

Viivi Hämäläinen

# Vianpaikannuksen lisääminen Imatran Seudun Sähkön siirto Oy:n 20 kV ilmajohtoverkkoon

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Viivi Hämäläinen
Työn nimi	Vianpaikannuksen lisääminen Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n 20 kV ilmajohtoverkkoon
Toimeksiantaja	Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy
Vuosi	2024
Sivut	35 sivua, liitteitä 5 sivua
Työn ohjaaja(t)	Kalle Pesonen, Tero Karjola

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön päällimmäisenä tarkoituksena oli tutkia ja tutustua Suomen markkinoilla olemassa oleviin vianpaikannuslaitteisiin sekä niiden toimintaan. Tavoitteena oli löytää potentiaalisia vaihtoehtoja vianpaikannuksen toteuttajaksi Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n jakeluverkkoon, sillä verkossa ei vielä ollut vianpaikannusta. Vianpaikannuslaitteisiin tutustumisen ohessa tutkittiin myös erotinasematuotteita, sillä työhön valittujen kahden johtolähdön erotinasemat ovat tulossa käyttöikänsä päähän, samoin kun moni muu erotinasema verkon alueella.

Sekä asiakkaiden että viranomaisten jatkuvasti kiristyvät vaatimukset vaativat verkkoyhtiöitä kehittämään verkkoaan mahdollisimman toimitusvarmaksi ja vikojen rajaamista sekä estämistä mahdollisimman tehokkaaksi. Vianpaikannus on yksi kokonaisuus, jolla on mahdollista vaikuttaa asiakkaiden kokemiin sähkönjakelun häiriöihin. Vianpaikannuksen tarkoitus on esittää vian fyysinen sijainti kartalla mahdollisimman tarkasti ja tarjota viasta tarkkaa dataa, jonka avulla voidaan päätellä vian aiheuttaja. Tämä nopeuttaa vian rajaamista sekä sen korjaamista, joka puolestaan lyhentää sähkökatkojen aikaa, kun vian etsimiseen ei kulu turhaa aikaa.

Työtä varten tutustuttiin useaan eri toimijaan ja heidän laitteisiinsa, ja opinnäytetyöhön valittiin niistä viisi, joita vertailtiin keskenään sekä tutkittiin tarkemmin. Kaikista työhön valituista tuotteista pyydettiin tarjoukset ja niiden pohjalta tehtiin investointilaskelmat.

Tutkimuksen tuloksena saatiin Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:lle tietoa markkinoilla olevista vianpaikannuksen vaihtoehdoista sekä laskelmien avulla dataa niiden kannattavuudesta. Saatujen tietojen pohjalta Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n kahden 20 kV:n johtolähdön vianpaikannuksen toteuttajaksi ehdotetaan Safegrid Oy:tä.

**Asiasanat:** Sähkönjakeluverkot, vianpaikannus, käyttövarmuus, keskijänniteverkko, kauko-ohjattava erotin, viankorjaus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Viivi Hämäläinen
Thesis title	Adding fault location to Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy's 20 kV overhead line network
Commissioned by	Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy
Time	2024
Pages	35 pages, 5 pages of appendices
Supervisor	Kalle Pesonen, Tero Karjola

## ABSTRACT

The main purpose of this thesis was to investigate the existing fault location devices and their operation on the Finnish market. The goal was to find potential alternatives for fault location for Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy's distribution network because there was no fault location in the network yet. In the thesis, we also found out what kind of remote control disconnectors there are on the market, because Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy's remote control disconnectors are coming to the end of their life cycle, as are many other disconnectors in the network.

The ever-tightening requirements of both, consumers and regulatory officials require network companies to develop their network to be as reliable as possible and require to limit and prevent faults as efficiently as possible. Fault location is one of the ways to achieve those goals. The purpose of fault location is to show the physical location of the fault on a map as accurately as possible and to provide accurate data about the fault that can be used to deduce the cause of the fault. This speeds up fault isolation and repair, which in turn reduces the time of power outages by not wasting time searching for the fault.

For the thesis, we got to know several different operators and their devices, and five of them were selected for the thesis, which were compared with each other and studied in more detail. Offers were requested for all the products selected for the job and investment calculations were made based on them.

As a result of the thesis, Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy was provided with information on the fault location options available on the market and, through calculations, data on their profitability. Based on this information obtained, Safegrid Oy is proposed as the fault location provider for the two 20 kV overhead lines of Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy.

**Keywords:** Electrical distribution networks, fault location, reliability, medium-voltage, remote control disconnector, repairing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	IMATRAN SEUDUN SÄHKÖNSIIRTO OY .....	7
2.1	Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n jakeluverkko .....	7
3	SÄHKÖNJAKELUVERKKO .....	8
3.1	Kannustimet .....	9
3.2	Sähkönjakeluverkon keskeytykset .....	11
3.2.1	Keskeytysten aiheuttama haitta (KAH) .....	12
4	VERKON KYTKINLAITTEET .....	12
4.1	Erottimet ja erotinasemat .....	13
4.2	Katkaisijat .....	14
5	VIANPAIKANNUS .....	15
5.1	Safegrid Oy .....	15
5.2	Sonepar Suomi Oy .....	17
5.3	Netcontrol Oy .....	19
5.4	P2 Engineering Oy .....	21
5.5	Ensto .....	22
5.6	Yhteenveto .....	24
6	VALITUT JOHTOLÄHDÖT .....	26
7	TULOKSET JA YHTEENVETO .....	27
8	POHDINTA .....	29
	LÄHTEET .....	32

KUVALUETTELO

LIITTEET

## TERMIT JA LYHENTEET

AJK	Aikajälleenkytkentä
PJK	Pikajälleenkytkentä
PJ	Pienjännite 0,4 kV
KJ	Keskijännite 20 kV
DMS	Distribution Management System, käytöntukijärjestelmä
SCADA	Supervisory Control And Data Aquisition, käytönvalvontajärjestelmä
EA	Eroinasema
RTU	Remote Terminal Unit, kaukokäyttölaite, ala-asema
KAH	Keskeytysten aiheuttama haitta
OPEX	Operatiiviset kustannukset
IRR-%	Internal Rate of Return, sisäinen korko

## 1 JOHDANTO

Toimivan ja keskeytymättömän sähköjakelun merkitys kasvaa vuosi vuodelta. Sähkömarkkinalaki ja Energiavirasto määrittää raamit, joiden mukaan sähköverkkoyhtiöiden on toimittava ja suunniteltava verkkoa, jotta se täyttää laatu- ja toimitusvarmuusvaatimukset. /1; 2/. Myös asiakkaiden tarpeet ja toiveet on otettava huomioon verkon kehittämisessä ja suunnittelussa.

Sähkömarkkinalain mukaan jakeluverkko on suunniteltava, rakennettava ja ylläpidettävä siten, ettei jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia ja asemakaava-alueen ulkopuolella yli 36 tuntia kestävää sähköjakelun keskeytystä. Jakeluverkkoyhtiöiden täytyy saavuttaa nämä vaatimukset vuoden 2036 loppuun mennessä. /1; 2; 3./ Kiristyvät vaatimukset ajavat verkkoyhtiöitä kehittämään esimerkiksi sähköverkon vikojen rajaamista ja vikojen löytämistä entistä tehokkaammaksi.

Yksi osa-alue vikakeskeytysten aiheuttamien haittojen ehkäisyssä ja vähentämisessä on vianpaikannus. Lyhyesti sanottuna vianpaikannuksen tarkoitus on tunnistaa vian sijainti verkossa mahdollisimman tarkasti, jolloin sähköjen palautus verkon ehjiin osiin on nopeampaa ja vian korjaus tehokkaampaa, kun vian etsimiseen kuluu aiempaa vähemmän aikaa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia markkinoilla olevia vianpaikannuslaitteita sekä erottimia, joiden avulla voitaisiin pienentää Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n verkossa tapahtuvien sähköjakelun keskeytyksien aikaa kehittämällä nykyisiä erottimia sekä lisäämällä verkkoon vianpaikannuslaitteita. Tavoitteena on saada tehtyä suunnitelma siitä, mihin ja millaisia vianpaikannuslaitteita verkkoon olisi kannattavaa lisätä, jotta vikojen etsintä ja niiden korjaaminen olisi mahdollisimman nopeaa ja vaivatonta. Työn valmistumisen jälkeen sitä olisi tarkoitus käyttää pohjana verkkoon tehtävien muutosten toteutuksessa.

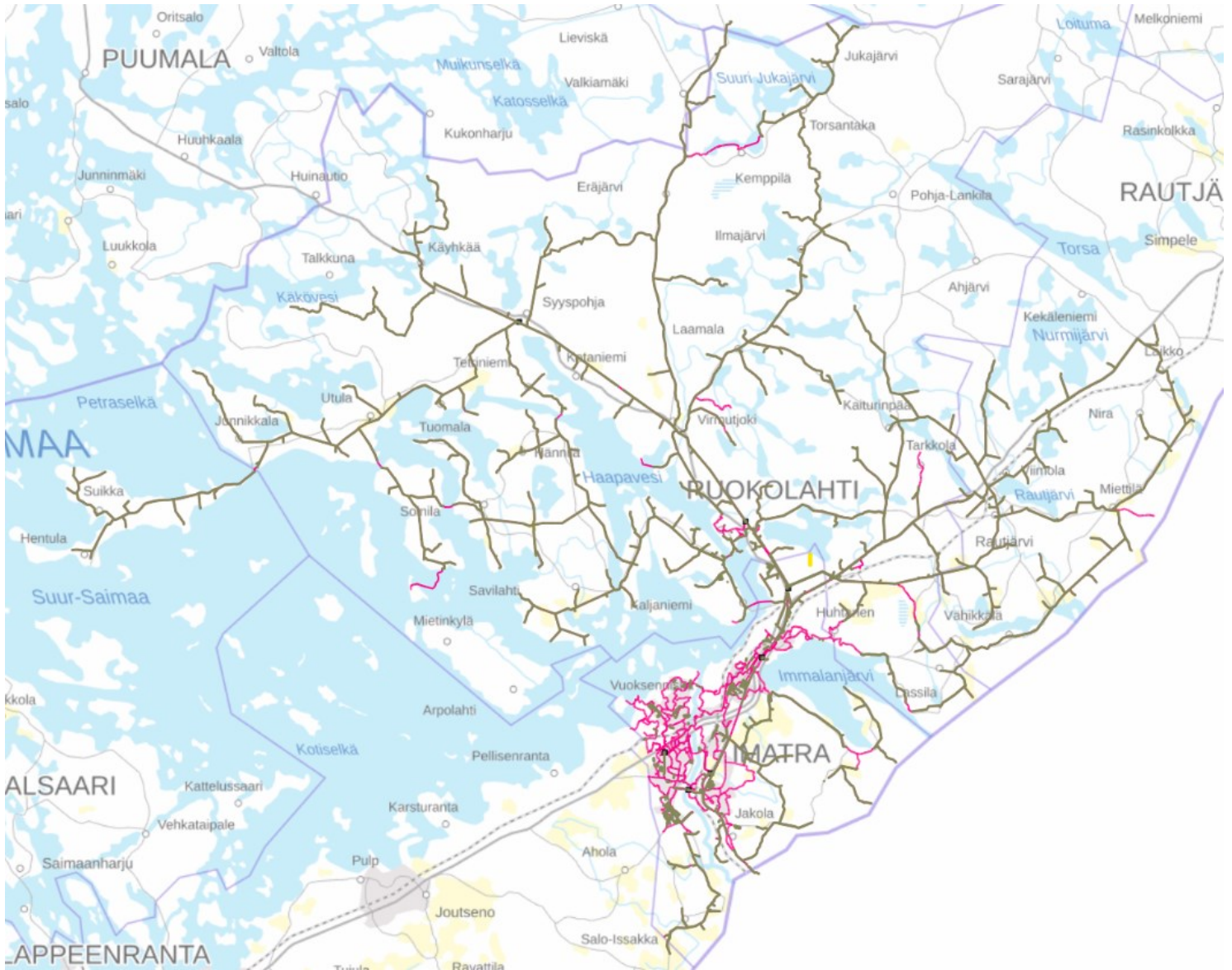
Työssä käydään aluksi läpi taustatietoja Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:stä ja sen keskijännitejakeluverkosta sekä yleisesti sähkönjakeluverkkojen toimintaa, sen vikoja ja keinoja, jotka vaikuttavat sähköverkkojen kehittämiseen. Näiden jälkeen käydään läpi erilaisia verkon kytkinlaitteita, niiden toimintaa ja Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n nykyisten erotinasemien sijaintia ja kuntoa. Seuraavaksi tarkastellaan vianpaikannusta ja sen tarkoitusta ja vertaillaan muutamia yrityksiä ja heidän tarjoamia ratkaisuja keskijänniteilmajohtoverkon vianpaikannukseen, jonka jälkeen esitellään kaksi valittua johtolähtöä, joihin vianpaikannus olisi tarkoitus ottaa ensimmäisenä käyttöön. Lopussa käydään läpi tuloksia ja pohdintaa työhön sekä yleisesti aiheeseen liittyen.

## **2 IMATRAN SEUDUN SÄHKÖNSIIRTO OY**

Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy (myöhemmin ISSS Oy) on Kaakkois-Suomessa toimiva Imatran Seudun Sähkö Oy:n 100-prosenttisesti omistama verkkoyhtiö. Se vastaa sähkönjakelusta ja siirrosta sekä rakentaa ja ylläpitää jakeluverkkoa Imatran, Ruokolahden ja Rautjärven alueella. Lisäksi yksikön tehtäviin kuuluvat verkon suunnittelu, käyttö ja kunnossapito. /4; 5./

### **2.1 Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n jakeluverkko**

Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n verkko muodostuu pääasiassa ilmajohtoverkosta. Keskijänniteverkkoa jakelualueella on noin 904,7 km, josta maakaapelia 227,4 km. Pienjänniteverkkoa on noin 1963,1 km, josta maakaapelia 1216,6 km. Säävarman verkon osuus on tällä hetkellä 67,6 %. Jakeluverkon alueella on yhteensä 7 sähköasemaa ja 748 muuntamoaa. /5./ Käyttöpaikkoja Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n verkossa on vajaa 25 000 kappaletta. Kuvassa 1 on esitetty ISSS Oy:n jakeluverkon alue ja KJ-verkko kartalla.



Kuva 1. ISSS Oy:n keskijänniteverkko

### 3 SÄHKÖNJAKELUVERKKO

Sähköverkko on järjestelmä, jossa voimalaitoksissa tuotettu sähköenergia jaetaan sitä kuluttaville asiakkaille. Se muodostuu suurjännitteisestä 110 kV jakeluverkosta, sähköasemista, 20 kV keskijänniteverkosta, muuntamoista sekä 400 V pienjänniteverkosta. /6/. Sähkönjakeluverkon rakennetta on havainnollistettu kuvassa 2, jossa on myös esitetty jakeluverkkoon kuulumattomat voimalaitos sekä 400 kV kantaverkko.





Kuva 2. Sähkönjakeluverkon rakenne

Luvanvaraista sähköverkkotoimintaa saa harjoittaa ainoastaan Energiaviraston myöntämällä sähköverkkoluvalla. Jakeluverkonhaltijan sähköverkkoluvassa määrätään kullekin verkkoyhtiölle oma jakelualue, jolla verkkoyhtiö voi harjoittaa liiketoimintaa yksinoikeudella ja johon liittyvät verkonhaltijan oikeudet, velvoitteet sekä vastuut. /7./

Energiavirasto myös valvoo verkon kehittymistä ja toimitusvarmuuden toteutumista. Jakeluverkon toimintavarmuus kuvaa sähkönjakelun luotettavuutta ja siihen liittyviä erilaisia sähköntoimituksen keskeytyksiä. ”Sähköverkon kehittämisvelvollisuutta täydentää sähkönjakelun toiminnan laatuvaatimukset, joiden mukaan myrskyn tai lumikuorman seurauksena sähkönjakeluun ei saa aiheutua asemakaava-alueilla yli 6 tunnin ja asemakaava-alueiden ulkopuolella yli 36 tunnin keskeytystä.” /2;3./

### 3.1 Kannustimet

Verkon kehittämiseksi ja verkkotoiminnan tehostamiseksi Energiavirasto on laatinut kannustimia, joiden avulla pyritään ohjaamaan toimintaa ja kannustamaan investointeihin. Tällaisia kannustimia ovat investointikannustin, laatukannustin, tehostamiskannustin, innovaatiokannustin ja joustokannustin. /8./

Investointikannustimen avulla pyritään ohjaamaan verkonhaltijaa tekemään kustannustehokkaasti investointeja ja se mahdollistaa kohtuullisten investointikustannusten perimisen asiakkailta. Kannustin muodostuu

yksikköhintojen muodostamasta kannustinvaikutuksesta sekä oikaistusta jälleenhankinta-arvosta laskettavasta tasapoistosta. /8./

Laatukannustimen avulla kannustetaan verkonhaltijaa kehittämään sähkönsiirron laatua lain edellyttämää vähimmäistasoa paremmaksi sekä saavuttamaan vähintään sähkömarkkinalain edellyttämä toimitusvarmuustaso. Laatukannustimessa verkonhaltijan on tehtävä vuosittain laskenta toteutuneista keskeytyskustannuksista. /8./ Keskeytysten aiheuttamasta haitasta on kerrottu tarkemmin luvussa 3.2.1.

Tehostamiskannustimen ajatuksena on ajaa verkonhaltijaa toimimaan mahdollisimman kustannustehokkaasti. Toiminnan katsotaan olevan kustannustehokasta silloin, kun sen toimintaan käytetyt kustannukset ovat mahdollisimman pienet suhteessa tuotoksiin. Tehokkuustarkastelu on jaettu dynaamiseen ja staattiseen tehokkuuteen. Staattinen tehokkuus tarkastelee tehokkuutta tietyllä aikavälillä suhteessa muihin verkkoyhtiöihin ja kannustaa tehottomampia yhtiöitä toimimaan tehokkaammin. Dynaaminen tehokkuus tarkastelee teknologista kehitystä yli ajan sekä kannustaa jo tehokkaasti toimivia yhtiöitä tehostamaan toimintaansa entistä enemmän. /8./

Innovaatiokannustimen avulla yritetään kannustaa verkonhaltijaa kehittämään uusia ratkaisuja ja ottamaan niitä käyttöön. Yksi keskeinen tavoite on älykkäiden sähköverkkojen kehitys ja käyttöönotto. Energiavirasto kannustaa verkonhaltijaa aktiiviseen tutkimus- ja kehitystoimintaan vähentämällä kohtuulliset tutkimus- ja kehityskustannukset toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa. /8./

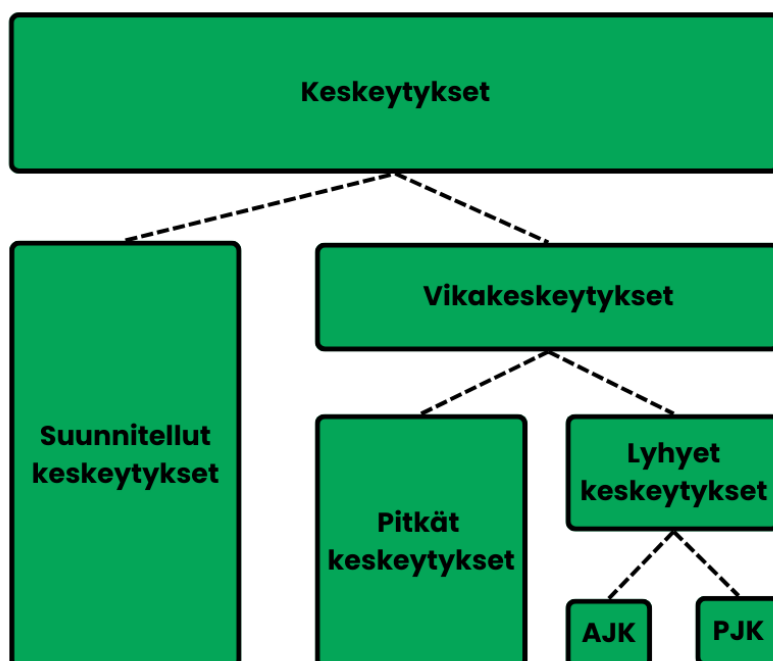
Joustokannustin kannustaa verkonhaltijaa joustoratkaisujen kehittämiseen ja hyödyntämiseen sekä innovatiivisten hankkeiden toteuttamiseen. Nyt meneillään olevan valvontajakson aikana 2024–2027 tarkoitus olisi nimenomaan kannustaa kehittämään ja seuraavan valvontajakson 2028–2031 aikana ottamaan käyttöön kehitettyjä ratkaisuja. /8./

### 3.2 Sähkönjakeluverkon keskeytykset

Sähköverkon keskeytykset voidaan jakaa kahteen kategoriaan: suunnitellut keskeytykset ja vikakeskeytykset. /9/. Suunniteltuja keskeytyksiä ovat ne, joista on ilmoitettu etukäteen sähkönkäyttäjille, ja tällaisia voivat olla esimerkiksi huolto- ja kunnossapitotöistä, raivauksesta ja verkon rakennuksesta johtuvat keskeytykset.

Vikakeskeytykset ovat puolestaan keskeytyksiä, jotka tulevat odottamattomasti sekä asiakkaille että verkkoyhtiölle. Vikakeskeytysten syyt ovat yleensä luonnonilmiöstä, kuten ukkosesta tai lumikuormasta, rakenneviasta tai ulkopuolisten toimijoiden toiminnasta johtuvia. Joskus vikakeskeytyksen syy voi myös jäädä tuntemattomaksi.

Vikakeskeytykset voidaan vielä jakaa lyhyisiin ja pitkiin keskeytyksiin. Pitkät keskeytykset kestävät yli 3 minuuttia ja lyhyet alle 3 minuuttia. Lyhyet keskeytykset saadaan yleensä hoidettua aika- tai pikajälleenkytkentöjen avulla. /9./ Lyhyen keskeytyksen voi aiheuttaa esimerkiksi ilmajohdon päälle pudonnut risu. Pitkäaikaista keskeytystä ei saada hoidettua jälleenkytkentöjen avulla, vaan vaatii yleensä korjaustoimenpiteitä vikaantuneessa kohteessa. Sähkönjakelun keskeytyksien tyypit ja jakautuminen on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Sähköverkon keskeytykset

Keskeytykset sähköjakelussa aiheuttavat aina kustannuksia verkonhaltijalle. Verkonhaltija menettää tuloa toimittamatta jääneestä sähköstä, ja joissakin tapauksissa, jos keskeytys aiheutuu viasta, jonka korjaamiseksi tarvitaan henkilöstöä sekä materiaaleja voi keskeytyksen venyessä verkkoyhtiö joutua maksamaan asiakkailleen korvauksia. Lisäksi tarvittavista kunnossapitotöistä aiheutuu verkon haltijalle operatiivisia kustannuksia, kun verkkoa joudutaan korjaamaan. Keskeytyksen aiheuttamien haittojen kustannuksia käytetään laatukannustimen laskennan pohjana, jonka kautta voi myös tulla kustannuksia. Keskeytysten aiheuttamasta haitasta kerrotaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

### **3.2.1 Keskeytysten aiheuttama haitta (KAH)**

Keskeytysten aiheuttama haitta tarkoittaa asiakkaalle toimittamatta jääneen energian määrää, keskeytyksen piirissä olevien asiakkaiden kappalemäärää sekä keskeytyksen aikaa. /10/. Kun verkkoon tulee vika, se voi koskettaa vian tyypistä riippuen joko vain muutamaa tai useita tuhansia asiakkaita. Sähköttä olevien asiakkaiden kannalta varsinkin pitkät sähköjakelun keskeytykset voivat aiheuttaa suurta haittaa. KAH-arvoilla arvioidaan keskeytyksen aiheuttamaa rahallista arvoa eri kuluttajaryhmille. Kustannuksia voidaan yrittää pienentää rakentamalla verkkoa siten, että keskeytyksiltä vältyttäisiin mahdollisimman paljon tai rajaamalla keskeytysten aiheuttamaa häiriöaluetta pienemmäksi. Keskeytysten aiheuttaman haitan arviointi koostuu asiakasmäärästä, keskitehosta, keskeytysajasta sekä KAH-arvosta. /11/. Mitä pidempi keskeytys on ja mitä useampaa asiakasta se koskee, sitä suuremmat kustannukset keskeytyksestä aiheutuu.

## **4 VERKON KYTKINLAITTEET**

Sähköjakeluverkko sisältää suuren määrän erilaisia kytkinlaitteita, joilla on tärkeä tehtävä esimerkiksi vikojen rajaamisessa ja verkon kunnossapitotöiden turvallisessa tekemisessä. Kytkeinlaitteiden tarkoitus on siis muuttaa verkon kytkentätilannetta. Tällaisia kytkimiä ovat muun muassa erottimet ja katkaisijat. Kytkeinlaitteiden vianrajaaminen mahdollistaa sen, ettei vika välttämättä näy kaikille asiakkaille, kun verkon terveeseen osaan saadaan

kytkettyä sähköä ja kytkimien avulla erotettua vikaantunut verkonosa muusta verkosta irti. Kytkinlaitteet toimivat myös tarvittaessa erotuskohtina eri sähköverkkoyhtiöiden verkkojen välillä. /12./

#### **4.1 Erottimet ja erotinasemat**

Eroottimet ovat kytkinlaitteita, joiden tehtävänä on saada tietty johdon osa jännitteettömäksi ja erottaa kuorma virtapiiristä sen muodostaman avausvälin avulla. Erottimia ohjataan vain virrattomana tai pienillä virroilla, sillä niitä ei ole suojattu valokaarta vastaan. Erotinta, joka on tehty erottamaan kuormavirtoja sekä pienempiä oikosulkuvirtoja, sanotaan kuormaerottimeksi, joka on ikään kuin erottimen ja katkaisijan välimuoto. /13./

Eroottimet ovat yleensä moottori- tai käsiohjattavia ja tyypiltään linjaerottimia tai kammiollisia kuormaerottimia. Linjaerottimen katkaisukyky on 25A, kun taas kammioerottimen katkaisukyky voi olla jopa 630A. /9/. Moottoriohjattuja erottimia on mahdollista ohjata kauko-ohjauksella valvomosta, kun taas käsiohjattavan erottimen ohjauksen suorittaa asentaja erottimen luona maastossa.

Eroinasema koostuu useasta erottimesta, tyypillisesti 2–4 erottimesta. Erotinasemat kannattaa pyrkiä sijoittamaan verkon solmupisteisiin, jolloin erotinasemalta saadaan ohjattua verkkoa monen johtolähdön suuntaan virrattomaksi tai virralliseksi ja vikatilanteissa verkkoa on helpompi jakaa osiin solmupisteiden välillä. Erotinasemien kaukokäyttö on yksi tunnetuin ja käytetyin verkostoautomaatiotoiminto. /14./

Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n jakeluverkossa erotinasemia on tällä hetkellä yhteensä 31 kappaletta ja yksi uusi asema on valmistumassa vuoden 2024 alussa. Näistä 18 kappaletta on vanhoja Procol-asemia. Kuvassa 4 on esitetty eräs erotinasema Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n verkon alueella.



Kuva 4. Erotinasema ISSS Oy:n verkossa

## 4.2 Katkaisijat

Katkaisija on sähköverkon suojalaite, joka katkaisee jännitteisen virtapiirin vikatilanteessa asetusarvojen mukaan. Katkaisijan toiminta perustuu siihen, että katkaisijaa ohjaava rele mittaa virtaa ja jännitettä ja kun jokin tietty asetteluarvo ylittyy, rele antaa avautumiskäskyn katkaisijalle. Katkaisijan ja erottimen ero on siinä, että erotin pystyy avaamaan virtapiirin vaurioitumatta tilanteessa, jossa virta on erottimen nimellisvirran suuruinen, kun taas katkaisija pystyy avaamaan ja sulkemaan virtapiirin vaurioitumatta, kun virta on moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan nähden. Toisin sanoen katkaisija

pystyy katkaisemaan suuria vikavirtoja, johon erotin ei pysty. Valtaosa sähköverkon katkaisijoista sijaitsee sähköasemilla, mutta niitä voi olla myös muuntamoilla sekä pylväissä. /15./

## **5 VIANPAIKANNUS**

Vianpaikannus on ikään kuin toimintaprosessi, jonka tarkoituksena on löytää verkkoon tuleva vika nopeasti ja tarkasti. /16/. Yleinen käytetty vianpaikannusmenetelmä on ns. yritys-erehdys-menetelmä, jossa vikaantunutta lähtöä jaetaan osiin ja katsotaan, mille erotusvälille vika jää. Jos tämä ei ole mahdollista, vika on päällä niin kauan, kunnes johto on maastossa partioitu eli esimerkiksi kävellen silmämääräisesti käyty läpi ja vika löydetty sekä korjattu. Tämä voi toisinaan viedä paljon aikaa välimatkoista ja maastosta riippuen, ja siksi nykyään on kehitetty monenlaisia vianpaikantimia, jotka pystyvät kertomaan tarkasti vian sijainnin. /17./

Markkinoilta löytyy nykyään lukuisilta eri valmistajilta vikaindikointiin suunniteltuja ratkaisuja. Suurimmassa osassa toiminta perustuu sensoreiden ja antureiden mittaamiin vikavirta- ja jännitearvoihin. Tiettyjen asetettujen raja-arvojen ylittyessä ilmaisimet tallentavat tiedot, lähettävät ne eteenpäin ja pääättelevät saatujen tietojen perusteella vian tyypin.

Alle on valittu viisi vianpaikannukseen tuotteita kehittäneitä yrityksiä ja heidän ratkaisunsa 20kV ilmajohtoverkon vianpaikannukseen. Kriteereinä yritysten valintaan vaikutti mm. laitetuen löytyminen suomeksi sekä laitteistojen soveltuvuus suomen keskijänniteverkkoon. Suomen sähköverkko on maasta erotettua verkkoa, mutta useissa Euroopan maissa keskijänniteverkot ovat maadoitettuja ja näin ollen kaikki markkinoilla olevat vika-analysaattorit eivät sovellu suomen verkkoon. Tämän vuoksi kaikki tähän tarkasteluun päätyneistä yrityksistä on suomalaisia.

### **5.1 Safegrid Oy**

Safegrid Oy on suomalainen vuonna 2019 perustettu yhtiö, joka tarjoaa ratkaisuja sähkönsiirto- ja jakeluverkoille vianhallintaan ja -valvontaan,

älykkäiden sähköverkkojen monitorointiin ja ennakoivaan vianetsintään. /18; 19./

Safegrid's Intelligent Grid System on apuväline vikojen paikannukseen, niiden ennustamiseen ja ehkäisemiseen. Se koostuu pilvipohjaisesta valvonta- ja analytiikkaohjelmisto GridGuardianista ja Grayhawk- tai Grayfox-sensoreista. Grayhawk on tarkoitettu ilmajohtoverkkoon ja Grayfox maakaapeliverkkoon. GridGuardianin luvataan yhdessä sensoreiden avulla tunnistavan viat sekunneissa ja näyttävän vian sijainnin jopa +/- 100 metrin tarkkuudella. /18./

Sensoreiden mittaukset perustuvat suurtaajuusmittaukseen. /19/. Tällä tekniikalla voidaan havaita vikoja, joita perinteiset vikailmoituslaitteet tai verkonvalvontajärjestelmät eivät havaitse. Sensorit lähettävät mitatun datan matkapuhelinverkon välityksellä valvontajärjestelmälle. GridGuardian analysoi datan, luokittelee sen ja paikantaa tapahtuman kertoen vian suunnan sekä sijainnin. Yleisimmät vikatyypit, joita Safegridin tuotteet tunnistavat ja analysoivat, ovat mm. sekä korkea- että matalaimpedanssiset maasulkuviat, katkeilevat maasulut, oikosulkuviat sekä kytketyn ja uudelleen kytketyn kuorman viat. /18; 19./ Kyt kentätilanteiden muutokset eivät vaikuta vikojen paikantamiseen, joten erilaiset ja muuttuvat syöttötilanteet eivät tuota ongelmia. Grayhawk-sensoreita asennetaan ilmajohtoon maastosta riippuen noin 5–10 km välein eikä niiden asentaminen vaadi katkoa, jolloin asennustyö ei vaikuta negatiivisesti sähköjakeluun. /19./ Kuvassa 5 on esitetty Grayhawk-sensori pylvääseen asennettuna.





Kuva 5. Grayhawk-sensori asennettuna

GridGuardian on pilvipohjainen valvonta- ja analyysityökalu, joka muodostaa kokonaiskuvan verkon suorituskyvystä ja hälyttää kaikista verkon vioista reaaliajassa sekä analysoi Grayhawk- ja Grayfox-sensoreiden lähettämiä tietoja. /18/. Verkon topologiatiedot tuodaan Grid Guardian -karttanäkymään, jossa näkyy sähköverkko sekä asennetut Grayfox- ja Grayhawk-sensorit. Järjestelmän on tiedettävä, onko asennettujen sensoreiden väliset kaapelit avojohtoa, eristettyä johtoa vai maakaapelia, jotta se voi laskea vian tarkan sijainnin ja näyttää sen kartalla. Virtojen perusteella järjestelmä pääättelee vian tyypin ja kriittisyyden. /19./

## 5.2 Sonepar Suomi Oy

Sonepar Suomi Oy on suomalainen vuonna 1945 perustettu Suomen johtava sähkö-, automaatio- ja teletuotteiden toimittaja. Yritys tunnettiin ennen nimellä SLO Oy. /20./ Sonepar Suomi Oy tarjoaa vianpaikannukseen muun muassa automaattista vianpaikannusta FLIR:iä, joka on kehitetty yhteistyössä IVEP, Techsys ja Kuumic yhtiöiden kanssa. Erotin, moottoriohjaimet ja mittamuuntajatuotteet tulevat IVEP:iltä, vianilmaisimien Techsysiltä ja tiedonsiirron hoitaa Kuumic. F.L.I.R. on lyhenne sanoista Fault Location,

Isolation and Restoration, ja se tarkoittaa automaattista vianhallinnan ratkaisua kauko-ohjattaville erottimille. /21./

Ensimmäinen osa F.L.I.Riä on vianpaikannus eli Fault Location. Vianilmaisim on sijoitettu maastossa erottimen moottoriohjaimeen, ja mitattu tieto saadaan valvomoon tiedonsiirtoväylän avulla. F.L.I.R soveltuu sekä täysin uusiin kohteisiin, mutta sen pystyy asentamaan myös olemassa oleviin moottoriohjattuihin erottimiin AddOn-periaatteella ja se sopii kaikkiin erotinmalleihin. Virta- ja jännitemuuntajat kytketään galvaanisesti sähköverkkoon, jolloin ympäristöolosuhteet eivät vaikuta mittausarvoihin. Ne asennetaan olemassa olevan erottimen jatkeeksi ja ne mittaavat monia eri suureita ja niiden välisiä vaihesiirto kulmia, jonka takia vaiheistus pitää olla oikein vianilmaisimella. Mittausyksiköllä saadaan tarvittavat tiedot vianilmaisimelle maasulku- ja oikosulkuvioista suunnattuina. Raja-arvoista poikkeavan suureen huomatessaan laite lähettää tiedon valvomoon. /22; 23./

Vianilmaisimena toimii TECHSYS Storm Terminal -vianilmaisinyksikkö, jonka mitattuja arvoja ovat mm. vaihejännite, vaiheiden välinen jännite, vaihevirta, vaiheteho, pätö- ja loisteho, tehokerroin, taajuus ja vianilmaisus mm. oikosulkuvirroille, maasululle ja ylivirroille. Mittaussensori mittaa jännitteet ja virrat avojohtoverkosta, oli se maadoitettu tai maadoittamaton. Jännitemittauksen hoitaa kondensaattorisensorit ja virtamittauksen rogowski kela. Saadut arvot muutetaan ohjelman avulla tarvittaviksi suureiksi. Koska kyseessä on vianilmaisim, eikä releellä varustettu katkaisija, se ei vaadi määrääaikaistestauksia, joka puolestaan pienentää käyttöönotto- ja kunnossapitokustannuksia. Ilmaisim kertoo myös vian suunnan. /22./ Kuvassa 6 on esitetty vianilmaisinyksikkö.



Kuva 6. IVEP Techsys Storm Terminal - VIKA Vianilmaisinyksikkö

Muut osat F.L.I.Ristä ovat Isolation, eli erottaminen, joka yrittää erottaa vikaantuneen osan verkosta esimerkiksi erottimien avulla, sekä viimeisenä Restoration eli palauttaminen, jolloin sähköä tarjotaan takaisin ensin PJK:n ja sen jälkeen AJK:n avulla. /22/. Jos vika ei häviä kummankaan jälleenkytkennän aikana tai niiden jälkeen, on kyseessä ns. pysyvä vika.

F.L.I.R.in ”kevyempi” versio F.L.I.R Light siirtää ainoastaan kosketintietona tiedon viasta eteenpäin. ”Liikennevalotekniikka” kertoo verkon topologiassa vihreän ja punaisen valon avulla, minkä erottimien läpi vika on kulkenut. /24./

Asennustavasta riippuen asennuksen voi tehdä joko ilman sähkönjakelun keskeytystä tai keskeytyksen kautta. Järjestelmän käyttöönotto voidaan suorittaa PlugIn-ohjelmalla tietokoneella. Ohjelman avulla tarkastetaan virta- ja jännitemittausten toimivuus ja ohjelman avulla voidaan vaiheistuksia sekä virran suuntaa vaihtaa ilman kytkentämuutoksia. Tämän avulla asetetaan myös raja-arvot ylivirta- ja maasulkuhälytyksille. /23./

### 5.3 Netcontrol Oy

Netcontrol Oy on suomalainen vuonna 1991 perustettu yritys, joka on erikoistunut sähkönjakeluverkkojen automaatioon ja älykkäisiin sähköverkkoihin. Netcontrol tarjoaa laajan tuotevalikoiman verkostoautomaatioon ja tietoliikenteeseen, kuten moottoriohjaimet, kaukokäytön ala-asemat, kytkinlaitteet, radiomodeemit ja keskittimet. /25./

Netcontrollin tarjoama Netcon 200 on älykäs RTU keskijänniteverkon syöttöjen valvontaan sekä katkaisijoiden ja kytkimien kauko-ohjaukseen ja vianhallintaan. /26/. Netcon200 asennetaan moottoriohjatun erottimen RTU:ksi ja mittausyksiköksi, ja laitteisto sekä ohjaa moottoriohjainta että analysoi mittaustietoja. Tällöin vikaindikointi saadaan osaksi moottorinohjausta. /27./

Netcon 200 pitää sisällään GWDD-moduulin, jonka lisäksi voidaan valita joko VCVC- tai VCCC-moduuli sekä sensorit. Combi-sensorit hoitavat jännite- ja virtamittauksen jokaiselta vaiheelta. VCCC-moduulilta hoituu jännite- ja virtamittaus, se tunnistaa maasulut sekä oikosulut, tallentaa häiriötiedot ja siihen on mahdollista ottaa myös teho- ja energiamittaus. Näiden lisäksi myös katkeilevat maasulut sekä sähkönlaatumittaukset hoituvat. Virran mittaus tapahtuu Rogowski-kelalla ja jännitemittaus hoituu esimerkiksi Greenwood Powerin valmistamilla jännitesensoreilla. Jännitesensorin toiminta perustuu resistiiviseen jännitteenjakoon, ja sensorin tarkkuus on riippuvainen jakosuhteen tarkkuudesta. /28; 29./ Rogowski-kelan toimintaa on kuvattu tarkemmin kappaleessa 5.4. Kuvassa 7 on esitetty GWDD- ja VCVC-moduulit ja kuvassa 8 Rogowski-kela sekä Greenwood Powerin jännitesensori.



Kuva 7. GWDD- ja VCVC-moduulit



Kuva 8. Rogowski-kela ja jännitesensori

#### 5.4 P2 Engineering Oy

P2 Engineering Oy on verkostoautomaatioon keskittyvä suomalainen yritys, joka on perustettu vuonna 2016. P2 Engineering Oy:n tarjoamaa osaamista on sähkötekniisten asioiden lisäksi modernien kommunikaatioprotokollien tunteminen ja niiden käyttäminen heidän omissa tuotteissaan sekä erilaiset koulutus- ja asiantuntijapalvelut. Kaikki P2 Engineering Oy:n tuotteet ovat heidän oman tuotekehityksensä tulosta, ja ne valmistetaan Suomessa. /30./

ILMARI on vika-analysaattori 20 kV ilmajohtoille. Vika-analysaattori antaa tiedon vikapaikan suunnasta ”vika edessä”- tai ”vika takana” -tyylisesti sen asennuspaikkaan nähden. Se tunnistaa pysyvät, katkeilevat sekä transienttiset maasulut. Maasulun tunnisteherkkyys on  $< 1\text{ A}$ . Analysaattori sopii sekä sammutettuun että maasta erotettuun verkkoon. /31;32./

ILMARI koostuu 20kV ilmajohtoon asennettavista jännite- ja virtasensoreista, pylvääseen asennettavasta kotelosta, jossa on elektroniikkapiirit nollavirran mittaamiseen, mahdollinen SCADA-viestintälaitteisto akustoineen sekä vika-analysaattori Horstmann Sigma D++. /31/. Vika-analysaattori on esitetty kuvassa 9 ja sensori kuvassa 10.



Kuva 9. Horstmann Sigma D++ -vika-analysaattori



Kuva 10. ILMARI-sensori

Sensorien virranmittaus perustuu Rogowski-kelaan ja jännitteen mittaus resistiiviseen jännitteenjakajaan. Virranmittaus sopii summavirran laskemiseen sekä pienivirtaisten maasulkujen tunnistamiseen. Ilmasydäminen Rogowsky-kela mittaa virran derivaattaa, joten se toistaa induktiivista virtamuuntajaa huomattavasti tarkemmin katkeilevat ja transienttiset virrat. Sensorien asentaminen tapahtuu suoraan erottimien napoihin tai virtaköyteen. Se ei tarvitse tukirakenteita, ja se voidaan asentaa suoraan markkinoilla olevien erottimien napoihin tai käyttää esimerkiksi ENSTO KG16.1 -liitintä, johon sensorin kiskon reikäväli käy suoraan. /31;32./

Vika-analysaattorit on asennettu Fibox ARCA 504021-polykarbonaattikoteloon. Sekä analysaattori että sensorit ovat asennettavissa jälkiasennuksena olemassa olevalle kauko-ohjattavalle erotinasemalle, jolloin vika-analysaattori saa käyttöönsä erotinasemalta apusähkön, SCADA-liitynnän sekä viestinnän. /31;32./

## 5.5 Ensto

Ensto on suomalainen vuonna 1958 perustettu yritys ja teknologiayhtiö, joka kehittää älykkäitä ratkaisuja sähköjakeluverkkoihin. Ensto tarjoaa luotettavia ilmajohto- ja maakaapeliverkko-, verkostoautomaatio- ja älyteknologian tuotteita ja ratkaisuja sähköjakeluverkkoihin. /33./

Enston Protrol-tuotteet tarjoavat vikaindikaattoreita, erillisiä RTU:ita, vikaindikaattoreita RTU:lla, ohjauskeskuksia sekä virtamuuntajia ja sensoreita. Protrol-vikaindikaattoreita voi käyttää joko itsenäisinä vianilmaisimina tai niistä luodulla automaatiojärjestelmällä voidaan erottaa vikaantunut verkon osa automaattisesti. /34./



IPC-vikaindikaattori tunnistaa maasulkuviat, myös katkeilevan maasulun, ja se pystyy havaitsemaan jopa 20 000 ohmin vikoja sekä antaa erottimien ja katkaisijoiden ohjaus- ja tilatietoja. Kaikki IPC-sarjan tuotteet sopivat sekä ilma- että maakaapeliverkkoon, ja niissä on mahdollisuus erottimien ohjaukselle sekä tilatiedoille. /34./

Tähän työhön valikoitunut IPC 4022 -vikaindikaattori on varustettu RTU-toiminnolla, ja se tunnistaa viat vaihevirtoja mittaamalla. Mittauksen hoitavat johtoon asennettavat sensorit. Se voidaan asentaa keskuksen sisään pylvääseen. /34./ Kuvassa 11 on IPC 4022 -vikaindikaattori.



Kuva 11. IPC 4022 -vikaindikaattori

Enstolla on myös verkostoautomaatio-valikoimassaan kaukokäyttöisiä kuormaerottimia, jotka sisältävät vianindikoinnin. Ensto Auguste -kuormaerotinmalleja on tällä hetkellä kolme, Auguste Basic, Auguste Smart ja Auguste Extra Smart. Näistä kahdessa mallissa, Auguste Smart:ssa ja Auguste Extra Smart:ssa on vikaindikointi sekä automaattinen vianerotus mukana. /35./

Auguste Smart havaitsee maasulut sekä ylivirrat, ja siinä on summavirtamuuntaja ja suuntaamaton maasulku. Se soveltuu lyhyille haaroille, kun pitää ottaa huomioon verkon tuottama maasulkuvirta. /35;36./

Auguste Extra Smart havaitsee maasulkujen sekä ylivirtojen lisäksi myös katkeilevat maasulut. Extra Smart sisältää IPC4022 -vikaindikaattorin, ja siinä on samat vianindikointiominaisuudet kuin IPC 4022 -laitteessa. Extra Smart:ssa ei ole summavirtamuuntajaa vaan vaihevirtamuuntaja. /35;36./ Kuvassa 12 on esitetty Auguste Extra Smart -kuormaerotin.



Kuva 12. Auguste Extra Smart -kuormaerotin

## 5.6 Yhteenveto

Edellä esitellyistä laiteratkaisuista on koostettu alla oleva taulukko, johon on tiivistetysti kerrattu muutamia oleellisimpia ominaisuuksia kaikista läpikäytyistä tuotteista.



Taulukko 1. Yhteenvedo esitellyistä laitteista

	SafeGrid Safegrid's IGS / Grayhawk	Sonepar Suomi Oy F.L.I.R.	Netcontrol Oy Netcon 200	P2 Engineering Oy ILMARI	Ensto Protrol IPC 4022
Maasulku	x	x	x	x	x
Oikosulku	x	x	x	x	x
Vian suunta	x	x	x	x	x
Vian sijainti	± 100 metrin tarkkuudella	Erotinasemien väli, kertoo onko vika mennyt ohi vai ei	Erotinasemien väli, kertoo onko vika mennyt ohi vai ei	Erotinasemien väli, kertoo onko vika mennyt ohi vai ei	Erotinasemien väli, kertoo onko vika mennyt ohi vai ei
DMS/SCADA yhteensopiva	x	x	x	x	x
Asennustapa	Sensori tulee pylvään ympärille	Eroittimen moottori-ohjaimeen	Asennetaan moottoriohjatun erottimen RTU:ksi	Eroittimen napoihin tai virtaköyteen	Keskuksen sisään pylvälle
Asennuspaikka	Sensori: pylväk Safegrid's IGS: palvelin	Kauko-ohjatun erotinaseman yhteyteen	Kauko-ohjatun erotinaseman yhteyteen	Kauko-ohjatun erotinaseman yhteyteen	Kauko-ohjatun erotinaseman yhteyteen
Sähkönjakelun keskeytys asennuksen takia	Grayhawk: Ei	Asennus-tavasta riippuva	Tapauskohtainen	Kyllä	Tapauskohtainen
Soveltuvuus maasta erotettuun verkkoon	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Soveltuvuus sammutettuun verkkoon	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Katkeilevien maasulkujen tunnistus	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

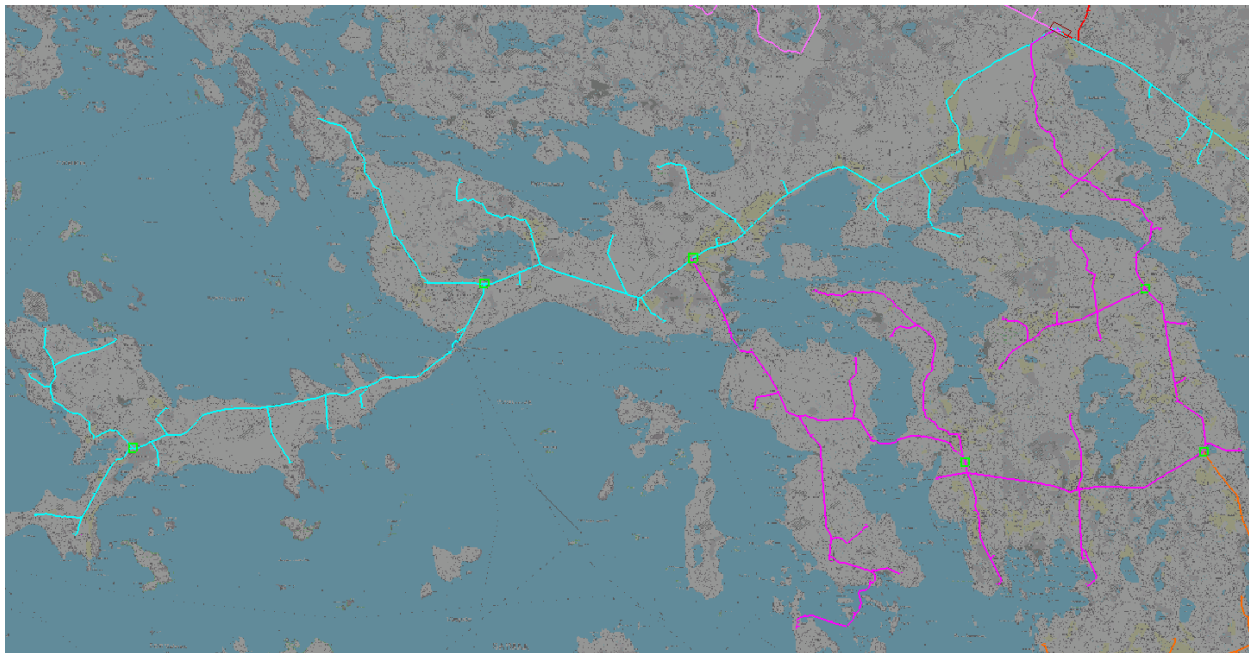
Maasulut ja oikosulut ovat melko yleisiä vikoja sähköverkossa, minkä takia vianpaikannusjärjestelmän olisi hyvä tunnistaa nämä viat ja osata kertoa, millainen vika todennäköisesti on kyseessä. Kaikki työhön valitut laitteet tunnistavat nämä viat. Jokainen tuote pystyy myös kertomaan, missä suunnassa vika sijaitsee, ja tuotteet on mahdollista saada ”keskustelemaan” DMS/SCADA-järjestelmien kanssa.

Soneparin, Netcontrolin, P2 Engineeringin ja Enston tuotteet edustavat perinteisempiä vianpaikannustuotteita, ja niiden asennus tapahtuu erotinaseman yhteyteen, kun taas Safegridin uudempaa ja erilaista tekniikkaa käyttävät tuotteet eivät tule erotinasemalle. Monissa ratkaisuissa on hyvin tapauskohtaista, tarvitaanko asennuksen vuoksi tehdä lyhyttä sähkökatkoa vai voiko esimerkiksi sensorit asentaa jännitetyönä. Kaikki tuotteet soveltuvat maasta erotettuun verkkoon, joka on yksi tärkeimmistä lähtökohdista valittaessa Suomen sähköverkkoon sopivia laitteita. Myös katkeilevien

maasulkujen tunnistus sekä soveltuvuus sammutettuun verkkoon on melko oleellista, sillä kun verkko sammutetaan, maasulkuvirrat ovat pieniä ja saattavat muuttua katkeileviksi.

## 6 VALITUT JOHTOLÄHDÖT

Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n verkossa ei ole vielä vianpaikannuslaitteita. Edellisten vuosien keskeytyskustannusten /37/ perusteella valikoitui vianpaikannuslaitteiden sijoittelun tarkasteluun kaksi johtolähtöä. Syyspohjan sähköasemalta lähtevät Kyläniemen sekä Äitsaaren lähdöt nousivat useamman vuoden KAH-kustannusten listoissa kärkisijoille. Kuvassa 13 on esitetty sinisellä värillä Kyläniemen lähtö ja liilalla Äitsaaren lähtö. Lähtöjen erotinasemat näkyvät kuvassa vihreinä neliöinä.



Kuva 13. Kyläniemen ja Äitsaaren johtolähdöt

Kyläniemen johtolähtö on noin 63 km pitkä, ja siitä noin 62 km on ilmajohtoa. Ilmajohdosta n. 88 % on puista vapaata johtolinjaa. Sähkönkäyttöpaikkoja johtolähdöllä on 433 kappaletta ja kulutettu keskiteho noin 322 kW.

Äitsaaren johtolähtö puolestaan on noin 69 km pitkä, ja siitä ilmajohtoa on 64 km. Noin 67 % on puista vapaata johtolinjaa. Tämän johtolähdön alueella käyttöpaikkoja on 520 kappaletta ja keskiteho on 320 kW.

Keskeytyshistoriasta /37/ käy ilmi, että Kyläniemen lähdössä on ollut vuodesta 2010 tämän vuoden 2024 alkuun mennessä 318 kappaletta vikoja, joista 211 on ollut pikajälleenkytkentöjä ja 31 kappaletta aikajälleenkytkentöjä. Pysyviä vikoja on siis ollut 76 kappaletta. Pisin keskeytys tällä johtolähdöllä on kestänyt 18,5 tuntia vuonna 2012, kun paikallinen raju ukkosmyrsky pyyhkäisi alueen jakeluverkon ylitse aiheuttaen tuhoa.

Äitsaaren lähdössä puolestaan on samalla aikavälillä ollut 486 kappaletta vikoja, joista 332 kappaletta pikajälleenkytkentöjä ja 72 aikajälleenkytkentöjä. Tällöin pysyviä vikoja on ollut 82 kappaletta. Tämän johtolähdön pisin keskeytys on kestänyt noin 51 tuntia vuonna 2013, jolloin Eino myrsky koetteli sähköverkkoa.

Sekä Kyläniemen että Äitsaaren lähdöissä on kolme erotinasemaa. Näistä kuudesta asemasta vain yksi on suhteellisen uusi, muut viisi ovat vanhoja ja todennäköisesti viiden vuoden sisään uusittavia.

## **7 TULOKSET JA YHTEENVETO**

Jokaiselta työssä läpikäydyltä yritykseltä pyydettiin tarjoukset kahteen valittuun johtolähtöön sekä vianpaikannuksesta että erotinasematuotteista, ja niiden pohjalta tehtiin kannattavuuslaskelmat. Työhön päätyneet laskelmat tehtiin vain vianpaikannuksen kustannuksien osalta.

Vianpaikannus voi oikein toimiessaan nopeuttaa vian etsimistä maastosta huomattavasti, kun arpominen vian sijainnista jää pois. Nopea vianhoito puolestaan vähentää KAH-kustannuksia. Kannattavuuslaskelmia tehdessä keskeytysten aiheuttamien haittojen kustannukset mallinnettiin ja KAH-muutosta käytettiin laskelmien teossa.

Tehdyt laskelmat ovat liitteissä 1, 2, 3, 4 ja 5, mutta osien tietojen luottamuksellisuuden vuoksi liitteet eivät ole julkisia. Laskelmissa käytettiin tiettyjä oletusarvoja, sillä esimerkiksi vian rajaamisaikaa oli hankala arvioida jokaiselle eri toimijan laitteelle erikseen. Vian rajaamisajaksi oli arvioitu 5 minuuttia kaukokäyttöisen erotinaseman avulla. KAH-säästöjen

mallinnuksessa laskennan apuna toimi Excel-taulukko, johon oli laskettu kummankin valitun johtolähdön keskimääräiset vikakeskeytykset vuoden aikana, johtolähtöjen keskitehot sekä KAH-kWh:n hintana 11,16 €/kWh. Kummankin johtolähdön vuotuiseksi yhteenlasketuksi KAH-säästöksi saatiin näin ollen noin 4450 €. Myös laitteiden tekninen pitoaika laitettiin kaikille samanlaiseksi Energiaviraston yksikköjen /8/ mukaan, sillä kaikilta ei saatu vastauksia pitoajoista. Kannattavuuslaskelmiin laskettiin itse investoinnin lisäksi myös asennuskustannuksia, jotta kulut saataisiin vastamaan mahdollisimman hyvin todellisuutta. OPEX-kustannusten suhteen arvoitiin, että laitteiden kunnossapitokustannukset ja vianpaikannuksesta saatavien hyötyjen suhde on +- 0 kaikkien muiden paitsi Safegridin osalta. Safegridille laskettiin mukaan OPEX-kustannuksia noin 500 €/vuosi. Safegridin tarkempi vianpaikannus säästää aikaa vian etsimisen ajassa ja näin ollen säästää myös asentajien työtä, mutta tiedonsiirrolle ja järjestelmälle on kuukausimaksu, joka syö muita hyötyjä.

Enston laskelmassa mm. nettonykyarvo, joka kertoo, onko investointi kannattava vai ei, on noin 43 700 € ja investoinnin takaisinmaksuaika olisi 10 vuotta ja IRR-% 10,89 % (50 vuotta).

Vastaavasti P2 Engineering Oy:n tuloksista nettonykyarvoksi tulisi noin 53 300 €, takaisinmaksuajaksi 9 vuotta ja IRR-% 13,75 %.

Sonepar Suomi Oy:n vastaaviksi luvuiksi tulivat noin 67 700 € nettonykyarvoa, 6 vuotta takaisinmaksuajaksi ja IRR-% 21,28 %.

Netcontrol Oy:n nettonykyarvoksi saatiin noin 17 300 €, takaisinmaksuajaksi 14 vuotta ja IRR-% 6,22 %. Netcontrolin kannattamattomuutta tässä selittää se, ettei heillä tämän työn tekoaikana ollut vielä markkinoilla mahdollisuutta lisätä pelkkään vikaindikoitua olemassa oleville laitteille, vaan investointiin piti ottaa mukaan myös moottoriohjainten uusiminen.

Safegridin luvuiksi saatiin nettonykyarvossa noin 62 600 €, takaisinmaksuajaksi 7 vuotta ja IRR-% 17,09 %.

Kannattavuuslaskelmien perusteella kannattavimmaksi nousi Sonepar Suomi Oy:n tuotteet, mutta Safegridin erilainen ja uudenlainen tapa vikojen havainnointiin herätti erityisen paljon kiinnostusta. Soneparin ja Safegridin tulokset olivat kuitenkin melko lähellä toisiaan, jonka takia päädyttiin suosittelemaan Safegridiä kahden valitun johtolähdön vianpaikannuksen toteuttajaksi. Tuotteita testataan aluksi kahdella johtolähdöllä ja katsotaan kuinka ne toimivat. Käyttökokemusten perusteella voidaan myöhemmin tehdä päätöksiä joko laitteiden lisäämisestä muualle verkkoon, tai ottaa jonkin muun valmistajan vianpaikannus testattavaksi siinä vaiheessa, kun käyttöikänsä päähän tulevia erotinasemia aletaan saneeraamaan noin viiden vuoden sisään.

## **8 POHDINTA**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia markkinoilla olevia vianpaikannuslaitteita sekä erotinasematuotteita ja saada tehtyä suunnitelma vianpaikannuslaitteiden lisäämisestä verkkoon. Työn pohjalta oli tarkoitus toteuttaa vianpaikannuksen lisääminen aluksi kahteen valittuun johtolähtöön.

Opinnäytetyön tavoite onnistui, moniin erilaisiin tuotteisiin ja ratkaisuihin tutustuttiin ja perehdyttiin työn aikana ja työhön saatiin valikoitua vartenotettavat vaihtoehdot vianpaikannuksen toteuttajaksi. Tuloksena yritykselle saatiin dataa kannattavimmista investoinneista, joista kannattaa lähteä liikenteeseen vianpaikannuksen lisäämisessä.

Jatkossa vianpaikannuksen laajentamista myös muille johtolähdöille kannattaisi tutkia. Esimerkiksi ensin 20kV ilmajohtoverkon muita kriittisiä ja vikaherkkiä alueita ja sen jälkeen mahdollisesti keskijänniteverkon lisäksi myös pienjänniteverkon puolta niillä alueilla, joissa on eniten vikoja, mutta alueita ei olla vielä maakaapeloimassa. Vianpaikannuksen laajentamisessa on mahdollista hyödyntää tätä opinnäytetyötä varten kerättyä tietoa.

Käyttökokemuksien kertyessä kahdesta ensimmäisestä johtolähdöstä on helpompi arvioida valittujen laitteiden suorituskykyä ja toimivuutta ja sen perusteella tehdä valintoja muiden johtolähtöjen suhteen.

Kyläniemen ja Äitsaaren johtolähdöt ovat yhteensä noin 126 km pitkiä, joka on koko Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy:n KJ-ilmajohtoverkosta noin 20 % eli viidesosa. Tällä tiedolla pystytään laskemaan suuntaa antava arvio hinnasta, jos haluttaisiin koko ilmajohtoverkko vianpaikannuksen piiriin.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja sen teko oli haastavaa, mutta opettavaista. Aihetta oli aluksi vaikea pitää kasassa, sillä työssä olisi ollut mahdollisuus laajentaa tutkittavia tietoja syvemmälle ja paljon laajemmaksi, mutta ajankäytön vuoksi aihetta oli pakko rajata siten, ettei tutkittaviin laitteistoihin ja niiden toimintaan mennä liian syvälle. Erottimia ja erotinasemia oli alun perin tarkoitus tutkia enemmän, mutta ne jäivät hieman taka-alalle vianpaikannuksen ollessa suuremmassa roolissa. Esimerkiksi erotinasemien sijaintia olisi voinut tarkastella ja pohtia, ovatko nykyiset asemat hyvillä paikoilla vai olisiko ollut tarpeellista miettiä aseman lisäämistä johonkin.

Myös KAH-laskelmia tehdessä oli hankala arvioida, kuinka paljon kunkin laitevalmistajan tuote nopeuttaa vianrajaamisen aikaa, ja tämän vuoksi kaikissa päätettiin käyttää samaa aikaa tuloksien vertailukelpoisuuden takaamiseksi.

Huomioon otettavia seikkoja tuotteiden vertailua tehdessä oli mm. se, ettei Netcontrollilla ollut toistaiseksi mahdollista toteuttaa pelkkää vikaindikoinnin lisäystä jo olemassa olevaan erotinasemaan, ja tämä täytyi ottaa huomioon investointilaskelmaa tehdessä. Tämän vuoksi jouduttiin pohtimaan, otetaanko myös muilta laitetoimittajilta mukaan moottorihjainten uusimisesta aiheutuvat kustannukset, jotta laskelmat olisivat vertailukelpoiset. Laskelmat päädyttiin kuitenkin tekemään vain vianindikoinnin lisäämisen osalta, koska Safegrid ei tarjoa erotinasematuotteita. Netcontrollin osalta mukaan laskettiin myös ne kustannukset, jotka tulisivat pakollisesti tehtäviksi, jos vianpaikannuksen haluaisi toteuttaa heidän laitteillaan. Netcontrollilta on tulossa markkinoille uusi tuote vianpaikannukseen liittyen, mutta se ei ehtinyt tämän työn tarkasteluun.

Haasteita laskelmien tekoon aiheutti myös Safegridin laitteiston erilaisuus verrattuna muihin tuotteisiin Energiaviraston yksikköhintojen kannalta.

Energiaviraston yksikköhintaluettelossa on tällä hetkellä maininta ja yksikköhinta ainoastaan erotinkohtaisesta vianpaikannuslaitteistosta. Tämän vuoksi täytyi selvittää Energiaviraston tämänhetkinen kanta siihen, kuinka Safegridin laitteistot tulisi huomioida verkon rakennetiedoissa. Saadun vastauksen perusteella Safegridin laskelmat täytyi toteuttaa hieman eri tavalla muiden toimijoiden laskelmiin verrattuna. Energiavirastolta saadun tiedon mukaan Safegridin laitteistoille on mahdollisesti tulossa oma yksikkönsä, mutta tämän työn tekovaiheessa sitä ei vielä ollut.

## LÄHTEET

1. Energiavirasto. Sähkö- ja maakaasuverkkotoiminnan kehittäminen. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-kehittaminen> [viitattu 10.1.2024].
2. Energiavirasto. Luotettavaa sähkönjakelua kaikille. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/luotettavaa-sahkonjakelua> [viitattu 10.1.2024].
3. Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588.
4. Imatran Seudun Sähkö Oy. Tietoa meistä. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.issoy.fi/tietoa-meista/> [viitattu 19.1.2024].
5. Imatran Seudun Sähkö Oy. Verkkopalvelut. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.issoy.fi/verkkopalvelut-2022/> [viitattu 19.1.2024].
6. Energiateollisuus. Sähköverkot. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/> [viitattu 19.1.2024].
7. Energiavirasto. Verkkotoiminnan luvanvaraisuus. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus> [viitattu 20.1.2024].
8. Energiavirasto. Valvontamenetelmät kuudennella 1.1.2024 – 31.12.2027 ja seitsemännellä 1.1.2028 – 31.12.2031 valvontajaksolla. PDF-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12766832/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+-+Menetelm%C3%A4liite.pdf/bc07b3d7-9b1b-e970-9be9-f46f1c1dfc94/S%C3%A4hk%C3%B6n+jakelu+-+Menetelm%C3%A4liite.pdf?t=1703848648980> [viitattu 11.2.2024].
9. Pesonen, K. Haja-asutusalueen sähköverkko. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Xamk. Sähkönjakeluverkot-kurssi. PowerPointesitys. 2022.
10. Paavola, J. Sähköverkon tuoton parantaminen teknisillä ratkaisulla. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Teknologiaosaamisen johtaminen YAMK. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. 2015. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108081/Paavola\\_Jukka.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108081/Paavola_Jukka.pdf?sequence=1) [viitattu 13.2.2024].
11. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. KAH-hinnat keskeytyskustannusten laskennassa. PDF-dokumentti. 2010.
12. Lakervi E. & Partanen J. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto. 2008.
13. Elovaara, J. & Haarla, L. Sähköverkot 2. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto Oy. 2011.
14. Korpinen, L. Sähkövoimatekniikkaopus. Verkkojulkaisu. 1998.
15. Erkkilä, T. Kauko-ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden hyödyntäminen Hiirikosken Energia Oy:n verkossa. Vaasan



- Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. 2011. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36691/Erkkila\\_Timo.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36691/Erkkila_Timo.pdf?sequence=1) [viitattu 4.3.2024].
16. Saha, M., Izykowski, J. & Rosolowski, E. Fault Location on Power Networks. Lontoo: Springer London. 2009.
  17. Hänninen, S., Lehtonen, M., Sauna-aho, S. & Vähämäki, O. A New Technique for Short Circuit Fault Location in Distribution Networks. IEE Conference Publication. Artikkel. 2005.
  18. Safegrid. Simplified and scalable fault monitoring solution for electric transmission and distribution grids. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://safegrid.io/> [viitattu 16.2.2024].
  19. Ola, K. Myynnin varatoimitusjohtaja. Sähköpostikeskustelu. 21.11.2023 – 16.5.2024. Safegrid Oy.
  20. Sonepar Suomi Oy. Sonepar palvelee Suomessa asiakasyrityksiään verkossa ja 38 toimipisteessä. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://verkkokauppa.sonepar.fi/fi/yritys/sonepar-suomi-oy> [viitattu 16.2.2024].
  21. Sonepar Suomi Oy. Kouvolasta löytyy F.L.I.R. iä asennettuna ja hyödynnettynä. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://ideat.sonepar.fi/kouvolasta-loytyy-fliria-asennettuna-ja-hyodynnettyna/> [viitattu 17.2.2024].
  22. Vuorela, J. Ilmajohtoverkon vianpaikannusjärjestelmä F.L.I.R. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/508956/Vuorela\\_Jussi.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/508956/Vuorela_Jussi.pdf?sequence=2) [viitattu 21.2.2024].
  23. Harttunen, J. Markkinointipäällikkö. Sähköpostikeskustelu. 4.12.2023 – 7.5.2024. Sonepar Suomi Oy.
  24. Sonepar Suomi Oy. F.L.I.R Vianilmaisimet. PDF-esitys. s.a.
  25. Netcontrol Oy. About Netcontrol. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.netcontrol.com/about/> [viitattu 29.2.2024].
  26. Netcontrol Oy. Netcon 200. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.netcontrol.com/portfolio/netcon-200/> [viitattu 29.2.2024].
  27. Mäkelä, O. Myyntijohtaja. Sähköpostikeskustelu. 13.11.2023 – 8.4.2024. Netcontrol Oy.
  28. Netcontrol Oy. Netcon 200 The future of distribution network automation. PDF-dokumentti. 2023. Saatavissa: [https://www.netcontrol.com/wp-content/uploads/2023/09/M00548-BR-EN-8\\_Netcon-200-brochure.pdf](https://www.netcontrol.com/wp-content/uploads/2023/09/M00548-BR-EN-8_Netcon-200-brochure.pdf) [viitattu 5.3.2024].
  29. Netcontrol Oy. Netcon 200 New solution for substation automation. PDF-esitys. s.a.

30. P2 Engineering Oy. P2 Engineering Oy yleisesite. PDF-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://p2engineering.fi/wp-content/uploads/2019/01/P2-Engineering-Oy-Yleisesite-140119.pdf> [viitattu 24.2.2024].
31. P2 Engineering Oy. ILMARI, ilmajohdon vika-analysaattori. PDF-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://p2engineering.fi/wp-content/uploads/2021/04/P2-Engineering-Oy-Ilmari-Esite-1.pdf> [viitattu 24.2.2024].
32. Tuhkanen, P. Sähköpostikeskustelu. 29.1.2024 – 27.3.2024. P2 Engineering Oy.
33. Ensto. Ensto lyhyesti. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/sahkoverkonrakennus/tietoa-meista/> [viitattu 13.3.2024].
34. Ensto. Vikaindikointi ja automaatio. PDF-esitys. 2023.
35. Ensto. Kuormaerottimet. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/sahkoverkonrakennus/tuotteet/keskijanniteratkaisut-ja-verkostoautomaatio/kuormaerottimet/> [viitattu 21.3.2024].
36. Tuononen, H. Myyntipäällikkö. Sähköpostikeskustelu. 5.12.2023 – 10.4.2024. Ensto.
37. Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy. Vikatilasto. PDF-dokumentti. 2023.

## KUALUETTELO

Kuva 1. ISSS Oy:n keskijänniteverkko. Aidon Oy. Kuvakaappaus. 2023.

Kuva 2. Sähkönjakeluverkon rakenne. Hirvonen, S. Sähköverkko-omaisuuden kunnonhallintastrategian kehittäminen. Tampereen Teknillinen Yliopisto.

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö. 2017.

Saatavissa:

<https://www.elenia.fi/files/1f7ab3fdaf3572444e26e202cf35aa505c6f1e5e/sa-hko-verkko-omaisuuden-kunnonhallintastrategi-an-kehitta-minen.pdf>

Kuva 3. Sähköverkon keskeytykset. 2023.

Kuva 4. Erotinasema ISSS Oy:n verkossa. 2024.

Kuva 5. Grayhawk -sensori asennettuna. Safegrid. WWW-dokumentti. s.a.

Saatavissa: <https://safegrid.io/>

Kuva 6. IVEP Techsys Storm Terminal - VIKA Vianilmaisinyksikkö. Sonepar.

WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://verkkokauppa.sonepar.fi/fi/ivep-techsys-storm-terminal-vika-vianilmaisinyksikko-9713099>

Kuva 7. GWDD- ja VCVC-moduulit. Netcontrol Oy. WWW-dokumentti. s.a.

Saatavissa: [https://www.netcontrol.com/wp-content/uploads/2023/09/M00548-BR-EN-8\\_Netcon-200-brochure.pdf](https://www.netcontrol.com/wp-content/uploads/2023/09/M00548-BR-EN-8_Netcon-200-brochure.pdf)

Kuva 8. Rogowski kela ja jännitesensori. Netcontrol Oy. Netcon 200 New solution for substation automation. PDF-esitys. s.a.

Kuva 9. Horstmann Sigma D++ vika-analysaattori. P2 Engineering Oy.

ILMARI, ilmajohdon vika-analysaattori. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa: <https://p2engineering.fi/wp-content/uploads/2021/04/P2-Engineering-Oy-Ilmari-Esite-1.pdf>

Kuva 10. ILMARI sensori. Tuhkanen, P. Sähköpostikeskustelu. 29.1.2024 – 27.3.2024. P2 Engineering Oy.

Kuva 11. IPC 4022-vikaindikaattori. Ensto. Vikaindikointi ja automaatio. PDF-esitys. 2023.

Kuva 12. Auguste Extra Smart -kuormaerotin. Ensto. Kuormaerottimet. WWW-dokumentti. s.a. Saatavissa:

<https://www.ensto.com/fi/sahkoverkonrakennus/tuotteet/keskijanniteratkaisut-ja-verkostoautomaatio/kuormaerottimet/>

Kuva 13. Kyläniemen ja Äitsaaren johtolähdöt. Trimble NIS. Kuvakaappaus. 2024.