

Heli Tolonen

**LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN TODENTAMINEN
JA DOKUMENTOINTI KENET OY:N JAKELUVERKOSSA**

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2013

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Huhtikuu 2013	Tekijä/tekijät Heli Tolonen
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN TODENTAMINEN JA DOKUMENTOINTI KENET OY:N VERKOSSA		
Työn ohjaaja Jari Halme, yliopettaja	Sivumäärä 65 + 3	
Työelämän ohjaaja Veli-Pekka Kinnunen, käytönjohtaja		

Tämä insinöörityö tehtiin KENET Oy:n tarpeisiin. Aiheena työssä oli laajan maadoitusjärjestelmän todentaminen ja dokumentointi KENET Oy:n verkossa. Työn tarkoituksena oli selventää laajan maadoitusjärjestelmän asettamia vaatimuksia ja miksi kannattaa pyrkiä laajaan maadoitusjärjestelmään.

Koska KENET Oy:llä ei oltu tehty ennen selvitystä siitä, miltä osin verkko kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään tehtiin se nyt tämän insinöörityön yhteydessä. Laajan maadoitusjärjestelmän todentamiseen vaadittavaan dokumentointiin etsittiin myös tarkoitukseen sopivaa ratkaisua.

Tätä insinöörityötä tehtäessä käytiin läpi maadoitusten merkitystä ihmisille, eläimille ja laitteille. Perehdyttiin maadoitusten riittävyyden laskennalliseen todentamiseen, sekä maadoitusten kunnosta huolehtimiseen.

Opinnäytetyön pohjalta laadittiin KENET Oy:n verkon parissa työskenteleville suunnittelijoille, asentajille ja huollolle sekä dokumentoinnista huolehtiville yhtenäiset toimintaohjeet.

Asiasanat

Laaja maadoitusjärjestelmä, maadoitus, maadoitusresistanssi

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska	Date April 2013	Author Heli Tolonen
Degree programme Electrical engineer		
Name of thesis THE DEFINITION OF GLOBAL EARTHING SYSTEM AND THE DOCUMENTATION IN THE KENET OY' S ELECTRICAL NETWORK		
Työn ohjaaja Mr Jari Halme, Principal lecturer		Pages 65 + 3
Supervisor Mr Veli-Pekka Kinnunen, Operating manager		

This engineering project work was done for the needs of KENET Oy. The subject of this thesis was the definition of global earthing system and the documentation in the KENET Oy's electrical network. The aim of this thesis was to clarify the requirements of the global earthing system and find out the reasons why it is worth while to aim at a wide global earthing system.

Because KENET Oy has had no analysis done to clarify which parts of the network belong to the wide global earthing system, this analysis was done now during this engineering project work. Also the right solution for the measurement of global earthing system was researched.

During this engineer project work the meaning of earthing was defined for people, animals and electrical supplies. The adequacy of earthing was verified by calculations, and also the maintenance of earthing was taken in to consideration.

The wide manual was created referring the basis of this thesis. This manual is done for the needs of KENET Oy's electrical network planners, electrical installers, maintenance staff and for the persons who take care of documentations.

Key words

Global earthing system, earthing, earth resistance

ESIPUHE

Työskennellessäni kesällä 2012 Kokkolan Energialla verkon rakennus ja kunnossapito tehtävissä, tiedustelin mahdollisuutta tehdä opinnäytetyö Kokkolan Energialle tai KENET Oy:lle. Sain tämän opinnäytetyön aiheen KENET Oy:n käytönjohtaja Veli-Pekka Kinnuselta. Aihe herätti kiinnostukseni ja aloitinkin aiheeseen perehtymisen heti aiheen saatuani. Varsinaisen opinnäytetyöprojektin aloitin vuoden 2013 alusta. Haluankin kiittää Veli-Pekka Kinnusta mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Kiitokset kuuluvat myös KENET Oy:n ja Kokkolan Energian henkilökunnalle jotka ovat edesauttaneet valmistumistani ja tarjonneet miellyttävän työyhteisön, ensin kesätöiden ja nyt tämän opinnäytetyö projektin parissa.

Aiheena laaja maadoitusjärjestelmä oli mielenkiintoinen ja haastava. Laajan maadoitusjärjestelmään vaikuttavia asioita on paljon, jotka täytyi huomioida tutkiessa sen toteutumista KENET Oy: n verkossa. Opinnäytetyön tekemistä kannusti se, että tämä työ tuli tarpeeseen ja käytäntöön.

Kokkolassa 28.maaliskuuta 2013

Heli Tolonen

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

A	poikkipinta-ala
f	taajuus
c	jännitekerroin
C	verkon vaiheen kapasitanssi
C_0	yhdenvaiheen maakapasitanssi
I	johtimen virran tehollisarvo (A)
I''_{kv}	verkon alkuoikosulkuvirta
I_e	maasulkuvirta
I_k	oikosulkuvirran arvo
I'_k	muutosoikosulkuvirta
I''_k	alkuoikosulkuvirta
I_{max}	suurin sallittu oikosulkuvirta
I_n	muuntajan nimellisvirta.
K	virrallisen osan materiaalista riippuva osa.
l	kaapelin pituus
L	sammutuskelan induktanssi
P_{kn}	muuntajan nimelliskuormitus häviöt
r	kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohti
R	resistanssi
R_k	muuntajan oikosulkuresistanssi
r_k	muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi
R_m	muuntajan resistanssi
R_s	syöttävän verkon resistanssi
S''_{kv}	verkon näennäinen alkuoikosulkuteho
S_k	komponenttien tuottama kokonaisuikosulkuteho

S_{kp}	komponenttien tuottama ominaisoikosulkuteho
S_n	muuntajan näennäisteho
S_0	oikosulkuvirranarvo
S_{rG}	nimellisoikosulkuteho
t	vikavirran kesto aika
T_d'	aikavakio
U	verkon pääjännite
U_a	askeljännite
U_e	maadoitusjännite
U_n	komponenttien nimellisjännite
U_{TP}	kosketusjännite
U_v	verkon vaihejännite
V	maanpinnan potentiaali
x	kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohti
X	reaktanssi
X''	suhteellinen alkureaktanssi
X_d	tahtikoneen pitkittäinen tahtireaktanssi
X_d'	tahtikoneen muutosreaktanssi
X_k	muuntajan oikosulkureaktanssi
X_m	muuntajan reaktanssi
X_s	verkon reaktanssi
Z_k	komponenttien suhteellinen oikosulkuimpedanssi
Z_d	generaattorin suhteellinen tahtireaktanssi
Z_k	komponenttien oikosulkuimpedanssi
Z_T	Thevenin impedanssi
β	virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C. (Taulukon mukaiset lämpötilakertoimet.)

θ_i	alkulämpötila ($^{\circ}\text{C}$) (alkulämpötilana Suomessa käytetään yleensä 20°C)
θ_f	loppulämpötila ($^{\circ}\text{C}$)
τ	jäähtymisaikavakio
ω_L	kompensointikuristimen reaktanssi
ω	kulmataajuus

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ESIPUHE
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET	3
3.. MAHDOLLISET VIKATILANTEET SÄHKÖVERKOSSA	5
3.1 Maasulku	
3.2 Maasuluntyypit	5
3.2.1 Yksivaiheinen maasulku tai johdinputoama	6
3.2.2 Kaksivaiheinen maasulku	10
3.2.3 Kaksoismaasulku	10
3.2.4 Johdinkatkeama ja yksivaiheinen maasulku kuorman puolella	11
3.3 Oikosulut	
2.3.1 Vikavirralla suojaaminen maadoitusten avulla	14
2.3.2 Oikosulun vaiheet ja luonne	15
2.3.3 Oikosulun laskeminen Thevenin menetelmällä	16
2.3.4 Oikosulkulaskenta ominaisoikosulkutehoilla	20
3.4 Ylijännitteet	21
3.4.1 Käyttötaajuiset ylijännitteet	21
3.4.2 Kytchentäylijännitteet	21
3.4.3 Ilmastolliset ylijännitteet	21
3.5 Alijännitteet	22
3.6 Johdinkatkeamat	22
4. MAADOITUSTEN MITOITTAMINEN	23
4.1 Riittävän mekaanisen lujuuden ja korroosiokestävyyden mitoittaminen	23
4.2 Termisen lujuuden mitoittaminen	25
4.3 Suurin sallittu kosketusjännite	25
5. MAADOITUSTEN MITTAAMINEN	31
5.1 Maadoitusresistanssin mittaaminen	31
5.3 Mittauspaikan valinta	33
5.4 Käytettävät mittausmenetelmät	35
5.4.1 Käänepistemenetelmä	37
5.4.2 Sovellettu käänepistemenetelmä	38
5.4.2 Maadoitusresistanssin määrittely ongelmatilanteissa	40
5.4.2 Esimerkkikohteen mittaukset	40
5.4.3 Voltti-ampeerimenetelmä	42
5.4.4 Maasulkumittausmenetelmä	44
5.4 Mittaustavan valinta	44

6. LAAJA MAADOITUSJÄRJESTELMÄ KENET Oy:n VERKOSSA	46
6.1 Uuden muuntajan lisääminen laajaan maadoitusjärjestelmään	48
6.2 Maadoituksille tehtävät tarkistukset	49
6.3 Ilmoitusten määrittely M-Files tietokantaan	51
6.4 Käytettävät mittalaitteet	56
6.4.1 Maadoitusvastuksen mittalaitteet	56
6.4.2 Maadoitusten testauslaitteet	58
6.5 Maadoitusten dokumentointi	61
7. YHTEENVETO	63
LÄHTEET	64
LIITTEET	65

KUVIOT

KUVIO 1.	Yksivaiheinen maasulku tai johdinputoama
KUVIO 2.	Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku (Lakervi & Partanen,2008, 183)
KUVIO 3.	Sammutetun verkon yksivaiheinen maasulku (Lakervi & Partanen,2008, 185)
KUVIO 5.	Kaksivaiheinen maasulku maakosketuksella
KUVIO 6.	Kaksoismaasulku
KUVIO 7.	Johdinkatkeama ja yksivaiheinen maasulku kuormanpuolella
KUVIO 8.	Yksivaiheinen oikosulku rinnankytketyillä johdoilla, kun kummallakin johdolla on oma sulake. (Verkostosuositus SA 2:08,26)
KUVIO 9.	Yksivaiheinen oikosulku rinnan kytketyillä johdoilla, kun johdoilla on yhteinen sulake alkupäässä. (Verkostosuositus SA 2:08,26)
KUVIO 10.	Yksivaiheinen oikosulku rinnan kytketyillä johdoilla, kun johdoilla on sulakkeet johdon kummassakin päässä. (Verkostosuositus SA 2:08,26)
KUVIO 11.	Oikosulun vaimeneminen. Vasemmalla epäsymmetrinen oikosulkuvirta ja oikealla symmetrinen oikosulkuvirta.
KUVIO 12.	Syöttävä verkko

- KUVIO 13. Muodostettu sijaiskytkentä
- KUVIO 14. Maanpinnan potentiaali V maasulkuutilanteissa ja tällöin vaikuttava maadoitusjännite U_e , kosketusjännite U_{TP} sekä askeljännite U_a .
- KUVIO15. Kosketusjännitteen suurimmat sallitut arvot, kun maasulku tapahtuu.(SFS Käsikirja 60, s86)
- KUVIO 16. Maadoituselektrodien potentiaalın tasaantumisrenkaita (verkkostosuositus TL1:05,5)
- KUVIO 17. Muuntopiirin mittaus vaihtoehtoja (verkkostosuositus TL1:05,11)
- KUVIO 18. Erotinaseman R_s mittausvaihtoehtoja (verkkostosuositus TL1:05)
- KUVIO 19. Esimerkki jännitteen jakautumasta maadoituselektrodin läheisyydessä (Maadoituskirja, 2007,146)
- KUVIO 20. Käännepestemenetelmä
- KUVIO 21. Sovellettu käännepestemenetelmä
- KUVIO 22. Sarjamittausmenetelmä
- KUVIO 23. Suoritettu mittaus käännepestemenetelmällä
- KUVIO 24. Lyhytkytkentä
- KUVIO 25. Pitkäkytkentä
- KUVIO 26. Säteittäin rakennetun verkon alueen keski- ja pienjänniteverkko
- KUVIO 27. Sekajärjestelmällä toteutettu alueen verkosto
- KUVIO 28. Uuden muuntamon luonti M-Filse -tietokantaan
- KUVIO 29. Muuntamon ominaisuuksien luonti M-Filses -tietokantaan
- KUVIO 30. Ennakkohuoltokortin luonti M-Filses -tietokantaan
- KUVIO 31. Ilmoitusten määrittely M-Filses -tietokantaan
- KUVIO 32. Muuntamoiden maadoitustarkastukset ajanjaksoittain
- KUVIO 33. Jaottelu ajanjaksoittain
- KUVIO 34. Megger DET3TC mittalaite

KUVIO 35.	Megger DET/4D mittalaite
KUVIO 36.	Fluke 1630 maadoitusvastuspihtimittari
KUVIO 37.	Laajan maadoitusjärjestelmän kuntomittaus, Yhteys kunnossa.
KUVIO 38	Laajan maadoituksen kuntomittaus, yksi yhteys poikki
KUVIO 39.	Mittausvirran kiertosuunta
KUVIO 40.	Key Energyn käyttömahdollisuudet KENET Oy:n verkossa.

TAULUKOT

TAULUKKO 1	Oikosulun vaiheiden määritelmät
TAULUKKO 2.	Jännitekertoimien arvoja
TAULUKKO 3.	Maadoituselektrodien materiaalit ja vähimmäismitat mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden takia. (SFS-käsikirja 601, 2009,89)
TAULUKKO 4.	Materiaalista riippuvien vakioiden arvot (SFS-käsikirja 601, 2009,90)
TAULUKKO 5.	Sallittujen kosketusjännitteiden enimmäisarvot kuvion perusteella
TAULUKKO 6.	Maasulkujännitteen enimmäisarvot (SFS-käsikirja 601,2009, 125).
TAULUKKO 7.	Maaperän resistiivisyydet (SFS käsikirja 601t, 2009, opastavaliite K, 109)

:

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty KENET Oy:tä saadun aiheen pohjalta. Aiheena työssä oli laajan maadoitusjärjestelmän todentaminen ja dokumentointi KENET Oy:n verkossa.

KENET Oy on paikallinen sähkönsiirtoyhtiö, joka huolehtii sähkönsiirrosta Kanta-Kokkolan alueella. KENET Oy on aloittanut toimintansa 1.1.2007, ja on Kokkolan Energian täysin omistama yhtiö.

KENET Oy:llä tiedettiin, että osa verkkoa kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään. Tästä ei kuitenkaan oltu tehty minkäänlaista tarkempaa selvitystä, ei tiedetty miltä osin verkko kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään

Tämä opinnäytetyöprojekti aloitettiin selvittämällä miten muuntamot voidaan liittää laajaan maadoitusjärjestelmään. Samalla selvitettiin, mitä hyötyä on pyrkiä laajaan maadoitusjärjestelmään. Koska maadoituksessa yleensäkin on kysymys ihmisten eläinten ja laitteiden turvallisuudesta huolehtimisesta verkon vikatilanteiden aikana, käsitellään tässä opinnäytetyössä erilaisia vikatilanteita verkossa ja niiden aiheuttamia vaaratilanteita.

SFS 6001 käsikirjassa on annettu maadoitusten mitoitukselle vaatimuksia mm. mekaanisesta lujuudesta, vikavirran kestoisuudesta termisesti sekä omaisuuden ja henkilöiden turvaamisesta. Maadoitusten mitoittaminen voidaan tehdä laskennallisesti niin, että nämä vaatimukset täyttyvät.

Maadoitusten kunnosta täytyy huolehtia myös käyttöön oton jälkeenkin säännöllisesti. Laajan maadoitusjärjestelmän alueella sijaitsevien muuntamoiden maadoitus tarkastukset voidaan tehdä 12 vuoden välein, kun taas muuntamoille, jotka eivät kuulu laajaan maadoitusjärjestelmään, tarkastus pitää tehdä kuuden vuoden välein. Projektin yhteydessä kehiteltiin yhtenäiset ohjeet tarkastuksien suorittamiseen sekä luotiin dokumenttihakemiston avulla tehtävänanto, joka ilmoittaa kolme kuukautta ennen tarkastusajan umpeutumista, että kausitarkastus täytyy suorittaa ennen kyseistä päivää.

Maadoitusten mittaaminen muuntamoille suoritetaan uusille ja saneeratuille muuntamoille käyttöön oton yhteydessä, sekä tarvittaessa kuntotarkastuksen yhteydessä. Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluville muuntamoille ei tarvitse tehdä mittauksia kuntotarkastuksen yhteydessä, vaan riittää kun ne testataan pihtimittari tyyppisellä testauslaitteella. Opinnäytetyössä on tarkemmin käyty läpi erilaisia mittausten menetelmiä ja niiden dokumentointia.

KENET Oy:lle tehtiin projektin myötä selvitys miltä osin verkko kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään, ja kehiteltiin todentamisjärjestelmä, jolla voidaan todentaa muuntamon kuulumisen laajaan maadoitusjärjestelmään. Työssä esitellään esimerkkialueita niistä muuntopiireistä, jotka eivät kuulu laajaan maadoitusjärjestelmään kuten harvaan asutut alueet ja saaristo alueet, joilla ei täyty laajan maadoitusalueen vaatimukset. Taajaman ja teollisuusalueen maadoitusverkko muodostaa tiheän ja verkkomaisen rakenteen. Näillä alueilla laaja maadoitusjärjestelmä toteutuu hyvin, sillä muuntamot eivät ole yhden maadoituksen varassa, vaan jokainen muuntaja on kytketty useammalla yhteydellä laajaan maadoitusjärjestelmään.

Tämän opinnäytetyön kautta saatiin selkeyttä niihin vaatimuksiin, miten laaja maadoitusjärjestelmän todentaminen ja dokumentointi hoidetaan KENET Oy:n verkossa. Tässä opinnäytetyössä käsiteltyjen asioiden pohjalta laadittiin yrityksen omaan käyttöön ohjeistus suunnitteluun, verkon rakentamiseen ja kunnossapitoon sekä maadoitusten dokumentointiin. Näin saatiin yhtenäinen käytäntö KENET Oy:n verkon parissa työskenteleville.

2 LAAJAN MAADOITUSJÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET

Sähköverkon rakentamiseen ja käyttöön Suomessa vaikuttavia asioita ovat sähkömarkkinalaki, sähköturvallisuuslaki sekä erilaiset säädökset.

Standardi SFS 6001 (suurjännitesähköasennukset ja ilma johdot) määrittelee laajan maadoitusjärjestelmän: Maadoitusjärjestelmä on tehty liittämällä useat paikalliset lähellä toisiaan olevat maadoitusjärjestelmät verkkomaisesti yhteen siten, että järjestelmä muodostaa lähes tasapotentialipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys varmistavat sen, ettei kyseisellä alueella esiinny vaarallisia kosketusjännitteitä. (SFS-KÄSIKIRJA 601, 2009)

Laaja maadoitusjärjestelmä toteutuu parhaiten taajamissa ja teollisuusalueilla, joissa saadaan ruutumainen maadoitusverkko. Jo kolmen eri muuntopiirin maadoituksista voidaan saada aikaan laaja maadoitusjärjestelmä, kunhan niiden maadoitusverkko muodostaa riittävän tiheän maadoituksen ja on muodoltaan verkkomainen. Kukin muuntamo tulee liittää useammalla yhteydellä (2...3) laajaan maadoitusjärjestelmään. Laajamaadoitusjärjestelmän varmistamiseksi jokaiselle muuntamolle rakennetaan useampi kuin yksi maadoitusjohdin. Laajamaadoitusjärjestelmä rakennetaan siten, ettei yhden maadoitusjohtimen vaurioituminen aiheuta verkossa vaaratilanteita. (Verkostosuositus TJ 1:05, 9)

Laajan maadoitusjärjestelmän maadoituksina toimivat sähköasemien, muuntajien, pienjänniteverkon ja liittymien maadoitukset. Taajamissa on myös 110/20 kV (tai 10 kV) sähköasemien maadoitukset on liitetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Laaja maadoitusjärjestelmä voi myös muodostua muuntopiirien verkoista, joiden kokonaisuomaadoitusimpedanssi täyttää ehdon:

$$U_E \leq 2 \times U_{TP} \tag{1}$$

missä

U_E = maadoitusjännite

U_{TP} = sallittu kosketusjännite

Tapausten harkinta jää verkon haltijalle. On huomattavaa, että jokaiselle muuntamolle on tehtävä maadoitukset ja asennukset standardien mukaan. Laaja maadoitusjärjestelmä ei tee tästä poikkeusta. (Verkostosuositus RJ 19:06, 28)

Laajassa maadoitusjärjestelmässä alueen kaikki maadoituselektrodit on kytketty toisiinsa jännitetasosta riippumatta. Pienjänniteverkon maadoitukset rakennetaan standardin SFS 6000 antamien ohjeiden mukaan, mutta laajassa maadoitusjärjestelmässä ne yhdistetään keskijänniteverkon maadoituksiin. SFS 6001 edellyttääkin, että suurjänniteverkon ja pienjänniteverkon maadoitukset yhdistetään aina,

kun se on mahdollista. Muuntamoille rakennetaan yhteinen maadoituselektrodi keskijännitteelle alttiiden osien suojamaadoituksille sekä pienjänniteverkon maadoituksille. Tällöin saadaan aikaan kaikkien muuntopiirin maadoitusten yhteisvaikutuksesta syntyvä resurtoiva impedanssi, joka toimii määräävänä maadoitusimpedanssina. Laaja maadoitusjärjestelmä varmistaa verkolle pienen maaimpedanssin sekä pienet arvot askeljännitteille ja kosketusjännitteille. Kun maadoitusjärjestelmässä toteutuvat sallitut kosketusjännitevaatimukset, voidaan olettaa, että se täyttää myös sallitut askeljännitevaatimukset, koska askeljännitteiden sallitut arvot ovat vähän suurempia kuin kosketusjännitteiden sallitut arvot.

Laajan maadoitusjärjestelmän alueen sisällä olevat televerkon maadoitukset liitetään myös laajaan maadoitusjärjestelmään. Sähkö- ja televerkkojen yhteismaadoituksista annetun toimintaohjeen mukaan: Yhteismaadoituksella tarkoitetaan maadoitustapaa, jossa tele- ja sähköjakeluverkolla käytetään yhteistä maadoitinta (elektrodia) tai kun verkkojen lähellä olevat maadoittimet yhdistetään pysyvästi toisiinsa. Tällaisia maadoituksia voidaan suunnitella ja rakentaa tele- ja suuryhteis antenniverkon ja pienjännitteisten sähköjakeluverkon tai ulkovalaistusverkon välillä. Yhteismaadoituksella pyritään pienentämään ukkosylijännitteistä syntyviä potentiaalieroja ja välttämään turhien maadoitusten rakentamista. Yhteismaadoitus voidaan toteuttaa, jos maadoitin täyttää sekä sähkö- että televerkon asettamat vaatimukset myös yhdistämisen jälkeen. Pelkästään suurjännitteisen sähköjakeluverkon erillismaadoituksia ei saa tähän tarkoitukseen käyttää. Sen sijaan suur- ja pienjännitteisten sähköjakeluverkon yhteismaadoituksia voidaan käyttää myös televerkon ja sähköverkon yhteismaadoitukseen. (Verkostosuositus YJ 1:08)

Sähkö- ja televerkkojen yhteismaadoituksessa, maadoitusresistanssia laskettaessa, otetaan huomioon kaikki rinnankytketyt maadoitukset ja niiden kanssa sarjaan kytketyt telekaapelin vaipat tai muun yhdysjohtimen resistanssit.

3 MAHDOLLISET VIKATILANTEET SÄHKÖVERKOSSA

Maadoituksen tavoitteena on suojata lähellä olevat ihmiset, eläimet, sekä muu elävä ympäristö vaaratilanteen sattuessa, sekä ehkäistä laiterikkoja ja vähentää vikatilanteiden aiheuttamia jakelukatkoksia.

Sähköverkossa kuitenkin esiintyy vikatilanteita, kuten maasulut, oikosulut, ylikuormitukset, ylijännitteet, alijännitteet sekä johdinkatkeamat.

3.1 Maasulku

Noin 60...70 % keskijänniteverkoissa tapahtuvista vioista on maasulkuja.. Maasulku ei yleensä aiheuta verkolle välitöntä vaaraa eikä häiritse verkon käyttöä.

Maasulku aiheuttaa kuitenkin terveeseen verkkoon ylijännitteitä, rappeuttavat johtoja tai saavat ylijännitereleet käynnistymään.

Maasulun myötä syntyy tapaturmariski vikapaikassa ja lähiympäristössä. Maa-oikosulussa maa-oikosulkuvirta kulkee maadoitusresistanssin kautta, jolloin syntyy maadoitusjännite, tässä tilanteessa syntyy vaarallinen kosketus tai askeljännite. Maasulkujännite voi myös kytkeytyä mm. kaapelivaippaan.

Suurin osa maasuluista aiheutuu erilaisten luonnonilmiöiden ansiosta (tuuli, myrsky, lumi ja jääkuormat, ukkonen). Lisäksi niitä synnyttävät eläimet, rakenne- ja käyttöviat sekä muut ulkopuoliset tekijät.

Laaja maadoitusjärjestelmä antaa yhtiölle maasulun aikanakin taloudellista hyötyä. Jos laaja maadoitusjärjestelmä täyttää standardien edellytykset, voidaan jatkaa verkon käyttöä, mutta enintään kahden tunnin ajan. Tämän edellytyksenä on kuitenkin, että maasulusta on tultava verkon käyttöä valvovalle henkilölle hälytys ja vian selvittäminen on aloitettava heti. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa vain, kun on ilmeistä, ettei maasulku aiheuta välitöntä vaaraa ihmisille, omaisuudelle, taikka aiheuta suurta vaaraa toisille laitteille.(SFS-käsikirja 601, 2009,80)

Maasulussa kyseessä on sähköinen vika, eristyksen pettäminen aiheuttaa jännitteisen osan ja maan välisen läpilyönnin. Maasulku syntyy jännitteisten johtimien joutuessa kosketuksiin maapotentialin kanssa, joko suoraan tai valokaaren kautta.

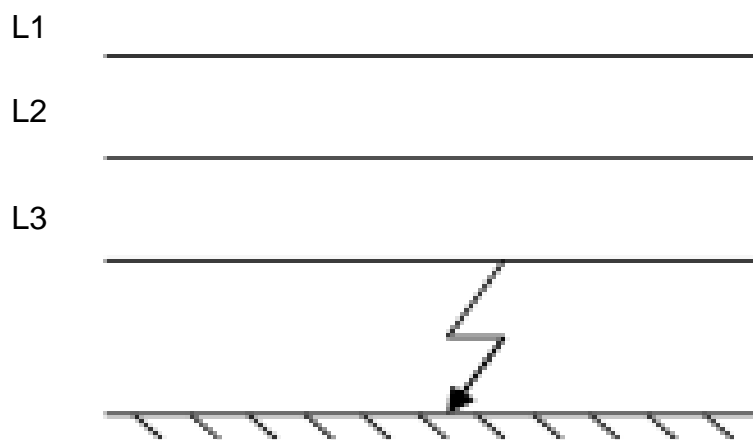
Maasulun syntyessä putoaa viallisen vaiheen jännite nopeasti, samalla kahden terveen vaiheen jännite kasvaa. Sähköasemalla jännitepiikki voi nousta moninkertaiseksi maasulun alkuvaiheessa. Viallisessa vaiheessa jännite vakiintuu likimain

arvoon 0, kun taas terveiden vaiheiden jännitteet vakiintuvat normaaleja jännitteitä suurimmiksi.

3.2 Maasulun tyypit

3.2.1 Yksivaiheinen maasulku tai johdinpuotoama.

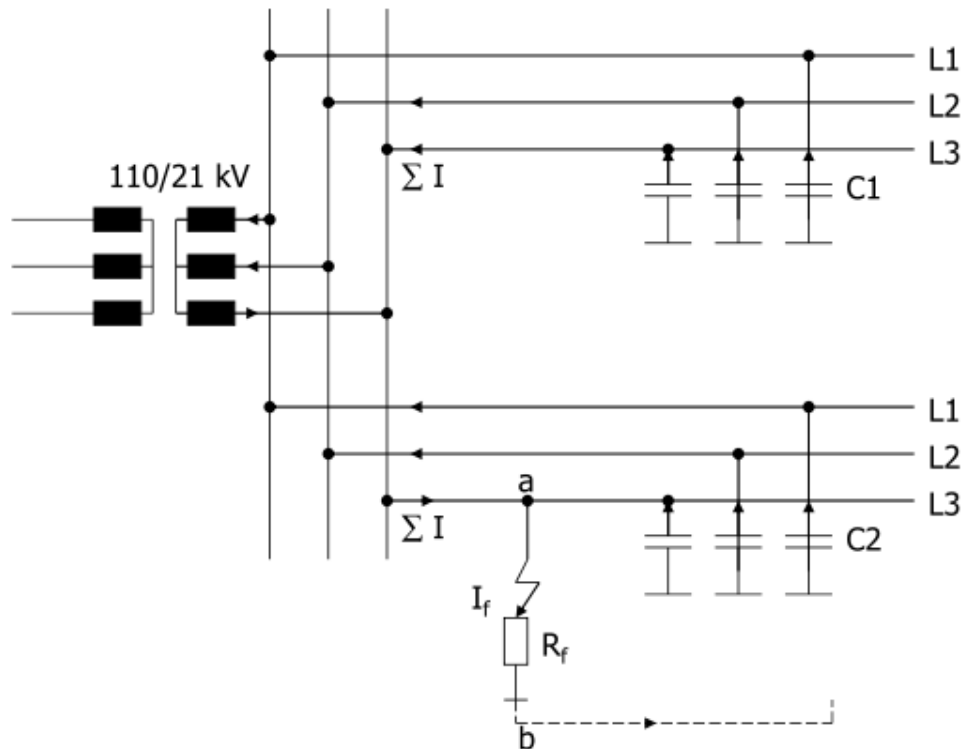
Maasuluista yleisin ja helpoiten havaittava on yksivaiheinen maasulku, joka syntyy yhden vaiheen jännitteen ja maapotentiaalin välisestä sähköpurkauksesta.



KUVIO 1. Yksivaiheinen maasulku tai johdinpuotoama

Keskijänniteverkon maadoittamisessa käytetään joko maasta erotettua tai sammutettua verkkoa.

Maasta erotetun 3-vaiheisen järjestelmässä maasulkuvirta pääsee kulkemaan vikapaikasta maahan vikaresistanssin kautta.



KUVIO 2. Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku (Lakervi & Partanen, 2008, 183)

Kun verkko on normaalitilassa, vaiheiden jännitteet ovat symmetrisiä maahan nähden, ja niiden summa on nolla. Myös maakapasitanssin kautta kulkevat virrat ovat symmetrisiä, ja niiden summa on nolla. Mikäli maasulku tapahtuu ilman vikaresistanssia, on viallisen vaiheen jännite nolla, ja muiden vaiheiden jännite maahan nähden nousee pääjännitteen arvoon. Maasulkuvirta I_e voidaan laskea suorassa vikaresistanssittomassa tapauksessa kaavalla: (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07,31)

$$I_e = \sqrt{3} \omega C_0 U \quad (2)$$

missä

I_e = maasulkuvirta

$\omega = 2 \pi f$ = kulmataajuus

C_0 = yhden vaiheen maakapasitanssi

U = verkon pääjännite

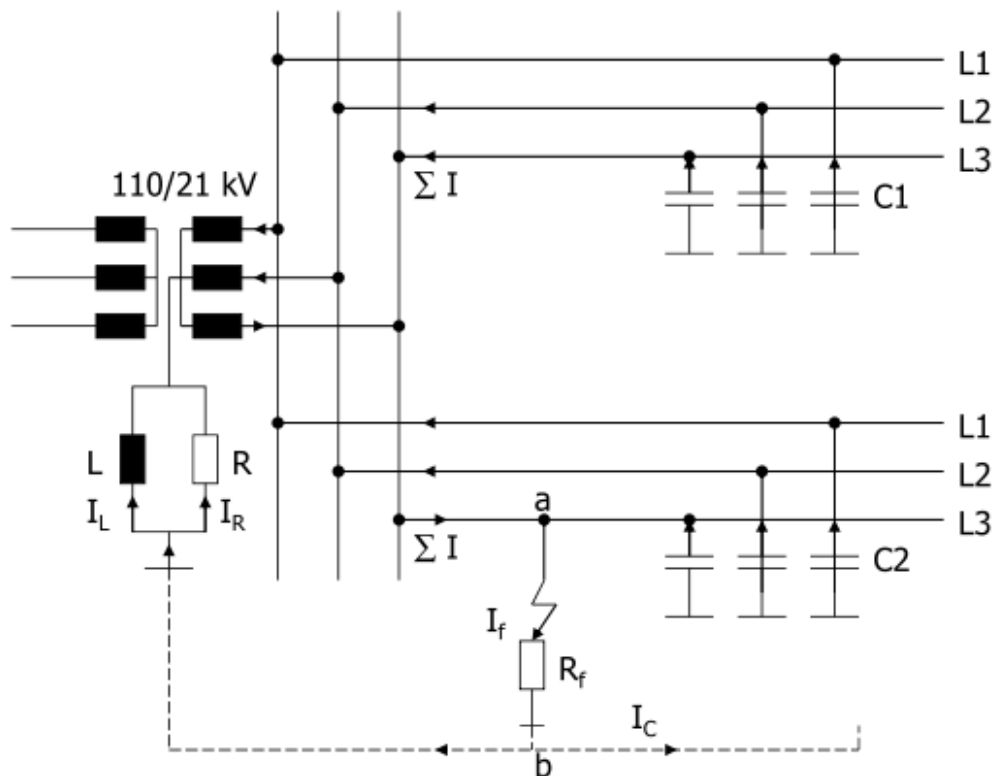
Kun maasulku tapahtuu siten, että vaihe on kosketuksissa toisiinsa vikaresistanssin R_f kautta, pienenee maasulkuvirta sitä mukaan kuin vikapaikan resistanssi kasvaa. Tällöin vikapaikan maasulkuvirta saadaan laskemalla kaavalla:

$$I_e = \frac{3\omega C_0 U}{\sqrt{1 + \omega C_0 R_f^2}} * U \quad (3)$$

Maasulku aiheuttaa jännite-eron verkon nolapisteen ja maan välille. Tätä eroa kutsutaan nolajännitteeksi U_0 , joka saadaan laskemalla kaavalla: (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07,35)

$$U_0 = \frac{1}{3\omega C_0} * I_e \quad (4)$$

Sammutetussa verkossa on tähtipisteeseen kytketty induktanssi, jonka reaktanssi vastaa maakapasitanssien reaktanssia.



KUVIO 3. Sammutetun verkon yksivaiheinen maasulku (Lakervi & Partanen, 2008, 185)

Kun otetaan huomioon verkon ja kompensointikuristimen häviötä vastaavat resistanssit, vikapaikassa vaikuttava virta voidaan laskea kaavalla: (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07,38)

$$I_e = \frac{\sqrt{(1+R^2(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2)}}{\sqrt{(R_f+R)^2 + R_f^2 + R^2(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})}} * \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

missä

ωL = kompensointikuristimen reaktanssi

R = kompensointikuristimen ja verkon häviötä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteen redusoitu kokonaisresistanssi.

R_f = vikaresistanssi.

Kuristimen kautta kulkeva virta I_L ja kapasitiivinen virta I_C ovat vastakkaisuuntaisia, ja ne summautuvat vikapaikassa yhteen, mikä merkitsee, että vikavirta jää hyvin pieneksi. Kun kyseessä on täysin kompensoitu verkko, seuraava yhtälö toteutuu, eli sammutuskuristimen reaktanssi on samansuuruinen kuin maakapasitanssien reaktanssi, niin maasulkuvirta $I_e \approx 0$.

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C_0} \quad (6)$$

Nollajännite U_0 voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2}} * I_e \quad (7)$$

Sammutetun verkon maasulussa nollajännite voidaan laskea likimäärin hieman lyhemmällä kaavalla.

$$U_0 = 3\omega^2 L C U_v \quad (8)$$

missä

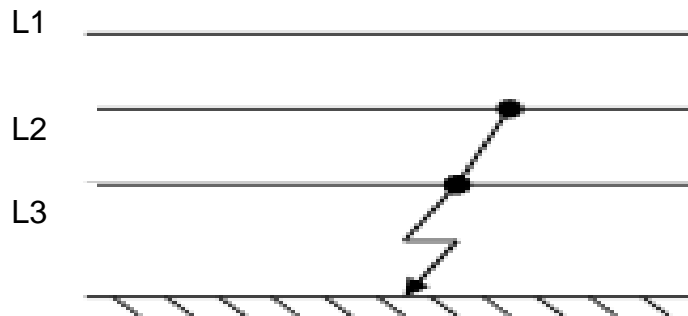
U_v = verkon vaihejännite

C = verkon vaiheen kapasitanssi

L = sammutuskelan induktanssi

3.2.2 Kaksivaiheinen maasulku

Kaksivaiheinen maasulku syntyy kun kahden vaiheen jännitteen ja maanpotentiaalin välillä syntyy läpilyönti samassa kohti verkkoa.

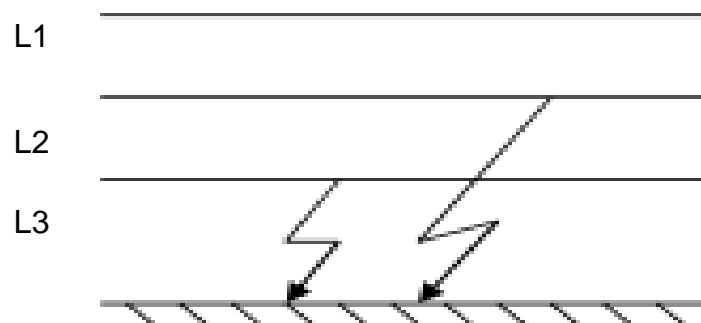


KUVIO 5. Kaksivaiheinen maasulku maakosketuksella

Yksivaiheisen ja kaksivaiheisen maasulun osalta suojaus saadaan toteutettua yleensä suojaireiden avulla. Näiden lisäksi on olemassa erikoistapauksia, jotka ovat haasteellisia havaita, mutta ne kannattaa ottaa huomioon maasulkusuojausta suunniteltaessa.

3.2.3 Kaksoismaasulku

Kaksoismaasulun tapauksessa, maasulut tapahtuvat eri paikoissa verkossa. Tällöin maasulunpaikan havaitseminen suojaireiden avulla vaikeutuu. Tällaisessa maasulussa vikavirtojen täytyykin kulkea maankautta. Maasulkuvirrat tässä tapauksessa voivat olla paljon pienempiä kuin maaosulosuissa. Tähän vaikuttavia asioita ovat vikaresistanssi sekä maasulkuvirran kulkureitti maassa, tämä vaikuttaa siihen, ettei relesuojaus havaitse vikaa lainkaan.



KUVIO 6. Kaksoismaasulku

Kaksoismaasulussa kaksi vaihejohtinta joutuu galvaanisesti yhteyteen maan kanssa. Kaksoismaasulku syntyy joskus yksivaiheisen maasulun aiheuttamista ylijännitteistä.

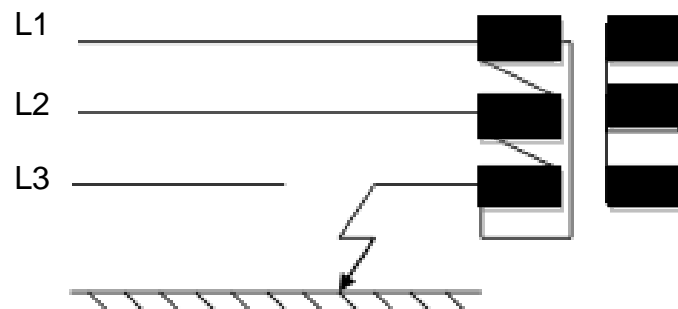
Kaksoismaasulku vastaa myös tilanne, jossa avojohdolla johdinkatkoksen sattuessa kuormituksen puoleinen johtimen pää putoaa maahan.

Kaksoismaasulku on kaksivaiheisen oikosulun kaltainen tilanne ja siksi se on aina kytkettävä itsetoimivasti ja nopeasti pois. Tätä vaatimusta on vaikea toteuttaa sataprosenttisesti.

On huomattava, että muuntajassa, jonka tähtipiste on tuotu muuntajan kannelle, voi myös tähtipisteen puoleinen kisko joutua maasulkuun. Tämä on huomioitava suojausta suunniteltaessa (3-napainen releistys).

3.2.4 Johdinkatkeama ja yksivaiheinen maasulku kuorman puolella

Johdinkatkestapaus on suojauksen kannalta hankala, jos vikavastus on suuri.



KUVIO 7 Johdinkatkeama ja yksivaiheinen maasulku kuorman puolella

Maasulkusuojausta suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon myös johdinkatkeaman aiheuttama maasulku. Johdinkatkoksen yhteydessä avojohtoverkossa syntyy lähes aina yksivaiheinen maasulku, joka syntyy kun johdin katkeama sijaitsee syöttävän verkon puolella. Kuormituksen puoleisen pään pudotessa maahan ja syöttävän verkon puoleisen pään jäädessä maasta erotetuksi, pienenevät sekä maasulkuvirta että nollajännite merkittävästi suuren impedanssin takia.

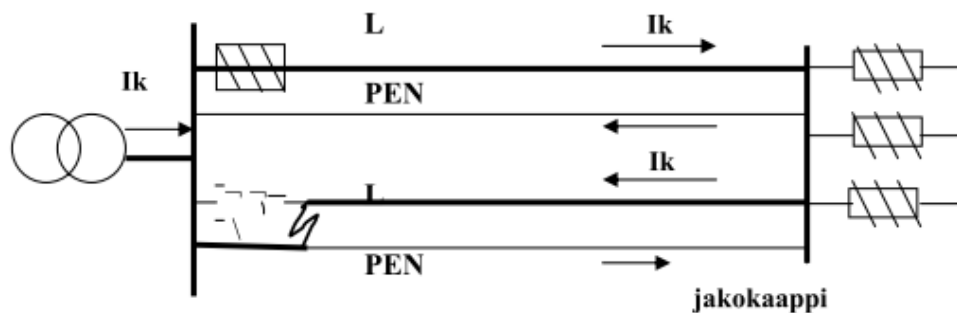
Johdin putoama kuorman puolelta onkin haasteellinen suojauksen kannalta. Virtapiiriä laskettaessa pitääkin ottaa huomioon lopun johtolähdön ja maasulkuresistanssin impedanssien sarjaan kytkentä. Johtolähdöissä huomioitava Impedanssi koostuu pääosiltaan vikapaikan jälkeisistä kuormituksista. Kuormien puuttuessa

impedanssi on jakelumuuntajien tyhjäkäynti-impedanssien rinnankytkentä. Tällaisessa tilanteessa vikavirrat ovat hyvin pieniä, koska vikavirtapiirin impedanssi on suuri.

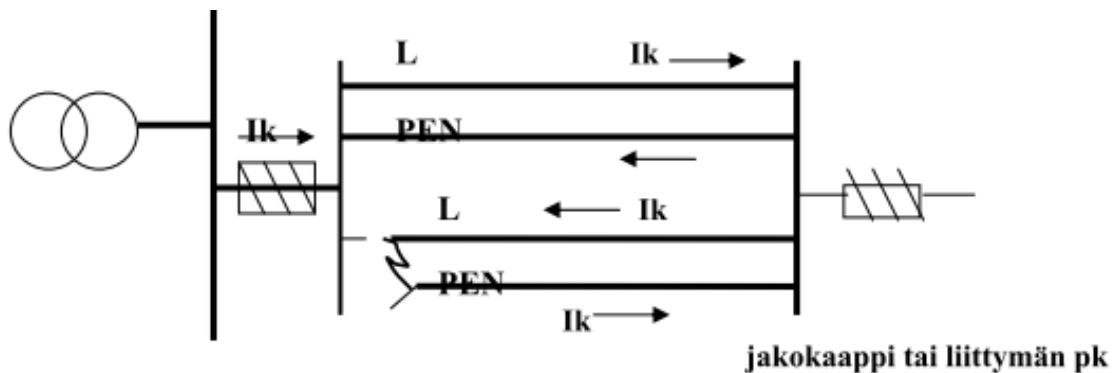
3.3 Oikosulut

Vaikka oikosulku ei olekaan ilmiönä aivan jokapäiväinen, on sen esiintymiseen varauduttava jo verkkoa suunnitellessa ja laitteiston mitoituksessa. Sähköturvallisuusmääräykset vaativat laitteiston mitoittamista siten, että sen komponentit kestävät oikosulkuvirtojen termiset ja dynaamiset vaikutukset. Koska oikosulkuvirta on yleensä vähintään suuruusluokkaa suurempi kuin laitteen normaali käyttövirta, aiheuttaa oikosulkuvirta nopeasti vaurioita. Tämän takia sähköturvallisuusmääräykset edellyttävät sähkölaitteiston varustamista sellaisilla laitteilla, jotka kytkevät oikosulkuvirran itsetoimivasti ja nopeasti pois ennen vahinkojen syntymistä.

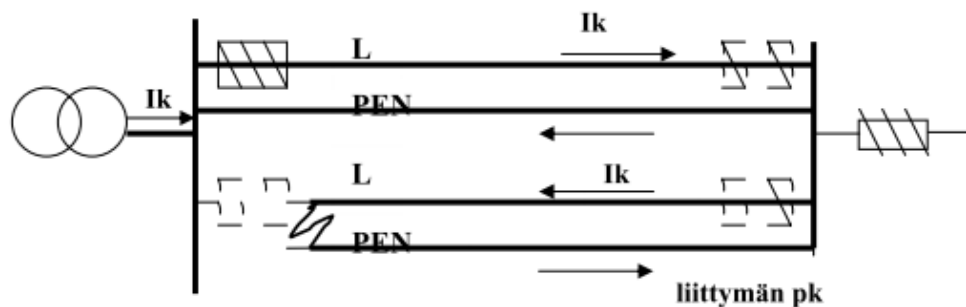
Oikosulku on jännitteellisten osien välinen johtava yhteys muun kuin sähkölähteen tai kuormituksen kautta. Oikosulku on järjestelmän kahden tai useamman virtajohdinten välinen pieni-impedanssinen eristysvika. Oikosulkutilanteet muistuttavat luonteeltaan maasulkutilanteita, mutta niissä muodostuu vaarallisia virtoja ja ne aiheuttavat ihmisille ja verkolle vahingonvaaraa. Oikosulku on yksivaiheinen, jos eristysvika sattuu yhden äärijohtimen ja PEN -johtimen välillä. Oikosulku on monivaiheinen, jos eristysvika sattuu kahden tai useamman äärijohtimen välillä.



KUVIO 8. Yksivaiheinen oikosulku rinnankytketyillä johdoilla, kun kummallakin johdolla on oma sulake. (Verkostosuositus SA 2:08,26)



KUVIO 9. Yksivaiheinen oikosulku rinnankytketyillä johdoilla, kun johdoilla on yhteinen sulake alkupäässä. (Verkostosuositus SA 2:08,26)



KUVIO 10. Yksivaiheinen oikosulku rinnankytketyillä johdoilla, kun johdoilla on sulakkeet johdon kummassakin päässä. (Verkostosuositus SA 2:08,26)

Oikosulkujen syntymiseen sähköverkossa aiheuttavia tekijöitä ovat:

- ilmastolliset ylijännitteet
- laitteiden toimintahäiriö tai virhetoiminta
- inhimillinen erehdys
- ylikuormitus

Oikosulut aiheuttavat verkossa haittoja, joista syntyy verkonomistajalle ylimääräisiä kustannuksia ja tulonmenetyksiä. Lähes jokaisen oikosulun yhteydessä syntyy käytön keskeytyksiä oikosulun paikantamisen ja korjaamisen ajan. Oikosulkutilanteen aiheuttama lämpeneminen haurastuttaa tai rikkoo johtimia ja lyhentää laitteiden käyttöikää. Oikosulun tapahtumahetkellä esiintyy erilaisia ilmiöitä (esim. ääni, paine), jotka aiheuttavat lähistöllä työskenteleville ihmisille vaaratilanteita ja laitteille rikkoutumisen vaaraa. Valokaari puolestaan aiheuttaa palovammariskin. Kirkas valo voi aiheuttaa silmävammoja. Oikosulkupaikalla esiintyy myös vaarallisia jän-

nitteitä. Oikosulkutilanteissa palavista kaapeleista ja muista rikkoontuneista laitteista muodostuu vaarallisia kaasuja, jotka voivat aiheuttaa hengityshäiriöitä tai voi aiheuttaa tukehtumisen.

Lisääntynyt sähkönkäyttö edellyttää voimalaitosten ja 110/20 kV muuntajien lisärakentamista. Samalla myös muuntajien koko kasvaa ja johtojen määrä kasvaa ja tämä lisää myös oikosulkuvirtojen määrän kasvua.

Oikosulkuvirtoja voidaan rajoittaa verkostossa seuraavin keinoin:

- a) Käytetään kuristimia.
- b) Valitaan muuntajille oikeat U_k -arvot.
- c) Käytetään virtaa rajoittavia sulakkeita.
- d) Erotetaan muuntajientähtipisteitä maasta.
- e) Valitaan korkeampi jännitetaso.
- f) Jaetaan verkko.

3.3.1 Vikavirralla suojaaminen maadoitusten avulla

Suojamaadoitusta käytetään suojaamalla virtapiiriin kuulumaton osa maadoittamalla, kuten esimerkiksi maadoittamalla muuntajan kuori.

Käyttömaadoituksessa yhdistetään virtapiiriin osa suoraan tai pienen impedanssin avulla suoraan maahan. Tätä käytetään 3-vaihejärjestelmässä kun tavoitteena on tähtipisteen jännitteen stabilointi.

Järjestelmä on käyttömaadoittamaton kun käytetään sammutettua järjestelmää. Siinä virtapiiriin osa on täysin erotettu maasta (erotettu järjestelmä) tai se on kytketty suuren impedanssin kautta maahan, käyttämällä esimerkiksi sammutuskuristinta (sammutettu järjestelmä).

Eri jännitetasoissa käytetään erilaisia maadoitusmenetelmiä. 400 kV:n verkko voidaan suojata maadoittamalla tähtipiste. 110 kV:n jännitetasossa suojaaminen toteutetaan maadoittamalla tähtipiste sieltä täältä. 20 kV:n verkossa käytetään joko sammutettua verkkoa tai maasta erotettua verkkoa. 0,4 kV:n verkossa suojaaminen toteutetaan aina käyttämällä suoraa käyttömaadoitusta joka paikassa.

3.3.2 Oikosulkutilan vaiheet ja luonne:

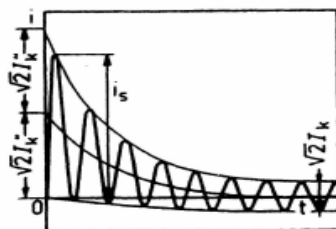
Oikosulun tapahtumahetkellä oikosulkuvirran suuruus on korkeimmillaan, mutta vaimenee kuluessa.

TAULUKKO 1 Oikosulun vaiheiden määritelmät

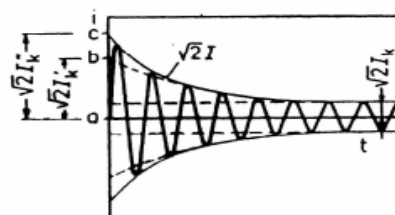
Lyhenne	Määritelmä
I_k''	alkuoikosulkuvirta, määrää sysäysoikosulkuvirran
I_k'	muutosoikosulkuvirta
X_d'	tahtikoneen muutosreaktanssi
T_d'	aikavakio (noin 3-6 s)
I_k	pysyvän tilan oikosulkuvirta
X_d	tahtikoneen pitkittäinen tahtireaktanssi
I_k	määrää johtimien ja komponenttien lämpenemisen

Oikosulkutilanteet muistuttavat pitkälti maasulkutilanteita, oikosulkuvirrat ovat suurimmillaan oikosulun alkuaikana, mutta puolittuvat jo lähes toisen aikajakson aikana kunnes tasaantuvat vakio arvoonsa.

$$\alpha - \Psi = -900$$



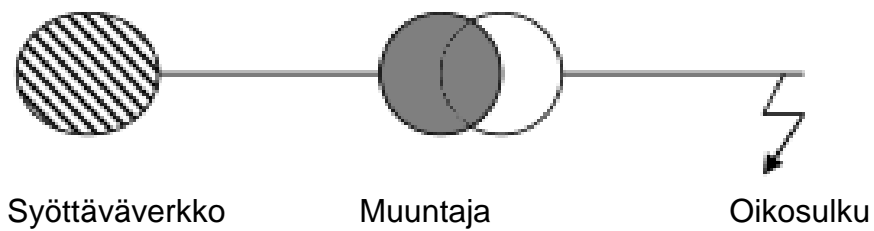
$$\alpha - \Psi = 00$$



KUVIO11. Oikosulun vaimeneminen..Vasemmalla epäsymmetrinen oikosulkuvirta ja oikealla symmetrinen oikosulkuvirta.

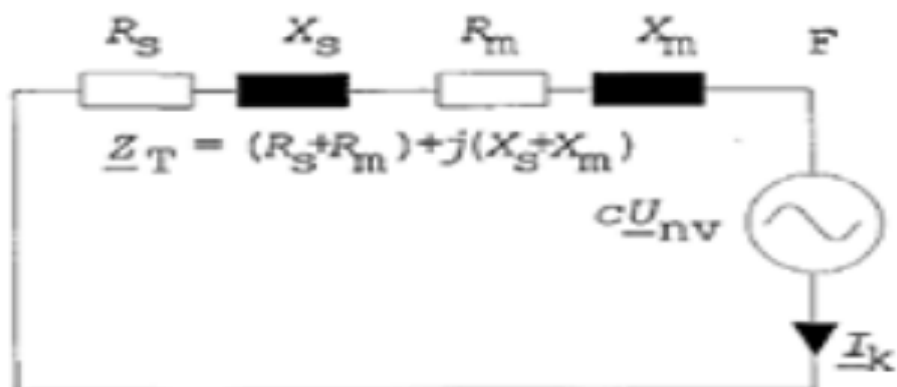
3.3.3 Oikosulkuvirtojen laskeminen Thevenin menetelmällä

Tässä menetelmässä kolmivaihejärjestelmä muutetaan yksivaiheiseksi sijaiskytkennäksi. Sijaiskytkennässä kaikki komponentit ja lähteet muutetaan oikosulkuimpedansseiksi ja vikapaikkaan sijoitetaan ns. ekvivalenttinen jännitelähde cU_n . Thevenin mukaista sijaiskytkennän muuttamista yksivaiheiseksi sijaiskytkennäksi voidaan havainnollistamaan seuraavien kuvioden avulla.



KUVIO12. Syöttävä verkko

Kun, muutamme muuntajan takana tapahtuvan oikosulun yksivaiheiseksi, sijaiskytkennäksi saadaan aikaan seuraava sijaiskytkentä.



KUVIO13. Muodostettu sijaiskytkentä

Kuviossa 13:

R_s = syöttävän verkon resistanssia

X_s = verkon reaktanssia

R_m = muuntajan resistanssi

X_m = muuntajan reaktanssi

Z_T = Thevenin impedanssi (lasketaan oikosulkupiirin resistanssista ja reaktanssista)

Pisteen F oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$\frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{C \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_T} \quad (9)$$

missä

c = jännitekerroin (saadaan alla olevasta taulukosta)

U_n = verkon nimellisjännite

Z_T = Thevenin oikosulku impedanssi, redusoituna vikapisteen jännitetasoon.

TAULUKKO 2. Jännitekerroimien arvoja

Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulkuvirta C_{max}	Minimioikosulkuvirta C_{min}
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Käytettäessä Thevenin menetelmää oikosulkuvirtojen laskemiseen niin, oikosulku-komponentteja pitää pystyä kuvaamaan riittävän tarkkoilla matemaattisilla malleilla. oikosulkuvirtaa syöttäviä komponentteja sähköverkossa on verkko, tahtikoneet sekä epätahtimoottorit. Oikosulkuvirran suuruuteen vaikuttaa eniten verkon ja generaattoreiden syöttämät oikosulkuvirrat. Oikosulkuvirtaa rajoittavia komponentteja ovat muuntajat, kuristimet kaapelit ja kiskot. Näiden komponenttien matemaattinen kuvaaminen voidaan suorittaa seuraavasti:

Kun tiedetään verkon alkuoikosulkuvirta tai alkuoikosulkuteho, voidaan laskea verkon impedanssi kaavalla:

$$\frac{C * U_n^2}{S''_{kv}} = \frac{C * U_n}{\sqrt{3} * I''_{kv}} \quad (10)$$

missä

U_n = Verkon nimellijännite

S''_{kv} = verkon näennäinen alkuoikosulkuteho

I''_{kv} = verkon alkuoikosulkuvirta.

c = taulukon 1 mukainen jännitekerroin

Jos syöttävä verkko on avojohtoverkkoa ja pääjännite on yli 35 kV, silloin voidaan olettaa likimääräisesti, että verkon impedanssi koostuu pelkästään reaktanssista eli $Z_{kv} = X_{kv}$.

Tahtikoneen alkureaktanssi saadaan laskemalla kaavalla:

$$X''_G = \frac{X''_d}{100\%} * \frac{U_{rg}^2}{S_{rg}} \quad (11)$$

missä

X'' = suhteellinen alkureaktanssi

U_{rG} = nimellijännite

S_{rG} = nimellinäennäisteho

Jos kyseessä on kaksikämmimuuntaja, voidaan oikosulkusuureet laskea kilpiarvojen perusteella. Muuntajan oikosulkuimpedanssi lasketaan kaavalla :

$$Z_k = \frac{zk}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (12)$$

muuntajan oikosulkuresistanssi lasketaan kaavalla:

$$R_k = \frac{rk}{100} * \frac{Un^2}{Sn} = \frac{Pkn}{3 * In^2} \quad (13)$$

muuntajan oikosulkureaktanssi lasketaan kaavalla:

$$X_k = \sqrt{Zk^2 - Rk^2} \quad (14)$$

Kaavoissa

Z_k = muuntajan oikosulkuimpedanssi

R_k = Muuntajan oikosulkuresistanssi

X_k = muuntajan oikosulkureaktanssi

U_n = muuntajan pääjännite

I_n = muuntajan nimellisvirta

S_n = muuntajan näennäisteho

P_{kn} = muuntajan nimelliskuormitus häviöt

z_k = muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi

r_k = muuntajan suhteellinen oikosulkuresistanssi.

Kaapelin vaikutus oikosulkuvirran suuruuteen on verrannollinen niiden pituuteen. Jos kaapelin pituudet ovat lyhyitä, niiden vaikutus oikosulkuimpedanssiin on vähäistä. pienjännitekaapelit saattavat olla useinkin pitkiä, joten niiden huomioiminen oikosulkuvirran laskelmissa on erityisen tärkeää. Sähköverkossa olevien kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit saadaan valmistajalta. Valmistajat ilmoittavat arvot pituusyksikköä kohti, joten kaapelin impedanssi saadaan laskemalla kaavalla:

$$Z_j = l * (r * jx) \quad (15)$$

missä

r = kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohti

x = kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohti

l = kaapelin pituus

3.3.4 Oikosulkulaskenta ominaisoikosulkutehoilla.

Helpoin ja yksinkertaisin tapa selvittää verkossa esiintyvät oikosulkuvirrat on käyttää ominaisoikosulkuteholaskentaa. Jos riittää likimääräinen tulos oikosulkuvirtojen määrästä, silloin on järkevää käyttää ominaisoikosulkuteholaskentaa. Ominaisoikosulkutehon käsitteellä pyritään kuvastamaan oikosuluntehoa kun oletetaan, että vikapaikassa vaikuttaa samanaikaisesti nimellisjännite ja täysi oikosulkuvirta. oikosulkupiirissä olevan komponentin jälkeistä oikosulkutehoa voidaan kuvastaa ominaisoikosulkuteholla, jollei piirin muut komponentit sitä rajoita.

ominaisoikosulkuteholla voidaan hyvin yksinkertaisesti määrittää alkuoikosulkuvirta I_k . Ominaisoikosulkuteholla oikosulkuvirtaa laskiessa, laskelmissa huomioidaan pelkästään reaktanssit. Resistanssin huomioimatta jättämisestä seuraa, että sysäyskertoimen määrittäminen on epätarkempaa. Sysäyskertoimen suuruusluokkaa voidaan kuitenkin arvioida sähköjärjestelmän tärkeimpien komponenttien R/X suhteesta. verkossa olevien muuntajien ja generaattoreiden tuottama oikosulkuteho voidaan laskea kaavoilla:

$$S_{kp} = \frac{U_n^2}{Z_k} \quad (16)$$

$$S_{kp} = \frac{S_n}{Z_k} \sim \frac{S_n}{Z_d} \quad (17)$$

missä

S_{kp} = komponenttien tuottama ominaisoikosulkuteho

U_n = komponenttien nimellisjännite

Z_k = komponenttien oikosulkuimpedanssi /vaihe

z_k = komponenttien suhteellinen oikosulkuimpedanssi

z_d = generaattorin suhteellinen tahtireaktanssi.

Mikäli piirissä on paljon rinnan kytkettyjä ominaisoikosulkutehoa tuottavia laitteita, saadaan vikapisteessä esiintyvä kokonaisuikosulkuteho laskemalla kaavalla:

$$S_k = S_{k1} + S_{k2} + \dots + S_{kn} \quad (18)$$

$$\frac{1}{S_k} = \frac{1}{S_{k1}} + \frac{1}{S_{k2}} + \dots + \frac{1}{S_{kn}} \quad (19)$$

missä

S_o = oikosulkuvirran arvo

S_{kn} = komponentin tuottama kokonaisoikosulkuteho

Ominaisoikosulkutehojen ollessa tiedossa, niiden aiheuttama oikosulkuvirran arvo voidaan laskea kaavalla:

$$I_k = \frac{1,1 * S_k}{\sqrt{3} * U_n} \quad (20)$$

jossa

I_k = oikosulkuvirran arvo

S_k = komponenttien tuottama kokonaisoikosulkuteho

U_n = vikapaikan nimellisjännite

3.4 Ylijännitteet

Sähkökäyttäjälle toimitetun jännitteen suuruus on tärkeä sähkön laatutekijä. Laitteet eivät toimi oikein ja ne voivat rikkoutua, jos jännite on liian korkea tai liian alhainen. Jännitteen laadun merkitys korostuu lähellä sähkökäyttäjää.

Verkostossa esiintyviä ylijännitteitä on kolmea eri lajia.

3.4.1 Käyttötaajuiset ylijännitteet

Käyttötaajuiset ylijännitteet syntyvät yleensä erikoisten käyttötilanteiden seurauksena ja ovat kestoaltaan pitkäaikaisia. Käyttötaajuiset ylijännitteet syntyvät yleensä maasulun yhteydessä, kuormaa poiskytkennässä, tyhjäkäyvässä johdossa kapasitiivisen varausvirran seurauksena tai resonanssin johdosta.

3.4.2 KytKentäylijännitteet

KytKentäylijännitteet syntyvät verkossa tapahtuva äkillisen tilanmuutoksen yhteydessä. Ne ovat kestoaltaan lyhytaikaisia, eli alle käyttötaajuisen jakson pituisia. KytKentäylijännitteet ilmoitetaan suhteellisarvona vaihejännitteenä huippuarvoon, ni-

mellisjännitteeltään vain yli 300 kV laitteille. KytKentäylijännitteet aiheuttavat vaaratilanteita Jännitteen annossa, vian syntyessä ja poistuessa, kuormituksen irrotus-hetkellä kapasitiivisen virran tai pienen induktiivisen virran katkaisussa. Katkaisijan virheellinen toiminta aiheuttaa myös kytKentäylijännitevaaran.

3.4.3 Ilmastolliset ylijännitteet

Ilmastollisia ylijännitteitä aiheuttaa lähinnä ukkonen, niinpä puhutaankin ukkosyli-jännitteistä. Ukkosylijännitteet voivat syntyä kolmella eri tavalla. Suorassa salamaniskussa jännite on tyypillisesti muutamia megavoltteja. Niiden aiheuttamia ver-kossa esiintyviä ylijännitteitä voidaan ehkäistä ukkosjohtimilla.

Takaiskut syntyvät, kun salamanisku osuu suoraan maadoitettuun osaan, missä on seurauksena ylilyönti virtajohtimeen.

3.5 Alijännitteet

Jakeluverkon koko siirtotien jännitteenalenema on keskijännitejohtojen, jakelu-muuntajien ja pienjännitejohtojen jännitteenalenemien summa. Suurvoimansiirto-verkon jännite ei näy loppukäyttäjälle verkkojen välissä olevien muuntajien auto-maattisten käämikytkinten vuoksi.

Jakeluverkkolaskuissa keskitytäänkin yleensä johdon loppupään maksimikuormi-tuksella vallitsevaan johdon jännitteenalenemaan, eli alku- ja loppupään jännittei-den itseisarvojen erotukseen. Jännitetasojen lisäksi ollaankin usein kiinnostuneita jännitteen vaihtelusta ja siitä kuinka herkästi kuormituksen muutokset vaikuttavat jännitteeseen (Lakervi & Partane, 2008,38)

3.6 Johdinkatkokset

Puhuttaessa oikosulkuutilanteessa johdinkatkoksesta käyttömaadoitetun verkon tapauksessa voidaankin sitä tarkastella yksivaiheisen maasulkuutilannetta johdin katkeaman yhteydessä, sillä johdin poikkeamat aiheuttaa aina yksivaiheisen oi-kosulun.

4 MAADOITUSTEN MITOITTAMINEN

Maadoitusjärjestelmän mitoituksen kannalta tärkeimmät tekijät ovat vikavirran suuruus ja sen kestoaika sekä maaperän ominaisuudet. Laajassa maadoitusjärjestelmässä yhdysjohtimina voidaan käyttää:

- suurjännitekaapeleiden vaippoja ja keskusköysiä
- pienjänniteverkon PEN -johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa
- mahdolliset erilliset, muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet ja elektrodit
- tarvittaessa voidaan muuntamoiden maadoituksia yhdistää myös keskijänniteilmajohdon pylväisiin rakennetuilla maadoitusjohtimilla.

(Verkostosuositus 19:06, 21)

Verkon laajetessa myös maasulkuvirran suuruus kasvaa.

Jotta maadoitusjärjestelmä olisi riittävä, sen on täytettävä neljä standardien asettamaa vaatimusta, jotka ovat:

1. riittävä mekaaninen lujuus ja korroosionkestävyys
2. suurimman vikavirran kestävyys termisesti (suurin vikavirta saadaan tavallisesti laskemalla)
3. omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen
4. henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen.

(SFS-KÄSIKIRJA 601, 2009, 78)

4.1 Riittävän mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden mitoittaminen

Maadoituselektrodi on suoraan yhteydessä maan kanssa, siksi maadoituselektrodi on valmistettava korroosion kestävästä materiaalista. Tämä tarkoittaa sitä, että maadoituselektrodi on rakennettu niin, että se kestää kemiallisen tai biologisen syöpymisen, hapettumisen, elektrolyytti parien muodostumisen ja kestää elektrolyysin. Maadoituselektrodien tulee myös kestää mekaanisia rasituksia asennuksen ja normaalin käytön aikana. Maadoitusresistanssin parantamiseen voidaan käyttää myös betoniperustuksiin upotettuja teräksiä, teräspaaluja tai muita luonnollisia maadoituselektrodeja.

Riittävän makaanisen kestävyuden ja korroosiokestävyyden saavuttamiseksi maadoitusjohtimen poikkipinta-alan tulee olla:

- kuparilla 16 mm².
- alumiinilla 35 mm²
- teräksellä 50 mm².

Tarkemmat vaaditut poikkipinta-alat on esitelty alla olevassa taulukossa.

TAULUKKO 3. Maadoituselektrodien materiaalit ja vähimmäismitat mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden takia. (SFS-käsikirja 601, 2009,89)

Materiaali		Elektrodin tyyppi	Vähimmäiskoko				
			Ydinosa			Päällyste/ vaippa	
			Halkaisija (mm)	Poikkipinta (mm ²)	Paksuus (mm)	Yksittäiset arvot (µm)	Keskimääräiset arvot (µm)
Teräs	Kuumasinkitty	Nauha ²⁾		90	3	63	70
		Profiili (ml.) Levyt		90	3	63	70
		Putki	25		2	47	55
		Sauvaelektrodin pyörötanko	16			63	70
		Vaakasuoran maadoituselektrodin pyöreä johdin	10				50
	Lyijyvaipalla ¹⁾	Vaakasuoran maadoituselektrodin pyöreä johdin	8			1000	
	Päällystetyllä kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	15			2000	
	elektrolyytti-kuparivaipalla	Sauvaelektrodin pyörötanko	14,2			90	100
Kupari	Paljas	Nauha ²⁾		50	2		
		Vaakasuoran maadoituselektrodin pyöreä johdin		25 ³⁾			
		Köysi	1,8*	25 ³⁾			
		Putki	20		32		
	Tinattu	Köysi	1,8*	25		1	5
	Sinkitty	Nauha		50	2	20	40
		Lyijyvaipalla ¹⁾	Köysi	1,8*	25		1000
			Pyöreä johdin		25		1000

* köyden yksittäisen johtimen halkaisija

¹⁾ ei sovellu upotettavaksi suoraan betoniin

²⁾ nauha, valssattu tai leikattu pyöristetyillä reunoilla

³⁾ Olosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosioriski ja mekaanisen vaurion riski on alhainen, voidaan käyttää poikkipintaa 16 mm².

4.2 Termisen lujuuden mitoittaminen

Termisen lujuuden laskemiseen tarvitaan vikavirran suuruus ja viankesto aika. Alle 5 sekuntia kestäville vikavirroilla maadoitusjohtimen poikkipinta-ala lasketaan kaavalla:

$$A = \frac{I}{K} \sqrt{\frac{t}{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}} \quad (21)$$

missä

A = poikkipinta-ala (mm²)

I = johtimen virran tehollisarvo (A)

t = vikavirran kesto aika (s)

K = virrallisen osan materiaalista riippuva vakio (alla olevassa taulukossa on K arvot yleisimmille materiaaleille, kun oletetaan että alkulämpötila on 20 °C).

β = virrallisen osan resistanssin lämpötilakertoimen käänteisarvo lämpötilassa 0 °C. (Taulukon mukaiset lämpötilakertoimet.)

θ_i = Alkulämpötila (°C) (alkulämpötilana Suomessa käytetään yleensä 20 °C)

θ_f = loppulämpötila (°C)

TAULUKKO 4. Materiaalista riippuvien vakioiden arvot (SFS-käsikirja 601, 2009,90)

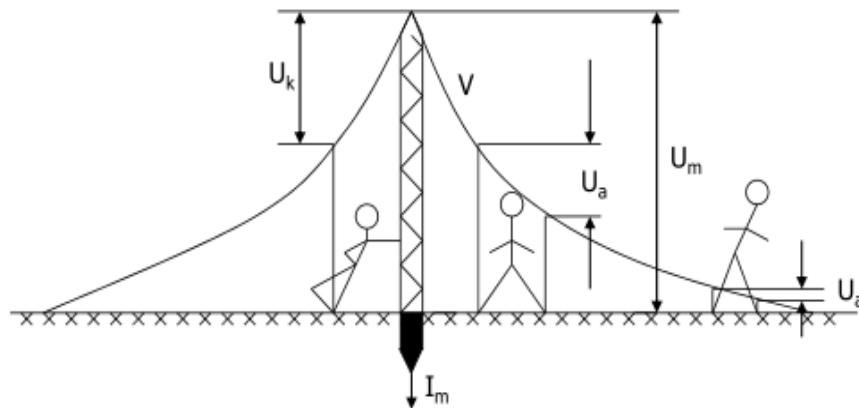
Materiaali	β (°C)	$K (A \times \sqrt{s} / mm^2)$
Kupari	234,5	226
Alumiini	228	148
Teräs	202	78

4.3 Suurin sallittu kosketusjännite

Maadoituselektrodin tai elektrodijärjestelmän läpi kulkeva vikavirta I_e määrää k.o. maadoitusjärjestelmän maadoitusjännitteen U_e . Laskettaessa maadoitusjännitteen

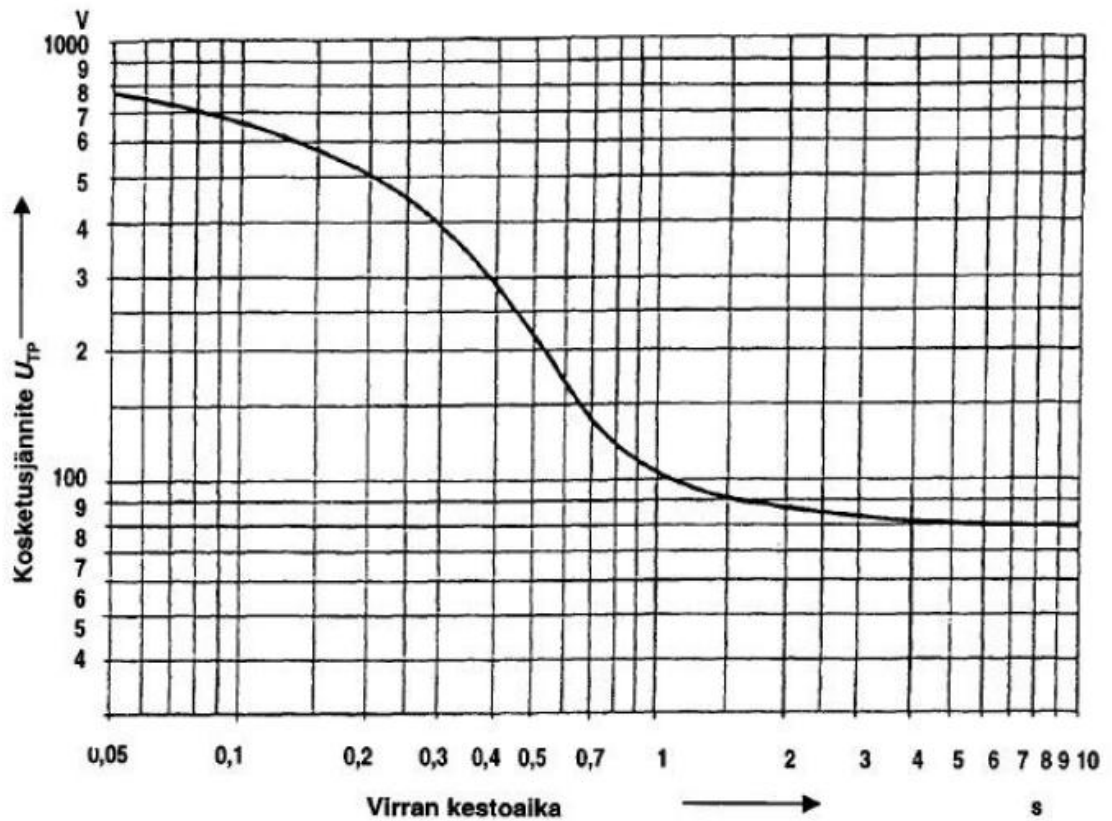
ja elektrodin läpi kulkevan viran suhde, saadaan maadoitusimpedanssi, jota suppeiden maadoituselektrodien tapauksessa kutsutaan myös maadoitusresistanssiksi. Maadoitusjännite on elektrodin ja kaukaisen neutraalin maan erotus.

Suomessa on turvallisuusjärjestelmä, jossa jännitteelle U_e on ilmoitettu enimmäisarvot sallittavan kosketusjännitteen perusteella. Kosketusjännitteellä U_{TP} tarkoitetaan jännitettä, joka esiintyy kahden samanaikaisesti kosketeltavan, kosketetäisyydellä olevan osan tai kohdan välillä. Kosketusjännitteisiin kuuluu myös askeljännite U_a . Seuraavassa kuvassa on esitelty myöskin jännitesuppilo, s.o. maadoituselektrodin ympärillä esiintyvä potentiaalijakauma. Kuvasta näemme, että maadoitusjännitteestä vain osa esiintyy kosketus ja askeljännitteenä.



KUVIO 14. Maan pinnan potentiaali V maasulkutilanteissa ja tällöin vaikuttava maadoitusjännite U_e , kosketusjännite U_{TP} sekä askeljännite U_a . (Sähköverkon maadoitukset ja ylijännitesuojaus, 1998,12)

Maadoitusjännitteestä siis vain osa esiintyy kosketusjännitteenä. SFS 6001 asettaa suurimmalle sallitulle kosketusjännitteelle U_{TP} , jonka avulla lasketaan olosuhteiden mukaiset maadoitusjännitteet U_E . Toinen tapa on mitata paikalla esiintyvä kosketusjännite ja verrata sitä sallittuun kosketusjännitteeseen. Todellisen kosketusjännitteen mittaaminen on mahdollista suurjännitesähköasemien erillisten maadoitusjärjestelmien yhteydessä, kun oletetaan vian syntyvän suurjännitejärjestelmässä. Tätä mittausjärjestelmää ei voi kuitenkaan soveltaa yhdistettyjen keskijänniteverkon ja pienjänniteverkon maadoitusten yhteydessä. Suurimpia sallittuja kosketusjännitteitä voidaan tarkastella alla olevan kuvion mukaan, jossa kosketusjännitteet on esitetty kestoajan funktiona.



KUVIO15. Kosketusjännitteen suurimmat sallitut arvot, kun maasulku tapahtuu. (SFS Käsikirja 601, s86)

Kun tiedetään laukaisuajat, niin kuvista voimme katsoa suurimman sallitun kosketusjännitteen arvon. Suunnittelussa tyypillisesti sovellettavat käytetyt laukaisuajat ovat 0,5 s ja 1,0 s. Lukaisuajalla 0,5 s, nähdään taulukosta, että suurin sallittu kosketusjännite on 215 V kun taas 1,0 sekunnin laukaisuajalla kosketusjännite saa olla 102 V.

TAULUKKO 5 Sallittujen kosketusjännitteiden enimmäisarvot kuvion perusteella

Laukaisuaja/s	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2,0	5,0	10,0
Kosketusjännite/V	390	290	215	160	132	120	110	102	85	80	80

Maadoitusjännitteet lasketaan aina suurimman sallitun kosketusjännitteen mukaan

Epäyhtälöä $U_E \leq U_{TP}$ käytetään, kun muuntamolla on vain yksi maadoitus

Epäyhtälöä: $U_E \leq 2 \times U_{TP}$ käytetään, kun pienjänniteverkon PEN -johdin tai suoja-
maadoitusjohdin on maadoitettu useassa paikassa tähtipisteessä jännitteen rajoit-
tamiseksi, maadoitusjännite voi olla kaksinkertainen verrattuna arvoon U_{TP}

Tässä tapauksessa muuntamolla on maadoituselektrodi, mutta potentiaalirengas
ei ole välttämätön. Pienjänniteverkon elektrodit ovat jakokaapeilla ja yli 200 metrin
haaroen päässä. Elektrodin välimatkasuositus on 500 metriä.

Epäyhtälöä: $U_E \leq 4 \times U_{TP}$ käytetään vain, jos voidaan täyttää seuraavat ehdot:

Tarvittavat etäisyydet on täytettävä vaarajännitteiden välttämiseksi ja jokaisessa
pienjänniteverkon haarassa on tehty ainakin yksi 6000-8-801 mukainen johtohaa-
ran maadoitus

Epäyhtälöä: $U_E \leq 5 \times U_{TP}$ käytetään erikoistapauksissa. Tällaisina erityistapauksina
pidetään muuntopiiriä, johon on kytketty vain yksi liittymä (tietoliikennemasto tai
vastaava). Tällöin maaperän täytyy olla kauttaaltaan huonosti johtavaa esim. hiek-
kaa, soraa, moreenia tai kalliota. Järjestelmässä on useita elektrodeja, muunta-
molla on maadoituselektrodi ja potentiaalirengas. On suositeltavaa, että pienjänni-
teliittymien maadoituselektrodi liitetään liittymissä olevien rakennusten pääpotenti-
aalintasausjärjestelmään. Mikäli se ei ole mahdollista, suositellaan maadoi-
tuselektrodina käytettäväksi rakennuksen perustuksen ympärille asennettavaa
rengasta.(Verkostosuositus RJ 19:06, 16 -18)

Kauppa ja teollisuusministeriön päätöksen (205/1974) 10§ 2 mukaan

*Yksivaiheisen maasulun suojamaadoitettuun osaan aiheuttama maadoitusjännite
ei saa aiheuttaa kytkinlaitoksessa eikä paikassa, missä ihminen usein oleskelee
tai liikkuu, vaarallista kosketusjännitettä. Maadoitusjännite ei myöskään saa vaa-
rantaa samaan maadoituselektrodiin maadoitetun tai lähellä sijaitsevan toisen lait-
teen eristystä.*

Maadoitetuissa tai maadoitukseen muuten johtavassa yhteydessä olevissa osissa
esiintyvistä maadoitusjännitteistä aiheutuvan kosketus ja askeljännitteen vaaralli-
suuden kannalta jaotellaan nämä osat seuraaviin ryhmiin

Ryhmä A:

Laitteiston suojamaadoitettuosa tai sen maadoitukseen johtavassa yhteydessä oleva metalliosa, kuten rataakisko tai metalliputkisto, joka on kosketusetäisyydellä maasta, johtavalla lattialla tai vastaavalla alustalla.

Laitteiston suojamaadoitettu osa tai sen maadoitukseen muuten johtavassa yhteydessä oleva metalliosa, joka sijaitsee siten, että sitä ja erilliseen elektrodiin maadoitettua tai maahan muuten yhteydessä olevaa toista metalliosaa voi samaan aikaan koskettaa maasta, lattialta tai vastaavalta alustalta.

Ryhmä B:

Laitteiston suojamaadoitettu osa tai sen maadoitukseen muuten johtavassa yhteydessä oleva metalliosa, joka on kosketeltavissa muualta kuin maasta, johtavalta lattialta tai vastaavalta alustalta.

Laitteiston suojamaadoitettu osa tai sen maadoitukseen muuten johtavassa yhteydessä oleva metalliosa, joka sijaitsee siten, että sitä ja erilliseen elektrodiin maadoitettua tai maahan muuten johtavassa yhteydessä olevaa toista metalliosaa voi samanaikaisesti koskettaa esimerkiksi pylvääseen nousten, kuten pylväsmuuntamoilla, mutta ei maasta, lattialta tai vastaavalta alustalta. Tällöin kuitenkin edellytetään sellaisten rakenteiden käyttämistä, että kahden tässä tarkoitetun osan samanaikaisen koskettamisen mahdollisuus on vähäinen.

Ryhmä C:

Maanpinnan alapuolella sijaitseva maadoituselektrodi.

Ryhmä D:

Laitteiston suojamaadoitettu osa on enintään 1000 V järjestelmän käyttömaadoitukseen yhdistetty osa silloin, kun näiden maadoittamiseen käytetään yhteistä elektrodiä ja kyseessä oleva enintään 1000 V järjestelmä on ainakin osittain siksi mainitun laitteiston tai sen käsittämän ulkopuolella. Tähän ryhmään rinnastetaan tapaus, jossa enintään 1000 V järjestelmän käyttömaadoituselektrodiin siirtyy yli 1000 V järjestelmän maadoituselektrodin aiheuttamasta potentiaalientästä maadoitusjännite.

Ryhmä E:

Enintään 1000 V järjestelmään nolattu tai muuten suojamaadoitettu osa, joka on alttiina yli 1000 V järjestelmän jännitteelle. Jännite voi päästä ensiksi mainittuun järjestelmään lähinnä yli 1000 V johtimen koskettaessa yhteisiä pylväitä käytettäessä siihen kuuluvaa johdinta, kannatusköyttä tai metallivaippaa (alaryhmä e_1) taikka eristysvian sattuessa järjestelmien välisessä muuntajassa suoraan käämityksestä toiseen (alaryhmä e_2). Jos jännitteelle altis enintään 1000 V:n järjestelmä on maadoitettu, sen (PEN-johtimen) maadoitusjännite on mainitunlaisessa eristys-

viassa maasulkupaikassa mitatun maadoitusimpedanssin ja kyseessä olevan yli 1000 V:n järjestelmän maasulkuvirran tulo. Jos jännitteelle altis enintään 1000V:n järjestelmä on maadoittamaton, voi jännite nousta niin suureksi, että eristysvian vaara on ilmeinen. Viimeksi mainitussa tapauksessa maadoitusjännite on vastaa- van suojamaadoitusimpedanssin ja kyseessä olevan yli 1000V järjestelmän maa- sulkuvirran teho.(SFS-käsikirja 601, 2009, liite, 124...125).

Alla olevasta taulukosta näemme maadoitusjännitteiden enimmäisarvot eri ryhmi- lä. Katsotaankin, että jos maadoitusjännite ei ylitä, alle 110 kV järjestelmässä ta- pahtuvassa yksivaiheisessa maasulussa, taulukon antamia arvoja, ei kosketusjän- nitteistä aiheudu vaaraa. Taulukossa t tarkoittaa maasulkuvirran pisintä yhtäjak- soista aikaa

TAULUKKO 6. Maasulkujännitteen enimmäisarvot(SFS-käsikirja 601,2009, 125).

Ryhmä	Maadoitusjännite V	
	Maasulku kytketään itsetoimivasti pois ajassa t	Maasulkua ei kytketä itsetoimivasti pois
<i>a</i>	$750 / \sqrt{t}$	125
<i>b</i>	$2000 / \sqrt{t}$	250
<i>c</i>	$3000 / \sqrt{t}$	400
<i>d</i>	$500 / \sqrt{t}$	100
<i>e1</i>	$750 / \sqrt{t}$	125
<i>e2</i>	$1000 / \sqrt{t}$	150

5 MAADOITUSTEN MITTAAMINEN

Kun jakeluverkon maadoitukset muodostavat standardinmukaisen laajan maadoitusjärjestelmän, ei sen tarkkaa maadoitusvastusta tarvitse mitata muuta kuin siinä tapauksessa että siihen liitetään uuden 110 kV sähköaseman maadoitus. 110 kV sähköaseman liittäminen laajaan maadoitusjärjestelmään voi nostaa maasulkuvirran jopa yli 100 kertaa suuremmaksi, kuin mitä on 20 kV maasulkuvirta. Tällöin mittaus suoritetaan sähköaseman maadoitusmittauksena. Mittauksessa kosketusjännitevaatimuksena voidaan pitää: (Verkkosuositus TJ 1:05)

$$U_E = 2 \times U_{Tp}$$

missä

$$U_E = \text{maadoitusjännite}$$

$$U_{Tp} = \text{sallittu kosketusjännite}$$

Laajan maadoitusjärjestelmän ulkopuolella sijaitsevien ja uusien asennusten maadoitusresistanssi laskettava tai mitoitettava järjestelmällisesti ja maadoitusjännite on laskettava tai mitattava. Kosketusjännitteen tarkastus on tarvittaessa tehtävä mittauksin tai laskelmin. Laajan maadoitusjärjestelmän sisäpuolella perussuunnitelma on riittävä, eikä ole tarvetta tarkastaa maadoitusresistanssia tai maadoitusjännitettä. Yksittäisen maadoituksen liittyminen koko maadoitusjärjestelmään on kuitenkin tarkistettava (SFS-käsikirja 601, opastava liite P, 119).

Asennuksen yhteydessä tarkastetaan kuitenkin laitteiston ja jännitteiden osien sekä jännitteisten osien ja maan välisten etäisyyksien merkinnät.

Maadoitusten mittaaminen tulisi suorittaa roudattoman maan aikana, jolloin saadaan luotettavat tulokset mittauksista.

Mikäli muuntamo tai muuntopiiri valmistuu maan ollessa roudassa, ei maadoitusresistanssin mittausta voida luotettavasti suorittaa. Mittaus tulisi suorittaa välittömästi seuraavana keväänä roudan sulamisen jälkeen tai viimeistään vuoden kuluessa muuntamon käyttöön otosta. (Verkkosuositus RM 5:03, 10)

5.1 Maadoitusresistanssin mittaaminen

Kun jakeluverkon maadoitukset muodostavat standardinmukaisen laajan maadoitusjärjestelmän, ei sen maadoitusvastusta tarvitse mitata muuta kuin siinä tapauksessa että siihen liitetään uuden 110 kV sähköaseman maadoitus. 110 kV sähköaseman liittäminen laajaan maadoitusjärjestelmään voi nostaa maasulkuvirran jopa yli 100 kertaa suuremmaksi, kuin mitä on 20 kV maasulkuvirta. Tällöin mitta-

us suoritetaan sähköaseman maadoitusmittauksena. Mittauksessa kosketusjännitevaatimuksena voidaan pitää: (Verkostosuositus TJ 1:05)

$$U_E = 2 \times U_{TP}$$

missä

U_E = maadoitusjännite

U_{TP} = sallittu kosketusjännite

Laajassa maadoitusjärjestelmässä maadoitusresistanssi on yleensä hyvin pieni, normaalisti alle 1 ohmi. Uutta muuntopiiriä rakennettaessa, ei maadoitusresistanssia tarvitse mitata erikseen. Riittävä tarkastus syntyy, kun tarkistetaan maadoitusten riittävä yhteys olemassa olevaan maadoitusjärjestelmään. Mikäli maasulkuvirrat kasvavat olennaisesti, on kuitenkin tarpeen suorittaa maadoitusresistanssimittaukset. (Esa Tiainen, 2010)

Sallitun maadoitusresistanssin arvon määrittävät yleensä maasulkujännitteelle ja sen kestoajalle asetetut raja-arvot, sekä maasulkuvirta.

Maadoitusresistanssin arvo voidaan selvittää laskemalla, kun tiedetään vikapaikan maasulkuvirta ja tiedetään laukaisuaika. Seuraavana onkin selvitetty pylväsmuuntajan maadoitusresistanssi, kun käytetään yhteistä maadoitusta.

Lasketaan pylväsmuuntajan maadoitus, kun käytetään yhteistä maadoitusta. Tiedetään, että vikapaikassa maasulkuvirta on 30 A ja laukaisuaika on 0,5 s. Pyritään arvoon $U_E = 2 \times U_{TP}$. Taulukosta 5 saadaan $U_{TP} = 215$ V, tästä saadaan, että $2 \times U_E = 430$ V.

Tämän jälkeen voidaan suurin sallittu maadoitusresistanssi laskea Ohmin lain mukaan: $R = U / I$. Näin esimerkkilaskussa suurimmaksi sallituksi maadoitusresistanssiksi saadaan: $R = 430$ V / 20 A = 14 Ω.

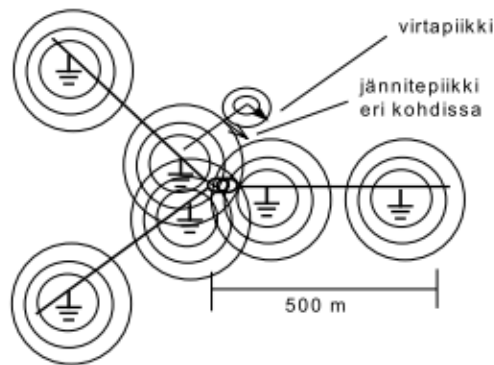
Maadoitusresistansseja mitataan yleensä muuntajien suurjännitepuolen suoja- maadoituksista, sähköasemien maadoituksista, 1000 V jakeluverkosta, jossa järjestelmä on alttiina yli 1000 V jännitteelle tai näiden yhteisessä maadoitusjärjestelmässä.

Maadoitusresistanssi mitataan laitteiston käyttöönoton yhteydessä sekä määräaikaistarkastuksen yhteydessä.

Laajassa maadoitusjärjestelmässä, jossa samaa elektrodijärjestelmää on käytetty useiden laitteiden maadoittamiseen erillisten maadoitusjohtimien avulla, saadaan yleensä riittävän tarkka mittaustulos, mittaamalla maadoitusresistanssi yhdestä johtimesta. Tämä edellyttää kuitenkin, että muiden maadoitusjohtinten välinen yhteys tarkistetaan.

5.2 Mittauspaikan valinta

Maadoitusvastuksen mittaus tulee valita muuntopiiristä niin, että mittajohdinten levityssuunta on mahdollisimman kaukana lähimmästä maadoituselektrodista. Mittausuora pyritään saamaan lähes neutraaliin maahan. Useimmiten muuntamo sijaitsee kuitenkin lähellä muuntopiirin keskustaa ja sen ympärillä on usein monien suuntaan maadoituselektrodeja. Nämä elektrodit jäävät usein liian lähelle mittasuoran mittapisteitä. Alla olevasta kuvasta näemme maadoituselektrodien tasaantumisenrenkaita. Kuten kuvasta huomaamme, että kyseisellä muuntajalla on vaikeuksia löytää jännitemittauspiikillä potentiaalirenkaiden välistä neutraalimaan aluetta.



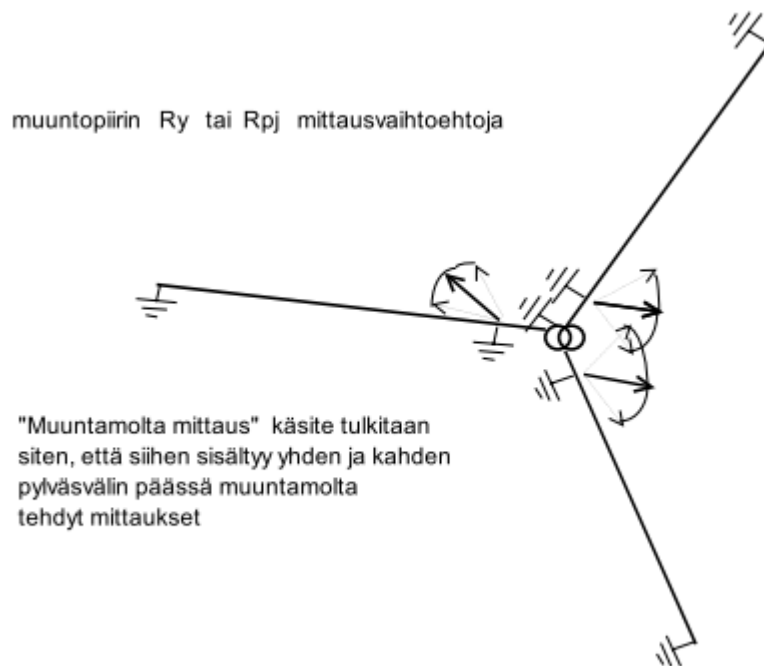
KUVIO 16. Maadoituselektrodien potentiaalisen tasaantumisenrenkaita (Verkkosuositus TL1:05,5)

Mikäli jännitepiikillä mittaus suoritettaisiin maadoituselektrodin läheltä, sen potentiaalirenkaita, olisi mittauksen arvo todellista pienempi, kun taas jos jännitepiikillä mitattaisiin läheltä virtapiikkiä, ja sen potentiaalirenkaita, olisi saatu mittaustulos todellista suurempi.

Luotettavampi mittaustulos saadaan, kun hakeudutaan muuntopiirin keskustan alueella paikkaan, jossa maadoituselektrodeja on harvemmassa ja valitaan mittasuora elektrodista poispäin.

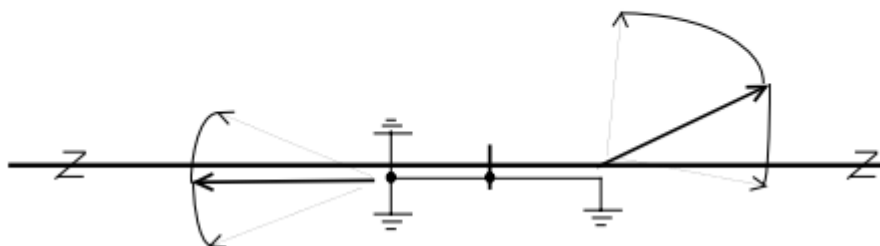
Mittausta maadoituselektrodin päältä tulee erityisesti välttää, silloin saadaan todellista arvoa pienempi, virheellinen tulos. Mittauksen osuessa elektrodin päälle mittauksen virheellinen arvo näkyy mittaustulosten käyrässä olevana kuoppana. Mikäli mittaustuloksista saadun käyrän muoto vaihtelee epämääräisesti tai siitä ei voida erottaa vaakaosuutta tai käännepistettä selvästi, suoritetaan mittaus uudelleen suuntaa vaihtamalla. Näin menetellen saadaan lähinnä oikeaa oleva tulos. (verkkosuositus TL1:05)

Seuraavassa muutama esimerkki mittaussuunnan valinnasta.



KUVIO 17. Muuntopiirin mittaussuunnat (Verkostosuositus TL1:05,11)

Erotaimen R_s mittaaminen tehdään yleensä sen pylvään luota mistä maadoituselektrodi alkaa, elektrodeista pois päin (vanha rakenne)



KUVIO 18. Erotaimen R_s mittaussuunnat (Verkostosuositus TL1:05)

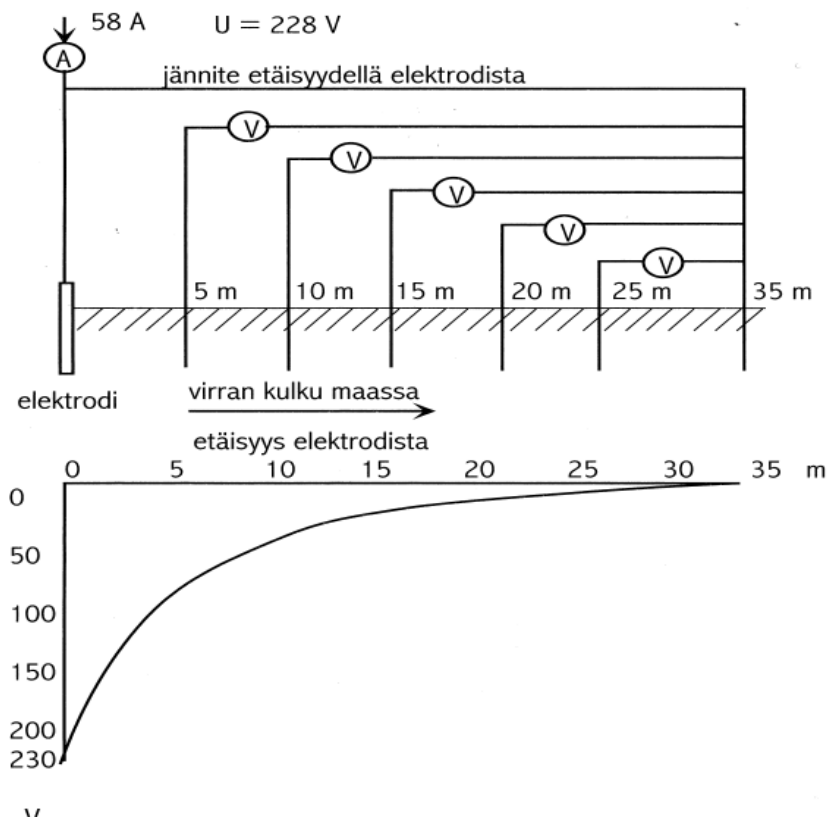
5.3 Käytettävät mittausmenetelmät

Yleisimmin käytetty mittausmenetelmä on syöttää mitattavan maadoituselektrodin kautta virtaa ja mittaamalla maadoituselektrodin yli vaikuttava jännite.

Virran ja jännitteen avulla voidaan laskea maadoitusresistanssi kaavalla:

$$R = U/I$$

Virta jakautuu maadoituselektrodista siten, että välittömästi elektrodin vieressä virran tiheys on suurin. Maahan kulkeva virta aiheuttaa maadoituselektrodin läheisyydessä jännite-eroja, jotka ovat myös suurempia elektrodin välittömässä läheisyydessä. Alla olevassa kuviossa on esitelty jännitteen jakautumista.



KUVIO 19. Esimerkki jännitteen jakautumasta maadoituselektrodin läheisyydessä (Maadoituskirja, 2007,146)

Maadoitusresistanssilla (-impedanssilla) tarkoitetaan resistanssia, joka on mitattu maadoitusjohtimesta ja joka sisältää maadoitusjohtimen resistanssin lisäksi maadoituselektrodin ja maan neutraalin pisteen välisen resistanssin.

Maadoitus resistenssin arvo riippuu elektrodin rakenteesta ja maan ominaisresistanssista. Alla olevasta taulukosta näemme maan tyypillisiä ominaisresistanssiarvoja, niiden arvo resistiivisyys vaihtelee huomattavasti eri paikoissa maaperän tyyppin, raekoon, tiheyden ja kosteuden mukaan.

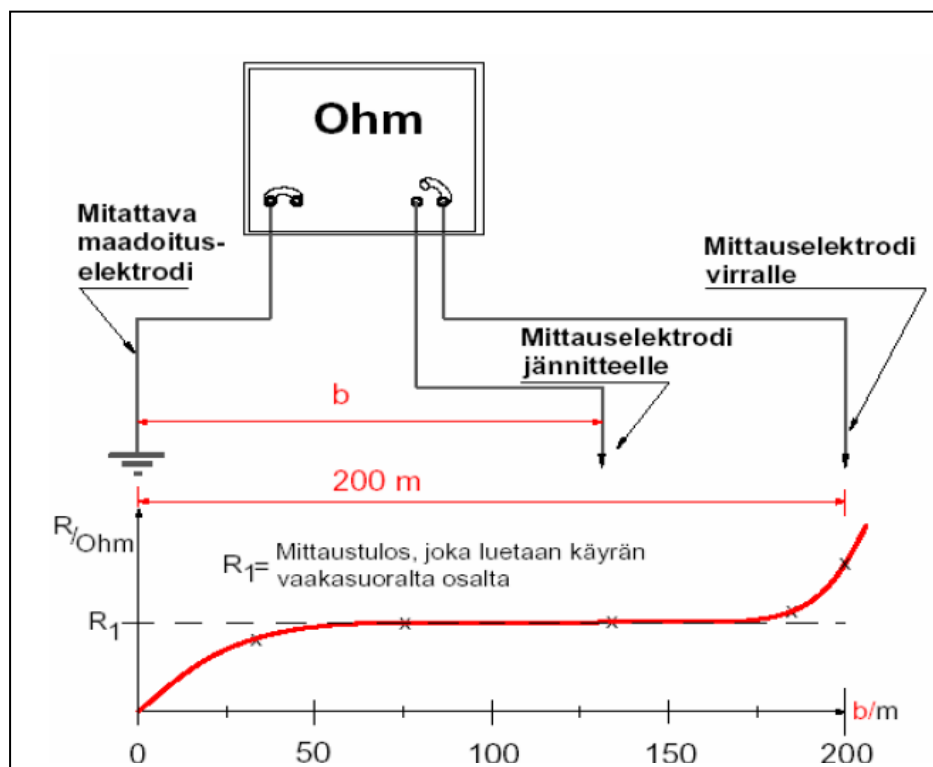
TAULUKKO 7. Maaperän resistiivisyydet (SFS käsikirja 601, 2009, opastavaliite K, 109)

Aine	Keskimäärin Ωm	Tavallisimmat vaihteluvälit Ωm
Savi	40	25 – 70
Saven sekainen hiekka	100	40 – 300
Lieju, turve, muta	150	50 – 250
Hiekka, hieta	2000	1000 – 3000
Moreenisora	3000	1000 – 10000
Harjusora	15000	3000 – 30000
Graniittikallio	20000	10000 – 50000
Järvi- ja jokivesi	250	100 – 400
Merivesi	2,5	1 - 5

5.3.1 Käänne pistemenetelmä

Käänne pistemenetelmässä virtamittauselektrodi viedään 200m päähän mittauspisteestä. Mittaaminen suoritetaan siten, että jännitemittauselektrodin paikkaa siirretään virtamittaus elektrodin ja mittauspisteen välillä. Jokaisessa paikassa mittauselektrodi upotetaan huolellisesti maahan. Mittaustulos luetaan mittarista ja kirjataan mittauspöytäkirjaan. Mittauksen jälkeen piirretään käyrä mittaustuloksista R jännite mittauselektrodin suhteen. Käänne piste menetelmässä mittaustulos luetaan siltä kohdalta, missä vastusarvo ei sanottavasti muutu, vaikka etäisyyttä muutetaan. Käyrässä näkyy vaakasuorana osana.

Jos mitattava maadoitus on suppea käsittäen vain pari lähekkäistä elektrodia, (esim. yksittäinen johtoerotin), voidaan mittaaminen tehdä irrottamatta erikseen mitattavaa elektrodia. Saatua lukemaa voidaan riittävällä tarkkuudella pitää koko maadoituksen arvoa kuvaavana

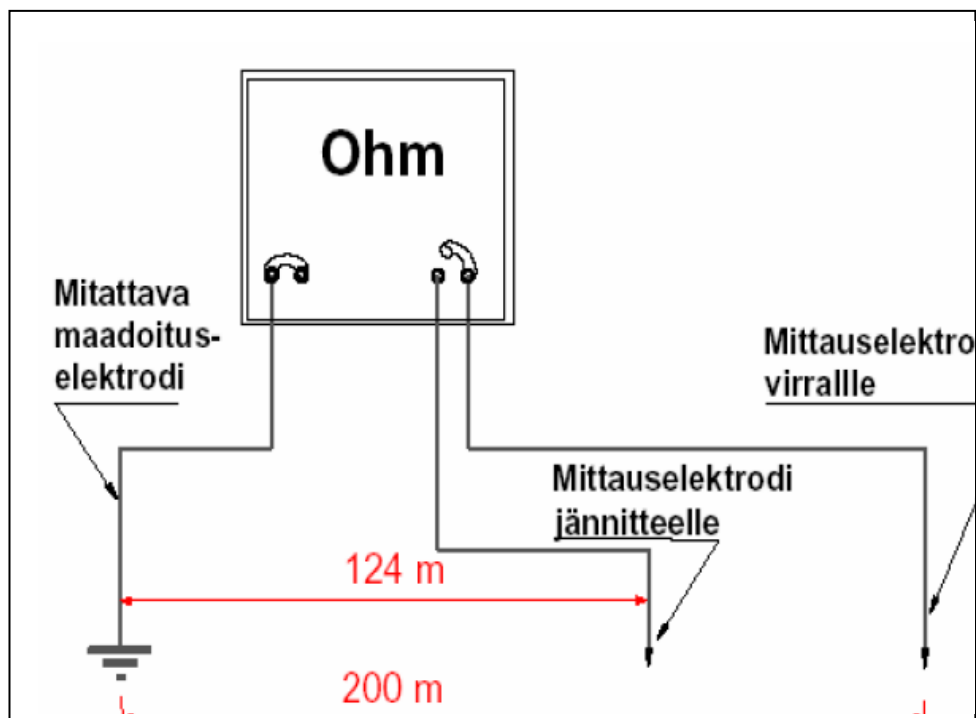


KUVIO 20. Käänne pistemenetelmä

5.3.2 Sovellettu käänne pistemenetelmä

Tässä mittausmenetelmässä lukema otetaan vain yhdellä mittaaelektrodien välisellä etäisyydellä, mittausjohtojen pituuksina käytetään 200 m ja 126 m.

Jos mitattava maadoitus on suppea käsittäen vain pari lähekkäistä elektrodiä, (esim. yksittäinen johtoerotin), voidaan mittaaminen tehdä irrottamalla erikseen mitattavaa elektrodiä. Saatua lukemaa voidaan riittävällä tarkkuudella pitää koko maadoituksen arvoa kuvaavana



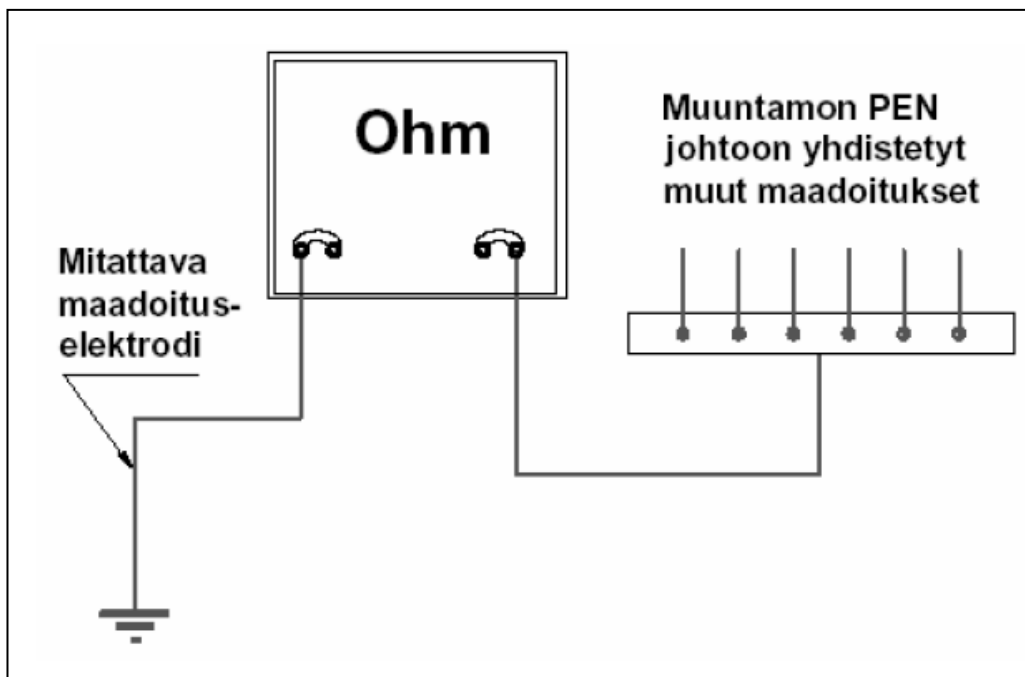
KUVIO 21. Sovellettu käänne pistemenetelmä

Jos kyseessä on laaja maadoitusjärjestelmä esim. muuntamon PEN-johtimeen yhdistetyt maadoitukset seuraavat lisätoimenpiteet riippumatta siitä onko mittaus tehty käänne pistemenetelmällä tai sovelletulla käänne pistemenetelmällä.

Suoritetaan sarjamittaus irrotetun erillisen maadoituksen ja muun maadoituksen välistä. Mittarin toinen mittajohdin kytketään irrotettuun mitattavaan elektrodiin ja toinen muuntamon PEN – johtimeen yhdistettyyn maadoitukseen. Mittajohdot yhdistetään mittalaitteen ohjeen mukaisesti ns. sarjamittausasentoon yleensä mittalaitteen eri päissä oleviin liittimiin. Merkitään saatu mittausarvo R_S .

On huomioitava, että sarjamittausa saa käyttää vain verkon ollessa jännitteettömänä, siksi se on tehtävä ennen muuntamon käyttöönottoa.

Sarjamittausmenetelmästä onkin nykyisin luovuttu etenkin määräaikaistarkastuksen yhteydessä koska maadoitusten avaamista ei saa suorittaa jännitteisenä. Jos maadoitus avataan jännitteisenä, se aiheuttaa vaaratilanteen niin mittajalle, koko muuntopiirille sekä käyttäjälle. Samalla kun maadoitus avataan, se ei enää täytä maadoituksille asetettuja määräyksiä. Maadoitusten avaamisen aikana voi esiintyä liian suuria kosketusjännitteitä. Mittauksen suorittaminen aiheuttaisi käyttökatkoksen jo käytössä olevalla muuntajalla, joten sen suorittaminen ei ole tarkoituksen mukaista, eikä sitä edellytetä standardissa SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset.



KUVIO 22. Sarjamittausmenetelmä

Määritellään mitattavan maadoitusarvo mittatulosten perusteella.

Yhteen maadoitusverkkoon kytketyt erilliset maadoitukset ovat periaatteessa kytketty rinnan ja niiden yhteinen maadoitusresistanssin arvo R_k voidaan laskea kaavalla:

$$1/R_k = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n \quad (22)$$

Kun mittauksella on selvitetty yksittäisen maadoituksen R_1 arvo, sekä mitattu sarjamittaus tulos R_s , joka on:

$$R_s = R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n^{-1} \quad (23)$$

Merkitään:

$$R_a = 1 / R_2 + 1 / R_3 + \dots 1 / R_n^{-1} \quad (24)$$

$$R_s = R_1 + R_a \quad (25)$$

$$R_a = R_s - R_1 \quad (26)$$

Tällöin yhteisen maadoitusvastuksen R_k arvo voidaan lausua (kaksi rinnankytkettyä vastusta).

$$1 / R_k = 1 / R_1 + 1 / R_a, \text{ jossa } R_k \text{ on yhteinen maadoitusvastus} \quad (27)$$

$$R_k = R_a \times R_1 / R_a + R_1 \quad (28)$$

(KENET Oy:n yrityskohtaiset ohjeet. luettu 18.2.2013)

5.3.3 Maadoitusresistanssin määrittely ongelmatilanteissa:

Mikäli R_a arvoksi tulee negatiivinen luku, ei tässä mittauspisteessä voida laskemalla määrittää kokonaismaadoitusarvoa R_k . Tai jos mittaustulokset tuntuvat epäluotettavilta verratessa entisiin mittaustuloksiin. Muutetaan menettelytapoja seuraavasti:

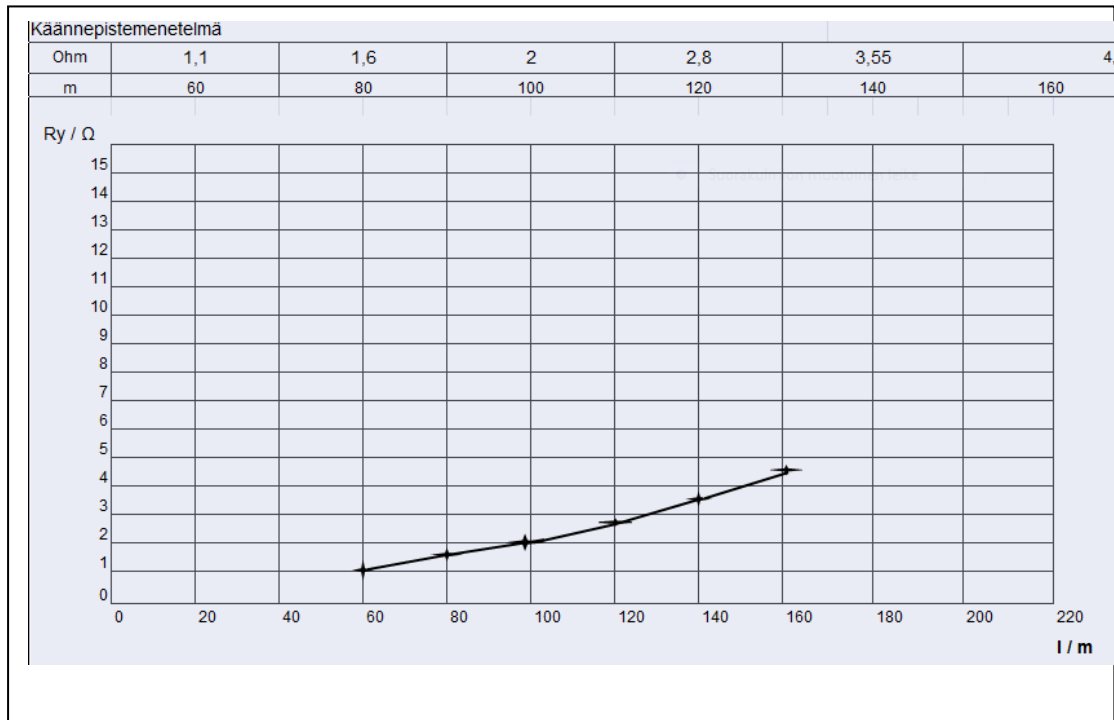
Kirjataan mitattu maadoituksen R_1 arvo ylös ja siirrytään mittaamaan seuraavalle maadoitukselle. Joskus voi käydä niin, ettei mitattavan muuntopiirin alueella saada missään kohdassa R_a arvoksi positiivista lukua ja eikä maadoitusarvoa voida laskea edellä mainitulla tavalla. Tällöin kirjataan ylös kaikki erillisten mittausten tulokset ($R_1, R_2, R_3 \dots R_n$). Näiden arvojen avulla lasketaan kokonaismaadoituksen arvo käyttäen rinnankytkettyjen vastusten laskentakaavaa.

Tällaisten poikkeustilanteiden tulosten tarkastelussa riittääkin se, kun mitattu ja laskettu arvo on pienempi kuin määräysten mukainen vaatimus.

5.3.4 Esimerkkikohteen mittaukset:

Vaikka mittausta ei suositella tehtäväksi roudan aikana, suoritimme kuitenkin seuraavan esimerkkimittauksen sekä viisi muuta muuntajaa roudan aikana. Näille muuntajille tehdään uudet tarkistukset roudattoman maan aikana kesällä. Näin saamme myös vertauskuvaa siitä millainen ero mittauksista tulee. Esimerkkimittaus suoritettiin Köykärinmäen muuntajalla. Muuntaja sijaitsee alueella, jossa saneerataan verkostoa muuttamalla ilmakaapelit maakaapeleiksi ja pylväsmuuntajat puisto- ja maaseutumuuntamoiksi. Samalla saadaan tämä alue liitettyä laajaan maadoitusjärjestelmään. Esimerkkikohteessa suoritettiin mittaus käännepesteme-

netelmällä, sen jälkeen suoritettiin mittaus sarjamittauksena ja laskettiin maadoitusvastuksen arvo R_k . (Verkostosuositus TJ 1:05,21)



KUVIO 23. Suoritettu mittaus käännepestemenetelmällä

Käännepestemenetelmällä suoritettuna mittauksen perusteella saadusta kuviosta huomaamme että käyrässä ei muodostu varsinaista vaakasuoraa osuutta. Resistanssin arvo tasaantuu 60 ... 80 metrin välillä. Näin voidaan päätellä että $R_{k,n}$ arvo sijoittuu 1,6 ... 2 Ω välille.

Samalle muuntamolle suoritimme myös sarjamittauksen ja vertailimme saatuja arvoja. Tuloksissa on hieman eroa, mutta tarkkuus on riittävä todetaksemme maadoitusten olevan kunnossa ja muuntamo voidaan ottaa käyttöön.

5.3.5 Voltti-ampeerimenetelmä

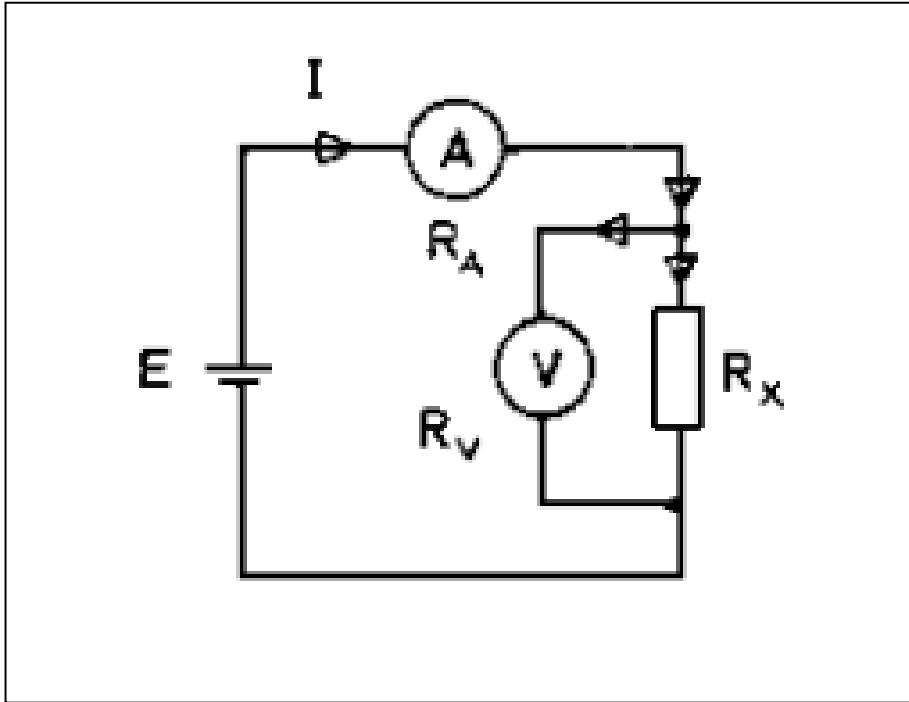
Tätä mittausmenetelmää käytetään yleensä sähköaseman maadoitusmittauksissa tai usean muuntopiirin yhteisen maadoitusjärjestelmän tarkassa mittauksessa.

Tyypillinen laaja-alainen maadoitusjärjestelmä on sähköaseman maadoitusverkko, johon ympäröivän 110 kV verkon pylväismaadoitukset ukkosköysien välityksellä sekä usein myös 20 kV ja pienjänniteverkon maadoitukset.

Laajan maadoituksen maadoitusresistanssin suuntaa-antava mittaus voidaan suorittaa käännepistemethodella, mittaus suoritetaan verkon reunalta ulospäin vähintään 200 m mittajohtimella.

Tarkka mittaus suoritetaan voltti-ampeerimethodella. Tämän mittauksen voi tilata muutamalta maadoitusmittauksiin erikoistuneilta yrityksiltä.

Vastuksen kautta kulkevan virran ja sen yli vaikuttavan jännitteen mittaaminen samanaikaisesti johtaa suhteellisen tarkkoihin tuloksiin laajalla mittausalueella. Kaksi tyypillisesti käytettyä voltti-ampeerimethodan kytkentää on lyhytkytkentä ja pitkäkytkentä.

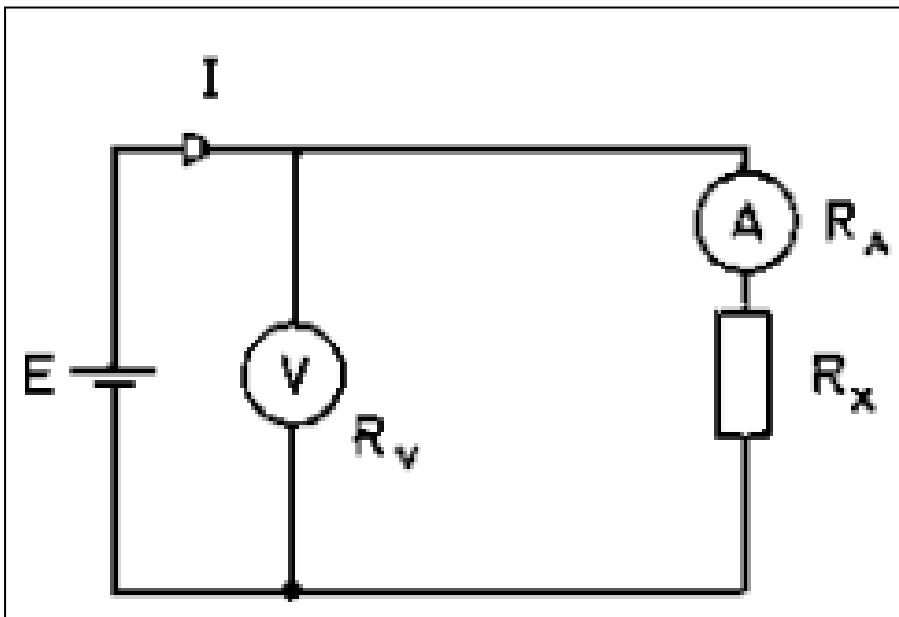


KUVIO 24. Lyhytkytentä

Lyhytkytentässä resistanssin suuruus saadaan yhtälöstä:

$$R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} \quad (29)$$

Kun R_x on pieni eli $R_x \ll R_v$, yhtälö yksinkertaistuu muotoon $R_x = U/I$.



KUVIO 25. Pitkäkytentä

Pitkäkytkennän tapauksessa primäärisestä mittaustuloksesta on vähennettävä ampeerimittarin

Sisäinen resistanssi:

$$R_x = \frac{U - U_A}{I} = \frac{U - R_A I}{I} = \frac{U}{I} - R_A \quad (30)$$

Kun R_x on suuri eli $R_x \gg R_A$, virtamittarin sisäistä vastusta ei tarvitse ottaa huomioon.

Jännitemittauksessa digitaalisten yleismittareiden sisäinen resistanssi on tyypillisesti 10 M Ω , kun taas virtamittauksessa sisäinen resistanssi riippuu valitusta herkkyysalueesta. Se on 0.01...100 herkkyysalueesta ja mittarista riippuen.

5.3.6 Maasulkumittausmenetelmä

Maasulkumittauksessa mitataan maasulkuvirta ja maadoituselektrodin yli vaikuttava maadoitusjännite. Mittaus voidaan suorittaa vain sellaisessa verkossa, joka on varustettu laukaisevalla maasulkusuojauksella. Resistanssi lasketaan kaavalla:

$$R = \frac{U}{I} \quad (31)$$

Jänniteapuelektrodi on vietävä riittävän kauaksi mitattavasta maadoituselektrodista. Mittaus suoritetaan kahdella jänniteapuelektrodin arvolla, mittaustulos ei saa muuttua. Koska mittaus suoritetaan jännitteellisenä, täytyy mitatessa noudattaa jännitetyöstä annettuja asetuksia.

5.4 Mittaustavan valinta

Uuden, tai peruskorjatun sähköverkon maadoitusten mittaamiseen tulee valita sellainen menetelmä, jossa mittaustulosten määrä on suuri. Mittaustulosten määrällä voidaan välttää yksittäisessä mittauksessa mahdollisesti esiintyvä virhe. Uuden muuntamon mittaustulosta ei yleensä voida verrata mihinkään vanhaan arvoon, kuten korvattavan- tai lähistöllä sijaitsevan toisen muuntajan arvoihin. Olemassa olevan rakenteen maadoitusarvoa mitattaessa on kuitenkin oleellista verrata saatua mittaustulosta edellisiin dokumentoituihin tuloksiin. Silloin, jos saadut mittaustulokset poikkeavat merkittävästi aiemmista tuloksista, vaatii maadoitus tarkempaa tutkimusta. Tästä johtuen määräraikaistarkastuksissa kannattaakin käyttää mahdollisimman yksinkertaista mittausten menetelmää.

Uuden ja peruskorjatun muuntopiirin PEN - johtimeen yhdistettyjen maadoitusten arvon määrittämiseen käytetään kohdassa 2.4.1.3 esiteltyä käännepestemennettä sekä kohdassa 2.4.1.4. esiteltyjen lisätoimenpiteiden mukaan. Mikäli uuden tai peruskorjatun muuntamon maadoituksia ei voida mitata jännitteettömänä, jätetään lisätoimenpiteet pois, koska maadoitusten avaaminen jännitteisenä aiheuttaa turhaa vaaraa niin mittajalle kuin laitteistolle. Saadut tulokset ja mittauspaikka mittausjohtojen levityssuuntineen kirjataan mittauspöytäkirjaan tulevia seuranta-mittauksia varten.

Määräaikaistarkastuksessa laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumattomien maadoitusten mittaaminen suoritetaan joko sovelletulle käännepestemennetelmällä tai oikealla käännepestemennetelmällä. Mikäli käytetään sovellettua käännepestemennettä, täytyy mittaus suorittaa samalta kohtaa ja samoilla mittajohtojen levityssuunnilla, kuin edellinen mittaus on suoritettu. Mittaustuloksia verrataan aiempiin tuloksiin. Mikäli tuloksissa on merkittäviä poikkeamia aiempien mittaustuloksiin nähden, suoritetaan perusteellisempi mittaus käännepestemennetelmällä, tarvittaessa mittaus suuntaa vaihtamalla. (KENET Oy:n yrityskohtaiset ohjeet, luettu 18.2.2013)

Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien muuntamoiden kausitarkastuksessa maadoitusjärjestelmän kuntotarkastus suoritetaan pihtimittarityyppisellä maadoitusesterillä mittaamalla kaapeliliitännäisen muuntamon maadoituskiskoon liitetyn jokaisen maasta nousevan maadoitusjohtimen maadoitusvastus. Samalla tulee testatuksi maadoitusjohtimen, elektrodin ja myös maadoituskiskon liitokset. (Verkkosuositus TJ 1:05,19)

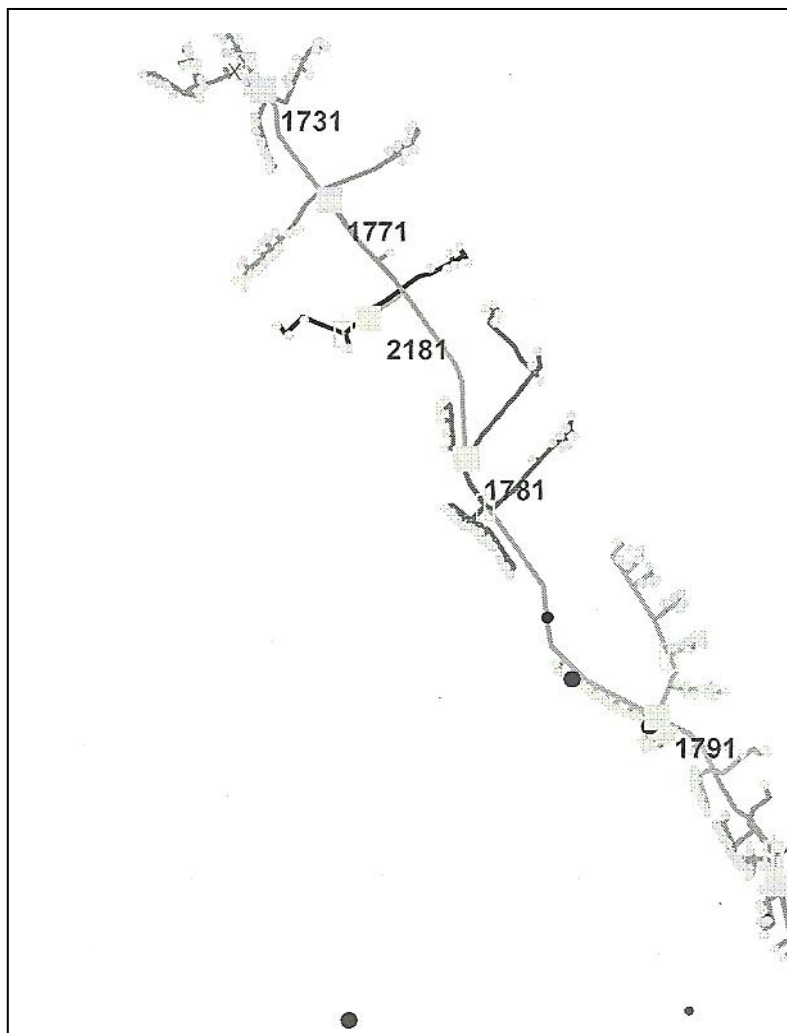
Yksittäisen, tai muutamasta suppealla n. 100 m alueella olevasta elektrodista muodostuvan maadoituksen arvo mitataan uudesta, tai peruskorjatusta verkosta käyttäen käännepestemennettä. Saatu mittaustulos on maadoituksen arvo suoraan. Saadut tulokset, ja mittajohdinten levityssuunnat merkataan mittauspöytäkirjaan.

Potentiaalirenkaat rakennetaan, niin että renkaan osat pysyvät erillään toisistaan ja elektrodeista, liittimellä tehtyä yhdistämistä lukuun ottamatta. Lenkin eheyden toteamiseen riittää esimerkiksi summerilla, tai vastusmittarilla tehty virtapiirin eheyden toteaminen käyttöönotto- ja määräaikaistarkistuksessa. (KENET Oy:n yrityskohtaiset ohjeet, luettu 18.2.2013)

6 LAAJA MAADOITUSJÄRJESTELMÄ KENET OY:N VERKOSSA

Tämän opinnäytetyön yhteydessä tehtiin selvitys siitä miltä osin KENET Oy:n verkko kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään, Kun tarkasteltiin verkon rakennetta, voitiin verkon reunaosista karsia haja-asutusalueet. Näissä välimatkat ovat pitkiä ja ne on toteutettu ilmajohdoilla. Näillä laajan maadoitusjärjestelmän toteutuminen ei tule kysymykseen. Kaupungin keskusta-alueella sekä suurteollisuusalueella laaja maadoitusjärjestelmä toteutuu hyvin. Näillä alueilla on tiheään rakennettu maadoitusverkko, jolloin sen eri pisteisiin yhdistettyjen laitteiden välinen impedanssi jää pieneksi.

Kun tarkasteltiin verkkoa lähemmin, osa-alue kerrallaan, pystyimme kartoittamaan kaikki laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvat alueet. Seuraavissa esimerkeissä on kuvattu esimerkkialueita jotka eivät kuulu laajaan osa-alueissa maadoitusjärjestelmään. Ensimmäisenä esimerkkinä on verkon osa-alue, jossa on toteutettu säteittäinen maadoitusjärjestelmä.



KUVIO 26. Säteittäin rakennetun verkon alueen keski- ja pienjänniteverkkoa

Tällainen säteittäinen maadoitusjärjestelmä syntyy yleensä juuri saaristossa ja hajaseutualueella, joissa huvilat ja asutus on keskitetty yhden linjan läheisyyteen

Säteittäiselle maadoitusjärjestelmälle piirteistä on, ettei siinä synny silmukoita. Kuten tässä esimerkissä pienjänniteverkko ei tee silmukoita vaan jakautuu säteittäin alueella.

Seuraavana voimme tarkastella aluetta joka on toteutettu niin sanotulla sekajärjestelmällä.



KUVIO 27. Sekajärjestelmällä toteutettu alueen verkkoa

Kuten kuviosta 28 näemme, syntyy siellä niin verkkomaista kuin säteittäistä verkkoa, kyseessä onkin niin sanottu sekajärjestelmä. Alueen sähköistys on toteutettu

kuitenkin ilmajohtoilla, eikä muuntajien väliin ole rakennettu yhdistäviä maadoituskaapeleita pitkien välimatkojen vuoksi. Tällä alueella laaja maadoitusjärjestelmä ei tule kysymykseen.

Taajama-alueella laaja maadoitusalue syntyy jo keskijänniteverkon kautta. Taajama-alueella muuntamoiden maadoitusten verkkomainen rakentaminen on järkevää toteuttaa muuntamoiden lyhyiden etäisyyksien takia, koska taajama-alueella voidaan laaja maadoitusjärjestelmä rakentaa kannattavasti. KENET Oy:llä taajama-alueella toteutettu laaja maadoitusverkko on toteutettu keskijänniteverkon muuntamoiden ja pienjänniteverkkojen välisten yhteyksien kautta. Kun muuntamoiden pienjänniteverkkojen välille on rakennettu varasyöttöjärjestelmä, niiden pienjänniteverkon PEN - johtimet on kytketty yhteiseen maadoitusjärjestelmään. Näin saadaan aikaan taajama-alueella lähes tasapotentiaalisuus.

6.1 Uuden muuntajan lisääminen laajaan maadoitusjärjestelmään

Uuden muuntajan liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään selvitetään jo suunnitteluvaiheessa. Kun uusi muuntamo liitetään laajaan maadoitusjärjestelmään, tulee:

Uuden muuntamon liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään varmistaa vastusmittauksella. Mittaus tulee suorittaa aina ennen jännitteen kytkentää uuteen muuntamoon. Kun uusi muuntamo liitetään keskijännitekaapelilla esim.: AHXAMK, käytetään uuden keskijännitekaapelin keskusköyttä mittajohtimena, jonka avulla selvittää, miten hyvin muut yhteydet on liitetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Jos muiden yhteyksien kautta syntyy hyvä pieniohminen yhteys, kytketään myös mittajohtimena toimiva keskusköysi keskijännitekojeiston maadoituskiskoon suunnitelman mukaisesti.

Varmistaa, että pienjänniteverkon kautta muodostuvat riittävät yhteydet laajaan maadoitusjärjestelmään. Jos yhteyksiä ei heti rakenneta riittävästi, ei synny laajaa maadoitusjärjestelmää tai se syntyy vasta myöhemmin. Muuntopiirin maadoitusjärjestelmän maadoitusvastus tulee tällöin mitata

Ilmajohtoalueilla varmistaa, että yhteydet laajaan maadoitusjärjestelmään syntyvät. Tarvittaessa rakennetaan esim. keskijännite verkon pylväisiin muuntamot yhdistävä maadoitusjohdin, jos PEN- johtimen kautta ei synny riittäviä yhteyksiä. Muuntamoiden välistä maadoitusjohdinta voidaan käyttää myös mittausjohtimena tutkiessa muiden yhteyksien hyvyyttä. (Verkostosuositus TJ 1:05, 18)

Uutta muuntajaa liitettäessä on tarkistettava, että laajan maadoitusjärjestelmän verkkomaisuus säilyy. Tähän on etenkin kiinnitettävä huomiota verkoston reuna-

alueilla ja harvaan asutuilla alueilla. Näillä alueilla voi syntyä tilanne, että järjestelmään kuulumattomalta muuntamolta syötetään laajan maadoitusjärjestelmän alueelle, jolloin vikatilanteessa suuri virta voi siirtyä esim. puhelinkaapelin kautta aiheuttaen vaikeuksia. Jos tarkistettaessa havaitaan tällaisia alueita, täytyy niiden syötöt joko erotettava niin, ettei vaaraa esiinny tai sitten rakennettava vikavirran kestävät yhteydet laajaan maadoitusjärjestelmään.

6.2 Maadoituksille tehtävät tarkastukset

Maadoitusten tarkastus suoritetaan muuntamoilla 6 tai 12 vuoden välein maadoitusmittaus suoritetaan 6 vuoden välein niille muuntamoille, joiden maadoitus- tai potentiaalihjousrenkas on liitetty vain yhdellä maadoitusjohtimella maadoitettavaan verkkoon. Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien muuntamoiden maadoitustarkastukset voidaan tehdä 12 vuoden välein. Koska ne liitetty vähintään kahdella maadoitusjohtimella tai maadoituksia voi olla useita.

Maadoitusten tarkastus voidaan suorittaa eimerkiksi muuntamoille tehtävän kuntotarkastuksen yhteydessä. Tällöin suoritetaan silmämääräinen maadoitusjohtinten ja niiden liitosten tarkastaminen. Näiden lisäksi suoritetaan maadoitusmittaukset. Maadoitustentarkastus mittaukset suoritetaan edellisen mittauksen kanssa samasta paikasta. Siksi onkin tärkeää rakentamisen jälkeen suoritettuna maadoitusmittauksen mittauspisteet ja mittaustulos dokumentoida tarkasti. Kun mittaus suoritetaan samasta paikasta kuin alkuperäinen mittaus, riittää tarkastusmittauksessa yksi 60 % mittauspiste. Jos mittaustulos on yhtä suuri tai pienempi kuin alkuperäisessä mittauksessa, voidaan tulosta pitää luotettavana ja todeta maadoitusten olevan kunnossa.

Suosittelavin tapa kuitenkin on mitata maadoitustarkastuksen yhteydessä samoin kuin käyttöönototarkastuksessa. Mitataan riittävän monta pistettä käyräntunnistamiseksi ja luetaan mittaustulos ja verrataan sitä päivitettyyn vaadittavaan arvoon. Näin menetellessä ei mittausta tarvitse suorittaa samasta paikasta kuin alkuperäinen mittaus on suoritettu. Voidaanhan olettaakin, että 6 tai 12 vuoden aikana maastossa on tapahtunut muutoksia (esim. rakentamista). Koska mittajohdinten maastoon vieminen vie kuitenkin suurimman osan ajasta, ei sen jälkeen muuttaman lisäpisteen mittaaminen vie paljon lisäaikaa. KENET Oy:llä päädyttiinkin siihen, että yksittäisille maadoituksille suoritetaan kuntotarkastuksen yhteydessä alkuperäisen mukainen mittaus.

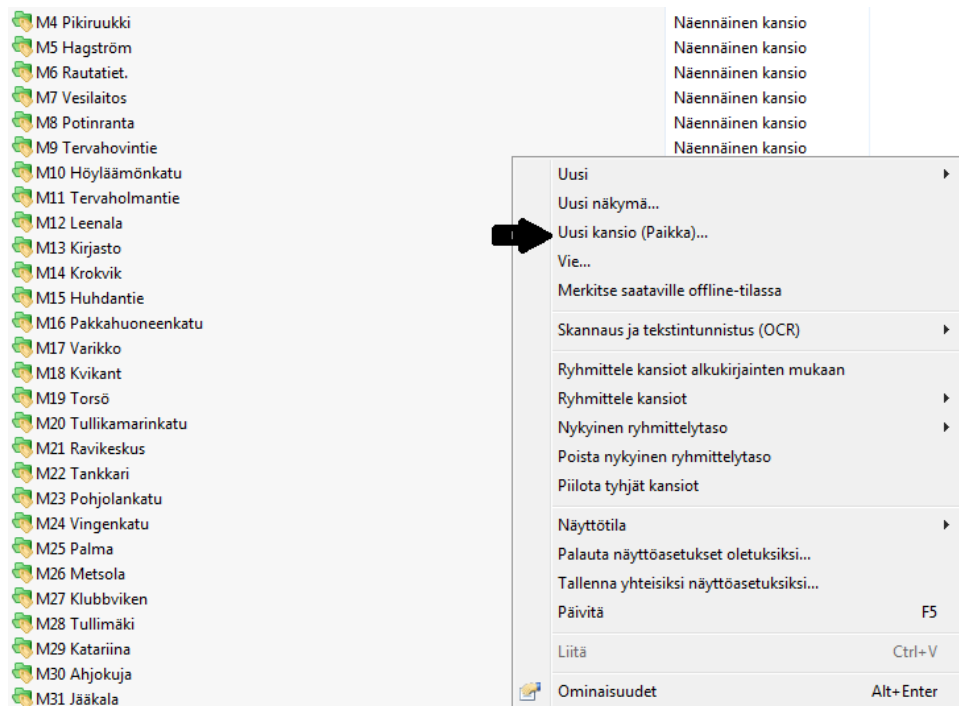
Laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien muuntamoiden maadoitusresistanssin mittaus suoritetaan pihtimittarilla. Kun jokainen maasta nousevan maadoitusjohtimen mittaus suoritetaan pihtimittarilla, tulee samalla testatuksi maadoitusjohtimen, elektrodien ja maadoituskiskojen liitokset. (Verkostosuositus TJ 1:05 19)

Koska maadoitusten tarkastusväli on pitkä, ja se on kuitenkin määrävälein tehtävä, päätettiin KENET Oy:llä hyödyntää maadoitusten tarkastamisen kontrolloimiseen M-Files -dokumentin hallintaohjelmaa. Tiedonhallintajärjestelmää lisättiin jokaiselle muuntamolle tehtävän anto maadoitustarkastusta sen mukaan, kuuluuko se laajaan maadoitusjärjestelmään vai ei. Ohjelma ilmoittaa kolme kuukautta ennen muuntajan tarkistusaikaa valitulle ryhmälle sähköpostitse tehtävästä, kunnes ohjelmaan syötetään tarkistuspäivä, jonka jälkeen ohjelma aloittaa uuden laskentakauden automaattisesti. Ohjelman avulla tarkistuksista vastaavat esimiehet voivat käydä katsomassa koosteen, vaikka seuraavan vuoden tulevista tarkastuksista ja voivat varata resursseja niiden suorittamiseen.

Seuraavassa on esitelty esimerkki siitä, miten uuden maadoitustarkastuksen ilmoituksen määrittelyn lisääminen tietokantaan tapahtuu.

6.3 Ilmoitusten määrittely M-Files tietokantaan

Uuden muuntamon luominen tapahtuu kohteittain näkymän kautta. Siirrytään kansiorakenteessa muuntamolistaan saakka. Kohteittain → Sähkönsiirtoverkko → Muuntamot. Saatuasi auki muuntamo listan, niin klikkaa hiiren oikealla ja valitse uusi kansio (paikka).



KUVIO 28. Uuden muuntamon luonti M-Files -tietokantaan

Tämän jälkeen muuntamon ominaisuuksiin lisätään seuraavat arvot:

- kuuluminen laajaan maadoitusjärjestelmään
- rakenne
- osoite

Ominaisuudet saa näkyviin klikkaamalla oikealla halutun muuntamon kohdalta ja valitsemalla listasta ominaisuudet. Uusia ominaisuuksia saa lisättyä lisää ominaisuuksia toiminnolla.

Ominaisuudet - M168 Lämpökeskus (Paikka)

Yleiset Ominaisuudet Työnkulku Kommentit Suojausasetukset Mukauta

Luokka: Paikka

Ominaisuudet:

Nimi tai otsikko: M168 Lämpökeskus *

Omistaja (Kohde): Muuntamot *

Laaja maadoitusjärjestelmä: [dropdown] ▶

Luotu: 27.8.2012 17:27 *

Luonut: Jussi Hintsala *

Viimeksi muokattu: 19.3.2013 12:50 *

Viimeksi muokannut: Heli Tolonen *

Laitapaikat... Lisää ominaisuuksia...

ID ja versio: ID 203, versio 2 (Paikka)

Varaa muokattavaksi OK Peruuta Käytä

KUVIO 29. Muuntamon ominaisuuksien määrittely M-Files -tietokantaan

Ominaisuuskortin täydentämisen jälkeen luodaan ennakkohuoltokortti, johon määritellään muuntamon tarkastusväli, sekä ajankohta milloin tarkastus on viimeksi suoritettu. Ennakkohuolto löytyy joko vasemmasta sivupalkista tai klikkaamalla hiiren oikealla ja valitsemalla uusi ja ennakkohuolto.

Ominaisuudet - M10 kausitarkastus (Ennakkohuolto)

Yleiset Ominaisuudet Työnkulku Kommentit Suojausasetukset Ilmoitukset

Luokka: Ennakkohuolto

Ominaisuudet:

Nimi tai otsikko: M10 kausitarkastus *

Laitekortti: [dropdown] + ▶

Tehty: 16. 5.2012 [calendar icon]

Huoltoväli vrk: 4380

Seuraava huoltoaika: 13.5.2024

Alue: [dropdown] + ▶

Kohteen ryhmä: Sähkösiirtoverkko [dropdown] + ▶

Kohde: Muuntamot [dropdown] + ▶

Paikka: M10 Höyläämönkatu [dropdown] + ▶

Laitapaikka: [dropdown] + ▶

Luotu: 13.2.2013 9:59 *

Suhteet... Lisää ominaisuuksia...

ID ja versio: ID 18, versio 1 (Ennakkohuolto)

Varaa muokattavaksi ◀ ▶ OK Peruuta Käytä

KUVIO 30. Ennakkohuoltokortin luonti M-Files -tietokantaan

Ilmoitusten määrittely löytyy yläpalkin asetusten alta. Ilmoitusten asetuksilla saadaan välitettyä tieto ennakkohuollosta henkilöille, jotka siitä vastaavat. Seuraavassa esimerkissä on määritelty ilmoitusten määrittely, joka löytyy yläpalkin asetusten alta. Ilmoitusten asetuksilla saadaan välitettyä tiedotus, joka ilmoittaa muuntamon ennakkohuollosta käyttäjäryhmälle (muuntamon kausitarkastajat). Ilmoitukset lähetetään koosteviestinä kerran päivässä, kun annetut ehdot toteutuvat. Eli kohde-tyyppi on ennakkohuolto ja päiviä jäljellä seuraavaan huoltoaikaan on vähemmän kuin 10.

Ilmoitussääntöjen ominaisuudet - Muuntajan ennakkohuolto

Yleiset

Nimi:

Viestin lähetys:

Yksityinen sääntö. Koskee ainoastaan tämänhetkistä käyttäjää.

Yhteinen sääntö. Koskee ainoastaan erikseen määriteltyjä vastaanottajia.

Suodatin

Kohdetyyppi = 'Ennakkohuolto' JA Ei ole poistettu JA 'Kohde' = 'Muuntamo' JA PäiviäJäljellä('Seuraava huoltoaika') < 10

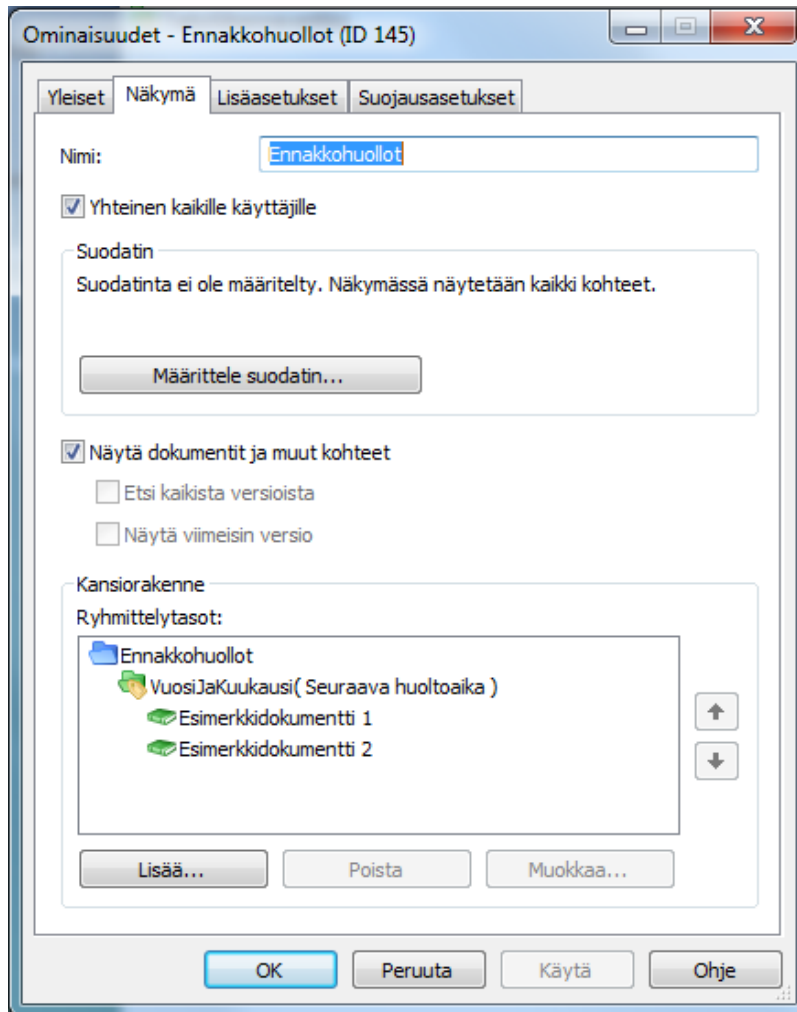
Tapahtumien tilaukset

Tapahtuma	Ilmoita
Uusi dokumentti tai muu kohde	<input type="checkbox"/>
Dokumentti tai muu kohde muuttunut	<input type="checkbox"/>
Dokumentin tai muun kohteen tila muuttunut	<input type="checkbox"/>
Dokumentti tai muu kohde vastaa suodattimen ehtoja	<input checked="" type="checkbox"/>
Muokausvaraus	<input type="checkbox"/>
Muokkauksesta palautus	<input type="checkbox"/>
Muokkauksen peruminen	<input type="checkbox"/>
Palautus vanhaan versioon	<input type="checkbox"/>
Tiedosto ladattu	<input type="checkbox"/>
Dokumentti tai muu kohde poistettu	<input type="checkbox"/>
Dokumentti tai muu kohde tuhottu	<input type="checkbox"/>
Dokumentin tai muun kohteen yksi versio tuhottu	<input type="checkbox"/>

Jätä pois tämänhetkisen käyttäjän aiheuttamien tapahtumien ilmoitukset

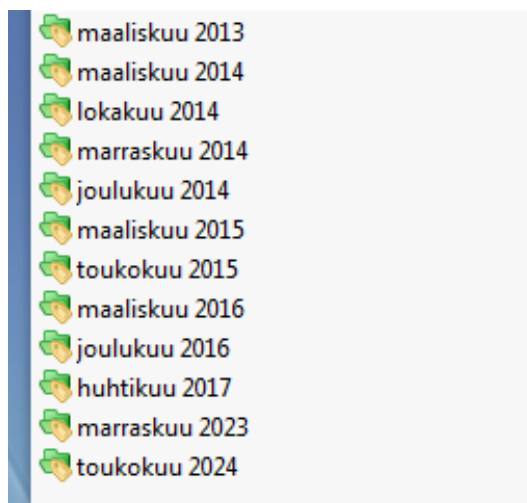
KUVIO 31. Ilmoitusten määrittely M-Files -tietokantaan

Näkymillä voidaan luoda kooste esimerkiksi muuntamoiden kausitarkastuksen ajoittumisesta. Jaottelu voi olla esimerkiksi vuosi tai vuosi ja kuukausi kohtainen. Näkymien luontitoiminto löytyy sivupalkista. Sieltä valitaan näkymän ikoni ja annetaan tarvittavat tiedot. Alla olevan esimerkin näkymä jaottelee ennakkohuollot vuoden ja kuukauden mukaan. Tiedot otetaan ominaisuudesta seuraava huoltoaika.



KUVIO 32. Muuntamoiden maadoitustarkastuksia ajanjaksoittain

Jaottelu näyttää tältä:



KUVIO 33. Jaottelu ajanjaksoittain

Lisäksi tehtiin muuntamokortit joita, voidaan hyödyntämään myös kausitarkastuksissa mittauspöytäkirjana. Laajan maadoitusjärjestelmän korteista käy ilmi, millaisten yhteyksien kautta muuntamo on liitetty laajaan maadoitusjärjestelmään. Mallit liitteenä 2-3

6.4 Käytettävät mittauslaitteet

6.4.1 Maadoitusresistanssin mittalaitteita

Markkinoilla on useita maadoitusresistanssin mittalaitteita, jotka soveltuvat käytettäväksi mitattaessa käännepistemenetelmällä tai sovelletulla käännepistemenetelmällä. On huomattava, että laitteet mittaavat maadoitusimpedanssia, kun toimivat esim. 128 Hz taajuudella. Mittalaitetta valittaessa täytyykin muistaa se, että laitteen taajuus ei voi olla 50 Hz eikä sen kerrannainen, ettei verkkovirta eivätkä sen yliaallot pääse sotkemaan mittaustuloksia.

Mittalaitteille on yleisesti asetettuja ominaisuus vaatimuksia, jotka niiden tulee täyttää. Mittalaitteen tulee olla standardin EN 61010 ja IEC 61557 mukainen. Maadoitusresistanssin mittalaitteen tulee toimia 128 Hz:n taajuudella tai mittalaitteessa pitää voida valita eri mittaustaajuuksia, jotka eivät ole 50 Hz kerrannaisia.

Mittalaitteilla tulee voida mitata myös maan ominaisresistansseja tai yhtiöllä pitää olla ainakin yksi tähän soveltuva mittalaite.

Mittalaite tulee varustaa 200 m ja 160 m mittajohtimella vakiona yleisesti toimitettavien 40 m mittajohdinten lisäksi.

Mittauslaitteen luotettavuus pitää olla testattu. Aika ajoin mittari pitää kalibroida toisten mittalaitteiden kanssa vertaamalla tai testauslaitoksella, jolla on kalibrointivälineet.

KENET Oy:n maadoitusvastuksen mittaamiseen käytettävät laitteet:



KUVIO 34. Megger DET3TC -mittalaite



KUVIO 35. Megger DET 5/4D -mittalaite

Sekä Megger DET3TC -mittalaite että Megger DET5/4D -mittalaite soveltuvat käänne pistemenetelmämittaukseen. Molemmissa mittareissa mittaustaajuus on 128 Hz. Testatessamme laitteita ja verratessamme molempien mittareiden mittaustukoksia keskenään, mittaustuloksen ero oli vain 0,1 Ω . Tästä voidaankin päätellä, että laitteet ovat kunnossa ja molemmilla mittalaitteilla saadaan tarka tulos.

Tarkemmat mittausohjeet ja mittalaitteiden käyttöohjeet on tehty yrityksen omaan käyttöön

6.4.2 Maadoitusten testauslaitteita

Markkinoilta löytyy maadoitusten testaukseen soveltuvia laitteita, joita usein nimitetään myös maadoitusmittareiksi. Ne soveltuvat yleisesti maadoitusten testauslaitteiksi kuntotarkastuksissa. Pihtimittarin kaltaisella laiteella mittaaminen maadoitusten kuntotarkastus on vaivatonta tehdä. Laitteet syöttävät mittaussignaalin mitattavaan maadoitusjohtimeen ja mittaavat kyseisen maadoituksen. Syöttävä ja mitattava pihti voivat olla erillisiä. Nämä kahden pihdin mittarit soveltuvat paremmin ”amerikkalaiseen” jakelujärjestelmään kuin eurooppalaiseen. Näitä voidaan kuitenkin käyttää maadoitusten testaamiseen, mutta yhden pihdin laitteet ovat kätevämpiä käyttää.

Yhden pihdin mittauslaitteille ominaista on , että ne toimivat korkealla taajuudella n. 2400 Hz. Suuri taajuus vaikuttaa siten, etteivät kaukana olevat maadoitukset vaikuta juurikaan mittaustulokseen.

Mittalaite syöttää samalla pihdillä mittaussignaalin, jolla mittaustapahtuu. Pihtimittarilla suoritettu mittaustapahtuu vain silloin, kun muodostuu silmukka muiden maadoitusten kautta. Laite näyttää siis yhteyden elektrodiin ja toisaalta esim. maadoituskiskoon. Näin laite soveltuu erinomaisesti testattaessa maadoituksen ja niiden liitosten toimivuutta. Jos maadoitusten rakentaja on ”erehdyksissä” työntänyt maadoitusjohtimen vain muuntajasta ulos, tulee tämä mittauksessa varmasti esille.

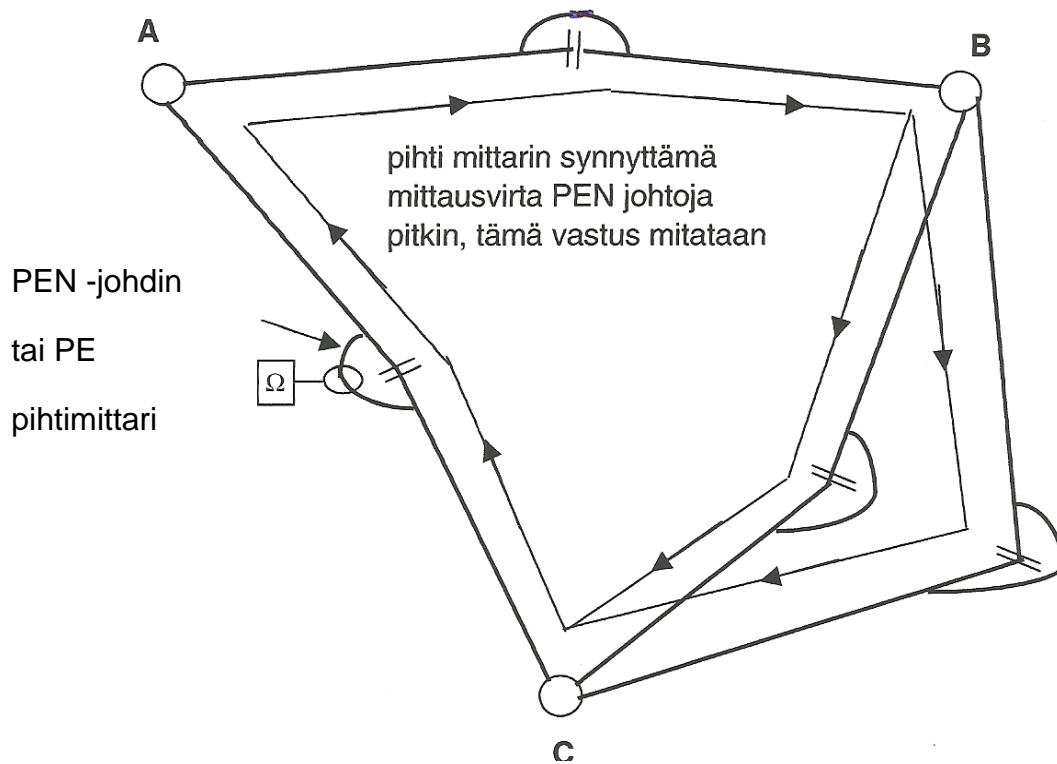
Pihtimittalaitteet soveltuvat myös vuotovirtojen mittaamiseen. Näin esimerkiksi maadoitusjohdon suuri nollavirta paljastuu ja samalla saattaa löytyä PEN-johdon huono liitos.



KUVIO 36. Fluke 1630 maadoitusvastuspihtimittari

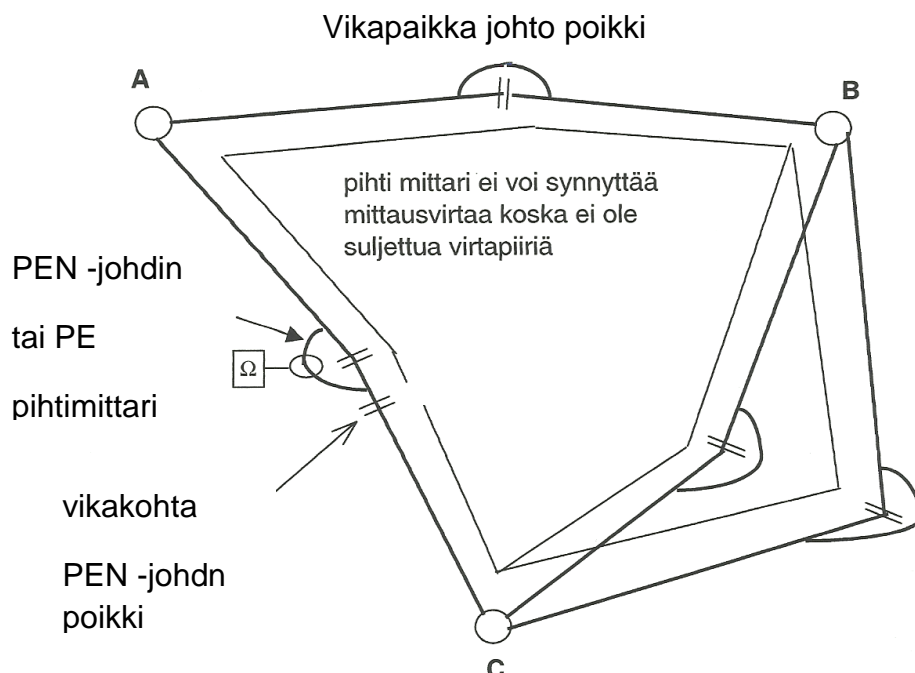
KENET Oy:llä käytössä on Fluken sekä Meggerin yhden pihdin mittauslaitteet. Nämä molemmat soveltuvat hyvin laajan maadoitusjärjestelmän maadoitusten tarkastukseen.

Seuraavissa kuvioissa on esitelty pihtimittarin käyttäytymistä tarkastusmittauksen yhteydessä.



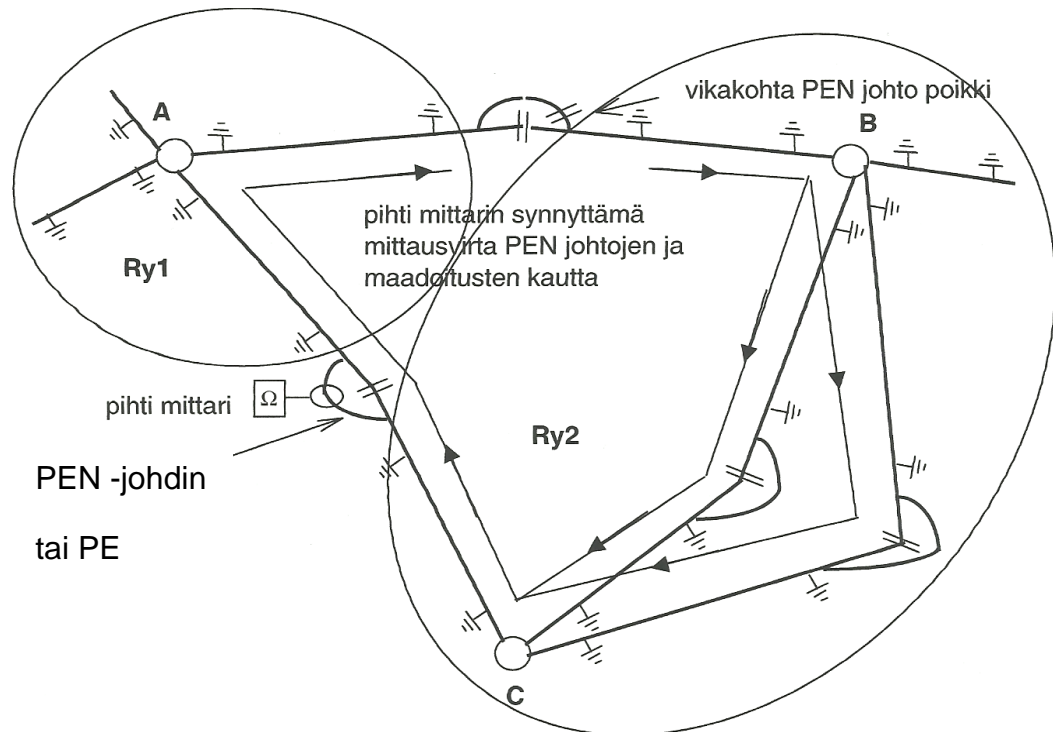
KUVIO 37. Laajan maadoitusjärjestelmän kuntomittaus, Yhteys on kunnossa.

Kun yhteys on kunnossa, maadoitusten testauslaitteella saadaan tulos, joka on yleensä noin 1...2 Ω . Mikäli mittaustulokseksi saadaan yli 10 Ω , vaatii maadoitus lisätutkimista.



KUVIO 38 Laajan maadoituksen kuntomittaus. Yksi yhteys onpoikki.

Kun yhteys on poikki maadoituspiirissä, pihtimittari näyttää tulokseksi ääretöntä eli mittarin maksimi lukemaa tai sitten se ei näytä tulosta lainkaan. Kun yhteys on poikki, niin silloin mittausvirta pääsee kiertämään maadoituksien kautta. Tällöin mittari näyttää maadoitusryhmien Ry 1 ja Ry 2 summaa.



KUVIO 39. Mittausvirran kiertosuunta

6.5 Maadoitusten dokumentointi

Laajan maadoitusjärjestelmän dokumentoinnista annetun suosituksen mukaan verkkotietojärjestelmistä tai / sekä verkkokartoista tulee käydä yksikäsitteisesti selville mitä muuntopiirejä kukin laaja maadoitusjärjestelmä sisältää ja miten eri muuntopiirien maadoitukset yhdistyvät maadoitusjärjestelmään (Verkostosuositus TJ 1:05 ,9)

Laajan maadoitusjärjestelmän syntyminen tulisi osoittaa piirtämällä kaavio maadoitusjärjestelmien yhteyksistä.

SFS-standartin 6001 maadoitusjärjestelmästä tulisi olla käytettävissä asemapiirros, josta selviää maadoituselektrodien materiaali ja sijainti, elektrodien haaroituspisteet sekä asennussyvyys. (SFS-käsikirja 601, 2009, opastava liite P, 119)

Kenet Oy:llä on käytössä ABB:n Integra -ohjelma, tämä ei sovellu laajan maadoitusjärjestelmä dokumentointiin, niin kuin yrityksessä haluttiin. Verkkokartta ohjelmaksi suunniteltiin Keypron ylläpitämää Key Energy- ohjelmaa, jota voidaan maadoitusten lisäksi hyödyntää muidenkin maanalaisten rakenteiden dokumentointiin..

Key Energy -ohjelmaan voidaan siis määrittää erilaisia kaapelointeja (suurjännite, keskijännite, pienjännite, ohjauskaapeloinnit ja maadoitukset), kullekin kategorian sisällä sitten voidaan sanoa tarkemmin kaapelin tyyppikoodi, joka saadaan viitteenä kartalle.

Keyprolla on rajapinta ABB:n Integraan, joten tiedot saadaan sieltä siirtymään lähötiedoiksi sijaintikartalle. Maadoituskartta voidaan tehdä myös täysin itsenäisenä ns ekavaiheena, jos sellainen on tarpeen.

Järjestelmä toimii selaimessa, joten mitään työasemaohjelmaa ei tarvitse asentaa, pelkkä selain riittää. Kuten seuraavasta kaaviosta näemme, ohjelma tarjoaa useita käyttömahdollisuuksia.



© Keypro Oy

Keypro 2012

KUVIO 40. Key Energy -ohjelman käyttömahdollisuudet KENET Oy:n verkossa.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää ratkaisut KENET Oy:n laajan maadoitusjärjestelmän dokumentointiin. Työssä käytiin läpi niitä edellytyksiä mitä laaja maadoitusjärjestelmä vaatii ja millaista dokumentaatioita siitä vaaditaan todentamiseen.

KENET Oy:llä saatiin tämän opinnäytetyön yhteydessä tehtyä selvitys siitä, miltä osin yhtiön verkko kuuluu laajaan maadoitusjärjestelmään. Dokumentointiin löydettiin sellainen ratkaisu, että sitä voidaan hyödyntää laajemmalti yhtiön toiminnassa.

Opinnäytetyön pohjalta laadittiin toimintaohjeet verkon parissa työskenteleville, jotka on tarkoitettu yrityksen omaan käyttöön. Tarvittavat henkilöstökoulutukset järjestetään kevään kuluessa.

Opinnäytetyönä laaja maadoitusjärjestelmä oli mielenkiintoinen ja haastava, mutta Tälle opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin.

LÄHTEET

1. Suomen standardoimisliitto ry SFS.SFS-KÄSIKIRJA 601, suurjännite sähköasennukset ja ilmajohdot 1. painos 2009
2. Energiateollisuus ry. Verkkosuositus RM 5:03, Pylväsmuuntamon maadoitusjohtimet, ylijännitesuojaus ja eläinsuojaus
3. Energiateollisuus, Verkostosuositus TJ 1:05, Sähköverkkojen maadoitusmittaukset
4. Energiateollisuus, verkostosuositus RJ 19:06, pylväserotinasemien ja muuntamoiden maadoitukset standardin SFS 6001ja muutoksen A1 mukaan
5. Energiateollisuus. Verkostosuositus SA 2:08, pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen.
6. Lakervi & Partanen, sähkönjakelutekniikka,2008
7. Energiateollisuus, verkostosuositus YJ 1:08,sähköverkonhaltijan sekä televerkko-operaattorien pylväiden ja maadoitusten yhteiskäyttöä koskeva toimintaohje
8. Sähkö- ja teleurakointiliitto STUL, maadoituskirja,2007
9. ABB.n TTT-käsikirja, teknisiä teitoja ja taulukoita, 2000-07
- 10.KENET Oy.n yrityskohtaiset ohjeet
- 11.Sähköposti Ari Rummukainen/Keypro, lähetetty 6.2.2013
- 12.DI Esa Tiainen, D1-2009 käsikirja rakennusten sähköasennuksista, 2010
13. Adato Energia Oy, sähköverkon maadoitukset ja ylijännitesuojaus, 1998

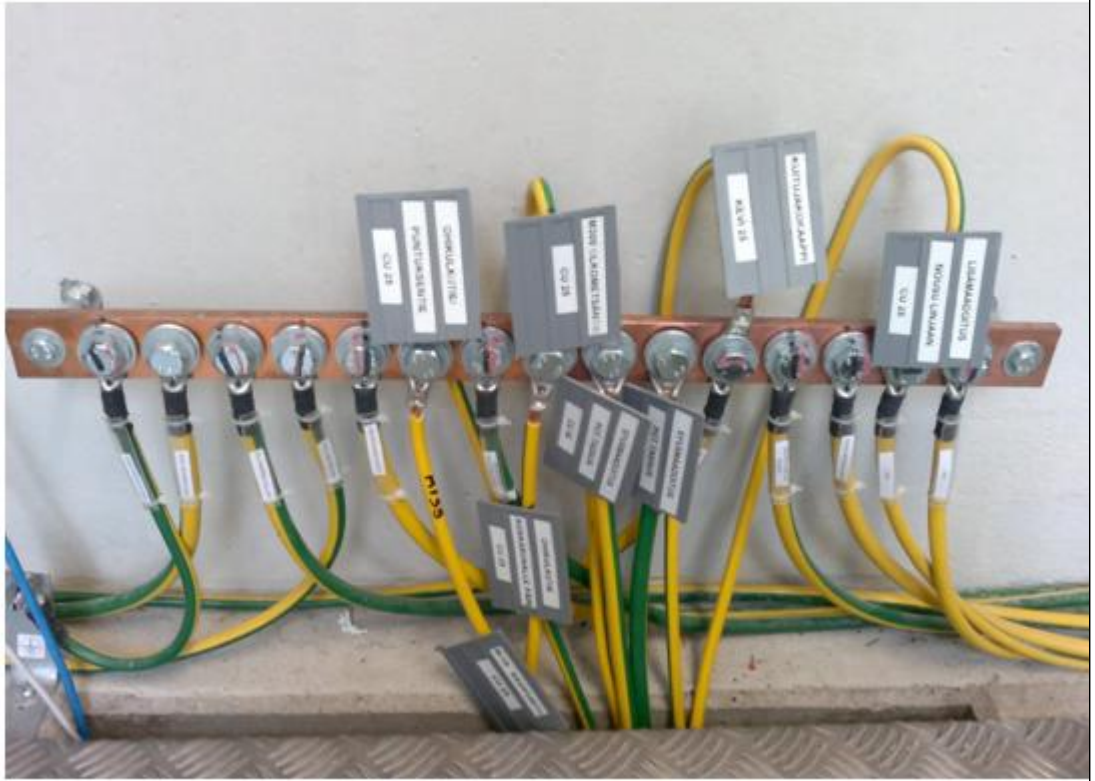
LIITTEET

1. Maadoituskortti
2. Muuntamokortti laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvalle muuntamolle
3. Muuntamokortti yksittäisen maadoituksen muuntamolle

LIITE 1 Maadoituskortti

MAADOITUSKORTTI																																										
URAKOITSIJA: KOKKOLAN ENERGIA																																										
Muuntamon tai kytkinlaitoksen tiedot																																										
Numero		Nimi		Osoite																																						
Pvm		Allekirj.		Selvennys																																						
Mittauksen svv <input type="checkbox"/> Kunnossapito- ja huoltomittaus <input type="checkbox"/> Käyttöönottomittaus <input type="checkbox"/>				Mittauskohde <input type="checkbox"/> Muuntamo <input type="checkbox"/> Erolinasema <input type="checkbox"/> Linjaerotin <input type="checkbox"/> Muu		Laitteisto maadoitettu <input type="checkbox"/> Yhdestä <input type="checkbox"/> Useammasta																																				
Mittausmenetelmä <input type="checkbox"/> Käännepestemenetelmä <input type="checkbox"/> Pihtimittaus <input type="checkbox"/> Vastusmittaus <input type="checkbox"/>				Kytkeinlaitoksen potentiaaliohjaus <input type="checkbox"/> 1 rengasta <input type="checkbox"/> 2 rengasta		Mittaussuunta: <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 100px; height: 100px;"> <tr><td></td><td></td><td></td><td>P</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>I</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>E</td><td></td><td></td></tr> </table>				P									L					I																E		
			P																																							
L					I																																					
			E																																							
Maadoituksen mittaus																																										
Pvm.	Mittaaja	Suoja / Ω	Käyttö / Ω	Yhdistetty / Ω	Pihtimitt. / Ω	Pot.ohj. / Ω																																				
Vaadittu arvo																																										
Käännepestemenetelmä																																										
Ohm																																										
m	60	80	100	120	140	160																																				
Ry / Ω																																										
15																																										
14																																										
13																																										
12																																										
11																																										
10																																										
9																																										
8																																										
7																																										
6																																										
5																																										
4																																										
3																																										
2																																										
1																																										
0																																										
0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220																															
I / m																																										
Pisteet 160...60 m mitataan, eli 6 pakollista mittauspistettä käyrän muodostamista varten. Ry-asteikko voidaan tarpeen mukaan kymmenkertaistaa merkkamalla siihen nollat perään.																																										

Muuntamon numero ja nimi



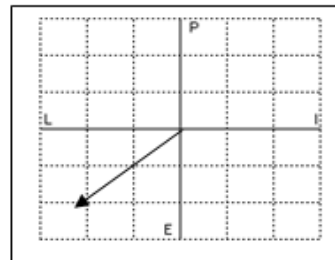
Maadoitus järjestelmä

- Laaja maadoitusjärjestelmä
 Yksittäinen maadoitus

Pihtimittari

- Megger
 Fluke

Mittaussuunta



Käyttöönottotarkastuksen mittaus tulos

_____ Ω

Maadoitus yhteydet _____ Uusimittaus päivä _____ / _____ 20 _____

Nro	Maadoitus	Käyttöön- otto tark. Ω	Tarkistus mittaus Ω
7	Lisämaadoitus tielle xxx Cu 25	0,121	
8	Syvämaadoitus /potentialin taseaus Cu 50	0,064	
9	Syvämaadoitus /potentialin taseaus Cu 50	0,064	
10	Lisämaadoitus xxxtielle Cu 25	0,320	

Mittajaan allekirjoitus _____

Nimen selvennys _____

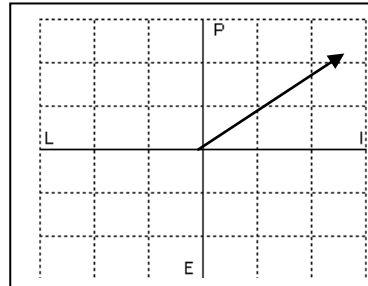
Muuntamon numero ja nimi

Maadoitusjärjestelmä

- Laaja maadoitusjärjestelmä
 Yksittäinen maadoitus

Mittalaite

- DET 3 TC
 DET 3 TC



Alkuperäinen mittausulos

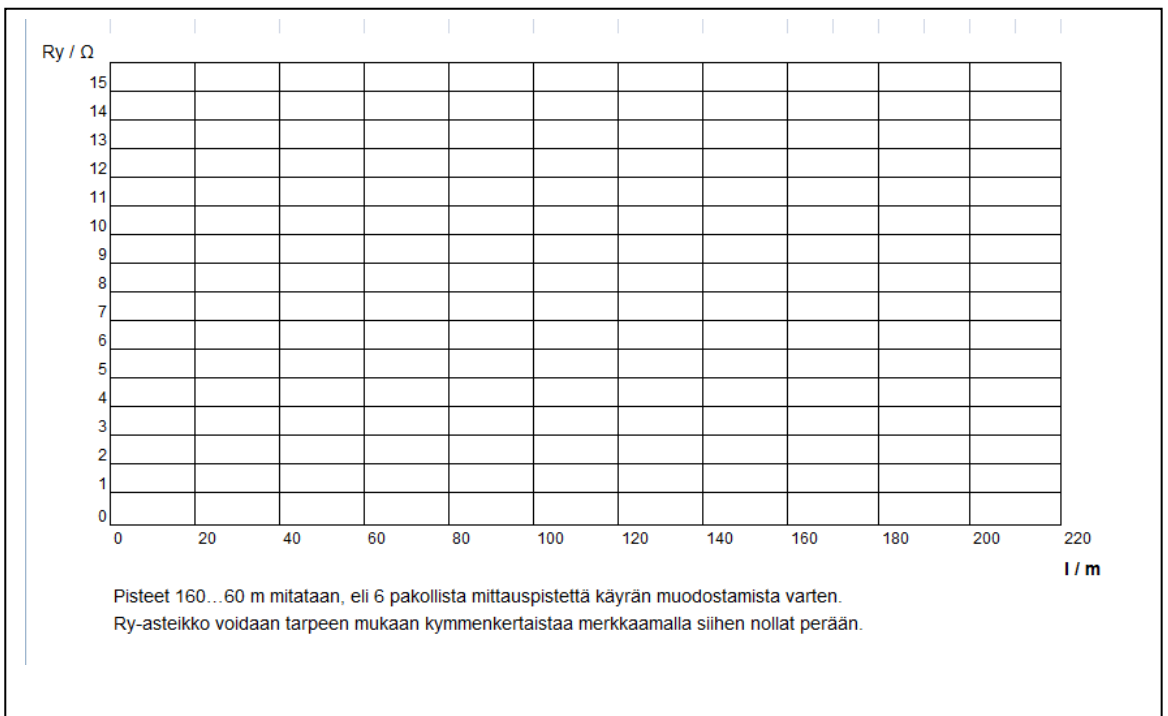
_____ Ω

Maadoitus yhteydet

Uusimittaus pvä _____ / _____ 20____

Käännepistemenetelmä

Ohm						
m	60	80	100	120	140	160



Mittaajan allekirjoitus: _____

Nimen selvennys: _____