



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Janne Silvonen

MAAKAAPELIEN OSITTAISPUR- KAUSMITTAUKSET

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Janne Silvonen
Opinnäytetyön nimi	Maakaapelien osittaispurkausmittaukset
Vuosi	2018
Kieli	Suomi
Sivumäärä	44
Ohjaajat	lehtori Jari Koski aluepäällikkö Jari Nurmenrinta

Opinnäytetyö tehtiin Voimatel Oy:lle Pohjanmaan toimipisteeseen. Työn tavoitteena oli tutkia keskijännitemaakaapeleissa tapahtuvia osittaispurkauksia käytännössä sekä teoreettisesti. Lisäksi työssä tehtiin ohjeistus osittaispurkausten mitaamiseen käyttöpaikalla DAC-tekniikalla sekä VLF-tekniikalla. Työ haluttiin tehdä, koska Voimatelin saamassa maakaapelointiurakassa tilaaja vaati kaikkien asennettujen keskijännitemaakaapelien tarkistuksen osittaispurkausmittarilla. Osetetun mittarin mukana tuli vain englanninkieliset käyttöohjeet, joten Voimatel halusi saada mittarille myös suomenkieliset käyttöohjeet.

Työssä esiteltiin maakaapelien eristystapoja sekä niiden rakennetta. Työssä käsiteltiin erilaisia syitä osittaispurkausten syntymiseen. Työssä kerrottiin teoreettisesti, mitä osittaispurkaukset ovat ja minkälaisia osittaispurkaustyyppisiä maakaapeleissa esiintyy. Lisäksi työssä kerrottiin, kuinka osittaispurkauksia mitataan käyttöpaikalla.

Työn tekemisessä käytettiin apuna osittaispurkauksiin liittyvää kirjallisuutta sekä asiantuntijoiden opastusta. Osittaispurkausmittarin vastaanottamisen jälkeen saatiin kouluttaja Saksasta kertomaan ja opastamaan, kuinka mittauksia tehdään käytännössä sekä ohjeistamaan, miten mittaustuloksia analysoidaan.

Osittaispurkausmittauksissa käyttöpaikalla saatiin selville huonosti tehdyt kaapelijatkokset sekä kaapelin päätteet. Työssä huomattiin myös kuinka normaalissa käyttöönottomittauksessa ei saatu selville samoja asennusvirheitä kuin osittaispurkausmittarilla. Työ antoi käsityksen siitä, mitä osittaispurkaukset ovat ja kuinka osittaispurkausmittaukset suoritetaan. Myös mittaustuloksien tulkitseminen helpottui. Työssä saatiin myös yrityksen hankkimalle osittaispurkausmittarille suomenkielinen ohjeistus mittausten suorittamiseen.

Avainsanat maakaapeli, keskijännite, osittaispurkaus, osittaispurkausten mittaus, DAC-mittaus

ABSTRACT

Author	Janne Silvonen
Title	Partial Discharge Measurements for Underground Cables
Year	2018
Language	Finnish
Pages	44
Name of Supervisors	Jari Koski, Principal Lecturer Jari Nurmenrinta, Area Manager

This thesis was done for Voimatel Oy in Pohjanmaa's office. The objective of this thesis was to study partial discharges in medium voltage underground cables both practically and theoretically. In addition, instructions for measuring the partial discharges were made for both the DAC-technique and the VLF-technique. The thesis was made, because the client wanted to make the partial discharge measurements for all new medium voltage underground cables. The partial discharge meter that Voimatel bought had only English instructions so in this thesis the instructions were written in Finnish.

Different insulation types and structure of the medium voltage underground cables are dealt with in this thesis. Different types of partial discharges are discussed. In this thesis partial discharges are explained theoretically and various types of partial discharges are shown. In addition, instructions for measuring the partial discharges on site are shown.

This thesis used references from literature about partial discharges and guidance of experts. When the partial discharge meter was received, German instructor came and to brief how to measure the partial discharges and how to analyze the results.

In partial discharge measurements on site badly made joints and terminations were found. The partial discharge meter found the installation errors that were not discovered in normal introductory inspections. This thesis helped to understand, what the partial discharges are and how to measure the partial discharges. Analyzing the measuring results became easier. The company also received Finnish instructions for the partial discharge meter.

Keywords Underground cable, medium voltage, partial discharge, measuring the partial discharges and DAC-measurement

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKIT

1	JOHDANTO.....	9
2	MAAKAAPELIT	10
	2.1 Polymeerieristeiset kaapelit	10
	2.2 Eristeiden vanheneminen	11
3	OSITTAISPURKAUKSET	14
	3.1 Sisäiset osittaispurkaukset	14
	3.2 Pintapurkaukset.....	15
	3.3 Koronapurkaukset	15
	3.4 Osittaispurkauksien tarkastelu	15
4	OSITTAISPURKAUSTEN MITTAUS	16
	4.1 DAC-mittaus	16
	4.2 VLF-mittaus	17
5	MITTALAITE.....	18
	5.1 Megger TDS60.....	18
	5.1.1 Laitteen kytkennät	18
	5.2 Megger PDS 60.....	21
	5.2.1 Laitteen kytkennät	21
6	MITTAUKSIEN TOTEUTUS	23
	6.1 DAC-mittauksen toteutus.....	23
	6.1.1 Kaapelin lisääminen	23
	6.1.2 Suoritettavan mittauksen valinta	27
	6.1.3 Kaapelin kalibrointi.....	29
	6.1.4 Mittauksen suorittaminen.....	31
	6.1.5 Raportin luominen.....	34

6.1.6	Mittausten analysointi	38
6.2	VLF-mittauksen toteutus	39
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	41
	LÄHTEET.....	43

KUVALUETTELO

Kuva 1. Prysmian Oy:n AHXAMK-W 20 kV kaapeli. /3/	10
Kuva 2. Vented-puu. /10/	12
Kuva 3. Bow-tie-puu. /10/	12
Kuva 4. Sähköpuu eristeen pinnalla. /7/	13
Kuva 5. Osittaispurkauksen syntyminen syyt. /7/	14
Kuva 6. DAC-mittauksen jännitteen muoto. /7/	16
Kuva 7. DAC-mittauksen periaatekuva. /9/	17
Kuva 8. Suorakulmaisen kosiniaallon muoto. /8/	17
Kuva 9. Megger TDS60-mittari.	18
Kuva 10. TDS60-mittarin kytkennät. /8/	19
Kuva 11. Mittalaitteen kaapelien kytkennät. /8/	20
Kuva 12. Kolmen vaiheen mittaaminen samanaikaisesti. /12/	20
Kuva 13. SF6-adapteri. /12/	20
Kuva 14. Megger PDS 60-lisälaite.	21
Kuva 15. Kytkentäkuva, kun tehdään DAC-mittausta. /9/	22
Kuva 16. Vääränlainen ja oikeanlainen kaapelin sijoitustapa. /9/	22
Kuva 17. Ohjelman käynnistytksenjälkeinen ohje. /11/	24
Kuva 18. Kaapelin lisäys. /11/	24
Kuva 19. Kaapelien hallinta. /11/	24
Kuva 20. Uuden kaapelin luominen. /11/	25
Kuva 21. Sections-ikkuna. /11/	26
Kuva 22. Kaapelin tyypin valinta sekä pituus. /11/	26
Kuva 23. Onnistunut kaapelien lisäys. /11/	27
Kuva 24. Kaapelijatkon tyypin valinta. /11/	27
Kuva 25. Uuden mittauksen luominen. /11/	28
Kuva 26. Mitattava kaapeli. /11/	28
Kuva 27. Kalibrointilaite.	29
Kuva 28. Kalibrointilaitteen kytkentä. /8/	29
Kuva 29. Kalibrointi-ikkuna. /11/	30

Kuva 30. Kalibrointitulos. /11/	31
Kuva 31. DAC-mittauksen suorittaminen. /11/	33
Kuva 32. Mittarin painikkeet.....	33
Kuva 33. Maadoitussauva. /13/	34
Kuva 34. Q(t)/U(t)-valikko. /11/	34
Kuva 35. PRPD-valikko. /11/	34
Kuva 36. Raportin luomisen etusivu. /11/	35
Kuva 37. Raporttiin valittavat kohteet. /11/	35
Kuva 38. IEC taulukko. /11/	36
Kuva 39. Raporttiin liitettävä kalibrointitulos. /11/.....	36
Kuva 40. PD-mapping. /11/	37
Kuva 41. Q(t)/U(t)-kuvaaja. /11/	37
Kuva 42. PRPD-kuvaaja. /11/	37
Kuva 43. Osittaispurkaus eristeessä. /11/	39
Kuva 44. VLF-mittauksen valinta. /11/	39
Kuva 45. VLF-testin näyttö.....	40

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKIT

PD	partial discharge, osittaispurkaus
DAC	damped AC, vaimeneva vaihtojännite
VLF	very low frequency, erittäin matala taajuus
q	näennäisvaraus
pC	pikocoulombi
U_i (PDIV)	partial discharge inception voltage, osittaispurkauksen syttymisjännite
U_e (PDEV)	partial discharge extinction voltage, osittaispurkauksen sammumisjännite
PEX (XLPE)	cross-linked polyethylene, ristisilloitettu polyeteeni
PVC	polyvinyylikloridi
EPR	eteeni-propeenikumi
Hz	hertsi
kV	kilovoltti

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Voimatel Oy:lle. Työssä selvitetään, mitä osittaispurkaukset ovat ja miten ne syntyvät sekä ohjeistetaan, kuinka osittaispurkausmittaukset tehdään maakaapeleille sähköjakeluverkossa.

Maakaapeleissa osittaispurkaukset voivat syntyä huonon asennuksen, ylikuormituksen tai eristeen valmistusvirheen ansiosta. Osittaispurkaukset laskevat kaapeleiden käyttöaikaa sekä sähköjakeluverkon luotettavuutta. Maakaapeleille tehtävä käyttöönottomittaus osittaispurkausmittarilla auttaa urakoitsijoita vikojen löytämisessä ja varmistaa maahan asennetun kaapelin sekä siihen asennettujen kaapelivarusteiden toimivuuden. /1/

Voimatel Oy perustettiin vuonna 2001, jolloin perusosakkaina olivat Savon Voima Oy ja Kuopion Puhelin Oy. Nykyisin Voimatel Oy:n omistaa osuuskunta KPY. Voimatelin asiakkaina ovat muun muassa Keski-Euroopan sekä Itämeren alueen teleoperaattorit ja Suomen merkittävimmät sähkönsiirto- ja jakeluverkko-yhtiöt. Voimatel työllistää nykyisin noin 900 henkilöä. /2/

2 MAAKAPELIT

Keskijänniteverkon rakentamisessa käytetään muovilla tai öljypaperilla eristettyjä kaapeleita. Voimatelillä käytössä on pelkästään muovieristeisiä kaapeleita. Yleisin käytetty kaapeli on alumiinijohtiminen, PEX-eristeinen maakaapeli.

2.1 Polymeerieristeiset kaapelit

Polymeerieristeiset kaapelit voidaan jakaa muoveihin ja kumeihin. Pienjännitteellä käytetään pääasiassa PVC-eli polyvinyylidikloridieristeisiä kaapeleita ja keskijännitteellä EPR eli eteenipropeenikumi, PE eli polyeteeni tai PEX eli ristosilloitettu polyeteenieristeisiä kaapeleita. Keskijännitteellä yleisin käytetty eristemateriaali on PEX-eristeinen AHXAMK-W-kaapeli (**Kuva 1.**), joka tunnetaan myös nimellä Wiski. PEX-eristeessä käytössä on pientiheksinen polyeteeni, johon on lisätty valmistusvaiheessa peroksidia. Johtimen päälle laitetaan puolijohtava kalvo ja vasta sen päälle varsinainen eriste. Eristeen päälle laitetaan hohtosuoja, jonka jälkeen vulkanoidaan eristys. /4/



Kuva 1. Prysmian Oy:n AHXAMK-W 20 kV kaapeli. /3/

Kaapelille suoritetaan vulkanointi, jonka aikana polymeeriketjujen välille syntyy sidoksia. Vulkanointi tehdään noin 130°C lämpötilassa. Vulkanoinnissa käytetään peroksidia, joka parantaa eristeen sähköisiä ja mekaanisia ominaisuuksia. Kaapeli varastoidaan ja annetaan jäähtyä vulkanoinnin jälkeen, jotta eristeeseen jääneet jännitykset laukeavat ja kaasumaiset jätteet, joita on syntynyt kemiallisissa prosesseissa, poistuvat. Osittaispurkausten syttymistä sekä puumaisten purkauskanavien kasvua vaikeutetaan lisäämällä eristeeseen stabilaattoreita. /4/

Kaapelin varastoimisen jälkeen hohtosuojan päälle laitetaan nauha, joka estää veden pitkittäisen etenemisen kaapelissa. Tämän jälkeen kaapelille laitetaan armeeeraus, joko kuparista tai alumiinista. Viimeisenä kaapelille laitetaan uloin kerros muovista. /4/

2.2 Eristeiden vanheneminen

PEX-eriste voi vanhentua esimerkiksi mekaanisen, kemiallisen tai sähköisen heikkenemisen takia. Eristeen sisään voi muodostua pieniä koloja tai tiheämpiä alueita, koska polymeerit muodostuvat lopullisesti useiden vuosien kuluessa. /5/

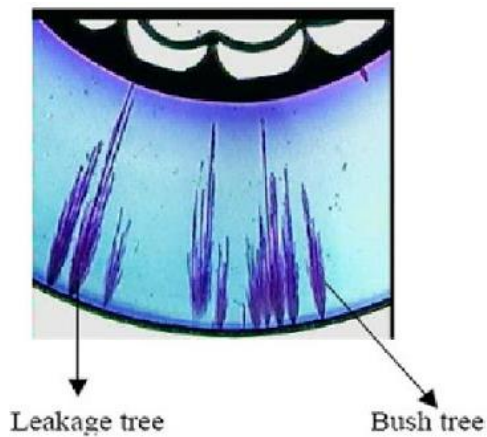
Mekaaninen heikkeneminen voi johtua kaapelin taittelusta tai asennusvaiheessa tapahtuneista virheistä. Kaapelin taitoskohdassa kentänvoimakkuus on suurempi kuin muualla ja tämä altistaa kaapelin osittaispurkauksille. Tämä on PEX-eristeisillä kaapeleilla vaarallista, sillä niillä osittaispurkausten kesto on huono. /5/

Kemiallinen heikkeneminen tapahtuu pitkien polymeeriketjujen katketessa. UV-säteilylle sekä otsonille altistuminen nopeuttaa kemiallista heikkenemistä. PEX-eriste on kuitenkin hyvin suojassa maan alla, joten kemiallinen heikkeneminen on PEX-eristeellä harvinaista. /5/

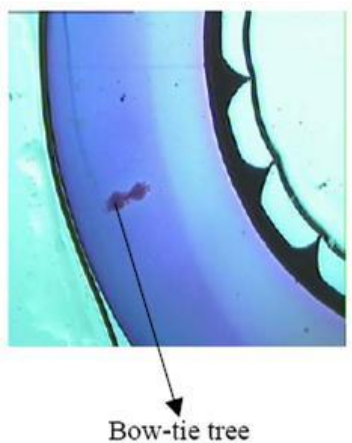
Sähköinen heikkeneminen on PEX-eristeelle kaikkein vaarallisinta. Sähköistä heikkenemistä ovat osittaispurkaukset, sekä sähkö- ja vesipuut. PEX-eristeinen kaapeli on maan alla alttiina kosteudelle, joka voi aiheuttaa vesipuita. /5/

Vesipuu syntyy kosteudesta kaapelin eristeen sisällä, joka on jäänyt kaapelin sisälle valmistuksessa tai asennuksessa. Kaapelipääteestä tuleva kosteus sekä asennuksen aikana tullut reikä ovat yleisimpiä syitä vesipuiden syntyyn. Vesipuita on kahdenlaisia, vented-puu (**Kuva 2.**) ja bow-tie-puu (**Kuva 3.**). Vaarallisin vesipuu-tyyppi kaapelille on vented-puu. Bow-tie-puut syntyvät eristeen sisällä ja vented-puut PEX-eristeen tai puolijohtavan kerroksen rajapinnassa. Bow-tie-puut eivät yleensä kasva kuin kymmenien millimetrien kokoisiksi, kun taas vented-puut eivät lopeta kasvamistaan ennen kuin kosteus on hävinnyt eristeestä ja ne

voivat läpäistä koko eristekerroksen. Vesipuut voivat korjaantua kosteuden poistuessa eristeestä. /5/



Kuva 2. Vented-puu. /10/



Kuva 3. Bow-tie-puu. /10/

Sähköpuut (**Kuva 4.**) muodostavat epähomogeenisen rakenteen eristeeseen, kun eristeessä on likahiukkasia, vesipuita tai onkaloita. Likahiukkaset, onkalot ja vesipuut aiheuttavat osittaispurkauksia, joista sähköpuut syntyvät. Erona sähköpuilla vesipuihin on, että vesipuut voivat korjaantua ajan myötä, mutta sähköpuut jäävät eristeeseen. Ajan kuluessa sähköpuut johtavat läpilyöntiin johtimen ja hohotosuojan välillä. Osittaispurkausmittarilla voidaan havaita pienetkin vesi- ja sähköpuut ajoissa, jolloin suurempaa vahinkoa ei pääse tapahtumaan. /5/

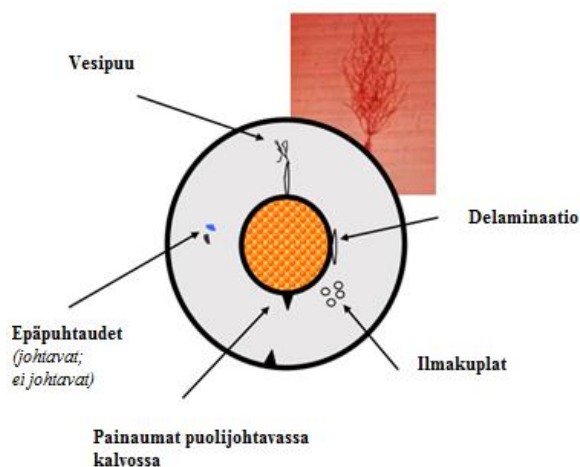


Kuva 4. Sähköpuu eristeen pinnalla. /7/

3 OSITTAISPURKAUKSET

Sähköpurkaukset eristeessä voidaan jakaa täydellisiin ja epätäydellisiin purkauksiin. Täydellinen purkaus tarkoittaa sitä, kun sähkökentän voimakkuus ylittää koko eristysosan sähkölujuuden. Eristeen läpi kulkee tällöin suuri virta ja jännite eristeen yli on pieni. Eristyksen yli- tai läpipurkaushetkellä syntyy ionisoitunut ja kuuma kanava, jota kutsutaan valokaareksi. /6/

Epätäydellinen purkaus syntyy, kun sähkökentän voimakkuus ylittää vain osittain eristysosan sähkölujuuden. Tätä ilmiötä kutsutaan osittaispurkaukseksi (partial discharge, PD) /6/. Kuvasta 5 voidaan tarkastella eri syitä osittaispurkauksien syntymiseen. Osittaispurkaukset voidaan luokitella kolmeen eri ryhmään: sisäiset osittaispurkaukset, pintapurkaukset sekä koronapurkaukset. /7/



Kuva 5. Osittaispurkauksen syntymisen syyt. /7/

3.1 Sisäiset osittaispurkaukset

Sisäiset osittaispurkaukset ovat vaarallisia eristykselle, koska ne ovat hankalia havaita ja ne kuluttavat pysyvästi eristystä. Sisäiset purkaukset syntyvät eristeen sisällä olevissa halkeamissa, kaasuonteloissa tai delaminaatioissa. Halkeamat voivat olla peräisin asennusvaiheesta tulleista kolhuista. Kaasuontelot voivat olla peräi-

sin ilmakuplista, joita on syntynyt kaapelin valmistusvaiheessa. Ilmakuplat ovat nykyisin kuitenkin harvinaisia tunnetuilla kaapelinvalmistajilla. Delaminaatio tarkoittaa materiaalin kerrosten irtoamista toisistaan. Myös sähköpuut luokitellaan sisäisiin purkauksiin. /4/

3.2 Pintapurkaukset

Pintapurkaukset syntyvät kahden eristerakenteen rajapinnalla. Liukupurkaus on yksi vaarallisimmista pintapurkauksien muodoista. Liukupurkaukset vaurioittavat kiinteiden eristeiden pintaa ja aiheuttavat radiohäiriöitä. Keskijänniteverkossa kaapelipäätteet sekä läpivientieristeet ovat alttiita liukupurkauksille. /4/

3.3 Koronapurkaukset

Koronapurkaus syntyy elektrodin pinnalla kaasussa tai ilmassa. Korona voi ilmentyä avojohdoilla sekä verkon suurjännitteisten osien terävissä kärjissä. Korona voi myös ilmentyä terävien särmien ympärillä maapotentiaalissa, jos sähkökenttä on riittävän vääristynyt ja kentän voimakkuus suuri. Koronapurkaus on harmittomampi kuin pinta- ja sisäiset purkaukset, mutta se voi peittää merkityksellisiä osittaispurkauksen synnyttämiä signaaleja. Korona voi myös synnyttää kemiallisia sivutuotteita, kuten typpihappoa ja otsonia. /6/

3.4 Osittaispurkauksien tarkastelu

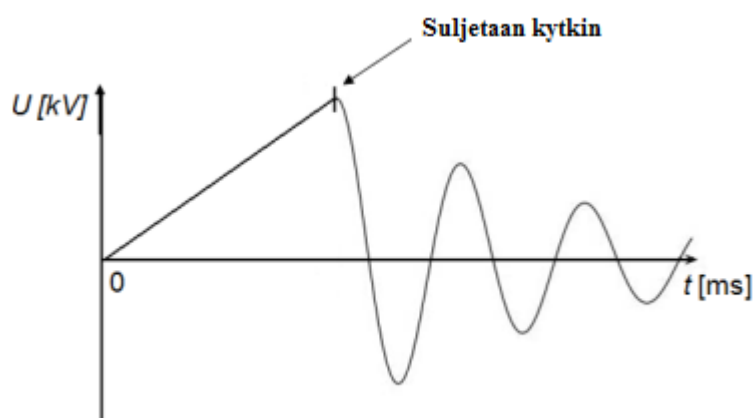
Osittaispurkauksen suuruutta mitataan käyttäen osittaispurkauksen näennäisvarausta (q), syttymisjännitettä (U_i) ja sammumisjännitettä (U_e). Kun jännitettä nostetaan, alkaa viallisessa kaapelissa syntyä tietyn suuruisia osittaispurkauksia. Syttymisjännitteellä tarkoitetaan sitä jännitettä, jolla ensimmäiset osittaispurkaukset havaitaan. Sammumisjännitteellä tarkoitetaan sitä jännitettä, jolla osittaispurkauksia ei enää havaita. Osittaispurkauksen varausta ei voida kunnolla mitata, joten osittaispurkaukset ilmoitetaan näennäisvarauksena. Näennäisvarauksen suuressa käytetään pikocoulombeja (pC). /5/

4 OSITTAISPURKAUSTEN MITTAUS

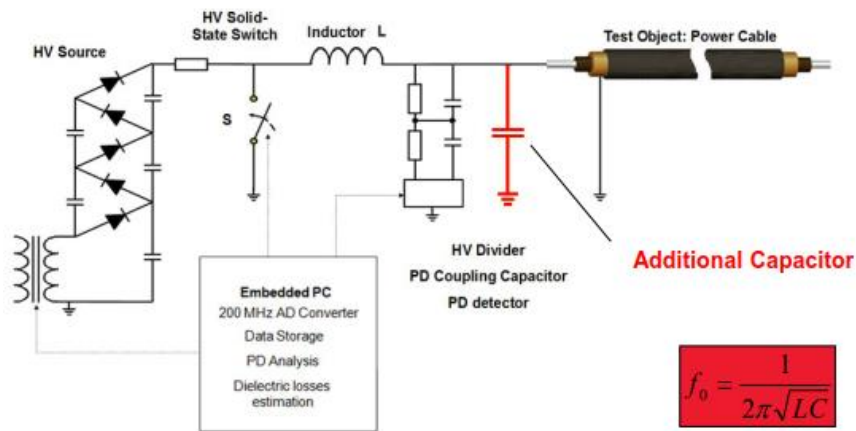
Osittaispurkauksia on jo pitkään mitattu kaapelivalmistajien laboratorioissa. /5/ Mittaukset käyttöpaikalla ovat kuitenkin yleistymässä entistä enemmän verkkoyhtiöiden halutessa parantaa oman sähköverkkonsa luotettavuutta. Osittaispurkausten mittaamiseen käyttöpaikalla käytetään osittaispurkausmittareita. Voimatel Oy:llä käytössä on Megger Group Ltd:n TDS60-mittari sekä siihen liitettävä PDS 60-osittaispurkauksiin soveltuva lisälaitte. Mittarilla pystytään mittaamaan osittaispurkauksia Very Low Frequency eli VLF-tekniikalla tai Damped AC eli DAC-tekniikalla.

4.1 DAC-mittaus

DAC-eli vaimeneva vaihtojännitemittaus tapahtuu isoilla jännitteillä sekä taajuuksilla. DAC-mittauksen periaate on, että kaapelia ladataan tasajännitteellä, jonka jälkeen suljetaan kytkin ja kytketään induktanssi kaapelin rinnalle. Tämä saa aikaan resonanssipiirin. Tällä tekniikalla saadaan aikaan värähtelypiiri, joka ei rasita kaapelia liian paljon (**Kuva 6.**). Kuvasta 7 nähdään tarkempi periaatekuva mittaustapahtumasta.



Kuva 6. DAC-mittauksen jännitteen muoto. /7/



Kuva 7. DAC-mittauksen periaatekuva. /9/

4.2 VLF-mittaus

VLF-eli Very Low Frequency- mittaus tapahtuu nimensä mukaisesti hyvin pienellä taajuudella. Mittauksissa käytettävä taajuus on 0,1 Hz ja jännite voidaan säätää jopa 60 kV:in asti. Taajuus, jota mittari syöttää, on Megger Group Ltd:n patentoima suorakulmainen kosiniaalto (**Kuva 8**). Tämä kosiniaallon muoto on todettu parhaaksi saatavissa olevaksi vaihtoehdoksi. VLF-mittaus tehdään 0,1 Hz:n taajuudella, koska 50 Hz:n mittaustaajuudella tehtävät mittaukset vaatisivat 500 kertaa enemmän tehoa. Laitteet olisivat tällöin järjettömän suuria, joten 0,1 Hz:n taajuus on kaikella tapaa paras vaihtoehto. /8/



Kuva 8. Suorakulmisen kosiniaallon muoto. /8/

5 MITTALAITE

5.1 Megger TDS60

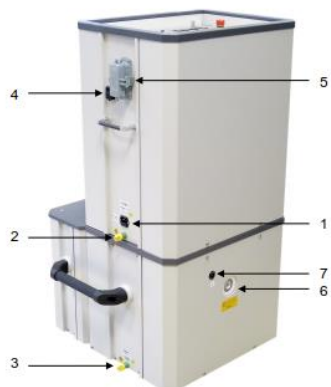
Megger TDS60 (**Kuva 9.**) on Megger Group Limitedin VLF-mittauksiin sopiva mittalaite. Mittarin jännitealue on 3-60 kV:n huippujännite ja taajuus 0,1 Hz. VLF-mittaukset tehdään kyseisellä mittarilla kaapelin ollessa jännitteettömänä ja mittaus voidaan tehdä kaikille kolmelle vaiheelle samanaikaisesti. /8/



Kuva 9. Megger TDS60-mittari.

5.1.1 Laitteen kytkennät

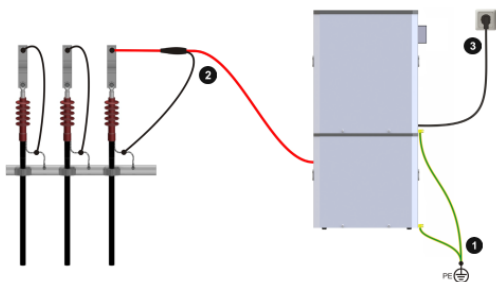
Kuvasta 10 voimme tarkastella mittarin kytkentöjä. Kohdassa yksi on virtalähde, joka saadaan esimerkiksi muuntajan pienjännitepuolelta pistorasiasta tai erillisellä aggregaatilla. Kohdassa kaksi ja kolme ovat ohjauslaitteen sekä suurjännitelaitteen maadoitusliittimet. Kohdassa neljä on RJ45-liitin, jolla yhdistetään tietokone ja ohjauslaite toisiinsa. Kohdassa 5 on liitin, jolla yhdistetään PDS 60-lisälaite ohjauslaitteeseen. Tätä kaapelia ei tarvita, kun tehdään VLF-mittausta. Kohdassa 6 on testijännitteen ulostulo, joka liitetään mitattavaan kaapeliin. Kohdassa 7 on testijännitekaapelin maadoitusliitin. /8/



- 1 Virtalähde
- 2 Ohjauslaitteen maadoitusliitin
- 3 Suurjännitelaitteen maadoitusliitin
- 4 RJ-45 liitin tietokoneen ja ohjauslaitteen liittämiseen
- 5 Liitin tiedonsiirtoon PDS 60-laitteelta ohjauslaitteelle
- 6 Testiännitteen ulostulo
- 7 Testijännitekaapelin maadoitusliitin

Kuva 10. TDS60-mittarin kytkennät. /8/

Kuvasta 11 nähdään miten kaapelit käytännössä kytketään. Mittarin mukana tulee kaikki tarvittavat kaapelit joilla kytkennät suoritetaan. Maadoitukset kytketään ohjauslaitteen sekä suurjännitelaitteen kautta suoraan muuntamon maadoituskiskoon. Ohjauslaitteen sähkönsyöttökaapeli kytketään joko muuntamon pienjännitepuolen pistorasiaan tai erilliseen aggregaattiin. Testijännitekaapeli kytketään suurjännitelaitteen liittimistä mitattavaan vaiheeseen. VLF-mittaus voidaan suorittaa kaikille kolmelle vaiheelle samanaikaisesti. Testijännitekaapelia kytkettäessä tulee varmistaa, ettei kaapeli kosketa mihinkään metalliseen osaan. Mitattaessa kaikkia kolmea vaihetta samaan aikaan, tarvitaan kuvan 12 mukainen adapteri. Kun mitataan SF6-eristeisiin muuntamokennoihin liitettyjä kaapeleita, tarvitaan kuvan 13 mukainen adapteri.



Kuva 11. Mittalaitteen kaapelien kytkennät. /8/



Kuva 12. Kolmen vaiheen mittaaminen samanaikaisesti. /12/



Kuva 13. SF6-adapteri. /12/

5.2 Megger PDS 60

Megger PDS 60 (**Kuva 14.**) on TDS60-mittariin liitettävä lisälaitte, jota käytetään osittaispurkauksen mittaamiseen DAC-tekniikalla. DAC-mittaus tapahtuu aina kaapelin ollessa jännitteettömänä ja sillä voidaan mitata vain yhtä vaihetta kerrallaan. Myös VLF-mittaus voidaan toteuttaa kyseisellä lisälaitteella, mutta tällöin voidaan mitata vain yhtä vaihetta.

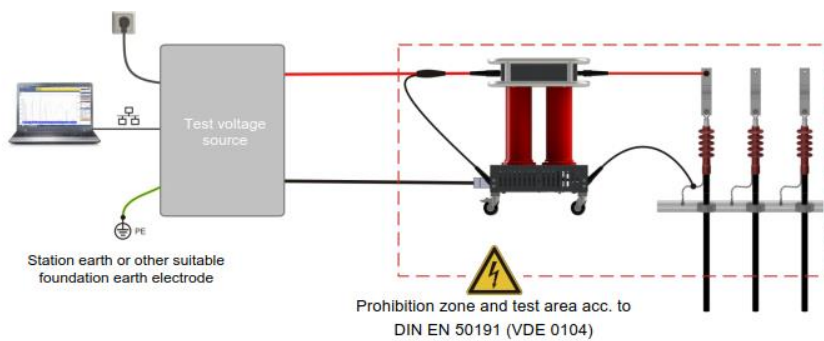


Kuva 14. Megger PDS 60-lisälaitte.

5.2.1 Laitteen kytkennät

Kytkenät tehdään pääosin samalla tavalla kuten kohdassa 5.1.1, mutta kun tehdään DAC-mittaus, kytketään testijännitekaapeli PDS 60-lisälaitteen kautta mitattavalle vaiheelle. Myös kuvan 10 kohdassa 5 näkyvä ohjauskaapeli kytketään PDS 60-lisälaitteelle. Kuvasta 15 voimme nähdä, kuinka kytkentä tapahtuu PDS 60-lisälaitteen kanssa, mutta kuvasta puuttuvat kahden ei-mitattavan vaiheen maadoitukset. Mittauksissa tulee huomioida, että PDS 60-lisälaitte tulee jännitteelliseksi mittauksen aikana. Tämän takia mittalaite tulee ympäröidä esimerkiksi varoitussuojalla. Jos laite on sisällä autossa, se tulee suojata esimerkiksi muovisella suojalla, ettei kukaan pääse koskettamaan laitetta mittauksen aikana. PDS 60-lisälaitteelta mitattavaan vaiheeseen kytkettävät kaapelit eivät saa koskettaa mitattavaa metallista osaa, koska ne eivät ole suojattuja. Kuvassa 16 nähdään vasemmal-

la puolella vääränlainen kytkentätapa, kun mittakaapeli koskettaa kojeiston metallisia osia.



Kuva 15. Kytchentäkuva, kun tehdään DAC-mittausta. /9/



Not this Way



But this Way

Kuva 16. Vääränlainen ja oikeanlainen kaapelin sijoitustapa. /9/

6 MITTAUKSIEN TOTEUTUS

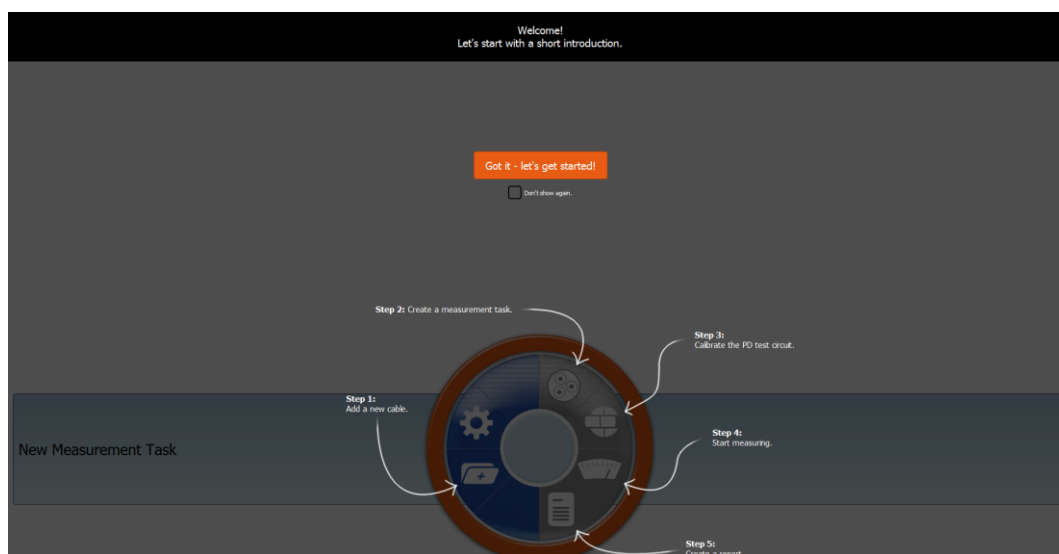
Megger Group Ltd:n mukaan DAC-mittaus on paras tapa mitata osittaispurkauksia ja VLF-mittausta ei kannata tehdä, jos asiakas ei sitä itse vaadi. VLF-mittaus kuormittaa kaapelia enemmän kuin DAC-mittaus. Tästä johtuen, käyttöohjeet on tehty suurimmaksi osaksi DAC-mittaukselle ja VLF-mittauksista kerrotaan vain periaatteet.

6.1 DAC-mittauksen toteutus

Mittaus toteutetaan käyttämällä Megger Group Limitedin ohjelmaa PD Detector. Ohjelma asennetaan tietokoneelle, mutta sitä ei voi käyttää ilman mittarin mukana tulevaa lisenssitikkua. Ohjelma on englanninkielinen.

6.1.1 Kaapelin lisääminen

Ohjelman avaamisen jälkeen näytölle ilmestyy kuvan 17 mukainen ohje. Ohjelma näyttää askel askeleelta, miten tehdä mittauksia. Ensimmäiseksi täytyy lisätä uusi kaapeli. Tämä tapahtuu painamalla kuvan 18 näyttämää Cable Manager-painiketta.



Kuva 17. Ohjelman käynnistyksenjälkeinen ohje. /11/



Kuva 18. Kaapelin lisäys. /11/

Painaessa Cable Manager-painiketta avautuu kuvan 19 mukainen ikkuna. Tässä ikkunassa pystytään tarkastelemaan aiemmin lisättyjä kaapeleita sekä lisäämään uusia. Uusi kaapeli lisätään painamalla oikeassa yläkulmassa olevaa New-painiketta.

Cable Number*	Location	Station A	Station B	Length [m]	U0 [kV rms]
01vici	maalaiti	1205	1658	3527	12
1	Lehmajoki	64698	73971102	752	12
Testikabel	Megger Radeburg	Station A	Station B	50	110

Cable Number	01vici	Location	maalaiti
Cable Type	Three single-core	Installation Date	
U0 [kV rms]	12,00	Length [m]	1027
Comment	test by lauri	Last modified	22.5.2018 5.05

Manufacturer: SFE
Insulation: SF6
Termination: Heat-shrink

Manufacturer: Air insulated
Insulation: Air insulated
Termination: Heat-shrink

Cable length: 3027 m

L1: XLR Cable | XLR Cable
L2: XLR Cable | XLR Cable
L3: XLR Cable | XLR Cable

Kuva 19. Kaapelien hallinta. /11/

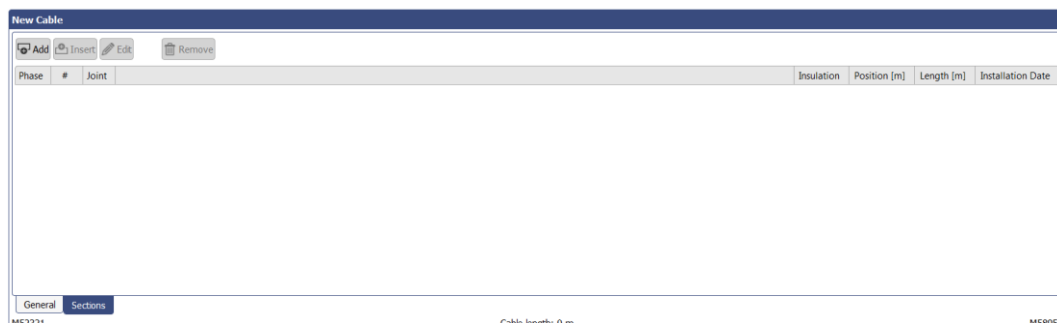
New-painikkeen painamisen jälkeen avautuu kuvan 20 mukainen ikkuna. Täällä luodaan uusi kaapeli, jota halutaan mitata. Cable Number-kohtaan kirjoitetaan kaapelin numero, josta sen tunnistaa. Location-kohtaan kirjoitetaan kaapelin sijainti. Cable Type-kohdassa valitaan, minkä tyyppinen kaapeli on kyseessä. Tässä esimerkkinä on kolmivaiheinen ja kaikilla vaiheilla on yksi ydin. U_0 [kV rms]-

kohtaan kirjoitetaan yhden vaiheen vaihejännitteen tehollisarvo. Vaihejännitteen tehollisarvo on 20 kV:n verkossa noin 12 kV. Station A-kohtaan kirjoitetaan muuntamon nimi, josta kaapeli lähtee ja kohtaan Station B kirjoitetaan muuntamo, johon kaapeli päättyy. Halutessa voidaan kirjoittaa muuntamon valmistaja, mutta tämä ei ole pakollinen. Insulation-kohtaan valitaan muuntajan eristyksen tyyppi. Tässä esimerkkeinä ovat ilmaeristeinen sekä SF6-eristeinen muuntamokenno. Termination-kohtaan kirjoitetaan päätteen tyyppi, eli millä tavalla pääte on tehty. Tässä esimerkkinä on lämpökutiste ja kylmäkutiste.

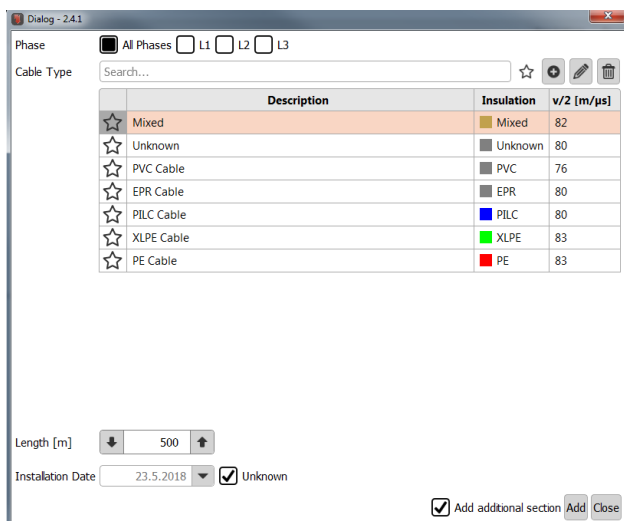
The screenshot shows the 'New Cable' software interface. At the top, there are input fields for 'Cable Number' (001), 'Uo [kV rms]' (12,0), 'Location' (Senäjoki), 'Cable Type' (Three single-core), 'Installation Date' (23.5.2018), and 'Unknown' (checkbox). Below these is a 'Comment' field. The main area is divided into two sections: 'Station A' and 'Station B'. Each station has a 'Name' field, a 'Manufacturer' dropdown, an 'Insulation' dropdown, and a 'Termination' dropdown. Station A has Name: M52321, Manufacturer: Harju Oy, Insulation: Air insulated, and Termination: Heat-shrink. Station B has Name: M58954, Manufacturer: ABB Oy, Insulation: SF6, and Termination: Cold-shrink. At the bottom, there are tabs for 'General' and 'Sections', and a status bar showing 'Cable length: 0 m'.

Kuva 20. Uuden kaapelin luominen. /11/

Tämän jälkeen painetaan kuvan 20 vasemmassa alanurkassa näkyvää Sections-painiketta ja tästä aukeaa kuvan 21 mukainen ikkuna. Täällä luodaan kaapeli muuntamoiden välille. Uuden kaapelin luominen aloitetaan painamalla vasemmassa yläkulmassa olevaa Add-painiketta. Tämän jälkeen aukeaa kuvan 22 ikkuna, jossa valitaan kaapelin tyyppi sekä pituus. Jos kaapeli on esimerkiksi 1000 m pitkä ja tiedossa on, että 500 m kohdalla on kaapelijatko, lisätään 500 m kaapeli kaksi kertaa.



Kuva 21. Sections-ikkuna. /11/

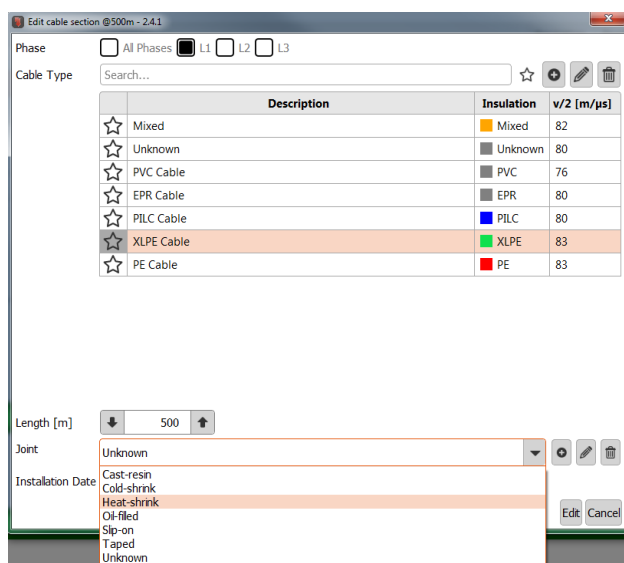


Kuva 22. Kaapelin tyypin valinta sekä pituus. /11/

Kun kaapelit on lisätty, ne tulevat näkyviin kuvan 23 mukaisesti. Kaapelijatkot lisätään tuplaklikkaamalla kaapelia, jonka Joint-kohdassa lukee Unknown. Jatkojen tyypit valitaan kuvan 24 mukaisesti jokaiselle vaiheelle. Tämän jälkeen kaapeli tallennetaan painamalla oikeassa alakulmassa olevaa Apply-painiketta, jonka jälkeen palataan kuvan 19 näkymään. Kaapeli, jota halutaan mitata, valitaan tästä aktiiviseksi klikkaamalla sen kohdalta.



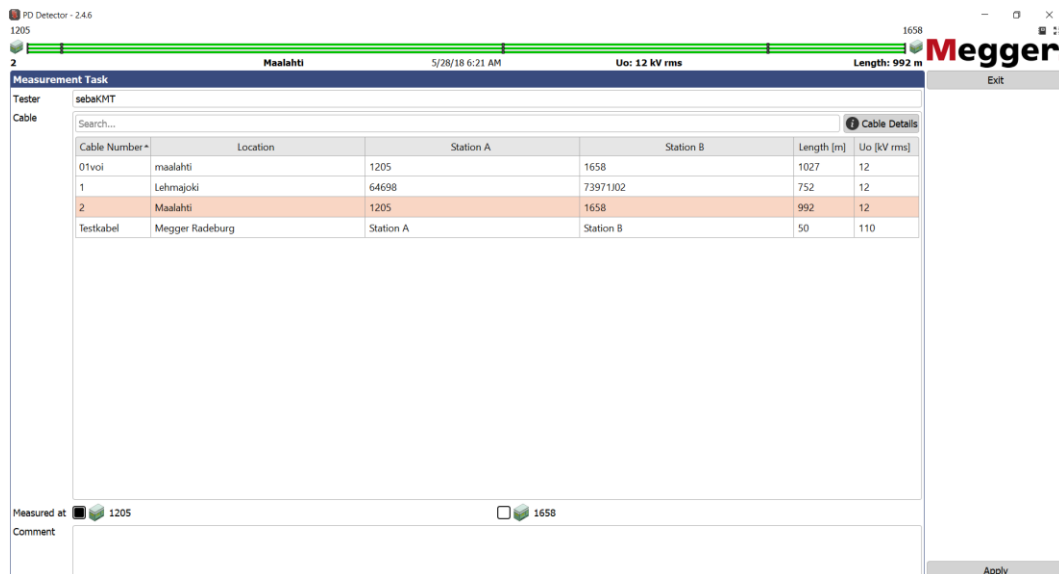
Kuva 23. Onnistunut kaapelien lisäys. /11/



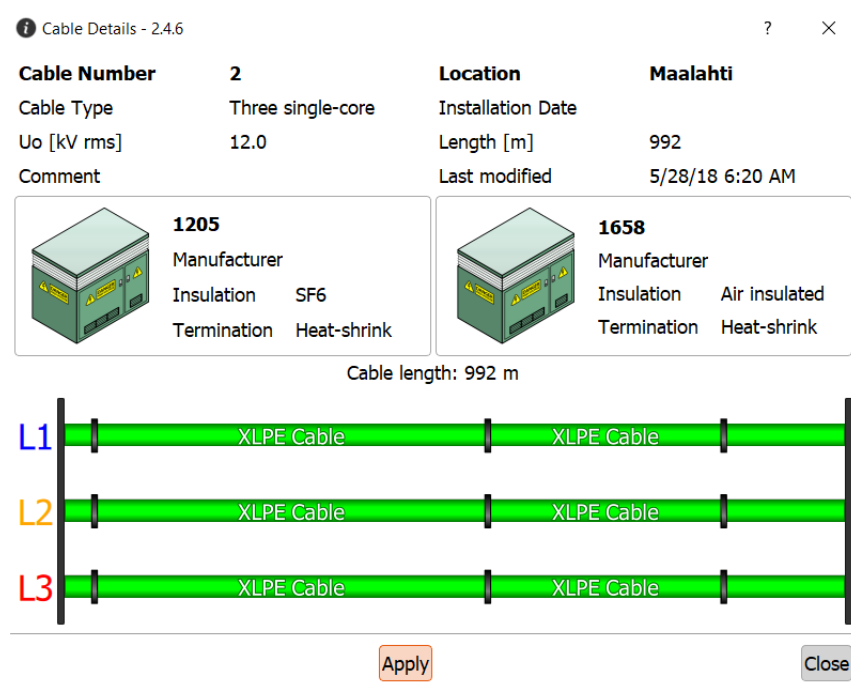
Kuva 24. Kaapelijatkon tyypin valinta. /11/

6.1.2 Suoritettavan mittauksen valinta

Kaapelin lisäämisen jälkeen voidaan siirtyä kohtaan kaksi (**Kuva 17.**), jossa luodaan uusi mittaus. Painetaan kohtaa New Measurement Task ja sen jälkeen aukeaa kuvan 25 mukainen ikkuna. Tuplaklikataan kaapelia, jota halutaan mitata, ja tästä aukeaa kuvan 26 mukainen ikkuna.



Kuva 25. Uuden mittauksen luominen. /11/



Kuva 26. Mitattava kaapeli. /11/

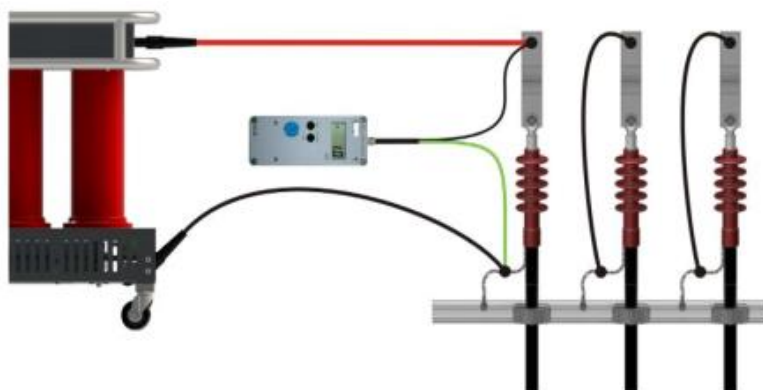
Tässä ikkunassa voidaan varmistaa, että kaikki kaapelin tiedot ovat kunnossa. Jos kaikki näyttää siltä mitä pitää, voidaan painaa Apply-painiketta.

6.1.3 Kaapelin kalibrointi

Uuden mittauksen luomisen jälkeen voidaan siirtyä kohtaan kolme (**Kuva 17**). Painetaan painiketta Calibration. Kalibroinnilla saadaan selville kaapelin oikea pituus sekä ympäristön aiheuttama melutaso. Kaapeli kalibroidaan käyttämällä erillistä kalibrointilaitetta (**Kuva 27**). Kalibrointilaitteen punainen johto kytkeään vaiheeseen ja musta johto kaapelin vaipan maadoitukseen. Kytkentä esitetään vielä kuvassa 28.

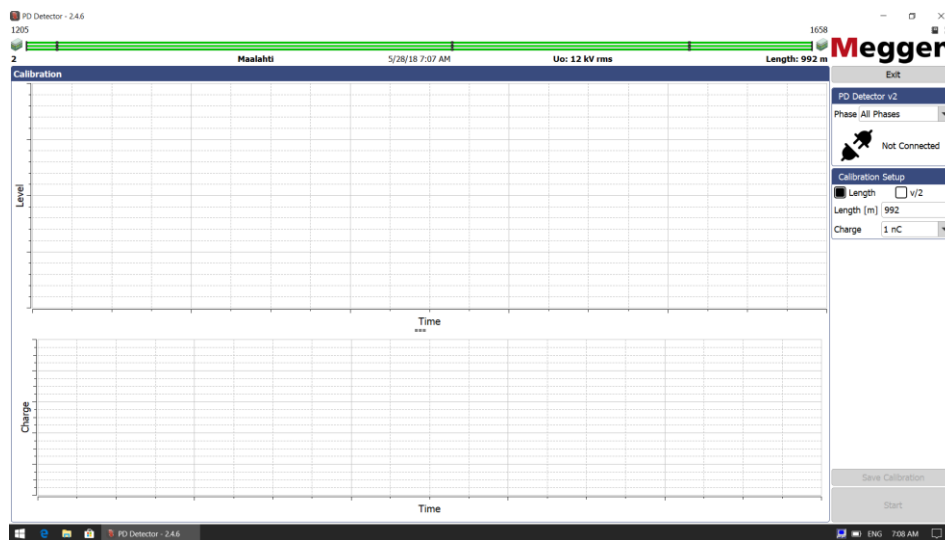


Kuva 27. Kalibrointilaitte.

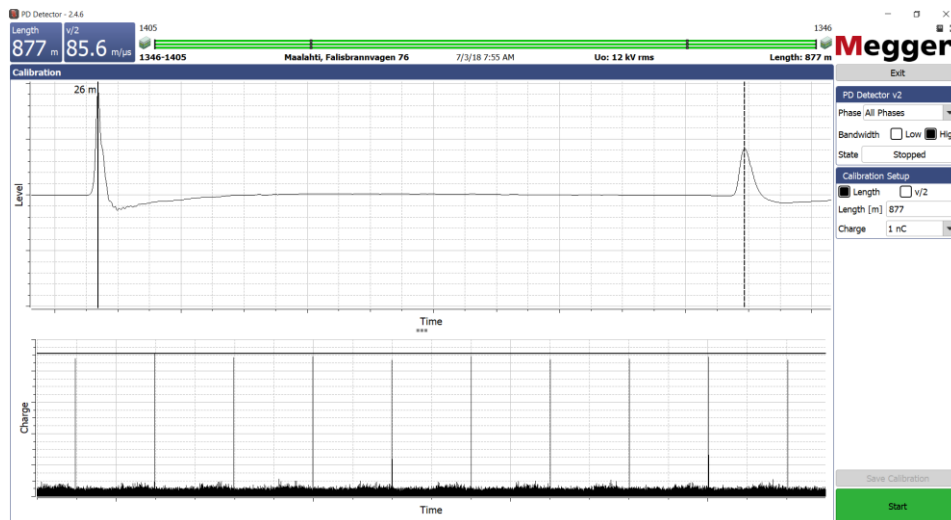


Kuva 28. Kalibrointilaitteen kytkentä. /8/

Calibration-painikkeen painamisen jälkeen aukeaa kuvan 29 mukainen ikkuna. PD Detector v2-valikosta voidaan valita mille vaiheelle kalibrointi suoritetaan. Kalibrointi suoritetaan yleensä yhdelle vaiheelle ja voidaan olettaa jokaisen vaiheen olevan samanpituisia. Calibration Setup-valikosta valitaan joko Length-tai v/2-vaihtoehto. Length-vaihtoehtoa käytetään, kun kaapelin pituus on tiedossa. Length-vaihtoehto kuitenkin kertoo myös, jos kaapeli on liian lyhyt tai liian pitkä. Vaihtoehtoa v/2 käytetään, kun kaapelin pituutta ei tiedetä. Tällä vaihtoehdolla voidaan saada kaapelin pituus selville kalibroinnin yhteydessä. Charge-valikosta valitaan, kuinka suurella varauksella kaapeli kalibroidaan. Yleensä 1 nC on riittävä, mutta jos kaapeli on monta kilometriä pitkä, voi signaali kadota matkalle, jolloin varausta kasvatetaan. Tämä arvo pitää myös muistaa tarkistaa mittarilta vastaamaan tietokoneelle syötettyä arvoa. Kalibrointi aloitetaan painamalla kuvan 29 oikeassa alakulmassa olevaa Start-painiketta. Kalibrointitulokset tulevat näkyviin näyttölle kuvan 30 mukaisesti. Kalibrointitulokset tallennetaan painamalla Start-painikkeen yläpuolella olevaa Save Calibration-painiketta.



Kuva 29. Kalibrointi-ikkuna. /11/



Kuva 30. Kalibrointitulos. /11/

6.1.4 Mittauksen suorittaminen

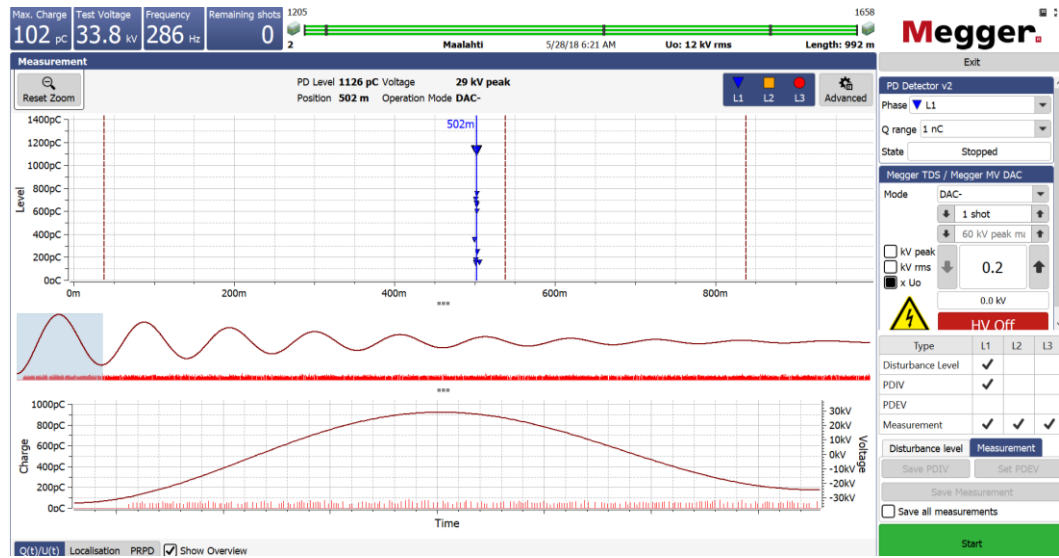
Seuraavaksi kohdassa 4 voimme aloittaa itse mittausten tekemisen. Painetaan kuvan 17 painiketta Start Measuring. Painamisen jälkeen avautuu kuvan 31 mukainen ikkuna. Ensimmäiseksi tallennetaan kalibroinnissa saatu ympäristön melutaso mittauksiin painamalla painiketta Save Disturbance Level. Tämän jälkeen valitaan PD Detector-valikosta vaihe, jota mitataan. Q range-valikosta valitaan mitta-alue. Mittaukset aloitetaan 1 nanocouloumbin alueella, mutta jos osittaispurkaukset nousevat yli 10 000 pC:n suuruiseksi, voidaan mitta-aluetta suurentaa.

Tämän jälkeen valitaan Mode-valikosta mittaus, joka halutaan suorittaa. Kuvan 31 tapauksessa suoritetaan DAC-mittaus. Tämän jälkeen valitaan, montako kertaa laite lataa ja iskee kaapelille mittausjännitteen. Tässä voidaan käyttää yhtä iskua niin kauan, kunnes osittaispurkauksia löytyy. Osittaispurkauksien löytyessä voidaan iskujen määrä nostaa kolmeen. Mode-valikon alapuolelta valitaan mitä kerrointa halutaan mittauksissa käyttää. DAC-mittaukset kannattaa suorittaa $x U_0$ kertoimella. Tämän jälkeen valitaan jännitealue, millä ensimmäinen mittaus suoritetaan. Mittaukset voi aloittaa uudella kaapelilla $0,7 x U_0$:lla ja vanhalla $0,5 x$

U_0 :lla. Mittaukset tehdään järjestyksessä: $0,5 \times U_0$, $0,7 \times U_0$, $1,0 \times U_0$, $1,3 \times U_0$, $1,5 \times U_0$ ja $1,7 \times U_0$. Uudella kaapelilla voidaan mennä jopa $3 \times U_0$:aan asti, mutta suositeltavaa on, että mittaukset lopetetaan $2 \times U_0$:aan. Mittaus suoritetaan painamalla Start-painiketta, mutta aina kun mittaukset aloitetaan uudella vaiheella, pitää painaa myös vihreää nappia itse mittarilta (**Kuva 32.**). Näissä mittauksissa uudella kaapelilla ei saisi näkyä ollenkaan osittaispurkauksia. Vanhalla kaapelilla ei saisi näkyä yli 1000 pC:n suuruisia osittaispurkauksia.

Ensimmäiseksi yritetään etsiä PDIV eli osittaispurkauksen syttymisjännite. Jos osittaispurkauksia alkaa näkyä ensimmäisen kerran esimerkiksi $1,7 \times U_0$:lla, tallennetaan PDIV painamalla Save PDIV-painiketta. Tämän jälkeen etsitään PDEV eli osittaispurkauksen sammumisjännite. Jos sammumisjännite löytyy esimerkiksi $1,5 \times U_0$:lla tallennetaan tämä painamalla oikeassa alanurkassa olevaa Set PDEV-painiketta. Kun mittaukset on suoritettu yhdelle vaiheelle, tallennetaan mittaukset painamalla Save Measurement-painiketta. Mittari maadoitetaan mittausten jälkeen punaisella painikkeella (**Kuva 32.**). Tärkeää on käydä vielä varmuuden vuoksi koskettamassa PDS-mittalaitetta maadoitussauvalla (**Kuva 33.**), vaikka mittari pitäisi olla jo maadoitettu.

Mittaukset toistetaan samalla kaavalla jokaiselle vaiheelle. Tuloksia voidaan tarkastella reaaliaikaisesti vasemmasta alakulmasta löytyvillä painikkeilla. $Q(t)/U(t)$ (**Kuva 34.**) näyttää löytyneet osittaispurkaukset näennäisvarauksen, jännitteen ja ajan funktiona. Localisation-valikossa voidaan tarkastella osittaispurkauksien paikkaa. PRPD-valikosta (**Kuva 35.**) voidaan tarkastella, missä jännitteen jakson ajassa osittaispurkauksia löytyy. Histogram-valikosta voidaan nähdä osittaispurkauksien lukumäärä vaiheittain. Recommendation-valikkoon voidaan kirjoittaa esimerkiksi mittauksen tilaajalle suosituksia mitä kaapelille kannattaa tehdä mittausten jälkeen.



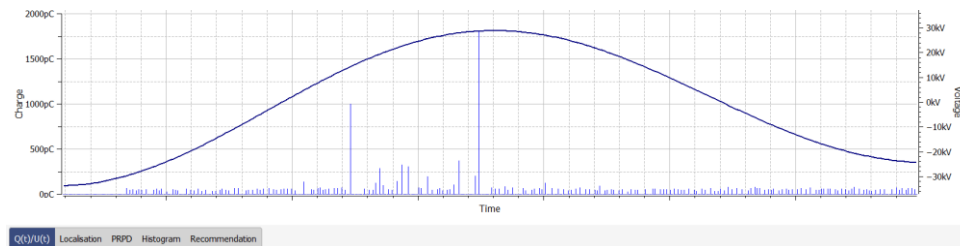
Kuva 31. DAC-mittauksen suorittaminen. /11/



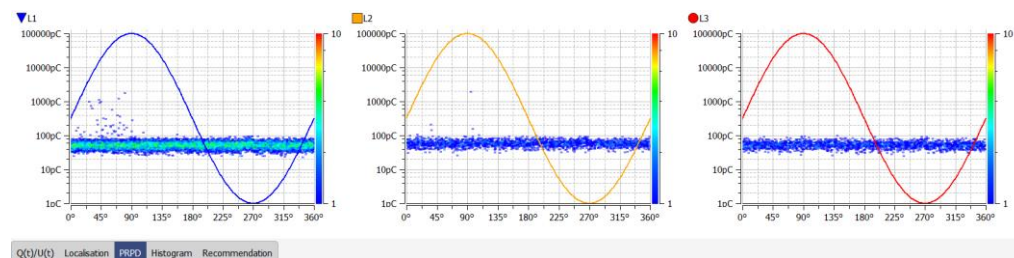
Kuva 32. Mittarin painikkeet.



Kuva 33. Maadoitussauva. /13/



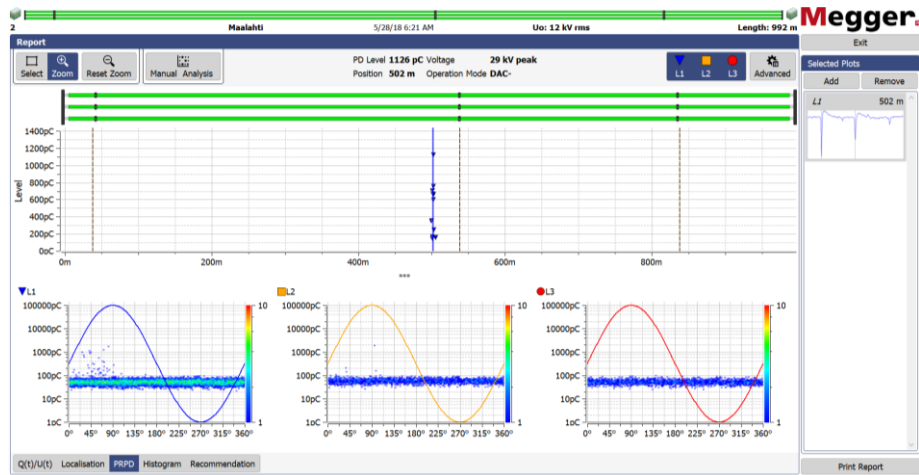
Kuva 34. Q(t)/U(t)-valikko. /11/



Kuva 35. PRPD-valikko. /11/

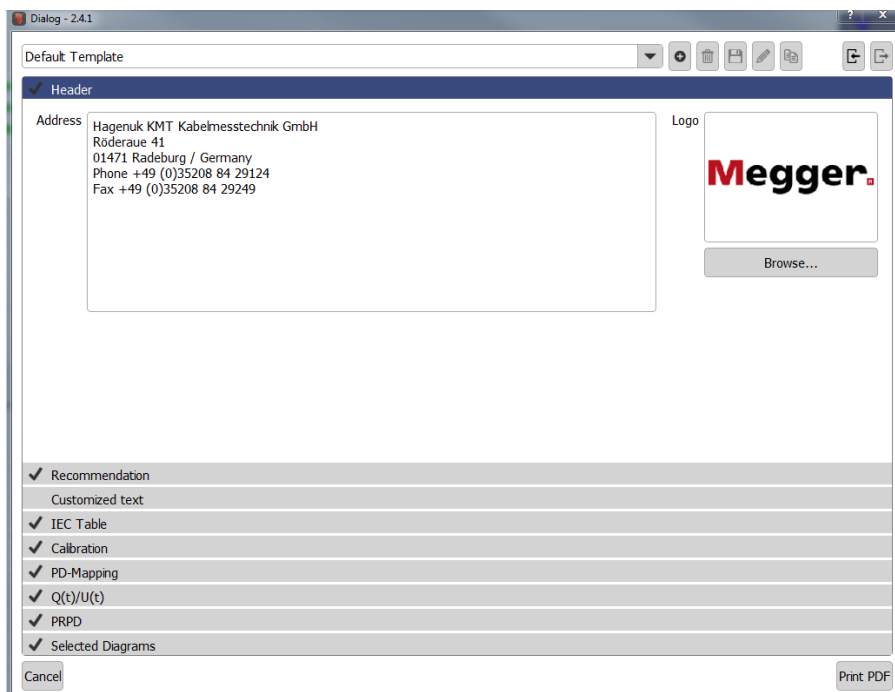
6.1.5 Raportin luominen

Mittauksien suorittamisen jälkeen voidaan tulostaa mittaustapahtumasta raportti. Painetaan kuvan 17 kohdassa viisi näkyvää Report-painiketta. Tästä aukeaa kuvan 36 mukainen ikkuna. Tästä ikkunasta voidaan vielä tarkastella itse mittaustuloksia. Raporttiin voi halutessaan lisätä esimerkiksi vaiheen yksi Localisation-kuvan, kuten kuvassa on tehty. Raportti tulostetaan painamalla Print Report-painiketta.



Kuva 36. Raportin luomisen etusivu. /11/

Print Report-painikkeen painamisen jälkeen avautuu kuvan 37 mukainen ikkuna. Tässä ikkunassa voidaan valita, mitä kaikkea halutaan raporttiin sisältyvän.



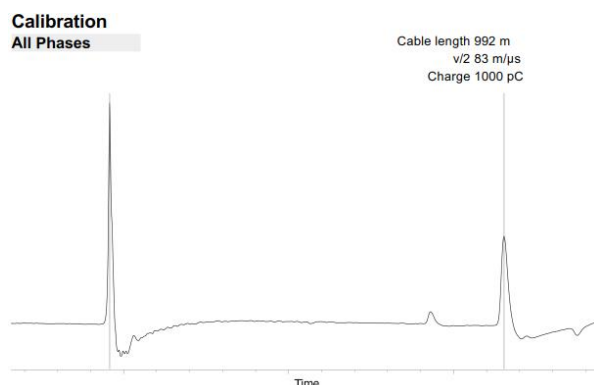
Kuva 37. Raporttiin valittavat kohteet. /11/

Header-kohtaan voidaan kirjoittaa oman yrityksen tiedot ja logo. Recommendation-kohtaan tulee suositukset mitä on kirjoitettu mittauksien yhteydessä. IEC Tablessa näkyy mittaustulokset taulukkomuodossa (**Kuva 38.**). Calibration-kohdassa näkyy kalibrointitulokset (Kuva 39.). PD-Mapping-kohdassa näkyy jokaisen vaiheen osittaispurkauksien lukumäärä, näennäisvarauksen suuruus sekä osittaispurkauksen sijainti kaapelissa. (**Kuva 40.**). Q(t)/U(t)-kohdassa voidaan valita jännitetaso sekä vaiheet, jossa näkyvät osittaispurkauksen näennäisvarauksen suuruus jännitteen ja ajan funktiona (**Kuva 41.**). PRPD-kohdassa näkyy jokaisen vaiheen osittaispurkauksien lukumäärä sekä niiden sijainti jännitteen jakson ajassa (**Kuva 42.**). Kun kaikki raporttiin haluttu tieto on valittu, painetaan oikeassa alakulmassa olevaa Print PDF-painiketta. Tiedostoa voi tämän jälkeen vielä esikatsella ja tallentaa haluttuun paikkaan.

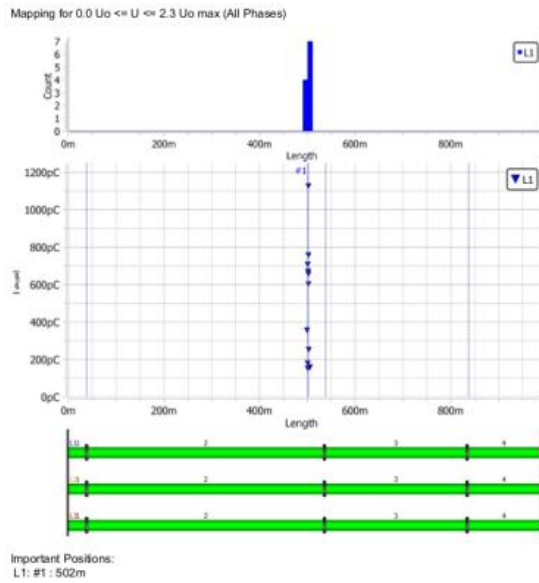
IEC Table

	L1	L2	L3
Disturbance level [pC]	94	-	-
PDIV [kV rms]	24	-	-
PDEV [kV rms]	-	-	-
PD max [pC] (PDIV)	1797	-	-
PD max [pC] (U _o)	-	-	-
PD Level [pC] (U _o)	-	-	-
PD max [pC] (1.7*U _o)	1235	-	-
PD Level [pC] (1.7*U _o)	1070	-	-
PD max [pC] (2*U _o)	1797	1924	85
PD Level [pC] (2*U _o)	1797	1924	85
Frequency [Hz]	287	287	286
Operating Mode	DAC-	DAC-	DAC-

Kuva 38. IEC taulukko. /11/



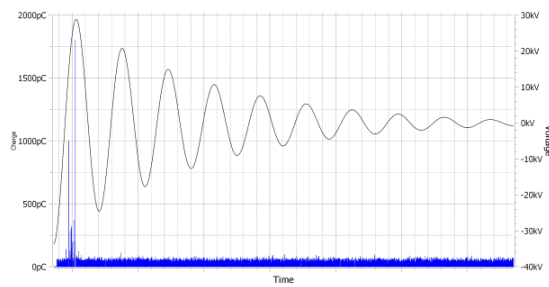
Kuva 39. Raporttiin liitettävä kalibrointitulokset. /11/



Kuva 40. PD-mapping. /11/

Q(t)/U(t)

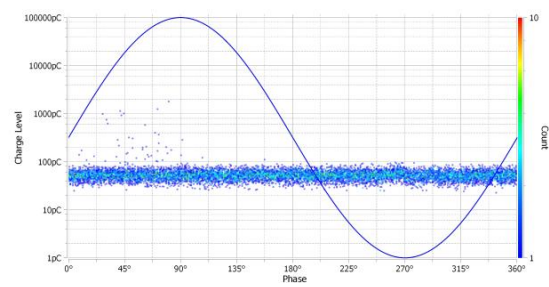
PDIV 24kV (L1)



Kuva 41. Q(t)/U(t)-kuvaaja. /11/

PrPd

L1



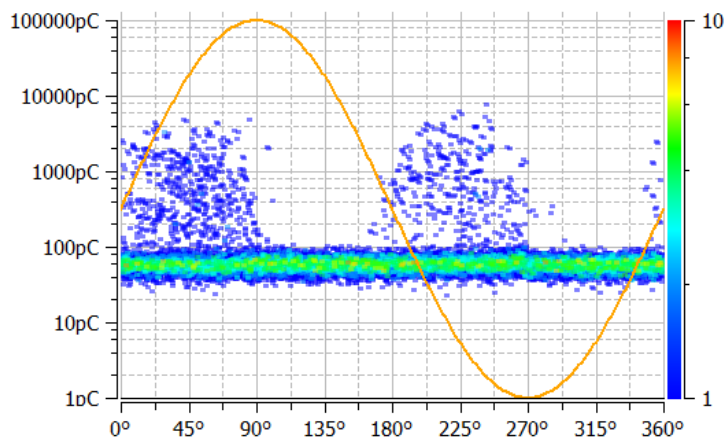
Kuva 42. PRPD-kuvaaja. /11/

6.1.6 Mittausten analysointi

Osittaispurkausmittausten jälkeen tulostetaan raportti. Raportista voidaan tämän jälkeen analysoida mittaustuloksia. Uusi kaapeli tulee olla täysin puhdas osittaispurkauksista $1,7 \times U_0$:an asti. Jos osittaispurkauksia ei löydy alle $1,7 \times U_0$:lla, voidaan todeta kaapelin olevan kunnossa käyttöönottoon. Jos taas osittaispurkauksia löytyy alle $1,7 \times U_0$:lla, päätetään verkkoyhtiön kanssa toimenpiteet kaapelille. Pieniä sekä muutamia osittaispurkauksia voi löytyä kaapelista, mutta jos ne ovat alle 1000 pC:n suuruisia tai niitä on aivan muutamia, voidaan verkkoyhtiön kanssa keskustella, onko kaapelin/päätteen/jatkon uusiminen kannattavaa. Hyvinä ehdotuksina voidaan pitää seuraavia rajoja osittaispurkauksille vanhoilla kaapeleilla:

- Jos syttymis- tai sammumisjännite $< U_0$, kaapeli/jatko/pääte on vaihdettava taikka mitattava uudestaan vuoden välein.
- Jos syttymisjännite $U_0 - 1,3 \times U_0$, on kaapeli mitattava uudestaan kolmen vuoden välein.
- Jos syttymisjännite $1,3 \times U_0 - 1,7 \times U_0$, on kaapeli mitattava kolmen viiden vuoden välein.

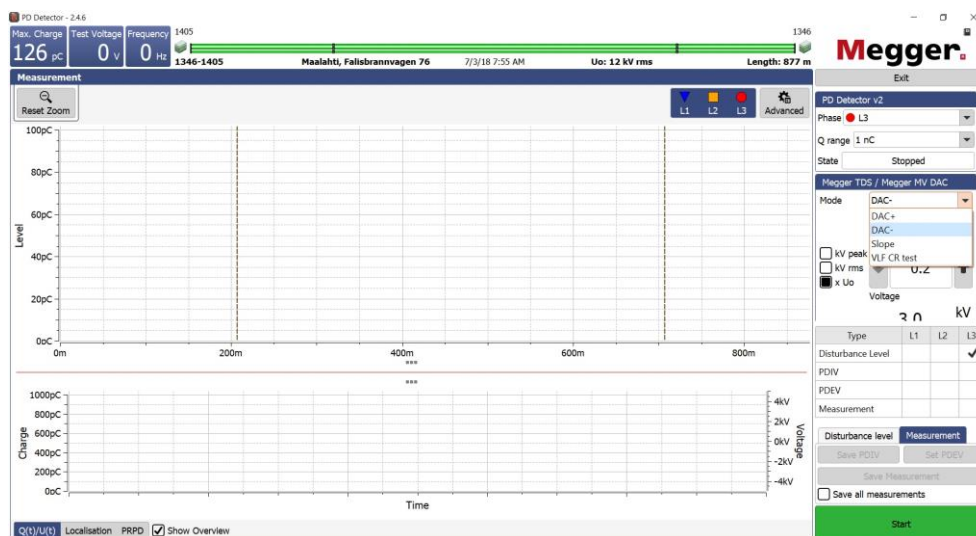
Mittaustuloksista saadaan myös selville, millainen osittaispurkaus on kyseessä. Jos osittaispurkaukset sijoittuvat jännitteen nousevaan ja laskevaan reunaan tasaisesti, kyseessä on sisäinen purkaus eristeessä (**Kuva 43.**). Jos osittaispurkaukset sijoittuvat nousevaan tai laskevaan reunaan siten, että toinen puoli on noin 3 kertaa suurempi kuin toinen, on kyseessä sisäinen- tai pintapurkaus elektrodilla. Jos osittaispurkaus sijoittuu jännitteen negatiiviseen huippuarvoon, kyseessä on koronapurkaus kaasussa. Jos osittaispurkaus sijoittuu jännitteen positiiviseen tai negatiiviseen huippuarvoon ja toisella niistä näkyy epämääräisiä purkauksia, kyseessä on koronapurkaus öljyssä.



Kuva 43. Osittaispurkaus eristeessä. /11/

6.2 VLF-mittauksen toteutus

VLF-mittaus voidaan toteuttaa kahdella tavalla. Ensimmäinen tapa on tehdä mittaus kuten DAC-mittaus, mutta kun päästään kuvan 31 kohtaan, missä aloitetaan mittaukset, valitaan Mode-valikosta VLF CR test (**Kuva 44.**). Tämän jälkeen valitaan haluttu jännite sekä aika kuvan 44 oikeassa reunassa näkyvistä valikoista. Tulokset näkyvät näytöllä samaan tapaan kuin DAC-mittauksessa. Raportin voi tulostaa kohdan 6.1.5 mukaisesti.



Kuva 44. VLF-mittauksen valinta. /11/

Toinen tapa tehdä VLF-mittaus on ottaa PDS 60-lisälaite pois käytöstä ja kytkeä mittalaite suoraan TDS60-mittarilta mitattaville vaiheille kuvan 21 mukaisesti. Mittaus toteutetaan käyttämällä Meggerin TDS60-mittarin näyttöä, joka sijaitsee mittarin päällä (**Kuva 45.**). Kuvan 45 oikeassa alakulmassa olevalla painikkeella voidaan valita testi aktiiviseksi. Painetaan tätä painiketta ja näytölle ilmestyy * VLF test teksti vasempaan ylänurkkaan. Tässä voidaan nuppia vääntämällä valita, mikä testi suoritetaan. Valinta vahvistetaan painamalla tätä painiketta. Tämän jälkeen tähti siirtyy jännitteen valintaan. Tässä valitaan jännite, joka syötetään kaapelille. Valinta vahvistetaan painamalla painiketta. Seuraavaksi tähti siirtyy ajan valintaan. Tässä valitaan testin kesto aika. Aika voidaan valita 1 minuutin välein 45 minuuttiin asti, jonka jälkeen aika voidaan valita 5 minuutin välein 90 minuuttiin asti. Valinta vahvistetaan painamalla painiketta. Testi aloitetaan painamalla vihreää nappia, joka esitettiin kuvassa 32. Testin jälkeen tulokset ilmestyvät tietokoneelle samaan ohjelmaan, jota käytettiin DAC-mittauksissa.



Kuva 45. VLF-testin näyttö.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön aihealue oli erittäin mielenkiintoinen ja hyödyllinen. Opinnäytetyön tekemiseen ei kyllästynyt missään vaiheessa, koska aiheesta halusi oppia koko ajan lisää. Haastetta opinnäytetyössä oli sopivasti, aiheesta löytyi kohtalaisen hyvin aineistoa, joskin DAC-mittauksista vähän vähemmän. DAC-mittaus on mittarin myyneen Megger Ltd:n mukaan parempi vaihtoehto osittaispurkausten mittaamiseen, sillä se kuormittaa vähemmän kaapeleita.

Osittaispurkaukset olivat itselleni uusi käsite, koska niistä ei puhuttu ammattikoulussa eikä ammattikorkeakoulussa mitään. Osittaispurkausten ymmärtämiseen tarvitaan tietoa ja ymmärrystä maakaapeliin vaikuttavasta sähkökentästä sekä sähkökentän jakautumisesta. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin vain PEX-eristeisiä kaapeleita, koska öljypaperikaapeleita tulee nykyään erittäin harvoin vastaan. Osittaispurkaukset ovat vaarallisempia PEX-eristeisille kaapeleille kuin öljypaperieristeisille, koska öljypaperieriste voi korjata itsensä ajan myötä, mutta PEX-eristeinen ei. Osittaispurkaukset esiintyvät pääasiassa maakaapelin päätteissä sekä jatkoksissa. Osittaispurkauksia aiheuttavat esimerkiksi kosteus, epäpuhtaudet, ilmakuplat sekä ontelot maakaapelissa. Huonosti tehdyt jatkokset tai päätteet voivat osittaispurkausten takia hajota. DAC-mittauksella voidaan tarkistaa kaapelien kunto ennen kaapelin käyttöönottoa. Mittaus ei vahingoita ehjää kaapelia.

Opinnäytetyötä tehdessäni kävimme mittaamassa osittaispurkauksia käyttöpaikalla. Mittauksissa oli aluksi muutamia ongelmia, jotka kuitenkin saatiin korjattua. Huomasimme mittauksissa, että kun mitataan SF6-muuntamoiden kaapeleita, kulmapistoke tuottaa hieman ongelmia. Kun mittasimme kaapelit niin, että kulmapistoke oli jo asennettu, löysimme osittaispurkauksia päätteistä. Tätä ongelmaa selvitettiin kaapelipäätteen valmistajan kanssa ja saimme tietää, että mittauksiin tarvitaan erillinen adapteri, joka kiinnitetään kulmapistokkeen sisälle. Mittaustulosten analysointi on vielä hieman vaikeaa, mutta sekin kehittyy, kun saamme kokemusta enemmän.

Osittaispurkausten mittaus tulee tulevaisuudessa yleistymään entistä enemmän. Verkkoyhtiöt ovat alkaneet vaatia urakoitsijoilta osittaispurkausmittauksia lisänä normaaleihin käyttöönottomittauksiin. Osittaispurkausmittauksilla verkkoyhtiöt voivat parantaa sähköverkkojensa luotettavuutta.

Mielestäni opinnäytetyöstä tuli hyvä ja selkeä ohjeistus osittaispurkausten mittaamiseen. Teoriaosuutta oli hieman tiivistettävä, koska tässä opinnäytetyössä se ei ollut päätavoitteena, vaan itse osittaispurkausten mittaaminen käytännössä Voimatelin ostamalla mittarilla.

LÄHTEET

- /1/ Lantto, T. 2015. Keskipännitekaapeleiden osittaispurkauksien mittaaminen VLF-tekniikalla. Lapin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan osasto. Opinnäytetyö.
- /2/ KPY. 2018. Voimatel Oy. Viitattu 3.5.2018 <http://www.kpy.fi/voimatel-oy>
- /3/ Prysmian Group. 2018. AHXAMK-W 20 kV 3-johdittaminen. Viitattu 18.5.2018
www.fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/AHXAMK-W%2020kV_170418.pdf
- /4/ Estola, J. 2010. Maakaapeli kunnossapito. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Kandidaatintyö.
- /5/ Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K. & Palva, V. 2011, Suurjännitetekniikka, Gaudeamus Helsinki University Press, Jyväskylä, ISBN 978-951-672-370-2.
- /6/ Nepola, K. 2013. Radiotaajuisten osittaispurkausmittausten soveltuvuus suurjännitteisten sähköasemalaitteiden kunnonvalvontaan. Aalto-yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu. Diplomityö.
- /7/ Megger. 2018. Opportunities of Cable Diagnostics using Partial Discharge Measurement Technology.
- /8/ Megger. 2018. Test and Diagnosis System TDS40/TDS60 Operating Manual.
- /9/ Megger. 2018. PDS 60 Partial discharge measuring system User guide.
- /10/ Editor, D. 2009. Water Tree in XLPE Cable. Viitattu 11.6.2018
<http://tnbelectricaleng.blogspot.fi/2009/12/water-tree-in-xlpe-cable.html>
- /11/ Megger. 2018. PD Detector-ohjelmisto.
- /12/ Megger. 2018. VLF connection set. Viitattu 18.7.2018
http://csa.megger.com/getmedia/f274ed5a-b241-4ebb-aa68-4faad31015ee/dat_vlf-cs_en_151209.pdf?ext=.pdf
- /13/ Megger. 2018. High voltage discharge rod EST. Viitattu 18.7.2018

https://content.megger.com/getattachment/b1b1db4d-5031-46e7-9106-400e3670e0ae/DISCHARGEROD_DS_EN_V02a.pdf