

Niko Keiski

OHJEISTUS MAAKAAPELIVIAN PAIKANNUKSEEN

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka
Marraskuu 2024**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Marraskuu 2024	Tekijä/tekijät Niko Keiski
Koulutus Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka	<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK	
Työn nimi OHJEISTUS MAAKAAPELIVIAN PAIKANNUKSEEN		
Työn ohjaaja Hannu Ala-Pönttiö	Sivumäärä 30	
Työelämäohjaaja Kaarina Dahlbacka		
<p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään maakaapelivian paikantamista ja siihen liittyvien menetelmien kehittämistä Kokkolan Energiaverkot Oy:n käyttöön. Työssä keskitytään vianpaikannusvaunuun, joka sisältää tarvittavan laitteiston maakaapelivikojen havaitsemiseen ja paikantamiseen. Työn tavoitteena oli luoda ohjeistus vianpaikannukseen, toimintakaavio sekä suomentaa käyttöohjeita laitteistolle Kokkolan Energiaverkkojen käyttöön.</p> <p>Työ pohjautuu maakaapeleiden yleisimpiin vikatyyppeihin, kuten maasulkuvikaan, oikosulkuun ja irtikytkentään, sekä niiden aiheuttajiin, kuten ulkoisiin voimiin, eristysongelmiin ja korroosioon. Lisäksi käsitellään yksityiskohtaisesti vianpaikannusvaunun laitteistoa. Käytännön osuus koostui vianpaikannustapauksista, joissa seurattiin ja dokumentoitiin vianhaun etenemistä alusta loppuun.</p> <p>Työn tuloksena syntyi selkeä ohjeistus maakaapelivikojen paikantamiseksi ja korjaamiseksi. Ohjeistuksen tarkoituksena on parantaa vianpaikannuksen tehokkuutta, turvallisuutta ja yhtenäisyyttä sekä tukea uusien työntekijöiden perehdytystä. Työ toimii myös pohjana jatkokehitykselle ja koulutukselle.</p>		
Asiasanat Maakaapelivika, vianhaku, vianpaikannus		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date November 2024	Author Niko Keiski
Degree programme Bachelor of Engineering, Electrical and Automation Engineering		
Name of thesis INSTRUCTION FOR GROUND CABLE FAULT LOCATING		
Centria supervisor Hannu Ala-Pöntiö	Pages 30	
Instructor representing commissioning institution or company Kaarina Dahlbacka		
<p>This thesis addresses the location of underground cable faults and the development of related methods for Kokkolan Energiaverkot Oy. The focus is on a fault detection trailer equipped with the necessary tools for identifying and locating faults in underground cables. The goal was to create a guide for fault location, a workflow diagram, and translate user manuals for the equipment for use by Kokkolan Energiaverkot Oy.</p> <p>The work is based on the most common types of underground cable faults, such as earth faults, short circuits, and disconnections, as well as their causes, including external forces, insulation problems, and corrosion. Additionally, the equipment of the fault detection trailer is examined in detail. The practical component consisted of fault location cases where the fault-finding process was observed and documented from start to finish.</p> <p>The result of the thesis is a clear guide for locating and repairing underground cable faults. The purpose of the guide is to improve the efficiency, safety, and consistency of fault detection and to support the onboarding of new employees. The work also serves as a foundation for further development and training.</p>		
Key words Fault finding, Fault location, Underground cable fault		

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 MAAKAAPELIVIAT JA NIIDEN HAVAITSEMINEN	2
2.1 Maakaapeleiden yleisimmät viat	2
2.2 Yleisimmät vian aiheuttajat	3
2.3 Vian havaitseminen	3
3 MAAKAAPELIVIAN PAIKANNUSVAUNU	4
3.1 Kaapelin- tai putken- ja vianhakulaite 3M Dynatel 2573E.....	4
3.1.1 Dynatel 2573E Lähetin	5
3.1.2 Dynatel 2573E -vastaanotin.....	6
3.2 Kaapelinhakulaite Vivax-Metrotech Vm-810.....	7
3.3 Kaapelivian polttolaite Megger BT 500-IS-1	8
3.4 Maasulun paikannin Megger ESG NT.....	8
3.5 Aika alueen heijastusmittari SebaKMT Teleflex T 30-E	10
3.6 Syöksyaaltogeneraattori SebaKMT SG25-1150M	11
3.7 Maamikrofooni SebaKMT Digiphone T16/910.....	12
3.8 Sähköasennustesteri Fluke 1664FC	13
4 OHJEISTUS TOIMINTAAN JA PAIKANNUKSEEN	15
4.1 Ohjeistus maakaapelivian toimintaan.....	15
4.1.1 Vikailmoitus.....	15
4.1.2 Esityö.....	16
4.1.3 Vianpaikannus.....	17
4.1.4 Jälkityöt.....	19
4.2 Toimintakaavio.....	20
5 VIKATILANTEITA JA TOIMINTA VIANHAUSSA	26
5.1 Vikatilanne: Puiston toimitilasta puuttuu kakkosvaihe	26
5.2 Vikatilanne: Omakotitalosta puuttuu yksi vaihe	27
6 POHDINTA JA YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30

1 JOHDANTO

Sähköverkon toimintavarmuus on yhteiskunnalle tärkeää ja häiriöttömän sähkönjakelun varmistaminen edellyttää tehokasta viankorjausta häiriön sattuessa. Maakaapelien käyttö on lisääntynyt huomattavasti, mikä on vähentänyt sääolosuhteiden aiheuttamia jakeluhäiriöitä. Toisaalta maakaapeleiden vikaantuminen ja niiden paikantaminen voivat olla huomattavasti haastavampia, sillä vikapaikat sijaitsevat usein vaikeasti saavutettavissa paikoissa, kuten muun infran seassa.

Tämä opinnäytetyö keskittyy maakaapelivian paikantamiseen Kokkolan Energiaverkot Oy:n käytössä olevaan vianpaikannusvaunun. Työn tavoitteena oli luoda ohjeistus maakaapelivikojen tehokkaaseen paikantamiseen ja dokumentoida vianhaun kulku. Ohjeistuksen ja toimintakaavion tarkoituksena on parantaa vianpaikannuksen yhtenäisyyttä ja turvallisuutta sekä tukea uusien käyttäjien perehdytystä.

Työ pohjautuu laitteistojen tekniseen analyysiin, valmistajien ohjeisiin sekä käytännön vianpaikannustapauksiin, joiden kautta muodostettiin selkeä toimintamalli maakaapelivikojen paikantamiseen. Tämä työ tukee Kokkolan Energiaverkot Oy:n tavoitteita kehittää sähkönjakelun laatua ja vianhallintaprosessia.

2 MAAKAAPELIVIAT JA NIIDEN HAVAITSEMINEN

Maakaapeloinnin yleistyessä sähköjakeluverkossa maakaapelivian paikantamisen ja korjaamisen tulisi olla jakeluverkon kanssa työskentelevillä tiedossa. Vianpaikannuksessa käytettävät laitteet ja niiden käyttö on tärkeää jakeluvarmuuden ylläpitämisessä. Yleisimmät kaapeliviat voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: maasulkuvika, oikosulku ja irtikytkentä. Nämä vaikuttavat jokainen eri tavalla vian ilmentymiseen ja havaitsemiseen mutta korjaustoimenpiteet ovat suurelta osalta samat. Yleisimmät vian aiheuttajat voidaan taas jakaa viiteen kategoriaan: ulkoisen voiman vaurio, huono eristys, kemiallinen korrosio, ylikuormituskäyttö tai laadun vaihtelu. (Huazheng 2022.)

2.1 Maakaapeleiden yleisimmät viat

Maasulkuvika on eristysvika, joka tapahtuu, kun sähkövirta karkaa tarkoitetusta reitistään ja kulkee maadoitukseen tahattoman johtimen kautta. Näin voi tapahtua, kun sähköjohto on vaurioitunut, altis tai märkä ja joutuu kosketuksiin metalliesineen, ihmisen tai maan kanssa. (Dreiy 2021.). Jos kaapelissa on samanaikaisesti kahdessa eri kohdassa eristysvika, kutsutaan sitä kaksoismaasuluksi. Maasulkuvika aiheuttaa vaihejohtimissa vaiheiden välisen jännite eron. Jännite ero aiheuttaa kuorman muutosta vaikuttaen kaapelin kestävyys ja mahdollistaen 0-pisteen jännitteellisyyden, joka voi olla ihmiselle vaaraksi.

Eristysvian tai ulkoisen kosketuksen takia jakeluverkon virtapiiri voi sulkeutua suoraan, valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Oikosulku voi sattua kahden tai kolmen vaihejohtimen välille, ja sille on tyypillistä kuormitusvirtaa suurempi virta. Vika voi sattua myös vaihejohtimen ja maan välille. Verkon tähtipisteen maadoitustapa määrittelee maasulun vikavirran. Viat voivat aiheuttaa henkilövahinkoja, johtojen ja laitteiden liiallista kuumenemista sekä häiriöitä ja keskeytyksiä sähkönjakeluun. Vioittunut virtapiirin osa kytketään irti sähkönsyötöstä rele- tai sulakesuojauksen avulla. (Sähkönjakelutekniikka 2008.)

Irtikytkentä tarkoittaa kaapelin fyysistä irtoamista liitoskohdastaan tai katkeamista. Irtikytkentä voi olla koko kaapelin tai pelkästään yhden johtimen katkeaminen. Yleisimpänä syynä tähän ovat ulkoiset voimat kuten kaivinkone tai lapio.

2.2 Yleisimmät vian aiheuttajat

Ulkoisen voiman aiheuttamat vauriot ovat yleisin syy kaapelin rikkoutumiseen. Kun kaapeli on vaurioitunut ulkoisen voiman vaikutuksesta, tapahtuu sähkökatkos. Esimerkiksi maanalaisen putkilinjan rakentamisen yhteydessä kaapeli vedetään irti rakennuskoneiden suuren voiman vuoksi. Kaapelin eristyskerros ja suojakerros vaurioituvat liiallisesta taipumisesta ja vetämisestä tai syvistä veitsen jäljistä kaapelin kuorinnan aikana. Huono eristys voi johtua kaapelin valmistus- ja tuotantoprosessista, väärästä asennustavasta tai pitkäaikaisesta hankaamisesta. Eristyksen hajoaminen voi aiheuttaa kosteuden pääsyä johtimiin ja aiheuttaa syöpymistä. Eristyksen hajoaminen vaikuttaa kaapelin eristysvastukseen, jolloin vastus pienenee ja virta kasvaa aiheuttaen sähkökatkoksia. (Huazheng 2022.)

Pitkäaikainen korkea virran kulku saa kaapelin eristyksen tuottamaan paljon lämpöä. Jos kaapelieriste on pitkään huonossa kemiallisessa ympäristössä, sen fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat ja kaapelin eristys vanhenee tai jopa menettää tehonsa, mikä johtaa sähkökatkoihin. Jos virtajohto on pitkään korkeavirtaisessa toimintaympäristössä ja linjan eristyskerroksessa on epäpuhtauksia tai ikääntymistä sekä ulkoisten tekijöiden, kuten salaman, ylikuormitusta aiheuttavaa toimintaa, tuottaen paljon lämpöä, johtaa se helposti virtakaapelin rikkoutumiseen. Myös kaapeliin liitettävät osat kuten kaapelijatkot ja päätteet, vaihtelevat laadultaan ja valmistajan mukaan. Tämä aiheuttaa eri valmistajien välisiä materiaali-muutoksia ja ratkaisuja, joissa tuotteet eivät välttämättä sovi täydellisesti yhteen. Myös kaapelin kuljettaminen ja varastoiminen väärin voi aiheuttaa kosteuden kerääntymistä johtimiin. (Huazheng 2022.)

2.3 Vian havaitseminen

Todennäköisimmän vikapaikan määrittämisessä voidaan hyödyntää sähköteknisiä mittauksia (esim. vianilmaisimet), verkkotietoja (esim. avojohto tai kaapeli), säätietoja (mm. tuulen suunta ja voimakkuus), johto-osien ympäristötietoja (esim. onko johto metsässä tai puut lumikuormassa), salamanpaikannustietoja ja niin edelleen. Päätelyssä voidaan soveltaa sumeaa logiikkaa, joka mahdollistaa epävarman tiedon käsittelyn. Jokainen tietolähde muodostaa sumean joukon, josta voidaan lähteä päättämään tarkemmin paikannettavan vian sijaintia. Tarpeeksi monen tietolähteen perusteella saadaan tarkka tieto viasta ja sen sijainnista. (Lakervi, E. & Partanen, J. 2008.)

3 MAAKAAPELIVIAN PAIKANNUSVAUNU

Maakaapelivian paikannusvaunu (KUVA 1) on henkilöauton perässä vedettävä perävaunu, johon on kasattu tarvittava vianhakulaitteisto ja ohjeistus sen käyttöön. Perävaunu on puolalaisen yrityksen Tomplan Sp. Z o.o. valmistama koppiperävaunu. Vaunu on kevyt ja sitä saa vetää henkilöautolla, joten se sopii hyvin laitteiston siirtovaunuksi.



KUVA 1. Maakaapelivian paikannusvaunu.

3.1 Kaapelin- tai putken- ja vianhakulaite 3M Dynatel 2573E

3M:n kehittämä kaapelien-, putkien- ja vikojenhakulaite Dynatel 2573E on monikäyttöinen paikannuslaite, joka sisältää lähettimen, vastaanottimen ja A-haarukan. Vianpaikannuksessa laitetta voidaan käyttää kaapelireitin merkitsemiseen sekä vianhakuun ja paikantamiseen. (Onninen.)

3.1.1 Dynatel 2573E Lähetin

Lähetin (KUVA 2) on varustettu kolmella eri toiminnolla: vastusmittaus, vian paikannus tai äänen lähetys. Vastusmittauksella tarkistetaan kaukopään maadoitus tai vaippavian suuruus sekä kaapelin jatkuvuus. Vian paikannuksella lähetin lähettää samanaikaisesti 577 hertsin ja 33 kilohertsin taajuutta kaapelin paikannukseen, sekä 10 ja 20 hertsin taajuutta vaippavian paikannukseen. Äänenlähetystoiminnolla lähetin lähettää 577 hertsin ja 133 kilohertsin taajuutta kaapeliin. (Onninen.) Lähetintä voidaan käyttää kolmella eri kytkentämenetelmällä: suorakytkentänä, dyna-virtapihdillä tai induktiolla. Suorakytkennässä käytetään hauenleukoja, jolla lähetin yhdistetään fyysisesti maahan sekä vaippaan tai johtimeen. Dyna virtapihti yhdistetään kaapelin ympärille jotta saadaan indusoitua taajuus virtapihdin välissä olevaan kaapeliin. Induktio toimii ilman virtapihtiä ja hyödyntää lähettimen sisällä olevaa kelausta taajuuden indusoimiseen johtaviin kaapeleihin. Induktiomenetelmän huono puoli on, että taajuus indusoituu kaikkeen maassa olevaan johtavaan materiaaliin. Jos maassa kulkee monta kaapelia halutulla alueella, voi kaapeleiden merkkäminen olla erittäin hankalaa vaihtelevan signaalivoimakkuuden takia.



KUVA 2. 3M Dynatel 2573E -lähetin.

3.1.2 Dynatel 2573E -vastaanotin

Dynatel 2573E -vastaanotin (KUVA 3) on monipuolinen laite vianhaussa ja kaapelin etsinnässä. Kun lähetin lähettää signaalitaajuuksia, vastaanotin havaitsee maastossa eri signaalit asetusten mukaan. Asetukset mahdollistavat mm. signaalin nuoliohjatun etsimisen, herkkyuden säädön ja syvyysmittauksen. Nämä ominaisuudet auttavat vianhaussa paljon. Viallisen kaapelin paikantaminen nuoliohjauksella sekä syvyyden avulla hahmottaa vianhaussa mahdollisten maaston poikkeavuuksien aiheuttamat viat kuten edelliset kaivuutyöt, puun juurien kasvu ja roudan muokkaamaa maata.



KUVA 3. 3M Dynatel 2573E -vastaanotin ja A-haarukka.

Lisäosana vastaanottimelle löytyy A- haarukka, joka yhdistettynä antaa mahdollisuuden paikantaa kaapelin vikakohtaa haarukointimenetelmällä. Haarukointimenetelmä on haarukan iskemistä maahan kaapelin kulkureitiltä. Laite havaitsee maasta jännite ja virta poikkeavuuksia ja ilmoittaa havaitun suunnan haarukan jalan värin mukaan. Vikapaikan ohittaessaan laite ilmoittaa värin muuttuneen signaalin heikentymisen takia. Tästä saamme selville, että olemme ohittaneet havaitun vikapaikan.

3.2 Kaapelinhakulaite Vivax-Metrotech Vm-810

Vivax-Metrotech VM-810 (KUVA 4) on radiotaajuuksia hyödyntävä kaapelinhakulaite. Se koostuu vastaanottimesta ja lähettimestä. Laite on tarkoitettu sähköjohtimien, vesiputkien ja kaasuputkien paikantamiseen maastossa käyttäen induktiomenetelmää asettamalla lähetin kaapelin kulkureitille tai yhdistämällä se Dyna-virtapihdillä kaapeliin. Laitteisto on käyttäjäystävällinen. Vastaanottimessa on vain yksi nappi, josta laite menee päälle tai pois päältä ja pitkällä painalluksella saa syvyysnäytön esille. Lähettimessä on virtanappi, signaalitehon valintanappi ja äänenvoimakkuuden säätö laitteelle. (Vivax-Metrotech.) Vaikka laite on helppo asettaa käyttövalmiiksi, vaatii se paljon harjoittelua ja ymmärrystä, miten se toimii. Toisin kuin 3M:n kaapelinhakulaitteessa, tällä ei voi asettaa signaaleja estolistalle. Se, että kaikki maassa olevat johtavat johtimet ja putket näkyvät ja ilman tarkkaa käyttöä saattaa helposti aiheuttaa näyttövirheitä.



KUVA 4. Vivax-Metrotech VM-810.

3.3 Kaapelivian polttolaite Megger BT 500-IS-1

Kaapelivian polttolaite BT 500-IS-1 kytetään viallisen kaapelin tai johtimen suojavaippaan, jossa on havaittu maasulku, sekä yleiseen maahan. Vikaresistanssin RF koon mukaan maahan ajautuvan virran suuruus vikapaikalla saattaa vaihdella. Tämä virta aiheuttaa jännitehäviötä vuotaessaan maahan. Jännitehäviötä mitataan käyttäen maasauvoja, johon on liitettyä indikaattori ESG NT joka kertoo jännitehäviön muutoksen maasauvojen välillä. Indikaattorin osoittamalla polaarisuudella voidaan todeta vikapaikan suunta ja vikapaikan ohittaessa polaarisuus kääntyy. (Megger 2021.) Tämän avulla vikapaikka voidaan tarkasti osoittaa esille, kunhan muistaa lyödä maasauvat maahan aina oikeinpäin.



KUVA 5. Megger BT500-IS-1.

3.4 Maasulun paikannin Megger ESG NT

Megger ESG NT (KUVA 6) on tarkoitettu vaippavian vianpaikannukseen kaapelivian polttolaitteen kanssa. Kun mittausvirta poistuu kaapelin vikakohtassa, virta muodostaa jänniteennousun, joka voidaan mitata maasauvojen (KUVA 7) ja maasulkupaikantimien avulla. Askeljännitemenetelmä paikantaa vaipan viat tarkasti: kun se lähestyy vikakohtaa, askeljännitepotentiaali kasvaa. Kun vikapaikka on

ohitettu, potentiaali pienenee käänteisellä polariteetilla. Napaisuuden muutos mahdollistaa vian löytymisen tarkasti. (Megger 2017.)



KUVA 6. Megger ESG NT.



KUVA 7. Maasauvat.

3.5 Aika alueen heijastusmittari SebaKMT Teleflex T 30-E

Digitaalinen aika alueen heijastusmittari Teleflex T 30-E (KUVA 8) on suunniteltu pienresistanssisten vikojen ja katkojen vianpaikantamiseen pien- sekä keskijännitteisissä kaapeleissa. Integroitu akusto tekee siitä sopivan laitteen kenttäkäyttöön. Kun se on kytketty syöksyaaltogeneraattoriin ja valokaari-suodattimeen, yhdistelmä soveltuu parhaiten korkearesistanssisten vikojen paikantamiseen. (SebaKMT 2009.)



KUVA 8. SebaKMT Teleflex T 30-E.

3.6 Syöksyaaltogeneraattori SebaKMT SG25-1150M

Tarkan vianmäärityksen suorittaminen paikan päällä tapahtuu joko syöksyaallosta aiheutuvan läpilyönin aiheuttaman akustisen signaalin havaitsemiseen maamikrofonilla tai tasajännitteen aiheuttaman askeljännitteen havaitsemiseen maapiikeillä. (Perel 2024.)

Käyttämällä valokaarisuodatinta, matalajännitteistä aika alueen heijastusmittaria ja korkeajännitteistä syöksyaaltogeneraattoria (KUVA 9) voidaan ne liittää vialliseen kaapeliin, ja heijastinmittaria voi seurata samalla kun syöksyaaltogeneraattori lähettää kaapeliin pulsseja. Suodatin suojaa heijastusmittaria

korkeajännitteisiltä piikkipulsseilta ja ohjaa matalajännitteiset pulssit kaapeliin. Tämä menetelmä hyödyntää sitä tosiasiaa, että kun valokaarivika syntyy, sen vastus laskee hyvin alhaiseksi, mikä heijastaa tutkapulsseja. Kaaren sijainti näkyy alas suuntautuvana heijastuksena heijastinmittarin näytössä. (Cablejoints.)



KUVA 9. Syöksyaaltogeneraattori SebaKMT SG25-1150M.

3.7 Maamikrofooni SebaKMT Digiphone T16/910

Maamikrofonia käytetään yhdessä syöksyaaltogeneraattorin kanssa vikapaikan paikantamiseen. Syöksyaaltogeneraattorin kehittämä valokaari johtimessa aiheuttaa akustisen sekä elektromagneettisen signaalin. SebaKMT:n maamikrofoni vertailee näitä valokaaresta aiheutuvia signaaleja keskenään ajallisesti ja laskee erotuksen niiden välillä, jotta käyttäjän ei tarvitse kuin etsiä paikka missä erotus on mahdollisimman pieni. (Skomplekt.)



KUVA 10. SebaKMT Digiphone T16/910.

3.8 Sähköasennustesteri Fluke 1664FC

Fluke 1664FC (KUVA 11) on paristokäyttöinen sähköasennustesteri. Testerit mittaa ja testaa mm. jännitettä, taajuutta ja vastusta. Vikatoiminnassa sähköasennustesteriä käytetään ensisijaisesti eristysvastuksen mittaukseen ja jatkuvuusmittaukseen. Monipuolisten ominaisuuksien takia testerit käytetään kaapelin tarkastamiseen viankorjauksen jälkeen.



KUVA 11. Fluke 1664FC sähköasennustesteri.

4 OHJEISTUS TOIMINTAAN JA PAIKANNUKSEEN

Kokkolan Energiaverkot Oy:llä oli tarve saada vianpaikannuslaitteiston toiminnasta ja käytöstä ohjeet. Ohjeistusta lähdettiin rakentamaan seuraamalla vianpaikannuksen parissa työskennelleitä asentajia. Ohjeistus toimintaan jaettiin neljään vaiheeseen: vikailmoitus, esityö, vianpaikannus ja jälkityöt. Laitteiston ohjeet suomennettiin Energiaverkkojen käyttöön ja laitteiden toiminnasta oli tarkoitus toteuttaa perehdytys kaikille asentajille. Toimintakaavio toteutettiin yleisimpien vikojen perusteella ja olemassa olevan laitteiston avulla. Sen avulla oli tarkoitus luoda visuaalinen ohje vianpaikannukseen.

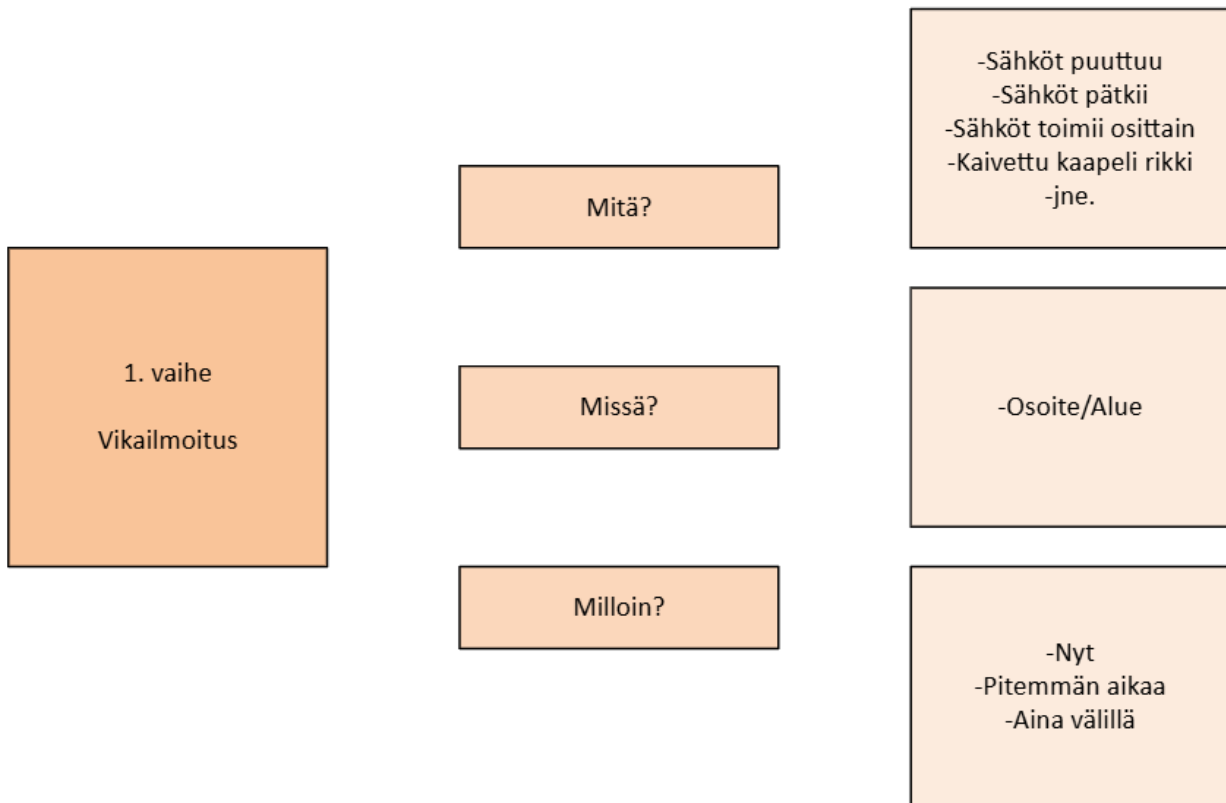
Maakaapelien ja niiden esille tuomien vikojen yleistyessä, tieto vianpaikannuksesta ja sen vaiheista on kriittinen. Vaikkakin itse vianhaku on erilaista joka kerta riippuen olosuhteista ja paikasta, on siinä menetelmien ja laitteiston kannalta hyvinkin selvä kaava, jota voi seurata.

4.1 Ohjeistus maakaapelivian toimintaan

Maakaapelivian paikannuksessa voidaan turvautua neljään eri vaiheeseen. Jokainen vaihe sisältää tärkeitä asioita, jotka tulee tietää vikatapauksesta ja joiden tulee olla tehtynä ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Jokaisella vaiheella vianpaikannuksessa on suuri merkitys kokonaisuuteen ja lopputulokseen.

4.1.1 Vikailmoitus

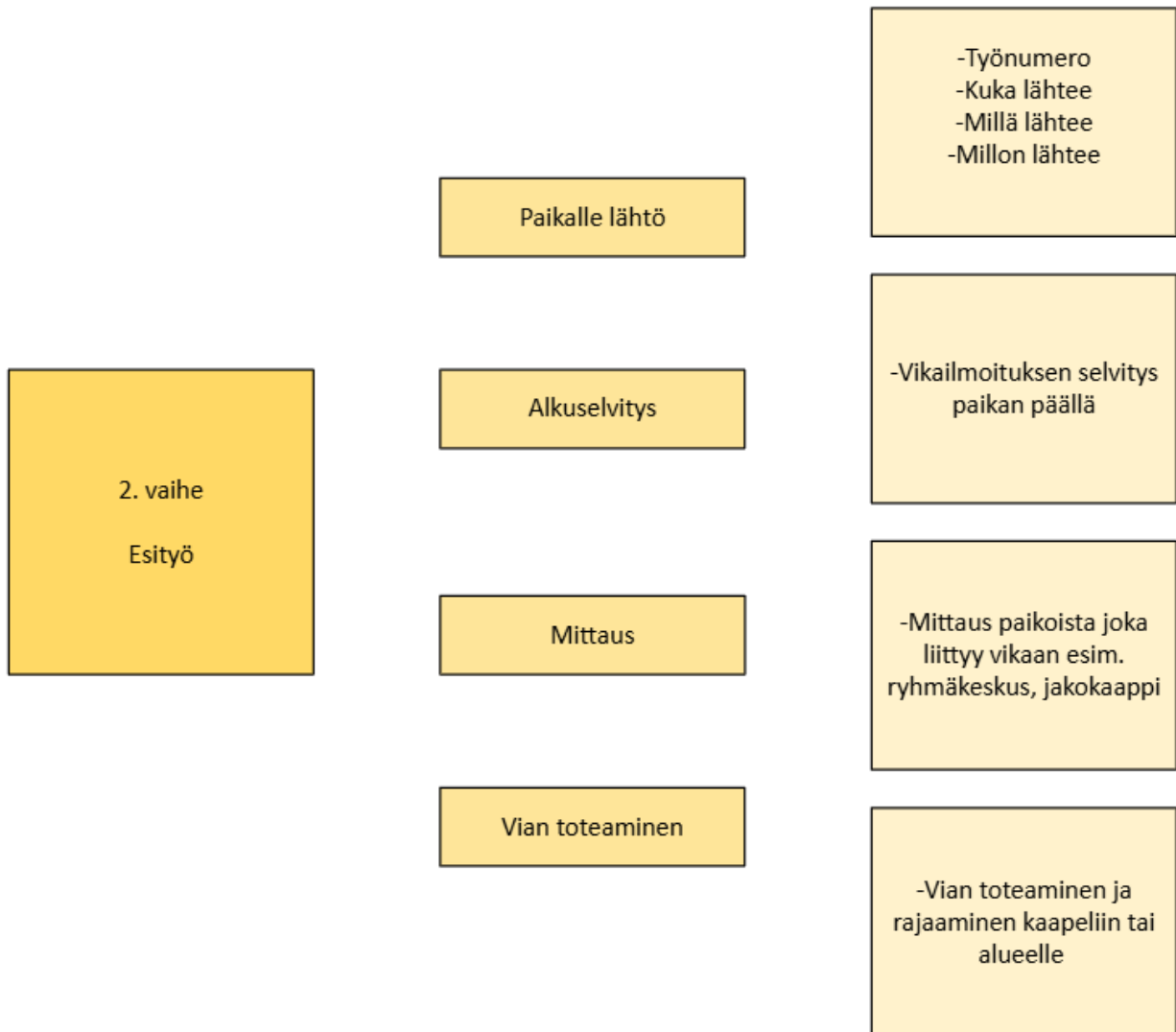
Jokainen vianpaikannustyö alkaa vikailoituksella, joka voi tulla puhelimitse, sähköpostilla tai vika-päivystyksen kautta. Pääasiana vikailoituksessa on: mitä, missä ja milloin. Ilmoituksen avulla saadaan tietoa viasta, sijaintitieto vikapaikasta sekä vian mahdollinen tapahtuma aika. Tieto viasta kertoo ensi askeleet vikatyypin selvittämiseen. Esimerkiksi puuttuva jännite omakotitalosta viittaa johtimen katkeamiseen, tai sulakkeen palamiseen. Sähköjen katkeileminen tai osittainen toimiminen viittaa taas pitkäaikaisempaan vikaan, kuten eristeen hajoamiseen tai korroosioon. Nämä mielessä on helpompi lähteä rajaamaan vikaa paikan päällä. (KUVIO 1.)



KUVIO 1. Vaihe 1, vikailmoitus.

4.1.2 Esityö

Esityö sisältää sen työn, joka pitää tehdä ennen varsinaista vianpaikannuksen aloittamista. Tähän sisältyvät työn aloittamisen vaiheet kuten työnumeron tekeminen, kuka lähtee selvittämään vikaa ja milloin. Työnumero, henkilöstö ja kalusto määräytyy vikailmoituksen tietojen perusteella. Jos vika on aiheutunut myöhään illalla eikä ole kriittinen, voidaan vianpaikannustyö aloittaa sopivampana aikana. Vikapaikalle saavuttaessa, ensimmäisenä asiana tulee selvittää vikailmoituksen paikkansapitävyys. Tilanteen mukaan se voi sisältää yhden talon toteamisen jännitteettömäksi tai koko muuntopiirin. Tärkeimpänä asiana on selvittää vian aiheuttaja ja tehdä työympäristöstä mahdollisimman turvallinen työskennellä, rajaamalla vika alue yhteen kaapeliin ja jännitteettömäksi. Tämä toteutetaan tarkistamalla lähimmät sulakkeet ja mittaamalla jännitteet ja mahdollinen jatkuvuus kaapelin kiinnityspisteistä. (KUVIO 2.)



KUVIO 2. Vaihe 2, esityö.

4.1.3 Vianpaikannus

Varsinainen vianpaikannus aloitetaan, kun tiedossa on missä kaapelissa on vika. Viallinen kaapeli merkataan maastoon merkintämaalilla ja kaapelinhakulaitteen (VM-810 tai Dynatel 2573E) avulla. Kun merkinnät on tehty, varmistetaan jännitteettömyys ja irrotetaan kaapelin päät kiinnityspisteistään. Johtimet jätetään irti toisistaan ja varmistetaan etteivät ole kytkettynä yleiseen maahan.

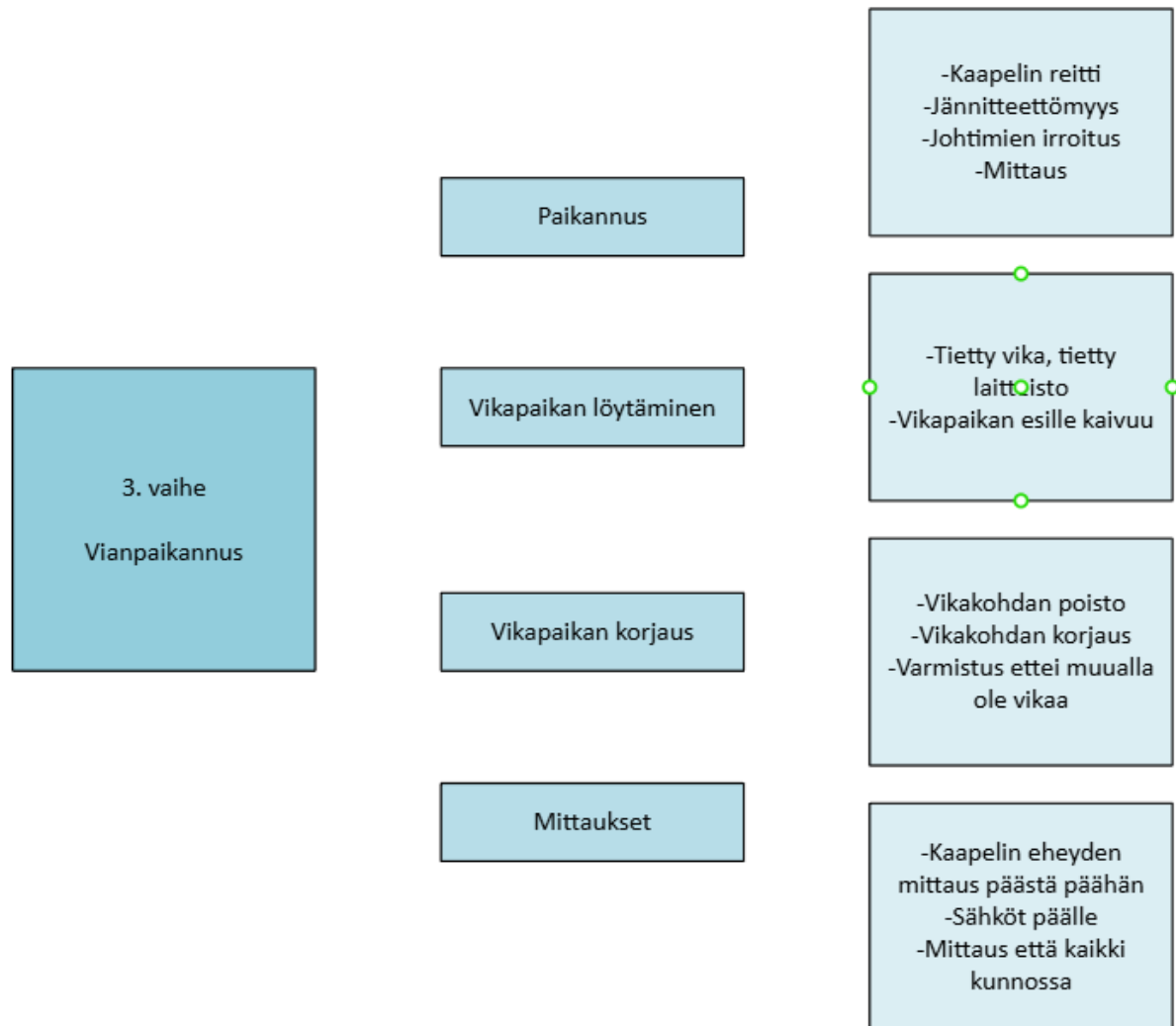
Vikapaikan löytämiseksi käytetään laitteistoa, joka kertoo meille vikapaikan tarkan sijainnin. Oikea laitteisto valitaan vian eristysvastus ja jatkuvuusmittauksen mukaan. Johtimista mitataan Dynatel 2573E lähettimen avulla eristysvastus yleistä maata vasten. Ääretön lukema kertoo johtimen olevan

kunnossa eikä missään yhteydessä yleiseen maahan. Vastuslukema kertoo yhteyden olevan johtimen ja yleisen maan välillä. Yleisin vika on yhden johtimen yhteys maahan, toisena kahden ja kolmen johtimen maayhteys. Vastuslukeman ollessa matala on vika matalaohminen ja korkean vastuslukeman omaava vika korkearesistanssinen vika.

Matalaohmista vikapaikkaa voidaan lähteä etsimään Dynatel 2573E haarukointimenetelmällä. Jos vikapaikkaa ei tunnu löytyvän haarukoimalla Dynatelillä, voidaan käyttöön ottaa Meggerin BT500 IS-1. BT500 voidaan käyttää tehokkaampana vaihtoehtona Dynatelin lähettimelle. Tehokkaampaa lähetysteho tarvitaan jos kaapeli on pitkä tai resistanssi on lähempänä korkearesistanssista. Vastaanottimeksi BT500 kanssa voi käyttää Meggerin ESG NT vikapaikanninta. Tällä yhdistelmällä voidaan etsiä johtimien välistä, johtimen ja suojavaipan tai suojavaipan ja yleisen maan välisiä vikoja.

Korkearesistanssista vikaa lähdetään muuttamaan matalaohmiseksi polttolaitteen avulla. Megger BT500 IS-1 toimii tässä yhdistettynä Meggerin ESG NT vikapaikantimen kanssa. Jos vika on korkearesistanssinen ja ei ole yhteydessä yleiseen maahan, voidaan käyttää syöksyaaltogeneraattoria. Syöksyaaltogeneraattorin kanssa voidaan vikapaikka määrittää aika alueen heijastinmittari SebaKMT Teleflex T 30-E:llä tai maamikrofooni SebaKMT Digiphone T16/910 avulla. Aika alueen heijastinmittari kertoo ajallisesti syöksyaaltogeneraattorin jännitepulssin keston vikapaikalle. Tämän avulla voidaan päätellä metrimäärä johtimen päästä vikapaikalle. Maamikrofoonilla voi kävellä kaapelin reittiä pitkin kuunnellen kuulokkeilla, jos maasta kuuluu napsumisen ääntä syöksyaaltogeneraattorin lähettämän jännitepulssin tahtiin.

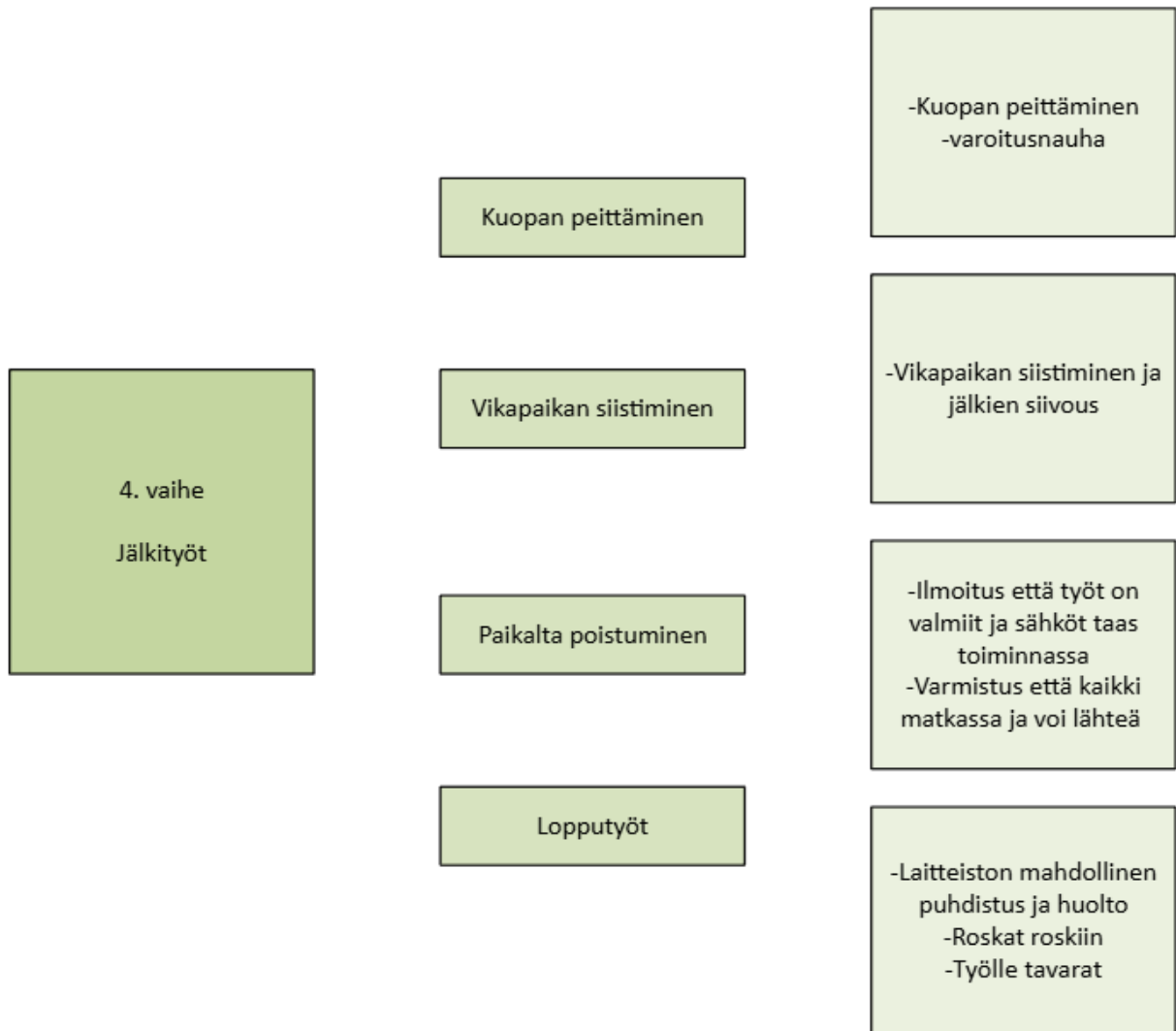
Vikapaikan löytyessä kaapeli kaivetaan esille ja tarkistetaan havaitulta vikakohtalta. Havaittu vikakohta poistetaan ja kaapelin johtimet kuoritaan esille, jotta kaapelista voidaan mitata jatkuvuus ja eristysvastus kumpaankin suuntaan. Tällä varmistetaan, ettei vikapaikkoja ole kummassakaan suunnassa enempää. Poistettu vikakohta korvataan kaapelijatkolla tai kaapelilla ja jatkoilla. Kun jatko tai jatkot on asennettu kaapeliin, varmistetaan kaapelin eheys koko matkalta. Jos kaapeli on ehjä, voidaan päät kytkeä kiinni ja kokeilla kytkeä jännite kaapeliin. Kun jännite pysyy kaapelissa, mitataan jännite ja oikosulkuvirrat varmistaakseen toimiva viankorjaus. (KUVIO 3.)



KUVIO 3. Vaihe 3, vianpaikannus.

4.1.4 Jälkityöt

Jälkitöihin kuuluu vikapaikan kuopan peittäminen ja varoitusnauhan asentaminen kaapelin yläpuolelle maahan. Vikapaikka siistitään ja laitteisto kerätään kasaan. Ilmoitus työn valmistumisesta ja sähköjen palauttamisesta vikailmoituksen tekijälle sekä esihenkilölle tilanteesta riippuen. Työlle varmistetaan oikea määrä käytettyjä resursseja ja laitteisto puhdistetaan tai huolletaan asian mukaisesti. (KUVIO 4.)

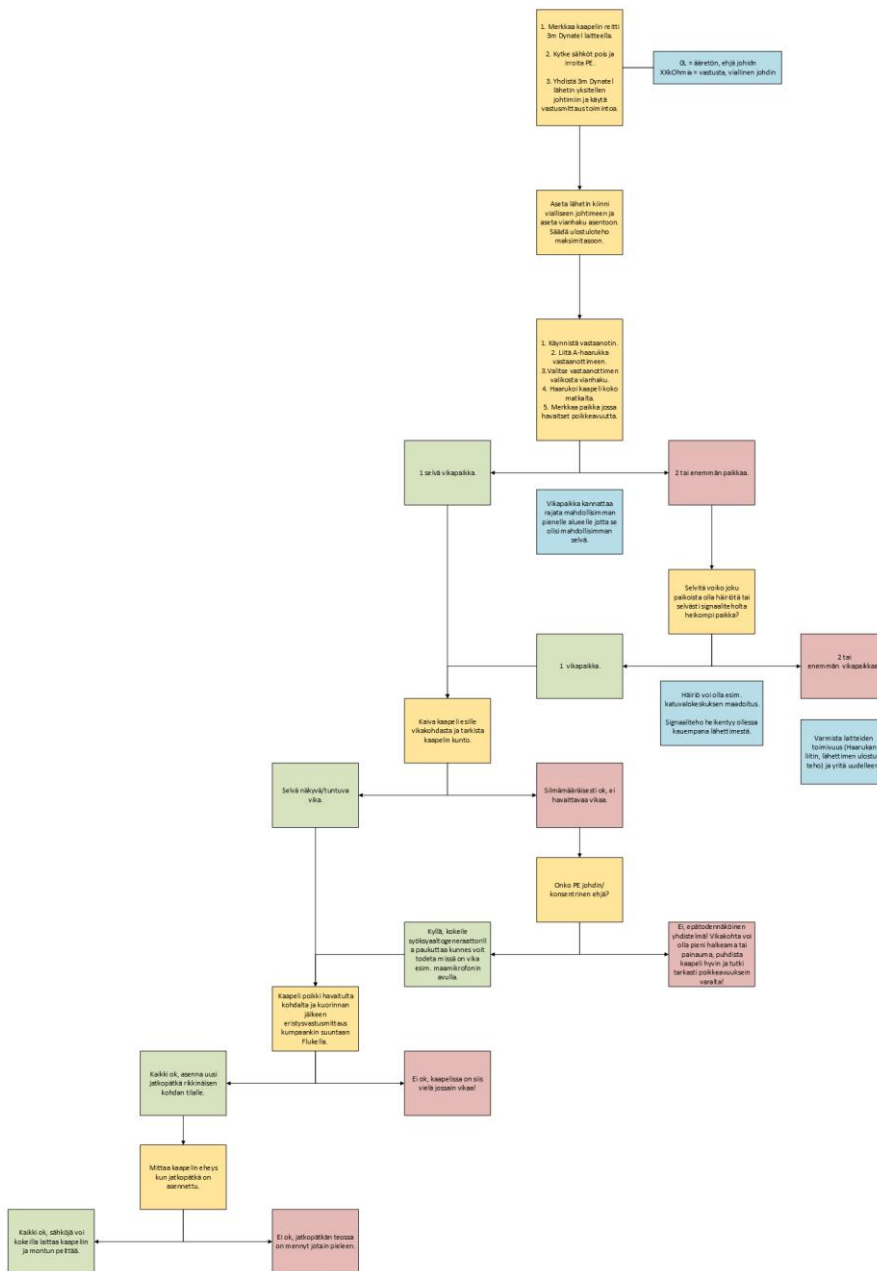


KUVIO 4. Vaihe 4, jälkityöt.

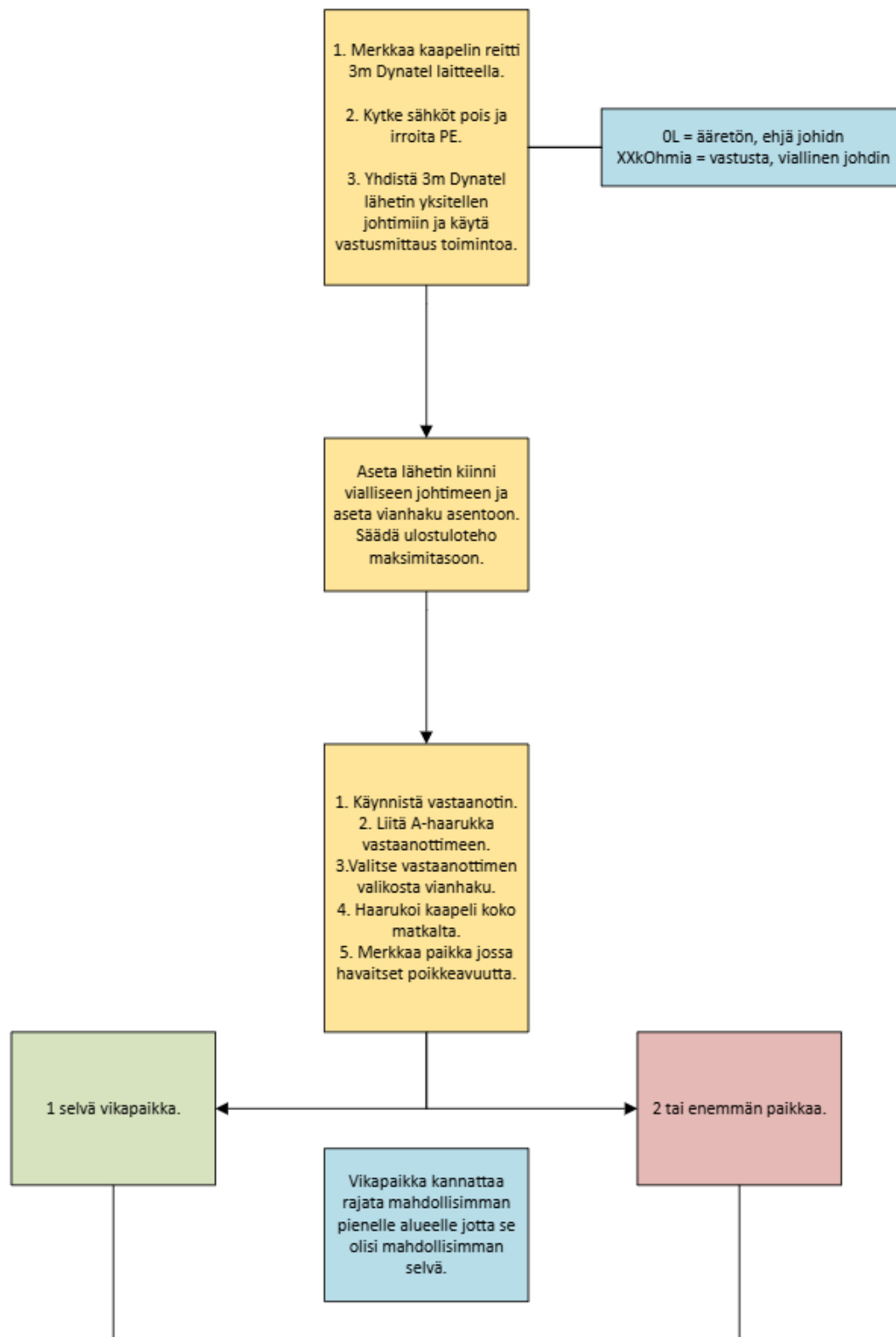
4.2 Toimintakaavio

Toimintakaavion tarkoituksena oli antaa visuaalinen ohje edistymiselle vianhaussa. Toimintakaavio koostuu askeleista ja eri värisistä laatikoista, jotka kertovat oman osuutensa. Keltainen väri kertoo mitä tehdä, sininen on apuruutu, vihreä kertoo onnistuneen etenemisen askeleissa ja punainen että jotain on vielä jäänyt huomioimatta. Vaikkakin toimintakaaviota voi käyttää myös vikapaikalla, on se tarkoitettu enemmän vianhaun opetusmateriaaliksi. (KUVIO 5.)

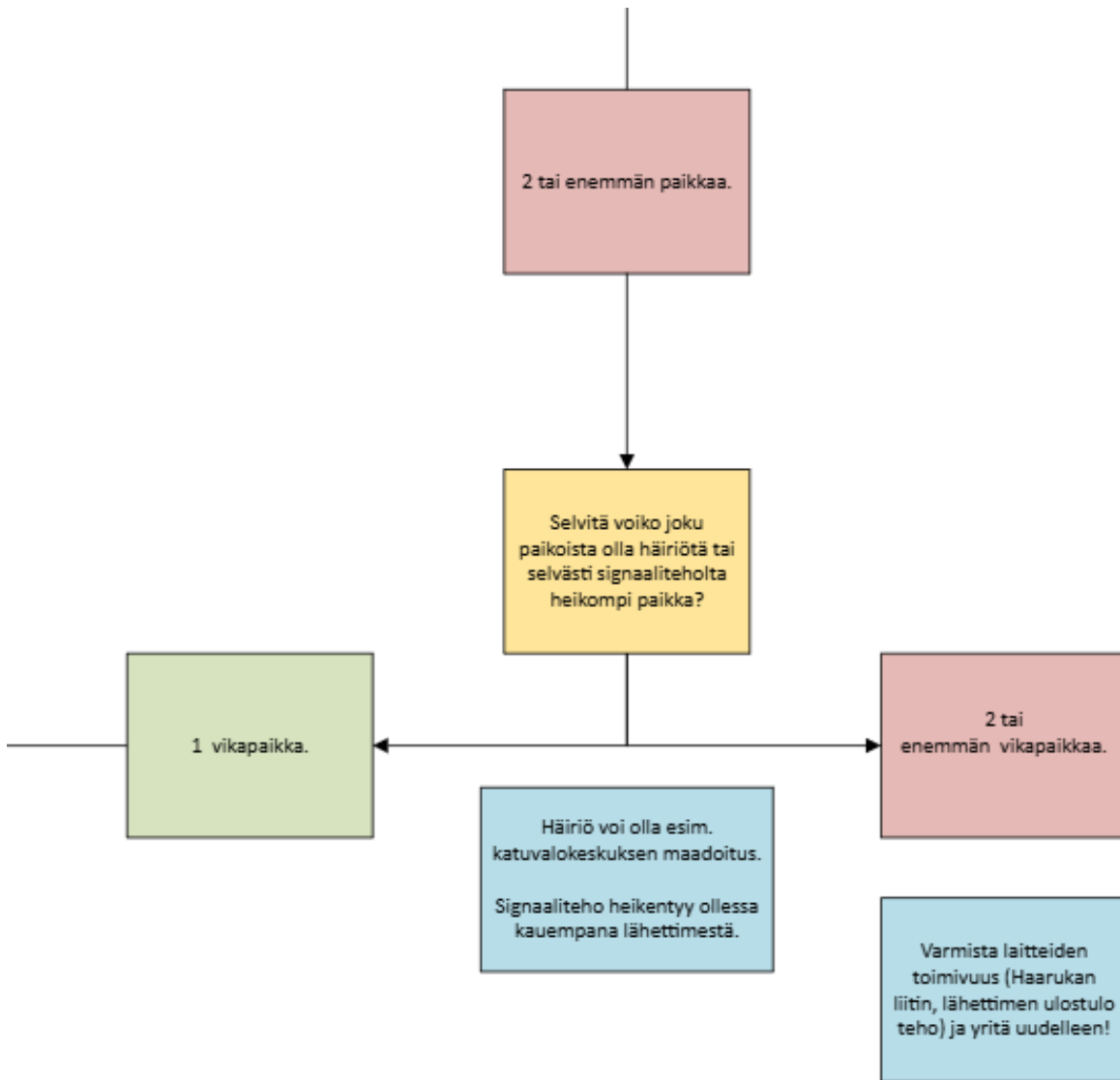
Toimintakaavio on jaettu neljään osioon helpottaakseen esitystapaa ja vaihteittain edistymistä. Ensimmäinen osio (KUVIO 6) kertoo aloitusvaiheen, jossa tarkoituksena on merkata koko kaapelin kulureitti sekä haarukoida alue löytäen mahdollisen vikapaikan kohdan tai huonommassa tapauksessa monta vikapaikkaa. Toinen osio (KUVIO 7) kertoo mitä tehdä, jos on havaittu 2 tai enemmän vikapaikkaa. Kolmas osio (KUVIO 8) kertoo yhden vikapaikan löytämisen vaiheet sekä kaapelin esille kaivuun, tarkistuksen ja ohjeen, jotta viallinen kohta löytyy ja saadaan poistettua kaapelista. Neljäs osio (KUVIO 9) kertoo mitä tehdä katkaistulle kaapelille, jotta kaikki saadaan valmiiksi ja takaisin toimintaan.



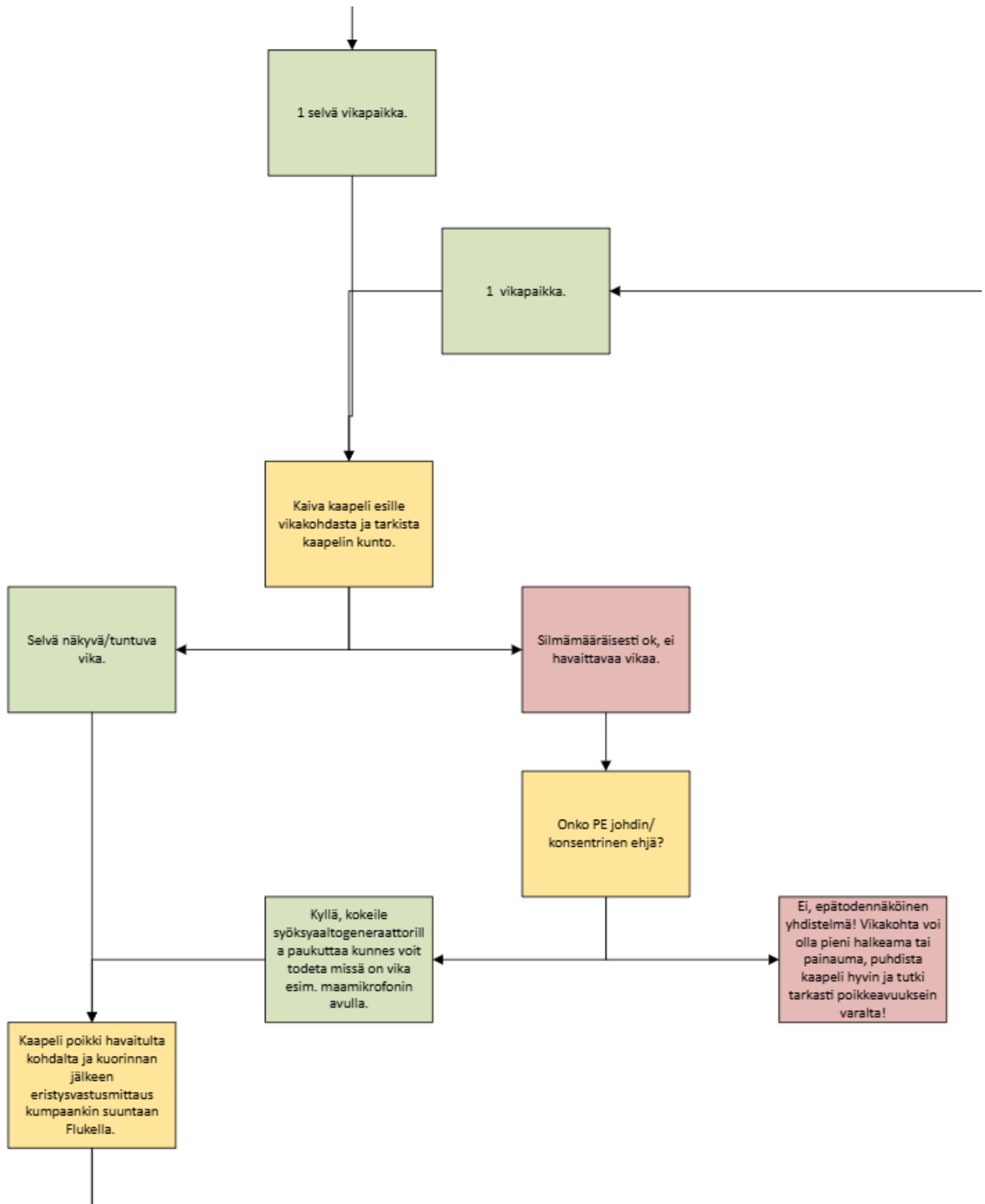
KUVIO 5. Koko toimintakaavio.



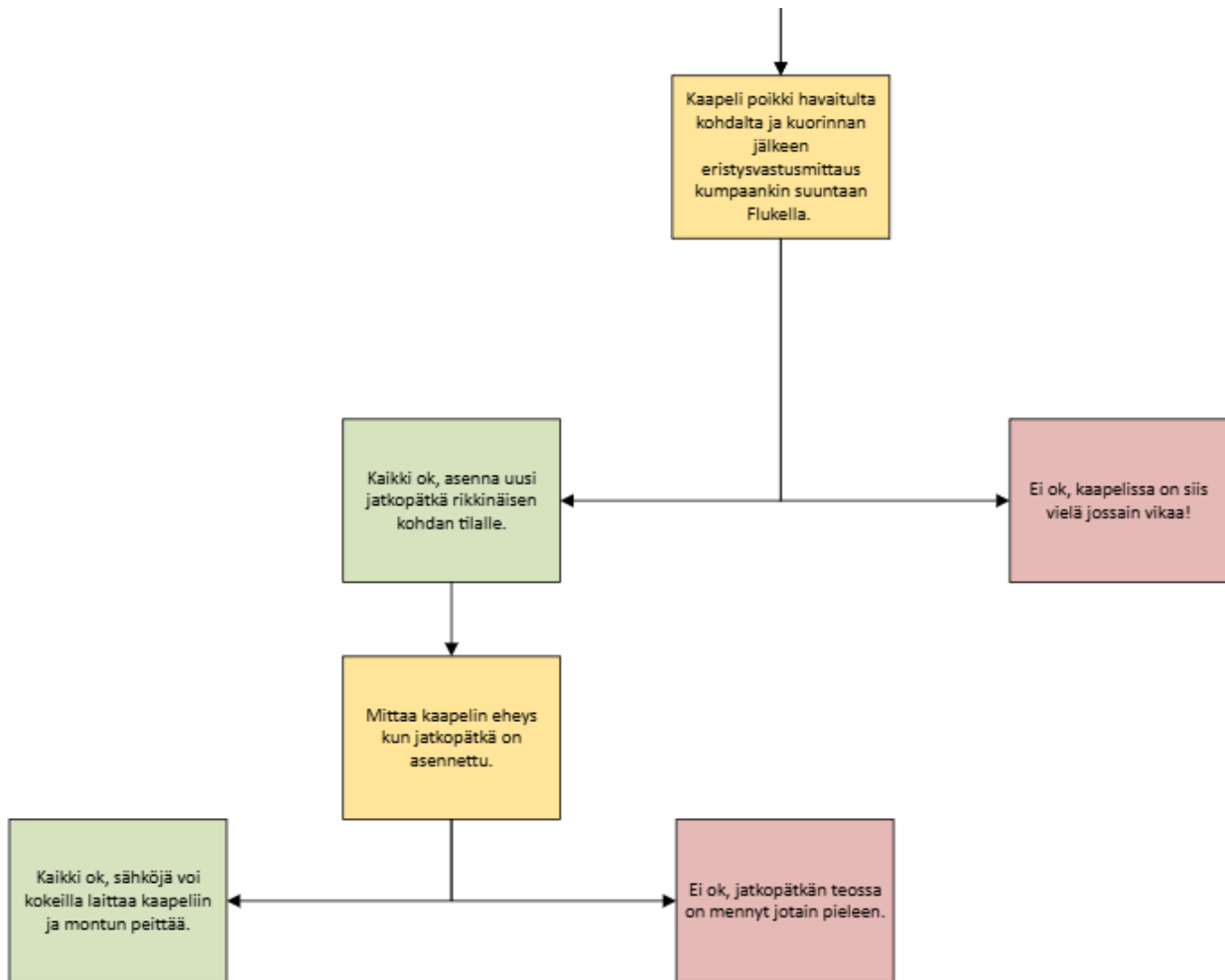
KUVIO 6. Toimintakaavio 1 osio.



KUVIO 7. Toimintakaavio 2 osio.



KUVIO 8. Toimintakaavio 3 osio.



KUVIO 9. Toimintakaavio 4 osio.

5 VIKATILANTEITA JA TOIMINTA VIANHAUSSA

Maakaapeliverkossa vikatilanteet painottuvat pitkästi työmaiden aiheuttamiin kaapeleiden hajoamisiin, kun taas vianpaikannusta vaativat vikatilanteet painottuvat luonnonilmiöiden aiheuttamiin vikoihin. On myös tapauksia, jossa vika ilmenee myöhemmin työmaan jo valmistuttua. Esimerkkinä kaapeli on ottanut osuaan työmaan kaivuun aikana mutta ulkoisesti se on näyttänyt olevan kunnossa, joten sen on annettu vain olla ja kosteus on hiljalleen päässyt vaurioituneen eristeen läpi syövyttämään johtimia, aiheuttaen oikosulun vaiheiden välillä.

5.1 Vikatilanne: Puiston toimitilasta puuttuu kakkosvaihe

Vikapäivystys oli saanut ilmoituksen, että eräässä puiston toimintatilassa osa sähkölaitteista ei toimi. Asentajapari oli käynyt paikan päällä toteamassa, että kakkosvaiheen sulake oli palanut. Jakokaappiin oli asennettu uudet sulakkeet, mutta toimitilan ryhmäkeskukseen ei tullut kakkosvaiheelle jännitettä. Vika oli siis kaapelissa maan alla keskuksen ja jakokaapin välillä. Puistoa oli kesän aikana remontoitu ja toimitila oli ensimmäistä kertaa käytössä sen jälkeen. Tästä nousi epäily kaapelivauriosta remontoitulla alueella. Vianpaikannus aloitettiin seuraavana aamuna.

Työ aloitettiin merkaamalla kaapelin reitti. Kaapelinhakulaitteen lähetin asetettiin induktiohaarukalla jakokaappiin johtimien ympärille ja vastaanottimella käveltiin läpi kaapelin reitti, merkatien se punaisella merkintämaalilla. Seuraavaksi kaapelista kytkettiin sähköt pois irrottamalla sulakkeet ja johtimet jakokaapista sekä ryhmäkeskuksen päästä sulakkeet. Tällä saavutettiin johtimien erotus muusta sähköjärjestelmästä. Sen jälkeen kaapelinhakulaitteen lähettimessä vaihdettiin asetukset vastusmittauksen puolelle. Lähetin kiinnitettiin yleiseen maahan ja yksitellen johtimiin hauenleuoilla, seuraten lähettimen näytöltä oliko vastus ääretön vai ei. Ääretön tarkoittaisi tässä tapauksessa ehjää johdinta, sillä johdin ei ole missään kosketuksessa yleiseen maahan. Vastuslukema tarkoittaisi taas katkennutta tai osittain yleisessä maassa olevaa johdinta. Vain kakkosvaihe näytti vastuslukemaa. Tämän perusteella vika oli siis kakkosvaiheen johtimessa. Vianhakua jatkettiin yhdistämällä A-haarukka kaapelinhakulaitteen vastaanottimeen ja asettamalla lähetin vianpaikannus toimintoon. Kävelemällä kaapelin reitti läpi haarukointimenetelmällä, löydettiin yksi vikapaikka, puiston kulkuportin vierestä. Vikapaikka oli haarukoitu noin neliön alueelle, mutta haarukan osoittama vikakohta ja aiemmin maalattu kaapelireitti poikkesi yli puolella metrillä. Koska vikakohta ja kaapelin kulkureitti poikkesivat, piti varmistua vian si-

jainnista tarkemmin ennen kaivuiden aloittamista. Syöksyaaltogeneraattori ja maamikrofoni olivat tähän työhön sopivat sillä kaapeli ei ollut viallisesta kohdasta kosketuksessa yleiseen maahan. Syöksyaaltogeneraattori asennettiin kiinni kaapeliin jakokaapin päässä ja hiljalleen nostamalla jännitettä saatiin aikaiseksi pieni hallittu valokaaren paukutus laitteella. Haarukoidulla vikapaikalla seisoessa pystyi nyt kuulemaan korvalla selvän pienen napseen maasta. Maamikrofoonilla paikallistettiin napsumisen avulla sijainti kaapelin kulkureitiltä ja syöksyaaltogeneraattorin sai sammuttaa. Vikapaikka oli selvä ja kaivuut aloitettiin.

Kun kaapeli oli esillä, tehtiin sille visuaalinen ja taktiilinen tarkastus. Visuaalista poikkeavuutta ei huomattu mutta kosketukselta kaapeli oli erittäin pehmeä 5 senttimetrin kohdalta. Tämä havainto teki viasta poikkeavan, sillä epäily johtimen kokonaisesta sisäpuoleisesta katkeamisesta ilman ulkovaipan vauriota on harvinaista. Hetken pohtimisen jälkeen todettiin, että pehmeys saattoikin johtua lämmöstä, joka aiheutui syöksyaaltogeneraattorin käytöstä. Tästä päätettiin, että olisi aika kokeilla paukuttaa kauemmin syöksyaaltogeneraattorilla, jotta voisi todeta onko kaapeli lämmennyt kohdalta taas. Hetken paukuttamisen jälkeen, huomattiin kaapelista pieni kolikon kokoinen kohta, joka näytti lämpenevän ja alkoi muuttaa väriä. Syöksyaaltogeneraattori sammutettiin ja vikapaikka oli visuaalisesti selvässä kohdassa. Kaapeli katkaistiin havaitulta kohdalta ja siinä oli yksi johdin selvästi poikki. Katkaistun kohdan päät kuorittiin ja sähköasennustesterillä suoritettiin eristysvastusmittaus. Vikaa ei havaittu, joten katkaistuun kohtaan tehtiin kaapelijatko. Kun kaapelin jatkuvuus oli mitattu kaapelin päistä, oli aika kokeilla sähköjen päälle laittamista. Sulakkeet asennettiin jakokaapissa paikalle ja sähkö tuli ryhmäkeskukselle asti. Kaapelille tehtiin tarvittavat mittaukset ja todettiin toimivaksi, esillä ollut kaapeli peitettiin maalla. Viankorjaus oli onnistunut ja vianpaikannuksesta saatiin uutta näkökantaa harvinaisempaan vikaan.

5.2 Vikatilanne: Omakotitalosta puuttuu yksi vaihe

Vikapäivystys oli saanut ilmoituksen, että yhdessä omakotitalossa on pätkinnyt sähköt ja nyt osa sähkölaitteista ei toimi ollenkaan. Asentaja oli käynyt paikan päällä selvittämässä, että tien varressa kahdesta jakokaapista oli palanut sulakkeet mutta uusien sulakkeiden asennuksen myötä sähköt puuttuivat vieläkin yhdestä vaiheesta. Vika oli kahden jakokaappien välisessä yhdyskaapelissa. Jakokaappien väli oli noin 180 metriä ja jakokaapin perässä ei ollut kuin yksi omakotitalo. Yhdyskaapeli jouduttiin jättämään jännitteettömäksi, joten generaattori asennettiin yön yli lähempänä taloa olevalle jakokaapille, jotta omakotitalo saisi sähköt käyttöön.

Aamulla työ aloitettiin liittämällä kaapelinhakulaitteen lähetin induktiohaarukalla kiinni vialliseen yhdyskaapeliin jakokaapilla. Vastaanotin käynnistettiin ja kaapelin reitti merkittiin punaisella merkintämaalilla. Kaapelireitti oli noin 180 metriä ja kaapeli meni pientareta pitkin. Jakokaapeista irrotettiin johtimet merkkauksen jälkeen. Kaapelinhakulaitteen lähetin yhdistettiin hauenleuoilla yleiseen maahan ja yksitellen johtimiin ja tehtiin vastusmittaus. Kaksi vaihejohtinta näytti 20kOhmin lukemaa ja yksi vaihejohtin sekä PEN johdin ääretöntä. Eli kahdessa vaihejohtimessa ilmeni jonkinlaista vikaa matkalla, vaikka vain yksi aiheutti sulakkeen palamista. Lähettimen asetukset vaihdettiin vianpaikannukseen ja vastaanottimeen liitettiin A-haarukka. Kaapelireittiä lähdettiin haarukoimaan läpi. Ensimmäinen haarukoimalla löydetty mahdollinen vikapaikka oli noin 15 metrin päässä jakokaapista ja toinen mahdollinen paikka oli noin 70 metrin päässä jakokaapista. Toisen vikapaikan signaalitason ollessa melko heikko ja heiluva, epäiltiin häiriötä. Häiriön epäiltiin aiheutuneen tien vieressä olevasta katuvalokeskuksesta ja sen maadoituksesta. Mahdollisia vikapaikkoja olikin selvästi vain yksi. Merkattu kaapelireitti ja haarukoitu alue kohtasivat tarkasti.

Vikapaikkaa lähdettiin kaivamaan kaivinkoneella auki ja maasta löytyi erittäin selvä viallinen kohta. Vikakohta oli noin 10 senttimetriä pitkä ja korroosio oli syövyttänyt yhden alumiinisen vaihejohtimen poikki ja toisen vaihejohtimen melkein poikki. Vikakohta katkaistiin välistä pois ja kaapelipäät kuorittiin kumpaankin suuntaan. Sähköasennustesterillä suoritettiin eristysvastusmittaus kumpaankin jakokaapin suuntaan. Vikaa ei havaittu, joten oli aika tehdä jatkos katkaistulle kohdalle. Pois leikatun kohdan ollessa sen verran pitkä, ettei yksi jatkospaketti ollut tarpeeksi niin tilalle asennettiin 2 jatkopakettia ja kaapelia. Kun jatkot olivat tehty, mitattiin koko kaapeli ja jatkojen matkalta eheys. Kaapeli todettiin ehjäksi ja johtimet kiinnitettiin jakokaapeissa. Yhteen jakokaappiin asennettiin sulakkeet ja yhdyskaapeliin syötettiin jännite. Kaapeli oli ehjä ja mittaukset olivat kunnossa. Kuoppa peitettiin ja omakotitalolle saatiin taas kytkettyä sähköjä jakokaapilta ja generaattori kytkettyä irti. Vianpaikannus oli onnistunut ja viankorjaus toteutettu.

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä saavutettiin asetetut tavoitteet, jotka liittyivät maakaapelivian paikannuksen ohjeistukseen Kokkolan Energiaverkot Oy:lle. Työ onnistui yhdistämään käytännön työn havainnot, tekniset analyysit ja teoreettiset perusteet yhdeksi kokonaisuudeksi. Ohjeistuksen selkeys ja vaiheittainen rakenne tekevät siitä hyödyllisen työkalun niin uusille kuin kokeneemmille asentajille, ja se toimii pohjana laitteiden käyttöä koskevalle jatkokoulutukselle.

Projektin aikana heräsi myös keskustelua ja mielenkiintoa käytettävistä laitteista sekä niiden soveltamisesta erilaisissa vikatilanteissa. Tämä osoittaa, että työ ei vain vastannut olemassa olevaan tarpeeseen, vaan myös edisti organisaation oppimista ja yhteistä ymmärrystä maakaapelivian paikannuksen merkityksestä. Käytännön työympäristössä tehdyt havainnot toivat teoreettisen tiedon rinnalle tärkeän näkökulman, joka mahdollistaa oppien soveltamisen aidosti monimutkaisissa ja muuttuvissa olosuhteissa.

Jatkotoimenpiteinä työlle tulee vielä olemaan koulutusta yhtiön sisällä kiinnostuneille asentajille. Koulutuksella pyritään syvempään laitteiston toiminnan opettamiseen ja vikapaikan haun soveltamiseen eri ympäristössä. Myös kehitysideoita ja materiaalin tarvetta kerätään koulutuksen yhteydessä vianpaikannuskärryyn liittyen.

Kaiken kaikkiaan työ oli onnistunut ja antoi perustan kehittää vianpaikannusprosessia entisestään. Se saattaa edistää myös organisaation sähköverkon luotettavuutta ja varautumista tulevaisuuden vikatilanteisiin maakaapelin määrän kasvaessa.

LÄHTEET

- Cablejoints. *Underground cable fault locating using the arc reflection method*. Mike Scott. Saatavissa: [https://www.cablejoints.co.uk/upload/Underground Cable Fault Locating Using the Arc Reflection Method.pdf](https://www.cablejoints.co.uk/upload/Underground_Cable_Fault_Locating_Using_the_Arc_Reflection_Method.pdf) Viitattu 11.11.2024
- Dreiym. 2021. *Maasulku vs oikosulku erot*. Saatavissa: <https://www.dreiym.com/fi/2021/12/10/maasulku-vs-oikosulku-erot/>. Viitattu 12.11.2024
- Huazheng. 2022. *What are the common cable faults*. Saatavissa: <https://www.transformer-tester.com/info/what-are-the-common-cable-faults-77885206.html> Viitattu 11.11.2024
- Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. *Sähkönjakelutekniikka*. 3., painos. Helsinki: Otatieto. Viitattu 23.10.2024
- Megger. 2017. *ESG NT Digital earth fault locator*. Saatavissa: https://www.volta.it/wp-content/uploads/2017/08/dat_esg-nt_en_160107.pdf. Viitattu 5.11.2024
- Megger. 2021. *Cable Fault Durn-Down Instrument BT500 IS-1*. Saatavissa: https://www.megger.com/sites/g/files/utfabz201/files/acquiadam_assets/2021-06/BT500-IS-1_DS_EN.pdf?channel=1669681566. Viitattu 5.11.2024
- Onninen. *Kaapelinhakulaite-3m-2573e-cu12*. Saatavissa: <https://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/18418003.pdf>. Viitattu 23.10.2024
- Perel. 2024. *Syöksyaaltogeneraattorit*. Saatavissa: <https://www.perel.fi/tuotteet/148319786/syoeksy-aaltogeneraattorit>. Viitattu 5.11.2025
- SebaKMT. 2009. *Teleflex T 30-E*. Saatavissa: https://res.cloudinary.com/rental-no/image/upload/v1670423481/p_p-1243_datablad_1. Viitattu 5.11.2024
- Skomplekt. *Digiphone T16/910*. Saatavissa: <https://skomplekt.com/tovar/1/2/4532129974/>. Viitattu 5.11.2024
- Vivax-Metrotech. *VM-810*. Saatavissa: <https://www.vivax-metrotech.com/vivax-product/vm810/>. Viitattu 11.11.2024