

20 kV maakaapeleiden vianpaikannus
Fault location in 20 kV underground cable networks
Harri Karttunen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Harri Karttunen
20 kV maakaapeleiden vianpaikannus

2020

Kandidaatintyö.

17 s.

Tarkastaja: TkT Juha Haakana

Sähkönjakeluverkon laatuvaatimusten kiristyttyä vuoden 2013 sähkömarkkinalain uudistuksen myötä maakaapelointiaste lähti nousuun Suomessa. Maakaapeliverkon pidentyessä verkkoyhtiöt tarvitsevat väistämättä yhä enemmän laitteistoa ja koulutettua henkilökuntaa, joka osaa paikantaa ja korjata maakaapeliverkossa ilmeneviä vikoja mahdollisimman nopeasti ja kustannustehokkaasti.

Tämä kandidaatintyö on kirjallisuuskatsaus erilaisiin menetelmiin, joilla maakaapeloidusta sähkönjakeluverkosta paikannetaan vikoja. Lisäksi työssä tarkastellaan, millaista laitteistoa vikojen paikannuksessa käytetään ja kuinka vikojen syntyä voi pyrkiä ehkäisemään. Työ on rajattu koskemaan erityisesti 20 kV maakaapeleita.

Työssä huomattiin, että maakaapelien asennuksenlaatu on huomattavan tärkeässä roolissa vikojen ennaltaehkäisemisen näkökulmasta. Laadukkaalla asennuksella voidaan ehkäistä ja pienentää maakaapeliverkon elinkaarikustannuksia huomattavasti.

20 kV maakaapeleiden vikojen etsinnässä käytetään vikatyypistä ja paikannuksen vaiheesta riippuen erilaisia laitteita. Esipaikannuksessa laitteistona käytetään time-domain reflectometriä ja tarkassa vianpaikannuksessa syöksyaaltogeneraattoria tai vaippavianhakulaitetta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Electrical Engineering

Harri Karttunen

Fault location in 20 kV underground cable networks

2020

Bachelor's Thesis.

17 p.

Examiner: D.Sc. Juha Haakana

Electricity distribution networks quality demands tightened after the reforming of the 2013 electricity market law. The stage of underground electricity networks started rising in Finland after that. When the underground electricity network is getting longer it increases the demand of educated workers who can locate and repair broken cables as quickly as possible and do it cost-effectively.

This bachelor's thesis is a literature review of different methods of locating failures in the underground electricity network. In addition, different types of equipment used in the process of locating and preventing failures in the underground electricity network is examined. This study is limited to especially involve 20 kV underground cables.

In the study it was noticed that the underground electricity cables' installation quality has a significant role in preventing cable failures. Good quality of installation of the underground cables can prevent and reduce the network's life cycle costs significantly.

In order to find faults in the 20 kV underground cables different types of equipment need to be used depending on the type of failure and the stage of the locating process. Time-domain reflectometer is used in pre-locating and surge wave generator and cable sheath testing system during accurate fault locating.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
2.	Maakaapeleiden viat.....	7
2.1	Vikojen ennaltaehkäiseminen.....	8
3.	Vikojen ilmeneminen.....	10
3.1	Maasulku.....	10
3.2	Oikosulku.....	10
4.	Vikojen Paikantaminen.....	12
4.1	Vianpaikannuksen vaiheet.....	12
4.2	Vianpaikannuslaitteistot.....	13
4.2.1	Syöksyaaltogeneraattori.....	13
4.2.2	TDR – Time domain reflectometer.....	13
4.2.3	Vaippavianhakulaite.....	14
5.	Yhteenveto.....	15
	Lähteet.....	16

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

kV Kilovoltti

TDR Time-domain reflectometer

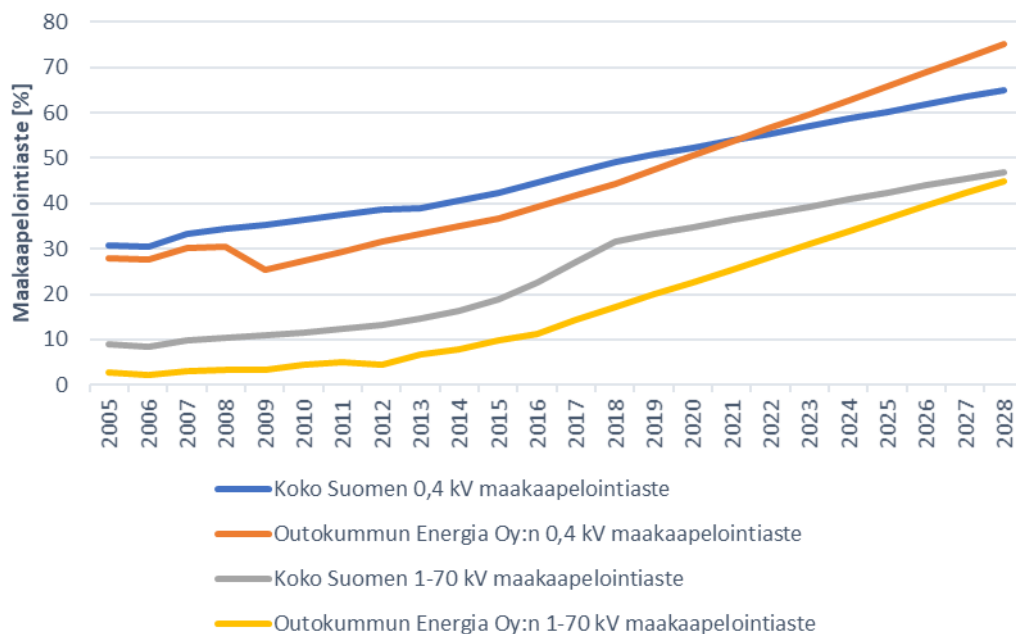
U_a Askeljännite

1. JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on tehdä kirjallisuuskatsaus erilaisiin menetelmiin, joilla voidaan paikallistaa 20 kV maakaapeliverkossa esiintyviä vikoja. Työn tilaaja on jakeluverkkoyhtiö Outokummun Energia Oy.

Vuonna 2014 tuli voimaan uusi sähkömarkkinalaki sähkökatkojen enimmäispituuksista. Kaupunkialueilla sähkökatkojen enimmäispituus saa olla myrskyn tai lumikuorman seurauksena korkeintaan kuusi tuntia ja haja-asutusalueella 36 tuntia. (Sähkömarkkinalaki, 2013). Tämä lakimuutos loi sähköverkkoyhtiöille paineen kehittää verkkoa säävarmempaan suuntaan, minkä seurauksena vuosittaiset maakaapelointimäärät ovat kohonneet huomattavasti.

Vuodesta 2014 vuoteen 2018 koko Suomen maakaapelointiaste on kohonnut 10,8 prosenttiyksikköä, mikä on paljon. Vuonna 2018 koko Suomen sähköverkkoyhtiöiden maakaapelointiaste jännitetasoilla 0,4 kV:sta 70 kV:iin oli 42,5 %. Outokummun Energia Oy:n osalta samalla aikavälillä maakaapelointiaste kohosi noin 9,3 prosenttiyksikköä, ollen vuonna 2018 33,9 %. Kuvassa 1.1 on kuvattuna koko Suomen ja Outokummun Energia Oy:n maakaapelointiasteen kehitys ja tavoite aikavälillä 2005 – 2028. (Energiavirasto, 2015 – 2019), (Huotari, 2019), (Ovaskainen, 2020) Outokummun Energian 0,4 kV:n verkon kuvaajassa oleva maakaapelointiasteen lasku aikavälillä 2008 – 2009 johtuu todennäköisesti asiakkaiden liittymäkaapeleiden poistosta verkoston kokonaispituuden laskennasta. (Ovaskainen, 2020)



Kuva 1.1. Maakaapelointiasteen kehitys ja ennuste jännitetasoittain Suomessa ja Outokummussa vuosina 2005 – 2028 (Energiavirasto, 2015 – 2019), (Huotari, 2019), (Ovaskainen, 2020).

Koko Suomen maakaapelointiasteen on ennustettu kohoavan vuoteen 2028 mennessä keskijänniteverkon osalta 47 prosenttiin (Huotari, 2019). Lisääntynyt maakaapelien määrä luo uudenlaisia haasteita verkkoyhtiöille. Maakaapeliviivat ovat yleensä huomattavasti haastavampia paikantaa kuin ilmajohtojen viivat. Maakaapelien vikojen takia aiheutuvien jakelukeskeytysten keston minimoimiseksi nopea vianpaikannus on tärkeää. Tämä korostuu säteittäisen keskijänniteverkon vioissa, sillä keskijänniteverkon yksittäinen kaapeli syöttää, paikasta riippuen, yleensä suurehkoa määrää asiakkaita. Nopealla vian rajauksella ja mahdollisen vaurioyhteyden tai aggregaatin käytöllä voidaan jakelukeskeytyksen kestoja minimoida.

2. MAAKAPELEIDEN VIAT

Maakaapeliverkkoon vikoja voi aiheutua monista eri tekijöistä. Yleisimmin 20 kV maakaapeleihin aiheutuu vika ihmisen toiminnan seurauksena. Tällaista toimintaa voi olla esimerkiksi ojien kaivaminen maakaapeleiden läheisyydessä. Tämän lisäksi toinen merkittävimässä roolissa oleva kaapelin vikojen aiheuttaja on jatkojen tai päätteiden pettäminen (Pakonen & Verho, 2018). Vikojen paikannuksen kannalta asiaa tarkasteltuna vaurioitunut kaapeli on helpointa löytää, kun esimerkiksi kaivinkone on kauhallaan raapaissut tai kokonaan katkaissut kaapelin. Tällaisissa tapauksissa ei yleensä tarvita erillisiä laitteistoja vianpaikannukseen, koska kaapeli on jo näkyvissä.

Vikoja maakaapeleihin voi aiheutua myös erilaisista kaapelin asennus- ja kuljetusvirheistä. Kaapelia asennettaessa kaapelin viereen voi jäädä esimerkiksi teräviä kiviä, jotka voivat ajan kuluessa roudan avustamana painaa kaapeliin vaurion. Tämän tyyppisiä vikoja voidaan välttää suojaamalla kaapelit kouruilla ja teiden alituksissa suojaputkilla. Myös suurten kivien poistaminen kaapelin kulkureitiltä ehkäisee vikoja. Maakaapelin ulkoisen rakenteen vaurioiden ehkäisemiseksi olisi myös tärkeää, että maakaapelia vedettäessä kaapeliojaan käytettäisiin riittävää määrää maarissoja, ettei kaapeli joudu hankauksiin terävien kivien kanssa eikä kaapelin sallittu vetokuormitus ylity. (Reka, 2017)

Maakaapeliin voi asennuksen aikana kohdistua kovaa vetoa tai sitä voidaan taittaa liian jyrkälle mutkalle, jolloin kaapelin sisäinen rakenne saattaa vaurioitua. Asennettaessa 20 kV maakaapelia auraustekniikalla tulee huolehtia maaperän laadusta sekä siitä, että käytettävän auran sisus on riittävän iso. Aurattavan kaapelin halkaisija saa olla maksimissaan 80 % auran sisämitasta. Tällä vähennetään kaapelin kiilautumisriskiä (Reka, 2017). Myös kaapelia asennettaessa tehtäviin jatkoihin ja päätteisiin voi tulla asennusvirheitä, joiden takia kaapeliin tulee vika. Kaapeli voi kuljetettaessa vaurioitua esimerkiksi, jos se kolhiutuu toisia kaapelikeloja vasten.

Suomen maaperää joka talvi kurittava routiminen saattaa myös aiheuttaa kaapelinkuoreen vaurioita yhdessä maaperään tulevien värinöiden kanssa, jotka yleensä johtuvat ihmistoiminnasta. Kaapelinkuoren vaurioituessa kaapeliin pääsee kosteutta, joka aiheuttaa kaapelin hapettumista ja täten kaapelin kunnan heikkenemistä. (Ernvall, 2019)

Kuvassa 2.1 on vikaantunut APYAKMM 3x70 mm² -kaapeli. Kuva on otettu heti kaapelin vian paikantamisen ja esiin kaivamisen jälkeen. Kaapelin kunto vikapaikassa on kuvan ottohetkellä heikompi kuin vian ilmetessä. Vianetsinnässä käytetty syöksyaaltogeneraattori on vaurioittanut vikapaikkaa entisestään.



Kuva 2.1. Vikaantunut 20 kV APYAKMM 3x70 mm². (Kakkonen, 2020)

2.1 Vikojen ennaltaehkäiseminen

Kahdenkymmenen kilovoltin maakaapeleiden vikaantumistodennäköisyyden pienentämiseksi olisi tärkeää, että kaapelit suojattaisiin mekaanisesti asennuspaikasta riippumatta. Suojaus tulisi toteuttaa myös taajamien ulkopuolella. Uusikin maakaapeli voi vikaantua helposti roudan tai kaapelin päälle jääneiden kivien seurauksena. Myös siinä tapauksessa, että maakaapelia tulevaisuudessa kolhisi kaivinkone, saatetaan hyvällä kaapelin mekaanisella suojauksella estää syntyviä vaurioita. Maakaapeleiden suojaukseen käytetään yleensä joko suojakouruja tai -putkia, asennuspaikasta riippuen. (Virkajärvi, 2014.)

Työntekijöiden ammattitaitoa maakaapelointiin tulisi myös valvoa. Maakaapelointiurakoissa ei kaapelointivaiheessa välttämättä ole sähköasentajia ollenkaan paikalla. Ammattitaitoiset asentajat pystyisivät toteamaan maakaapelin asennuksen riittävän laadun, jotta mahdollisilta asennusvirheistä aiheutuvilta vioilta voitaisiin välttyä. Myös monella työmaalla oleva kiire aiheuttaa helposti virheitä asennukseen (Valli, 2018.). Kiireen välttämällä asennusvaiheessa voisi monessa tilanteessa säästää urakan loppukustannuksissa, jos sen avulla pystyttäisiin välttämään kaapelin rikkoutumisesta ja sen korjaamisesta aiheutuvat kustannukset. Vianpaikannuksesta, kaapelin uudelleen esiin kaivusta ja mahdollisesta kaapelin jatkamisesta voi aiheutua useiden tuhansien eurojen kustannukset.

Maakaapelia asennettaessa tulee myös muistaa laittaa kaivantoon kaapelin päälle noin 30 cm syvyydelle maanpinnasta kaapelin varoitusnauha tai -verkko. Näin voidaan viestittää kaapelireitillä mahdollisesti myöhemmin kaivaville, että maan alla on kaapeleita, joita tulee varoa. (Virkajärvi, 2014.)

Vikojen ennakoimiseen ja maakaapeli-verkon kunnonvalvontaan voidaan käyttää niin uusien kuin vanhojenkin 20 kV maakaapeleiden osalta osittaispurkausmittausta. Osittaispurkaus-

mittauksen avulla voidaan havaita tulevia eristysvikoja, kaapelin valmistusvirheitä ja asennusvirheitä. Käytettävästä laitteistosta ja tilanteesta riippuen osittaispurkausmittauksia voidaan tehdä käytössä oleviin jännitteisiin maakaapeleihin tai sellaisiin kaapeleihin, jotka eivät käytössä. (Pakonen & Verho, 2018.)

3. VIKOJEN ILMENEMINEN

Maakaapeloinnin seurauksena sähköjakeluverkoston vikataajuus on pienentynyt. Maakaapeleiden vikataajuus on noin 20 – 50 % ilmajohtoverkon vikataajuudesta. Avojohtoverkossa keskimääräinen laskennassa käytettävä vikataajuus on noin viisi vikaa sataa verkkokilometriä kohden vuodessa, kun taas maakaapeloidun verkon osalta käytettävä vikataajuus on noin yksi vika sataa verkkokilometriä kohden vuodessa. (Partanen et al. 2006)

Maakaapeloidun verkon vikataajuuteen on todettu olevan merkitystä sillä, mihin kaapeli on asennettu. Maakaapelin ollessa asennettu taajamiin laskennallisesti käytetään vikataajuutena 1,5 – 2 kertaista verrattuna haja-asutusalueille asennettuihin maakaapeleihin. Tämä johtuu taajamissa tehtävistä rakennustöistä, joiden takia maata saatetaan kaivaa kaapelireittien läheisyydessä. Edellä mainittu maakaapeliverkon vikataajuus yksi vika sataa verkkokilometriä kohden vuodessa on haja-asutusalueella yleisesti käytettävä vikaantumistaajuus. (Partanen et al. 2006)

3.1 Maasulku

Maasulku on maasta erotetussa jakeluverkossa esiintyvä ilmiö, jossa yhdestä tai useammasta vaihejohtimesta syntyy esimerkiksi eristysvian vuoksi kosketus- tai valokaariyhteys vikaresistanssin kautta maapotentiaaliin. Kuvassa 3.1 on havainnollistettu yksivaiheinen maasulku. Maasulun vikavirran suuruuteen vaikuttaa päämuuntajan jälkeinen galvaanisesti yhtenäinen verkko. Yleensä vikavirta on pieni 5 – 100 A, jonka seurauksena vian olemassaoloa voi olla vaikea huomata (Lakervi & Partanen, 2008). Maasulun suojaukseen on mahdollista käyttää ylivirtareleitä, distanssireleitä tai suunnattuja maasulkureleitä. Maasulusta aiheutuu hengenvaaraa vikapaikan lähistöllä mahdollisesti oleville henkilöille vaarajännitteiden vuoksi. Vaarajännitteisiin kuuluu muun muassa askeljännite. Maasulku aiheuttaa myös tulipaloriskin. (Elovaara & Haarla, 2011b)



Kuva 3.1. Yksivaiheinen maasulku

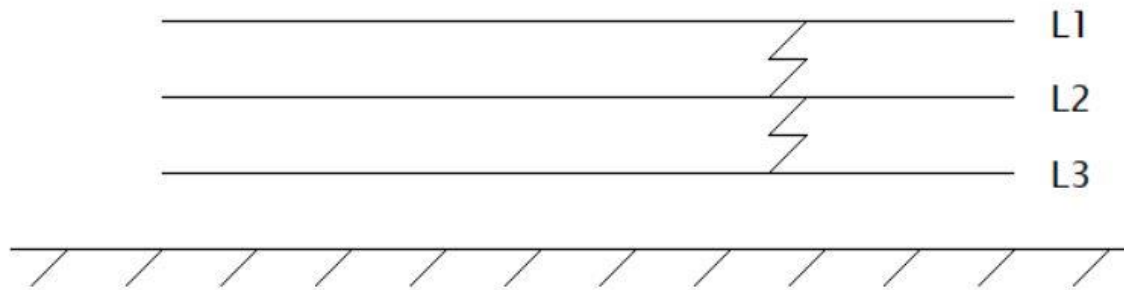
3.2 Oikosulku

Oikosulku on vika, jossa vaihejohtimet joutuvat keskenään yhteen esimerkiksi kosketuksen tai valokaaren kautta. Kuvassa 3.2 on kuvattuna kaksivaiheinen oikosulku. Pahin verkostoa kuormittava tilanne on silloin, kun kyseessä on kolmivaiheinen oikosulku, jolloin vikavirrat kasvavat suurimmilleen. Kuvassa 3.3 on kuvattu kolmivaiheinen oikosulku. Tyypillisesti oikosulkuvirran suuruus on suuri noin 10 – 40 -kertainen nimelliseen kuormitusvirtaan verrattuna (Elovaara & Haarla, 2011a). Oikosulun tunnuspiirteisiin kuuluu, että virta on suuri ja vikapaikan jännite pieni. Oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa siirtojohtojen ja muuntajien

impedanssit, jotka rajoittavat virran suuruutta sitä enemmän mitä kauempana vikapaikka on sähköverkkoa syöttävistä generaattoreista. Ylivirtarele, distanssirele ja differentiaalirele soveltuvat käytettäväksi oikosulkusuojaukseen. (Elovaara & Haarla, 2011b)



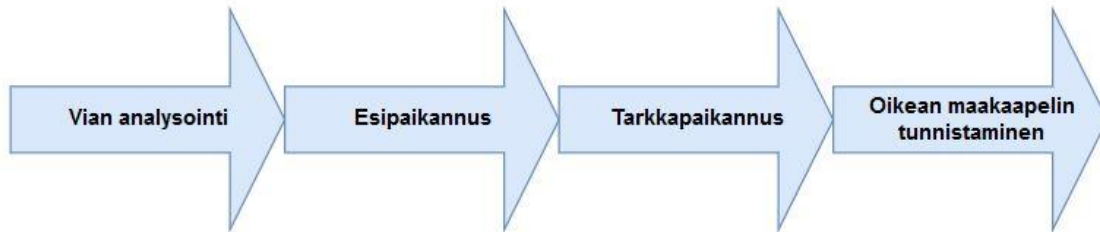
Kuva 3.2. Kaksivaiheinen oikosulku



Kuva 3.3 Kolmivaiheinen oikosulku

4. VIKOJEN PAIKANTAMINEN

Keskijännite maakaapeli vikojen etsinnässä käytetään kuvan 4.1 mukaista työjärjestystä. (BAUR GmbH, 2016)



Kuva 4.1. 20 kV maakaapeli vianpaikannuksen vaiheet mukailten (BAUR GmbH, 2016).

4.1 Vianpaikannuksen vaiheet

Maakaapeli vikaa lähdetään etsimään seuraavien neljän kohdan mukaisessa järjestyksessä. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään mikä kaapeli on vikaantunut, tutkitaan kartalta kaapelin reitti ja selvitetään mahdollisten kaapelijatkosten olemassaolo ja sijainti (BAUR GmbH, 2016). Myös kaapelireitin karkea läpikäyminen maastossa kannattaisi tehdä tässä vaiheessa. Läpikäymisellä varmistetaan, ettei kaapelireitillä ole kaivuutyömaita, joista vika olisi voinut aiheutua. Tämän jälkeen tehdään kaapelille eristysvastus ja johtavuusmittaukset (Taimio, 2018). Näiden mittausten perusteella voidaan päätellä vikatyyppejä sekä tunnistaa vikaantunut vaihe.

Toisessa vianpaikannuksen vaiheessa esi-paikannetaan maakaapeli vikaa lyhyemmälle osuudelle kaapelista, jotta tarkemmilla ja hitaammilla vianpaikannuslaitteilla ei tarvitsisi käydä läpi koko kaapelipituutta. Näin voidaan säästää huomattavasti aikaa vianpaikannuksessa etenkin, jos kaapeli on pitkä (BAUR GmbH, 2016). Esipaikannukseen voidaan käyttää TDR-laitetta, jos vika on pieniresistanssinen tai, jos kaapeli on poikki. Vian ollessa suuri-resistanssinen esipaikannus tulee tehdä syöksyaaltogeneraattorilla tai polttamalla vikapaikka pieni resistanssiseksi, jolloin TDR voidaan taas käyttää. Vikapaikka voidaan polttaa polttomuuntajalla, jossa on hyvä oikosulunkestokyky. Kaapeliin siis johdetaan suuri virta, joka aikaansaa valokaaren, joka polttaa vikapaikan pieniresistanssiseksi. (Taimio, 2018)

Kolmas vaihe vianetsinnässä on tarkka paikannus, jonka tarkoituksena on tarkentaa esipaikannuksen tuloksena saadulta alueelta tarkka vikapaikka. Esipaikannuksesta voidaan saada hyvinkin tarkka vian etäisyys kaapelin päästä, mutta koska kaapeli tarkka syvyys ja reitti maastossa voi mutkitella paljonkin, tarvitaan tarkempaa paikannusta. Tässä vaiheessa käytetään vianpaikannuksessa yleensä vaippavianhakulaitetta tai syöksyaaltogeneraattoria vikatyypin mukaan. Vaippavianhakulaitteella saadaan paikallistettua kaapeli vaipan viat, kun taas syöksyaaltogeneraattori soveltuu korkea resistanssisten vikojen lisäksi vikoihin, joista aiheutuu valokaari. (BAUR GmbH, 2016)

Viimeisenä vaiheena vioittunutta kaapeli etsittäessä on mahdollinen kaapeli tunnistus, jos vaurio ei ole havaittavissa maakaapelista päällepäin. Maakaapeleita on asennettu usein samoihin kaapeliojiin, jolloin samanlaisia kaapeleita voi olla useita vierekkäin. Tällaisista kaapelipuista tulisi löytää luotettavasti oikea kaapeli. (BAUR GmbH, 2016)

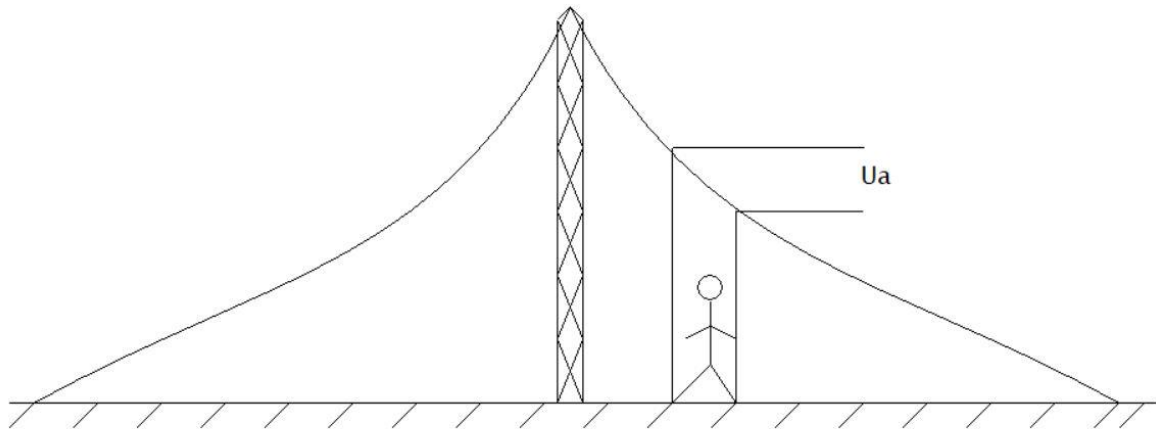
4.2 Vianpaikannuslaitteistot

Vianpaikannuksessa käytetään erilaisia laitteistoja riippuen tutkittavan maakaapelin vika-resistanssista ja paikannuksen vaiheesta. Yleisin maakaapelien vianpaikannuksessa käytettävä laite on syöksyaaltogeneraattori (Ernvall, 2019).

4.2.1 Syöksyaaltogeneraattori

Syöksyaaltogeneraattorin toiminta perustuu korkeajännitteiseen syöksyaaltoon, jota lähetetään pulsseina rikkinäiseen tai ajoittain vikaantuvaan kaapeliin. Vikapaikan kohdatessaan korkeajännitteinen syöksyaalto aiheuttaa kaapelin vikapaikassa läpilyönnin. Läpilyönnistä syntyvän äänen perusteella vikapaikka voidaan paikallistaa. Äänen kuuluvuus riippuu maaperän koostumuksesta, kaapelin kaivusyvyydestä ja läpilyönnin suuruudesta kaapelissa. Läpilyönti on mahdollista kuulla maanpäälle ilman apulaitteita, mutta joissain tapauksissa, kun se ei kuulu joudutaan käyttämään apuna maamikrofonia. Maamikrofonilla voidaan kuulla helposti pienetkin äänet maaperästä. Näin vika pystytään paikallistamaan, kun maakaapelin kulkureitti käydään läpi maamikrofonin kanssa. (Nuotio, 2019)

Sähkötyöturvallisuuden kannalta syöksyaaltogeneraattori ei ole erityisen turvallinen laite. Syöksyaaltogeneraattoria käytettäessä 20kV:n maakaapeleihin korkeilla syöksyjännitteillä se aiheuttaa turvallisuusriskin sillä vikapaikan lähelle voi muodostua korkea askeljännite. Askeljännitteen muodostumista on havainnollistettu kuvassa 4.2. Tämän turvallisuusriskin huomioimiseksi vioittunut kaapeli tulisi ensin tutkia vaippavian hakulaitteella mahdollisten vuotovirtojen takia (Taimio, 2018). Kuvasta 4.2 voidaan todeta askeljännitteen olevan sitä suurempi mitä lähempänä vikapaikkaa ollaan ja mitä suurempi askelpituus on.



Kuva 4.2. Askeljännitteen U_a muodostuminen vikapaikassa

4.2.2 TDR – Time domain reflectometer

TDR eli time domain reflectometer on laite, jolla voidaan paikallistaa maakaapeleiden vikoja hyvin pitkistäkin kaapeleista. Laitteen toiminta perustuu matalajännitteiseen signaaliin, joka lähetetään vioittuneeseen kaapeliin. Positiivisesta signaalista heijastuu epäjatkuvuuskohdista takaisin negatiivinen aalto. Tästä takaisin heijastuvasta aallosta pystytään laskemaan, kuinka kaukana vikapaikka suunnilleen on kaapelin päästä, kun kaapelin pituus ja signaalin etenemisnopeus tunnetaan. Signaalin nopeuteen vaikuttaa olennaisesti se millaisessa kaapelissa se etenee. Jokaisessa kaapelissa on sen ominaisuuksista ja iästä riippuen signaalilla oma

kulkunopeutensa, joka täytyy määrittää tätä menetelmää käytettäessä. Pitkiin kaapeleihin TDR:ää käytettäessä menetelmän tarkkuus heikkenee. Sähkötyöturvallisuuden kannalta TDR on turvallinen laite, sillä siinä käytettävät jännitteet ovat hyvin pieniä toisin kuin esimerkiksi syöksyaaltogeneraattorissa. (Nuotio, 2019)

4.2.3 Vaippavianhakulaite

Vaippavianhakulaite soveltuu maasulkujen paikallistamiseen. Sen toiminta perustuu askeljännitteen mittaamiseen maasta, mikä syntyy maasulun seurauksena. Rikkoutuneeseen maakaapeliin syötetään testilaitteesta pulssimuotoista tasajännitettä, joka johtuu vikapaikasta maahan (Nuotio, 2019). Tämän jälkeen kaapeli kuljetaan läpi vianhakulaitteen kanssa. Vianhakulaitteessa on maapiikit, joiden väliltä mitataan maahan syntyvää askeljännitettä (SebaKMT group, 2008). Joissain malleissa maapiikit ovat yhdistettynä kaapelitutkaan, jolloin samalla kertaa saadaan kaapelin tarkka sijainti maastossa selville (Taimio, 2018). Vikapaikan lähellä askeljännite kasvaa suurimmilleen, mutta suoraan vikapaikan päällä se menee nolnaan. Vikapaikan yli mentäessä jännitteen polaarisuus muuttuu, mistä voidaan päätellä, että vikapaikka ohitettiin juuri (Nuotio, 2019).

5. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin Outokummun Energia Oy:n toimeksiannosta millaisin keinoin 20 kV maakaapeliverkosta voidaan paikallistaa vikoja ja millaista laitteistoa siihen voidaan käyttää. Työstä muodostui lyhyehkö katsaus 20 kV maakaapeliverkon vikojen paikannukseen. Vianpaikannuksen vaiheet ja niissä nykyisin käytettävät laitteistot on esitelty työssä.

Maakaapelointiasteen kasvaessa sähköverkkoyhtiöt joutuvat vikatilanteissa uudenlaisten haasteiden eteen. Vaikka verkoston vikataajuus pienenee maakaapeloinnin seurauksena, niin vikojen paikannuksesta ja korjauksesta tulee väistämättä haastavampaa ja kalliimpaa kuin ilmajohtoverkon osalta. Niinpä vikojen ja niistä aiheutuvien kustannusten minimoimiseksi on tärkeää, että maakaapelien asennus tehdään huolellisesti ja laadukkaasti, sillä sen avulla voidaan säästää huomattavasti kokonaiskustannuksissa. Maakaapelien asennustyön laadukkuus on tärkeää, että kaapeli kestäisi tulevaisuudessa mahdollisimman hyvin vikaantumatta. Asennustyön laadukkuus korostuu maakaapelointia tehtäessä verrattuna ilmajohtoverkon rakennukseen, sillä ilmajohtoverkon viat ovat nopeampia ja helpompia korjata.

Maakaapelien vianpaikannus ja sen menetelmät ovat monille verkkoyhtiöille huomattavasti tuntemattomampia toimenpiteitä kuin ilmajohtoverkon vianpaikannus. Mikäli maakaapelointiaste jatkaa kasvuaan samaan tahtiin kuin viime vuosina, tulevaisuudessa maakaapeliverkon vikojen paikannuksen ja korjauksen kustannustehokkuus ja nopeus tulee väistämättä yhä tärkeämmäksi verkkoyhtiöille.

LÄHTEET

- BAUR GmbH. 2016. Cable fault location. Item No.812-044. [verkkodokumentti]. [viitattu 4.1.2020]. Saatavissa <https://www.baur.eu/en/media-center/brochures-inpage>
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot: 1, Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki, Otatiето. ISBN-978-951-672-360-3
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot: 2, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki, Otatiето. ISBN-978-951-672-363-4
- Energiavirasto. 2019. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2005-2013. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2019].
- Energiavirasto. 2015. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2014. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>
- Energiavirasto. 2016. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2015. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>
- Energiavirasto. 2017. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2016. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>
- Energiavirasto. 2018. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>
- Energiavirasto. 2019. Sähköverkkotoiminnan tekniset tunnusluvut 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.11.2019]. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-julkaisut>
- Ernvall, A. 2019. Kaapeliviivat ja niiden paikannus. [viitattu 3.12.2019]. Saatavissa <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/165804/Ernvall%20Anselmi.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Huotari, H. 2019. Sähköjakelun toimitusvarmuuden kehittäminen jakeluverkkoyhtiössä. [viitattu 16.2.2020]. Saatavissa https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/38964/master_Huotari_Henri_2019.pdf?sequence=1
- Kakkonen, R (verkostoinsinööri Outokummun Energia Oy). 2020. Kuva saatu sähköposti liitteenä Outokummun Energia Oy:ltä 11.2.2020.
- Lakervi, E & Partanen, J. 2008. Sähköjakelutekniikka. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatiето. ISBN-978-951-672-357-3
- Nuotio, T. 2019. Magneettikentän mittaaminen suurjännitteisen tasasähkökaapelin tarkassa vianpaikannuksessa. [viitattu 3.12.2019]. Saatavissa <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/yhtio/tki-toiminta/raportit/nuotio-1.pdf>
- Ovaskainen, T (verkostopäällikkö Outokummun Energia Oy). 2020. Outokummun Energia Oy:n maakaapelointiasteen kehitysennuste. Sähköposti 14.2.2020.

Pakonen, P., Verho, P. 2018. Keskijännitekaapeleiden kunnan arviointi häviökerroin- ja osittaispurkausmittauksilla. [verkkodokumentti]. [20.10.2019]. Saatavissa https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Keskij%C3%A4nnitekaapeleiden%20kunnan%20arviointi%20h%C3%A4vi%C3%B6kerroin-%20ja%20osittaispurkausmittauksilla_Loppuraportti.pdf

Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Matikainen, M., Järventausta, P., Verho, P., Mäkinen, A., Kivikko, K., Pylvänäinen, J., Nurmi, V-P. 2006. Sähkönjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja-arvot sekä sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettavien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.1.2020]. Saatavissa <https://docplayer.fi/5796131-Tilaustutkimusraportti-26-10-2006.html>

Reka Oy. 2017. Työskentelyohje auras [viitattu 22.12.2019] Saatavissa https://www.reka.fi/sites/default/files/reka_tyoskentelyohje_1-24_kv_auraus_2017-08-11_fi_text.pdf

SebaKMT group. 2008. ESG NT Digital Earth Fault Locator. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.1.2020]. Saatavissa https://www.perel.fi/files/item/57788438/esg-nt_en_120418.pdf

Sähkömarkkinalaki 2013. 51§ (9.8.2013/588) Jakeluverkon toiminnan laatuvaatimukset. [viitattu 12.11.2019]. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>

Taimio, J. 2018. Maakaapeleiden vianpaikannus ja laitteet. [viitattu 3.12.2019] Saatavissa <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/146591/Tamio%20Joonas.pdf?sequence=1>

Valli, M. 2018. Osittaispurkausmittaus paljastaa maakaapeliverkon viat. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.10.2019]. Saatavissa http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/verkonrakennus/fi_FI/maakaapeliverkon_vikojen_paikannus/

Virkajärvi, J. 2014. Sähkökaapeleiden asentaminen maan alle. [viitattu 5.1.2020]. Saatavissa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75196/Virkajarvi_Jari.pdf?sequence=1&isAllowed=y