



LAPPEENRANNAN  
TEKNILLINEN YLIOPISTO

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
SÄHKÖTEKNI I KAN OSASTO

---

BL10A1000 Kandidaatintyö ja seminaari

KANDIDAATINTYÖ

Juha Haakana

10.12.2007

Säte 4

# **Luotettavuuspohjaisen verkostanalysointijärjestelmän kehittäminen**

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sähkötekniikan osasto

Juha Haakana

### **Luotettavuuspohjaisen verkostanalysointijärjestelmän kehittäminen**

Kandidaatintyö

2007

33 sivua, 12 kuvaa, 7 taulukkoa ja 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Jarmo Partanen

Diplomi-insinööri Jukka Lassila

Hakusanat: Keskeytyskustannukset, verkostanalysointi, sähkönjakeluverkko

Keywords: Outage costs, network analyzing, electricity distribution network

Sähköverkon luotettavuuden tarkastelu sähköverkkoyhtiöissä on hyvin ajankohtaista tällä hetkellä. Siihen löytyvät hyvät kannusteet sähköverkkoliiketoimintaa säätelevästä regulaatiomallista sekä nykyisestä ikääntyvästä sähköverkosta. Se on monin paikoin lähellä käyttökänsä loppua, ja sitä rakennettaessa ei välttämättä ole kiinnitetty kovin suurta huomiota luotettavuustarkasteluun.

Kandidaatintyönä on kehitetty analysointijärjestelmä, jonka avulla pystytään tarkastelemaan sähköverkon pitkän aikavälin suunnittelua ottamalla huomioon myös sähköverkon keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset. Analysoinnissa käytettävä järjestelmä toimii Microsoftin Excel taulukkolaskennassa.

Analysointijärjestelmän avulla saadaan mallinnettua keskeytyskustannusten vaikutuksia erilaisiin investointiohjelmiin ja voidaan helposti vertailla useiden verkstorakeiden tuomia hyötyjä ja niistä aiheutuvia kustannuksia.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Department of Electrical Engineering  
Juha Haakana

### **Development of a reliability based network analyzing system**

Bachelor's thesis 2007

33 pages, 12 figures, 7 tables and 4 appendices

Supervisors: Professor Jarmo Partanen

Master of Science Jukka Lassila

Keywords: Outage costs, network analyzing, electricity distribution network

The reliability of the electricity distribution network is becoming more and more important due to the impact of reliability on the regulation model. The electricity network in Finland is aging and when it was built there wasn't demand for good reliability. The presented model can estimate the impact of renewal investments and their impact on reliability.

This thesis presents an analyzing system that helps to evaluate long-term planning of the distribution network through the outage costs. The system is developed on Microsoft's spreadsheet program Excel.

The analyzing system assists in finding out the influence of outage costs on different investment alternatives. Comparison of the advantages and the weaknesses of the different types of network structures is also easy with the analyzing system.

## SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	2
1. JOHDANTO	4
2. SÄHKÖNJAKELUVERKON TOIMITUSVARMUUS	5
2.1 Keskeytykset	5
2.2 Käyttövarmuuden tunnusluvut	7
2.3 Regulaation vaikutus	8
3. KESKEYTYSKUSTANNUKSET	10
3.1 KAH-parametrit	12
3.2 Keskeytyskustannusten elinkaarikustannukset	13
4. VERKOSTORAKENTEET	15
4.1 Johdinlajit	15
4.2 Erottimet ja pylväskatkaisijat	17
4.3 Rakenteiden investointikustannukset	19
4.4 Verkosto-omaisuuden arvostus	20
5. VERKOSTOANALYSOINTIJÄRJESTELMÄ	21
5.1 Ohjelmistoalustan valinta	21
5.2 Taustatiedon keruu laskentaa varten	22
5.3 Analysointijärjestelmän rakenne	23
5.3.1 Pääsivu	25
5.3.2 Taulu väliaikaisille tiedoille	25
5.3.3 Tulokset taulu	25
5.3.4 Laskentaparametrit taulu	26
5.3.5 Muut taulut	26
5.4 Järjestelmän tarjoamat tulokset	27
5.4.1 Verkostoinvestoinneista aiheutuvat kustannukset	27
5.4.2 Keskeytyskustannuksista saatava säästö	28
5.5 Verkostoanalysointijärjestelmän käyttö	30
6. YHTEENVETO	32
LÄHDELUETTELO	33
LIITTEET	
Liite I	Keskeytyskustannusten määrittäminen
Liite II	Kuvia analysointijärjestelmästä
Liite III	Verkostotöiden kustannusluettelo KA 2:06
Liite IV	Verkkokuva käytetystä johtolähdöstä

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

### Lyhenteet:

AJK	Aikajälleenkytkentä
EMV	Energiamarkkinavirasto
JHA	Jälleenhankinta-arvo
KAH	Keskeytyksestä aiheutunut haitta
NA	Nykyarvo
NKA	Nykykäyttöarvo
PAS	Päällystetty avojohto
PJK	Pikajälleenkytkentä
Sener	Sähköenergialiitto ry

### Muuttujat:

$k$	kustannus
$n$	tarkasteluhetken vuosi
$p$	laskentakorko
$t$	keskeytysaika
$v$	nykyarvotekijä
$W$	energia

### Alaindeksit:

ajk	aikajälleenkytkentä
ar	asiakasryhmä
inv	investointi
kesk	keskeytys
kun	kunnossapito
käyt	käyttö
pjk	pikajälleenkytkentä
t	työkeskeytys
v	vikakeskeytys

Käyttövarmuutta kuvaavat tunnusluvut:

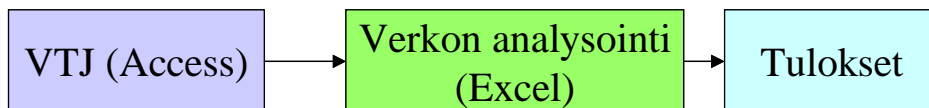
- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), keskeytysten keskimääräinen lukumäärä tietyllä aikavälillä
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index), keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kesto-aika tietyllä aikavälillä
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index), keskeytysten keskipituus tietyllä aikavälillä
- MAIFI (MAIFI, Momentary Average Interruption Frequency Index)  
Jälleenkytkentöjen keskimääräinen määrä/asiakas,a

## 1. JOHDANTO

Nykyisestä sähköverkosta suuri osa on rakennettu 1960-1970-luvuilla, joten sen saneeraustarve on ajankohtaista. Tähän asti verkoston saneerauskohteet ovat olleet pääosin yksittäistapauksia, jolloin ei ole ollut tarvetta luoda mittavia saneerausohjelmia, mutta tuleva tilanne vaatii jo hieman parempaa perehtymistä. Nyt saneerausikään tuleva verkko on pääosin rakennettu mahdollisimman pienin rakennuskustannuksin mahdollisimman vähällä vaivalla, jolloin sähkölinjat kulkevat usein hyvin suoria linjauksia pitkin keskellä metsää, vaikka lyhyen matkan päässä kulkisi tie samansuuntaisesti. Saneeraustarkasteluissa on myös yleensä tarpeen pyrkiä ennustamaan ja tarkastelemaan tulevaa kulutusta ja sen kasvua, mutta tässä työssä tähän ei kiinnitetä suurempaa huomiota.

Verkoston ikääntyminen ja regulaatioon liittyvät keskeytyskustannukset tuovat tarpeen ottaa huomioon myös niiden vaikutuksia liiketoiminnan kannattavuuteen verkostoa uusittaessa.

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on kehittää verkostanalysointijärjestelmä, jonka avulla pystytään suorittamaan sähköverkon kokonaiskustannusten optimointia ottaen huomioon keskeytys- ja investointikustannukset. Tarvittavat tiedot analysoinnin toteutukseen saadaan Access-tietokannasta. Verkostanalysointijärjestelmän toteutus hoidetaan Excel-taulukkolaskennalla johtuen sen tarjoamasta tuesta käsitellä taulukoita ja helppoudesta toteuttaa melko järkevä käyttöliittymä. Seuraavassa on esitetty periaatekaavio prosessin etenemisestä.



Kuva 1.1 Kuvaus verkoston analysoinnin rakenteesta, jota läpi käymällä saadaan suoritettua sähköverkolle tarvittava luotettavuusanalyysi.

## 2. SÄHKÖNJAKELUVERKON TOIMITUSVARMUUS

Viranomaisen valvonta säätelee sähkönlaatukysymyksiä hyvin suurpiirteisesti. Sähkömarkkinalain 9§:ssa todetaan, että verkonhaltijan tulee turvata asiakkaille riittävän hyvälaatuisen sähkön saanti. Tämä tarkoittaa sitä, että verkonhaltijan tulee pitää verkon käyttövarmuus yleisesti hyväksyttävällä tasolla. Lisäksi lain perusteluissa on todettu, että sähkökatkosten pituus ja tiheys sekä sähkön laatu riippuvat sähköverkon rakenteesta ja kunnosta. Tähän verkon haltijan tulee vaikuttaa siten, että sähköverkko on riittävän hyvässä kunnossa kaikilta osin. Standardin SFS-50160 mukaan jännitteen ollessa liittämiskohdassa alle 1 % sopimuksen mukaisesta jännitteestä, on kyseessä keskeytys. (Partanen 06a)

### 2.1 Keskeytykset

Keskeytykset voidaan luokitella suunniteltuihin keskeytyksiin ja häiriökeskeytyksiin. Suunnitelluissa keskeytyksissä asiakkaalle ilmoitetaan jakeluverkon töistä johtuvasta keskeytyksestä etukäteen. Häiriökeskeytykset aiheutuvat joko pysyvistä tai ohimenevistä vioista, jotka yleensä ovat ulkopuolisia tapahtumia.

Häiriökeskeytykset voidaan luokitella vielä seuraaviin alaluokkiin:

- Pitkät keskeytykset: yli 3 minuuttia kestävät keskeytykset luetaan pysyviksi vioiksi
- Lyhyet keskeytykset: alle 3 minuutin viat eli pikajälleenkytkennällä tai aikajälleenkytkennällä selvitettävät viat
- Jännitekuopat

Pitkien keskeytysten aiheuttajia ovat yleensä sääolosuhteet. Merkittävimmät tekijät sääperäisiin keskeytyksiin ovat myrskyt, runsaat lumisateet sekä ukkonen. Myrskyjen seurauksena pitkiä keskeytyksiä aiheutuu keski- ja pienjännitelinjoille kaatuneista puista, koska näitä ei ole tehty puvarmoiksi johtuen kustannuksista. Ukkonen aiheuttaa maa- tai oikosulun iskiessään ilmajohtoon. Tällöin se voi pahimmassa tapauksessa vaurioittaa lähellä olevaa muuntajaa ja keskeytysaika voi olla useita tunteja.



Lyhyiden keskeytysten aiheuttajia ovat pääsääntöisesti ukkonen, eläimet ja puiden oksat, jotka aiheuttavat hetkellisiä maa- tai oikosulkuja keskijänniteverkoissa.

Sähkötalouseläinlakiä täydennettiin vuonna 2003 siten, että asiakkailta on mahdollisuus saada korvaus keskeytyksestä. Korvauksen määrä riippuu keskeytysajan pituudesta sekä sähkökäyttäjän vuotuisesta verkkopalvelumaksusta. Tässä vakiokorvausmenettelyssä korvaukset on jaettu neljään luokkaan, jolloin korvauksen suuruus vuotuisesta verkkopalvelumaksusta on:

- 10 %, kun keskeytysaika on vähintään 12 tuntia
- 25 %, kun keskeytysaika on vähintään 24 tuntia
- 50 %, kun keskeytysaika on vähintään 72 tuntia
- 100 %, kun keskeytysaika on vähintään 120 tuntia.

Vakiokorvaukselle on kuitenkin asetettu katoksi enimmillään 700€ yhtä sähkökäyttäjää kohden. (Partanen 06a)

Keskeytyskustannusten vaikutus sähköjakeluverkkojen kokonaiskustannuksiin voidaan todeta seuraavassa yhtälössä. Siinä pyritään minimoimaan kokonaiskustannukset siten, että jakeluverkon tekniset reunaehdot, ympäristön reunaehdot ja turvallisuuteen liittyvät ominaisuudet ovat kohdallaan. Yhtälö kirjoitetaan seuraavasti

$$F = K_{\text{inv}} + K_{\text{käyt}} + K_{\text{kun}} + K_{\text{kesk}}, \quad (1)$$

missä  $K_{\text{inv}}$  on investointikustannukset,  $K_{\text{käyt}}$  on käyttökustannukset,  $K_{\text{kun}}$  on kunnossapitokustannukset ja  $K_{\text{kesk}}$  on keskeytyskustannukset. Tässä työssä keskitytään nimenomaan keskeytyskustannuksiin ja niiden pienentämiseen erilaisin verkostorakennelinvestoinnein.

Asiakkaiden kokemat keskeytykset aiheutuvat pääosin keskijänniteverkon vioista, jotka käsittävät kaikista vioista noin 90 %. Pienjänniteverkon viat ovat syynä loppuosaan vioista, eli ne kattavat tällöin hieman alle 10 %. Vaikka pienjänniteverkosta aiheutuu pienempi osa vioista, on niiden kokonaismäärä kuitenkin merkittävä ja niistä aiheutuu paljon suoria kustannuksia sähköverkkoyhtiöille. Keskijänniteverkon vioille tyypillistä on, että hyvin suuri osa vioista, eli noin 90 %, on ohi meneviä. Tämä selittyy

onnistuneilla pikajälleenkytkentä- ja aikajälleenkytkentäasetuksilla, jotka pyrkivät palauttamaan verkon jännitteiseksi lyhyen ajan jälkeen vian laukaisusta tarkoituksena pitkien keskeytysten välttäminen. Pikajälleenkytkennät selvittävät 75 % kaikista vioista ja aikajälleenkytkennät 15 %. Loppuosa vioista on luonteeltaan niin sanottuja pysyviä vikoja, joista aiheutuu pitkä keskeytys. (Partanen 06a)

Keskeytysten tilastointi sisältää monia haasteita kuten tietojen tarkempi tilastointi tulevaisuudessa. Asiakkaiden erilaiset vaatimukset sähkön laadun suhteen on myös hyvä ottaa huomioon. Tilastoinnin hyödynnettävyyttä voidaan parantaa tallentamalla asiakaskohtaiset tunnusluvut pelkkien keskimääräisten tunnuslukujen lisäksi. Toimittamatta jääneen energian huomioimisella on myös vaikutusta keskeytyskustannuksiin. (Järventausta 03)

## **2.2 Käyttövarmuuden tunnusluvut**

Käyttövarmuus ilmoittaa tarkasteltavan kohteen kykyä suoriutua vaaditusta toiminnosta. Sillä voidaan kuvata esimerkiksi sähkönjakeluverkkoa tai yksittäisiä komponentteja. Tämän työn tarkastelussa keskitytään jakeluverkkoon.

Käyttövarmuutta kuvatessa esiintyy seuraavia käsitteitä: vika, kytkentäaika, korjausaika sekä vikataajuus. Vika tarkoittaa, että komponentti ei suoriudu sille asetusta tehtävästään. Kytkentäaika kertoo ajan, joka tarvitaan vioittuneen osan erottamiseen sähköverkosta, jotta kunnossa oleviin osiin saadaan palautettua jännite. Korjausaika kertoo ajan, joka kuluu osan vioittumisen ja sen uudelleen käyttöön ottamisen välillä. Vikataajuus ilmaisee keskimääräisen vikojen määrän sähköverkossa tietyn ajanjakson aikana. (Partanen 06b)

Sähkötoimitusvarmuutta voidaan kuvata myös kansainvälisesti hyväksytyillä tunnusluvuilla, joita ovat SAIFI, SAIDI, CAIDI ja MAIFI.

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) kuvaa keskeytysten keskimääräistä lukumäärää tietyllä aikavälillä
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) kuvaa keskeytysten keskimääräistä yhteenlaskettua keskeytysaikaa tietyllä aikavälillä

- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) kuvaa keskeytysten keskimääräistä keskeytysaikaa tietyllä aikavälillä
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) kuvaa jälleenkytkentöjen keskimääräistä lukumäärää asiakasta kohden tietyllä aikavälillä

Tunnusluvut voidaan määrittää seuraavien yhtälöiden avulla.

$$SAIFI = \frac{\sum_j n_j}{N_s} \quad (2)$$

missä,  $n_j$  on asiakkaan  $j$  kokema keskeytysten määrä ja  $N_s$  on asiakkaiden kokonaismäärä.

$$SAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N_s} \quad (3)$$

missä,  $t_{ij}$  on asiakkaalle  $j$  keskeytyksestä  $i$  aiheutunut aika ilman sähköä,  $i$  on keskeytysten lukumäärä,  $j$  on asiakkaiden lukumäärä keskeytyksen vaikutusalueella ja  $N_s$  on asiakkaiden kokonaismäärä.

$$CAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{\sum_j n_j} \quad (4)$$

missä,  $n_j$  on asiakkaan  $j$  kokema keskeytysten määrä tietyllä aikavälillä.

### 2.3 Regulaation vaikutus

Suomessa sähköverkkoliiketoimintaa säännellään seuraamalla sähköyhtiöiden tuloksia ja siirtohinnoittelua sekä käyttämällä apuna tehokkuusmittausta, joka vertaa yhtiöitä toisiinsa ja näin pystyy tarjoamaan eri yhtiöiden välille sopivan vertailupohjan.

Sääntelyjärjestelmä toimii usean vuoden jaksoissa, joissa pyritään kannustavaan sääntelyyn mm. laadusta tulevalla kannustinjärjestelmällä ja tehokkuusmittauksen avulla. Laadun kannustimeen kuuluu esimerkiksi keskeytyskustannusten huomioiminen verkkoyhtiöiden tuottoa määritettäessä, jolloin pienemmillä keskeytyskustannuksilla selviävä verkkoyhtiö voi saada suuremman tuoton omasta toiminnastaan. (Partanen 07)

### 3. KESKEYTYSKUSTANNUKSET

Keskeytyskustannukset koostuvat pysyvistä vika- ja työkeskeytyksistä sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen aiheuttamista kustannuksista. Keskeytyskustannusten lisäksi keskeytykset näkyvät sähköverkkoyhtiöille viankorjauskustannuksina. Sähkön käyttäjille keskeytykset voivat aiheuttaa mm. tuotannon keskeytymisen tai pakasteiden sulamisen. Asiakkaille aiheutuvia haittoja pyritään ottamaan huomioon KAH-arvojen avulla. Niiden perusteella voidaan määrittää keskeytyksestä aiheutuva haitta eri kuluttajaryhmille, joita on listattuna viisi erilaista. KAH-arvot on esitetty taulukossa 3.1. Niiden avulla pyritään kannustamaan verkkoyhtiöitä investoimaan keskeytyksiä vähentävään tekniikkaan. (Partanen 06a)

Investointien kannattavuutta arvioitaessa päädytään haasteelliseen tehtävään, johon vaikuttaa mm. investoinnin hinta, investoinnin vaikutus sähköverkon luotettavuuteen, keskeytyksestä aiheutuvan haitan arvostus eri asiakasryhmien välillä sekä laskenta korko ja pitoaika. Näistä parametreista tunnetaan hyvin vain investoinnin hinta. Muut mahdolliset hyödyt riippuvat muun muassa verkkoyhtiön painotuksista ja verkko-olosuhteista, sillä ne vaikuttavat suoraan laskennallisesti saatuihin kannattavuuslaskelmiin. Esimerkiksi investoinnin vaikutusta vikojen määrään ja kestoon voi olla hyvin vaikea selvittää, koska sääolosuhteet saattavat vaihdella vuosittain hyvinkin paljon. Tässä vaiheessa pidemmän ajan vikatilastoinnista on suurta hyötyä. (Järventausta 03)

Keskeytykskustannukset voidaan laskea eri keskeytystyyppien mukaan seuraavasti

$$KAH = K_{\text{viat}} + K_{\text{suunnitellut}} + K_{\text{pjk}} + K_{\text{ajk}}, \quad (5)$$

missä KAH on keskeytyksestä aiheutunut haitta vuodessa (€/a),  $K_{\text{viat}}$  on pysyvistä vioista aiheutunut vuotuinen haitta,  $K_{\text{suunnitellut}}$  on suunnitelluista vioista aiheutunut vuotuinen haitta,  $K_{\text{pjk}}$  on pikajälleenkytkennöistä aiheutunut vuotuinen haitta ja  $K_{\text{ajk}}$  on aikajälleenkytkennöistä aiheutunut vuotuinen haitta. Tämä yhtälö on jaettu tarkempiin parametreihin ja muuttujiin yhtälössä (6).

Keskeytyskustannukset määräytyvät tyypillisesti johdinten vikataajuuksien, verkon suojausvyöhykkeiden, asiakkaiden tehojen ja KAH-parametrien mukaan. Tällöin asiakkaalle aiheutuva haitta muodostuu pitkien keskeytysten keskeytysajasta ja lukumäärästä sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen lukumääristä. Vuotuinen keskeytyskustannus muuntopiirille / lähdölle voidaan laskea seuraavasti (Partanen 06a)

$$KAH = \sum_{ar=1}^{ar_{lkm}} \left[ \frac{W_{mp}(ar)}{8760} \cdot \left( k_v(ar) \cdot t_v + k_t(ar) \cdot t_t + k_{vm}(ar) \cdot lkm_v + k_{tm}(ar) \cdot lkm_t + k_{pjk}(ar) \cdot lkm_{pjk} + k_{ajk}(ar) \cdot lkm_{ajk} \right) \right], (6)$$

missä KAH = keskeytyksestä aiheutunut haitta vuodessa (€a)

$W_{mp}(ar)$  = muuntopiirin asiakasryhmän  $ar$  vuosienergia (kWh)

$ar_{lkm}$  = asiakasryhmien lukumäärä

$k_v(ar)$  = asiakasryhmän  $ar$  KAH-arvo pysyville vioille (€kWh)

$k_t(ar)$  = asiakasryhmän  $ar$  KAH-arvo työkeskeytyksille (€kWh)

$k_{vm}(ar)$  = asiakasryhmän  $ar$  KAH- arvo pysyville vioille (€kW, vika)

$k_{tm}(ar)$  = asiakasryhmän  $ar$  KAH-arvo työkeskeytyksille (€kW, vika)

$k_{pjk}(ar)$  = asiakasryhmän  $ar$  KAH-arvo pikajälleenkytkennöille (€kW, vika)

$k_{ajk}(ar)$  = asiakasryhmän  $ar$  KAH-arvo aikajälleenkytkennöille (€kW, vika)

$t_v$  = muuntopiirin pysyvien vikojen kokonaiskesto-aika (h/a)

$t_t$  = muuntopiirin työkeskeytysten kokonaiskesto-aika (h/a)

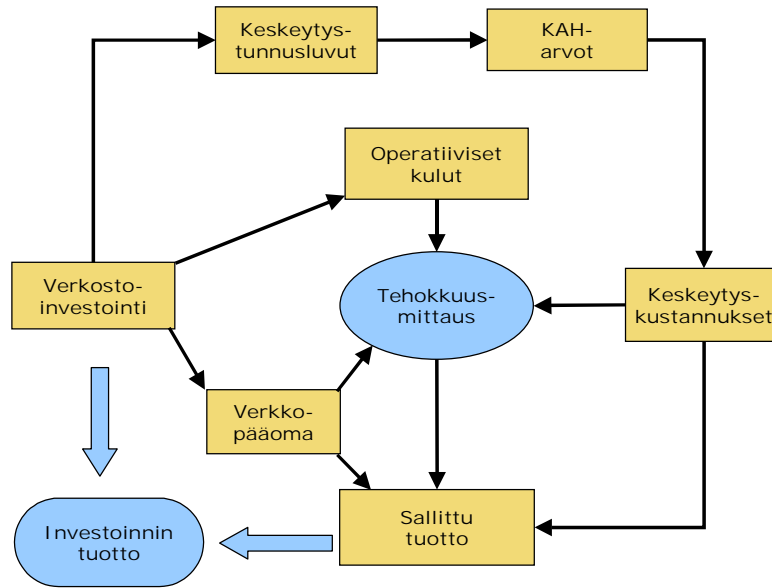
$lkm_v$  = muuntopiirin pysyvien vikojen kokonaismäärä (kpl/a)

$lkm_t$  = muuntopiirin työkeskeytysten kokonaismäärä (kpl/a)

$lkm_{pjk}$  = muuntopiirin pikajälleenkytkentöjen kokonaismäärä (kpl/a)

$lkm_{ajk}$  = muuntopiirin aikajälleenkytkentöjen kokonaismäärä (kpl/a)

Seuraavassa on esitetty kuva verkoston kehittämisinvestoinnin ja keskeytyskustannusten vaikutuksista investoinnin tuottoon.



Kuva 3.1 Kaavio investoinnin vaikutuksista. (Honkapuro 06)

### 3.1 KAH-parametrit

Keskeytyksestä aiheutuva haitta määritellään KAH-parametrien perusteella. Niiden määrittämisessä on hyödynnetty yhteispohjoismaista kyselytutkimusta. Asiakkaat ovat jaettu viiteen eri ryhmään, jotka ovat kotitalous, maatalous, teollisuus, julkinen ja palvelu. (Järventausta 03)

Häiriökeskeytyksille ja suunnitelluille keskeytyksille on määritelty omat KAH-arvot vikojen määrälle sekä ajalle. Myös PJK ja AJK keskeytysten määrää arvostetaan erisuuruisesti. Taulukossa 3.1 on esitetty tämän hetken KAH-arvot. Taulukosta nähdään selvästi, että vikakeskeytyksen haitta on selvästi suurempi kuin suunnitellun keskeytyksen haitta. Voidaan tehdä myös havainto, että keskeytysajalla on selvästi suuri merkitys. Eri kuluttajaryhmien kokemista haitoista voidaan myös huomata, että esimerkiksi teollisuus- ja palveluasiakkaiden kokemat keskeytykset tulevat paljon kalliimmiksi kuin kotitalousasiakkaiden. (Järventausta 03)

Taulukko 3.1 Tällä hetkellä käytössä olevat KAH-arvot.

Kuluttajaryhmä	Vikakeskeytyks		Suunniteltu keskeytyks		PJK	AJK
	€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
Palvelu	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44

Keskeytykskustannusten laskentaa varten on periaatteessa kaksi eri lähestymistapaa. Ensimmäisenä vaihtoehtona on selvittää keskeytykskustannuksia muuntopiirikohtaisesti, jolloin automaattisesti otetaan huomioon energiankulutus ja teho eri asiakasryhmien välillä. Lisäksi KAH-painotukset vaikuttavat sitä enemmän mitä ”kriittisempiä” asiakkaita vian vaikutusalueella on. Toisena vaihtoehtona on käyttää KAH-arvoina valtakunnallisen asiakasjakauman mukaisia keskimääräisiä arvoja, jolloin keskeytykskustannuksia määritettäessä ei tehdä enää eroa onko vika-alueen asiakkaat teollisuus- vai kotitalousasiakkaita. (Järventausta 03)

Muuntopiiritasolla selvitetty keskeytykskustannukset saadaan parhaimpaan tarkkuuteen. Tämä vaatii tarkkaa tilastointia vikatiedoista sekä tarkkaa asiakkaiden jaottelua eri kulutusryhmien välillä. Muuntopiirikohtaista selvitystä tehtäessä voidaan laskea keskimääräiset energiapainotetut KAH-arvot, jolloin painotuksina voidaan käyttää asiakasryhmien energiankäytön osuutta muuntopiirin kokonaisenergiasta.

Muodostettaessa investointisuunnitelmaa ei kuitenkaan tiedetä vielä tulevien vuosien vikapaikkoja tarkasti, vaan joudutaan laskemaan todennäköisyyksiä ja vikataajuuksia sähköverkolle ja sen eriosille. Tällöin voidaan käyttää hyödyksi aiempaa tilastotietoa eri maasto- ja johdintyypeille kertyneistä vioista, joiden perusteella saadaan laskettua vikataajuudet eri verkonosien johdinosuuksille. Liitteessä I on esitetty kaavio KAH-arvojen vaikutuksesta keskeytykskustannusten suuruuteen.

### 3.2 Keskeytykskustannusten elinkaarikustannukset

Keskeytykskustannuksista syntyvät kustannukset saadaan muutettua nykypäivään diskonttaamalla tulevaisuudessa sijaitsevat kustannukset. Diskonttaus tapahtuu



seuraavan yhtälön mukaisesti, jolloin yksittäisen kustannuksen nykyarvo NA kirjoitetaan

$$NA = v_n \cdot KAH = \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n} \cdot KAH, \quad (7)$$

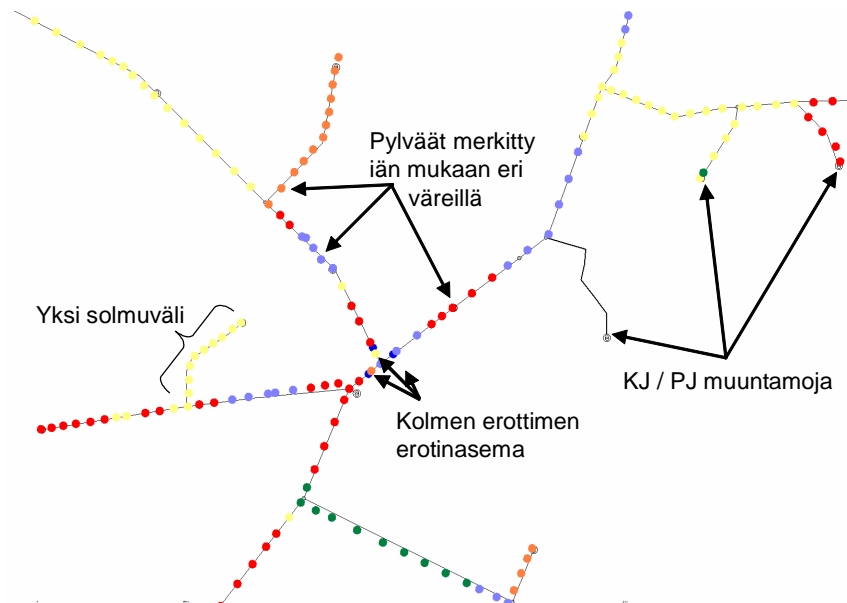
missä  $v_n$  on nykyarvo- eli diskonttaustekijä,  $p$  on laskentakorko ja  $n$  on tarkasteluhetken vuosi. Samaa yhtälöä hyväksi käyttäen saadaan laskettua myös verkostoinvestoinneille nykyarvot. (Partanen 06b)

#### 4. VERKOSTORAKENTEET

Selvitettäessä tulevia keskeytyskustannuksia on syytä laskea niihin vaikuttavat osat mahdollisimman tarkasti. Vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat verkostorakenteet:

- johdinlaji (avojohto, PAS, kaapeli)
- sijaintitieto (metsä, pelto, tienvarsi)
- käsin ohjattavien erotinten lukumäärä ja sijainti
- automaattierotinten lukumäärä ja sijainti
- pylväskatkaisijoiden lukumäärä ja sijainti

Laskennassa käytetyssä esimerkkijohtolähdössä verkkokuva näyttää kuvan 4.1 mukaiselta. Liitteessä IV on lisäksi esitetty käytetty johtolähtö kokonaisuudessaan ja sinne on kerätty ylös myös muita johtolähdön tietoja.



Kuva 4.1 Otos osasta esimerkkilaskutoimituksessa käytetystä sähköverkosta

##### 4.1 Johdinlajit

Johdinlaji vaikuttaa sähköverkon vikataajuuteen, sillä eri johdintyypeillä on erisuuruiset vikataajuudet. Metsäisyysaste vaikuttaa myös vikataajuuksiin siten, että metsäisemmillä osuuksilla tulee enemmän vikoja kuin esimerkiksi pelloilla. Johtojen sijaintitieto sekä johdinlaji vaikuttavat keskeytysaikaan myös korjausajan kautta. Esimerkiksi rikkoutunut johdin on luonnollisesti helpompi paikantaa ja korjata tienvarressa kuin metsässä ja avojohdon korjaus on yleensä nopeampi hoitaa kuin kaapelin korjaus. Keskimäärin Suomessa on taltioitu avojohdoille noin 5-7 kpl vikoja 100 km kohden

vuodessa, jolloin päästään suuressa mittakaavassa keskijänniteverkon vikoja tarkasteltaessa riittävälle tarkkuudelle. Kuitenkin jos tavoitteena on pyrkiä tekemään täsmällisiä investointeja vikaherkimpiin kohteisiin ja saada aikaan keskeytyskustannussäästöjä, on eduksi jos pystytään lajittelemaan sähköverkko sijainnin mukaan eri vikataajuuksille. Tällöin sijainnin ohjausvaikutus investointeihin on suurempi.

Taulukossa 4.1 on esitetty vikataajuudet eri johdinlajeille eri sijaintipaikoilla, jotka ovat asetettu tarkasteltavan sähköjakeluverkon käyttöolosuhteita vastaaviksi. Vaihdettaessa analysointikohdetta tulee ottaa huomioon, että taulukossa annettavat parametrit eivät ole käyttökelpoiset kaikissa tapauksissa, vaan riippuvat hyvin voimakkaasti ympäristön olosuhteista. Parametrit täytyy asettaa aina erikseen aluekohtaisesti, jolloin saman verkkoyhtiön alueella voi olla useita erilaisia alueita. Esimerkiksi rannikolla vikataajuudet voivat olla hyvin erilaiset kuin vastaavalle maastolle sisämaassa. Taulukosta huomataan myös, että maakaapelille ei ole PJK- ja AJK-parametrejä, koska vian sattuessa kaapeliosuudelle vika on yleensä pysyvää laatua oleva oikosulku tai muu vakava vika.

Taulukko 4.1 Keskeytystaajuudet eri johdinlajeille.

Keskeytystaajuus [kpl/a, 100 km]	Pysyvät viat	Työ- keskeytykset	PJK	AJK
<b>Avojohto, keskimäärin</b>				
metsä	18	10	140	30
tienvarsi	10	10	70	15
pelto	3	10	27	8
<b>Päällystetty avojohto</b>				
metsä	9	5,1	70	15
tienvarsi	5	5,1	35	8
pelto	1,5	5,1	14	4
<b>KJ-kaapeli</b>	1	1		

Taulukon 4.1 mukaisilla keskeytystaajuuksilla on laskettu liitteessä I esimerkki keskeytysmääristä. Esimerkkiin on laskettu vikojen, pikajälleenkytkentöjen ja aikajälleenkytkentöjen määrät. Samaa laskentamallia hyödynnetään myös itse toteutettavassa laskentatyökalussa.

Taulukkoon 4.2 on kerätty mahdollisia arvoja vikojen korjausajoista eri olosuhteissa sekä vuotuiset kunnossapito- ja vikakustannukset.

Taulukko 4.2 Vikojen korjausajat sekä kunnossapitokustannukset eri johdin lajeille

	Korjaus- aika [h/vika]	Kunnossapito- kustannukset, [€/km,a]	Vikojen- kustannukset, [€/km,a]
<b>Avojohto, keskimäärin</b>			
metsä	2	103	122
tienvarsi	1,5	77	91
pelto	1,5	48	57
<b>Päällystetty avojohto, keskimäärin</b>			
metsä	2,5	103	122
tienvarsi	2	77	91
pelto	2	48	57
<b>Kaapeli, keskimäärin</b>			
taajama	2	10	40
haja-asutusalue	10	10	40

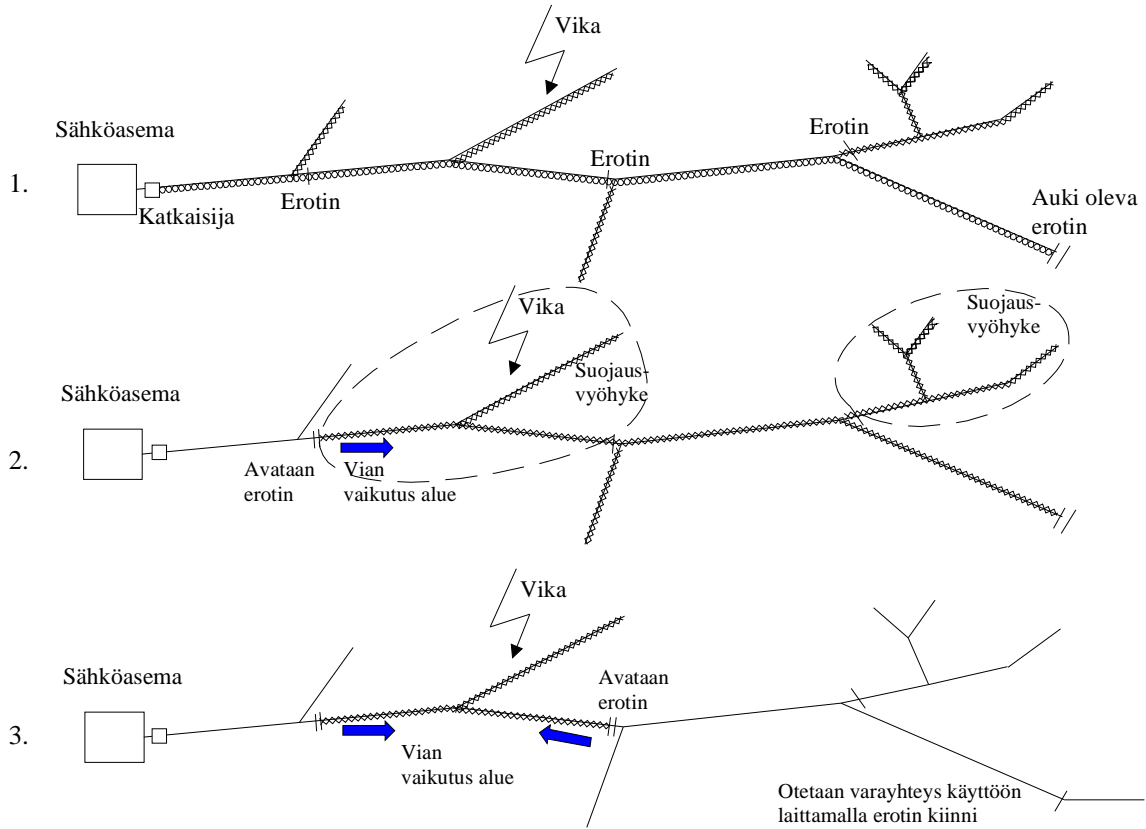
## 4.2 Erottimet ja pylväskatkaisijat

Eroottimet eivät vaikuta asiakkaiden häiriökeskeytysten määrään, sillä niiden hyöty tulee esiin vasta erotettaessa vikaantuneita johdinosuuksia toisistaan. Tällöin sähkönjakeluverkkoa voidaan pilkkoa pienempiin osiin suojausvyöhykkeiden mukaisesti, jolloin parhaimmassa tapauksessa vain vikaantuneen solmuvälin suojausvyöhykkeen asiakkaat jäävät ilman sähkötä vian korjauksen ajaksi. Kuvassa 4.2 on esitetty erottimien käyttöä ja suojausvyöhykkeiden toimintaa, kun keskijännitelähdölle tulee vika.

Käsin ohjattavien ja kauko-ohjattavien erotinten käyttö on samanlaista muilta osin paitsi toiminta-ajaltaan. Käsin ohjattava erotin on käytävä kytkemässä paikanpäällä maastossa, jolloin aikaa ehtii kulua monesti jopa tunnin verran vian ilmaannuttua. Kauko-ohjattavan automaattierottimen käyttö on tältä osin huomattavasti asiakasystävällisempää, koska niiden avulla pystytään rajoittamaan vika-alueita huomattavan paljon käsin ohjattavia erottimia nopeammin kytkentä ajan ollessa noin 10 minuuttia. Erotinten kytkentäajat on esitetty taulukossa 4.3.

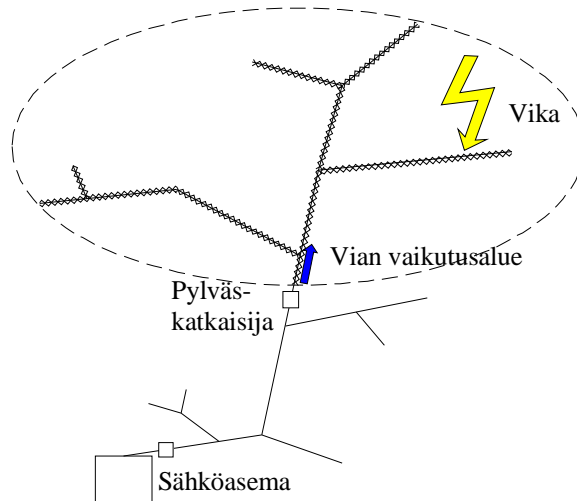
Taulukko 4.3 Erotinten viitteelliset kytkentäajat

Kytkentäaika			
	käsin	60	min
	kauko-ohjaus	10	min



Kuva 4.2 Vian erotus erottimien avulla. Kohdassa 1 tulee vika haarajohdolle. Kohdassa 2 avataan vikaa lähinnä oleva erotin sähköaseman puolelta. Kohdassa 3 avataan erotin vian takana olevalta osalta ja laitetaan erotin kiinni, jos varasyöttöyhteys on mahdollinen.

Pylväskatkaisija vaikuttaa sähköverkon luotettavuuden osalta sekä vikojen määrään että vika-aikaan siten, että sen etupuolelle jäävät asiakkaat eivät koe verkon takaosassa sijaitsevia vikoja. Tällöin pylväskatkaisija suodattaa pois myös jälleenkytkennöistä aiheutuvat keskeytykset, jotka voivat olla hyvinkin kriittisiä esimerkiksi teollisuudelle. Pylväskatkaisijan sijoittaminen sähköverkkoon on optimointitehtävä, jossa pyritään löytämään sijoituspaikka, missä saadut kokonaishyödyt ovat suurimmillaan. Kuvassa 4.3 on havainnollistettu pylväskatkaisijan vaikutusta sähköverkossa.



Kuva 4.3 Esimerkki pylväskatkaisijan vaikutuksesta sähköjakeluverkon toimintaan.

Seuraavassa taulukossa on pyritty tuomaan esiin erilaisten verkstorakenteiden vaikutusta sähköverkon eri tunnuslukuihin.

Taulukko 4.4 Eri verkstorakenteiden vaikutuksia sähkökäyttäjän käyttövarmuuteen.

	Vaikutusaika	Keskeytysmäärä	Keskeytysaika	PJK	AJK	Suurhäiriö
Avojohto -> PAS	viiveellä	+	+	+	+	-
Avojohto -> Kaapeli	viiveellä	+	+	++	++	++
Erotin	heti	-	++	-	-	-
Pylväskatkaisija	heti	++	++	++	++	-

### 4.3 Rakenteiden investointikustannukset

Erilaisten verkstorakenteiden käyttöä pohdittaessa on tarpeen pyrkiä kokonaisuoptimiin ja löytää oikeat verkstorakenteet keskeytyskustannusten ja investointikustannusten minimoimiseksi. Niiden huomioiminen on tärkeää, sillä eri johdinlajeilla on huomattavasti toisistaan eroavat investointikustannukset. Seuraavaan taulukkoon on kerätty viranomaisten esittämiä suositushintoja vastaavan kokoisille johtimille sekä parille muulle verkostokomponentille. Liitteessä III on esitetty kokonaisuudessaan verkostotöiden kustannusluettelo KA 2:06.

Taulukko 4.5 Muutamia eri yksikköhintoja verkostotöiden kustannusluettelosta KA 2:06.  
(Verkostosuositus 06)

<b>20 kV ilmajohdot</b>	<b>40 a</b>
Raven (63)	19 600 [€/km]
PAS 35 – 70	25 780 [€/km]
<b>20 kV maakaapelit (asennus+materiaali)</b>	<b>40 a</b>
enintään 70 maakaapeli	32 230 [€/km]
<b>20 kV erottimet ja maastokatkaisijat</b>	<b>40 a</b>
Kauko-ohjattu erotinas.2 erotinta	16 450 [€/kpl]
Maastokatkaisija (20 kV)	14 000 [€/kpl]

#### 4.4 Verkosto-omaisuuden arvostus

Sähköverkkoon sitoutunutta pääomaa kuvataan nykykäyttöarvolla. Johtuen verkon erilaisista poistoajoista se ei ole sama kuin verkon kirjanpitoarvo. Verkostoinvestointeja tehtäessä on otettava huomioon uusittavan verkon nykykäyttöarvo, koska sillä on vaikutusta suoraan verkkoyhtiön tulokseen. Nykykäyttöarvo lasketaan seuraavan yhtälön mukaisesti

$$NKA = \left(1 - \frac{ikä}{pitoaika}\right) \cdot JHA, \quad (8)$$

missä NKA on nykykäyttöarvo ja JHA on jälleenhankinta-arvo. Tällöin suhteellisen uusilla verkstorakenteilla on vielä reilusti nykykäyttöarvoa. Verkostosaneerauksen näkökulmasta kaikki pitoaikansa ajan sähköverkossa olleet rakenteet ovat samanarvoisia, eli niillä ei ole enää nykykäyttöarvoa. Jos taas verkosta poistetaan saneerauksen yhteydessä rakenteita, joilla on pitoaikaa jäljellä, otetaan niiden jäljellä oleva nykykäyttöarvo kustannuksena mukaan saneerausinvestointiin. (Partanen 07)

## 5. VERKOSTOANALYSOINTIJÄRJESTELMÄ

Verkostoanalysoinnin on hyvä olla jatkuvaa, jotta verkkoyhtiöt pystyvät toteuttamaan erilaisilla säädöksillä ohjattua strategiaa ja saamaan niistä suurimman hyödyn irti. Verkostoanalysointijärjestelmän on tarkoitus helpottaa analysointia sekä luoda tuloksia erilaisten investointiohjelmien vertailemiseksi. Tällöin pyritään mittaamaan verkoston aiheuttamien keskeytyskustannusten vaikutuksia ja vertaamaan keskeytyskustannuksista ja kunnossapidosta saatavia säästöjä investointikustannuksiin.

Tärkeä kannuste verkostoanalysointijärjestelmän kehittämiseksi on luoda menetelmä, jonka avulla saadaan rakennettua kehittämissuunnitelmia erilaisille kaapelointi- ja päällystetyn avojohdon ratkaisuille mahdollisesti hyödyntäen uusia pylväskatkaisijoita tai erottimia.

### 5.1 Ohjelmistoalustan valinta

Verkostoanalysointijärjestelmän toteutuksen vaihtoehtoja pohdittaessa nousi päälimmäiseksi tarpeeksi saada luotua käyttöliittymä, mistä on helppoa valita muutoksen laatu ja kohde verkostosuunnittelua tehtäessä. Alussa laskentanopeus ei ollut merkittävässä roolissa johtuen laskennan yksinkertaisuudesta sekä toimintojen vähäisyydestä. Nämä seikat huomioon ottaen Microsoftin Excel taulukkolaskenta tarjosi hyvän pohjan rakentaa analysointijärjestelmä. Lisäksi se sisälsi hyvän tuen taulukoita varten sekä mahdollisuuden tehdä omia makroja ja funktioita, joilla hoidetaan analysointijärjestelmän käyttöliittymän toimintaa.

Järjestelmän toteuttamiseksi luotiin laskentatyökalu Excel-taulukkoon, johon kerättiin tietoa verkkotietojärjestelmän Access sähköverkkotietokannasta. Excelin ja Accessin ollessa molempien MS Officen sovelluksia, onnistuu tietojen haku Exceliin periaatteessa suoraan koodin välityksellä Access tietokannasta. Käytännössä ensin oli luotava tietokantaan lukuisia kyselyjä ja koottava tietoja niiden välityksellä yhteen. Tämän lisäksi oli luotava ja suunniteltava Exceliin taulukko, joka sisältäisi kaiken tarvittavan tiedon luotettavuuslaskentaa varten. Kuvassa 5.1 on esitettyä osa toteutetun analysointijärjestelmän pääsivusta.



**LÄHTÖTILANNE** Vuosi 1 Lataa tiedot

Solmuvälien väritys  
Suoritetaan runkojen ja  
haarajien määrittämisen

Koska valintalaa-  
tikoista yksikään  
ei ole valittu, ei  
solmuväleihin ole  
tehty muutoksia

				Johtotiedot					Erottimet ja pylväskatkaisimet					P-J-muuntopiirit					
				Avojohto [km]			Päällystetty avojohto [km]		Maa- kaapeli	Jako käyttötarkoituksen perusteella [%]	Kauko- ohjatut erottimet	Manuaali- erottimet	Katkaisi- jat	Pylväs- muunta- mot	Puistoita luunta- mot				
				Yht.	Metsä	Pelto	Tienvar	Yht.	Metsä	Pelto	Tienvar	[km]	Runko	Thaara	Phaara	Määrä [k]	Määrä [kp]	Määrä [kp]	Määrä [kp]
Yksit. Haara Ei mitään																			
VAIHTO																			
PAS, KAAP	solmuväli	Ikä	Pituus	Johdinlaji	691	0	891	0	0										
<input type="checkbox"/>	1181	21,00	691	AF63	691	0	891	0	0										
<input type="checkbox"/>	1395	25,33	284	AF63	284	0	284	0	0										
<input type="checkbox"/>	1402	26,00	115	AF63	115	0	115	0	0										
<input type="checkbox"/>	1406	25,25	369	AF63	369	0	369	0	0										
<input type="checkbox"/>	1448	25,00	477	PAS70	0	0	0	477	40	437	0	1							
<input type="checkbox"/>	2004		36	MAX185	0	0	0	0											
<input type="checkbox"/>	2005	30,89	282	AF99	282	0	282	0											
<input type="checkbox"/>	2010	29,00	1	AF99	1	0	1	0											
<input type="checkbox"/>	2011	27,00	230	AF99	230	0	230	0											
<input type="checkbox"/>	2026	21,57	323	AF63	323	0	323	0											
<input type="checkbox"/>	2027	36,50	110	AF40	110	0	110	0											
<input type="checkbox"/>	2122	30,75	245	AF99	245	0	245	0											
<input type="checkbox"/>	2124	30,00	116	AF99	116	0	116	0											
<input type="checkbox"/>	2125	34,00	858	AF99	858	0	858	0											
<input type="checkbox"/>	2126	26,00	321	AF63	321	0	321	0											
<input type="checkbox"/>	2130	38,00	780	AF40	780	0	580	200											
<input type="checkbox"/>	2131	41,93	627	AF40	627	0	627	0											
<input type="checkbox"/>	2132	46,00	554	AF40	554	0	554	0											
<input type="checkbox"/>	2135	43,00	102	AF40	102	0	102	0											
<input type="checkbox"/>	2251	23,67	162	AF99	162	0	162	0											
<input type="checkbox"/>	2252	32,70	649	AF99	649	0	350	299											
<input type="checkbox"/>	2255	39,42					150	0											
<input type="checkbox"/>	2259	40,13					170	0											
<input type="checkbox"/>	2260	34,28					120	102											
<input type="checkbox"/>	2261	33,00					31	0											
<input type="checkbox"/>	2262	41,50					368	0											
<input type="checkbox"/>	2263	37,00					300	0											
<input type="checkbox"/>	2264	31,67					269	0											

Selitykset eri  
solmuvälien  
värityksille

Harmaa väritys  
kertoo että  
solmuväli on yli  
30 vuotta vanha

Kuva 5.1 Verkostoanalysointijärjestelmän pääsivu. Tiedot on aseteltu solmuväleittäin siten, että järjestyksessä vasemmalta oikealle on kerrottu solmuvälän ikä, kokonaispituus, johdinlaji, avojohdon kokonaispituus, metsäosuus, pelto-osa, tienvarsiosa, PAS-johdon kokonaispituus jne., maakaapelin pituus, jaottelu runko- ja haarajohtoihin, erottimet, katkaisijat ja muuntamot

## 5.2 Taustatiedon keruu laskentaa varten

Verkon luotettavuuslaskentaa varten tarvitaan tarkat tiedot verkon rakenteesta. Tiedot on talletettu sähköverkkotietokantaan solmupisteittäin ja solmuväleittäin, joten on kätevintä hyödyntää laskentatyökalussa valmista tietojen rakennetta. Tällöin on luontevaa tehdä laskentatyökalu solmuvälikohtaiseksi, jolloin saadaan sijoitettua muuntopiirit oikeiden johdinosuuksien taakse ja asetettua erottimet kohdalleen. Solmuväli on alku- ja loppupisteestä koostuva johdinosuus, joka sisältää vain yhden johdinlajin. Solmuvälit ovat sopiva tapa kuvata laaja sähköverkko ja niiden avulla verkkotopologia on helppoa purkaa taulukoihin, kun tiedetään aina alku- ja loppupisteet. Liitteessä IV on esitetty tarkasteltavan johtolähdön havainnollistava verkkokaavio.

Johdinten sijaintitietoa maastossa ei ole tallennettu tietokantaan, jolloin vaihtoehtona on joko keskimääräisten metsäisyysasteiden käyttö tai niiden tarkastaminen kartasta solmuvälikohtaisesti. Tarkka sijaintitieto vaikuttaa lopulta hyvinkin merkittävästi siihen,

mihin kohtaan uudet investoinnit on kannattavinta sijoittaa. Tarvittavia tietoja, joita tarvitaan analysointijärjestelmässä, on kerätty taulukkoon 5.1.

Taulukko 5.1 Tietokannasta tarvittavia tietoja verkostanalysointijärjestelmää varten.

<b>johtimet</b>	johdinlaji	pituus	ikä	
<b>pylväät</b>	ikä	lukumäärä	sijainti	
<b>muuntamot</b>	sijainti	muuntamolaji		
<b>erottimet</b>	lukumäärä	sijainti		
<b>pylväskatkaisijat</b>	lukumäärä	sijainti		
<b>asiakastiedot</b>	lukumäärä	energiatiedot	kulutusryhmä	muuntopiiri

### 5.3 Analysointijärjestelmän rakenne

Verkostanalysointijärjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että johdinvaihdoksia on mahdollisimman helppo toteuttaa ja muuttaa takaisin entisenkaltaisiksi johtimiksi. Tämä on kätevää toteuttaa ns. valintalaatikoilla, jolloin tehdyt muutokset havaitaan niistä suoraan. Tällöin saadaan myös asetettua esto, että samalle solmuvälille ei voida vaihtaa uutta johdinta ennen vanhojen muutosten nollausta kyseisen johtimen kohdalla. Kuvassa 5.2 on esitelty valintalaatikoita.

VAIHTO		solmuvali	ikä	Määritellään tehdäänkö muutokset:		
PAS	KAAP					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1181	21,0		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1395	25,3		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1402	26,00	115 AF63	115
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1406	25,25	369 AF63	369
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1448			0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2004			0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2005			282
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2016			1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2011			230
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2026			323
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2027			110
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2122	30,75	245 AF99	245
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF99	116
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF99	858
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF63	321
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF40	780
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF40	627
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF40	554
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			AF40	102
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			162 AF99	162
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			649 AF99	649
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			597 AF40	597
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			387 AC16	387
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			222 AF63	222
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2261	33,00	31 AF99	31

Yksit.     Haara     Ei mitään

Määritellään tehdäänkö muutokset:  
 • solmuväli kerrallaan  
 • koko haara yhdellä kertaa  
 • ei tehdä muutoksia

**Extra vaihtoehto:**  
 Avojohton  
 muuttaminen  
 esim. 1000V kohteeksi

Avojohton  
 muuttaminen  
 kaapeliksi

Avojohton  
 muuttaminen  
 PAS-johdoksi

Kuva 5.2 Johdinlajien muutokset valintalaatikoilla.

Koska tiedot tallennetaan ja käsitellään analysointijärjestelmässä solmuvälikohtaisesti, tulevat ne käsiteltyä automaattisesti myös muuntopiirikohtaisesti. Nyt luvussa 3.1 esitetyistä keskeytyskustannusten laskentaperiaatteista valitaan muuntopiirikohtainen, vaikka keskeytyskustannukset lasketaankin Suomessa ainakin seuraavat vuodet vuoteen 2011 asti keskimääräisillä asiakasjakauksilla EMV:n valvontajakson 2008 - 2011 mallin mukaisesti (Partanen 07).

Excel taulukkoa käytettäessä on syytä muistaa omia makroja tehtäessä, että niitä käytettäessä tietoja ei saa enää takaisin. Tällöin on tarpeellista varmistaa, että muutoksia tehtäessä ei pääse katoamaan tärkeitä tietoja. Muutettaessa avojohtoa PAS-johdoksi pysyy johtojen sijaintitiedot ylhäällä, koska PAS-johdosta on yhtäläillä kirjattu ylös sijaintitiedot avojohdon tapaan. Kaapeliksi muutettaessa on kuitenkin syytä tallentaa ilmajohdon alkuperäinen sijaintitieto erilliseen tauluun, jolloin tiedot eivät katoa, koska kaapelin pituudelle ei ole asetettu erillistä sijaintivaihtoehtoa.

Järjestelmän on hyvä olla mahdollisimman automaattinen, mutta jättää kuitenkin suunnittelijalle vapaus valita haluamansa muutokset ja asettaa omat kustannus-, keskeytys- tai hintaparametrit. Tällöin esimerkiksi muuntamoiden vaihto pylväsmuuntamoista puistomuuntamoihin voidaan suorittaa, kun saadaan tieto sellaisen solmuvälin muutoksesta kaapeliksi, jonka päässä sijaitsee pylväsmuuntamo. Yhtäläillä automaattisesti on syytä laskea tai ottaa talteen mm. muuttuvat johdinten pituudet, johdinten kustannukset, uusien pylväiden määrä, vaihdettujen pylväiden ikä tai rakennetun kaapelin pituus. Kaapelin pituuden avulla saadaan selvitettyä mm. maasulkuvirran kompensoinnista aiheutuvat kustannukset.

Analysointijärjestelmä sisältää lukuisan määrän Excelin välilehtiä, joita kutsutaan tässä työssä tauluiksi. Järjestelmän toiminta perustuu päätauluun, joka toimii järjestelmän käyttöliittymänä. Toiminnan kannalta väliaikaiset tiedot tallennetaan omaan tauluun, jonne on kirjoitettu myös joitakin tietojärjestelmän ylläpitämiseksi tarvittavia tietoja sekä tarpeellisia kustannuskomponentteja. Näiden lisäksi järjestelmä sisältää pari muuta taulua, joihin on kerätty tietoja suoraan Access-tietokannasta sekä taulun johtolähdön suojausvyöhykkeistä keskeytysaikojen laskemista varten. Kokonaisuudessaan järjestelmä koostuu seuraavista tauluista:

- pääsivu

- taulu väliaikaisille tallennuksille
- suojausvyöhyketaulu
- tulokset taulu
- muut datataulut
- hintataulu
- laskentaparametritaulu

Järjestelmän rakenne ja toiminta on suunniteltu siten, että kaikki perusmuutokset sähköverkkoon pystytään tekemään päätaulusta. Näitä perustoimintoja ovat:

- johtimen vaihto
- pelkkien pylväiden vaihto
- erottimen lisäys
- pylväskatkaisijan lisäys
- tulosten kirjaus.

### 5.3.1 Päätaulu

Pääsivu toimii käyttöliittymänä koko analysointijärjestelmälle. Se sisältää tiedot, joiden pohjalta suunnittelija voi aloittaa suunnitelman luomisen. Muun muassa koko keskeytyskustannusten laskuprosessi käydään tässä osiossa läpi, jolloin saadaan muodostettua lähdon keskeytyskustannukset. Pääsivua on esitelty kuvissa 5.1, 5.2 ja 5.3 sekä liitteen II viimeisessä kuvassa.

### 5.3.2 Taulu väliaikaisille tiedoille

Tämä taulu sisältää pääasiassa tietoja, jotka ovat väliaikaisia ja voidaan poistaa käytön jälkeen. Tällaisia tietoja ovat mm. solmuvälin sijaintitiedot, solmuvälin uusimisvuosi ja tieto siitä onko solmuvälille tehty korjauksia. Näiden tietojen lisäksi tauluun on tallennettu mm. eri taulujen välisiä ristiviittauksia koskevia solutietoja, joilla on tärkeä rooli ajettaessa ohjelman kannalta tärkeitä koodeja. Liitteessä II on esitetty kuva tästä taulusta.

### 5.3.3 Taulu tuloksille

Järjestelmän toiminnan ja analysoinnin kannalta on olennaista kerätä talteen vuosittain tiedot monien tunnuslukujen (esimerkiksi SAIFI ja SAIDI) sekä keskeytyskustannusten ja investointien osalta. Tällöin pystytään seuraamaan eri rakenteiden vaikutuksia

verkoston eri osiin. Kuvassa 5.4 on esitetty otos analysointijärjestelmän keräämistä vuotuisista tiedoista.

#### 5.3.4 Laskentaparametrit

Laskentaparametrit ovat erittäin merkittävä osa analysointijärjestelmän käyttöä. Niiden asetteleminen mahdollisimman todenmukaisiksi on monesti jo hyvin haastava tehtävä. Laskentaparametreille on varattu oma taulu, jonne kirjataan tiedot johdinlajien vikataajuuksista, korjausajoista ja erottimien kytkentäajoista sekä EMV:n määräämät KAH-arvot. Tämän taulun eri osat on esitetty taulukoissa 3.1, 4.1, 4.2 ja 4.3.

#### 5.3.5 Muut taulut

Muita analysointijärjestelmän käyttämiä tauluja ovat hintataulu, pylvästietotaulu, sähkötekniisten tietojen taulu sekä suojausvyöhyketaulu. Hintatauluun on lueteltu Sähköenergialiitto Senerin suositusten mukaiset suositushinnat eri komponenteille. Pylvästietotauluun on kerätty tiedot solmuvälien pylväiden tilasta ja iästä. Sähkötekniiset tiedot on tallennettu mukaan mahdollisten häviökustannuslaskelmien vuoksi, mutta verrattaessa tehohäviöistä ja keskeytyskustannuksista syntyviä häviöitä keskenään huomataan, että tehohäviöistä saatavat säästöt ovat hyvin pieniä keskeytysäästöihin verrattuna.

Suojausvyöhykkeitä varten on varattu oma taulu, koska niiden sisältö muuttuu aina, kun muokataan solmuvälejä, lisätään erottimia tai pylväskatkaisijoita. Suojausvyöhyketauluun on kirjattu ylös sekä kauko-ohjattavien erottimien erottamat suojausvyöhykkeet että kaikkien erottimien erottamat vyöhykkeet. Suojausvyöhykkeet vaikuttavat keskeytyskustannuksiin vikojen keskeytysaikojen kautta. Liitteessä II on esitetty kuva suojausvyöhyketaulusta.

Mahdollista tienvarteen siirtoa tai 1000V muutoksia varten on vielä lisättävä taulu, jonne määritellään uudet johdinlinjaukset sekä tarve mahdolliseen 3-käämimuuntajaan tai 1000V muuntajaan. Näiden ominaisuuksien käyttö tapahtuu muiden verkoston rakennemuutosten tapaan pääsivulta käsin.

## 5.4 Järjestelmän tarjoamat tulokset

Analysointijärjestelmän tarkoitus on tarjota työkalu verkostanalysoinnin tekemiseen pitkällä tähtäimellä. Se sisältää tarvittavat tiedot erilaisten investointien ja niiden tuomien säästöjen välisten kustannusten vertailemiseksi. Tällöin tarvitaan hintatiedot kaikista sähköverkkoon sijoittuvista komponenteista sekä tiedot näiden komponenttien vikaantumisherkkyksistä ja muista vaikuttavista tekijöistä. Eri komponenttien vaikutuksia käsiteltiin luvussa 4.

Kehitettävässä järjestelmässä lasketaan jokaiselle solmuvälille erikseen sen aiheuttamat pysyvät viat, pikajälleenkytkennät ja aikajälleenkytkennät. Lisäksi jokaiselle muuntopiirin omaavalle solmuvälille lasketaan keskeytysaika, jonka mukaan saadaan arvio keskeytysajasta aiheutuvasta keskeytyskustannuksesta. Keskeytysaikaa laskettaessa täytyy ottaa huomioon erottimien vaikutus keskeytysaikaan, jolloin täytyy olla selvillä verkon sisältämistä suojausvyöhykkeistä.

### 5.4.1 Verkostoinvestoinneista aiheutuvat kustannukset

Verkkoa kehitettäessä syntyy aina kustannuksia. Näitä aiheutuu mm. uusien linjojen rakentamisesta, verkon korvausinvestoinneista ja automaation lisäämisestä. Kehitettyyn työkaluun on rakennettu sisään malli, jossa se huomioi maakaapeli-investointien tapauksessa samalla tarpeen verkon sammutukseen ja puistomuuntamoihin. Tässä tapauksessa jo pelkistä johdinvaihdoksista voi kertyä informaatiota monesta eri lähteestä. Tällöin täytyy ottaa huomioon useita eri kustannuskomponentteja sekä ottaa huomioon myös verkosta poistettavien rakenteiden ikä ja mahdollinen vaikutus poistojen muodossa yhtiön taseeseen. Kuvassa 5.3 on esitetty malli, mitä kaikkea informaatiota kertyy johdinmuutoksia tehtäessä ja kuinka paljon asioita täytyy ottaa huomioon.

Kustannukset		0 €		0 €		Avojohto [km]				Päällystetty avojohto [km]				kaapeli
SAASTOT		0 €		0		0				0				
Asema	Johtolähtö	[km]		Yht.	Metsä	Pelto	Tienvar	Yht.	Metsä	Pelto	Tienvar	[km]		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3061	41,56	722	AF40	722	0	722	0	0	0			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3064	35,00	272	AF40	272	102	170	0	0	0			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3065	36,33	778	AF40	778	98	680	0	0	0			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3694		24	AF40	24	0	24	0	0	0			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3695	5,73	945	PAS70	0	0	0	0	945	0	945	0	
		51,621												
SUMMAT		51,62		49,453		4,229	41,92	3,304	2,131	0,04	1,392	0,699	0,036	
LASKURI		51,62		49,453		4,229	41,920	3,304	2,131	0,04	1,392	0,699	0,036	
Vähennys														
Johdinvaihdon kustannukset			0 €		0 m		0		0		0			
SAASTOT			0 €		Häviösääs		0		0		0			
PYLVASTYYS			530 € kpl		Vaihd. Pylv.		0 €		0		0			
vaihdetut pylvaat			0 kpl		NKA		0 €		0		0			
Vaihdettujen keski-ikä			0,00 vuotta											
1000V vaihto			0 €		0 m		0		0		0			
Muuntajien vaihto			0 €		0 kpl		0		0		0			
Kaapelointi			0 €		0 km		0		0		0			
Sammutuskustannukset			0 €											
Kolmikääminuuntaja			0 €											
Kaapelin pituus alussa					0,036 km									
Pylvaskatkaisijat			0 €		erotin		0 €							

Summat eri komponenteista

Verkon muokkauksesta aiheutuvat muutokset ja kustannukset on myös listattu ylös

Kuva 5.3 Kuvassa esitetyssä laatikossa kerrotaan tehdyistä muutoksista aiheutuvat kustannukset. Kuvan alareunassa olevat harmaat toimintopainikkeet toteuttavat erilaisia tulosten listauksia mm. kustannusvertailua ja luotettavuuden kehittymisen seuraamista varten.

#### 5.4.2 Keskeytyskustannuksista saatava säästö

Kuvassa 5.3 esitettyjen kustannusten lisäksi sähköverkosta aiheutuu monia muita kustannuksia, jotka yleensä riippuvat muun verkon rakenteesta ja tilasta. Näitä kustannuksia ovat mm. keskeytyskustannukset, käyttö- ja kunnossapitokustannukset sekä häviöistä aiheutuvat kustannukset. Tekemällä oikean laatuista investointeja on mahdollista saada pienennettyä mm. keskeytyskustannuksia ja saada jopa syntymään säästöjä yhtälön (1) mukaisesti.

Tietokannasta saatujen tietojen, muiden laskentaparametrien ja mm. yhtälöiden (2) - (6) avulla voidaan laskea seuraavat tiedot:

- Keskeytysmäärät
- SAIFI
- SAIDI
- KAH-arvot
  - muuntopiirikohtaisesti
  - suojausvyöhykekohtaisesti
- Keskeytyskustannukset
  - vikakeskeytyks [€kW]
  - vikakeskeytyks [€kWh]
  - työkeskeytyks [€kW]
  - työkeskeytyks [€kWh]

- PJK [€/kW]
- AJK [€/kW]
- Käyttö- sekä kunnossapitokustannukset
- Vertailuluvut nollavuoden tilanteeseen nähden
- Kustannukset pitoajalle (40 a)

Liitteen II viimeisessä kuvassa on esitetty, kuinka edellä mainitut tunnusluvut ja muut komponentit näkyvät analysointijärjestelmässä lukuun ottamatta pitoajan kustannuksia, jotka tallennetaan erilliseen tulostauluun. Siihen on kerätty yhteen keskeytystunnusluvut ja kustannukset, jotka vaikuttavat koko 40 vuoden pitoajalla. Tulostaulu on esitetty kuvassa 5.4.

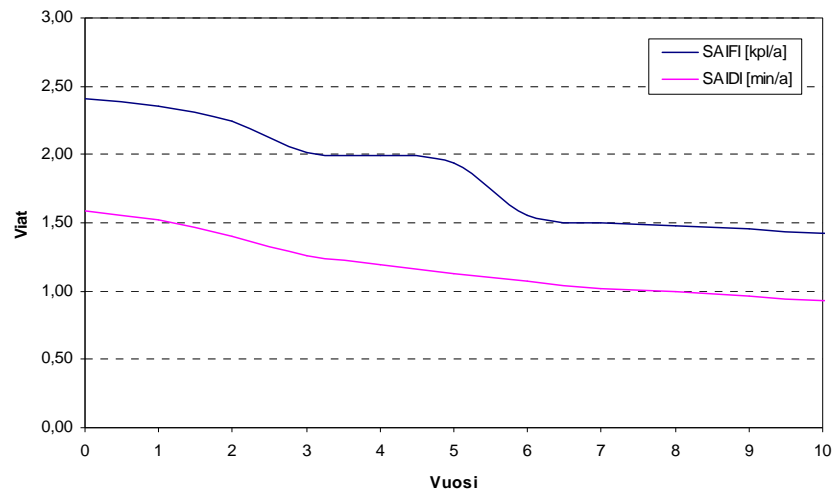
Investointi	Kum. Investoi	Investointi	KAH	K&K	Viankorjau	SAIFI	Suun.K PJK	AJK	SAIDI	KeskeytysK	KAH Saasto	disk	KAH
0	0 €	0 €	36 214 €	2 827 €	3 355 €	2,41	5,05	20,02	5,24	1,59	42 397 €	0 €	0 €
1	120 319 €	120 319 €	35 059 €	2 759 €	3 325 €	2,36	4,89	19,53	5,09	1,53	41 142 €	1 254 €	1 206 €
2	210 033 €	89 714 €	33 370 €	2 672 €	3 269 €	2,25	4,74	18,66	4,88	1,41	39 310 €	2 844 €	2 631 €
3	296 380 €	86 346 €	30 420 €	2 572 €	3 199 €	2,02	4,59	16,75	4,42	1,26	36 191 €	5 794 €	5 157 €
4	417 500 €	121 120 €	29 667 €	2 460 €	3 134 €	1,99	4,37	16,43	4,33	1,20	35 261 €	6 547 €	5 605 €
5	479 631 €	62 131 €	28 716 €	2 408 €	3 107 €	1,94	4,26	16,02	4,22	1,13	34 231 €	7 498 €	6 175 €
6	615 297 €	135 667 €	24 276 €	2 292 €	3 049 €	1,55	4,00	12,30	3,22	1,07	29 617 €	11 938 €	9 457 €
7	708 906 €	93 609 €	23 414 €	2 199 €	2 997 €	1,50	3,82	11,81	3,09	1,02	28 611 €	12 800 €	9 753 €
8	797 307 €	88 400 €	22 919 €	2 125 €	2 964 €	1,48	3,64	11,50	3,00	1,00	28 008 €	13 295 €	9 745 €
9	885 801 €	88 494 €	22 344 €	2 049 €	2 926 €	1,45	3,48	11,17	2,91	0,97	27 320 €	13 870 €	9 778 €
10	994 380 €	108 578 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	9 828 €
11	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	9 453 €
12	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	9 093 €
13	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	8 747 €
14	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	8 414 €
15	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	8 093 €
16	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	7 785 €
17	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	7 488 €
18	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	7 203 €
19	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	6 929 €
20	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	6 665 €
21	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	6 411 €
22	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	6 167 €
23	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	5 932 €
24	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	5 706 €
25	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	5 488 €
26	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	5 279 €
27	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	5 078 €
28	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	4 885 €
29	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	4 699 €
30	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	4 520 €
31	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	4 347 €
32	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	4 182 €
33	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	4 023 €
34	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 869 €
35	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 722 €
36	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 580 €
37	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 444 €
38	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 313 €
39	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 186 €
40	994 380 €	0 €	21 722 €	1 957 €	2 885 €	1,42	3,26	10,79	2,80	0,94	26 563 €	14 492 €	3 065 €
	994 380 €		959 771 €	85 036 €	120 746 €						525 102 €	240 097 €	

Kuva 5.4 Eräs investointisuunnitelma luo tämän kaltaisen listauksen vuosittaisella tasolla. Listauksen sarakkeet vasemmalta oikealle ovat investointi ajankohta, kumulatiivinen investointi, vuotuinen investointi, keskeytyksestä aiheutuneet haitat, käyttö ja kunnossapitokustannukset, viankorjauskustannukset, SAIFI [kpl/a], suunnitellut keskeytykset [kpl/a], PJK [kpl/a], AJK [kpl/a], SAIDI [h/a], kokonaiskustannukset, KAH-säästöt, diskontatut KAH-säästöt.

Kerättyjen tulosten perusteella voidaan muodostaa monia erilaisia tunnuslukuja ja kuvaajia, joista voidaan analysoida tehtävien toimien kannattavuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi kuvaajat SAIFIN ja SAIDIN kehityksestä investointijakson edetessä tai

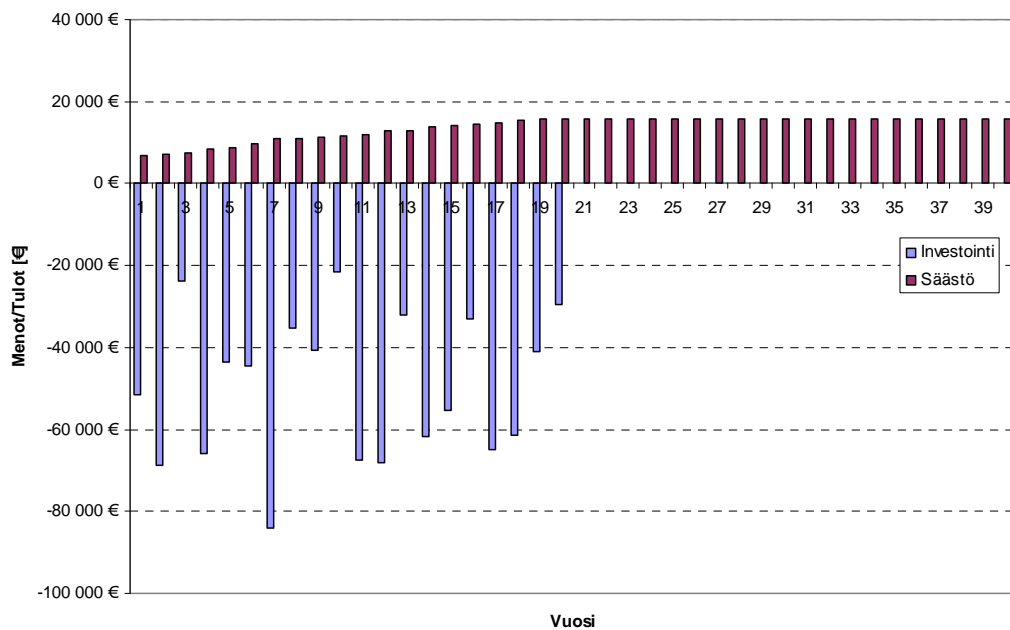


investointien kokonaissumman suhtautuminen pitoajalta saatuihin säästöihin. Seuraavassa kuvassa on esitetty esimerkki keskeisten tunnuslukujen kehityksestä.



Kuva 5.5 Esimerkki SAIFIN ja SAIDIN kehittymisestä kymmenen investointivuoden ajanjaksolla.

Kuvan 5.4 tietojen perusteella saadaan myös piirrettyä uusintainvestointien tuomista säästöistä ja kustannuksista kassavirtakaavio. Siitä voidaan saada jonkinlainen käsitys investoinnin kannattavuudesta. Jos säästöt ovat suuremmat kuin kustannukset, näyttää investointi kannattavalta. Kuvassa 5.6 on esitetty kassavirtakaavio vuotuisista kustannuksista, joista saadaan laskettua kokonaiskustannukset diskonttaamalla vuotuiset arvot.



Kuva 5.6 Yhden johtolähdön kassavirtakaavio 40 vuoden ajalta. Investoinnit on merkitty negatiivisiksi pylväiksi ja niiden tuomat säästöt on merkitty positiivisiksi pylväiksi.

## 5.5 Verkostoanalysointijärjestelmän käyttö

Järjestelmä on luotu siten, että muutosten tekeminen ja kohdentaminen on täysin käyttäjän päätettävissä. Jos johtolähtö on jaoteltu pienempiin osiin esimerkiksi haarojen mukaan, voidaan ottaa käyttöön ominaisuus, joka ohjaa johdinmuutokset aina tietyn haaraosuuden kaikille solmuväleille samalla kertaa. Tällöin huomioidaan, ettei sähköverkkoon synny vuorotellen ilmajohto- ja kaapelirakenteita.

Luotaessa suunnitelmaa verkon uusimiseksi voidaan järjestelmän avulla vertailla erilaisia vaihtoehtoja. Suunnitelma luodaan vuosivuodelta, jolloin järjestelmä saa tiedon kunakin vuonna tehdyistä muutoksista ja tallentaa muutokset oikeille vuosille.

Mahdollisia sähköverkon kehittämisvaihtoehtoja voivat olla mm. vyörytys sähköasemalta lähdön loppua kohden, verkon saneeraus vanhimmasta alkaen tai verkon uusiminen vikaherkimmistä kohdista alkaen. Vertailupohjan saamiseksi eri vaihtoehtojen välille on myös usein syytä tarkastella lopputulosta investointitahtia muuttamalla.

Verkostoanalysointijärjestelmän käyttökaavio on seuraavanlainen:

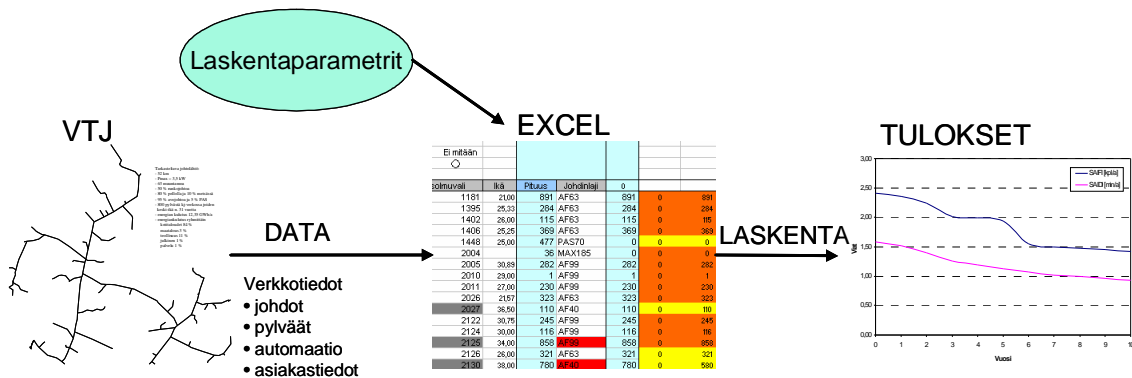
1. Valitaan verkon kehittämismenetelmä.
2. Tallennetaan aloitusvuoden tunnusluvut sekä keskeytyskustannukset vertailutason määrittämiseksi ja siirrytään seuraavaan vuoteen.
3. Aloitetaan verkoston kehittäminen joko vaihtamalla johdinlajeja tai lisäämällä erotin tai pylväskatkaisija.
4. Kun on saatu suoritettua haluttu määrä investointeja, suoritetaan suojausvyöhykkeiden päivitys ja tallennetaan kyseisen vuoden tunnusluvut sekä keskeytyskustannukset ja siirrytään seuraavaan vuoteen.
5. Siirrytään kohtaan 3 ja suoritetaan sekvenssi niin monesti kuin on tarpeen.
6. Tulosten tarkastelu.

Tässä vaiheessa suunnittelijan vastuulle jää vertailtavien kehittämissuunnitelmien valmistelu ja tulosten huolellinen analysoiminen.

## 6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli saada luotua luotettavuuspohjaiseen verkostanalysointiin soveltuva laskentaohjelma, jonka avulla voitaisiin vertailla erilaisia verkoston kehittämismahdollisuuksia. Tarve tämän tyyppiseen tarkasteluun tulee sähköverkon ikääntymisestä sekä regulaation ohjausvaikutuksesta, sillä nykyisessä sähköverkkoliiketoiminnan valvontamallissa on sähköjakelun keskeytyksille asetettu huomattava painoarvo.

Järjestelmän toteutuksessa päätettiin käyttää Microsoftin Excel taulukkolaskentaa, jolloin voitiin helposti hyödyntää Accessin sähköverkkotietokannassa olevaa tietoa. Lopputuloksena saatiin luotua eräänlainen verkostanalysointiin soveltuva työkalu, joka hyödyntää laajasti sähköverkoista olevia tietoja, ja jonka avulla voidaan luoda johtolähdölle kehittämissuunnitelma tai useita kehittämismahdollisuuksia ottaen huomioon luotettavuusnäkökohdan sähköverkon kehittämisessä. Seuraavassa on vielä esitetty perusteellinen kaavio tietojen kulusta ensin verkkotietokannasta verkostanalysointijärjestelmään ja vielä tietojen jalostuminen laskentatuloksiksi.



Kuva 6.1 Kaavio verkostanalysoinnin etenemisestä.

Työssä oli haasteena saada luotua Visual Basic ohjelmointikielellä tarvittava määrä funktioita, jotta analysointijärjestelmä saatiin toimimaan halutulla tavalla ja melko automaattisesti. Automaatiikan ansiosta käyttäjä voi keskittyä muutostöiden vaikutusten analysointiin. Järjestelmää voidaan lisäksi kehittää edelleen haluttuihin suuntiin, jolloin sen käytön mahdollisuudet laajenevat.

**LÄHDELUETTELO**

- (Honkapuro 06) Honkapuro, S., Tahvanainen, K., Viljainen, S., Lassila, J., Partanen, J., Kivikko, K., Mäkinen, A., Järventausta, P. DEA-mallilla suoritettavan tehokkuusmittauksen kehittäminen. [http://www.emvi.fi/files/DEA-jatkokehitys\\_LUT\\_20061208.pdf](http://www.emvi.fi/files/DEA-jatkokehitys_LUT_20061208.pdf) Viitattu 29.11.2007
- (Järventausta 03) Järventausta, P., Mäkinen, A., Nikander, A., Kivikko, K., Partanen, J., Lassila, J., Viljainen, S., Honkapuro, S. Sähkön laatu jakeluverkkotoiminnan arvioinnissa. Energiamarkkinaviraston julkaisuja 1/2003. 171 s.
- (Partanen 06a) Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Matikainen, M., Järventausta, P., Verho, P., Mäkinen, A., Kivikko, K., Pylvänäinen, J., Nurmi, V. Sähkönjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja-arvot sekä sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettavien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. Tilaustutkimusraportti. 31.10.2006. 144 s.
- (Partanen 06b) Partanen, J., Lakervi, E. Sähkönjakelutekniikka 2006
- (Partanen 07) Partanen, J., Viljainen, S., Lassila, J., Honkapuro, S., Tahvanainen, K., Karjalainen, R. Sähkömarkkinat. Opetusmoniste 2007. 83 s.
- (Verkostosuositus 06) Verkostosuositus KA 2:2006. Verkostotöiden kustannusluettelo. Sähköenergialiitto Sener r.y. 2006. 21 s.

## Keskeytysmäärien laskenta

Avojohto, keskimäärin [kpl/a, 100 km]					Päällystetty avojohto				
	Viat	Työ- keskeytykset	PJK	AJK		Viat	Työ- keskeytykset	PJK	AJK
metsä	18	10	140	30	metsä	9	5,1	70	15
tienvarsi	10	10	70	15	tienvarsi	5	5,1	35	8
pelto	3	10	27	8	pelto	1,5	5,1	14	4
<b>KJ-kaapeli</b>	1	1	-	-					

Avojohto	Metsä	Pelto	Tie	PAS	Metsä	Pelto	Tie	Kaapeli	
7500 m	1000 m	5000 m	1500 m	5000 m	1000 m	1000 m	3000 m	1000 m	määrät
Pysyvät viat	0,18	0,15	0,15		0,09	0,02	0,15	0,01	0,75 kpl
PJK:t	1,40	1,35	1,05		0,70	0,14	1,05	-	5,69 kpl
AJK:t	0,30	0,40	0,23		0,15	0,04	0,24	-	1,36 kpl

## Keskeytyskustannusten laskenta

Kuluttajaryhmä	Vikakeskeytykset		Suunniteltu keskeytykset		PJK	AJK	
	€/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	
Palvelu	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44	

KESKEYTYSKUSTANNUKSET						
	kotitalous	maatalous	teollisuus	julkinen	palvelu	
Vikakeskeytykset	54 €	17 €	787 €	141 €	99 €	1 097 €
PJK:t	125 €	57 €	3 738 €	848 €	373 €	5 141 €
AJK:t	130 €	42 €	1 167 €	317 €	165 €	1 821 €
Vika-aika 2h	1 278 €	699 €	10 929 €	2 247 €	2 227 €	17 380 €

	kotitalous	maatalous	teollisuus	julkinen	palvelu	Summat	
Energia	1752000	438000	2628000	876000	438000	6132000	kWh
Keskiteho	200	50	300	100	50	700	kW

Viat	0,75 kpl					
PJK:t	5,69 kpl					
AJK:t	1,36 kpl					
Viat	2 h					

Kustannus = keskiteho x keskeytysmäärä x KAH

APUMATRIISI MAAKAPELI-INVESTOINNEILLI TOIMII MYÖS TEMPPITÄULUNA				
Aloitusrivi	22 EI SAA MUUTTA TAI POISTAA	20kV johdon purku	3 800 € Puistomuuntamo	5 000 €
Lopetusrivi	149 Keltaisella	pylväiden hävitys	60 € 1000/400V muuntamo	1 500 €
SOLMUVALEJA	127 MAALATTUJA	pylvään vaihto	530 € Sammutuskustannus [€/km]	1 500 €
Maakaapelin aloitusrivi	19 RIVEJA/SARAKKEITA	Kaapeli kojeistopääte	1 110 €	
Viim. Rivi tuloksia taulussa	442	Kaapeli pylväspääte	2 320 €	
Eka rivi Uudet solmuvalit	2	Kaapeli jatko	2 180 €	
PAS,Kaap sarake	1	Pylvaskatkaisija	28 000 €	
Aloitussolu	\$A\$22	Pylväiden pitoaika	40	
Tuloksia, alunloppu	28			
Tuloksia, lopunalku	39			
Solmuvalit_asiakkaat L	63			
Maakaapelin lopetusriv	146			
EPÄTOSI	EPÄTOSI	1181	11	
EPÄTOSI	EPÄTOSI	1395	1	
EPÄTOSI	EPÄTOSI	1402	41	
EPÄTOSI	EPÄTOSI	1406		
EPÄTOSI	EPÄTOSI	1448		
EPÄTOSI	EPÄTOSI	2004	0	
EPÄTOSI	EPÄTOSI	2005	11	

Otos apuna käytettävästä taulusta, joka sisältää mm. väliaikaisia tietoja esimerkiksi maakaapelin asennusta varten sekä tietoja ristiin viittauksista järjestelmän sisällä ja joitakin hintakomponentteja.

Suojausvyöhykkeet																
	Avojohto			PAS			Kaapeli		Yhteensä	vikataajuus kpl/100km	Asiakasenergiat					Yhteensä
	metsä	pelto	tienv.	metsä	pelto	tienv.					Kotitalous	Maatalous	Teollisuus	Julkinen	Palvelu	
1	0	513	0	0	0	0	36	549	2,87	0	0	0	0	0	0	0
2	217	2373	401	0	0	0	0	2991	5,03	942384	0	0	0	55600	0	997984
3	772	5614	186	0	0	0	0	6572	4,96	1180021	125810	0	0	0	0	1305831
4	364	1258	0	0	0	0	0	1622	6,37	557211	52040	0	0	0	0	609251
5	255	6680	0	0	10	0	0	6945	3,55	1184944	49910	80150	35340	0	0	1350344
6	0	3187	200	0	0	0	0	3387	3,41	358156	0	0	0	0	0	358156
7	0	71	0	0	0	0	0	71	3,00	0	0	0	0	0	0	0
8	1056	5578	632	0	945	0	0	8211	5,30	1156816	82240	1218931	0	0	0	2457987
9	0	5101	95	0	0	0	0	5196	3,13	1265803	0	0	0	36430	0	1302233
10	0	167	0	0	0	0	0	167	3,00	0	0	0	0	0	0	0
11	908	3988	0	0	0	0	0	4896	5,78	1210826	75930	0	44870	32900	0	1364526
12	0	2292	0	0	0	699	0	2991	3,47	867404	0	0	0	0	0	867404
13	260	1385	0	0	0	0	0	1645	5,37	259640	0	0	0	0	0	259640
14	0	217	0	0	0	0	0	217	3,00	0	0	0	0	0	0	0
15	0	722	0	0	0	0	0	722	3,00	35151	0	0	0	0	0	35151
16	397	2774	1790	40	437	0	0	5438	6,32	1373028	0	68570	0	0	0	1441598

Suojausvyöhyke taulu sisältää tiedot tarkasteltavan johtolähdön eri johdinlajien jakaantumisesta eri suojausvyöhykkeille, sekä vikataajuuden ja asiakas energiat kyseisellä vyöhykkeellä.

		Keskeytystukumäärä				Keskeytykset, keskimääräisillä parametreilla laskettuna				Keskeytyskustannukset, [€/a]												
0 €	0 €	Viat	Suunn.	PJK	AJK	Viat	Suunn.	PJK	AJK	SAIFI	"SAIDI"	Energiapainotetut parametrit				KESKIMÄÄRÄIHN TILASTO						
		[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/a]	[kpl/100]	[kpl/100]	[kpl/100]	[kpl/100]	[kpl/as,a]	[h/as,a]	Vikakeskyts	Suunn.keske	PJK	AJK	Vikakeskyts	Suunn.keskyts	PJK	AJK			
2865	44,33	0,00	0,01	0,02	0,00	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2867	45,00	0,00	0,01	0,02	0,01	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00	1,36	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	39	261	823	111	143	
2868	26,50	0,00	0,01	0,01	0,00	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2869	25,00	0,00	0,01	0,01	0,00	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2870	27,80	0,01	0,03	0,07	0,02	3,00	10,00	27,00	8,00	0,01	1,29	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	33	210	2173	292	378	
2965	17,09	0,01	0,05	0,13	0,04	3,00	10,00	27,00	8,00	0,01	1,07	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	11	60	1428	192	248	
2968	13,00	0,03	0,04	0,24	0,06	5,00	5,10	35,00	8,00	0,03	1,07	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	14	74	1269	433	432	
2971	33,00	0,03	0,02	0,27	0,06	18,00	10,00	140,00	30,00	0,03	1,36	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	33	219	1600	1115	1042	
2972	19,00	0,01	0,02	0,09	0,02	5,17	10,00	43,38	11,9	0,01		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2974	19,33	0,07	0,09	0,53	0,13	7,40	10,00	60,12	14,45	0,07		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2975	32,00	0,01	0,02	0,05	0,01	3,00	10,00	27,00	8,00	0,01	1,29	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	6	37	261	35	45	
2978	35,17	0,03	0,03	0,24	0,05	10,00	10,00	70,00	15,00	0,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2979	40,67	0,02	0,05	0,15	0,04	3,66	10,00	31,07	8,66	0,02		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
2982	16,00	0,00	0,00	0,03	0,01	10,00	10,00	70,00	15,00	0,00	1,29	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	57	366	702	245	229	
2983	40,14	0,14	0,14	0,95	0,20	10,00	10,00	70,00	15,00	0,14	1,29	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	11	72	3906	1361	1273	
2984	46,80	0,01	0,03	0,08	0,02	3,00	10,00	27,00	8,00	0,01	1,29	1,53	11,74	0,63	5,63	0,88	78	321	3328	1402	644	
2985	40,33	0,04	0,02	0,28	0,06	18,00	10,00	140,00	30,00	0,04		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
3054	19,50	0,00	0,01	0,04	0,01	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
3056	39,40	0,01	0,04	0,11	0,03	3,00	10,00	27,00	8,00	0,01	1,04	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	18	95	1972	265	343	
3057	18,50	0,01	0,02	0,05	0,02	3,00	10,00	27,00	8,00	0,01	1,04	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	7	38	368	49	64	
3058	19,00	0,00	0,01	0,02	0,01	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
3059	21,00	0,00	0,01	0,02	0,01	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
3060	19,00	0,00	0,01	0,02	0,01	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0		
3061	41,56	0,02	0,07	0,19	0,06	3,00	10,00	27,00	8,00	0,02	0,94	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	3	16	640	86	111	
3064	35,00	0,02	0,03	0,19	0,04	8,63	10,00	69,38	16,25	0,02	1,29	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	9	58	632	218	223	
3065	36,33	0,04	0,08	0,32	0,08	4,89	10,00	41,23	10,77	0,04	1,29	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	8	50	1546	317	362	
3694		0,00	0,00	0,01	0,00	3,00	10,00	27,00	8,00	0,00	1,54	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	10	79	64	9	11	
3695	5,73	0,01	0,05	0,13	0,04	1,50	5,10	14,00	4,00	0,01	1,54	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	2	14	221	30	38	
		2,41	5,05	20,02	5,24	4,67	9,79	38,78	10,14	2,41	1,59	0,75	7,01	0,33	3,56	0,36	2,533	15,637	112	25,355	10,281	5,764
		2,41	5,05	20,02	5,24	4,67	9,79	38,78	10,14	2,41	1,59	0,75	7,01	0,33	3,56	0,36	2,533	15,637	112	25,355	10,281	5,764
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Esimerkki tulostus analysointijärjestelmän tarjoamista keskeytystunnusluvuista sekä keskeytyskustannuksista, jotka sijaitsevat kuvan oikeassa reunassa.

<b>20 kV ilmajohtot</b>	<b>40</b>	<b>a</b>
Sparrow tai pienempi	18 020	[€/km]
Raven	19 600	[€/km]
Pigeon	21 750	[€/km]
AI 132 tai suurempi	24 080	[€/km]
SAXKA 70	32 560	[€/km]
SAXKA 120 tai suurempi	34 000	[€/km]
PAS 35 – 70	25 780	[€/km]
PAS 95 tai suurempi	30 880	[€/km]
Muut	18 020	[€/km]
<b>20 kV erottimet ja maastokatkaisijat</b>	<b>40</b>	<b>a</b>
Johtoerotin, kevyt	2 920	[€/kpl]
Johtoerotin, kaasukammioin	6 100	[€/kpl]
Kauko-ohjattu erotinas.1 erotin	12 440	[€/kpl]
Kauko-ohjattu erotinas.2 erotinta	16 450	[€/kpl]
Kauko-ohjattu erotinas.3-4 erotinta	40 390	[€/kpl]
Maastokatkaisija (20 kV)	14 000	[€/kpl]
<b>20 kV maakaapelit (asennus+materiaali)</b>	<b>40</b>	<b>a</b>
enintään 70 maakaapeli	32 230	[€/km]
95 – 120 maakaapeli	35 720	[€/km]
150 – 185 maakaapeli	42 640	[€/km]
240 – 300 maakaapeli	45 010	[€/km]
muut	40 000	[€/km]
enintään 70 vesistökaapeli	47 010	[€/km]
Kojeistopääte	1 100	[€/kpl]
Pylväspääte	2 450	[€/kpl]
Jatko	1 850	[€/kpl]
<b>PJ ja KJ maakaapelit (kaivu/auraus)</b>	<b>40</b>	<b>a</b>
Haja-asutusalue, helpot olosuhteet	8 930	[€/km]
Haja-asutusalue, normaali olosuhteet	15 000	[€/km]
Haja-asutusalue, vaikeat olosuhteet	20 000	[€/km]
Taajama-alue	32 420	[€/km]
Kaupunkialue	60 690	[€/km]



Etelä-Suomen energia  
Paippisen johtolähtö



- Tarkasteltava johtolähtö:
- 52 km
  - Pmax = 3,5 kW
  - 63 muuntamoaa
  - 50 % runkojohtoa
  - 80 % pellolla ja 10 % metsässä
  - 95 % avojohtoa ja 5 % PAS
  - 800 pylvästä kj-verkossa joiden keski-ikä n. 31 vuotta
  - energian kulutus 12,35 GWh/a
  - energiankulutus ryhmittäin
    - kotitaloudet 84 %
    - maatalous 3 %
    - teollisuus 11 %
    - julkinen 1 %
    - palvelu 1 %