodostettiin yhteensä 25. 1950-luvun loppupuolella pääosa osuuskunnista liitettiin paikalliseen sähkölaitokseen. [2.]

Outokumpuun oli vedetty vuonna 1934 45kV-linja Varkaudesta kaivostoimintaa varten. Kaivosyhtiö Outokumpu Oy jakoi koko kaivostoimintansa alkuajoista aina 1960-

luvulle saakka sähköä taajama-alueella. 1960-luvun alussa sähkönjakelu siirtyi paikallisen sähkölaitoksen vastuulle. Ennen 1980-lukua yrityksen nimi muutettiin kaksi kertaa. Vuonna 1968 nimi muuttui Outokummun kauppalan sähkölaitokseksi ja vuonna 1977 Outokummun kaupungin sähkölaitokseksi. [2.]

Sähkölaitos muuttui kunnalliseksi liikelaitokseksi vuonna 1995, ja 1998 liikelaitos yhtiöitettiin. Nimeksi tuli Outokummun Sähkö Oy, joka vuonna 2000 fuusioitiin juuri perustettuun Outokummun Energia Oy:hyn yhdessä Outokummun Lämpö Oy:n kanssa. [2.]

## 2.2 Avainluvut

Alla olevassa taulukossa on esitelty yrityksen avainluvut [2].

**TAULUKKO 1. Outokummun Energia Oy:n avainluvut /2/**

<b>OUTOKUMMUN ENERGIA OY</b>	<b>2012</b>	<b>2011</b>
Liikevaihto, milj. eur	10,02	9,26
Tase, milj. eur	19,3	19,3
Sähkön kokonaissiirto, GWh	183	183,9
Kaukolämmöntuotanto, GWh	56,6	54,6
Sähkönkäyttöpaikat, kpl	5455	5455
Lämmönkäyttöpaikat, kpl	236	236
Sähköverkosto, km	870	934
Kaukolämpöverkosto, km	27	27
Henkilöstö, kpl	21	21

## 3 SLIMO POWER GRID ANALYZER

SLIMO Power Grid Analyzer on tietokone-ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa sähköverkkoa. Mallintamisen lisäksi ohjelmalla voidaan muokata sähköverkkoa ja ohjelma osaa laskea muokkausten aiheuttamat muutokset esim. KAH-arvoissa.

### 3.1 Ohjelmisto

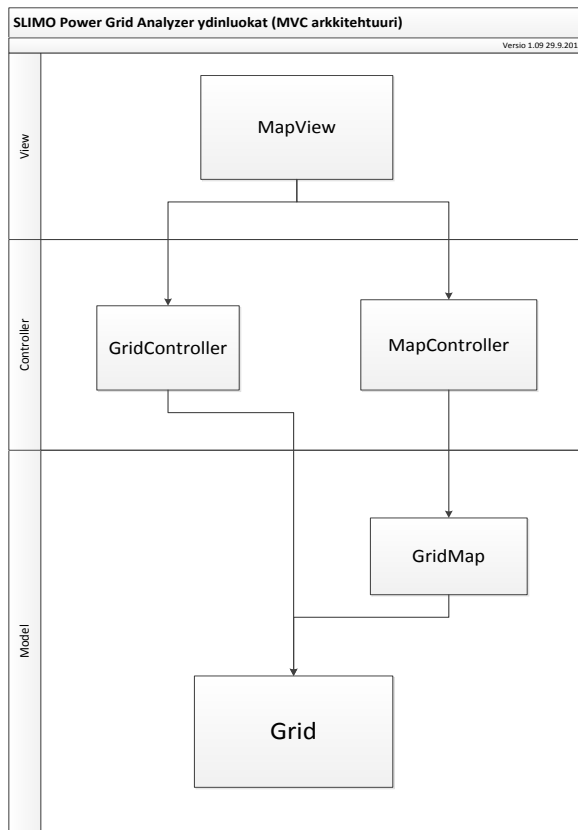
SLIMO Power Grid Analyzer – ohjelmisto on toteutettu Java-kielellä, ja kehitystyökä-  
luna on ollut Netbeans 7.2. Java-kielen ja Netbeans-ympäristön valintaan on vaikutta-  
nut mm. seuraavat asiat: 1) Java on vapaa ohjelmisto, joten se on ilmainen (Open  
source). 2) Ohjelmisto toimii käytetyimmissä käyttöjärjestelmissä ilman erillisiä toi-  
menpiteitä (Windows, Linux, OS X). 3) Java on todella suosittu maailmanlaajuisesti,  
joten ohjelmointiteknisissä ongelmatilanteissa avun saanti on nopeaa ja helppoa. 4)  
Java tukee ohjelmistokielistä parhaiten mm. oliopohjaisuutta, automaattista roskien  
keräämistä, vahvaa tyyppitystä yms. 5) Koodin dokumentointi jatkokehitystä varten on  
vaivatonta toteuttaa (JavaDoc, Action Items). [4.]

Suomen sähköverkkoyhtiöt käyttävät kolmea verkkotietojärjestelmää: Trimblen  
NIS:iä, Tieto Oyj:n PG:tä, sekä ABB:n DMS 600:aa. Nykyisellään SLIMO osaa lukea  
verkkotiedot Trimblen NIS:stä suoraan Excel-tiedostosta. Tulevaisuudessa on tarkoi-  
tus myös pystyä lukemaan verkkotiedot PG:stä ja DMS 600:sta [4.]

### 3.2 Ohjelmiston rakenne

”Ohjelmiston arkkitehtuuri noudattaa MVC (Model-View-Controller) periaatetta. Tär-  
kein moduuli on Grid-luokka, joka mallintaa sähköverkkoa ja liittää oleellimmat  
komponentit (sähkölinjat, muuntajat, erottimet sekä johtolähdöt) topologisesti oikealla  
tavalla yhteen.” [4.]





**KUVA 1. SLIMO Ohjelmistorakenne**

#### 4 KESKIJÄNNITEVERKKO JA SEN KOMPONENTIT

Keskijänniteverkon jännitetaso voi vaihdella 1-35 kV:n välillä. Suomessa käytetään tyypillisesti 20 kV:n jännitetasoa, mutta joissain kaupungeissa on käytössä myös 10 kV:n jännitetaso. [6, s. 125.]

Keskijänniteverkon tehtävänä on siirtää sähköä suurjänniteverkosta pienjänniteverkkoon johtaville jakelumuuntajille, josta sähkö jaetaan kuluttajille. Keskijänniteverkon vaikutus koko sähköverkon käyttövarmuuteen on erittäin merkittävä, sillä n. 90 % sähkönsiirron keskeytyksistä on peräisin keskijänniteverkossa tapahtuvissa vioissa. [6, s. 125.]

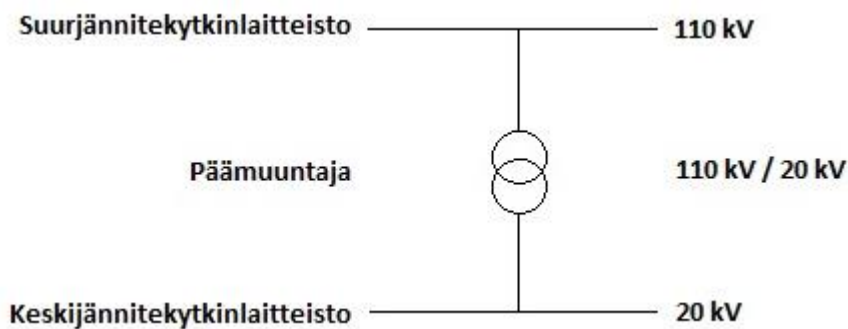
Keskijänniteverkon tärkeimmät komponentit ilmajohtojen ja kaapelien lisäksi ovat sähköasemat, muuntamot sekä katkaisijat ja erottimet.

## 4.1 Sähköasemat

Koko sähkönjakeluverkon tärkein yksittäinen komponentti on sähköasema. Sen pääasiallisena tehtävänä on muuntaa suurempi jännite pienemmälle tasolle. Keskijänniteverkkoa syöttävällä sähköasemalla muunnetaan 110 kV:n jännite yleensä 20 kV:n tasolle. Suurin osa verkon suojarleistyksistä ja muusta automaatiosta sijaitsee sähköasemalla. [6, s. 119.]

Sähköasema koostuu yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, suurjännite- ja keskijännitekytkinlaitoksesta sekä apujännitejärjestelmästä käytöntukitoimiseen [6, s. 119].

Suurjännitekytkinlaitos on sähköaseman tulopuoli, joka muodostaa sähkönsyöttötien päämuuntajalle. Siihen voi yhden säteittäisjohdon sijaan liittyä useampiakin johtoja, joiden avulla saadaan sähköasemalle vaihtoehtoisia syöttösuuntia. Päämuuntaja on suurjännite- ja keskijännitekytkinlaitteiston välissä ja muuntaa suurjännitteen keskijännitteeksi. Keskijännitekytkinlaitos on sähköaseman lähtöpuoli, joka muodostaa sähkönsyöttötien päämuuntajalta keskijännitelähtöihin. Kuvassa 2 on esitelty sähköaseman rakenne pääpiirteissään. [6, s. 119-121.]



**KUVA 2. Sähköaseman rakenne**

## 4.2 Ilmajohdot ja voimakaapelit

Suurin osa keskijänniteverkosta on rakennettu ilmajohdoilla. Tavallisimmat johdinmetallit ovat kupari ja alumiini, mutta keskijänniteverkoissa käytetään yleisimmin alumiiniseoksesta tai teräsvahvisteisesta alumiinista valmistettuja johtimia. Teräsalumiini-

nijohtimille on annettu johtimen poikkipinnan määrittelevät nimet, esimerkiksi keskijänniteverkossa yleisimmät johdot ovat Sparrow, Raven ja Pigeon. [8, s. 278-282.]

**TAULUKKO 2. Keskijänniteverkon johtimien poikkipinnat /8/**

Johdin	$A_{al} / A_{fe}$ , mm <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>	Vaihtovirtaresistanssi, Ω/km	Kuormitettavuus, A
Sparrow	34/6	0,85	170
Raven	54/9	0,54	230
Pigeon	85/14	0,34	300

Koska ilmajohdot ovat vikaherkkiä, on nykyään alettu käyttämään enemmän voimakaapeleita verkon rakentamisessa. Voimakaapeli on johto, jossa on yksi tai useampia johtimia. Johtimet ovat kosteutta ja korroosioita estävän ja mekaanista vahingoittumista kestävä vaipan sisällä. Jos kaapeli joutuu alttiiksi mekaaniselle rasitukselle, esimerkiksi maa-asennuksissa, täytyy kaapeli armeerata eli päällystää esimerkiksi teräsnauhoilla tai – langoilla. [8, s. 303.]

Seuraavassa taulukossa on esitelty kaapeleiden hyötyjä ja haittoja verrattuna ilmajohdointiin [8, s. 303-305]:

**TAULUKKO 3. Kaapeleiden hyödyt ja haitat verrattuna ilmajohdointiin /8/**

Hyödyt	Haitat
Pieni tilantarve	Korkea hinta
Suurempi käyttövarmuus	Huonommat jäähdytysominaisuudet
Jännitteiset osat kosketussuojattu	Huonompi pitkäaikaisylikuormitettavuus
Pienempi jännitteenalenema	Pitkä korjausaika ja vaikeampi vianpaikannus
Suurempi lyhytaikainen ylikuormitettavuus	Hankalampi asentaa

### 4.3 Jakelumuuntamot

Jakelumuuntamoiden tehtävänä on muuntaa jakeluverkkojen suurempi jännite sähkökuluttajien käyttöön soveltuvaksi pienjännitteeksi. Suomessa muunnettava jännite on useimmiten 20kV/0,4kV, mutta kaupungeissa, joissa on käytössä 10kV:n siirtojännite, käytetään 10kV/0,4kV jakelumuuntamoita. Jakelumuuntamoiden toimintaperiaa-

te on samanlainen kuin sähköasemilla. Keskiännitekiskosto muodostaa sähkönsyöttö- tien keskijänniteverkosta jakelumuuntajalle, jossa keskijännite muunnetaan pienjännit- teeksi. Pienjännitelähtöjen kautta sähkö jaetaan kuluttajille. Pienjänniteverkon vikavir- ta- ja ylikuormitussuojaus sijaitsee jakelumuuntamoilla. [6, s. 157.]

Suurin osa jakelumuuntamoista on pylväsmuuntamoita ja puistomuuntamoita. Pyl- väsmuuntamoita käytetään maaseudun ilmajohtoverkossa. Pylväsmuuntamoiden tapa- uksessa ei voida suoranaisesti puhua keskijännitekiskostosta, vaan keskijännitejohto kytketään yleensä erottimen kautta suoraan muuntajan ensiöliittimiin. Pylväsmuunta- moissa käytetään pienitehoisia muuntajia, tavallisimmin 50 kVA ja 100 kVA muunta- jia. Puistomuuntamoita käytetään taajamaverkoissa sekä maaseudun maakaapeliver- koissa. Puistomuuntamoissa käytettävien muuntajien nimellistehot ovat yleensä 1000 kVA:n luokkaa. [6, s. 157-158.]

#### **4.4 Katkaisijat ja erottimet**

Katkaisijat ja erottimet ovat kytkinlaitteita. Kytkinlaitteiden tehtävänä on muuttaa verkon topologiaa, erottaa viallinen verkon osa muusta verkosta sekä toimia erotus- kohtana verkoston eri osien välillä. [8, s. 161.]

Katkaisija on siirtoverkoissa kallein ja tärkein kytkinlaite. Ne ovat kojeita, joiden teh- tävänä on avata ja sulkea virrallisia virtapiirejä, joko käsin ohjattuna tai automaattises- ti. Automaattisesti toimivien katkaisijoiden tavallisin toiminto on avautua ylivirran vaikutuksesta. Katkaisijat kykenevät vaurioitumatta avaamaan sekä sulkemaan piirin, jossa oikosulkuvirta on moninkertainen verrattuna katkaisijan mitoitusvirtaan. [8, s. 162-163.]

Erottimien tehtävänä on erottaa vikaantunut tai huollettava verkon osa muusta verkos- ta. Verkon vikaantuessa sähköasemalla sijaitseva katkaisija laukeaa lähes välittömästi ja koko johtolähdöstä tulee jännitteetön. Erottimien avulla voidaan rajata jännitteetön alue pienemmäksi, jotta muille kuluttajille voidaan siirtää sähköä samaan aikaan kun vikaa korjataan. Erottimia on käsikäyttöisinä sekä kaukokäytettävänä. Käsikäyttöiset erottimet joudutaan käymään paikanpäällä avaamassa, ennen kuin jännite voidaan taas kytkeä verkkoon. Kaukokäytettävillä erottimilla voidaan jännitteet kytkeä verkkoon alle 10 minuutissa erottimen sijainnista riippumatta. [8, s. 190-191.]

## 5 LUOTETTAVUUSLASKENTA

Sähköverkon suunnittelussa on tärkeää kyetä mittaamaan rahassa rakentamis- ja häviökustannusten lisäksi myös keskeytyskustannukset. Keskeytyskustannuksiin vaikuttavat oleellisesti komponenttien vikataajuudet, keskeytysaika, keskeytyksen aiheuttama tehohäviö, tehohäviön hinta sekä siirtämättömän energian hinta. [6, s. 44.]

### 5.1 Luotettavuuteen liittyviä käsitteitä

Teoksessa Sähkönjakelutekniikka [6, s. 44-45] määritellään luotettavuuteen liittyviä käsitteitä seuraavalla tavalla:

*Käyttövarmuus* kuvaa koko sähkönjakeluverkon tai yksittäisen komponentin kykyä suorittaa siltä vaadittu toimenpide tietyllä aikavälillä.

*Vika* tarkoittaa, ettei komponentti kykene suorittamaan siltä vaadittua tehtävää.

*Kytentäaika* kuvaa aikaa, joka kuluu vioittuneen komponentin erottamiseksi verkosta sekä kunnossa olevan verkon palauttamiseksi jännitteelliseksi.

*Korjausaika* kuvaa aikaa, joka kuluu komponentin vioittumisesta siihen, että komponentti otetaan uudelleen käyttöön.

*Vikataajuus* kuvaa kuinka monta vikaa komponentissa keskimäärin esiintyy tietyllä ajanjaksolla.

*Vikaantumistodennäköisyys*  $F(t)$  on todennäköisyys, että komponentti vioittuu ajan  $t$  kuluessa.

### 5.2 Vikaantumistodennäköisyys

Vikataajuuden avulla voidaan laskea todennäköisyys komponentin vikaantumiselle. Jos vikataajuus oletetaan vakioksi, eikä siihen vaikuta komponenttien ikä ja eri viat

oletetaan toisistaan riippumattomiksi, voidaan vikojen esiintymisen todennäköisyys mallintaa Poisson-prosessina. [7, s. 285.] Poisson-prosessille pätee seuraava yhtälö:

$$P(x_t = x) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

jossa

$\lambda$	Vikataajuus
$x_t$	Vikojen lukumäärä ajan $t$ kuluessa
$t$	Aika

Jos vikataajuutta ei oleteta vakioksi, vaan siihen vaikuttaa esimerkiksi komponentin ikä, voidaan vikaantumistodennäköisyyden kertymäfunktio laskea seuraavalla yhtälöllä [1, s. 33]:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta} \quad (2)$$

jossa

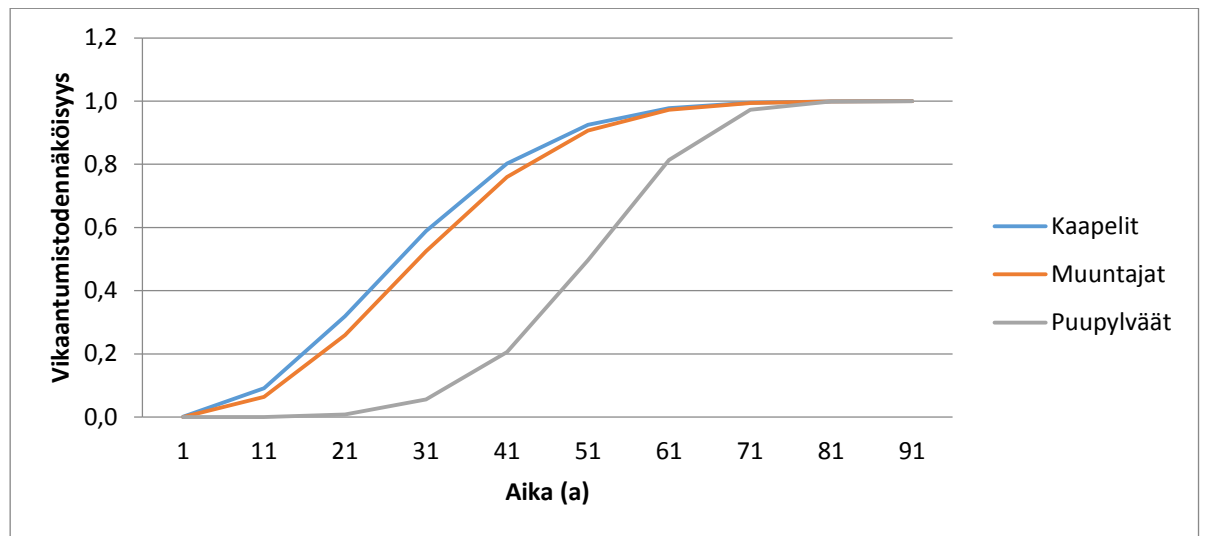
$\lambda$	Komponentin ikä, jossa vikaantumisen todennäköisyys on korkeimmillaan
$t$	Komponentin tämänhetkinen ikä
$\beta$	Vikaantumisen tiheysfunktion muotokerroin

Alla olevassa taulukossa on esitelty kaapeleiden, muuntajien ja puupylväiden  $\beta$ - sekä  $\lambda$ -arvot [1, s. 34].

**TAULUKKO 4. Kaapeleiden, muuntajien ja puupylväiden  $\beta$ - sekä  $\lambda$ -arvot /1/**

	$\beta$	$\lambda$
Kaapelit	2,15	32,74
Muuntajat	2,33	35,21
Puupylväät	5	55

Edellä mainitulla kaavalla sekä taulukon arvoilla voidaan laskea vikaantumistodennäköisyyksien kertymäfunktio eri komponenteille. Alla oleva kuvaaja kuvaa komponenttien vikaantumistodennäköisyyttä ajan funktiona:

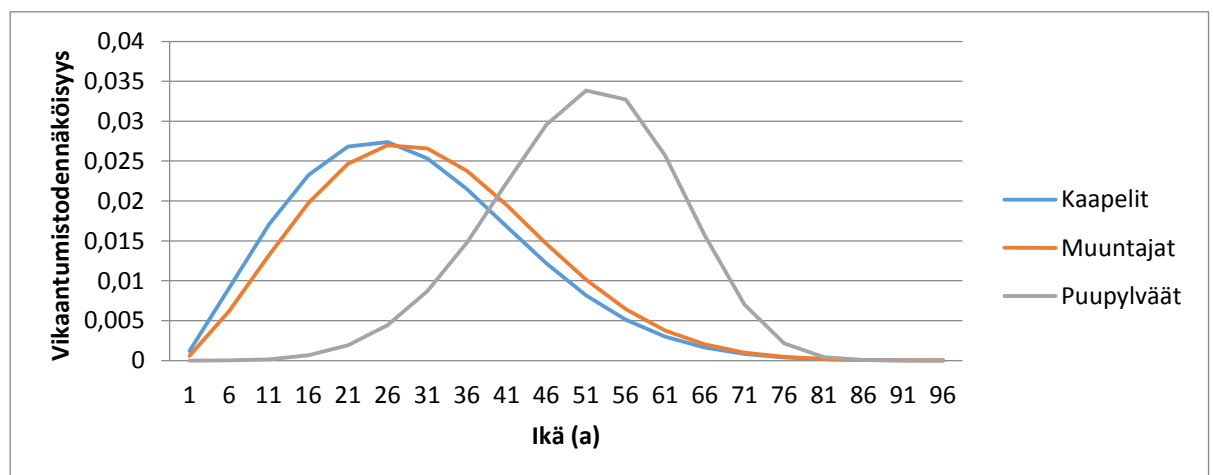


**KUVA 3. Komponenttien vikaantumistodennäköisyydet ajan funktiona**

Vikaantumistodennäköisyyden tiheysfunktio, voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä [1, s. 35]:

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\lambda}\right) \cdot \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta} \quad (3)$$

Alla oleva kuvaaja kuvaa komponenttien vikaantumistodennäköisyyttä iän funktiona:



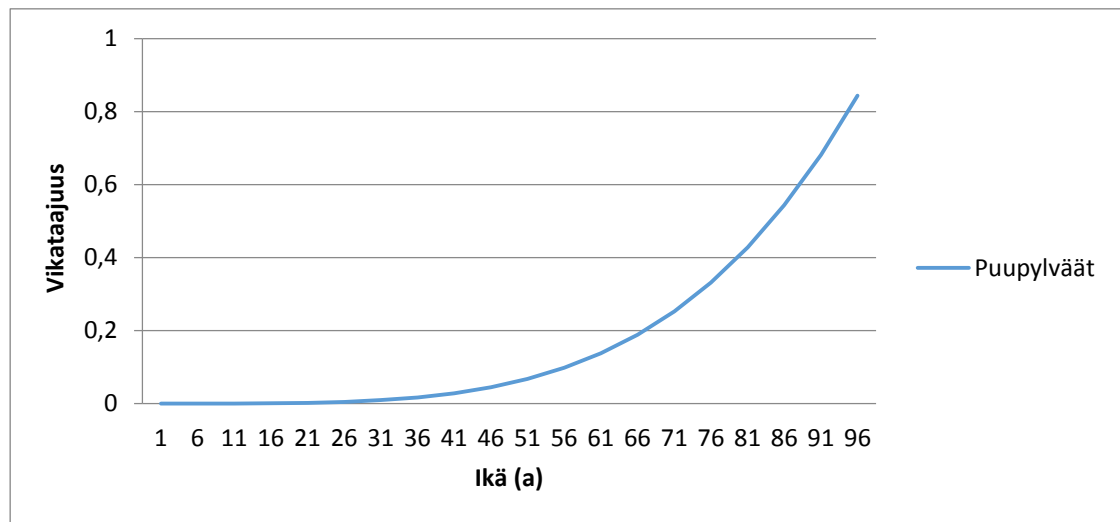
**KUVA 4. Komponenttien vikaantumistodennäköisyydet iän funktiona**

Kuvasta 4 voidaan päätellä, että esimerkiksi puupylväät vioittuvat todennäköisimmin 51–56 vuoden iässä, koska iän mukainen vikaantumistodennäköisyys on silloin korkeimmillaan.

Komponenttien vikataajuudet voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä [1, s.36]:

$$r(t) = \frac{1}{1-F(t)} \cdot \frac{d}{dt} F(t) = \left(\frac{\beta}{\lambda}\right) \cdot \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} \quad (4)$$

Alla olevassa kuvaajassa on esitelty puupylväiden vikataajuudet iän funktiona:



**KUVA 5. Puupylväiden vikataajuudet iän funktiona**

Puupylväiden vikataajuuksiin ei ole huomioitu ympäristöstä aiheutuvaa vikataajuutta.

### 5.3 KAH-arvon laskentaperusteet

KAH-arvo eli keskeytyksestä aiheutuva haitta on riippuvainen kuluttajaryhmästä. Taulukossa 5. on esitelty eri kuluttajaryhmien KAH-arvot. [1, s. 39.]



**TAULUKKO 5. KAH-arvot eri kuluttajaryhmille /1/**

RYHMÄ	Suunnitelematon keskeytys		Suunniteltu keskeytys		Pikajälleenkytkentä	Aikajälleenkytkentä
	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
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
Palvelut	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44

Suomen Energiavirasto on määrittänyt keskiarvot KAH-arvoille, jolloin eri kuluttajaryhmät jätetään huomioimatta. Taulukossa 6. on esitelty KAH-arvojen keskiarvot. [1, s. 40.]

**TAULUKKO 6. Energiaviraston määrittelemät keskiarvot /1/**

Suunnitelematon keskeytys		Suunniteltu keskeytys		Pikajälleenkytkentä	Aikajälleenkytkentä
€/kW	€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW
1,1	11	0,5	6,8	0,55	1,1

KAH-arvot lasketaan seuraavalla kaavalla [1, s. 40].

$$KAH_{j} = P \cdot (c_{kW,j} + t_{ij} \cdot c_{kWh,j}) \cdot l_i \cdot f_i \quad (5)$$

jossa

KAH	Katkoksesta aiheutuva haitta vuodessa (€/a)
$P$	Katkoksesta aiheutuva tehohäviö (kW)
$c_{kW}$	Tehohäviön hinta (€/kW)
$c_{kWh}$	Siirtämättömän energian hinta (€/kWh)
$t_{ij}$	Katkoksen kesto (h)
$l$	Johdon pituus (km)
$f$	Vikataajuus
$i$	Komponentti
$j$	Kuluttaja

Rappeutusmallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettuun KAH-arvoon on otettu huomioon komponentin ikä ja olemassa olevilla vikataajuuksilla oletetaan, että jokainen komponentti olisi uusi.

## **6 VERKON NYKYTILA**

Outokummun Energialla on tällä hetkellä käytössä 4 sähköasemaa, joissa on yhteensä 20 johtolähtöä. Johtojen kokonaispituus on 324 km, ja niiden keskimääräinen vikataajuus on 79,6 vikaa vuodessa. Muuntajia koko kj-verkossa on yhteensä 320, joiden kokonaisteho on n. 43 MVA. Muuntajien keskimääräinen vikataajuus on 19,56 vikaa vuodessa. Erottimia kj-verkossa on yhteensä 513, joista 25 on kaukokäyttöisiä erottimia ja loput 488 on käsin ohjattavia erottimia. Näiden kaikkien komponenttien keski-ikä on 23,6 vuotta.

Koko verkon vuosittainen KAH-arvo rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla on n. 1,240 miljoonaa euroa, ja olemassa olevilla vikataajuuksilla n. 0,313 miljoonaa euroa.

## **7 JOHTOLÄHTÖJEN KAH-ARVOT**

### **7.1 Johtolähtöjen priorisointi kriittisyyden mukaan**

Johtolähdöt on priorisoitu kahteen eri taulukkoon KAH-arvojen perusteella, kriittisin ylimpänä. Taulukoissa näkyy KAH-arvon lisäksi myös johtolähdön komponenttien keskiarvoinen ikä, linjan pituus, nimellisteho sekä vikataajuus. Taulukossa 7. on johtolähdöt priorisoitu rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla (BRI) lasketun KAH-arvon mukaan.

**TAULUKKO 7. Johtolähtöjen priorisointi KAH-arvon mukaan (BRI)**

Johtolähtö	Keski-ikä (a)	Linjan pituus (km)	Nimellisteho (MVA)	KAH (k€, BRI)	Vikataajuus (BRI)
Viuruniemi	25,38	57	3,3	186,98	15,99
Kokonvaara	29,77	33,9	2,4	169,44	16,24
Törisevä	26,08	39,1	1,9	154,42	14,57
Kuusjärvi	26,83	43	3	146,72	13,8
Lähtevä	26,93	42,4	2,3	122,13	12,35

Taulukossa 8. on johtolähdöt priorisoitu olemassa olevilla vikataajuuksilla (ARI) lasketun KAH-arvon mukaan.

**TAULUKKO 8. Johtolähtöjen priorisointi KAH-arvon mukaan (ARI)**

Johtolähtö	Keski-ikä (a)	Linjan pituus (km)	Nimellisteho (MVA)	KAH (k€, ARI)	Vikataajuus (ARI)
Viuruniemi	25,38	57	3,3	58,95	4,82
Kuusjärvi	26,83	43	3	43,93	3,7
Lähtevä	26,93	42,4	2,3	35,35	3,56
Törisevä	26,08	39,1	1,9	30,8	3,32
Kokonvaara	29,77	33,9	2,4	27,14	2,9

**7.2 Johtolähtöjen priorisointi kriittisyyden ja uusintainvestoinnin mukaan**

Alla olevassa taulukossa johtolähdöt ovat priorisoitu tuoton mukaan.  $\Delta$  KAH kertoo kuinka paljon KAH-arvo muuttuu uusintainvestoinnin jälkeen. Tuoton suhdeluku kertoo KAH-muutoksen suhteen uusintainvestointiin verrattuna. Mitä korkeampi suhdeluku, sitä kannattavampi investointi olisi.

**TAULUKKO 9. Johtolähtöjen tuotto**

Johtolähtö	KAH (k€, BRI)	KAH (k€, ARI)	$\Delta$ KAH	Uusintainvestointi (k€)	Tuotto
Kokonvaara	169,44	27,14	142,3	735,46	0,193
Törisevä	154,42	30,8	123,62	829,25	0,149
Kuusjärvi	146,72	43,93	102,79	939,34	0,109
Viuruniemi	186,98	58,95	128,03	1219,14	0,105
Lähtevä	122,13	35,35	86,78	900,03	0,096

### 7.3 Johto-osuuksien priorisointi kriittisyyden ja uusintainvestoinnin mukaan

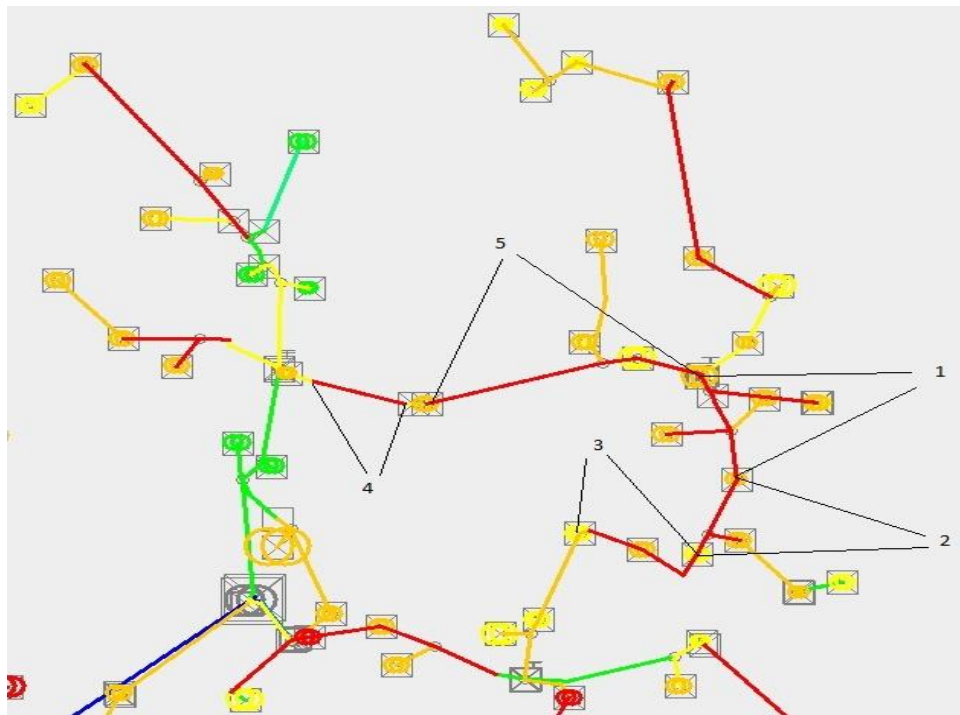
Johto-osuudet on priorisoitu samalla tavalla kuin johtolähdöt kohdassa 7.2. Jokaisesta johtolähdöstä on analysoitu 5 parasta johto-osuutta, joiden uusimisella olisi korkein tuotto.

#### 7.3.1 Törisevä

Taulukon 10. johto-osuuksien numerot 1-5 vastaavat kuvan 6 numeromerkintöjä.

**TAULUKKO 10. Törisevän johtolähdön johto-osuuksien tuotto**

Törisevä					
Johto-osuus (Nro.)	KAH (€, BRI)	KAH (€, ARI)	Δ KAH	Uusintainvestointi (€)	Tuotto
1	18726	1382	17344	21664	0,801
2	16128	1209	14919	18876	0,790
3	13091	1622	11469	25329	0,453
4	5306	925	4381	16871	0,260
5	10058	1750	8308	51248	0,162



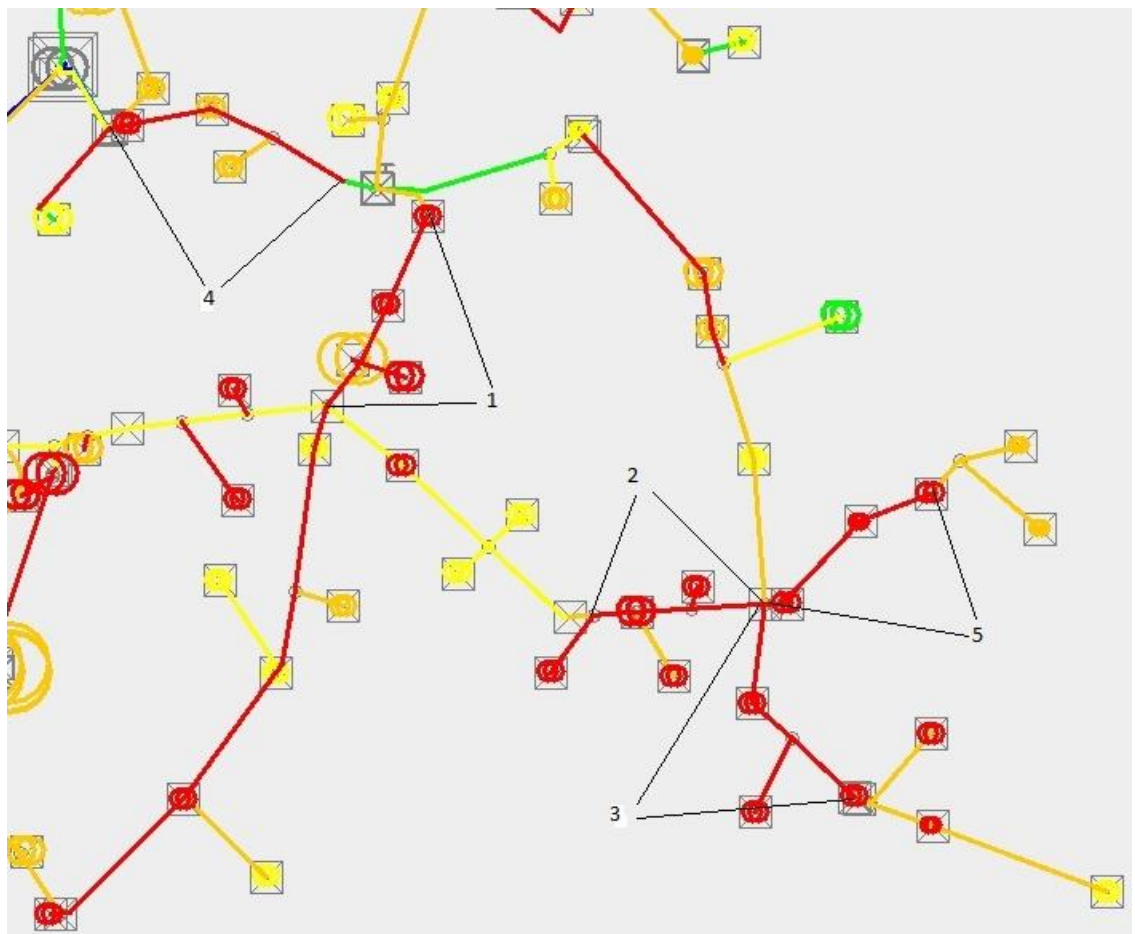
**KUVA 6. Törisevän johtolähdön johto-osuuksien priorisointi**

### 7.3.2 Kokonvaara

Taulukon 11. johto-osuuksien numerot 1-5 vastaavat kuvan 7 numeromerkintöjä.

**TAULUKKO 11. Kokonvaaran johtolähdön johto-osuuksien tuotto**

Kokonvaara					
Johto-osuus (Nro.)	KAH (€, BRI)	KAH (€, ARI)	Δ KAH	Uusintainvestointi (€)	Tuotto
1	41976	2133	39843	33323	1,196
2	23982	2148	21834	26331	0,829
3	17986	1609	16377	36746	0,446
4	17099	1006	16093	39041	0,412
5	12882	1154	11728	31956	0,367



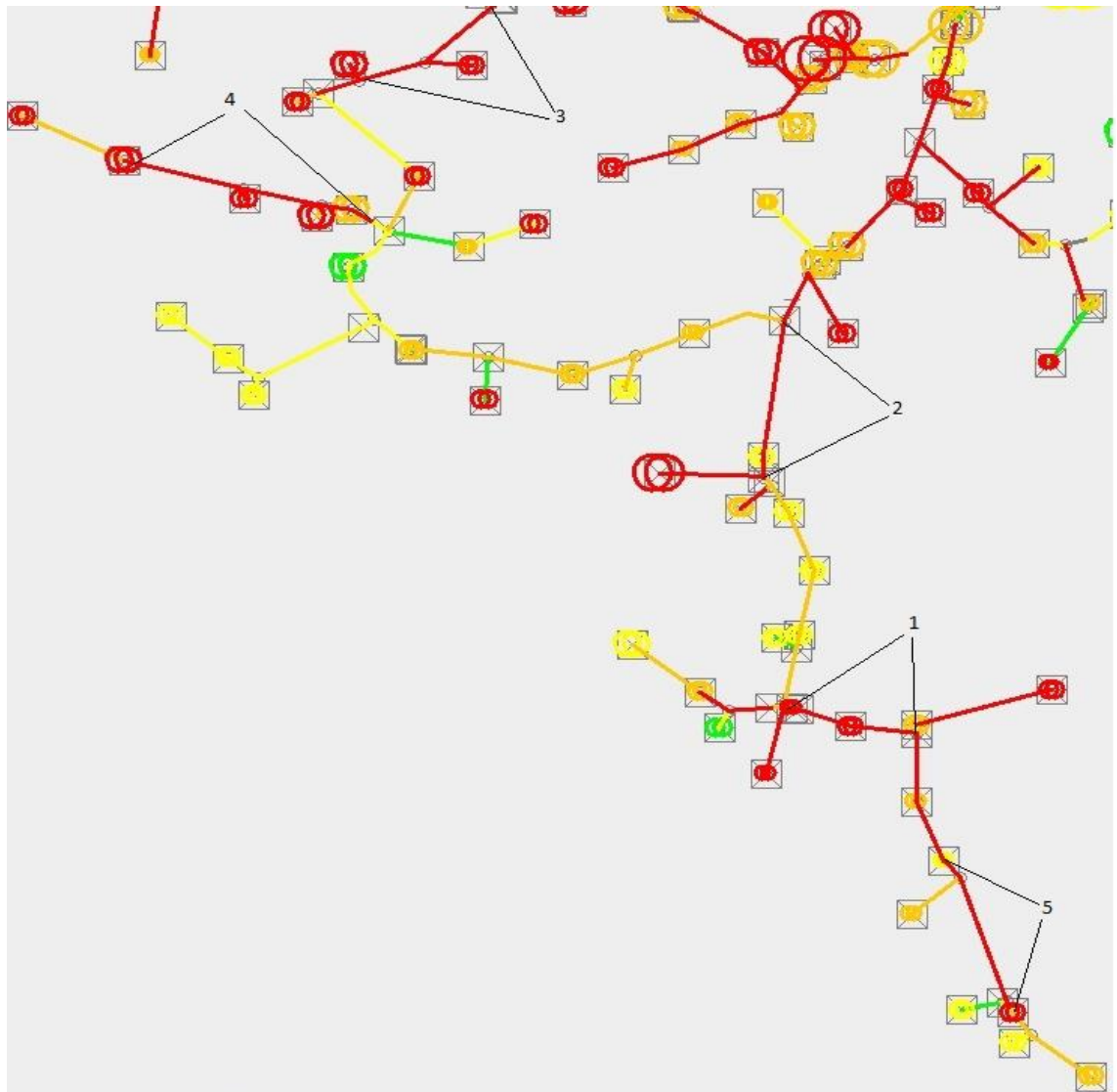
**KUVA 7. Kokonvaaran johtolähdön johto-osuuksien priorisointi**

### 7.3.3 Viuruniemi

Taulukon 12. johto-osuuksien numerot 1-5 vastaavat kuvan 8 numeromerkintöjä.

**TAULUKKO 12. Viuruniemen johtolähdön johto-osuuksien tuotto**

Viuruniemi					
Johto-osuus (Nro.)	KAH (€, BRI)	KAH (€, ARI)	Δ KAH	Uusintainvestointi (€)	Tuotto
1	18533	1659	16874	28293	0,596
2	21847	4835	17012	39015	0,436
3	13849	1342	12507	39686	0,315
4	17350	3273	14077	59194	0,238
5	8216	1706	6510	37281	0,175



**KUVA 8. Viuruniemen johtolähdön johto-osuuksien priorisointi**

### 7.3.4 Lähtevä ja Kuusjärvi

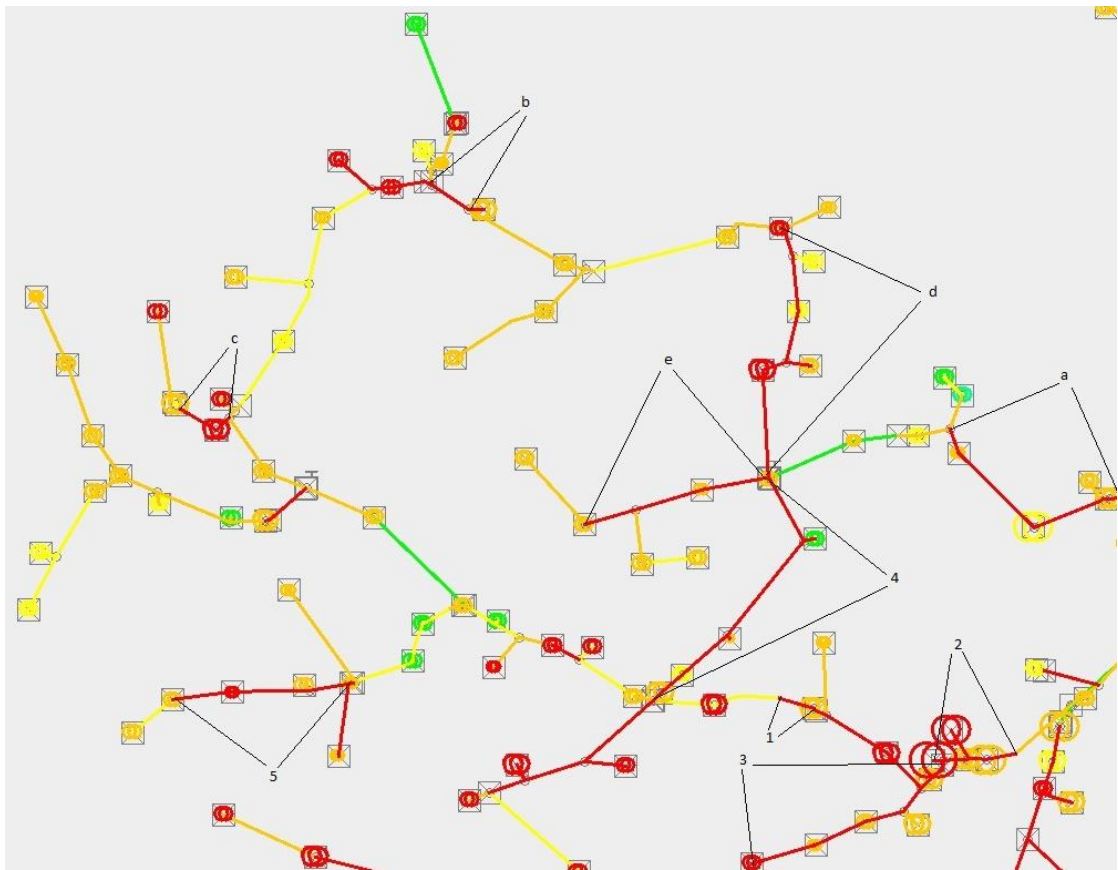
Taulukon 13. kirjainmerkinnät ja taulukon 14. numeromerkinnät vastaavat kuvan 7 numero- ja kirjainmerkintöjä.

#### TAULUKKO 13. Lähtevän johtolähdön johto-osuuksien tuotto

Lähtevä					
Johto-osuus (Nro.)	KAH (€, BRI)	KAH (€, ARI)	Δ KAH	Uusintainvestointi (€)	Tuotto
a	28530	2936	25594	59375	0,431
b	5145	637	4508	11267	0,400
c	5818	663	5155	15198	0,339
d	18703	3608	15095	69017	0,219
e	8077	1407	6670	48470	0,138

#### TAULUKKO 14. Kuusjärven johtolähdön johto-osuuksien tuotto

Kuusjärvi					
Johto-osuus (Nro.)	KAH (€, BRI)	KAH (€, ARI)	Δ KAH	Uusintainvestointi (€)	Tuotto
1	5999	366	5633	9157	0,615
2	13696	2126	11570	21912	0,528
3	17791	3572	14219	57311	0,248
4	17443	2277	15166	66344	0,229
5	9989	1643	8346	45553	0,183



**KUVA 9. Lähtevän ja Kuusjärven johtolähtöjen johto-osuuksien priorisointi**

## 8 UUSIEN EROTTIMIEN SIJOITUSPAIKAT

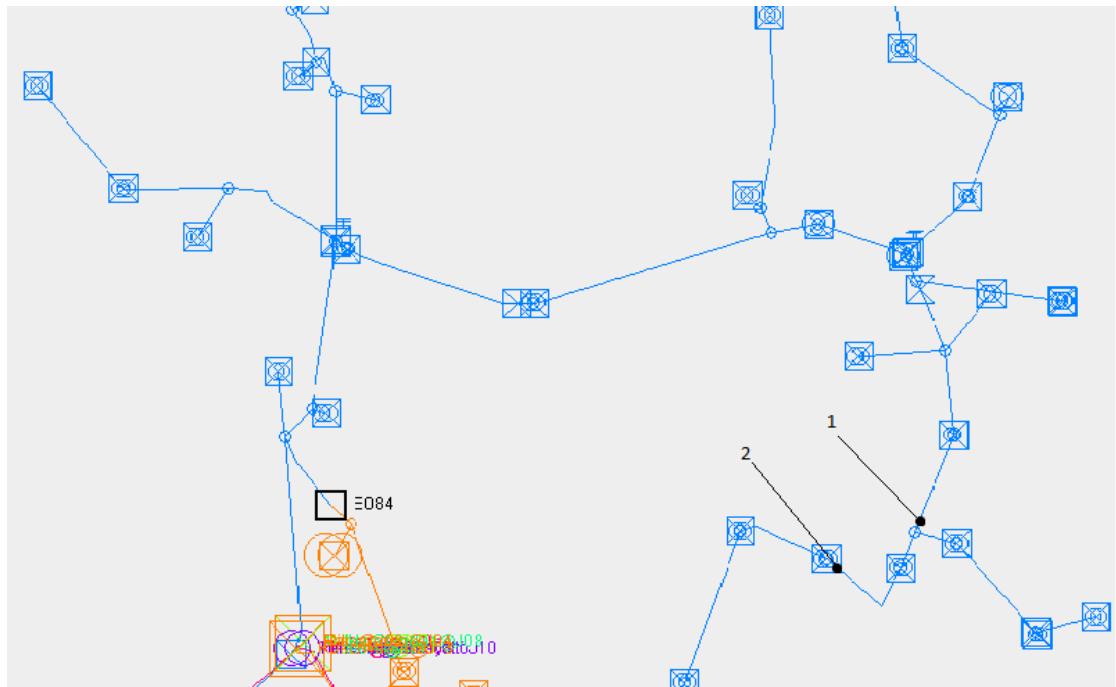
Uusien erottimien sijoituspaikat on tutkittu viiteen johtolähtöön. Sähköasema Vuonos 1:ltä johtolähdöt Törisevä ja Kokonvaara. Sähköasema Ruuttu 2:lta johtolähdöt Viurunieni, Kuusjärvi sekä Lähtevä. Koordinaatit ovat ETRS-GK<sub>n</sub> – tasokoordinaatteja (x , y). Erottimien sijoituspaikkojen edessä olevat numerot ovat merkitty myös kuviin 8, 9, 10 ja 11, joiden avulla erottimen sijoituspaikan määrittäminen on helpompaa.

Kustannuksien laskemiseen on käytetty katkaisukammioin varustettua johtoerotinta, jonka yksikköhinta on 5170 € [5].



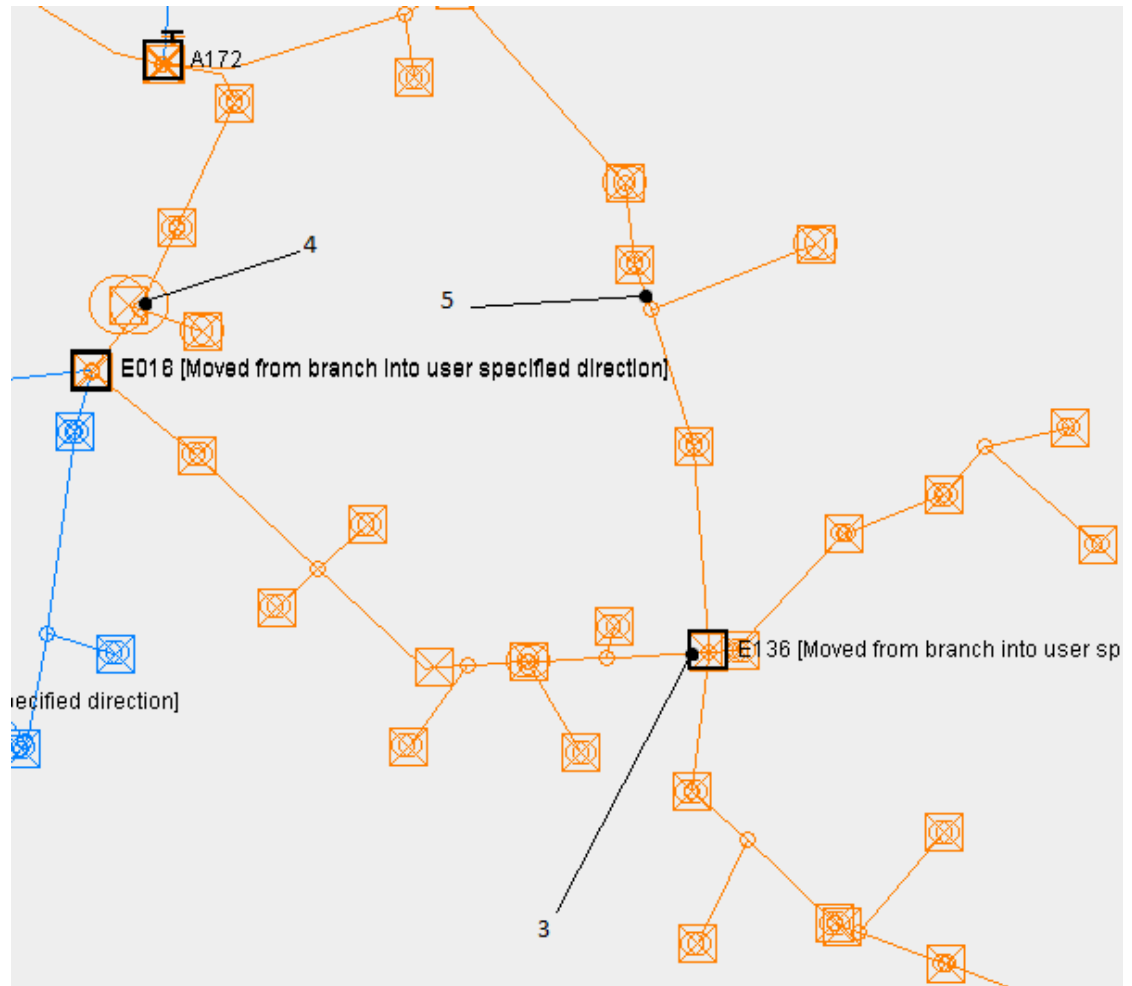
## 8.1 Sähköasema Vuonos 1

Törisevän johtolähtöön sijoitetaan yksi manuaalinen erotin välille **1**. Eerola – Huuhtila, koordinaatteihin (30457750 , 6962548). Välille **2**. Nurmela – Huuhtila sijoitetaan manuaalinen erotin koordinaatteihin (30457092 , 6962298).



**KUVA 10. Törisevän johtolähdön uusien erottimien sijoituspaikat**

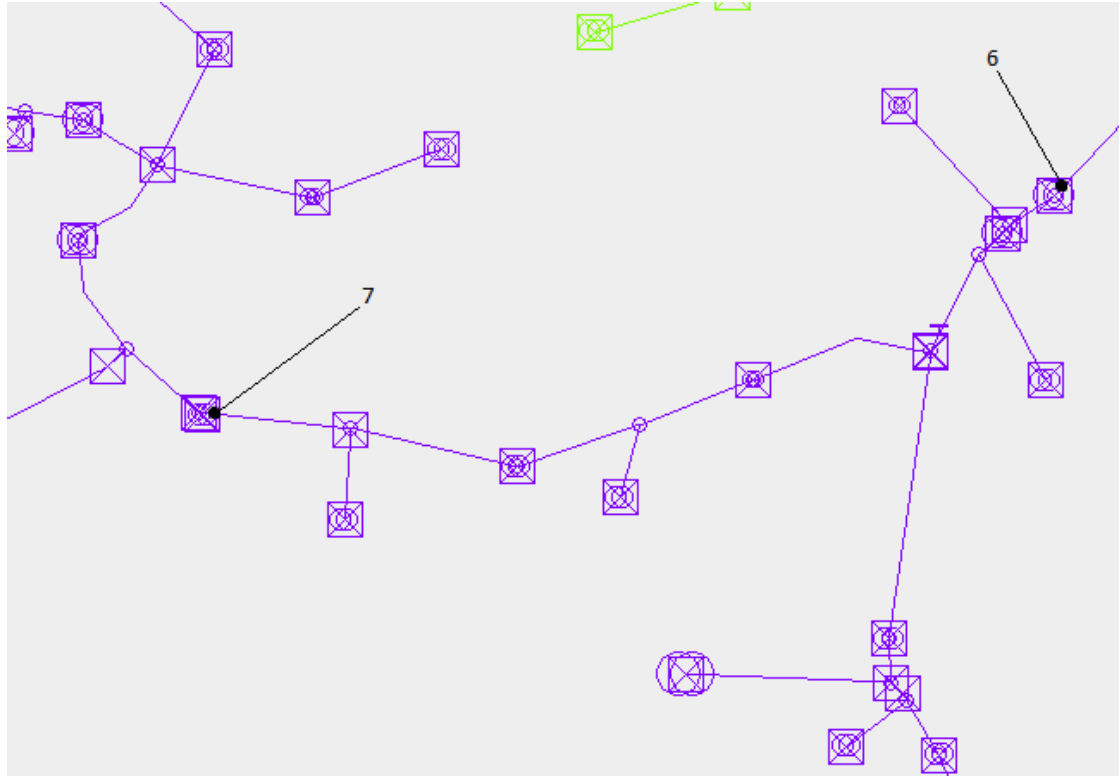
Kokonvaaran johtolähtöön sijoitetaan yksi manuaalinen erotin välille **3**. Kuokkala – Harmaasalo erottimien E136, E126, E127 rinnalle, koordinaatteihin (30459006 , 6956920). Välille **4**. Killinkuiva – Tervalampi sijoitetaan yksi manuaalinen erotin Tervalammelle koordinaatteihin (30455634 , 6959176). Välille **5**. Mustalahti – Harmaasalo sijoitetaan yksi manuaalinen erotin Korpilahdelle koordinaatteihin (30458740 , 6959070).



**KUVA 11. Kokonvaaran johtolähdön uusien erottimien sijoituspaikat**

## 8.2 Sähköasema Ruuttu 2

Viuruniemen johtolähtöön sijoitetaan yksi manuaalinen erotin välille **6**. Kuusiranta – Myhkylä koordinaatteihin (30445287 , 6952839). Välille **7**. Heikkilä – Maljasalmi sijoitetaan yksi manuaalinen erotin Juholaan koordinaatteihin (30439600 , 6951687).

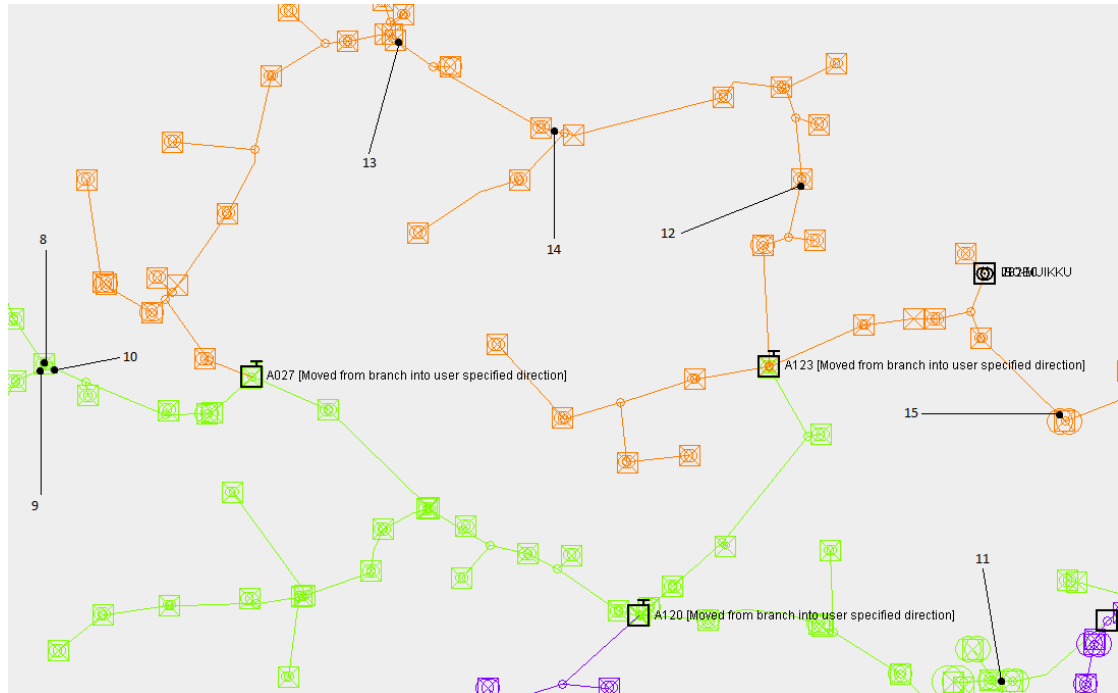


**KUVA 12. Viuruniemen johtolähdön uusien erottimien sijoituspaikat**

Kuusjärven johtolähtöön sijoitetaan yksi manuaalinen erotin välille **8**. Sydänmaa – Valiniemi, Varislahden johtoristeämstä Valiniemeen päin koordinaatteihin (30433520 , 6960059). Välille **9**. Sydänmaa – Kirokaarre sijoitetaan yksi manuaalinen erotin Varislahden johtoristeämstä Kirokaarteeseen päin koordinaatteihin (30433520 , 6960039). Välille **10**. Sydänmaa – Varislahti sijoitetaan yksi manuaalinen erotin Varislahden johtoristeämstä Sydänmaalle päin, koordinaatteihin (30433560 , 6960030). Välille **11**. Kesäkoti – Kuusikkola sijoitetaan yksi manuaalinen erotin koordinaatteihin (30445502 , 6955428).

Lähtevän johtolähtöön sijoitetaan yksi manuaalinen erotin välille **12**. Pirttijärvi – Vuorenpää, Päälammen muuntajan haarasta Pirttijärvelle päin koordinaatteihin (30443359 , 6961961). Välille **13**. Huovila – Tiakanlahti sijoitetaan kaksi manuaalista erotinta,

joista ensimmäinen sijoitetaan erottimien E059 ja E063 rinnalle, kolmanteen haaraan koordinaatteihin (30438200 , 6963995). Toinen erotin sijoitetaan **14**. Vuorenpäähän koordinaatteihin (30440300 , 6962719). Välille **15**. Joutenlampi – Särkiniemi sijoitetaan yksi manuaalinen erotin Kaitalammen muuntajan johtoristeämstä Joutenlampeen päin, koordinaatteihin (30446595 , 6958700).



**KUVA 13. Lähtevän ja Kuusjärven johtolähtöjen uusien erottimien sijoituspaikat**

### 8.3 Kaukokäytettävät erottimet

Jokaisesta johtolähdöstä on analysoitu yksi sijoituspaikka, jossa kaukokäytettävä erotin tiputtaa KAH-arvoa eniten. Jokaisen johtolähdön paras sijoituspaikka on mainittu jo kappaleessa 8.1 tai 8.2, joten erottimien nimeämisessä on käytetty vain pelkkää erottimen numeroa.

Törisevän johtolähdön paras kaukokäytettävän erottimen sijoituspaikka on sama kuin kappaleessa 8.1 mainittu erotin **1**. Rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 28 400 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 3 875 €/v.

Kokonvaaran johtolähdön paras kaukokäytettävän erottimen sijoituspaikka on sama kuin kappaleessa 8.1 mainittu erotin **3**. Rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 25 300 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 4 100 €/v. Jotta kyseinen erotin olisi kannattavaa uudistaa kaukokäytettäväksi erottimeksi, tulisi erottimet E126, E127 ja E136 uudistaa myös kaukokäytettäväksi erottimiksi. Tällöin rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskisi n. 33 800 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskisi n. 5 400 €/v.

Viuruniemen johtolähdön paras kaukokäytettävän erottimen sijoituspaikka on sama kuin kappaleessa 8.2 mainittu erotin **7**. Rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 8 500 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 5 000 €/v.

Kuusjärven johtolähdön paras kaukokäytettävän erottimen sijoituspaikka on sama kuin kappaleessa 8.2 mainittu erotin **11**. Rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 13 900 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 5 900 €/v.

Lähtevän johtolähdön paras kaukokäytettävän erottimen sijoituspaikka on sama kuin kappaleessa 8.2 mainittu erotin **13**. Rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 14 100 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 5 200 €/v.

#### **8.4 Uusien erottimien vaikutus KAH-arvoon**

Sähköasemalle Vuonos 1 tehtävillä erotinmuutoksilla saadaan rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskemaan n. 82 600 €/v. Olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo saadaan laskemaan n. 12 400 €/v. Vuonos 1:lle sijoitetaan 5 manuaalista erotinta, joten kustannukset ovat n. 25 850 €. Teoreettinen takaisinmaksuaika on silloin rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla n. kolme kuukautta ja olemassa olevilla vikataajuuksilla n. 2 vuotta.

Sähköasemalle Ruuttu 2 tehtävillä erotinmuutoksilla saadaan rappeutusmallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskemaan n. 45 100 €/v. Olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo saadaan laskemaan n. 15 300 €/v. Ruuttu 2:lle sijoitetaan 10 manuaalista erotinta, joten kustannukset ovat n. 51 700 €. Teoreettinen takaisinmaksuaika on silloin rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla 13 kuukautta ja olemassa olevilla vikataajuuksilla n. 3,1 vuotta.

## **9 VARASYÖTTÖYHTEYKSIEN RAKENTAMISPAIKAT**

Kuusjärven johtolähtöön on tarkoituksen mukaista rakentaa varasyöttöyhteys Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:n kanssa. Varasyöttöyhteys rakennetaan Väliniemestä Pykälänvaaralle sijaitsevaan PKS:n johtoon. Pelkkä varasyöttöyhteys laskee rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettua KAH-arvoa vain n. 2000 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla n. 1000 €/v. Kun huomioidaan kohdassa 8.2 tehtävät erotinmuutokset Kuusjärven johtolähtöön, saadaan rappeutusmallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskemaan n. 5200 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo n. 2500 €/v. Tällä varasyöttöyhteydellä parannetaan merkittävästi sähkösiirron luotettavuutta Kuusjärven johtolähdön kaukaisimmille kuluttajille.

Viuruniemen johtolähtöön on myös tarkoituksen mukaista rakentaa varasyöttöyhteys Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:n kanssa. Varasyöttöyhteys rakennetaan Myllypuroilta Ollilassa sijaitsevaan PKS:n johtoon. Varasyöttöyhteys laskee rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettua KAH-arvoa 27 500 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla 7 500 €/v. KAH-arvoihin ei ole huomioitu varasyöttöyhteyden omaa KAH-arvoa, eikä PKS:n verkon KAH-arvoa.

## **10 MUUT HUOMIOITAVAT ASIAT**

Muissa huomioitavissa asioissa on otettu kantaa uudistettaviin muuntajiin sekä maakaapelointiin.

## 10.1 Uudistettavat muuntajat

Uudistettavia muuntajia tarkastellessa on huomioitu muuntajan ikä, vuosittainen vikataajuus sekä muuntajan vikaantuessa aiheutuva tehohäviö.

**TAULUKKO 15. Kriittisen muuntajat**

<b>Muuntaja</b>	<b>Rakentamisvuosi (a)</b>	<b>Tehohäviö(kVA)</b>	<b>Vikataajuus (f/a)</b>
Kantolevä	1970	50	0,102
Palomäki	1969	50	0,104
Kuusjärvi	1969	79	0,104
Ylä-Mikkola	1972	50	0,096
Ulla	1974	50	0,091
Pielisenbet	1974	79	0,091

Yllä olevaan taulukkoon ei ole huomioitu pienitehoisia muuntajia, joilla on korkea vikataajuus. Kaikki yli 30 vuotta vanhat muuntajat on syytä huoltotarkistaa ja tarvittaessa uusia.

## 10.2 Verkon osien kaapelointi

Luotettavuuden kannalta paras paikka kaapeloida taajama-alueen ulkopuolella on Viuruniemen johtolähdön väli jakorajalta A080 erottimille E091 ja E176. Rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettu KAH-arvo laskee n. 31 100 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla n. 12 500 €/v. Kaapelia tulisi yhteensä n. 5,8km, jolloin kustannukset olisivat n. 464 000 €. Kaapelointi ei ole kiireellinen, koska kohdassa 7 mainittu varasyöttöyhteys Viuruniemen ja PKS:n välillä takaa paremman sähkösiirron Viuruniemen johtolähdön kaukaisimmille kuluttajille.

## 11 YHTEENVETO

Kohdissa 8, 9 ja 10.2 mainituilla muutoksilla saadaan koko verkon KAH-arvo laskemaan rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettuna n. 177 000 €/v ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettuna n. 46 300 €/v. Prosentuaalinen muutos KAH-arvon muutoksissa on molemmilla vikataajuuksilla laskettuna n. 14,5 %. Koko

verkkoon tullaan sijoittamaan yhteensä 15 manuaalista erotinta, joiden kappalehinta on 5 170 €. Varasyöttöyhteyksiä tullaan rakentamaan yhteensä n. 5km, jonka metrihinta on 25 €/m. Maakaapelia rakennetaan n. 5,8km, jonka metrihinta on 80 €/m.

Koko verkon kustannukset tulevat olemaan yhteensä n. 666 550 €, joista 77 550 € sijoitetaan erottimiin, 125 000 € varasyöttöyhteyksiin ja 464 000 € maakaapelointiin. Teoreettinen takaisinmaksu aika rappeutumismallin mukaisilla vikataajuuksilla laskettuna on n. 3,5 vuotta ja olemassa olevilla vikataajuuksilla laskettuna n. 11 vuotta. Takaisinmaksuaikoihin on huomioitu 5 % korko.

Alla olevassa taulukossa on esitelty koko verkko lukuina. BRI tarkoittaa rappeutumismallin mukaisia vikataajuuksia ja ARI olemassa olevia vikataajuuksia.

#### TAULUKKO 16. Koko verkon kustannukset ja KAH-arvot

KOKO VERKKO			
	Hinta €/kpl	Kappalemäärä	Kustannukset (€)
Manuaalinen erotin	5170	15	77550
Kaukokäyttöinen erotin	20000	0	0
	Hinta €/m	Metrimäärä (m)	
Varasyöttö	25	5000	125000
Maakaapeli	80	5800	464000
<b>TOTAL</b>			666550
	BRI	ARI	
Alku KAH (€)	1 240 399	317 387	
Loppu KAH (€)	1 063 502	271 079	
KAH muutos (€)	-176 897	-46 308	
KAH muutos (%)	-14,26 %	-14,59 %	
Takaisinmaksuaika (a)	3,5	11,0	



## 12 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli analysoida Outokummun Energia Oy:n keskijänniteverkon viittä johtolähtöä ja tutkia millaisilla menetelmillä verkon luotettavuutta voitaisiin parantaa.

Ennen varsinaisen työn aloittamista tutustuin Virtaveikot Oy:n kehittämään SLIMO Power Grid Analyzer - tietokoneohjelmistoon. Vaikka ohjelmisto olikin vielä kehitysvaiheessa, kykeni sillä tekemään verkon eri analysoinnit vaivatta. Työn edetessä huomasin kehittämiskohteita ohjelmistossa, jotka omasta mielestäni paransivat ohjelmiston käyttöliittymää. Kehittämiskohteista ilmoitin ohjelmiston koodaajalle ja näin ollen työn aikana kertyi arvokasta tietoa myös Virtaveikot Oy:lle.

Varsinaisen työn tekemisen aloitin analysoimalla verkkoa sekä tekemällä alustavia Excel-taulukkoita eri muutosten osalta osakokonaisuus kerrallaan. Taulukoihin olin merkinnyt tarkasti komponenttikohtaiset sijainnit sekä laskelmat, joten raportin kirjoittaminen oli suhteellisen helppoa. Työn edetessä kävin Outokummun Energia Oy:llä esittelemässä väliaikatietoja sekä keskustelemassa mahdollisista muutoksista. Kaikki analysoinnit suoritettuani, tein lopuksi yhteenvedon koko verkosta, josta selviää miten kaikki muutokset vaikuttavat verkkoon.

Omasta mielestäni opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin. Vielä on kuitenkin mahdollista sanoa miten muutokset vaikuttavat luotettavuuteen käytännössä, mutta teoriassa luvut puhuvat puolestaan. KAH-arvon muutos on kääntäen verrannollinen luotettavuuteen, joten tässä työssä esitetyillä muutoksilla saadaan luotettavuus paranemaan 14,5 %.

## LÄHTEET

1. Korpijärvi, Juha Aging based maintenance and reinvestment scheduling of electric distribution network. Väitöskirja. Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2012.
2. Outokummun Enegia Oy. Yrityksen www-sivut.  
<http://www.outokummunenergia.fi/>. Päivitetty 5.6.2014. Luettu 5.6.2014
3. Outokummun Energian vuosikatsaus 2013
4. SLIMO loppuraportti 24.1.2014
5. Sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat vuodelle 2014
6. Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Gaudeamus 2008.
7. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa Sähköverkot I. Helsinki: Gaudeamus 2011.
8. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa Sähköverkot II. Helsinki: Gaudeamus 2011.