



Pienjänniteverkon heikkojen oikosulkuvirtojen hallinta

Marko Järvinen

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka

JÄRVINEN, MARKO:

Pienjänniteverkon heikkojen oikosulkuvirtojen hallinta

Opinnäytetyö 35 sivua

Maaliskuu 2024

Opinnäytetyössä parannettiin syötön automaattisen poiskytkennän toteutumista pienjänniteverkossa. Syötön automaattinen poiskytkentä suojaa osaltaan vaaralliselta kosketusjännitteeltä vikatapauksissa pienjänniteverkossa. Työssä automaattisen poiskytkennän ongelmakohtien hallinta siirrettiin Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän yhteyteen. Aikaisemmin kohteita oli hallinnoitu erillisten karttatulosteiden avulla. Työn toimeksiantajana toimi Lahti Energia Sähköverkko Oy.

Sähkönjakeluverkossa on edelleen käytössä jo 1960-luvulla rakennettuja osia. Sähköturvallisuusmääräykset ovat muuttuneet niiden rakentamisen jälkeen. Verkon vanhojen osien tarkastelussa voidaan käyttää niiden rakentamisaikana voimassa olleita määräyksiä, koska määräykset eivät yleensä ole takautuvia. Työssä tarkastellaan vanhoja sähköturvallisuusmääräyksiä.

Työssä siirrettiin verkkotietojärjestelmän laskennan avulla löytyneet, parantamista vaativat, verkon kohteet erillisiltä karttatulosteilta verkkotietojärjestelmän yhteyteen. Verkkotietojärjestelmään merkittiin laskennan antaman huomautuksen syy ja toimenpiteet, joilla ongelma voidaan ratkaista. Jos huomautuksen kohde vaatii laajaa suunnittelua, se merkittiin suunnitelmaan. Suurin osa kohteista on korjattavissa, kun pienentää verkon sulakekokoja. Kun parannuksia vaativat kohteet on siirretty verkkotietojärjestelmään, niiden hallinta on helpompaa kuin aikaisemmin. Kohteiden tarkasteluun voidaan käyttää suoraan verkkotietojärjestelmää ja sen laskentaominaisuuksia.

Lopputuloksen avulla pienjänniteverkon automaattisen poiskytkennän ongelmakohtien korjausta voidaan toteuttaa järjestelmällisesti. Pienet sulakkeenvaihtotyöt voidaan lisätä verkkotietojärjestelmässä kunnossapitotöiksi ja niitä voidaan siirtää toteutukseen. Työt saadaan myös näkyviin asentajien mobiililaitteissa. Suuria muutoksia vaativat kohteet voidaan tunnistaa verkkotietojärjestelmästä, kun tulevia verkon saneerauskohteita valitaan. Verkon dokumentaation laatu parani samalla, kun työn aikana siitä löytyi virheitä. Tulevaisuudessa automaattisen poiskytkennän toteutumista pitäisi tarkastella erikseen myös sähköliittymien pääsulakkeilla.

Asiasanat: oikosulkuvirta kosketusjännite verkkotietojärjestelmä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering

JÄRVINEN, MARKO:
Management of Weak Short-Circuit Currents in the Low-Voltage Network

Bachelor's thesis 35 pages
March 2024

The purpose of this thesis was to improve the implementation of automatic disconnection of supply in the low-voltage network. The automatic disconnection of supply contributes to the protection against dangerous touch voltages in the case of a fault. The thesis was commissioned by Lahti Energia Sähköverkko Oy.

The theoretical section explored the electrical safety regulations. The electrical safety regulations have changed since the network was built. The regulations were in place at the time of the construction can be used to examine the old parts of the network, as the regulations are not usually retroactive.

The empirical part consisted of transferring the problem areas found in the network from separate map prints to the network information system. Most of the problems could be repaired by reducing the fuse sizes. Once the items that required improvement had been moved to the network information system, managing them was easier than before.

The fuse changes can be added to the network information system as maintenance jobs and can be transferred to the implementation. The quality of the network documentation improved while errors were found during the work. Further research is required to the implementation of automatic disconnection with the main fuses of electrical connections.

Key words: short-circuit current network information system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEOREETTINEN TAUSTA.....	7
	2.1 Sähköturvallisuuslainsäädäntö	7
	2.2 Kosketusjännite	7
	2.3 Pienjänniteverkon kosketusjännitesuojaus	8
	2.4 Standardit ja sähköturvallisuusmääräykset	9
	2.5 Syötön automaattinen poiskytkentä vian takia.....	10
	2.5.1 Voimassa olevat määräykset	10
	2.5.2 Vanhat määräykset	11
	2.6 Yksivaiheinen oikosulkuvirta.....	13
	2.7 Verkkotietojärjestelmä	14
	2.8 Pienjänniteverkon oikosulkulaskenta Trimble NIS -ohjelmistolla..	15
3	PJ-VERKON HEIKKOJEN OIKOSULKUVIRTOJEN HALLINTA.....	17
	3.1 Kohteiden merkintä verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan.....	17
	3.2 1. nolausehdon korjaaminen sulakekokoa pienentämällä	21
	3.3 1. nolausehdon korjaaminen lisäämällä välisulake	25
	3.4 Dokumentaatiovirheet.....	27
	3.5 Mittauksella toimivaksi todettu suojaus.....	30
	3.6 Verkkoa pitäisi vahvistaa	31
4	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET	35

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää toimeksiantaja Lahti Energia Sähköverkko Oy:n sähköjakeluverkon syötön automaattisen poiskytkennän toteutumista pienjänniteverkossa. Vastuu sähköturvallisuudesta on sähkölaitteiston haltijalla. Laitteiston kunnon tarkkailu ja havaittujen puutteiden korjaaminen kuuluvat laitteiston haltijan tehtäviin. Syötön automaattinen poiskytkentä vaikuttaa suoraan sähköturvallisuuteen, suojaamalla vaaralliselta kosketusjännitteeltä vikatapauksissa.

Työssä kehitetään sähköjakeluverkon heikkojen oikosulkuvirtojen etsimistä ja korjaamisen hallintaa Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän avulla. Riittävä oikosulkuvirtojen taso on tärkeä, jotta pienjänniteverkon sulakesuojaus toimii riittävän tehokkaasti. Sulakesuojausta käytetään pienjänniteverkossa syötön automaattisen poiskytkennän toteuttamiseen.

Aikaisemmin oikosulkuvirraltaan heikkojen kohteiden korjaamista on hallinnoitu, verkkotietojärjestelmästä massalaskennan avulla tulostettujen karttojen avulla. Karttoihin on merkitty puutteet ja suoritettut korjaukset. Menetelmän käytön aikana on ilmennyt tarve kehittämistyölle. Erillisten karttojen ylläpito on ollut työlästä. Tarkoituksena on siirtää heikkojen kohteiden hallinnointi verkkotietojärjestelmän yhteyteen ja kehittää toimintatapa siihen.

Tavoitteena on luoda prosessi, verkkotietojärjestelmän laskennassa löydettyjen puutteiden korjaamisen hallintaan. Tieto havaituista puutteista, alustavat suunnitelmat niiden korjauksista ja suoritettut korjaukset tallennetaan suoraan verkkotietojärjestelmään. Havaitut puutteet ja niiden korjaus saadaan hallitummaksi kuin aikaisemmin käytetyillä erillisillä kartoilla. Tiedot korjauksista pysyvät paremmin ajan tasalla.

Koko pienjänniteverkosta tulostetussa kartassa, johon on väritetty Trimble NIS -verkkotietojärjestelmän oikosulkulaskennalla huomautus 1. nollausehdon toteutumattomuudesta, värittyneitä kohteita on useita kymmeniä. Kaikkien kohteiden korjaussuunnitelmia ei ehdi opinnäytetyölle varatun ajan puitteissa tekemään. Erityyppisistä korjauksista esitetään tapausesimerkkejä.

Pienjänniteverkon maadoituksia ei tässä opinnäytetyössä käsitellä. Liittymien pääsulakkeiden toiminta-aikaa ei ole koko verkon laskennassa huomioitu, niiden suuren lukumäärän takia. Vain jakelumuuntajan ja liittymän pääsulakkeiden välisen verkon automaattisen poiskytkennän toteutumista tarkastellaan.

2 TEOREETTINEN TAUSTA

2.1 Sähköturvallisuuslainsäädäntö

Sähkölaitteiston käytön turvallisuudesta säätelee sähköturvallisuuslaki. Lain mukaan laitteiston katsotaan täyttävän lain vaatimukset, jos noudatetaan sähköturvallisuusviranomaisen luettelemia standardeja. Sähköturvallisuusviranomaisen julkaisee luettelon standardeista, joita noudattamalla sähkölaitteisto täyttää sähköturvallisuuslain vaatimukset. Standardien vaihtuessa standardiluetteloa päivitetään. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 33§.)

Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 47§). Sähkölaitteiston turvallisuusvaatimuksista säädetään sähköturvallisuuslakia tarkemmin valtioneuvoston asetuksella (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 31§).

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista sisältää liitteen, jossa on lueteltu sähkölaitteistojen olennaisia turvallisuusvaatimuksia. Turvallisuusvaatimuksena on, että ihmisiä ja kotieläimiä on suojattava vaaroilta, joita aiheutuu vian aikana kosketettaessa jännitteelle alttiita osia. Suojalaitteiden on toimittava riittävän nopeasti taatakseen turvallisuuden. (1434/2016 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista.)

2.2 Kosketusjännite

Kosketusjännite on kahden, ihmisen kehoon samanaikaisesti koskettavan potentiaalın aiheuttama, kehoon vaikuttava jännite. Jännitteen vaikuttaessa jalasta toiseen, kutsutaan sitä askeljännitteeksi. Kosketusjännite on vaarallinen, jos se saa kehossa aikaiseksi elimistölle vaarallisen suuren virran. (Hietalahti 2013, 30.)

Vika sähkölaitteen peruseristyksessä voi tehdä laiteen kosketeltavan ulkokuoren jännitteiseksi. Tästä ei kuitenkaan saisi aiheutua hengenvaaraa. Vaarallisen kosketusjännitteen torjunnassa voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, kuten suoja-jännite, syötön automaattinen poiskytkentä, suojaeristys, sähköinen erotus ja vi-kavirtasuojakytkin. (Hietalahti 2013, 35.)

Kosketusjännitteen aiheuttama sähkövirta kehossa voi aiheuttaa sydänkam-miovärinän. Virran suuruudella ja vaikutusajalla on olennainen vaikutus tapatur-matodennäköisyyden suuruudelle (Elovaara & Laiho 1988, 456).

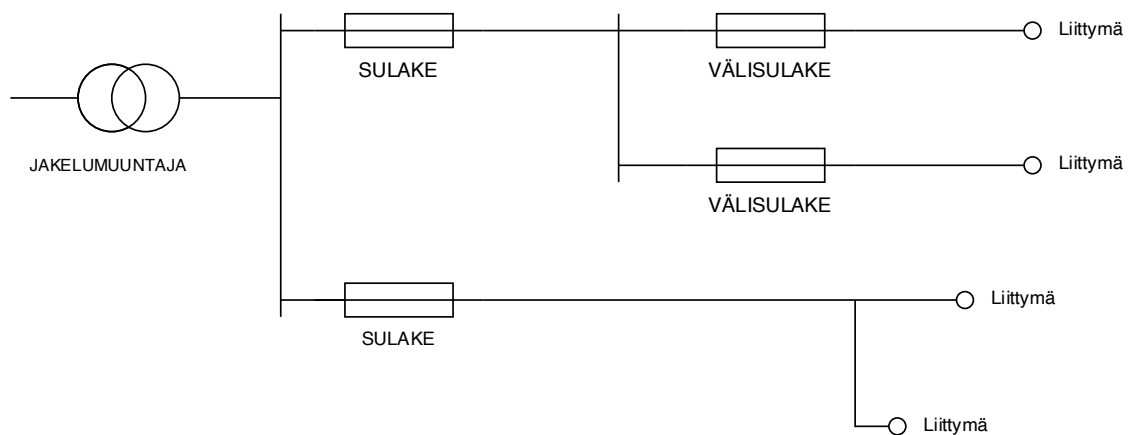
Sähkönjakeluverkossa yleisesti käytettävän PEN-johtimen katkeamisen aiheut-tamien vaarojen vähentämiseksi, PEN-johdin maadoitetaan jakelumuuntajan täh-tipisteen lisäksi useissa paikoissa. Rakennuksien pääkeskuksen luona PEN-joh-din yhdistetään rakennuksen maadoitukseen. Potentiaalintasaus yhdistää raken-nuksen maadoituksen ja suuret johtava metalliosat samaan potentiaaliin, joka eh-käisee vaarallisten kosketusjännitteiden muodostumista.

2.3 Pienjänniteverkon kosketusjännitesuojaus

Pienjänniteverkon vaihejännite 230 V on kosketusjännitteenä ihmisille ja eläimille vaarallinen. Verkon ja siihen kytkettyjen laitteiden suojaaminen on turvallisuuden kannalta tärkeää. Pienjänniteverkolla ei ole taloudellisesti kannattavaa käyttää yhtä tehokkaita ja kalliita suojalaitteita kuin keskijänniteverkolla.

Tavallisesti pienjännitejakeluverkossa käytetään sulakkeita syötön automaatti-seen poiskytkentään. Sulake kestää normaalin kuormitusvirran, mutta toimii riit-tävän nopeasti verkon loppupäässä tapahtuvasta yksivaiheisesta oikosulusta. Jos syöttöä ei voida katkaista automaattisesti riittävän tehokkaasti, kosketusjän-nitesuojaus voidaan saada aikaan lisäpotentiaalintasauksella tai mitoittamalla PEN-johdin niin, että vian aikana jännite maahan nähden pysyy alle 75 V. (La-kervi & Partanen 2008, 163–164.)

Pienjänniteverkkoa käytetään tavallisesti säteittäisenä. Verkon syöttöpisteenä toimii jakelumuuntamo. Verkon lähtöjen suojauksena toimivat sulakkeet. Pienjänniteverkon syötön automaattinen poiskytkentä on tapahduttava pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran vaikutuksesta riittävän nopeasti. Oikosulkuvirta pienenee, kun mennään kauemmas muuntajalta, kohti verkon loppupäätä. Jotta suojaus toimii riittävän nopeasti myös lähdön loppupäässä, johdoille voidaan joutua asettamaan välisulakkeita. Välisulakkeet ovat nimellisvirraltaan pienempiä kuin muuntamon lähtöjen sulakkeet. Piirroksessa (kuvio 1) on esitetty pienjänniteverkon sulakesuojausta.



KUVIO 1. Pienjänniteverkon sulakesuojaus

Kosketusjännitesuojauksen lisäksi sulake toimii oikosulkusuojana ja suojaa virtapiirien komponentteja vaurioitumiselta oikosulussa, sekä ehkäisee oikosulun aiheuttamasta lämpenemisestä aiheutuvia tulipaloja. Sulake ei saa toimia verkon normaalista kuormituksesta.

2.4 Standardit ja sähköturvallisuusmääräykset

Sähköturvallisuusviranomaisena toimivan Turvatekniikan keskuksen julkaisemassa standardiluettelossa S10-2023, pienjännitesähköasennusten vaatimukset täyttäväksi standardiksi annetaan SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset vuodelta 2022.

Standardissa SFS 6000 on oma osansa täydentäviä vaatimuksia jakeluverkoille. Erityisvaatimukset koskevat yleiseen sähkönjakeluun käytettäviä pienjänniteverkkoja. Jakeluverkoissa käytetään yleensä TN-järjestelmää. Erityisolosuhteissa voidaan muitakin järjestelmiä käyttää, syötettävän laitteiston haltijan kanssa niin sovittaessa. (SFS 6000-8-801 2022, 7.)

2.5 Syötön automaattinen poiskytkentä vian takia

2.5.1 Voimassa olevat määräykset

Yleensä syötön automaattisen poiskytkennän aika saa jakeluverkossa olla enintään 5 s. Verkon haltijan harkinnan mukaan voidaan kuitenkin hyväksyä pidemmät poiskytkentäajat. Automaattiseen poiskytkentään käytettävän sulakkeen mitoitusvirta voidaan valita taulukon 1 mukaisesti, jos liittymiä koskevat vaatimukset toteutuvat. (SFS 6000-8-801 2022, 7.)

TAULUKKO 1. Jakeluverkon vikasuojauksen mitoitus (SFS 6000-8-801 2022, Taulukko 801.1)

Ylivirtasuojan nimellisvirta I_N	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta
gG-tyypin sulake $I_N \leq 63$ A	$2,5 \times I_N$
gG-tyypin sulake $I_N > 63$ A	$3,0 \times I_N$

Liittymiä koskevat vaatimukset

Standardissa SFS 6000-8-801 tarkennetaan, että lisävaatimusten mukaisesti asennetulla liittymisjohdolla on mahdollista joustaa 5 s poiskytkentäajassa ja käyttää taulukon 1 mukaista vikasuojauksia sekä standardin taulukon 801.2 mukaista oikosulkusuojauksia (SFS 6000-8-801 2022, 10).

Uudet muuntajalta lähtevät ryhmät on mitoitettava siten, että pääkeskuksen viassa pääsulakkeet toimivat 5 sekunnissa. Aikaisemmin rakennetun jakeluverkon muutostöissä, aikaisemmin rakennettujen liittymien, vikasuojauksen ehdot eivät saa heiketä. (SFS 6000-8-801 2022, 8.)

Pienin oikosulkuvirta on oltava 250 A liittymän pääsulakkeilla. Jos 250 A tasoa ei kohtuullisesti saavuteta, hyväksytään vähintään 180 A, jos muilla toimenpiteillä saavutetaan vastaava turvallisuustaso. Muita toimenpiteitä voivat olla B-tyyppin johdonsuojakatkaisijoiden ja gG-tyyppin sulakkeiden käyttö liittymän ryhmäjohtoilla. (SFS 6000-8-801 2022, 8.)

Pienimmät toimintavirrat, joilla standardin mukaiset gG-tyyppin sulakkeet toimivat 5 sekunnissa, määritellään pienjännitevarokestandardissa SFS-EN 60269-1. standardissa on määritelty portit, joiden sisään sulakkeen virta-aika toimintakäyrän täytyy sijoittua. Standardin mukaisten gG-sulakkeiden 5 s toimintavirtojen arvoja on taulukoituina pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköistä mitoittamista käsittelevässä Energiateollisuuden verkostosuosituksessa SA 2:21 ja D1-käsikirjassa.

2.5.2 Vanhat määräykset

Sähköturvallisuusmääräykset eivät yleensä ole takautuvia, eikä vanhoja asennuksia tarvitse muuttaa nykyisten vaatimusten mukaisiksi. Vanhoille laitteistoille riittää, että ne täyttävät niiden rakentamisen aikana voimassa olleet määräykset, eivätkä aiheuta hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 122§).

Sähkönjakeluverkossa on käytössä eri aikakausina rakennettuja osia. Verkon vanhojen osien valmistumisen aikana voimassa olleet määräykset ovat olleet osittain nykyisistä poikkeavia ja se voidaan huomioida tarkasteltaessa näiden osien vaatimustenmukaisuutta. Keskeiset vanhat sähköturvallisuusmääräykset on annettu Sähkötarkastuskeskuksen julkaisusarjassa A. Pienjännitestandardia SFS 6000 on alettu käyttää vuodesta 1999 lähtien.

Sähkötarkastuslaitoksen julkaisu A 1-66 käsittelee eri kosketusjännitteen suojausmenetelmiä vikatapauksissa. Menetelmistä suojamaadoitusta nollajohtimen avulla, kutsutaan nimellä nollaus. Nollausehto toteutuu, kun 1-vaiheisessa oikosulussa äärijohdin kytkeytyy lyhyessä ajassa jännitteettömäksi tai maadoitusjännite ei kohoa vaaralliseen arvoon. Lyhyt erotusaika saavutetaan julkaisun mukaan 60 A tai pienemmillä sulakkeilla oikosulkuvirran ollessa vähintään 2,5-kertainen ja hitailla sulakkeilla vähintään 4-kertainen sulakkeen nimellisvirtaan nähden. (Sähkötarkastuslaitos 1966, 37.)

Sähkötarkastuslaitoksen julkaisu A 1-74 määrittelee ylivirtasuojan riittävän nopean toiminnan hieman aiempaa julkaisua tiukemmin. Riittävän nopea toiminta on määritelty taulukon 2 mukaisesti. (Sähkötarkastuslaitos 1974, 39.)

Sähkötarkastuskeskuksen julkaisussa A 1-89 liittymisjohdon vaatimuksia on tarkennettu. Jos liittymisjohto on ylikuormitussuojattu vain loppupäästään, niin sen asennukselle annetaan lisävaatimuksia (Sähkötarkastuskeskus 1989, 166–167). Lisävaatimusten mukaisesti asennetulla liittymisjohdolla on mahdollista käyttää taulukon 2 mukaista oikosulkusuojausta. Liittymisjohdoille on annettu tämän lisäksi suurin sallittu oikosulkusuoja, joka riippuu johdon poikkipinta-alasta ja johdinmateriaalista (Sähkötarkastuskeskus 1989, 228).

TAULUKKO 2. Pienin oikosulkuvirta, jolla ylivirtasuojan katsotaan toimivan nopeasti (Sähkötarkastuskeskus 1993, Taulukko 9.5-1)

Ylivirtasuoja	Oikosulkuvirta	
	sähkölaitoksen jakeluverkossa	liittymän päävarokkeen luona
sulake $I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times I_N$	$3,5 \times I_N$
sulake $I_N > 63 \text{ A}$	$3,0 \times I_N$	$4,5 \times I_N$

Sähkötarkastuskeskuksen julkaisussa A 2-94 ei käytetä enää termiä nollaus, vaan nimeä syötön automaattinen poiskytkentä. Sähkönjakelujärjestelmissä voidaan sallia yli 5 s poiskytkentäaika (Sähkötarkastuskeskus 1994, 51). Pääjohdoille ja kiinteille laitteille sallitaan enintään 5 s poiskytkentäaika (Sähkötarkastuskeskus 1994, 54).

Julkaisun A 2-94 määräyksiä on tullut käyttää 1.7.1997 lähtien. Jakeluverkon kannalta vaatimus enintään 5 s poiskytkentäajasta liittymän pääsulakkeelle on merkittävä muutos aikaisempaan.

Suositus 250 A vähimmäisoikosulkuvirrasta liittymille on tullut SFS 6000 standardin myötä vuonna 1999. Vuoden 2017 standardissa suositus muuttui vaatimukseksi. Kuitenkin vähintään 180 A oikosulkuvirta hyväksytään erityisehdoin (SFS 6000-8-801 2022, 8).

2.6 Yksivaiheinen oikosulkuvirta

Yksivaiheinen oikosulku on epäsymmetrinen vikatilanne. Eri vaiheiden virrat ja jännitteet eivät ole symmetrisiä. Epäsymmetrisen tilan käsittely on helpompaa, jos lasketaan ns. symmetrisillä komponenteilla. Oikosulkuvirta voidaan ratkaista myötä-, vasta- ja nollajärjestelmän avulla. Myötä- ja vastaimpedanssit ovat samansuuruisia johdoilla ja muuntajilla. (Elovaara & Laiho 1988, 76–83.)

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä,

$$I_{k1v} = \frac{c \cdot 3 \cdot U_v}{\sqrt{\left(2R_m + 2R_{m0} + 3l(r_j + r_0)\right)^2 + \left(2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0)\right)^2}}, \quad (1)$$

missä

U_v on vaihejännite,

c on jännitekerroin,

R_m on muuntajan oikosulkuresistanssi,

R_{m0} on muuntajan nollaresistanssi,

X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi,

X_{m0} on muuntaja nollareaktanssi,

r_j on vaihejohtimen resistanssi,

r_0 on nollajohtimen resistanssi,

x_{j0} on vaihejohtimen nollareaktanssi,

x_0 on nollajohtimen reaktanssi ja

l on johtimen pituus.

Johtimien suureet ovat pituusyksikköä kohti.

Standardin IEC 60909 mukaan sopiva jännitekertoimen c arvo on 0,95, kun lasketaan pienintä yksivaiheista oikosulkuvirtaa pienjännitteellä (SFS-EN 60909-0 2016, 22). Jakeluverkkojen oikosulkuvirtojen laskennassa käytettävä johtimien lämpötilan arvo on oltava vähintään +40 °C (SFS 6000-8-801 2022, 7).

Pitkillä PJ-johdoilla yksivaiheinen oikosulkuvirta on pienempi kuin kolmivaiheinen oikosulkuvirta. Hyvin lyhyillä johdoilla muuntajan nollaverkon impedanssi määrittelee, kumpi oikosulkuvirroista on pienempi. (Haapaniemi ym. 2022, 17.)

2.7 Verkkotietojärjestelmä

Sähkönjakeluverkko on mallinnettuna verkkotietojärjestelmään. Se mahdollistaa verkon heikoimpien osien löytämisen mallin perusteella laskennallisesti. Sähkönjakeluverkon tarkastelu verkkotietojärjestelmän laskennan avulla mahdollistaa suuren tietomäärän käsittelyn. Massalaskennan avulla voidaan tarkastella, yksittäisen jakeluverkkoyhtiön koko jakeluverkon aluetta. Laskennan avulla on mahdollista löytää verkosta heikkoja kohtia, jotka eivät vastaa asetettuja turvallisuusvaatimuksia. Tämän työn kohteena on Lahti Energia Sähköverkko Oy:n pienjänniteverkko. Yhtiöllä on käytössä Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä.

Verkkotietojärjestelmään on tallennettuna myös sähköenergiamittareiden tuntimittautieto. Mittautiedon avulla voidaan tarkastella verkon siirtämää tehoa tunneittain vuoden ajalta. Tämä mahdollistaa kuormituksen vaatimien sulakekojen tarkastelun tarkemmin kuin pelkkien tyypikulutusikäyrien avulla.

Verkkotietojärjestelmään voidaan luoda verkkoon kohdistuvia kunnossapitotöitä. Esimerkiksi sulakekoon muutoksesta voidaan luoda kunnossapitotyö, joka voidaan näyttää mobiililaitteen avulla kartalla. Työt voidaan myös merkitä suoritetuiksi, kun ne ovat valmistuneet maastossa.

2.8 Pienjänniteverkon oikosulkulaskenta Trimble NIS -ohjelmistolla

Verkkotietojärjestelmän pienimmän oikosulkuvirran laskennassa käytetyt parametrit ovat laskentajännite 230 V, jännitekerroin 0,95, johdinlämpötila 40 °C, sulaketyypin oletusarvo on IEC:n gG-maksimikäyrä ja sulamisaika 5,0 s.

Laskennasta saatavat tulokset voivat sisältää huomautuksia johto-osuuksille. Listamuotoisissa laskentatuloksissa huomautukset ovat taulukossa 3 esitetyn mukaiset.

TAULUKKO 3. Oikosulkulaskennan huomautukset

Huomautus	Selite
A	1. nollausehto ei voimassa
B	1. nollausehto liittymän verkossa
H	liian hidas suojaus
E	sulake > johdon sallittu oikosulkusuoja
I	liian pieni liittymän oikosulkuvirta
G	liittymisjohto
F	rinnankytketty johto-osuus
C	epäselektiivinen sulakekoko
D	rinnankytkennän rakennevirhe

Muita tärkeitä laskentatuloksia ovat: yksi- tai kaksivaiheinen minimioikosulkuvirta, pienin sulake ennen johto-osuutta, minimi oikosulkuvirran suhde sulakkeen mitoitusvirtaan ja sulakkeen toiminta-aika pienimmällä oikosulkuvirralla.

1. nollausehto kuvaa oikosulkuvirran riittävyttä johto-osaa suojaavalle sulakkeelle. Oikosulkuvirran ollessa riittävän suuri, ylivirtasuojan katsotaan toimivan riittävän nopeasti. Sulakkeen ollessa nimellisvirraltaan 63 A tai pienempi oikosulkuvirran täytyy olla 2,5-kertainen nimellisvirtaan nähden. Yli 63 A sulakkeilla oikosulkuvirran täytyy olla vähintään kolminkertainen (taulukko 1).

1. nollausehto liittymällä kuvaa oikosulkuvirran riittävyttä liittymän pääsulakkeella. Ennen 1.7.1997 rakennetun verkon liittymille käytetään julkaisun A1-93

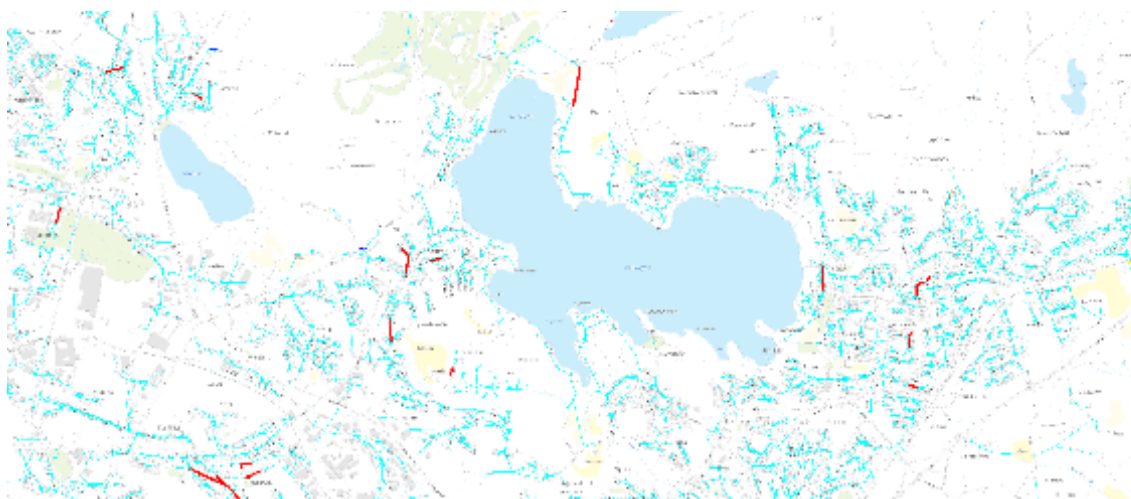
taulukkoa 9.5-1 (taulukko 2). Tätä uudempien verkkojen liittymille käytetään päävarokkeelle enintään 5 s poiskytkentäaika.

3 PJ-VERKON HEIKKOJEN OIKOSULKUVIRTOJEN HALLINTA

3.1 Kohteiden merkintä verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan

Opinnäytetyön osana siirrettiin Lahti Energia Sähköverkko Oy:n verkkotietojärjestelmän avulla lasketulta kartalta, toteutumattomasta 1. nolausehdosta huomauttavat kohteet, verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan. Huomautusten kohteet merkittiin verkkotietojärjestelmän piirtotyökaluilla suunnitelmaan. Merkintöihin lisättiin kommentit huomautuksen syystä ja suunniteltuja toimenpiteitä kohteiden korjaamiseksi.

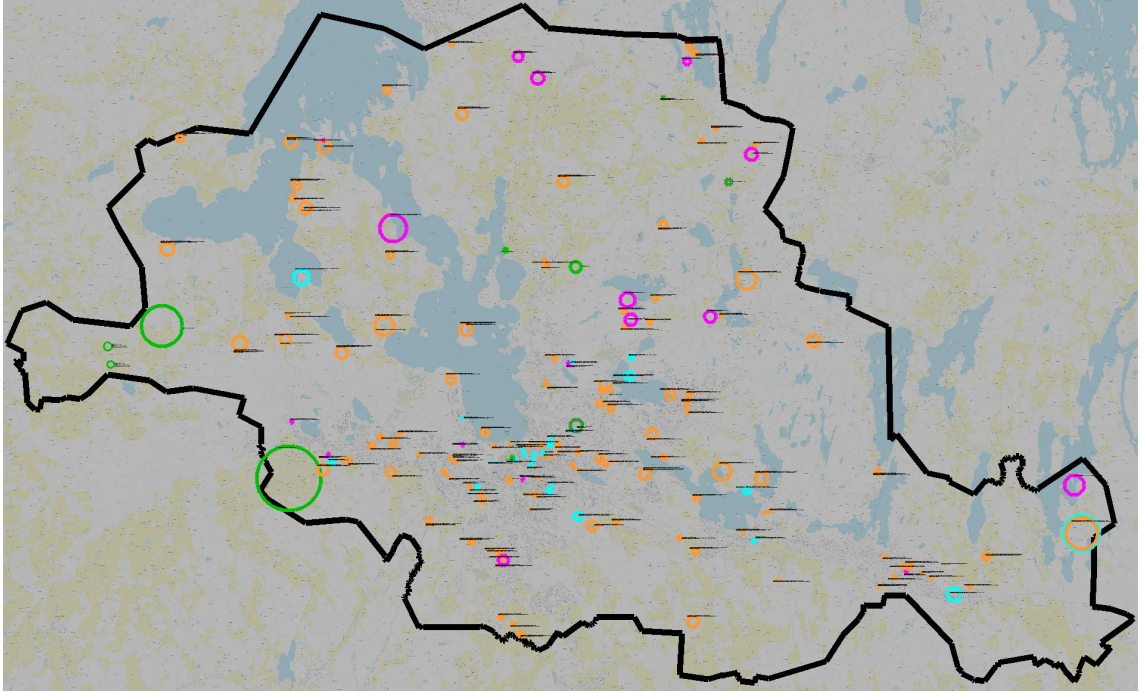
Koko verkon pienjänniteverkon oikosulkulaskennan tuloksista oli tulostettu kartta, jossa on punaisella korostettuna verkon osat, joissa 1. nolausehto ei toteudu (kuvio 2). Koko pienjänniteverkon laskeminen kestää epäkäytännöllisen pitkän ajan, jos sen tekee toistuvasti. Yksittäiset kohteet ovat nopeampia etsiä koko verkosta tulostetun kartan avulla, tarkempaa tarkastelua varten. Yksittäisen muuntopiirin oikosulkulaskenta ei kestä kuin muutamia sekunteja.



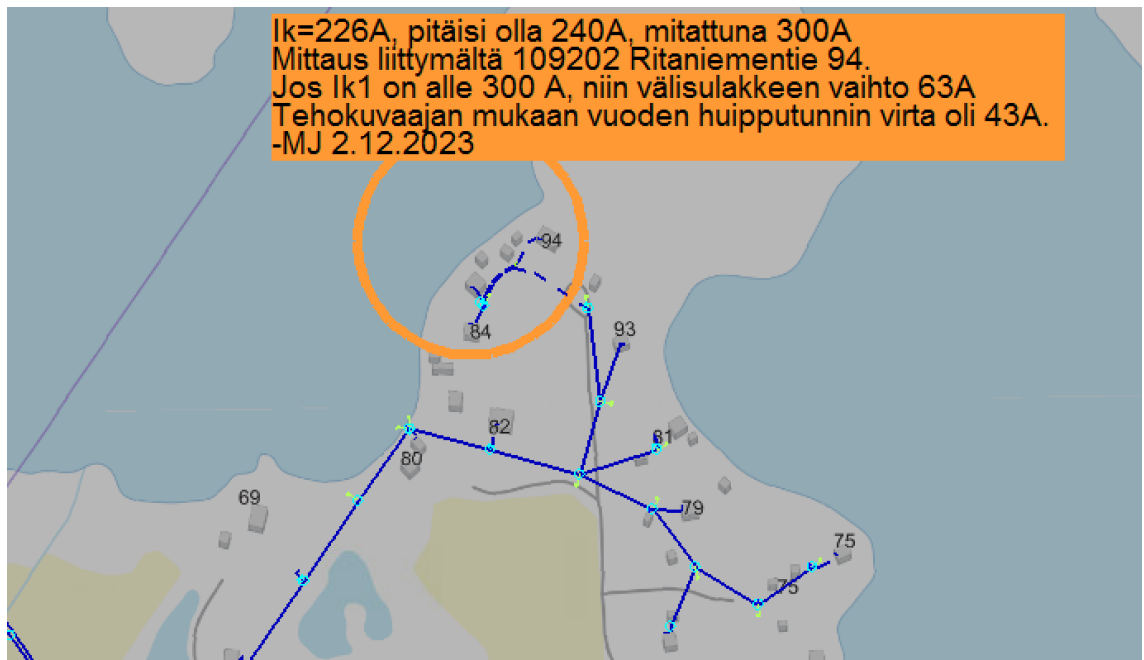
KUVIO 2. Leike 1. nolausehdon huomautuksista tulostetusta kartasta

Erilaisia toimenpiteitä vaativat kohteet merkittiin suunnitelmaan eri väreillä (kuvio 3). Kunnossa olevat kohteet merkittiin suunnitelmaan vihreällä värillä. Kunnossa olevista muuntopiireistä oli mittaustulos riittävästä oikosulkuvirrasta tai kohteeseen oli jo parannuksia rakenteilla tai suunnitteluvaiheessa. Dokumentaatiovir-

heet, jotka on korjattu suunnitelmaan, merkittiin magentalla värillä. Dokumentaatiovirheet, jotka vaativat vielä korjausta ja mahdollisesti verkon tarkastusta kentällä merkittiin syaanilla värillä. Kohteet, jotka tulevat vaatimaan korjaustoimenpiteitä merkittiin oranssilla värillä (kuvio 4).



KUVIO 3. Huomautukset merkittynä suunnitelmaan



KUVIO 4. Välisulakkeen kokoa täytyy pienentää

Lahti Energia Sähköverkolla on 1321 jakelumuuntamoita, joista 409 on pylväsmuuntamoita. Pylväsmuuntamot sijoittuvat pääosin haja-asutusalueelle. Haja-asutusalueella ilmajohdolla toteutetun pienjänniteverkon osuus on suurempi kuin taajamassa. Taajama-alueella pienjänniteverkko on toteutettu pääosin maakaapeliverkkona.

Koko pienjänniteverkon alueelta suoritetussa laskennassa huomautus 1. nollausehdosta piirtyi, jollekin osalle pienjänniteverkosta, yhteensä 134 eri muuntopiirissä (kuvio 5). Osa huomautuksista johtuu ainoastaan verkon virheellisestä dokumentaatiosta. Jos vaikutti siltä, että dokumentaatiota on tarkastettava, merkittiin se suunnitelmaan. Dokumentaation korjauksen jälkeen laskennan huomautukset poistuvat, jos ne ovat johtuneet pelkästään korjatusta virheestä dokumentaatioissa. Merkintä dokumentointivirheestä voidaan tämän jälkeen poistaa suunnitelmasta.

Osa dokumentaation virheistä oli selviä ja ne voitiin korjata suoraan verkkotietojärjestelmään. Jonovarokeytkimeltä saattoi puuttua sulake kokonaan, jolloin laskennassa sulaketta ei huomioitu. Johdon johto-osa saattoi kytkeytyä väärin suoraan jakokaapin kiskoon, eikä jonovarokeytkimelle, kuten olisi pitänyt. Rinnakkaisten AMKA-johtojen johto-osien kytkeytymisessä oli myös virheitä, jotka estivät säteisverkkolaskennan, vaikka verkko oli säteittäinen. Huomautus oli piirtynyt koko verkon laskennassa myös, jos säteisverkkolaskenta ei toimi.

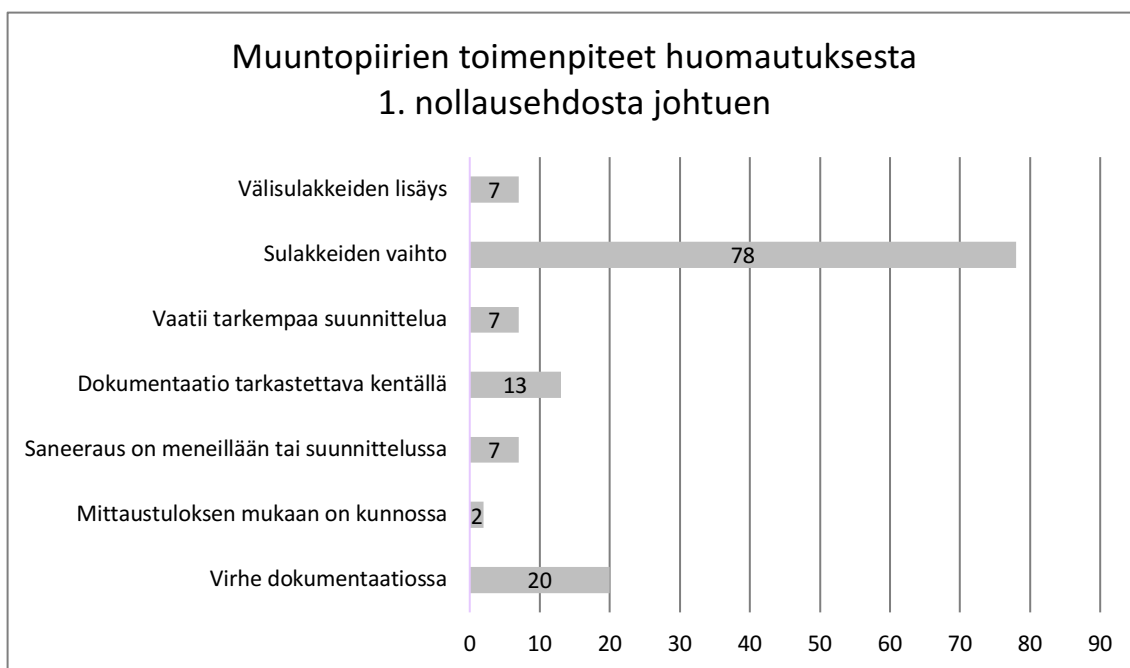
Osa dokumentaation virheistä tulee vaatimaan verkon tarkastelua kentällä. Sulakekoko voi olla tuntematon, johtojen todellinen kytkeytyminen voi jäädä verkkotietojärjestelmän perusteella epäselväksi tai vaikuttaa epätodennäköiseltä, että se on dokumentaation mukainen.

Mittauksella todettu oikosulkuvirta voi olla verkkotietojärjestelmän laskennan tuloksena saatua parempi. Esimerkiksi PEN-johtimen rinnalle kytkettyä, kaapelin mukana kulkevaa, maadoitusjohdinta ja maadoituksia ei huomioida laskennassa, vaikka ne parantaisivat yksivaiheista oikosulkuvirtaa. Mittauksilla todettu riittävä oikosulkuvirta merkitään verkkotietojärjestelmään, jotta vältetään turhilta korjauksilta. On huomioitava, että mittauksessa johtimien lämpötila on alhaisempi kuin oikosulun aikainen lämpötila. Käyttämällä mittaustulokselle suurempaa vaadittua

arvoa kuin laskennalliselle, varmistetaan sulakesuojauksen riittävä nopeus todellisessa oikosulkutilanteessa. Rakennusten sähköasennuksia käsittelevän D1-käsikirjan mukaan, mitattujen oikosulkuvirtojen tulee olla 25 % suojalaitteiden toimintarajavirtoja suurempia (Tiainen 2017, 93).

Suurin osa laskennassa löytyneistä puutteista saadaan korjattua vaihtamalla nykyisten sulakkeiden kokoa pienemmäksi tai lisäämällä välisulakkeita verkkoon. Kuormitusvirta saattaa olla niin suuri, ettei nykyisten sulakkeiden kokoa voida pienentää. Ylivirtasuojan suojaama alue voidaan jakaa pienempiin osiin lisäämällä uudet välisulakkeet vain osalle kuormia. Sulakkeiden normaali kuormitusvirta saadaan näin pienemmäksi ja voidaan käyttää nimellisvirraltaan pienempiä sulakkeita, jotka toimivat vikatilanteessa nopeammin. Jos ilmajohdon loppuosassa on heikko oikosulkuvirta, mutta osa kuormista on johdon alkupäässä, niin loppuosalla voidaan käyttää pienempää ylivirtasuojaa kuin johdon alussa.

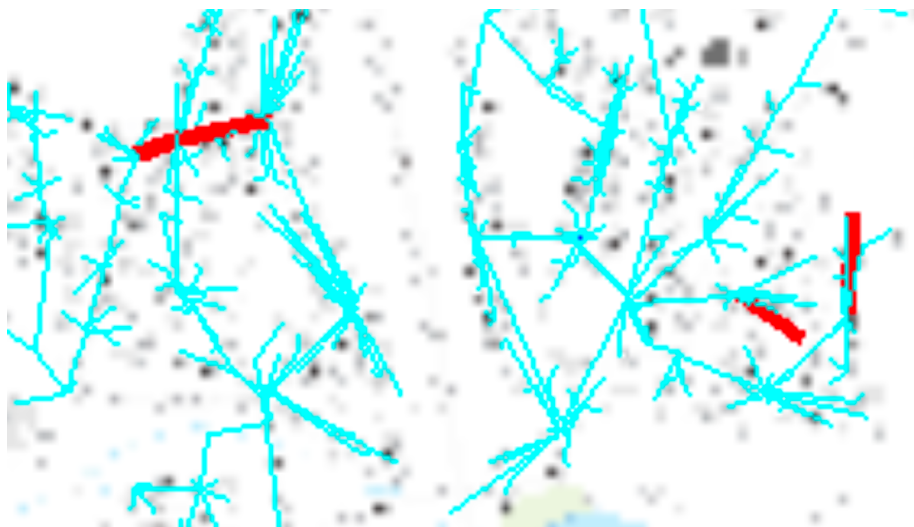
Verkkoa voidaan joutua vahvistamaan, jotta oikosulkuvirran suuruutta saadaan kasvatettua. Vahvistaminen voi tapahtua esimerkiksi johtojen poikkipinta-aloja kasvattamalla, lyhentämällä reittiä muuntamolta tai muuntajakonetta suurentamalla.



KUVIO 5. Eri toimenpiteiden jakautuminen värityyneille muuntopiireille

3.2 1. nollausehdon korjaaminen sulakekokoa pienentämällä

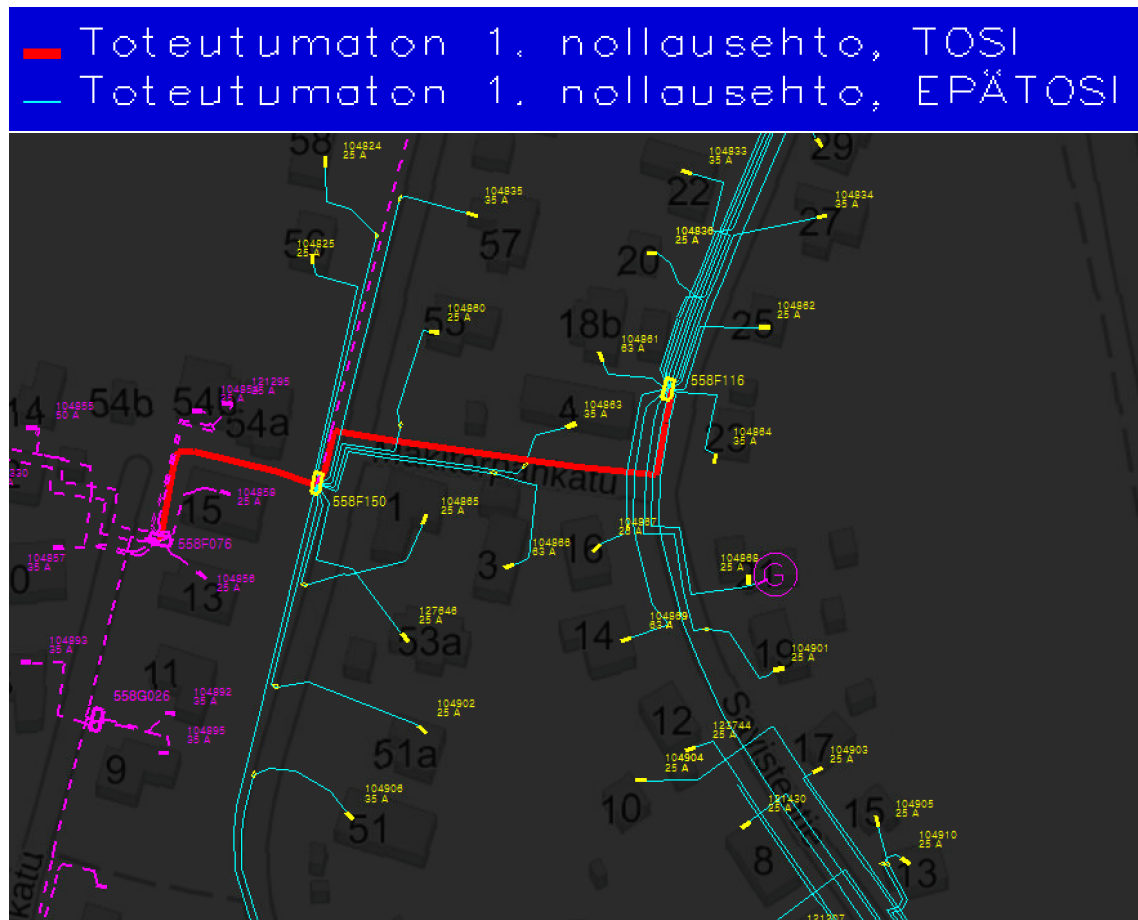
Tulosteessa näkyy punaisella korostuneina kohtia, joissa 1. nollausehto ei toteudu (kuvio 6). Karttaleike sijoittuu kaupungin laidalle, taajama-alueelle, jossa pienjänniteverkko on toteutettu kokonaan maakaapelilla. Tuloste on epätarkka ja siitä on hankalaa erottaa erilliset johto-osat ja niiden sijainti maastossa.



KUVIO 6. Karttaleike koko verkon oikosulkulaskennan tulosteesta

Karttaleikkeen punaisella korostuneista kohteista oikeanpuoleiset osoittautuvat tarkemmassa tarkastelussa virheiksi dokumentaatioissa. Johdot eivät ole käytössä, mutta dokumentaatioissa ne ovat kytkeytyneet runkojohtoihin ilman sulaketta. Ne merkitään korjattaviksi dokumentointiin. Vasemmanpuoleisilla johdoilla taas poiskytkentäehdot eivät toteudu, oikosulkuvirran jäädessä liian pieneksi suojaavan sulakkeen nimellisvirtaan nähden.

Lasketaan kyseessä olevan yksittäisen muuntopiirin oikosulkuvirrat verkkotietojärjestelmän oikosulkulaskennalla ja valitaan karttaväriytykseen 1. nollausehto. Nollausehdon toteutuessa verkko väriytyy syaaniksi. Jos 1. nollausehto ei toteudu, niin verkko väriytyy punaisella. Väriytyneen verkon avulla nähdään tarkemmin, missä kohtaa verkkoa ongelma sijaitsee. Kaksi jakokaapilta 558F150 lähtevää johtoa on väriytynyt punaisella (kuvio 7), joten niiden suojausta täytyy parantaa.



KUVIO 7. Yksittäisen muuntopiirin osan oikosulkulaskennan väritys

Laskennan tuloksia voidaan tarkastella taulukkomuodossa (taulukko 4). Taulukon sarakkeessa A2 on kirjain A niillä riveillä, joilla 1. nollausehto ei toteudu. Kun ylivirtasuojana on 315 A sulake, niin pienimmän oikosulkuvirran tulisi olla vähintään 3-kertainen sulakkeen nimellisvirtaan nähden eli 945 A. Heikoin yksivaiheinen oikosulkuvirta on 774 A, joka ei ole riittävä.

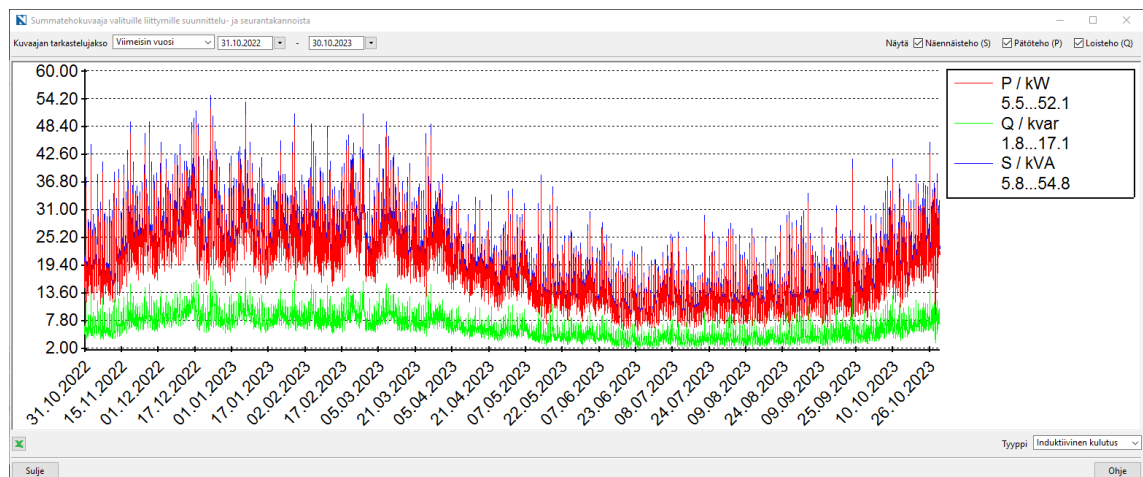
TAULUKKO 4. Oikosulkuvirtalaskennan tulokset taulukkomuodossa

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Pit./m ...	SulL/A - ...	Ik1min/A - ...	Aika/s - S...	Ikmin/ln - ...	A2 - Toteut...	B2 - Toteutu...	Ik2min/A ...
AX185	57 558F150	72	80	315	834	528.998	2,6	A		1377
AX25	57 558F150	73	3	63	916	0.030	14,5			1506
AX25	73	74 104825	75	63	495	0.617	7,9			840
AX25	57 558F150	75	2	63	926	0.024	14,7			1522
AX25	75	76	80	63	483	0.678	7,7			820
AMC16	76	77 104824	30	63	375	2.122	6,0			640
AX25	57 558F150	78	3	63	916	0.030	14,5			1506
AX25	78	79	80	63	480	0.693	7,6			816
AMC16	79	80 104835	25	63	388	1.835	6,2			661
AX185	57 558F150	81	130	315	776	660.328	2,5	A		1286
AX185	81	82	2	315	774	665.203	2,5	A		1283

Liian hidus suojaus saadaan toimimaan riittävän nopeasti vaihtamalla ylivirtasuojan kokoa pienemmäksi, mikäli se kuormitusvirta huomioiden on mahdollista. Jotta 1. nollausehto toteutuu, niin ylivirtasuojaa täytyy pienentää kokoon 250 A. On tutkittava, missä lähin suojaava sulake sijaitsee ja voidaanko sen kokoa pienentää, aiheuttamatta sen toimimista normaalilla kuormitusvirralla. Jakokeskusten kytkentäkaavioista selviää, että lähin johtoja edeltävä ylivirtasuojaa on syöttävän muuntamon pienjännitekeskuksella. Runkojohto on kytketty jakokeskuksilla suoraan niiden kiskoihin ilman sulakkeita.

Kuormitusvirran arviointiin käytetään muuntamon lähdön syöttämien liittymien summatehokuvaajaa tai tehonjakolaskentaa. Summatehokuvaajan mukaan, vuoden huipputunnin aikana, lähdön syöttämien liittymien yhteenlaskettu näennäis-teho on ollut keskimäärin 54,8 kVA (kuvio 8). Kuvaajan perusteella huipputunnin keskimääräinen kuormitusvirta on ollut

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{54,8 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 79,1 \text{ A.}$$



KUVIO 8. Liittymien summatehokuvaaja vuoden ajalta

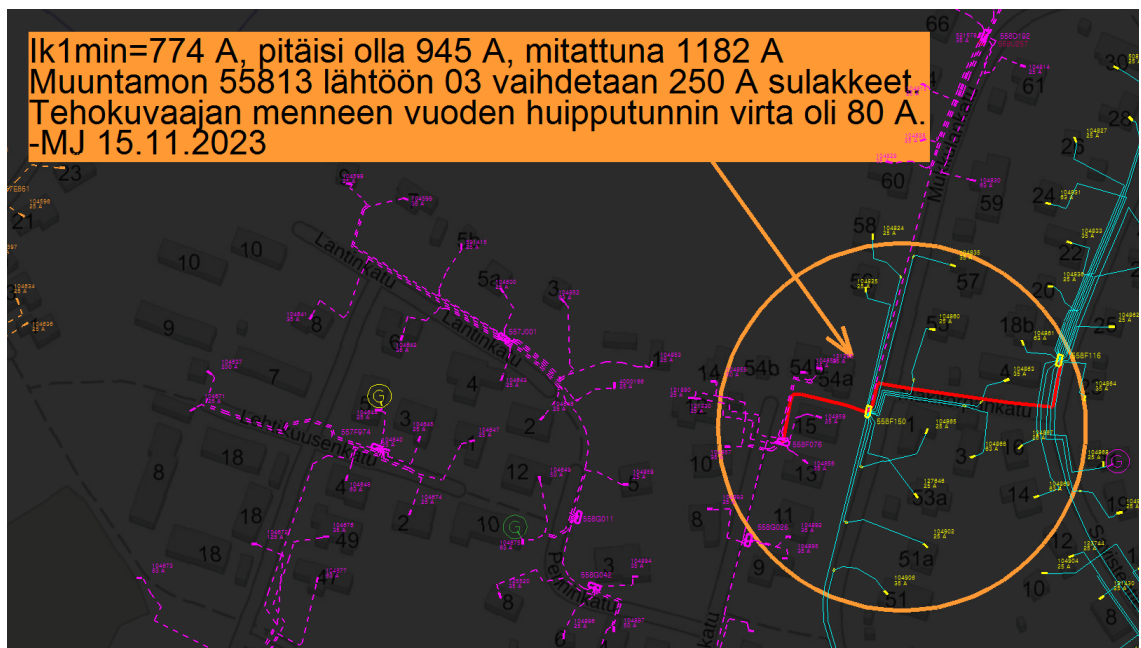
Lähdön kuormitusvirtaa voidaan selvittää myös tehonjakolaskennan avulla. Tehonjakolaskennasta saadaan lähdön suurimmaksi virraksi 79,0 A (taulukko 5), joka vastaa summatehokuvaajasta laskettua virtaa.

TAULUKKO 5. Tehonjakolaskennan tulokset

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Pit./m - Pitu...	K-aste/% - S...	Imax/A - Su...	Ph/kW/km ...	Umin/V - Lo...	Uh/% - Lop...	Verkkotunnus
AMC16	12 558J001	27 105003	25	23.3	14.9	1.3	236.5	1.466	01359
AMC16	12 558J001	28 105004	35	14.5	9.3	0.5	236.7	1.356	01359
AX185	5 55813PK	29	4	24.3	79.0	3.0	237.9	0.888	01359
AX185	29	30	190	24.3	79.0	3.0	235.3	1.957	01359

Lasketun kuormituksen perusteella 250 A sulakkeet riittävät hyvin lähdön kuormavirralle. Vaihtamalla pienemmät sulakkeet muuntamon lähtöön, saadaan lähdön suojaus toimimaan vaatimusten mukaisesti.

Verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan on merkitty tiedot verkon laskennassa varoituksen antaneesta kohteesta piirtotyökaluilla (kuvio 9). Tietoihin on lisätty varoituksen syy, minkä tyyppisiä toimenpiteitä sen korjaaminen vaatii, merkinnän tekijä ja teko aika.



KUVIO 9. Verkkotietojärjestelmän suunnitelmaan tehdyt merkinnät

Sulakkeiden vaihtamisesta lisätään verkkotietojärjestelmään kunnossapitotyö (kuvio 10). Kunnossapitotyö lisätään pienjännitekytkin komponenttiin, jossa vaihdettavat sulakkeet sijaitsevat. Kunnossapitotyö saadaan näkyviin kannettavilla laitteilla ja voidaan lisätä työjonoon asentajille.

Syötä kunnossapitotieto											
Merkitse ja täytä kohteelle lisättävät kunnossapitotiedot.											Suodatin
<input checked="" type="checkbox"/>	Nimi	Nykyinen arvo	Uusi arvo	Tärkeys	Tila	Määräpäivä	Valmis	Tekijä	Huomautus	Liite	Sijainti
<input checked="" type="checkbox"/>	Pj-sulakkeen vaihto			Ei määritetty	Suunniteltu	31.12.2026 00:00:00					

Oikean kokoisien pj-sulakkeen vaihtaminen (1-3) pylväskyttimeen, jakokaappiin tai muuhun pj- keskukseseen. Sulakemerkinnän korjaus.

Huomautus
Lähtöön 03 vaihdetaan 250 A sulakkeet, jotta nolausehto täyttyy. Summatehokuvaajan mukaan vuoden huipputunnin kuormavirta on ollut noin 80 A.

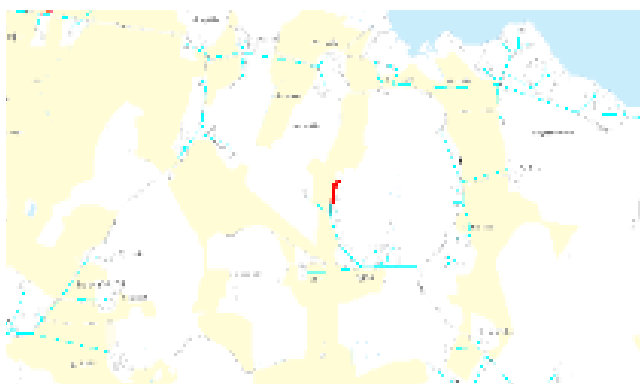
OK Peruuta Sijainti >> Ohje

KUVIO 10. Kunnossapitotyö sulakkeiden vaihtamisesta

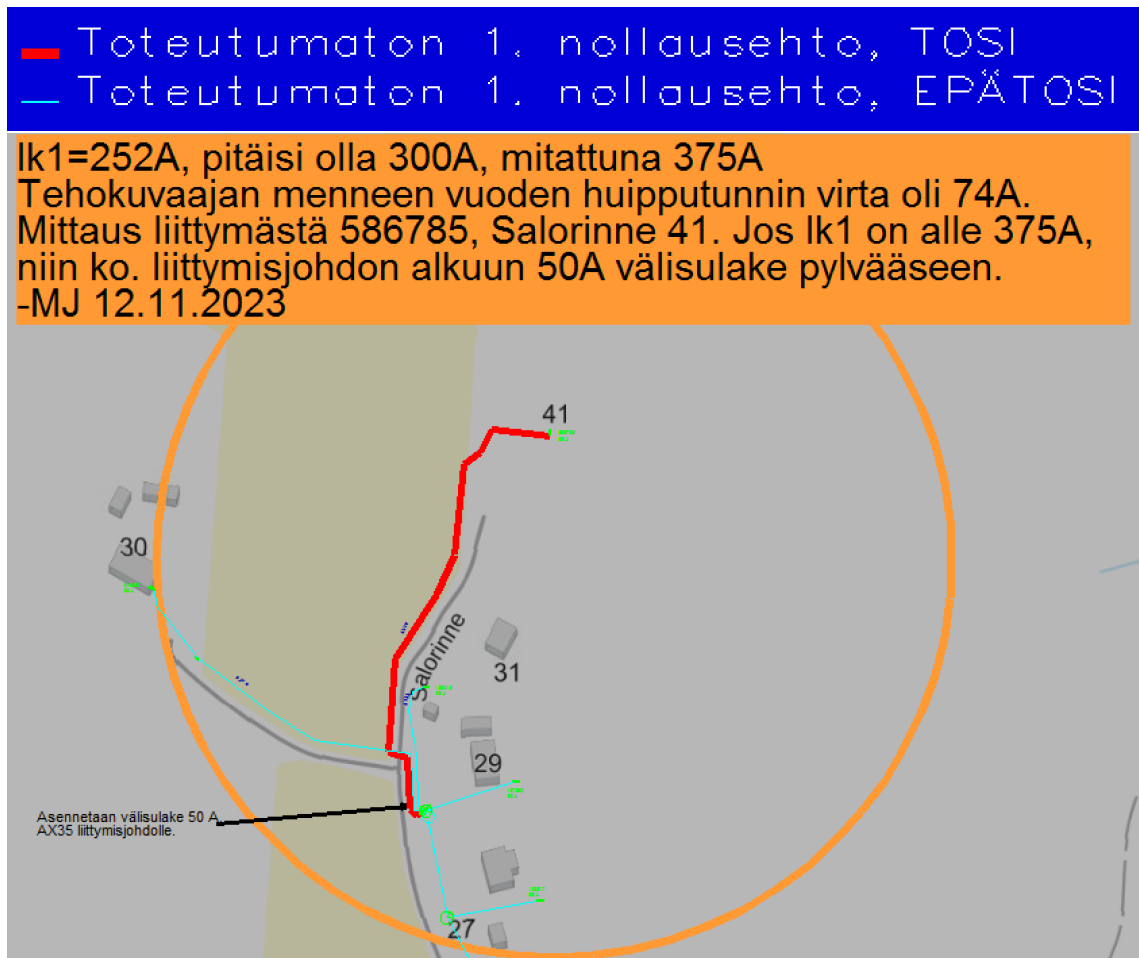
Kun sulakkeiden vaihdot lisätään kunnossapitotöiksi verkkokomponenteille, niin ne voidaan tulostaa kartalle komponenttien sijaintien perusteella. Tämä helpottaa sulakevaihtojen toteutusta, kun työkohteiden sijainnin näkee verkkotietojärjestelmästä.

3.3 1. nolausehdon korjaaminen lisäämällä välisulake

Koko verkon 1. nolausehdon tulosteessa näkyy punaisella värityvä johto haja-asutusalueella (kuvio 11). Lasketaan kyseisestä muuntopiiristä oikosulkulaskenta ja valitaan karttatulostus 1. nolausehdosta (kuvio 12). Toteutumattoman 1. nolausehdon tarkempi sijainti paikallistuu ilmajohton pylväältä lähtevään liittymisjohtoon.



KUVIO 11. Koko verkon laskennassa värityvä johto



KUVIO 12. Toteutumaton 1. nollausehto on liittymisjohdossa

Oikosulkulaskennassa oikosulkuvirraksi on saatu 252 A ja suojaava sulake on 100 A (taulukko 6). Oikosulkuvirran tulee olla vähintään 3-kertainen sulakkeen nimellisvirtaan nähden eli vähintään 300 A.

TAULUKKO 6. Oikosulkulaskennan tulos

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Pit./m - Pitu...	Sul/A - Pie...	Ik1min/A - ...	Aika/s - Sul...	Ikmin/ln - 1...	AZ - Toteut...	B2 - Toteutu...	Ik2min/A - ...	Liittymä - L...
AX35	15	16 586785	36	100	252	422.032	2.5	A		406	586785

Laskennassa saatu oikosulkuvirta riittää 80 A sulakkeelle. Lähin aikaisempi sulake on johtolähdön alussa pylväsmuuntajalla. Arvioidaan muuntajalta lähtevän AMKA-johdon kuormavirtaa tehojakolaskennan avulla (taulukko 7). Laskennan mukaan johdon suurin kuormitusvirta on 74,4 A. Jos johtolähdölle laitetaan 80 A sulake, niin on riski, että kuormitus voi kasvaa liian suureksi ja sulake saattaa toimia normaalista kuormituksesta, vaikka vikaa ei ole.

TAULUKKO 7. Tehojakolaskennan tulos AMKA-johdolle

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Pit./m - Pitu...	K-aste/% - S...	Imax/A - Su...	Ph/kW/km ...	Umin/V - Lo...	Uh/% - Lop...	Verkkotunnus
AMKA70	3 51311P...	4	125	41.3	74.4	7.0	233.4	2.759	01183

Varmempi vaihtoehto on asentaa johtoon välisulake liittymisjohdon alkuun, jotta suojaus saadaan toimimaan nopeammin liittymisjohdossa. Johto syöttää vain yhtä 25 A liittymää, joten sen suojauksessa voidaan käyttää pienempää sulaketta. Sopiva sulake on 50 A gG-sulake, joka vaatii 250 A oikosulkuvirran, toimiaukseen 5 sekunnissa.

3.4 Dokumentaatiovirheet

Osa laskennan antamista huomautuksista, johtui virheistä verkon dokumentaatioissa. Virheet tulivat esiin, kun huomautuksia 1. nollausehdosta tarkasteli tarkemmin. Taulukossa 8 näkyy, että jakokaapilta 807B049 liittymälle 508529 lähtevä johto huomauttaa toteutumattomasta 1. nollausehdosta, laskentatulosten sarakeissa A2.

TAULUKKO 8. Huomautus 1. nollausehdosta liittymisjohdossa

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Pit./m - Pitu...	SuL/A - Pie...	Ik1min/A - ...	Aika/s - Sul...	Ikmin/In - 1...	A2 - Toteut...	B2 - Toteutu...	Ik2min/A - ...	Liittymä - L...
AX25	13	14 113260	23	80	499	2.915	6.2			1062	113260
AX25	9 807B049	15	102	497	664	1264.305	1.3	A			1135
AMC16	15	16 508529	23	497	507	1500.804	1.0	A		870	508529
AX185	9 807B049	17	1	315	4393	0.319	13.9			6261	
AX185	17	18 100502	20	315	3809	0.565	12.1			5586	100502
AX185	4 807A13PK	19	1	315	15739	0.001	43.7			13751	
AX185	19	20	105	315	4327	0.335	13.7			6187	
AXC185	20	21 100490	70	315	2498	3.109	7.9			4293	100490
AX35	4 807A13PK	22	1	63	15252	0.001	215.4			13572	

Tarkastelemalla jakokaapin kytkimiä, näkyy että jakokaapin kytkimeen, ei ole määritelty sulakekoko (taulukko 9). Laskennassa johto-osa kytkeytyy suoraan jakokaapin kiskoon, ilman sulaketta, joka aiheuttaa huomautuksen toteutumattomasta nollausehdosta.

TAULUKKO 9. Jakokaapin 807B049 kytkimet

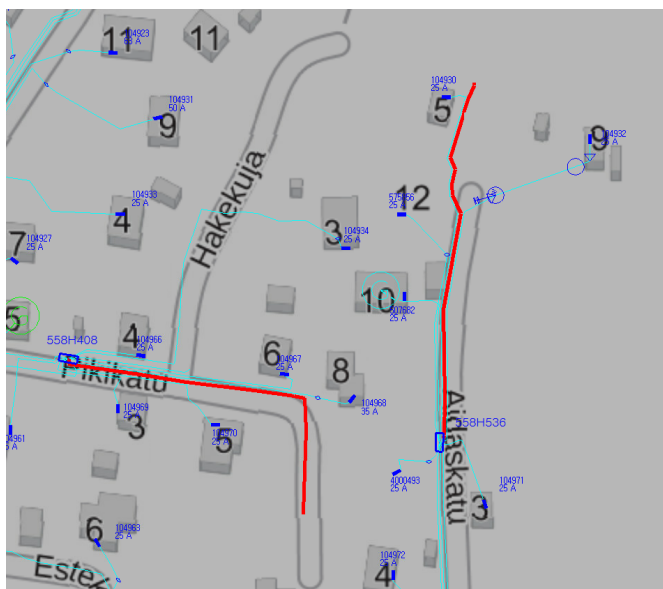
Tunnus	Kiskoliitäntä	Valmistajan tyyppi	Sulake	Sulakealusta	Lähdön suunta	Vapaa	Tila	Johdon tun...
01	Sulakkeet	SLB2	200 A	400	SVINH.K.10 JK807D160	Ei	kiinni	AX185
02	Sulakkeet	SLB2		400	VARALLA	Kyllä	auki	
03A	Kiskoon	ADB3M			SVINHUFVUDINKATU 17 ...	Ei	kiinni	AX185
03B	Kiskoon	ADB3M			SVINHUFVUDINKATU 17 ...	Ei	kiinni	AX185
04	Sulakkeet	SLB2	315 A	400	SVINHUFVUDINKATU 21, ...	Ei	kiinni	AX185
05	Sulakkeet	SLD 00		160	SALPAUSSELÄNKATU HAR...	Ei	kiinni	AX25

Verkkotietojärjestelmään on tallennettu jakokaapista valokuva, jossa jonovaro-kekytkimen sulakkeet kuitenkin näkyvät (kuva 1). Sulakekoko ei kuvasta kuitenkaan selviä, joten se täytyy käydä tarkastamassa paikan päällä.



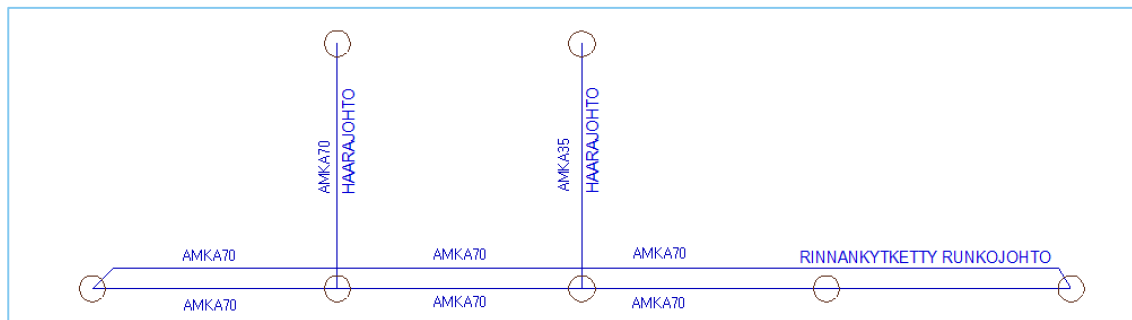
KUVA 1. Jakokaapin 807B049 kiskosto (Kuva: Pekka Soikkeli)

Huomauttavista kohteista paljastui kaapeleita, jotka eivät ole käytössä, mutta ovat verkkotietojärjestelmässä kytkettyneenä jakokaapin kohdalla suoraan runkojohtoon ja aiheuttavat siten huomautuksen. Kartalla (kuvio 13) näkyy kaksi tällaista huomauttavaa kaapelia, jotka eivät todellisuudessa ole kytkettyinä jakokaapilla.



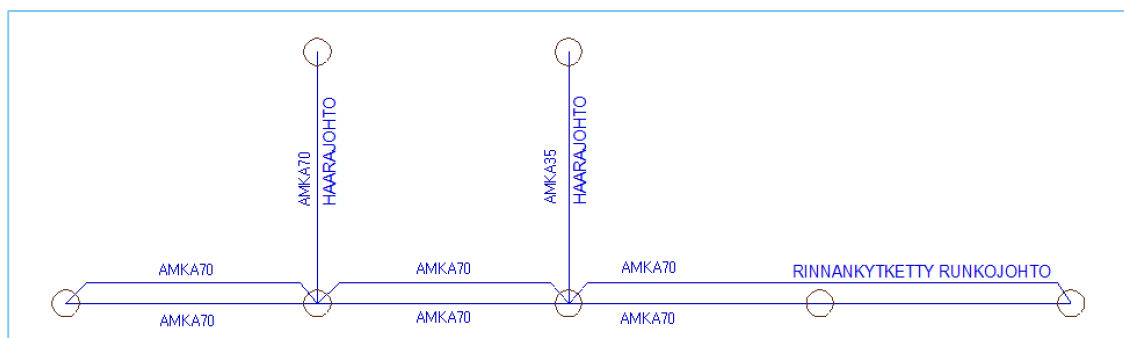
KUVIO 13. Ei käytössä olevat johdot antavat huomautuksen.

Rinnan kytkettyjen AMKA-johdojen dokumentaatiossa esiintyi useita virheitä. Rinnakkaisia johto-osia ei ollut aina piirretty alkavaksi ja loppuvaksi samaan pisteeseen. Rinnankytkettyjen johto-osien täytyy alkaa samasta pisteestä ja loppua samaan pisteeseen, jotta ne voidaan laskea säteisverkkolaskennalla. Jos rinnakkaiset johtojen muodostama verkko oli piirretty haarautuvien johtojen kohdalta tikapuiden muotoiseksi, niin säteisverkkolaskenta ei toiminut (kuvio 14).



KUVIO 14. Rinnakkaiset AMKA-johdot on piirretty tikapuumuodossa

Kun rinnakkaiset johtojen muodostama verkko on piirretty haarautuvien johtojen kohdalta samaan pisteeseen, niin säteisverkkolaskenta toimii (kuvio 15). Virta jakautuu rinnakkaisten johtojen kesken.



KUVIO 15. Rinnakkaiset AMKA-johdot on piirretty laskennan kannalta toimivasti

3.5 Mittauksella toimivaksi todettu suojaus

Oikosulkulaskennan tuloksen perusteella oikosulkuvirta ei ole liittymässä 508692 riittävä, johtoa suojaavalle 100 A sulakkeelle. Laskenta antaa yksivaiheiseksi oikosulkuvirraksi vain 267 A (taulukko 10). Oikosulkuvirran tulisi olla vähintään 3-kertainen sulakkeen nimellisvirtaan nähden eli vähintään 300 A.

TAULUKKO 10. Oikosulkulaskenta liittymästä 508692

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Pit./m - Pitu...	SulL/A - Pie...	Ik1min/A - ...	Aika/s - Sul...	Ikmin/ln - 1...	A2 - Toteut...	B2 - Toteutu...	Ik2min/A - ...	Liittymä - L...
AX185	83 506J007	85	43	100	3248	0.001	32.5			4470	
AMKA70	85	86	34	100	2315	0.001	23.2			3359	
AMKA35	86	87	134	100	686	2.370	6.9			1073	
AMKA35	87	88	47	100	548	6.602	5.5			859	
AX35	88	89	150	100	311	112.923	3.1			509	
AX35	89	90 508692	57	100	267	286.400	2.7	A		441	508692
AMKA35	87	91	36	100	575	5.347	5.7			901	
AX25	91	92 103057	6	100	551	6.426	5.5			867	103057
AX25	92 103057	93	2	100	543	6.887	5.4			856	

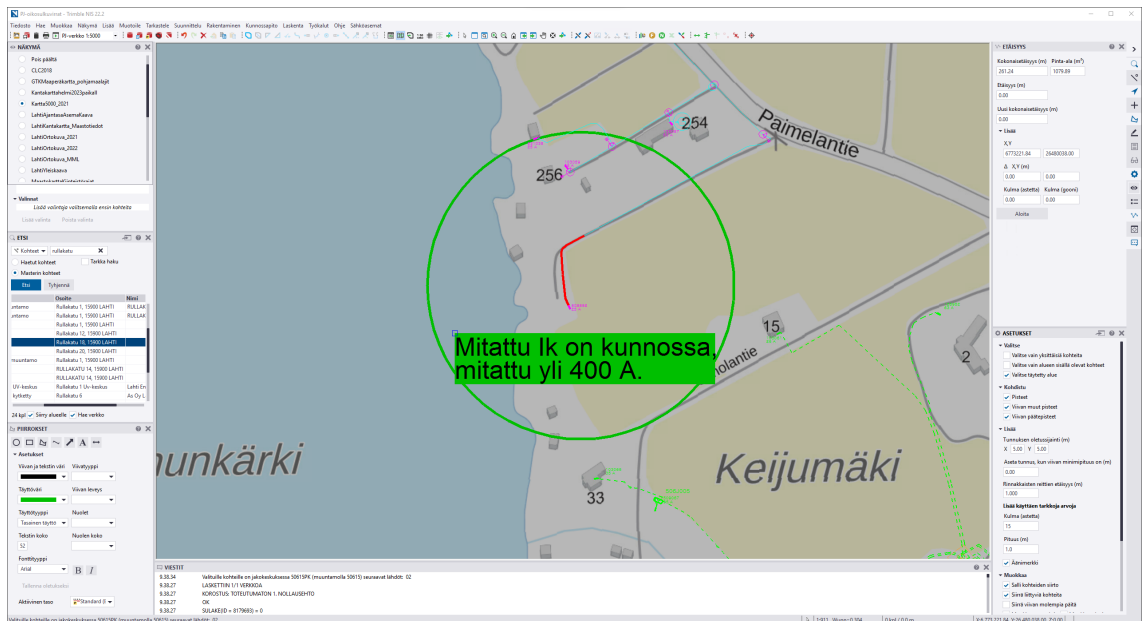
Kohteessa on käyty aikaisemmin mittaamassa oikosulkuvirta. Mittaustulos on tallennettu verkkotietojärjestelmään, johtoa suojaavan sulakkeen jonovarokeytkimen huomautus tietokenttään (kuvio 16). Mittaustuloksena saatu yksivaiheinen oikosulkuvirta on ollut 404 A, joka ylittää ylivirtasuojan tarvitseman vähintään 300 A virran. Suojaus on näin mittauksella todettu toimivaksi.

Tunnus	Kiskoliitäntä	Valmistajan tyyppi	Sulake	Sulakealusta	Lähdön suunta	Vapaa	Tila	Johdon tunnus
01	Kiskoon	ADB3M			M 50615 KALLIOLA SIPI LÄNTIE 4	Ei	kiinni	AX185
02	Sulakkeet	SLD 2	100 A	400	ILMAJOHTO ETELÄÄN	Ei	kiinni	AX185
03	Sulakkeet	SLD 00	100 A	160	ILMAJOHTO LÄNTEEN	Ei	kiinni	AX70
04	Sulakkeet	SLD 00	80 A	160	PAIMELANTIE 265 UJATK AX35/AMC25!	Ei	kiinni	AX35
05	Sulakkeet	SLD 00	80 A	160	PAIMELANTIE 275 A	Ei	kiinni	AMC25
06	Sulakkeet	SLD 00	63 A	160		Kyllä	kiinni	
06A					PAIMELANTIE 279	Ei	alil. kiinni	AX25
06B					PAIMELANTIE 275 b	Ei	alil. kiinni	AX25

Lisää Kopioi Avaa Jakokeskus... Raportti...
 Oletusarvot... PJ-lytkin... Sulje Päivitä lähdön suunta
 Huomautus: Oikosulkuvirta mitattu liittymältä 508 692 2.3.2020: Megger 404 A, Fluke 441 A.
 Pasilähdeksi Kytke Kytke siltaan Alilähdeksi Pura Pura silta
 Ohje

KUVIO 16. Mittaustuloksen merkintä suojaavan sulakkeen jonovarokeytkimelle

Suunnitelmaan on merkitty kohde vihreällä värillä, jotta tiedetään sen olevan kunnossa (kuvio 17). Merkinnästä tiedetään kohteen olevan kunnossa, vaikka laskenta siitä huomautuksen antaakin.



KUVIO 17. Kohteen oikosulkuvirran on todettu olevan kunnossa mittauksella

3.6 Verkkoa täytyy vahvistaa

Kerrostaliittymästä tulee oikosulkulaskennassa huomautus 1. nollausehdosta liittymisjohdolle ja liittymän pääsulakkeille (taulukko 11). Myös viereisellä kerrostalolla tulee huomautus 1. nollausehdosta liittymän pääsulakkeilla. Liittymien pääsulakkeet ovat 125 A. Laskettu oikosulkuvirta heikommassa liittymässä on vain

349 A. Liittymä on rakennettu vuonna 1981. Silloin voimassa olleiden määräysten mukaan oikosulkuvirran tulisi olla vähintään 4,5-kertainen pääsulakkeen nimellisvirtaan nähden eli 562,5 A.

TAULUKKO 11. Oikosulkulaskennan tulokset

Johtolaji	Alkusolmu	Loppusolmu	Lähtö	Pit./m ...	Sull/A - ...	Ik1min/A - ...	Ik2min/A ...	Aika/s - ...	Ikmin/In - ...	A2 - ...	B2 ...	Liittymä...
AMC70	11	12 114439	07	320	125	433	1079	18.973	3.5		B	114439
AMC70	4 81511PK	13	08	6	125	12355	13244	0.001	98.8			
AMC70	13	14 114438	08	400	125	349	873	22.537	2.8	A	B	114438

Koska ylivirtasuojien kokoa ei voida pienentää, täytyy oikosulkuvirtaa saada kasvatettua. Kummallekin hälyttävälle liittymälle on oma AMCMK 3x70+21 liittymisjohto muuntamolta asti (kuvio 18). Liittymisjohtojen alkuosa pitää korvata vahvemmalla runkojohdolla muuntamolta tonttien rajalle, lähemmäksi liittymiä. Tonttien rajalle voidaan lisätä jakokaappi, jossa kummankin kerrostalon liittymisjohdot kytketään omalle jonovarokeytkimelleen. Näin oikosulkuvirrat saadaan kasvaamaan ja poiskytkentä toteutuu riittävän nopeasti liittimisjohdoissa ja liittymien pääsulakkeilla.



KUVIO 18. Liittymissä on liian heikko oikosulkuvirta

4 POHDINTA

Suurin osa verkostolaskennan avulla löytyneistä liian hitaista suojauksista saadaan korjattua vaihtamalla verkon sulakekokoja pienemmäksi. Sähköenergiamittauksen tuntidata helpottaa suurimpien kuormavirtojen arvioimista verkossa. Kuormavirtojen avulla saadaan tietoa, voidaanko sulakekokoja pienentää. Sulakekokojen pienentäminen on nopea toimenpide toteuttaa. Se on myös toteutuskustannuksiltaan edullinen tapa saada suojaus toimimaan riittävän tehokkaasti. Liian suuria sulakekokoja esiintyi kummassakin, taajamien maakaapeliverkossa sekä haja-asutusalueiden ilmajohtoverkossa.

Virheitä dokumentaatiosta löytyi poiskytkentäehtojen tarkastelun yhteydessä lukuksia kappaleita. Dokumentaation laatu parani työn sivutuotoksena. Dokumentaation paikkansa pitävyys on edellytys, että verkkotietojärjestelmän laskentaominaisuuksia voidaan hyödyntää. Virheet dokumentaatioissa voivat aiheuttaa turhia huomautuksia tai pahimmillaan huomautusta ei tule, vaikka suojaus ei toimisi-kaan.

Dokumentaation hyvä laatu on tärkeä verkon käyttötoimenpiteissä. Virheellinen dokumentaatio voi johtaa tarpeettomiin vaaratilanteisiin käyttötöissä. On tärkeä tietää, mistä sähkölaitteisto saadaan tarvittaessa kytkettyä jännitteettömäksi ja miten verkko on kytkeytynyt.

Tarkastelussa löytyneitä kohteita, jotka vaativat verkon vahvistamista, voidaan hyödyntää verkkoyhtiön tulevien saneerauskohteiden valikoinnissa. Verkon vahvistaminen tarvitsee tarkempaa suunnittelutyötä. Kohteiden toteuttaminen vaatii myös suurempien investointien tekemistä nykyiseen verkkoon kuin pelkkä sulakkeiden vaihtaminen.

Poiskytkennän toteutumista pääsulakkeilla ei ole tarkasteltu koko verkon alueella. Liittymisjohtojen toteutumattomien poiskytkentäehtojen yhteydessä havaittiin kuitenkin liian pieniä oikosulkuvirtoja pääsulakkeilla. Tulevaisuudessa pitää suorittaa laskenta myös 1. nollausehdon toteutumisesta liittymissä koko verkolle ja lisätä myös pelkästään siitä huomauttavat kohteet suunnitelmaan tai tehdä

näille kohteille kokonaan oma suunnitelmansa. Koko verkon laskentatuloksissa 1. nolausehdosta liittymän verkossa huomauttavia rivejä on 624 kappaletta. Näin suuren tietomäärän käsittelyyn täytyy varata runsaasti aikaa, eikä käsittelyä ollut mahdollista suorittaa tälle työlle varatussa ajassa.

LÄHTEET

Elovaara, J., Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. korjattu painos. Helsinki: Otatieto.

Haapaniemi, J., Supponen, A., Räisänen, O., Haakana, J., Vilppo, J., Repo, S. Lassila, J. 2022. Laaja-alaisen aurinkosähkön yleistymisen huomioivat sähköverkon mitoitusperiaatteet. LUT-yliopiston tutkimusraportti 147. Lappeenranta.

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Lakervi, E., Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki: Otatieto.

SFS 6000-8-801. 2022. Pienjännitesähköasennukset. Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 15.10.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 60909-0. 2016. Short-circuit current in three-phase a.c. systems. Calculation of currents. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 29.10.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Sähkötarkastuslaitos. 1966. Julkaisu A 1-66. Sähkölaki ja varmuusmääräykset. 4. painos. Helsinki: Sähkötarkastuslaitos ry.

Sähkötarkastuslaitos. 1974. Julkaisu A 1-74. Sähköturvallisuusmääräykset. Jyväskylä: K.J. Gummerus Oy.

Sähkötarkastuskeskus. 1993. Julkaisu A 1-93. Sähköturvallisuusmääräykset. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Sähkötarkastuskeskus. 1994. Julkaisu A 2-94. Rakennusten sähköasennukset. 2. painos. Helsinki: Sähkötarkastuskeskus.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Viitattu 7.10.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Tiainen, E. 2017. D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 27. painos. Helsinki: STUL ry.

Trimble 2021, Trimble NIS käyttäjän käsikirja. Versio 21.2. Ei saatavilla julkisesti.

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistosta 21.12.2016/1434. Viitattu 4.10.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>