

KAAPELIVIAN PAIKANNUS

Kivelä Miika

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Miika Kivelä	Vuosi	2022
Ohjaaja	Ins. (YAMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Rovakairan Verkonrakennus Oy (Projektipäällikkö) Arto Moilanen		
Työn nimi	Kaapelivian paikannus		
Sivu- ja liitesivumäärä	30 + 5		

Opinnäytetyön aihe oli kaapelivian paikannus. Työssä keskityttiin erityisesti TDR-menetelmään kaapelivian paikannuksessa. Tavoitteena oli saada ohjekirja kyseiselle menetelmälle ja muille vianpaikannusmenetelmille, joissa käytetään syöksyaaltogeneraattoria. TDR-menetelmän ongelmana oli V/2 arvon määrittely, joka on eri jokaiselle eri kaapelityypille ja erikokoiselle kaapelille. Ratkaisuna V/2 arvo voidaan mitata tarkasti jokaiselle uudelle kaapelille, kun tiedetään kaapelin tarkka pituus. Jos vikaantuneesta kaapelista ei tiedetä mitään, tehdään TDR-mittaus kaapelin molemmista päistä, jolloin saadaan vianpaikka huomattavasti pienemmäksi. TDR-menetelmää voidaan käyttää myös ilmajohtojen vianpaikannukseen.

Ohjekirjaan käytettiin kaapelitutkan ja syöksyaaltogeneraattorin valmistajan kaapelivian paikannus ohjeita. Kaapelivian paikannuksesta tutkittiin myös muita aiheita ja kirjallisuutta. Työssä tutkittiin kaapelivian paikannusta todellisessa kaapeliviassa. Kaapelitutkalla mitattiin ehjistä kaapeleista V/2 arvoja, joita voidaan käyttää myöhemmin kaapelivikojen paikannukseen. Kaapelivian paikannukseen käytettäviin laitteisiin saatiin ohjeistusta toimeksiantajan toimesta.

Työn tulokseksi saatiin ohjekirja, jonka avulla vian voisi paikantaa henkilö, jolla ei ole aikaisempaa kokemusta laitteesta. Työssä mitattiin kaapelitutkalla eri kaapelityypeille V/2 arvoja. Mitatuilla arvoilla saadaan tarkemmin paikannettua kaapelivika.

Avainsanat

kaapelitutka, syöksyaaltogeneraattori, vaippavianpaikannus, kaapelivika

Electrical and Automation Engineer-
ing
Bachelor of Engineering

Author	Miika Kivelä	Year	2022
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, (M. Sc.)		
Commissioned by	Rovakairan Verkonrakennus Oy Arto Moilanen (project manager)		
Subject of thesis	Cable Fault Location		
Number of pages	30 + 5		

The aim of the thesis was locating cable faults and creating user manual for cable fault location equipment. Main point of this thesis was TDR method to locate cable faults but also to use of surge wave generator with or without cable radar to locate cable faults. The problem with TDR method was to get correct $V/2$ value which is different to all cable types and in same cable types $V/2$ value depends on cross sectional area. If $V/2$ value was unknown, then the cable would be measured in both ends and then cable fault location would be smaller. TDR method could be used also in overhead lines.

A user manual was created using cable radar and surge wave generator manufactures cable fault guide. Other material and literature on the cable fault were also examined. Real cable fault was investigated during the thesis. $V/2$ values were measured from new cables with cable radar. $V/2$ values can be used in the future to locate cable faults. Instruction for the cable fault equipment was provided by the commissioner.

The manual was completed. With help of the manual a person who has no previous experience could locate a cable fault. $V/2$ values were measured with a cable radar to different cable types. With the measured values cable faults can be located more accurately.

Key words

cable radar, surge wave generator, sheath failure spur, cable fault

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖNJAKELUVERKOT	8
2.1	Ilmajohdot	8
2.2	Maakaapelit	9
2.3	Kaapelityypit	10
2.4	Jakeluverkossa käytettävät kaapelit	11
2.4.1	MCMK	12
2.4.2	AMCMK.....	13
2.4.3	AXMK.....	13
2.4.4	AHXAMK-W	14
3	SÄHKÖLAADUN MÄÄRITTELY	15
3.1	Verkkopalveluehdot	15
3.2	Regulaatio.....	16
3.3	Jakeluverkonkäyttövarmuus	16
4	JAKELUVERKON KÄYTTÖKESKEYTYKSET	17
4.1	Maasulku	17
4.2	Oikosulku	18
4.3	Jakeluverkon suojaus	18
4.4	Maakaapelivikojen aiheuttajat.....	19
5	VIANPAIKANNUSMENETELMÄT	21
5.1	TDR	21
5.2	Vikapaikan polttaminen.....	23
5.3	Syöksyaaltomenetelmä.....	23
5.4	ARC-menetelmä	24
5.5	Vaippavian paikannus.....	24
6	KAAPELIVIAN PAIKANNUKSEEN KÄYTETTÄVÄT LAITTEET	25
6.1	RIF-9.....	25
6.2	SWG-12.....	26
7	POHDINTA	28
	LÄHTEET.....	29

LIITTEET	30
----------------	----

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AHXAMK-W	polyeteenieristeinen keskijännitealumiinikaapeli
AJK	aikajälleenkytkentä
AMCMK	polyvinylieristeinen pienjännitealumiinikaapeli
ARC	pulssikaarimenetelmä
AXMK	polyeteenieristeinen pienjännitealumiinikaapeli
DEACY	jänniteaaltomenetelmä
ICE	virta-aaltomenetelmä
MCMK	polyvinylieristeinen pienjännitekuparikaapeli
PAS	päälystetty avojohto
PEX	polyeteeni
PJK	pikajälleenkytkentä
PVC	polyvinyylidikloridi
TDR	time domain reflectometer
V/2	pulssin etenemisnopeus kaapelissa
XLPE	silloitettu polyeteeni

1 JOHDANTO

Jakeluverkko tulee suunnitella, rakentaa ja ylläpitää siten, että verkonkäyttäjälle ei asemakaava-alueella sään seurauksena tule yli 6 tunnin keskeytystä ja muilla alueilla yli 36 tunnin keskeytystä. Sähkömarkkinalaki (730/2021) velvoittaa sähköverkkoyhtiöitä kyseisten vaatimusten täyttämisen 2036 vuoden loppuun mennessä, jos keskijänniteverkon maakaapelointiaste on ollut enintään 60 prosenttia 2018 vuoden lopussa. Tämä saavutetaan rakentamalla säävarmaa verkkoa, joka tarkoittaa olevassa olevien ilmajohtojen siirtämistä teiden viereen ja kaapelointia. Kaapeloinnin lisääntyminen lisää mahdollisia kaapelivikoja sähkönjakeluverkossa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Rovakairan Verkonrakennus Oy. Tavoitteena oli tehdä kaapelivianpaikannuslaitteelle RIF-9 käyttöohjeet. Laite hyödyntää TDR-tekniikkaa, jonka avulla voidaan paikantaa viat nopeasti ja tarkasti. Opinnäytetyössä tarkastellaan myös muita vianpaikantamismenetelmiä ja -laitteita. TDR-vianhaunmenetelmän suurin haaste on pulssin nopeuden määrittäminen kaapelissa eli $V/2$ arvo.

Työ on rajattu kaapelivikojen paikantamiseen, vaikka kaapelivian hakulaitteella voidaan myös paikantaa ilmalinjojen vikoja. Työssä käydään myös läpi ilmalinjojen rakenteita ja käydään vikatyyppejä, joita esiintyy ilmalinjoilla ja kaapeleissa. Työssä käydään läpi tarkemmin kaapelityyppejä ja niiden rakenteita.

2 SÄHKÖNJAKELUVERKOT

Sähkölakeluverkon tehtävänä on jakaa kuluttajille sähköä. Ja tätä tehtävää Suomessa tekevät sähköverkkoyhtiöt. Sähköverkkoyhtiöiden tavoitteena on, että sähkönsiirto ja -jakelu on taloudellista mikä tarkoittaa, että häviöt verkossa jäävät pieniksi ja verkkoon investoidaan tarpeeksi. Toisena tehtävänä on saada siirto ja jakelu luotettavaksi. Yleiset viat verkossa eivät saisi keskeyttää sähkön saata- vuutta ja säästä johtuvat viat pitäisi korjata mahdollisimman nopeasti. Kolmas ta- voite on siirtää ja jakaa sähkö turvallisesti, ettei henkilöille, omaisuudelle tai ympäristölle aiheutuisi vaaraa. (Elovaara & Haarla 2011a, 73.)

Suomessa sähkönjakeluverkkoon kuuluu keskijänniteverkko, jonka jännitetaso on 10 kV tai 20 kV ja pienjänniteverkko, jonka jännitetaso on 0,4 kV. Keskijännite- johtoa on noin 150 000 km ja pienjännitejohtoa noin 200 000 km. Jakeluverkkoon kuuluu myös jakelumuuntamot, joita on noin 100 000 kappaletta. Sähkönjakelu- verkkoa rakennetaan ja suunnitellaan säävarmaksiverkoksi, sähkömarkkinalain vuoksi. Säävarmaverkko koostuu kaapeloinnista ja ilmaverkkojen siirtämistä tei- den viereen. (Lakervi & Partanen 2009, 11.)

2.1 Ilmajohdot

Ilmajohdoiksi luetaan kaikki johdot, jotka riippuvat pylväissä ulkona. Ilmajohdinten johdinaineena käytetään alumiinia, joka toimii sähköjohteena. Ilmajohdimissa käy- tetään terästä, jonka tehtävä on lisätä johtimen mekaanista lujuutta. Pienjännit- teellä teräksen käyttö johdinaineena on kielletty. Pienjännitteillä käytetäänkin pääosin riippukierrejohtimia eli AMKA-johtimia, jonka vaihejohtimissa on ohut muovikerros. AMKA-johdin riippuu pylväässä ilmaeristeisen PEN-johtimen va- rassa, jonka ympärille vaihejohtimet on kierretty. (Elovaara & Haarla 2011b, 278.)

Keskijännitteellä ei käytetä riippukierrejohtimia yleisesti sen kalleuden vuoksi. Riippukierrejohtimien käyttö voi olla tarpeellista, jos pienjännite- ja keskijännite- johdot ovat samassa pylväässä tai avojohtimien käytölle ei ole tilaa. Keskijännit- teellä käytetään yleisemmin avojohtoja, jolloin jokainen johdin on kiinnitetty eris- timiin tai muihin kiinnikkeisiin. Avojohto voi olla päällystetty eli PAS-johto, jolloin

johtimissa on ohut muovikerros tai ilmaeristetty johto, josta käytetään muun muassa Sparrow, Raven ja Pigeon. PAS-johto voidaan rakentaa pienempään tilaan kuin ilmaeristettyjohto. PAS-johdon hyöty on, että se kestää yleensä puiden kaatumisen ja johtimien yhteen kosketukset eivät aiheuta keskeytyksiä sähköjake luun. (Elovaara & Haarla 2011b, 286–287.)

Sähkönjakeluverkon avojohtimissa käytetään suurimmaksi osaksi puupylväitä, jotka ovat kreosootti- tai suolakyllästeisiä. Puupylväät ovat taloudellinen vaihtoehto, mutta puupylväiden käyttö voi vähentyä, koska kyllästeaineille on asetettu käyttörajoituksia niiden myrkyllisyyden vuoksi. Vaihtoehtoinen pylväsmateriaali on teräs, jota jo käytetään yleisesti suurjänniteverkossa. Harvinaisempia materiaalit ovat teräsbetoni ja komposiitti. Teräsbetonia ei käytetä pylväsmateriaalina sen kalleuden vuoksi. Komposiittipylväs on liukas, minkä takia tarvitaan nostokoria asennuksia tehdessä. (Elovaara & Haarla 2011b, 264–265.)

2.2 Maakaapelit

Kaapelit erotetaan ilmajohdoista asennustavan mukaan. Sisätiloissa kaapelit usein asennetaan hyllyihin ja ulkotiloissa asennetaan maahan tai veteen (Elovaara & Haarla 2011b, 250). Maakaapelit voidaan asentaa maahan aurauksella tai kaivamalla kaapelioja. Auraus on taloudellisempaa ja nopeampaa kuin kaapeliojan kaivuu. Auraus voidaan kuitenkin tehdä vain pehmeään maastoon. Aurauksessa maaperässä ei saa olla liian paljon esteitä, kuten kiviä ja kantoja. Kaapelin mekaaninen suojaus saadaan eristeellä ja armeerauksella, mutta myös asentamalla kaapeli tarpeeksi syväälle maahan, minimisyvyys on 70 cm. Jos kaapelia ei voida asentaa tarpeeksi syväälle, suojataan kaapeli putkella tai betonilaatoilla. (Elovaara & Haarla 2011b, 303.)

Kaapelit saadaan asennettua pienempään tilaan kuin ilmajohdot, jolloin tila voidaan hyödyntää muihin tarkoituksiin. Kaapeloinnin vaikutukset ympäristöön jäävät pienemmiksi kuin ilmajohdoilla. Kaivamalla kaapelit teiden viereen vähennetään tarvittavaa puuston raivausta. Ilmajohdot aiheuttavat ympäristöön äänisaastetta tuulen ja koronailmiön takia. Ilmajohdoin vaadittavien pylväiden kyllästeaineet voivat aiheuttaa hajuhaittoja ja valuuttaa myrkyllisiä aineita maahan. Kaapelit eivät ole alttiina sääolosuhteille, kuten lumelle ja tuulelle. Avojohtoissa johdot

ovat kosketussuojamatta, kun taas kaapelit ovat kosketussuojattu. (Elovaara & Haarla 2011b, 304–305.)

Kaapelinasennukset ovat hinnaltaan 4–12 kertaiset ilmajohdon asennukseen verrattuna ja hinta määräytyy maaperän mukaan. Kaapelit voivat kestää jopa 100 vuotta toimintakuntoisena, mutta jos kaapeli vioittuu, on sen korjaaminen ja kaapelin paikantaminen haastavampaa ja kalliimpaa. Pitkillä kaapeloinneilla on suuri käyttökapasitanssi, jota kompensoidaan sähköasemilla kompensointilaitteilla. (Elovaara & Haarla 2011b, 305–306.)

2.3 Kaapelityypit

Kaapelin rakenneosat ovat johtimet, johdinsuoja, johdineristys, kosketussuoja, hohtosuoja ja ulkoiset suojakerrokset, joita voivat olla vaippa, korroosiosuoja ja armeeraus. Kaapelien poikkipinta-ala ovat standardisoituja. Pienjännitteellä ja keskijännitteellä käytetään poikkipinta-aloja 25–300 mm² ja jos tarvitaan suurempia poikkipinta-aloja, käytetään sen sijaan kahta kaapelia eli rinnakkaissyöttöä tai 1-johdin kaapeleita. (Elovaara & Haarla 2011b, 307.)

Kaapeleissa käytetään johdinaineena pääosin alumiinia ja kuparia. Alumiini on yleisempää, koska se on taloudellisempaa ja kevyempää. Kuparissa sähköiset arvot ovat parempia kuin alumiinissa, tästä johtuen alumiinikaapelia käyttäessä joudutaan valitsemaan suurempi johdinpoikkipinta-ala. Alumiinikaapelia käytettäessä tarvitaan 50 % suurempi poikkipinta-ala kuin kuparikaapelissa. Johtimet tehdään useasta langasta, jotka ovat pyöreänmuotoisia ja mitä enemmän taipuisuutta kaapeliilta vaaditaan, sitä useammasta langasta johdin koostuu. (Elovaara & Haarla 2011b, 307.)

Johdinsuoja on johtimen pinnalla ja se valmistetaan puolijohtavasta materiaalista, joka poistaa johtimen pinnan epätasaisuudet ja pienentää kentänvoimakkuushuippuja. Johdinsuoja maa- ja oikosulussa vähentää eristeeseen kohdistuvaa lämpörasitusta ja johdinsuoja myös estää osittaispurkauksia osittain. Johdinsuojaa käytetään keskijännitekaapeleilla ja suuremmilla jännitteillä. (Elovaara & Haarla 2011b, 308.)

Johdineristys sijaitsee johtimen tai johdinsuojan päällä. Eristeen tehtävänä on antaa kaapelille riittävä jännitekestoisuus ja siirtää häviölämpö kaapelista ympäristöön. Kaapeleissa eristeaineena käytetään muoveja, jotka ovat syrjäyttäneet aiemmin käytettyä öljyllä kyllästetyn paperieristeen. Pienjännitekaapelissa käytetään PVC-muovia tai PEX-muovia ja keskijännitteellä käytössä on vain PEX-muovia. (Elovaara & Haarla 2011b, 308.)

Hohtosuoja rajaa kentänvoimakkuutta johdinsuojan kanssa. Hohtosuoja valmistetaan metallinauhoista tai puolijohtavasta materiaalista, hohtosuoja sijaitsee johdineristyksen päällä. Hohtosuoja on kaapelissa jokaisen johtimen ympärillä. Vyöeristys kaapelissa tarkoittaa, että kaikkien johtimien päällä on yksi hohtosuoja. Pienjännitekaapeleilla käytetään pääosin vyöeristystä ja keskijännitteellä käytetään hohtosuojausta jännitelujuussyistä. (Elovaara & Haarla 2011b, 309–310.)

Kosketussuojan tarkoituksena on toimia varaus- ja vikavirtojen kulkureittinä ja myös häiriösuojana. Kosketussuoja valmistetaan metallista, kuten alumiinista tai kuparista. Kosketussuoja voi olla joko yhtenäinen metalli tai metallinauhoista tehty, joskus konserttinen nollajohdin toimii vaippana. (Elovaara & Haarla 2011b, 310–311.)

Kaapelin ulkoiset suojakerrokset voivat olla välivaippa, ulkovaippa, korroosiosuoja ja armeeraus. Välivaippaa käytetään johtimien mekaanisena suojana. Ulkovaippa suojaa kaapelia korroosiolta, tärinältä ja on mekaaninen suoja. Ulkovaippa voidaan valmistaa metallista, muovista tai kumista, yleisimpänä käytössä on muovi, ja kumia ei käytetä jakelujännitteillä. Armeerausta ei käytetä maahan asennettavilla kaapeleilla, mutta esimerkiksi veteen asennettavissa kaapeleissa käytetään armeerausta. (Elovaara & Haarla 2011b, 311–312.)

2.4 Jakeluverkossa käytettävät kaapelit

Kaapelin johdinvärit ovat standardoituja. Suojajohtimessa käytetään kelta-vihreäraitaista tunnusväriä, jota ei saa käyttää muissa johtimissa. PEN-johtimessa keltavihreää tunnusväriä käytettäessä johtimen päät merkitään sinisellä lisämerkinnällä. Nollajohtimen tunnusväri on sininen, muun värisiä voidaan käyttää myös nollajohtimena. Nollajohdin merkitään johtimen päässä sinisellä lisämerkinnällä.

Vaihejohtimissa käytetään tunnusväreinä ruskea L1, musta L2 ja harmaa L3. (Monni 2012, 14–15.)

Kaapelit tunnistetaan lajimerkistään, jotka ovat kirjain ja numeroyhdistelmä. Johdinaine oletetaan kupariksi, ellei ole erikseen merkitty. Kirjaimet kuvaavat kaapelin rakenneosia ja materiaaleja johtimesta alkaen.

A = Alussa johdin aine alumiini, muutoin kosketussuoja

C = konsentrinen nollajohdin

H = puolijohtava tai johtava kerros eristyksen molemmin puolin

J = juutti tai polypropeeni

K = kaapeli

L = lyijyvaippa

M = muovieristys tai muovivaippa

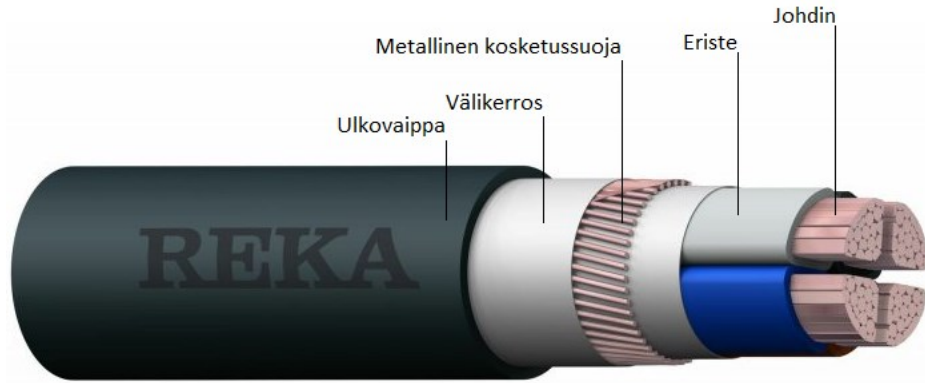
P = pyörälanka-armeeraus

W = vesitiivis johdin

X = PEX-eristys (XLPE) (Monni 2012, 16.)

2.4.1 MCMK

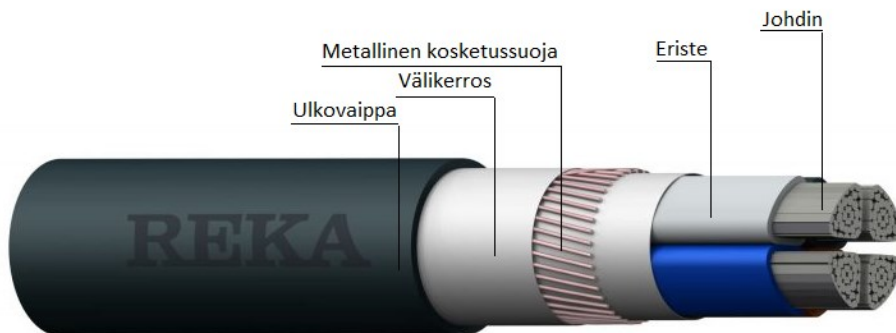
MCMK on kuparikaapeli, jota käytetään pienjännitteillä, mutta kyseisen kaapelin käyttö on vähentynyt alumiinikaapeleiden ansiosta. Kaapeli voidaan asentaa sisä- ja ulkotiloihin noudattamalla kansallisia asetuksia ja määräyksiä. Eristeenä käytetään PVC-sekoitetta ja kaapelissa on kuparinen kosketussuoja. Kuva 1 on esitetty MCMK-kaapelin rakenne. (Reka kaapeli 2022.)



Kuva 1. MCMK-kaapelin rakenne (Reka kaapeli 2022)

2.4.2 AMCMK

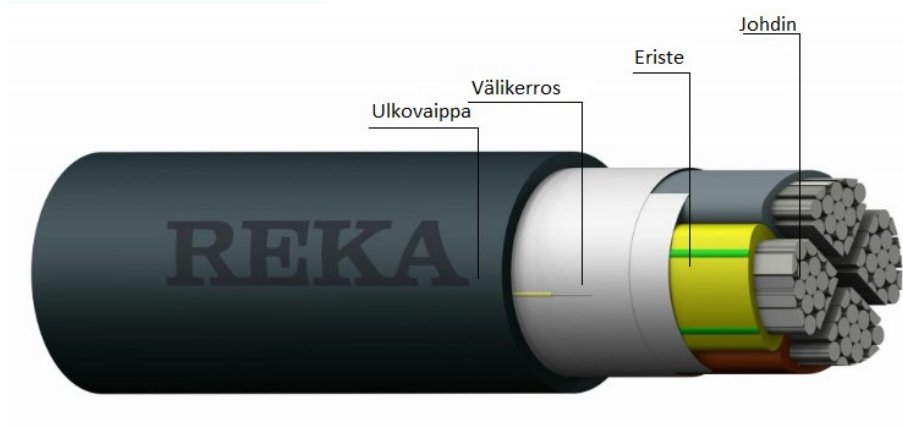
AMCMK on alumiinivoimakaapeli, joka voidaan asentaa kiinteästi sisä- ja ulkotiiloihin. Eristeenä käytetään PVC-sekoitetta ja kaapelissa on kuparinen kosketussuoja. Kaapelia käytetään pienjännitteellä. Kuva 2 esitetään AMCMK-kaapelin rakenne. (Reka kaapeli 2022.)



Kuva 2. AMCMK-kaapelin rakenne (Reka kaapeli 2022)

2.4.3 AXMK

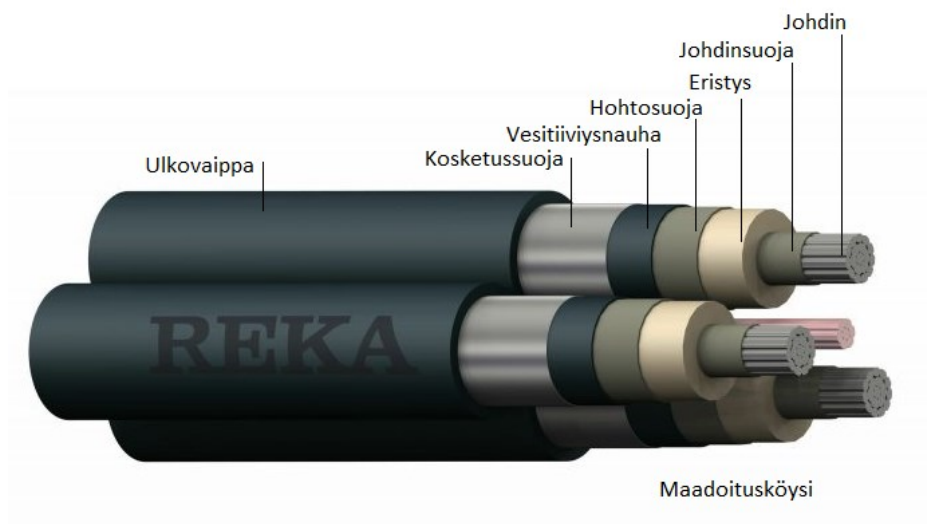
AXMK on alumiinivoimakaapeli, joka voidaan asentaa ulkotiloihinkiinteästi, mutta myös auraamalla. Kaapeli eristeenä käytetään halogeenitonta PEX-muovia. Kaapeli on pienjännite asennuksiin. Kuva 3 esitetty AXMK-kaapelin rakenne. (Reka kaapeli 2022.)



Kuva 3. AXMK-kaapelin rakenne (Reka kaapeli 2022)

2.4.4 AHXAMK-W

AHXAMK-W on alumiinivoimakaapeli, joka voidaan asentaa kiinteästi ja auramalla maahan. Kaapeli on myös vesitiivis, joten se voidaan asentaa kosteisiin paikkoihin. Eristeenä käytetään ristosilloitettua PEX-muovia. Jokaisella johtimella on oma vaippansa ja johtimet on kerrattu paljaan kupariköyden ympärille. Kaapeli on tarkoitettu keskijännitteelle. Kuva 4 esitetään AHXAMK-W kaapelin rakenne. (Reka kaapeli 2022.)



Kuva 4. AHXAMK-W kaapelin rakenne (Reka kaapeli 2022)

3 SÄHKÖLAADUN MÄÄRITTELY

Sähkötoimituksen laatu on hyvä, kun sähkökäyttäjä saa hyvälaatuisen jännitteen, sähköä keskeytteettömästi ja asiakaspalvelu toimii. Sähköverkossa jännitteen suuruus vaihtelee. Sähkölaitteiden tulee kestää jännitteen vaihtelua eivätkä ne saa syöttää häiriötä sähköverkkoon. Sähkötoimituksessa verkko on luonnollinen monopoli. Lainsäädännöllä ja viranomaisten valvonnalla valvotaan, että sähkötoimitukseen panostetaan. Jakeluverkkoyhtiöt maksavat korvauksia sähkökäyttäjille, jos sähkökäyttökeskeytykset ovat liian pitkiä. Asiakaspalvelun laatuun vaikuttaa muun muassa asiakastyytyväisyys, asiakkaiden valitukseen vastaaminen, mittausten ja laskutuksen täsmällisyys ja toiminta hätätilanteissa. (Elovaara & Haarla 2011a, 419–422.)

3.1 Verkkopalveluehdot

Energiateollisuus on vuonna 2019 julkaissut verkkopalveluehdot, jossa käsitellään muun muassa sähkötoimituksen virheitä ja vahingonkorvauksia.

Sähkötoimituksessa katsotaan olevan virhe, jos sähkölaatu tai toimitustapa ei vastaa sitä mitä on sovittu ja sähkötoimitus on yhtäjaksoiseksi tai toistuvasti keskeytynyt. Virhe voi olla myös, jos laskutus on virheellinen tai viivästynyt. Sähkötoimitusta ei voida pitää keskeytteettömänä, koska sähköverkko on alttiina luonnon- ja muille ilmiöille. Sähkötoimitus voidaan keskeyttää, jos sillä vältetään ihmishenkeä, terveyttä tai omaisuutta vaarantava uhka. Laitteiden huollon, muutoksen, tarkastuksen, vian selvittämisen tai muun syyn vuoksi voidaan sähkötoimitus keskeyttää, mutta se tulisi tapahtua silloin, kun se aiheuttaa mahdollisimman vähän haittaa käyttäjälle. Kun huoltoja tehdään, tulee käyttäjä tiedottaa asiasta tarpeeksi ajoissa. Käyttäjän on ilmoitettava viasta viipymättä myyjän ilmoittamalla tavalla, kuitenkin ilmoitusta ei tarvitse tehdä, jos voidaan olettaa, että korjaamisesta huolehtiva toimija on tietoinen virheestä. (Energiateollisuus 2019, 14–17.)

Myyjä on velvollinen korvaamaan virheen, ellei myyjä voi todentaa, että virhe johtui ulkopuolelta tulevasta esteestä, jota ei ole voitu kohtuudella estää. Käyttäjällä on oikeus saada korvausta, jos virhe tapahtuu myyjän huolimattomuudesta ja

korvaus summa on vuoden verkkopalvelumaksujen yhteismäärä, kuitenkin enintään 8500 euroa. Vahingonkorvausta käyttäjä voi saada, jos keskeytyksen pituus ylittää 12 tuntia ja syy on verkonhaltijan vaikutusmahdollisuuden ulkopuolella. (Energiateollisuus 2019, 17–19.)

3.2 Regulaatio

Sähkömarkkinalain (730/2021) yksi tavoitteista on turvata loppukäyttäjälle hyvä sähkön toimintavarmuus ja kilpailukyinen sähkön hinta.

Jakeluverkko on rakennettava ja suunniteltava niin, että se vastaa kantaverkonhaltijan asettamat käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset. Jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman vuoksi saa keskeyttää sähköjakelua asemakaava-alueella yli 6 tuntia ja muilla alueilla yli 36 tuntia. Poikkeuksia ovat saarella sijaitsevat käyttöpaikat, joihin ei ole kiinteää yhteyttä ja käyttöpaikat, joissa kulutus on ollut 3 kalenterivuoden aikana enintään 2500 kilowattituntia. Edellä mainittujen vaatimusten tulee täytyä vuoden 2036 loppuun mennessä. (Sähkömarkkinalaki 730/2021.)

3.3 Jakeluverkonkäyttövarmuus

Sähköjakeluverkot on rakennettu pääosin 1950–70 luvuilla ja ne ovat nyt uusimistarpeessa. Sähköjakeluverkkoon täytyy investoida tarpeeksi, jotta voidaan varmistaa käyttövarmuus. Investointien lisäksi sähköjakeluverkko vaatii kunnossapitoa, johon tarvitaan resursseja ja rahoitusta. Investoinnilla pyritään samaan mahdollisimman paljon asiakkaita toimitusvaatimusten piiriin. Käytännössä ensimmäisenä on investoitu taajamiin ja sen jälkeen haja-asutusalueille. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018, 23–25.)

Käyttövarmuutta voidaan parantaa ennakoivalla kunnossapidolla. Ennakoiva kunnossapito sisältää raivauksia ilmajohtojen johtokadulla. Vierimetsiä voidaan myös raivata, mutta tarvitaan maanomistajien suostumus. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2018, 29.)

4 JAKELUVERKON KÄYTTÖKESKEYTYKSET

Jakeluverkon käyttökeskeytykset johtuvat suurimmalta osin keskijännitteenverkossa muodostuvista vioista. Kaapeleiden vikatyypit ovat suurimmaksi osaksi maasulkuja, oikosulut ovat harvinaisia vikoja. Vikoja ja vikojen vaurioita voidaan vähentää esimerkiksi verkon vahvistuksella, verkon käyttöä rajoittamalla, säädön suunnitteluilla, releasettelun tarkistuksilla ja katkaisijoiden valinnalla. (Elovaara & Haarla 2011a, 166–167.)

4.1 Maasulku

Keskijänniteverkon maadoitustapana käytetään tähtipisteestä erotettua verkkoa tai sammutettua verkkoa. Keskijänniteverkko erotetaan maasta huonojen maadoitusolosuhteiden vuoksi, tällöin maasulku virta jää pienemmäksi ja kosketusjännite saadaan pieneksi. Maasulku aiheutuu, kun johtavan vaiheen ja maan välille muodostuu yhteys. Kosketusjännitteen suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat maasulkuvirta ja suojamaadoituksen resistanssi. Kosketusjännitteen pienentämiseen on muutamia vaihtoehtoja, kuten maadoituksen parantaminen, suojauksen laukaisu aikaa lyhentämällä tai verkon maasulkuvirran pienentäminen, joka voidaan toteuttaa jakamalla verkko galvaanisesti eri osiin tai sammutuskuristinta käyttämällä. (Lakervi & Partanen 2009, 182–183.)

Maasulun ollessa yksivaiheinen ja vikaresistanssin ollessa 0 ohmia vikaantuneen vaiheen jännitteeksi tulee nolla voltia ja kahden muun vaiheen jännitteeksi tulee pääjännitteen suuruus ja tähtipisteessä jännite on vaihejännitteen suuruinen. Maasta erotetun verkon maasulkuvirta on yleensä välillä 5–100 A ja virran suuruuteen vaikuttaa päämuuntajan perässä olevasta galvaanisesti kytketystä verkosta. Edellä mainitut ilmiöt tapahtuvat ilmajohdoissa, kaapeleissa maasulkuvirrat ovat suurempia, mutta se on riippuvainen kaapelityypistä. (Lakervi & Partanen 2009, 186–190.)

Kaksoismaasulussa kaksi vaihetta on yhteydessä maahan ja paikat voivat olla kaukana toisistaan. Kaksoismaasulku muistuttaa suojauksen kannalta paljon

kaksoisoikosulkua ja yleensä oikosulkusuojaus poistaa kaksoismaasulun verkosta. Maasulkuvirta aiheuttaa vahinkoja, jos se kulkee kaapeleiden vaipassa. Vaipassa kulkeva maasulkuvirta voi aiheuttaa läpilyöntejä. Maasulkusuojauksen toimiessa nopeasti voidaan vähentää vian vaikutuksia ja myös ylijännitesuojien ollessa kunnossa voidaan vähentää kaksoismaasulun mahdollisuutta. (Lakervi & Partanen 2009, 198.)

4.2 Oikosulku

Keskijänniteverkossa oikosulku on 2- tai 3- vaiheinen, eli kahden tai kolmen vaiheen välille muodostuu jostain syystä yhteys. Pienjänniteverkossa oikosulku voi tapahtua myös vaihejohtimen ja maan välille. Oikosulkuvirta on vikatilanteessa suurempi kuin tavallinen kuormitusvirta ja vikakohdassa jännite pienenee. Oikosulun syy voi olla muun muassa kahden vaiheen yhteen osuminen tuulen vaikutuksesta. Oikosulun suuruuteen vaikuttaa, kuinka kaukana vika tapahtuu generaattorista. Kolmivaiheinen vastukseton oikosulku aiheuttaa jännitekuopan vika paikassa, jolloin jännite putoaa nolnaan. Myös muualla verkossa tapahtuu jännitteen putoamista. (Lakervi & Partanen 2009, 28–31.)

4.3 Jakeluverkon suojaus

Verkonsuojauksessa käytettävät laitteet ovat mittamuuntajat, suojareleet, katkaisijat ja sulakkeet. Suojauksen tarkoitus on havaita verkossa olevat viat ja epänormaalit tilanteet ja sen avulla viat voidaan selvittää ja epänormaalit olosuhteet saada loppumaan. Oiko- tai maasulkuvika on erotettava verkosta, muuten viat voivat aiheuttavat vaaraa henkilöille ja laitteille. Mitä nopeammin suojaus toimii sitä pienemmäksi vian vaikutukset jäävät. (Elovaara & Haarla 2011b, 335–337.)

Suojauksessa mittamuuntaja muuntaa virran tai jännitteen releelle sopivaksi ja rele havaitessaan vian antaa käskyn katkaisijalle, joka katkaisee vikaantuneen verkon osan. Hyvä relesuojaus toimii selektiivisesti, nopeasti, luotettavasti ja herkästi. Selektiivisyys tarkoittaa, että vain vikaantunut verkon osa erotetaan, jolloin mahdollisimman pieni osa käyttäjistä kokee keskeytyksen. Releen toimintanopeus on tärkeää, jotta saadaan vian aiheuttamat vahingot minimoitua ja vaaratilanteet henkilöille. (Elovaara & Haarla 2011b, 342–344.)

Suojauksen tulee olla luotettava, mikä tarkoittaa toimintavarmuutta ja käyttövarmuutta. Toimintavarmuudella pyritään siihen, että rele ei anna laukaisukäskyä, jos vikaa ei ole. Käyttövarmuudella pyritään siihen, että rele toimii, kun verkossa on todellinen vika. Toimintavarmuutta voidaan parantaa käyttämällä N-1 periaatetta, mikä tarkoittaa, että vaikka yksi verkon osa ei toimi, ei sähkönjakelu keskeydy. (Elovaara & Haarla 2011b, 342–344.)

Huomattava osa jakeluverkon oikosulkuvioista häviää, kun verkkoa käytetään jännitteettömänä. Esimerkiksi salamaniskusta johtavat valokaaret saadaan sammutettua käyttäen pikajälleenkytkentää (PJK) tai aikajälleenkytkentää (AJK). Pikajälleenkytkentä käyttää sen suojaavaa verkon osaa jännitteettömänä 0,2–0,5 sekunnin ajan. Jos tämä ei poista vikaa, poistaa aikajälleenkytkentä jännitteen verkosta 1–3 minuutin ajaksi ja jos vika ei vielä kukaan poistu, vika etsitään ja korjataan. (Monni 2002, 59.)

4.4 Maakaapelivikojen aiheuttajat

Yksi kaapelivian aiheuttaja on kaivuun kaapelin läheisyydessä. Kaivuun yhteydessä kaapeli voi mennä poikki tai vaippaan voi tulla vaurioita. Jos kaapeli vaurioituu eikä mene poikki, vika ei välttämättä ilmene välittömästi. Kaivuun aiheuttamia vaurioita voidaan ehkäistä merkitsemällä kaapelireitit ennen kaivuun aloittamista ja jos kaapelireitin lähellä pitää kaivaa, noudatetaan varovaisuutta.

Maan routiminen on yksi kaapelivian aiheuttajista, jolloin mahdolliset kivet kaapelin vierellä hankaavat vaurion kaapeliin. Routimisen aiheuttamia vikoja voidaan ehkäistä asentamalla kaapelit tarpeeksi syväälle tai suojaamalla kaapeli. Vaurioita voidaan ehkäistä asennusvaiheessa poistamalla kivet kaapeliojasta. Kaapeli peitetään hiekkaan, jolloin roudan vaikutus kaapeliin voidaan poistaa suurimmaksi osaksi.

Asennuksen aikana tapahtuvat mahdolliset virheet voivat aiheuttaa kaapelissa vikoja. Noudattamalla ohjeita asennuksen aikana ja suorittamalla käyttöönottomittaukset asennuksen jälkeen voidaan suurin osa vioista ehkäistä tai havaita. Kaapeliin voi jäädä piileviä vikoja, jotka ilmenevät vuosien päästä asennuksesta.

Kaapelin valmistuksessa, kuljetuksessa ja säilytyksessä kaapeliin voi muodostua vaurioita, joita ei löydetä käyttöönottomittauksissa.

Kaapeli menettää vanhetessaan tärkeitä ominaisuuksia. Vanhojen kaapeleiden eristyksen ominaisuudet heikkenevät, mikä aiheuttaa vikoja. Kaapelien vanhene-
mista voidaan hidastaa käyttämällä asennuspaikkaan sopivaa kaapelityyppiä. Ylikuormittamalla kaapelia eristeet heikkenevät nopeasti ja kaapelin hyvällä mi-
toituksella voidaan välttää ylikuormitusta. (Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen
& Palva 2015,181)

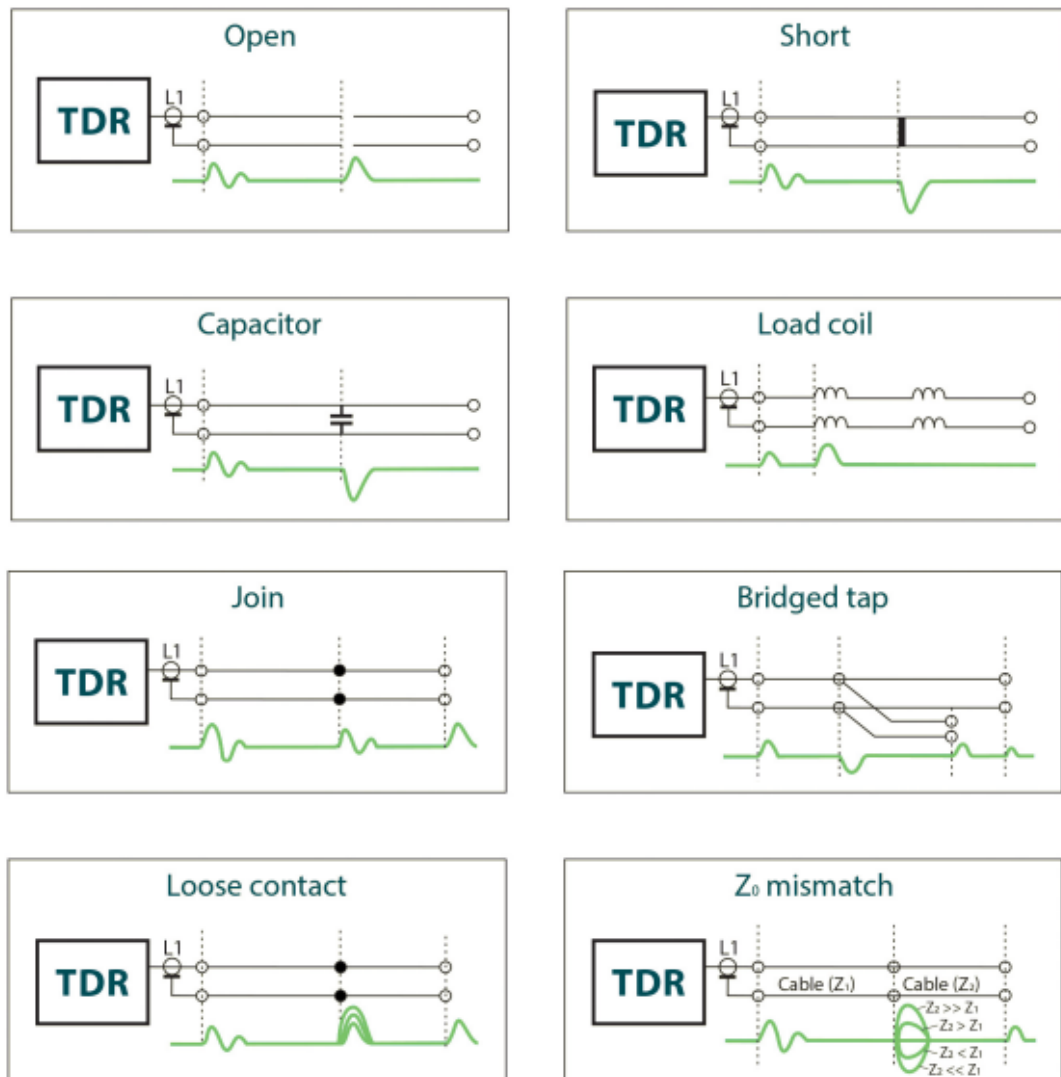
5 VIANPAIKANNUSMENETELMÄT

Kaapelivian etsiminen vaati kokemusta, koska vikojen luonteet ovat erilaisia ja oikean menetelmän valitseminen riippuu esitutkimuksista. Ennen varsinaista vian paikannusta tehdään mittauksia vian laadun ja paikantamistavan selvittämiseksi. Kaapelista mitataan johdin- ja eristysresistanssit. (Monni 2002, 78.)

Ennen resistanssin mittausta varmistetaan kaapelin jännitteettömyys. Resistanssimittauksessa kaapelin toisessa päässä kaikki johtimet ja maat yhdistetään ja mitataan toisesta päästä kaikkien johtimien ja johtimien ja maan väliltä. Resistanssimittauksella selvitetään missä johtimessa on johdinkatkos ja eristysresistanssimittauksella selvitetään mitkä eristykset ovat vioittuneet. (Monni 2002, 81–82.)

5.1 TDR

TDR eli Time Domain Reflectometer on vianpaikannusmenetelmä, joka voidaan suorittaa käyttämällä pelkästään kaapelitutkaa. TDR-menetelmässä kaapelitutka lähettää kaapelia pitkin pulssin, joka heijastuu epäjatkuvuuskohdista. Epäjatkuvuuskohtia ovat esimerkiksi viat, kaapelinpää ja kaapelinjatkokset. Jokaisesta epäjatkuvuuskohdasta muodostuu erilainen kuvio, josta voidaan päätellä vian tyyppi ja vian paikka. Kuva 5 on esimerkkejä erilaisista kuvioista. Jos kaapelin tarkka pituus tiedetään tai tiedetään mitattavan kaapelin $V/2$ arvo eli pulssin nopeus, voidaan vikapaikka paikantaa tarkasti. (Monni 2002, 82–83)



Kuva 5 Kaapelivikojen aiheuttamia kuvioita (KharkovEnergoPribor 2022e, 5–6)

Pulssin nopeuteen vaikuttaa kaapelineriste ja -poikkipinta-ala, mutta kaapelin pituus ei vaikuta. Kaapeleissa pulssin nopeus on välillä 50–150 m/ μ s. Häviöttömällä ilmajohdolla pulssi kulkee valonnopeudella, mutta häviöt ja korona hidastavat nopeutta. Pitkillä kaapeleilla vikapaikka voi jopa siirtyä metrejä, jos $V/2$ arvo heittää todellisesta arvosta 0,1 m/ μ s. Virhettä voidaan pienentää mittaamalla kaapelin molemmista päistä ja merkkäämällä vikapaikat jolloin todellinen vikapaikka jää merkkien väliin. $V/2$ arvo voidaan mitata jokaisesta uudesta asennettavasta kaapelista, jolloin saadaan kuvio, jota voidaan verrata, jos kaapeliin tulee tulevaisuudessa vaurioita. Yksi vaihtoehto $V/2$ arvon selvittämiseen on mitata kaikki kaapelityypit, jossa tiedetään tarkka kaapelin pituus, jolloin saadaan $V/2$ arvo jokaiselle mitatulle kaapelityypille. (Aro ym. 2015, 219–221.)

Pulssin edetessä tapahtuu kaapelissa häviöitä, jotka vaimentavat pulssia kaapelin lopussa. Lisäämällä pulssin leveyttä voidaan estää vaimentumista kaapelin lopussa, tällöin kuitenkin kaapelin alkupäässä mahdolliset viat ovat vaikeampaa havaita. Kaapelitutka valitsee automaattisesti pulssin leveyden kaapelin pituuden mukaan, mutta pulssin leveys voidaan myös valita manuaalisesti. Kaapelin alussa tapahtuu myös alkuheijastus, joka vaikeuttaa vikojen havaitsemisen kaapelin alkupäässä. Alkuheijastuksen häiriötä voidaan vähentää käyttämällä pitkiä mittausjohtimia, jotka voidaan poistaa kaapelitutkan luomasta kuviosta, joka kaapelista tulee. (Aro ym. 2015, 223.)

5.2 Vikapaikan polttaminen

Polttomenetelmässä kaapeliin syötetään suuri jännite, jolloin vikapaikassa tapahtuu läpilyönti ja syntyy valokaari, jonka jälkeen virta polttaa vian pieniresistanssiseksi. Polttamisen yhteydessä voidaan myös paikantaa vikaa. Mikäli vikapaikka ei saada poltettua pieniresistanssiseksi, käytetään muita kaapelivianpaikannus menetelmiä. (Monni 2002, 83–83.)

5.3 Syöksyaaltomenetelmä

Yleisin paikannustapa on syöksyaaltomenetelmä eli kaapeliin syötetään suuri jännite jolloin vikakohtassa syntyy pieni räjähdys. Suuri jännite saadaan kondensaattorin avulla. Räjähdys aiheuttaa tärähdyksen, joka voidaan kuulla maanpäältä maamikrofonin avulla. Vika voidaan paikantaa tällä menetelmällä erittäin tarkasti ja menetelmä on helppo oppia. Huonona puolena syöksyaaltomenetelmässä on, että se aikaa vievää, kun vikapaikka pitää löytää kävelemällä maamikrofonin kanssa kaapelireitillä ja pitkillä kaapeleilla se voi viedä tunteja tai jopa päiviä. Toisena huonona puolena on, että kun kaapeliin syötetään suurta jännitettä, kaapelin käyttöikä lyhenee. Joskus syöksyaaltogeneraattorin jännite ei ole tarpeeksi suuri aiheuttaakseen räjähdysten. Vikapaikka poltetaan, jolloin saadaan räjähdys aikaiseksi vikapaikassa, kun käytetään syöksyaaltomenetelmää. (KharkovEnergoPribor 2022e, 1–3.)

5.4 ARC-menetelmä

ARC-vianhakumenetelmässä käytetään syöksyaaltogeneraattoria ja kaapelitutkaa laitteita yhdessä. Kun vikaa ei näy TDR-menetelmällä ja syöksyaaltomenetelmällä ei kuulla vikapaikkaa maamikrofonin avulla käytetään, ARC-toimintoa. Käytettäessä ARC-toimintaa kaapelin syötetään syöksyaaltogeneraattorista jänniteaalto, jolloin vikapaikassa tapahtuu läpilyönti. Läpilyönti havaitaan kaapelitutkalla. Vaikka kaapeliin syötetään korkeaa jännitettä, ei se vaurioita kaapelia samalla tavalla kuin syöksyaaltomenetelmä, koska kaapeliin syötetään vain muutama jänniteaalto. Huonona puolena ARC-menetelmässä on se, että jos mitataan todella pitkiä kaapeleita, ei kaapelitutkan teho riitä löytämään vikoja. (KharkovEnergopribor 2022e, 8–10.)

5.5 Vaippavian paikannus

Kaapelin vaippavika voidaan todeta ohmimittarilla mittaamalla ensin vaipan ja maan väli, jonka jälkeen napaisuus vaihdetaan ja tuloksien poiketessa kaapelissa on vaippavika. Mittaus voidaan myös tehdä vaipattomaan kaapeliin, jolloin mitataan johtimen ja maan väli. Kun kaapeliin syötetään jännite, vikakohdassa syntyy jännitehuippuja, jotka voidaan paikantaa maadoitussauvojen ja maavuodon hakulaitteen avulla. Maadoitussauvaa liikutetaan kaapelireittiä pitkin, kunnes vika jää maadoitussauvojen väliin. (Monni 2002, 84–85.)

6 KAAPELIVIAN PAIKANNUKSEEN KÄYTETTÄVÄT LAITTEET

Työssä laitteille RIF-9 ja SWG-12 tehtiin ohjekirjat (Liite 3), joissa esitetään mahdolliset vianpaikannuksen menetelmät, jotka kyseisillä laitteilla on mahdollisia suorittaa.

6.1 RIF-9

RIF-9 on KharkovEnergoPribor Ltd. yrityksen valmistama kaapelitutka, joka käyttää hyödykseen TDR-tekniikkaa (Kuva 6). Laitetta voidaan käyttää yksinään, kun etsitään pieniresistanssista vikaa, tai yhdistämällä laitteeseen syöksyaalto-generaattori, voidaan paikantaa suuriresistanssivikojakin. RIF-9-kaapelitutkalla voidaan valita neljästä vianpaikannusmenetelmästä, joita ovat TDR, ARC, ICE ja DECAY. Kaapelitutkalla voidaan päätellä pulssin nopeus kaapelissa ja kaapelin pituus, kaapelitutka pystyy myös mittaamaan jopa 120 kilometrin pituisia kaapeleita. Kaapelitutka sisältää V/2 arvoja, jotka ovat kaapeleihin, joita Suomessa ei ole käytössä. RIF-9 pystyy mittaamaan kolmea johdinta yhtä aikaa. Kaapelitutkaa voidaan käyttää kosketusnäytön avulla tai enkooderi napilla. Kaapelitutkan tekniset tiedot ovat liitteessä 1. (KharkovEnergoPribor Ltd 2022b.)



Kuva 6 RIF-9 laite (KharkovEnergoPribor Ltd 2022b)

6.2 SWG-12

SWG-12 on syöksyaaltogeneraattori (Kuva 7), jonka avulla voidaan paikantaa kaapelivikoja yhdessä RIF-9 laitteen kanssa tai ilman. SWG-12 sisältää kondensaattoreita, joita lataamalla voidaan kaapeliin syöttää jopa 12 kV tasajännitettä ja 100 mA virta. Laitetta ei voida käyttää, jos laitetta ei ole maadoitettu. Laite havaitsee mahdolliset kytkentävirheet. Syöksyaaltogeneraattorin tekniset tiedot esitetään liitteessä 2. (KharkovEnergoPribor Ltd 2022c.)



Kuva 7 SWG-12 laite (KharkovEnergoPribor Ltd 2022c)

7 POHDINTA

Työn tuloksena saatiin käyttöohjeet vianpaikannukseen. Käyttöohjeet sisältävät ohjeet RIF-9- ja SWG-12-laitteiden käyttöön vianpaikannuksessa. Ohjekirjaa ei päästy kokeilemaan käytännössä työn aikana. Työssä keskityttiin erityisesti kaapelitutkan käyttöön ja siihen, miten kaapelitutkaan vaadittavan $V/2$ -arvon voisi selvittää kaapeleille. Kaapelitutka sisälsi jo valmiiksi annettuja $V/2$ arvoja.

Kaapelivian paikannukseen käytettävät menetelmät ovat suhteellisen helppoja oppia. TDR-menetelmässä ei käytetä suuria jännitteitä, jolloin se on myös turvallinen vianpaikannusmenetelmä. Ongelma TDR-menetelmässä on kuitenkin kuvion tulkinta. Kuviota on helpompi tulkita lyhyillä kaapeleilla, koska virheen vaikutus on pienempi. Pitkillä kaapeleilla voidaan TDR-menetelmällä esipaikantaa vikakohta ja syöksyaaltomenetelmällä paikantaa vika tarkasti. Esipaikannuksella vähennetään kävelyä ja kaapeliin kohdistuvaa räsitusta vähentää.

Vuonna 2013 sähkömarkkinalain voimaan tuleminen toi verkkoyhtiölle pakon alkaa rakentamaan ja suunnittelemaan säävarmaa verkkoa, jolloin kaapelointi lisääntyy todella paljon. Kaapelissa esiintyy vähemmän vikoja verrattuna ilmajohdoteihin. Kaapelivian korjaus kestää kauemmin ja kaapelin rakennus- ja korjauskustannukset ovat korkeampia. Sähkön laatua voidaan myös parantaa, kun kaapeliviat saadaan paikannettua nopeasti ja tarkasti.

Käytännöksi voitaisiin ottaa TDR-mittaus kaapelinkäytön yhteydessä. Mittaustulos tallennetaan, jota käytettäisiin referenssinä vikatilanteessa. Erityisesti keskijännitekaapeleiden mittaus voisi olla järkevää, kaapelin pituuksien vuoksi. Pienjännitekaapeleiden mittaus ei välttämättä olisi kannattavaa, koska vianpaikannus on helpompaa.

LÄHTEET

- Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K, & Palva, V. 2015. Suurjännitetekniikka 4. painos. Helsinki: Otatieto
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot I. 1. painos. Helsinki: Otatieto
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b Sähköverkot II. 1. painos. Helsinki: Otatieto
- Energiateollisuus. Verkkopalveluehdot. 2019. Viitattu 26.5.2022 https://energia.fi/files/3726/Verkkopalveluehdot_VPE_2019.pdf
- KharkovEnergoPribor Ltd. RIF-9 User manual. 2022a
- KharkovEnergoPribor Ltd. RIF-9. 2022b. Viitattu 6.5.2022b <https://kephv.com/en-en/reflectometer/rif-9>
- KharkovEnergoPribor Ltd. SWG-12 (SWG-32). 2022. Viitattu 6.5.2022c <https://kephv.com/en-en/mobile-cable-fault-location-system/swg-12-32>
- KharkovEnergoPribor Ltd. SWG-12 User manual. 2022d
- KharkovEnergoPribor. Introduction to Cable Fault Locating. 2022e Viitattu 5.6.2022 <https://kephv.com/img/publications/files/introduction-to-cable-fault-locating.pdf?1582185325>
- Lakervi, P. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka 2. uud. p. Helsinki: Otatieto
- Monni, M. 2002. Jakeluverkon käyttötehtävät. uud. p. Helsinki: Adato energia.
- Monni, M. 2012. Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt. uud. p. Helsinki: Adato energia.
- Reka kaapeli 2022. Voimakaapelit. Viitattu 6.5.2022 <https://www.reka.fi/tuoteryhma/voimakaapelit/>
- Sähkömarkkinalaki 15.7.2021/730
- Työ- ja elinkeinoministeriö. Sähkönsiirtohinnot ja toimintavarmuus. 2018. Viitattu 27.5.2022 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43_18_Sahkonsiirtohinnot_ja_toimintavarmuus.pdf

LIITTEET

Liite 1. RIF- 9 tekniset tiedot

Liite 2. SWG-12 tekniset tiedot

Liite 3. Vianpaikannus ohjekirja

Liite 1. RIF- 9 tekniset tiedot 1(2)

Pulse reflection method	Available methods (standalone use)	■ TDR (impulse reflection method)
	Connection to a line	Direct
	Number of channels for simultaneous connection to a line	3
	Fault detection ranges (for velocity factor 1.50 or $v/2 = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$)	0 ... 60 / 120 / 250 / 500 / 1000 / 2000 / 5000 / 10 000 / 20 000 / 50 000 / 120 000 m
	Number of traces used for averaging	1 ... 64
Arc reflection method	Available methods (when used with a suitable surge wave generator)	■ ARC (single impulse arc reflection method) ■ ARC multi-shot (multiple impulse arc reflection method)
	Connection to a line	Via a voltage filtering coupler
	Number of channels for simultaneous connection to a line	1
	Number of traces per surge in ARC multi-shot mode	1 ... 15
	Fault detection ranges (for velocity factor 1.50 or $v/2 = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$)	0 ... 60 / 120 / 250 / 500 / 1000 / 2000 / 5000 / 10 000 m
Transient wave method	Available methods (when used with a suitable DC high voltage source)	■ ICE (impulse current method) ■ DECAY (voltage decay method)
	Connection to a line	Via a voltage or current filtering coupler
	Number of channels for simultaneous connection to a line	1
	Fault detection ranges (for velocity factor 1.50 or $v/2 = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$)	0 ... 250 / 500 / 1000 / 2000 / 5000 / 10 000 / 20 000 / 50 000 / 120 000 m
System parameters	Fault detection resolution: ■ for velocity factor 1.50 ($v/2 = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$) ■ for velocity factor 1.87 ($v/2 = 80.2 \text{ m}/\mu\text{s}$)	0.5 m 0.4 m
	Distance to fault detection accuracy	0.2 % of selected range
	Sampling rate	200 MHz
	Time-domain accuracy	0.01%
	Output impedance adjustment range	2 ... 100 Ω , resolution 2 Ω
	Probe pulse parameters: ■ voltage ■ width adjustment range	45 V 10 ns ... 100 μs
	Gain adjustment range	minus 21 ... + 69 dB
	Velocity factor adjustment range	0.750 ... 3.000, resolution 0.001
	Propagation velocity ($v/2$) adjustment range	50.0 ... 200.0 $\text{m}/\mu\text{s}$, resolution 0.1 $\text{m}/\mu\text{s}$

Liite 1 2(2)

Controls and interfaces	Display	10.4" colour TFT, 800 × 600 px, resistive touch
	Menu languages	<ul style="list-style-type: none"> ■ English ■ Russian ■ Polish ■ Turkish ■ Chinese (simpl.) ■ Others (option)
	Secondary control interface	Rotary encoder with "ENTER" button
	Connection interfaces	<ul style="list-style-type: none"> ■ USB-A (user memory stick, FAT32) ■ USB-B (PC connection) ■ RS-485 (service only)
	Internal memory: <ul style="list-style-type: none"> ■ historical measurements with associated settings ■ reference cable velocity of propagation (v/2) records 	up to 1000 up to 500
Safety	Grounding	<ul style="list-style-type: none"> ■ Protective earthing
	Fuses	<ul style="list-style-type: none"> ■ Battery power circuit ■ External power circuit
	Allowable voltage on measuring terminals	up to 50 V
	Ingress protection rating (according to EN 60529)	IP 54 (with lid closed)
Power supply and consumption	Internal rechargeable battery	12 V, 9 A·h, lead-acid battery, AGM type
	Battery life*	up to 6 h
	Average battery charge time	11 h
	External power source voltage	12 ... 28 VDC
	Current consumption when powered from external power source (@ 24 VDC)	up to 1.5 A
	Power consumption	up to 36 W
Physical	Dimension, H × W × D	178 × 366 × 271 mm
	Weight	8 kg

Liite 2. SWG-12 tekniset tiedot 1(2)

DC testing	Output voltage adjustment and indication range	0 ... 12 kV
	Output current indication ranges	0 ... 10 mA
	Indication	Analogue indication of output voltage and current in real time
	Relative voltage and current indication error	± 3 % of full range
Fault conditioning (burning)	Output DC voltage adjustment and indication range	0 ... 12 kV
	Output current (open-circuit run)	up to 100 mA
	Voltage adjustment type	Continuous
	Indication	Analogue indication of output voltage and current in real time
	Relative voltage and current indication error	± 3 % of full range
Fault pre-location	Pre-location methods	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TDR (impulse reflection method) ▪ ARC / ARC multi-shot (single impulse / multiple impulse arc reflection method) ▪ ICE (impulse current method) ▪ DECAV (voltage decay method)
	Fault detection ranges (for velocity factor 1.50 or $v/2 = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$)	0 ... 60 / 120 / 250 / 500 / 1000 / 2000 / 5000 / 10 000 / 20 000 / 50 000 / 120 000 m
	Fault detection resolution: <ul style="list-style-type: none"> ▪ for velocity factor 1.50 ($v/2 = 100 \text{ m}/\mu\text{s}$) ▪ for velocity factor 1.87 ($v/2 = 80.2 \text{ m}/\mu\text{s}$) 	0.5 m 0.4 m
	Distance to fault detection accuracy	0.2 % of selected range
	Sampling rate	200 MHz
	Time mark accuracy	0.01 %
	Output impedance adjustment range	2 ... 100 Ω , resolution 2 Ω
	Probe pulse parameters: <ul style="list-style-type: none"> ▪ voltage ▪ width adjustment range 	45 V 10 ns ... 100 μs
	Gain adjustment range	minus 21 ... + 69 dB
	Velocity factor adjustment range	0.750 ... 3.000, resolution 0.001
	Propagation velocity ($v/2$) adjustment range	50.0 ... 200.0 $\text{m}/\mu\text{s}$, resolution 0.1 $\text{m}/\mu\text{s}$
	Internal memory of the reflectometer: <ul style="list-style-type: none"> ▪ historical measurements with associated settings ▪ reference cable propagation velocity ($v/2$) records 	up to 1000 up to 500

Liite 2 2(2)

Fault pinpointing with acoustic method	Surge voltage levels and adjustment ranges	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Level 1: 0 ... 3 kV ▪ Level 2: 0 ... 6 kV ▪ Level 3: 0 ... 12 kV
	Surge energy at each level	up to 1100 J
	Surge rate	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Single pulse, manually triggered ▪ 4 ... 12 surges/min, automatic mode
	Indication	Analogue indication of output voltage in real time
Controls and interfaces	Connection interfaces	<ul style="list-style-type: none"> ▪ USB-A (user memory stick, FAT32) ▪ USB-B (PC connection) ▪ RS-485 (service only)
	Display (reflectometer RIF-9)	10.4" colour TFT, 800 x 600 px, resistive touch
	Operating modes switch	Manual
	Surge voltage levels switch	Manual
	Secondary control interface	Rotary encoder with "ENTER" button
Connections	HV test cable (KEP-12)	6 m
	Power supply cable	10 m
	Protective earthing cable (KEP-10Gct)	10 m
	Earthing control cable	6 m
Safety	Grounding	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protective earthing ▪ Operating grounding ▪ Continuous grounding monitoring system ▪ Automatic discharge device
	Protection	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Overvoltage ▪ Overcurrent ▪ Overheating
	High voltage switch off	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EMERGENCY STOP button ▪ Power keylock switch
	Ingress protection rating (according to EN 60529)	IP 30
Power supply and consumption	Mains supply voltage	230 VAC, $\pm 10\%$
	Mains supply frequency	50 Hz (60 Hz option)
	Power consumption	up to 1.0 kV·A
Physical	Dimensions, H x W x D (with RIF-9 installed)	1172 x 775 x 603 mm
	Total weight (with RIF-9 and connection cables)	120 kg

Liite 3. Vianpaikannus ohjekirja

Ohje rajattu Rovakairan Verkonrakennus Oy:n sisäiseen käyttöön.