



Timo Antero Erkkilä

KAUKO-OHJATTAVIEN EROTTIMIEN
JA VERKKOKATKAISIJOIDEN HYÖ-
DYNTÄMINEN HIIRIKOSKEN ENER-
GIA OY:N VERKOSSA

Tekniikka ja liikenne

2011

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Hiirikosken Energia Oy:lle osana Vaasan Ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksikön sähkötekniikan koulutusohjelmaa.

Haluan kiittää Hiirikosken Energia Oy:n toimitusjohtaja Ahti Kalliä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö ja ohjaajaani Martti Jussilaa Hiirikosken Energia Oy:n puolelta. Haluan osoittaa kiitokset myös Vaasan ammattikorkeakoulun yliopettaja Olavi Mäkiselle ohjauksesta ja neuvoista. Kiitän myös kaikkia muita, jotka ovat olleet osana tätä projektia.

Vähäkyrö 24.11.2011

Timo Erkkilä

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Timo Erkkilä
Opinnäytetyön nimi	Kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden hyödyntäminen Hiirikosken Energia Oy:n verkossa
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	40
Ohjaaja	Olavi Mäkinen

Opinnäytetyö on tehty Hiirikosken Energia Oy:lle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden investoimisen kannattavuutta Hiirikosken Energia Oy:n sähköjakeluverkkoon.

Tutkiminen suoritettiin investointivaihtoehtojen hyötyjä tutkimalla ja luotettavuuslaskennan avulla, jolla saatiin johtolähdöille vuotuinen keskeytyskustannus.

Lähdemateriaalina opinnäytetyössä käytettiin muita opinnäytetöitä ja sähkötekniikkaan liittyvää kirjallisuutta.

Luotettavuuslaskentaan tarvittavat sähköverkon lähtötiedot saatiin Hiirikosken Energia Oy:n keskeytystilastoista ja muuntajaluettelosta.

Työn lopputuloksena saatiin suuntaa antavia laskentatuloksia kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden vaikutuksesta keskeytyskustannuksiin.

Asiasanat	kauko-ohjattava erotin, verkkokatkaisija, luotettavuuslaskenta
-----------	--

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Timo Erkkilä
Title	Use of Remote Control Disconnectors and Sectionalizing Circuit Breakers in Hiirikosen Energia Oy's Grid
Year	2011
Language	Finnish
Pages	40
Name of Supervisor	Olavi Mäkinen

The thesis was done for Hiirikosken Energia Oy.

The aim of the thesis was to investigate the profitability of the use of remote controlled disconnectors and sectionalizing circuit breakers in Hiirikosken Energia Oy's distribution grid. The research was made to investigate the benefits investment alternatives.

Previous theses and literature in the field were used as source material in the thesis. Initial data for reliability calculation was received from failure statistics and transformer list.

The thesis produced approximate calculation results of what effect the use of remote controlled disconnectors and sectionalizing circuit breakers effect of failure costs.

Keywords	Remote control disconnector, sectionalizing circuit breaker, realibility calculation
----------	--

SISÄLLYS

ALKUSANAT.....	2
TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Opinnäytetyön kuvaus.....	7
1.2 Yritysesittely.....	7
2 SÄHKÖNJAKELUVERKON KESKEYTYKSET.....	8
2.1 Keskeytysten luokittelu ja syyt.....	8
2.2 Keskeytysten viranomaisvaatimukset	9
2.2.1 Standardissa määritetyt tunnusluvut.....	10
2.2.2 Viranomaisille ilmoitettavat tunnusluvut	11
2.3 Keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset	13
3 KAUKO-OHJATTAVAT EROTTIMET JA VERKKOKATKAISIJAT	15
3.1 Kauko-ohjattavan erotinaseman toiminta.....	15
3.2 Verkkokatkaisijan toiminta	17
3.3 Kommunikointi kauko-ohjattavaan erotinasemaan ja verkkokatkaisijaan..	18
3.4 Kauko-ohjattavan erottimen ja verkkokatkaisijan sijoittaminen	19
4 SÄHKÖNJAKELUVERKON LUOTETTAVUUSLASKENTA.....	21
4.1 Hiirikosken Energia Oy:n nykyverkon luotettavuuslaskenta	21
4.2 Luotettavuuslaskenta kauko-ohjattavalla erottimella.....	28

	6
4.3 Luotettavuuslaskenta verkkokatkaisijalla	33
4.4 Annuiteetin laskenta.....	35
4.5 Luotettavuuslaskennan lopputulokset	36
5 YHTEENVETO	38
6 LOPPUSANAT	39
LÄHDELUETTELO	40

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön kuvaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suunnitelma, jonka avulla pienennetään Hiirikosken Energia Oy:n sähkönjakeluverkossa tapahtuvien keskeytysten aikaa hyödyntämällä kauko-ohjattavia erottimia tai verkkokatkaisijoita. Lähtökohdiana oli se, että verkossa ei ole yhtään kyseisiä laitteita.

Opinnäytetyö koostuu kirjallisesta osuudesta ja laskennallisesta osuudesta. Kirjallisessa osuudessa on käyty läpi sähkönjakeluverkossa tapahtuvien keskeytysten syitä sekä niistä aiheutuvia kustannuksia. Kirjallisen osuuden lopussa on vielä lyhyesti esitetty kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden toiminnallisuutta.

Laskennallisessa osuudessa on laskettu Hiirikosken Energia Oy:n sähkönjakeluverkkoon mahdollisesti sijoitettavien verkstorakenteiden investointien kannattavuutta. Laskut suoritettiin tutkimalla jakeluverkon ominaisuuksia, kuten johtolähtöjen kuormitusta ja jakeluverkossa tapahtuneita keskeytyksiä.

1.2 Yritysesittely

Hiirikosken Energia Oy on Vähänkyrön ja osittain Isonkyrön kunnan alueella toimiva sähkölaitos. Yhtiön edeltäjänä toimi Vähänkyrön kunnan sähkölaitos, joka perustettiin 10.9.1921. Hiirikosken Energia Oy:n omistaa edelleen Vähänkyrön kunta.

Hiirikosken Energia Oy tarjoaa kuluttaja-asiakkaille kilpailukykyiseen hintaan sähköenergiaa myös toimialueensa ulkopuolelle. Yhtiö tarjoaa sähköntuotannon ja -jakelun lisäksi suunnittelu- ja asennuspalveluja.

Sähkönkulutus Hiirikosken Energia Oy:n vastuualueella on 42 GWh, josta osa tuotetaan yhtiön omalla vesivoimalalla. Sähköverkon pituus alueella on 530 km ja verkossa on kaksi sähköasemaa. /3/

2 SÄHKÖNJAKELUVERKON KESKEYTYKSET

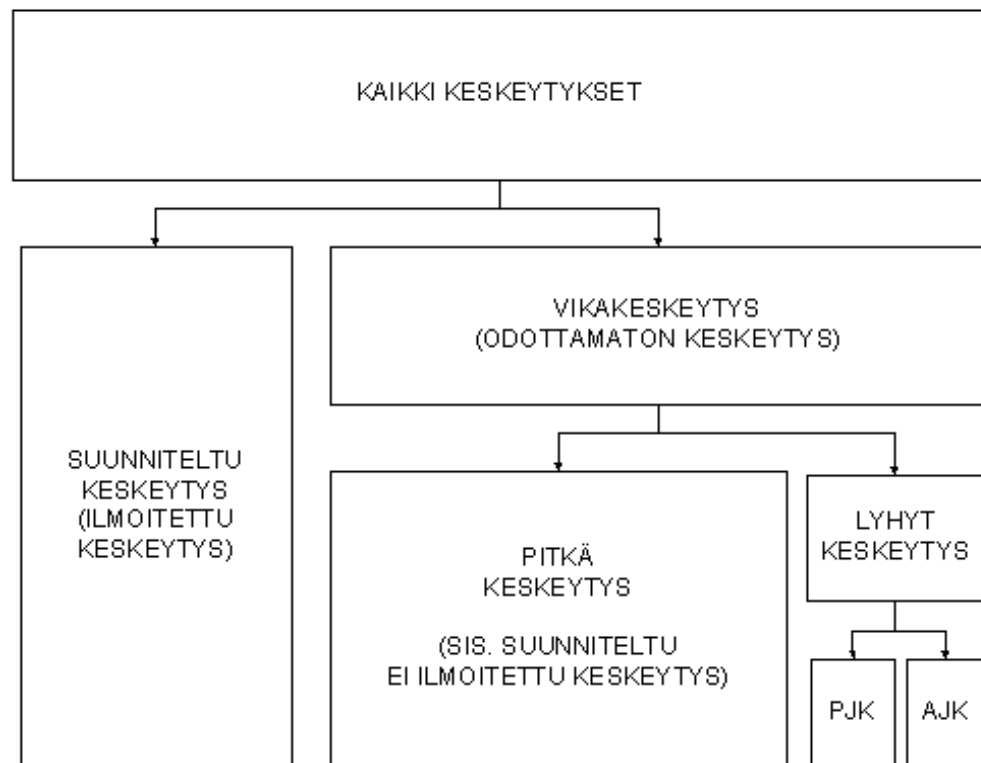
2.1 Keskeytysten luokittelu ja syyt

Sähköverkon keskeytykset jaotellaan kahteen kategoriaan: suunnitellut keskeytykset ja vikakeskeytykset. Noin viidesosa keskeytyksistä on yleensä suunniteltuja ja loput vikakeskeytyksiä.

Suunniteltuja keskeytyksiä ovat ne, joista on ilmoitettu sähkökäyttäjille. Suunniteltuihin keskeytyksiin kuuluvat huolto- ja kunnossapitotyöt, raivaus, verkon rakennus ja jakelurajoitus. Jos suunnitellusta keskeytyksestä ei ole ehditty ilmoittaa tai ilmoitus ei ole saavuttanut riittävällä laajuudella kohderyhmää, luokitellaan keskeytys vikakeskeytykseksi.

Vikakeskeytykset ovat puolestaan keskeytyksiä, jotka tulevat sähkökäyttäjälle yllätyksenä. Vikakeskeytysten syyt ovat yleensä luonnonilmiöstä, rakenneviasta tai verkonhaltijan toiminnasta johtuvia. Vikakeskeytyksen syy voi myös jäädä tuntemattomaksi, jonka osuus on viime tilastoinneissa ollut merkittävän suuri.

Vikakeskeytykset jaetaan pitkiin ja lyhyisiin keskeytyksiin. Pitkät keskeytykset kestävät yli 3 minuuttia ja lyhyet alle 3 minuuttia. Lyhyet keskeytykset ovat yleensä jälleenkytkennöistä johtuvia, mutta niitä syntyy myös jakorajamuutosten yhteydessä. Keskeytysluokittelu on esitettyä kuvassa 1. /9/



Kuva 1. Keskeytysluokittelu

2.2 Keskeytysten viranomaisvaatimukset

Sähkömarkkinalaissa, tuotevastuulaissa ja sähköturvallisuuslaissa on säädetty sähköntoimitusvarmuutta koskevat säännökset. Sähkömarkkinalain mukaan verkkohaltijan tulee ylläpitää, käyttää ja kehittää sähköverkkoaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti.

Verkkohaltijan tulee myös antaa Energiamarkkinavirastolle tiedot verkkopalvelujensa hintatasosta sekä verkkotoiminnan tehokkuutta, laatua ja kannattavuutta kuvaavista tunnusluvuista, näitä tietoja vaadittaessa.

Sähkömarkkinalaissa on pykälä, joka koskee sähköntoimituksessa tapahtuvia virheitä. Sähköntoimitus katsotaan virheelliseksi, jos sähkön laatu ei vastaa Suomessa noudatettavia standardeja tai jos sähköntoimituksessa on tapahtunut keskeytyksiä, joita voidaan pitää syyt ja olosuhteet huomioiden vähäisinä.

Sähkötoimituksessa tapahtuvia virheitä seurataan valtakunnallisen keskeytystilaston avulla. Toimituksessa tapahtuneen virheen johdosta sähkökäyttäjällä on oikeus hinnanalennukseen ja vahingonkorvaukseen.

Sähkömarkkinalakiin tuli 1.9.2003 muutos, jonka mukaan sähkökäyttäjällä on oikeus vakiokorvaukseen sähköpalvelujen yhtäjaksoisista keskeytyksistä johtuen. Vakiokorvausmenettelyn tarkoituksena on sähkönjakelun toimintavarmuuden parantaminen.

Vakiokorvauksen määrä on sähkökäyttäjän vuotuisesta verkkopalvelumaksusta

- 10 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 12 tuntia, mutta vähemmän kuin 24 tuntia.
- 25 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 24 tuntia, mutta vähemmän kuin 72 tuntia.
- 50 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 72 tuntia, mutta vähemmän kuin 120 tuntia.
- 100 prosenttia, kun keskeytysaika on ollut vähintään 120 tuntia.

2.2.1 Standardissa määritetyt tunnusluvut

Standardissa IEEE 1366-2001 kuvataan jakeluverkon sähkötoimitusvarmuutta koko jakelualueella, mukaan lukien pienjänniteverkko.

Tunnusluvut, joilla kuvataan sähkötoimitusvarmuutta, ovat:

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) keskeytysten keskimääräinen lukumäärä (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kestoaika (h/asiakas) tietyllä aikavälillä
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) keskeytysten keskipituus (h/keskeytys).

Suomessa yllä olevien tunnuslukujen sijaan käytetään yleensä tunnuslukuja, jotka tilastoidaan muuntopiiritasolla, eikä asiakaskohtaisiin tietoihin perustuen. Näissä tunnusluvuissa ei ole otettu huomioon pienjänniteverkossa tapahtuvia keskeytyksiä. Muuntopiiritason tunnusluvuista käytetään merkintöjä T-SAIFI, T-SAIDI ja T-CAIDI. /1/

2.2.2 Viranomaisille ilmoitettavat tunnusluvut

Jakeluverkonhaltijan tulee ilmoittaa sähkömarkkinaviranomaiselle Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (1637/1995) mukaiset jakeluverkon toimintaa ja muun sähköverkon toimintaa kuvaavat tunnusluvut. Nämä tunnusluvut ovat kuluttajan vuotuinen keskeytysaika ja kaikkien keskeytysten vuotuinen lukumäärä kuluttajalla.

Kuluttajan vuotuisella keskeytysajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kuluttaja on keskimäärin ilman sähköä vuodessa. Keskeytyksiin huomioidaan ainoastaan oman verkon aiheuttamat keskeytykset, myös aikajälleenkytkennät otetaan huomioon laskentaan.

Kaikkien keskeytysten vuotuinen lukumäärä kuluttajalla tunnusluku osoittaa keskeytysten kappalemäärää, joita kuluttajalla on keskimäärin ollut vuodessa. Tunnuslukuun lasketaan vain omasta jakeluverkosta aiheutuneet keskeytykset. Myös tähän tunnuslukuun lasketaan aikajälleenkytkennät mukaan.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä annettujen tunnuslukujen lisäksi verkkoyhtiöiden tulee toimittaa Energiamarkkinavirastolle kahdeksan tunnuslukua. /1/

Energiamarkkinavirastolle toimitettavat tunnusluvut:

Asiakkaan keskimääräinen vuotuinen vuosienenergioilla painotettu jakeluverkon

- odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut keskeytysaika (h)
- odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut keskeytysmäärä (kpl)

- suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunut keskeytysaika (h)
- suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunut keskeytysmäärä (kpl)
- aikajälleenkytkennöistä aiheutunut keskeytysmäärä (kpl)
- pikajälleenkytkennöistä aiheutunut keskeytysmäärä (kpl)

Kaikkien odottamattomien keskeytysten yhteenlaskettu vuotuinen lukumäärä

- pienjänniteverkossa (kpl)
- keskijänniteverkossa (kpl)

2.3 Keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset

Sähkönjakeluverkon keskeytyksistä aiheutuu kustannuksia sähköyhtiölle ja haittaa asiakkaille. Asiakkaalle keskeytyksestä aiheutuva haitta riippuu asiakasryhmästä, jos asiakasryhmä on teollisuutta, maataloutta tai palveluja tarjoavaa, tulee asiakkaalle myös kustannuksia. Kotitalouksille keskeytyksistä ei yleensä kustannuksia koidu. Sähköyhtiölle keskeytyksistä aiheutuu suuria kustannuksia viankorjauksiin. Kustannuksia aiheuttavat niin pysyvät keskeytykset kuin pika- ja aikajälleenkytkennät. Suurimmat kustannukset aiheutuvat vikakeskeytyksistä.

Tietyn komponentin aiheuttaman keskeytyksen todennäköinen vuosikustannus muodostetaan kertomalla komponentin vuosittainen vikatodennäköisyys komponentin vikaantumisen vuoksi verkon osalle aiheutuneella keskeytysajalla. Muuntopiirin vuotuinen keskeytyskustannus lasketaan seuraavalla yhtälöllä. /7/

$$KAH = \sum_{ar=1}^{arlkm} \left\{ \frac{W_{mp}(ar)}{8760} \left\{ k_v(ar) \times t_v + k_t(ar) \times t_t + k_{vm}(ar) \times lkm_v + k_{tm}(ar) \times lkm_t + k_{pjk}(ar) \times lkm_{pjk} + k_{ajk}(ar) \times lkm_{ajk} \right\} \right\} \quad (1)$$

jossa KAH = keskeytyksestä aiheutuva haitta vuodessa (€/a)

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

$arlkm$ = 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 pikajälleenkytkennälle (€/kW, vika)

$k_{ajk}(ar)$ = asiakasryhmän ar KAH-arvo aikajälleenkytkennälle (€/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/a

lkm_t = muuntopiirin työkeskeytysten kokonaismäärä/a

lkm_{pjk} = muuntopiirin pikajälleenkytkentöjen kokonaismäärä/a

lkm_{ajk} = muuntopiirin aikajälleenkytkentöjen kokonaismäärä/a

Keskeytyksestä aiheutuva haitta koostuu pitkien keskeytysten ajasta ja lukumäärästä sekä lyhyiden keskeytysten lukumäärästä. Lisäksi sähköasemalla mahdolliset jännitekuopat aiheuttavat haittaa kaikille sähköaseman syöttäville asiakkaille.

Keskeytyskustannukset on merkittävä tekijä, kun mietitään eri investointivaihtoehtoja. Sähköverkon luotettavuutta voidaan käsitellä keskeytyskustannusten avulla. Keskeytyskustannusten määrittäminen helpottaa verkkoratkaisujen valintaa teknistaloudellisesti. /7/

Taulukossa 1 on esitetty vuonna 2006 määritetyt luotettavuuslaskennassa käytettävät KAH-arvot. Arvot on määritetty viidelle eri asiakasryhmälle.

Taulukko 1. Luotettavuuslaskennassa käytettävät KAH-arvot. (KTM 2006a)

Asiakasryhmä	Odottamaton keskeytys		Suunniteltu keskeytys		PJK	AJK
	[€/kW]	[€/kWh]	[€/kW]	[€/kWh]		
Kotitalous	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	0,48
Maatalous	0,45	9,38	0,23	4,8	0,2	0,62
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
Teollisuus	3,52	24,45	1,38	11,47	2,19	2,87

3 KAUKO-OHJATTAVAT EROTTIMET JA VERKKOKATKAISIJAT

Sähkönjakeluverkon vikojen määrän vähentämiseen ja vian keston lyhentämiseen on monia eri tapoja. Kauko-ohjattavilla erottimilla saadaan vikojen kestoa lyhennettyä ja verkkokatkaisijoilla, toisin sanoen pylväskatkaisijoilla, saadaan vikojen määrää pienennettyä. Tässä luvussa tarkastellaan kauko-ohjattavia erottimia ja verkkokatkaisijoita. Kuvassa 2 on esitetty eri tekniikoiden vaikutusta vikoihin.

	Pysyvien vikojen määrä		Pysyvien vikojen kesto/as.	Työ-keskeytykset/as.	Jälleenkäytettyjen määrä/as.
	Absoluutisesti	kpl/as			
Kevyet sähköasemat	-	↗ ↗	↗	-	↗ ↗
Kaapelointi (keski- ja pienjänniteverkot)	↗ ↗	↗ ↗	-	-	↗ ↗
PAS-johdot	↗	↗	-	-	↗
Tienvarteen rakentaminen	↗	↗	↗	-	↗
1000 V sähkönjakelu	↗	↗ ↗	-	-	↗ ↗
Pylväskatkaisijat	-	↗ ↗	-	-	↗ ↗
Kauko-ohjattavat erottimet	-	-	↗ ↗	-	-
Varayhteydet	-	-	↗ ↗	↗ ↗	-
Valvomoautomaatio	(↗)	(↗)	↗ ↗	↗	-
Maasulkuvirtojen sammutus	-	-	-	-	↗ ↗
Varavoima	-	-	↗	↗ ↗	-
Yhteistyö	↗	↗	↗	-	-

Kuva 2. Eri tekniikoiden vaikutus vikojen määriin ja kestoihin (↗↗ tilanne paranee merkittävästi, ↗ paranee hieman, - vähäinen tai ei vaikutusta). /7/

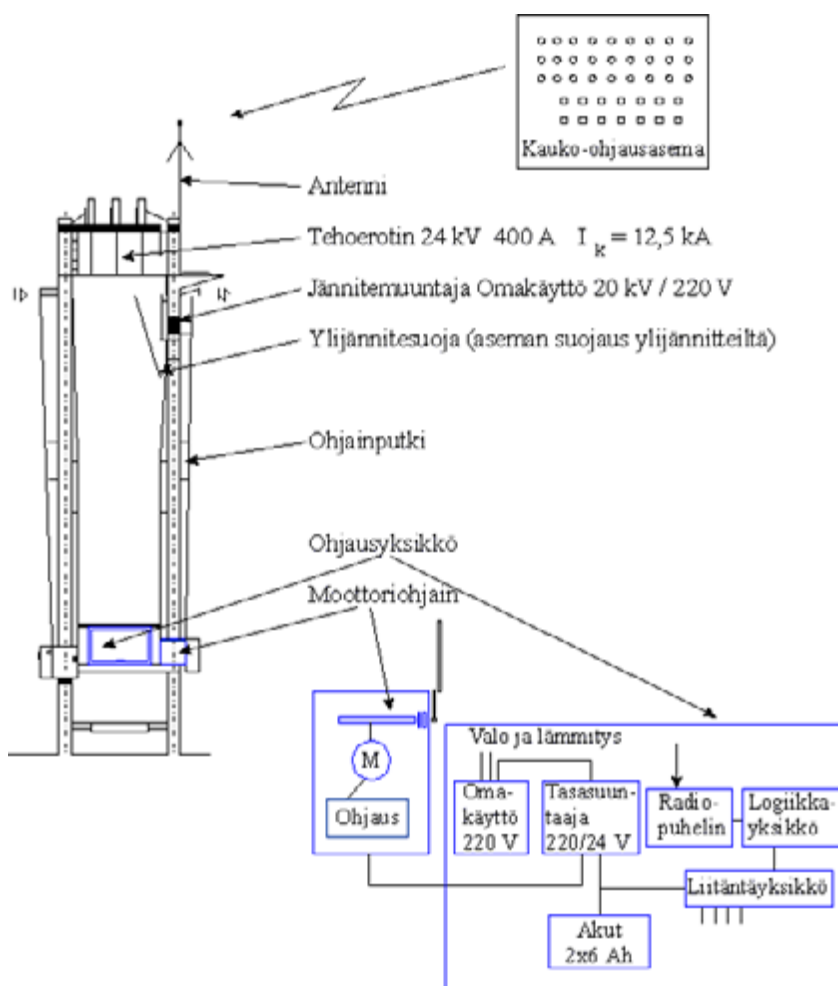
3.1 Kauko-ohjattavan erotinaseman toiminta

Erotinasema on yksinkertaisimmillaan erotin, joka on sijoitettu keskijänniteverkon kannatinpylvääseen. Erotin on joko käsikäyttöinen tai kaukokäyttöinen. Ulosasennettavilla erottimilla täytyy olla hyvä mekaaninen kestävyys, sillä niiden tulee toimia myös kovilla pakkasilla.

Käsikäyttöistä erotinta ohjataan auki ja kiinni ohjainputken avulla. Kauko-ohjattavassa erotinasemassa on moottorihjain, jolla saadaan erottimen asentoa muutettua. Moottorihjaimessa on ohjausyksikkö, joka on liitetty kommunikointijärjestelmään. Tämän avulla erotinta voidaan ohjata valvomosta. Kaukokäyttö-

sessä erotinasemassa on myös ohjainputki, jolla saadaan erotinta ohjattua käsi-
käyttöisesti.

Tyypillisellä kaukokäyttöisen erotinaseman ohjausyksiköllä voidaan ohjata 2-4
erotinta. Ohjausyksikön kautta saadaan erottimien asentotiedot valvomoon. Ohja-
usyksikön tarvitsema sähkö saadaan suoraan pienjännitelähdöstä, jos erotinase-
man läheisyydessä on sellainen. Muussa tapauksessa joudutaan ohjainyksikölle
asentamaan muuntaja keskijänniteverkkoon. Kuvassa 3 näkyy kauko-ohjattavaan
erotinasemaan tarvittavat komponentit. /4/



Kuva 3. Kauko-ohjattava erotinasema

3.2 Verkkokatkaisijan toiminta

Verkkokatkaisijat ovat verkkoon asennettavia katkaisulaitteita, joiden avulla saadaan sähköntoimitusvarmuutta parannettua. Verkkokatkaisijat voidaan asentaa suoraan keskijänniteverkon pylvääseen, jonka vuoksi niistä käytetään myös nimityksiä pylväskatkaisija ja maastokatkaisija. Verkkokatkaisijan ja kauko-ohjatun erottimen ero on suojareleessä, jonka avulla katkaisija pystyy katkaisemaan vikavirtoja sekä suuria kuormitusvirtoja.

Eroittimilla ei pystytä vaikuttamaan sähköverkossa vikojen määrään, mutta verkkokatkaisijalla pystytään, sillä verkkokatkaisijan etupuolella eli sähköaseman ja katkaisijan välissä olevat asiakkaat eivät koe verkkokatkaisijan takana tapahtuvia keskeytyksiä. Tällä pystytään suodattamaan myös jälleenkytkennät pois, joka helpottaa paljon teollisuutta.

Verkkokatkaisijoiden toiminta perustuu virtapiiriin kytkettyyn releeseen, joka antaa avautumiskäskyn katkaisijalle, kun se huomaa verkossa ylivirtaa. Verkkokatkaisija pystyy avaamaan ja sulkemaan piirin virran ollessa moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna. Kuvassa 4 on Netcontrolin pylväskatkaisija sekä katkaisijan ohjausyksikkö. /9/



Kuva 4. Netcontrolin valmistama NetRecloser pylväskatkaisija ja ohjausyksikkö /6/

3.3 Kommunikointi kauko-ohjattavaan erotinasemaan ja verkkokatkaisijaan

Erotinaseman ja valvomon välinen kommunikointi voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yleisin tapa tiedonsiirrossa on erillinen radioverkko, jossa käytetään tähän tarkoitukseen varattuja taajuuksia. Radioverkkoa on helppo laajentaa tarvittaessa, eikä sen toiminta omien akkujen ansiosta häiriinny sähkökatkoksista. Radioverkkoa käytettäessä erotinasemalle täytyy asentaa oma antenni, joka voidaan sijoittaa suoraan erotinaseman pylvääseen tai pystyttää erillinen pylväs antennille.

Vaihtoehtoinen tiedonsiirtotapa on esimerkiksi yleisen matkapuhelinverkon käyttö. Tiedonsiirto on nopeampaa kuin erillisradioverkoissa, mutta luotettavuus ei aina ole erillisverkon tasoa. Matkapuhelinverkon käyttö on edullinen ja nopeasti toteutettava vaihtoehto, eikä se vaadi erillisiä mastoja. Se on myös hyvä ratkaisu tietoliikenteeseen, kun etäisyydet ovat pitkät.

Suomessa viestiyhteydet on toteutettu yleensä 85 MHz:n taajuusalueella toimival-
la radioverkolla. Verkon ongelmana on ollut rajoitetut tiedonsiirtomahdollisuudet. Uutena tekniikkana on tullut pakettiradioverkko, jossa sanomat välitetään ketjussa asemalta toiselle etukäteen määritellyn siirtotien mukaisesti. /2/

3.4 Kauko-ohjattavan erottimen ja verkkokatkaisijan sijoittaminen

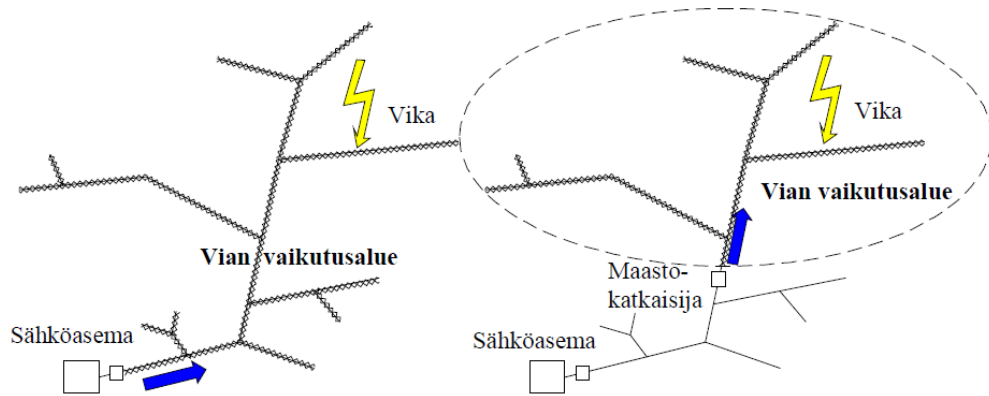
Maaseudulla, jossa erotinasemalle siirtyminen voi viedä paljon aikaa, kauko-ohjattavalla erottimella voidaan keskeytysaikaa pienentää huomattavasti. Vian paikallistaminen ja vika-alueen rajaaminen saavutetaan nopeammin kauko-ohjauksen avulla.

Kauko-ohjattavat erottimet pyritään sijoittamaan siten, että keskeytyskustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi. Tyypillisiä sijoituspaikkoja ovat verkossa olevat risteyskohdat, vaikean kulkuyhteyden päässä olevat erottimet ja erottimet, joiden läheisyydessä on suuri kuormitus.

Kauko-ohjattava erotin kannattaa korvata verkkokatkaisijalla pitkillä johtolähdöillä, joiden alkupäässä on suuri kuormitus. Paras tulos verkkokatkaisijalla saadaan sijoittamalla se verkkoon siten, että viat jäävät verkkokatkaisijan taakse ja suurin osa asiakkaista verkkokatkaisijan ja sähköaseman välille, jolloin alkupään asiakkaat eivät koe verkkokatkaisijan takana tapahtuvien vikojen aiheuttamia keskeytyksiä.

Maaseutuverkoissa asiakkaat ovat usein kuitenkin jakaantuneet melko tasaisesti pitkin lähtöä, jolloin verkkokatkaisijalle voidaan löytää paras paikka laskemalla sen vaikutuksia toimitusvarmuusindekseihin eri kohdissa verkkoa.

Kuvassa 5 on esitetty verkkokatkaisijan mahdollinen sijoituspaikka sekä katkaisijan toiminta vikatapauksessa. /9/



Kuva 5. Verkkokatkaisijan toiminta vikatapauksessa

4 SÄHKÖNJAKELUVERKON LUOTETTAVUUSLASKENTA

Iso osa sähkökäyttäjän kokemista sähkökatkoksista johtuu keskijänniteverkossa olevasta viasta. Taajama-alueella, joissa on yleensä avojohtoverkko, suuri osa keskijänniteverkon vioista saadaan selvitettyä pika- tai aikajälleenkytkennällä. Taajama-alueella ainoastaan noin kolmannes keskeytyksistä on pysyviä vikoja, jolloin viallinen verkko joudutaan erottamaan toimivasta verkosta. Kaupunkialueella pysyvien vikojen määrä on noin 60 % kaikista vioista johtuen maakaapeloinneista.

Keskijänniteverkko on Suomessa yleensä silmukoitu, mutta sitä käytetään kuitenkin säteittäisenä. Säteittäinen käyttö tarkoittaa sitä, että energia siirretään ainoastaan yhtä reittiä pitkin. Silmukoinnilla saadaan kuitenkin jakeluverkon toimintavarmuutta parannettua, sillä vian tapahtuessa voidaan tehdä varayhteyksiä ja vika saadaan helposti rajattua yhtein solmuväliin. Kauko-ohjattavat erottimet ja verkkokatkaisijat nopeuttavat vian löytämistä ja näin ollen vika saadaan rajattua myös nopeammin.

Luotettavuuslaskennassa tutkitaan yksittäisten komponenttien vikaantumisen vaikutusta sähkönjakeluun. Laskennassa otetaan huomioon komponenttien sijainti johtolähdöllä ja komponenttien luotettavuus. /8/

4.1 Hiirikosken Energia Oy:n nykyverkon luotettavuuslaskenta

Hiirikosken Energia Oy:n keskijänniteverkon luotettavuuslaskennassa otettiin huomioon vuosien 2008 – 2010 Hiirikosken Energia Oy:n keskeytystilastot, joiden perusteella laskettiin vikaherkimmille johtolähdöille tapahtuvien keskeytysten aiheuttamaa kustannusta sekä investointien kannattavuutta kyseisille johtolähdöille.

Vikaherkimmät johtolähdöt jaettiin vyöhykkeisiin siten, että vyöhykkeet jakautuivat niiltä osin, mihin mahdollisesti kauko-ohjattava erotin tai verkkokatkaisija olisi järkevin asentaa.

Sähkönjakelun keskeytyksestä aiheutuneet kustannukset laskettiin kaavalla (2).

$$K_{kj} = \sum_{i \in I} f_i [a_j + b_j(t_{ij}) \times t_{ij}] \times \bar{P}_j \quad (2)$$

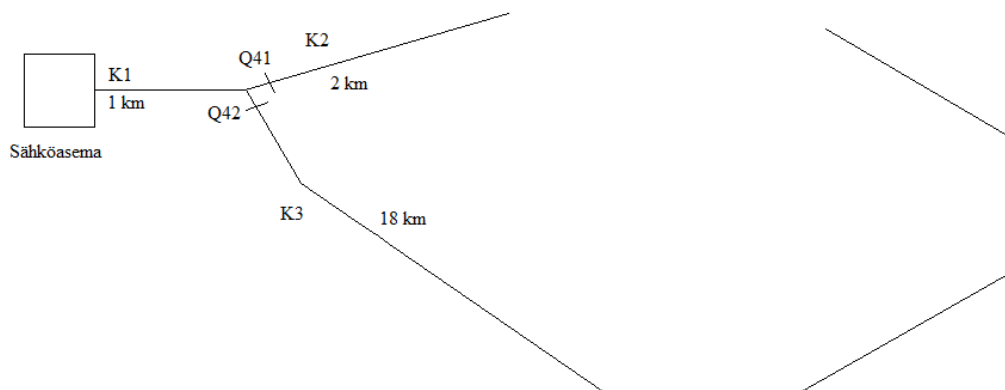
missä f_i on komponentin vikataajuus [1/a] ja a_j [€/kW] sekä $b_j(t_{ij})$ [€/kWh] ovat komponentin i aiheuttaman vian t_{ij} aikana tarkastelupisteessä j toimittamatta jääneiden tehon- ja energiahintojen suhteellisarvot. Tarkastelupisteen j tehon vian aikana oletetaan olevan vuotuisen keskitehon verran. /8/

Laskennassa oletettiin asiakkaiden olevan kotitalouksia laskennan yksinkertaistamisen vuoksi. Kytkentäaikana laskennassa käytettiin 0,5 h, joka on keskeytystilastojen mukaan keskimääräinen kytkentäaika johtolähdöillä. Hiirikosken Energia Oy:n keskijänniteverkko on avojohtoa, jonka vikataajuus on yleisesti 0,05 1/km,a. Odottamattomien vikojen korjausaika saatiin keskeytystilastoista, joista laskettiin jokaiselle johtolähdölle keskimääräinen vian korjausaika. Suunniteltujen keskeytysten korjausaika laskettiin samalla tavalla kuin odottamattomien vikojen korjausaika. Taulukkoon 2 on kerätty lähtötiedot, joita käytettiin kaikilla johtolähdöillä.

Taulukko 2. Nykyverkon luotettavuuslaskennassa tarvittavat lähtötiedot

	Odottamattomat keskeytykset	Suunnitellut keskeytykset
Vikataajuus (1/km,a)	0,05	0,05
Kytkentäaika (h)	0,5	
Keskeytyskustannusten arvoitus (kotitalous)	0,36 €/kW	0,19 €/kW
	4,29 €/kWh	2,21 €/kWh

Ensimmäisenä tarkastelukohteena oli johtolähtö Ojaniemi, joka jaettiin kolmeen vyöhykkeeseen. Kuvassa 6 on esitetty Ojaniemen johtolähdöstä periaatteellinen yksiviivakaavio, jossa vyöhykejako on tehty erottimien Q41 ja Q42 mukaan.



Kuva 6. Ojaniemi-johtolähdön vyöhykejako

Taulukossa 3 on esitetty vyöhykkeiden pituudet, odottamattomien keskeytysten keskimääräinen korjausaika, suunniteltujen keskeytysten keskimääräinen kytkentäaika, vyöhykkeiden keskiteho ja laskennan mukaiset keskeytysten kustannukset.

Taulukko 3. Ojaniemi-johtolähdön keskeytyskustannukset.

Vyöhyke	Pituus (km)	Korjausaika odottamattomat (h)	KytKentäaika suunnitellut (h)	Keskiteho (kW)	K_{kj} (€/a)
K1	1	1,4	1,4	42	125,5
K2	2	1,4	1,4	208	695,7
K3	18	1,4	1,4	142	1286,6

Sijoitetaan Ojaniemen lähtötiedot kaavaan (2):

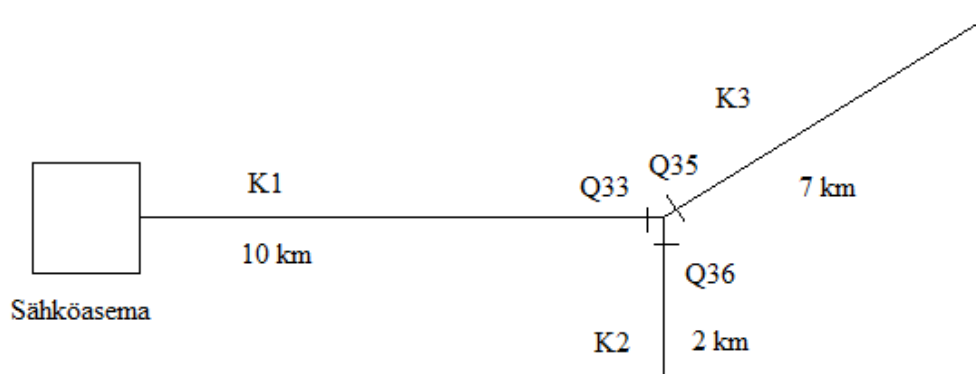
$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 1km \times 42kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,4h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 20km \times 42kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 125,5 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 2km \times 208kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,4h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 19km \times 208kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 695,7 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_3 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 18km \times 142kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,4h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 3km \times 142kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 1286,6 \frac{\text{€}}{a}$$

Taulukosta 3 ja laskennasta voidaan huomata, että vyöhyke K_3 on huomattavasti pitempi kuin kaksi muuta vyöhykettä, joka heijastuu suoraan keskeytyskustannuksiin. Vyöhykkeellä K_1 , jossa keskiteho on pieni ja johtopituus on pieni, keskeytyskustannus on noin kymmenen kertaa pienempi kuin vyöhykkeellä K_3 .

Seuraavaksi laskettiin johtolähdölle Asemanseutu nykyverkon keskeytyskustannukset. Tämä lähtö jaettiin kolmeen vyöhykkeeseen. Vyöhykejako näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. Asemanseutu-johtolähdön vyöhykejako

Johtolähdön lähtötiedot sekä keskeytyskustannukset on kerätty taulukkoon 4. Taulukosta voidaan huomata, että tällä lähdöllä keskitehot ovat selvästi suurempia kuin Ojaniemen johtolähdöllä ja siksi keskeytyskustannukset ovat myös selvästi suurempia.

Taulukko 4. Asemanseutu-johtolähdön keskeytyskustannukset.

Vyöhyke	Pituus (km)	Korjausaika odottamattomat (h)	Kytentäaika suunnitellut (h)	Keskiteho (kW)	K_{kj} (€/a)
K1	10	2	0,73	408	2651,6
K2	2	2	0,73	268	858,6
K3	7	2	0,73	315	1657,9

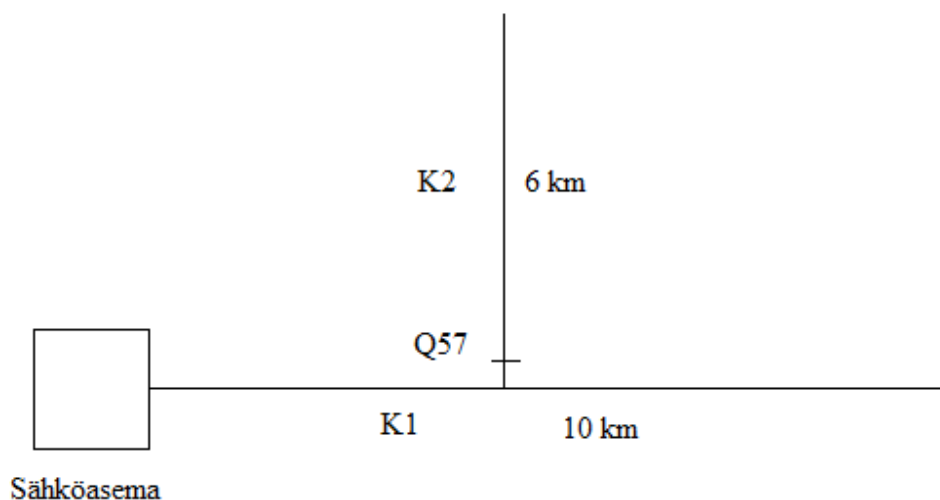
Asemanseudun nykyverkon luotettavuuslaskenta:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 408kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 2h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,73h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 9km \times 408kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 2651,6 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 2km \times 268kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 2h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,73h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 17km \times 268kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 858,6 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_3 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 7km \times 315kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 2h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,73h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 12km \times 315kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 1657,9 \frac{\text{€}}{a}$$

Järvenkylä-johtolähtö jaettiin ainoastaan kahteen vyöhykkeeseen. Ensimmäinen vyöhyke on pituudeltaan 10 km ja toinen 6 km. Vyöhykejako tehtiin kuvan 8 mukaisesti. Vyöhykkeet jaettiin erottimen Q57 kohdalta.



Kuva 8. Järvenkylä-johtolähdön vyöhykejako

Taulukossa 5 on esillä johtolähdön lähtötiedot ja keskeytyskustannukset. Vyöhykkeellä K₂ on erittäin vähän asiakkaita, joten sen keskiteho on myös erittäin pieni.

Vyöhykkeellä K₂ tapahtuu keskeytystilastojen mukaan paljon vikoja, jonka vuoksi tämä johtolähtö otettiin mukaan laskentaan. Viat aiheuttavat suuria keskeytyskustannuksia johtolähdön vyöhykkeelle K₁.

Taulukko 5. Järvenkylä-johtolähdön keskeytyskustannukset.

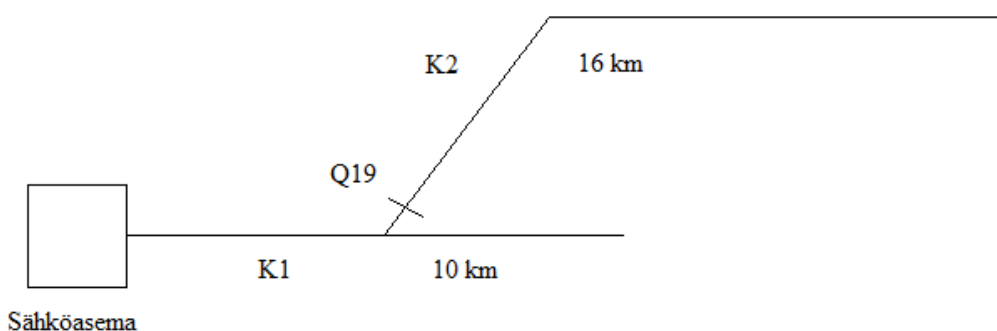
Vyöhyke	Pituus (km)	Korjausaika odottamattomat (h)	Kytkentäaika suunnitellut (h)	Keskiteho (kW)	K _{kj} (€/a)
K1	10	1	0,7	502	1980,4
K2	6	1	0,7	38	120,4

Luotettavuuslaskenta Järvenkylä-johtolähdölle:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 502kW \times \left(\frac{0,36€}{kW} + \frac{4,29€}{kWh} \times 1h + \frac{0,19€}{kW} + \frac{2,21€}{kWh} \times 0,7h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 6km \times 502kW \times \left(\frac{0,36€}{kW} + \frac{4,29€}{kWh} \times 0,5h \right) = 1980,4 \frac{€}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 6km \times 38kW \times \left(\frac{0,36€}{kW} + \frac{4,29€}{kWh} \times 1h + \frac{0,19€}{kW} + \frac{2,21€}{kWh} \times 0,7h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 38kW \times \left(\frac{0,36€}{kW} + \frac{4,29€}{kWh} \times 0,5h \right) = 120,4 \frac{€}{a}$$

Myös johtolähtö Vedenoja jaettiin ainoastaan kahteen vyöhykkeeseen Q19 erottimen kohdalta. Kuvassa 9 näkyy erottimen Q19 sijainti ja vyöhykkeiden pituudet.



Kuva 9. Vedenoja-johtolähdön vyöhykejako

Vedenoja-johtolähdöllä keskeytyskustannukset ovat selvästi suurimmat, koska tällä lähdöllä vyöhykkeiden pituudet ja keskitehot ovat suuret. Taulukossa 6 on vyöhykkeiden keskeytyskustannusten laskentaan tarvittavat lähtötiedot.

Taulukko 6. Vedenoja-johtolähdön keskeytyskustannukset.

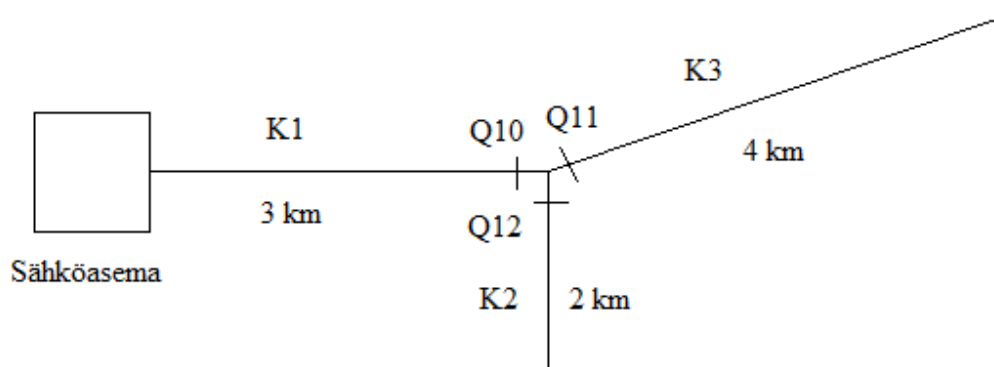
Vyöhyke	Pituus (km)	Korjausaika odottamattomat (h)	Kytentäaika suunnitellut (h)	Keskiteho (kW)	K_{kj} (€/a)
K1	10	1,8	1,4	615	4727,5
K2	16	1,8	1,4	440	4551,9

Johtolähdön nykyverkon luotettavuuslaskenta kaavan (3) mukaisesti:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 615kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,8h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 16km \times 615kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 4727,5 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 16km \times 440kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,8h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 440kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 4551,9 \frac{\text{€}}{a}$$

Viimeisenä tarkastelukohteena on Merikaarto-johtolähtö, joka jaettiin kolmeen vyöhykkeeseen erottimien Q10, Q11 ja Q12 kohdalla. Vyöhykkeet ovat pituudeltaan lähes yhtä pitkät. Kuvassa 10 näkyy lähdön vyöhykejako.



Kuva 10. Merikaarto-johtolähdön vyöhykejako

Merikaarto- johtolähdöllä keskitehot vaihtelee melko paljon vyöhykkeiden välillä, mikä näkyy vyöhykkeiden keskeytyskustannuksissa. Vyöhyke K_3 on pituudeltaan vain kilometrin pitempi kuin vyöhyke K_2 , mutta sen keskiteho on lähes kolme kertaa suurempi kuin vyöhykkeellä K_2 . Tästä johtuen myös keskeytyskustannukset ovat noin kolme kertaa suuremmat vyöhykkeellä K_3 kuin vyöhykkeellä K_2 . Johtolähdön lähtötiedot ja keskeytyskustannukset vyöhykkeiden mukaan ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. Merikaarto-johtolähdön keskeytyskustannukset.

Vyöhyke	Pituus (km)	Korjausaika odottamattomat (h)	Kytentäaika suunnitellut (h)	Keskiteho (kW)	K_{kj} (€/a)
K1	3	1	1	85	153,8
K2	2	1	1	133	210,4
K3	4	1	1	368	749,3

Merikaarto-johtolähdön nykyverkon luotettavuuslaskenta:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 3km \times 85kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 6km \times 85kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 153,8 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 2km \times 133kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 7km \times 133kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 210,4 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_3 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 4km \times 368kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 5km \times 368kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 749,3 \frac{\text{€}}{a}$$

4.2 Luotettavuuslaskenta kauko-ohjattavalla erottimella

Investointivaihtoehtojen luotettavuuslaskennassa Hiirikosken Energia Oy:n keski-jänniteverkkoon laskettiin keskeytyskustannusten muutos, kun verkkoon on asennettu kauko-ohjattava erotin tai verkkokatkaisija.

Investointien luotettavuuslaskennassa johtolähtöjen vyöhykkeet pysyvät samoina kuin edellisessä laskennassa. Tässä laskennassa vyöhykkeiden rajalle on asennettu kauko-ohjattu erotin, joka pienentää kytkentäajan 0,2 tuntiin. Muut laskentaan vaikuttavat tekijät pysyivät muuttumattomina. Taulukossa 8 on lähtötiedot, joita tarvittiin luotettavuuslaskennassa, kun kauko-ohjattu erotin on asennettu.

Taulukko 8. Luotettavuuslaskentaan kauko-ohjattavalla erottimella tarvittavat lähtötiedot.

	Odottamattomat keskeytykset	Suunnitellut keskeytykset
Vikataajuus (1/km,a)	0,05	0,05
Kytkentäaika (h)	0,2	
Keskeytyskustannusten arvoitus (kotitalous)	0,36 €/kW	0,19 €/kW
	4,29 €/kWh	2,21 €/kWh

Ojaniemi-johtolähdön laskennassa korvattiin kuvan 6 Q41 ja Q42 erottimet kauko-ohjattavilla erottimilla. Taulukossa 9 on esitetty Ojaniemi-johtolähdön kustannuksen muutos, kun johtolähdölle on asennettu kauko-ohjatut erottimet. Taulukossa on johtolähdön pituus, keskiteho, keskeytyskustannukset ennen kauko-ohjattua erotinta [$K_{kj} (1)$] ja keskeytyskustannukset kauko-ohjatulla erottimella [$K_{kj} (2)$].

Taulukko 9. Ojaniemi-johtolähdön keskeytyskustannukset kauko-ohjatulla erottimella.

Vyöhyke	Pituus (km)	Keskiteho (kW)	$K_{kj} (1)$ (€/a)	$K_{kj} (2)$ (€/a)
K1	1	42	125,5	71,4
K2	2	208	695,7	441,4
K3	18	142	1286,6	1259,2

Luotettavuuslaskenta, kun verkossa kauko-ohjattu erotin:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 1km \times 42kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,4h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 20km \times 42kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 71,4 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 2km \times 208kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,4h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 19km \times 208kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 441,4 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_3 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 18km \times 142kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,4h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 3km \times 142kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 1259,2 \frac{\text{€}}{a}$$

Taulukosta 9 ja laskennasta nähdään, että keskeytyskustannuksissa ei tule tällä johtolähdöllä suuria muutoksia kauko-ohjatun erottimen asennuksen jälkeen. Keskeytyskustannukset laskevat ainoastaan 335,8 € vuodessa, kun kytkentäaika muuttuu 0,5 tunnista 0,2 tuntiin.

Asemanseutu-johtolähdön investointivaihtoehdossa kuvan 7 erottimet Q35 ja Q36 korvattiin kauko-ohjattavilla erottimilla. Tämän jälkeen laskettiin uudet keskeytyskustannukset vyöhykkeille. Taulukossa 10 on lähdön lähtötiedot ja nykyverkon keskeytyskustannukset $[K_{kj}(1)]$ sekä keskeytyskustannukset kauko-ohjatuilla erottimilla $[K_{kj}(2)]$.

Taulukko 10. Asemanseutu-johtolähdön keskeytyskustannukset kauko-ohjatuilla erottimilla.

Vyöhyke	Pituus (km)	Keskiteho (kW)	$K_{kj}(1)$ (€/a)	$K_{kj}(2)$ (€/a)
K1	10	408	2651,6	2415,3
K2	2	268	858,6	565,4
K3	7	315	1657,9	1414,7

Luotettavuuslaskenta, kun verkossa kauko-ohjattu erotin:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 408kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 2h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,73h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 9km \times 408kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 2415,3 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 2km \times 268kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 2h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,73h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 17km \times 268kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 565,4 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_3 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 7km \times 315kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 2h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,73h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 12km \times 315kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 1414,7 \frac{\text{€}}{a}$$

Tuloksista voidaan huomata, että yhteenlaskettu vuosisäästö kauko-ohjattavien erottimien ansiosta olisi noin 730 €.

Seuraavaksi laskettiin Järvenkylä-johtolähdölle kauko-ohjattavan erottimen tuomaa säästöä, kun kuvassa 8 esiintyvä erotin Q57 vaihdettiin kaukokäyttöiseksi. Taulukkoon 11 on kerätty lähtötiedot sekä keskeytyskustannukset ennen [K_{kj} (1)] ja jälkeen [K_{kj} (2)] kauko-ohjatun erottimen asennuksen.

Taulukko 11. Järvenkylä-johtolähdön keskeytyskustannukset kauko-ohjatulla erottimella.

Vyöhyke	Pituus (km)	Keskiteho (kW)	K_{kj} (1) (€/a)	K_{kj} (2) (€/a)
K1	10	502	1980,4	1786,6
K2	6	38	120,4	96

Luotettavuuslaskenta, kun verkossa kauko-ohjattu erotin:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 502kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,7h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 6km \times 502kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 1786,6 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 6km \times 38kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 0,7h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 38kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 96 \frac{\text{€}}{a}$$

Laskelmien perusteella asentamalla kauko-ohjattava erotin Järvenkylä-johtolähdölle keskeytyskustannuksien säästö olisi yhteensä 218,2 € vuodessa.

Vedenoja-johtolähdön laskelmat tehtiin siten, että kuvan 9 erotin Q19 korvattiin kauko-ohjatulla erottimella. Taulukossa 12 on vyöhykkeiden pituudet, keskitehot, keskeytyskustannukset nykyverkolla [K_{kj} (1)] ja keskeytyskustannukset kauko-ohjatulla erottimella [K_{kj} (2)].

Taulukko 12. Vedenoja-johtolähdön keskeytyskustannukset kauko-ohjatulla erottimella.

Vyöhyke	Pituus (km)	Keskiteho (kW)	$K_{kj}(1)$ (€/a)	$K_{kj}(2)$ (€/a)
K1	10	615	4727,5	4094,3
K2	16	440	4551,9	4268,8

Luotettavuuslaskenta, kun verkossa kauko-ohjattu erotin:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 615kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,8h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 16km \times 615kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 4094,3 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 16km \times 440kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,8h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 440kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 4268,8 \frac{\text{€}}{a}$$

Laskelmien perusteella vuotuinen säästö olisi 916,3 €, kun kauko-ohjattu erotin on asennettu.

Viimeisenä tarkastelukohteena oli Merikaarto-johtolähtö, jossa kuvan 10 erottimet Q11 ja Q12 korvattiin kauko-ohjattavilla erottimilla. Vyöhykkeet pysyivät näin ollen samoina kuin nykyverkon laskennassa. Taulukossa 13 on esitetty laskelmasa tarvittavat lähtötiedot sekä keskeytyskustannukset nykyverkolla [$K_{kj}(1)$] ja kauko-ohjattavilla erottimilla [$K_{kj}(2)$].

Taulukko 13. Merikaarto-johtolähdön keskeytyskustannukset kauko-ohjatulla erottimella.

Vyöhyke	Pituus (km)	Keskiteho (kW)	$K_{kj}(1)$ (€/a)	$K_{kj}(2)$ (€/a)
K1	3	85	153,8	110
K2	2	133	210,4	130,5
K3	4	368	749,3	630,9

Luotettavuuslaskenta, kun verkossa kauko-ohjattu erotin:

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 3km \times 85kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1h \right) +$$

$$0,05 \frac{1}{a,km} \times 6km \times 85kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 110 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 2km \times 133kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1h \right) +$$

$$0,05 \frac{1}{a,km} \times 7km \times 133kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 130,5 \frac{\text{€}}{a}$$

$$K_3 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 4km \times 368kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1h \right) +$$

$$0,05 \frac{1}{a,km} \times 5km \times 368kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,2h \right) = 630,9 \frac{\text{€}}{a}$$

Taulukosta 13 ja laskelmista nähdään, että kauko-ohjattavien erottimien tuoma kytkentäajan muutos toisi Merikaarto-johtolähdölle 242,1 euron vuotuisen säästön.

4.3 Luotettavuuslaskenta verkkokatkaisijalla

Verkkokatkaisijalla saavutetaan suurin hyöty johtolähdöillä, joissa on alkupäässä suuri keskiteho ja verkkokatkaisijan taakse jäävän verkon pituus on suuri. Tämän vuoksi tässä laskennassa ainoastaan Vedenoja-johtolähtö otettiin tarkasteluun.

Verkkokatkaisijan luotettavuuslaskenta tehtiin samalla kaavalla kuin edellisinkin laskennat, mutta verkkokatkaisijan ja sähköaseman väliselle vyöhykkeelle edellisissä laskennoissa vaikuttanut loppupään rajoittamiseen tarvittava kytkentäaika jätettiin huomioimatta. Tämä johtuu siitä, että loppupäässä tapahtuvat viat eivät vaikuta verkkokatkaisijan ja sähköaseman väliselle osuudelle. Loppupään luotettavuuslaskentaan ei verkkokatkaisija vaikuta, joten sen keskeytyskustannukset pysyvät samana kuin nykyverkolla.

Verkkokatkaisijan luotettavuuslaskennassa käytettiin vikataajuutena avojohdon yleistä vikataajuusarvoa. Keskeytyskustannusten arvotus kertoimina käytettiin kotitalous-asiakasryhmän arvoja laskennan yksinkertaistuksen vuoksi ja kytkentäaikana 0,5 tuntia. Nämä arvot on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Luotettavuuslaskennassa käytetyt arvot.

	Odottamattomat keskeytykset	Suunnitellut keskeytykset
Vikataajuus (1/km,a)	0,05	0,05
Kytentäaika (h)	0,5	
Keskeytyskustannusten arvoitus (kotitalous)	0,36 €/kW	0,19 €/kW
	4,29 €/kWh	2,21 €/kWh

Lähtötiedoiksi luotettavuuslaskentaan tarvittiin johtolähdön vyöhykkeiden pituus, suunniteltujen keskeytysten keskimääräinen kytkentäaika, odottamattomien keskeytysten keskimääräinen korjausaika ja vyöhykkeiden keskiteho. Nämä lähtötiedot on kerätty taulukkoon 15.

Taulukko 15. Verkkokatkaisijan luotettavuuslaskennan lähtötiedot Vedenjojohtolähdölle.

	Pituus (km)	Korjausaika odottamattomat (h)	Kytentäaika suunnitellut (h)	Keskiteho (kW)
K1	10	1,8	1,4	615
K2	16	1,8	1,4	440

Sijoitetaan lähtöarvot kaavaan (2):

$$K_1 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 615kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,8h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) = 3495,0 \text{ €/a}$$

$$K_2 = 0,05 \frac{1}{a,km} \times 16km \times 440kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 1,8h + \frac{0,19\text{€}}{kW} + \frac{2,21\text{€}}{kWh} \times 1,4h \right) + 0,05 \frac{1}{a,km} \times 10km \times 440kW \times \left(\frac{0,36\text{€}}{kW} + \frac{4,29\text{€}}{kWh} \times 0,5h \right) = 4551,9 \frac{\text{€}}{a}$$

Nykyverkolla Vedenjojohtolähdön keskeytyskustannukset vyöhykkeellä K₁ on 4727,5 €/a ja verkkokatkaisijalla tämän vyöhykkeen keskeytyskustannukset on 3495,0 €/a. Vyöhykkeen K₂ keskeytyskustannukset pysyvät samana. Vuotuinen säästö olisi 1232,5 €/a, kun verkkokatkaisija olisi asennettu.

4.4 Annuiteetin laskenta

Annuiteetti tarkoittaa vuotuista tasasuuruista kustannuserää, joka tarvitaan pääoman kuolettamiseksi ja korkokulujen maksamiseksi pitoaikana. Esimerkiksi investointikustannus saadaan muutettua vuosikustannuksiksi annuiteetti laskennan avulla. Vuosikustannuksesta voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi investointiratkaisuja suunnitellessa. Investoinnilla saavutettavia säästöjä voidaan verrata investoinnin vuotuiserään. Annuiteetti ε lasketaan yhtälöllä:

$$\varepsilon = \frac{\frac{p}{100}}{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}} \quad (3)$$

jossa p = korko ja t = investoinnin tarkastelu-aika vuosina

Investoinnin pitoajan ollessa pitkä, esimerkiksi 40 vuotta, annuiteettiin vaikuttaa suurimmaksi osaksi korkoprosentti. Lyhyellä pitoajalla vuotuinen pääoman lyhennys on suurin tekijä. Taulukossa 16 on esillä muutamia esimerkkejä annuiteettikertoimista erisuuruusilla koroilla ja pitoajoilla. /5/

Taulukko 16. Esimerkkejä investoinnin annuiteetista.

Korko %/a	Aikajakso, a	Annuiteettikerroin
4	5	0,23
	20	0,074
	40	0,051
8	5	0,25
	20	0,10
	40	0,084

Kauko-ohjattavan erottimen ja verkkokatkaisijan annuiteettia laskettaessa aikajaksoksi valittiin 40 vuotta ja korkoprosentiksi 5 %. Kauko-ohjatun erotinaseman (2 erotinta) hinta on noin 16 000 € ja verkkokatkaisijan hinta on noin 22 000 €.

Sijoitetaan lähtötiedot kaavaan (3), josta saadaan vuosikustannus:

$$\frac{\frac{5}{100}}{1 - \frac{1}{(1 + \frac{5}{100})^{40}}} \times 16\,000 \text{ €} = 932,5 \text{ €/a}$$

$$\frac{\frac{5}{100}}{1 - \frac{1}{(1 + \frac{5}{100})^{40}}} \times 22\,000 \text{ €} = 1282,1 \text{ €/a}$$

Laskelmien mukaan vuotuinen kustannus kauko-ohjattavalle erotinasemalle olisi noin 930 €/a ja verkkokatkaisijalle noin 1280 €/a.

4.5 Luotettavuuslaskennan lopputulokset

Taulukkoon 17 on kerätty laskelmissa käytettyjen johtolähtöjen nykyverkon keskeytyskustannukset $K_{kj}(1)$, keskeytyskustannukset, kun kauko-ohjattava erotin asennettu $K_{kj}(2)$, investoinnilla saatava säästö $K_{kj}(1) - K_{kj}(2)$ sekä kauko-ohjattavan erottimen (ϵ_k) vuotuinen kustannus.

Taulukko 17. Keskeytyskustannukset ja kauko-ohjattavan erottimen vuotuinen kustannus.

Johtolähtö	$K_{kj}(1)$ (€/a)	$K_{kj}(2)$ (€/a)	$K_{kj}(1) - K_{kj}(2)$ (€/a)	ϵ_k (€/a)
Ojaniemi	2107,8	1772	335,8	932,5
Asemanseutu	5168,1	4395,4	772,7	932,5
Järvenkylä	2100,8	1882,6	218,2	932,5
Vedenoja	9279,4	8363,1	916,3	932,5
Merikaarto	1113,5	871,4	242,1	932,5

Taulukon 17 perusteella kauko-ohjattavien erottimien vuotuinen säästö ei ole millään johtolähdöllä suurempi kuin kauko-ohjattavan erottimen vuotuinen kustannus, kun aikajakso on 40 vuotta, korkoprosentti on 5 % ja kauko-ohjattavan erottimen hankintahinta on 16 000 €.

Verkkokatkaisijan vuotuinen kustannus, aikajaksolla 40 vuotta, korkoprosentilla 5 % ja verkkokatkaisijan hankintahinnan ollessa 22 000 €, olisi 1282,1 €/a. Laskelmien mukaan Vedenoja-johtolähdöllä saavutettu keskeytyskustannusten vuotuinen säästö olisi 1232,5, joka ei myöskään aivan riittäisi kattamaan verkkokatkaisijan vuotuista kustannusta.

Laskelmat ovat käsin laskettuja, mikä aiheuttaa tuloksiin vääristymiä. Laskennassa käytettiin ainoastaan kotitalous-asiakasryhmän KAH-arvoja, mikä tekee jo suuren vaikutuksen laskujen lopputuloksiin. Investointivaihtoehtojen annuiteettia laskettaessa käytettiin ainoastaan yhtä korkoprosenttia, jonka vuoksi keskeytyskustannusten kattavuus investoinnin vuotuisen kustannukseen on suuntaa antava. Esimerkiksi korkoprosentin ollessa 3 % kauko-ohjattavan erottimen vuosipoistoksi tulisi noin 690 €/a, jolloin johtolähtöjen Asemanseutu ja Vedenoja keskeytyskustannusten muutos kattaisi kauko-ohjattavan erottimen vuosipoiston.

5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden hyödyntämistä Hiirikosken Energia Oy:n sähkönjakeluverkossa. Tutkiminen suoritettiin laskemalla jakeluverkon keskeytyskustannuksia eri johtolähdöille. Laskenta suoritettiin käsilaskennalla, joten tulokset eivät ole täysin paikkansa pitäviä. Laskentatulokset ovatkin vain suuntaa antavia ja lopullisiin investointien kannattavuuksiin vaikuttaa monta asiaa.

Hiirikosken Energia Oy:n sähkönjakeluverkossa tulee tapahtumaan muutoksia, mikä tulee vaikuttamaan mm. johtolähtöjen kuormitukseen. Tämän vuoksi jotkin tässä työssä tehdyt laskelmat eivät päde muutosten jälkeen. Keskeytyskustannusten aleneminen on vain eräs hyöty, joka kauko-ohjattavilla erottimilla ja verkkokatkaisijoilla saavutetaan.

Tarkastellessa keskeytyskustannusten kattavuutta investoinnin vuosipoistoon pitää ottaa myös huomioon, että jokaisessa laskenta paikassa oli jo valmiiksi erotin, jolloin siihen ei välttämättä tarvitse investoida kuin erottimen moottoriohjain sekä kommunikointiin tarvittavat osat.

6 LOPPUSANAT

Opinnäytetyön tekeminen oli haastava ja opettavainen kokemus. Työtä tehdessä suurimmat vaikeudet koin luotettavuuslaskennan kanssa. Laskentaan vaikuttavia asioita oli paljon, mikä hankaloitti käsin laskentaa. Laskentamalleja oli hankala löytää ja lopputulosten oikeellisuus oli vaikeaa määrittää. Laskelmat saatiin kuitenkin tehtyä ja lopputuloksena saatiin suuntaa antavat laskentatulokset keskeytyskustannuksista.

Opinnäytetyön tekemisen yhteydessä opin paljon sähkönjakelun keskeytyksiin liittyvistä vaatimuksista ja niiden vähentämiseen vaikuttavista tekijöistä. Opin myös uusia asioita jo ennestään tutuista kauko-ohjattavista erottimista ja verkkokatkaisijoista.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Energiateollisuus. Keskeystilasto-ohje 2006 v.3.1.
- /2/ Heiskanen, Marko. Insinöörityö. Kainuun Sähkö Oyj:n viestiverkon kehittäminen. 2002.
- /3/ Hiirikosken Energia Oy:n verkkosivut. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.hiirikoskenenergia.fi>
- /4/ Korppinen, Leena. Sähkövoimatekniikkaopus. 1998.
- /5/ Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo. Sähkönjakelutekniikka. 2008. Otatieto.
- /6/ Netcontrol Oy:n verkkosivut. Saatavilla www-muodossa:
<URL:http://www.netcontrol.com>
- /7/ Partanen, Jarmo, Matikainen, Mika & Järventausta, Pertti. Tilaustutkimusraportti. Sähkönjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja-arvot sekä sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettavien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. 2006.
- /8/ Rämä, Jukka. Kandidaattityö. Sähkönjakelun luotettavuusindeksit ja laskenta. 2008.
- /9/ Tamsi, Toni. Opinnäytetyö. Verkkokatkaisija-aseman liittäminen MicroSCADA-käytönvalvontajärjestelmään. 2010.