



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Villamos Energetika Tanszék

Szalai Merse

**KISFESZÜLTSGŰ  
ELOSZTÓHÁLÓZATI KÁBELEK  
HELYI HIBÁINAK VIZSGÁLATA**

KONZULENS

**Dr. Cselkó Richárd**  
**Székely László**

BUDAPEST, 2021

# Tartalomjegyzék

<b>Összefoglaló .....</b>	<b>3</b>
<b>Absztrakt .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Bevezetés .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Részkisülések fizikája .....</b>	<b>7</b>
<b>3 Földkábelek felépítése.....</b>	<b>9</b>
3.1 Telített papírszigetelésű kábelek.....	10
3.2 Extrudált szigetelésű kábelek.....	10
<b>4 Kábel diagnosztikai módszerek .....</b>	<b>12</b>
4.1 Extrudált szigetelésű kábelek vizsgálata.....	12
4.1.1 Szigetelési ellenállás mérés .....	13
4.1.2 A szigetelés feszültségpróbája .....	13
4.1.3 A burkolat feszültségpróbája .....	14
4.1.4 Részleges kisülések mérése .....	15
4.1.5 Dielektromos veszteségi tényező és kapacitás mérése .....	16
<b>5 Okosmérők .....</b>	<b>17</b>
<b>6 Mérés célja.....</b>	<b>19</b>
<b>7 Mérési elrendezés bemutatása .....</b>	<b>20</b>
<b>8 Mérési eredmények közzlése.....</b>	<b>22</b>
<b>9 Konklúzió.....</b>	<b>31</b>
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>33</b>
<b>Ábrajegyzék.....</b>	<b>35</b>

# Összefoglaló

A TDK dolgozatom témája a kiefeszültségű földkábeleken kialakult hibahelyek kimutathatóságának vizsgálata. A kiefeszültségű elosztóhálózaton ép, hibamentes esetben nem jelennek meg azok a jelenségek, melyek közép-, illetve nagyfeszültségű hálózatokon jönnek létre. Abban az esetben, ha a földkábel hibás, ezen a feszültség szinten is kialakulhatnak átvélesek vagy részkisülések. A célunk az, hogy legyen egy olyan eszköz, amivel detektálni tudjuk a sérült kábeleket.

Mindmáig előfordul, hogy a kiefeszültségű hálózat egyes szakaszain gyakori feszültségkimaradás van. Ezen kimaradások megoldására jelen esetben a bevett gyakorlat, hogy azon a hálózatrészen, ahol a többszöri kimaradás megtörtént, kicserélik az egész szakaszt. Napjainkban egyre kevésbé megvalósítható és elfogadható ez a megoldás. Előnyös lenne, ha pontosan meg tudnánk határozni, hogy egyes hibás szakaszokon hol keletkezett a sérülés. A fentiekben leírtak szerint, kiefeszültségen csak a hibás szakaszon jön létre részkisülés, így azt kell meghatározni, hogy hol keletkezik a részkisülés a kábelben.

Jelen TDK dolgozatban kifejtem a laboratóriumi körülmények között hibamentes és szándékosan megsértett földkábeleket vizsgálatait. A vizsgálatokat két különböző körülmény mellett végeztük el, egyszer száraz földben, ezt követően pedig nedves (esőztetett) földben. Méréseink során a kábel és a föld között eső feszültséget, és a rajta átfolyó áramot, széles frekvenciatartományban, oszcilloszkóppal és okosmérővel is mértük. A célom az volt, hogy meg tudjam mutatni, hogy a sérült kábeleken kialakuló kisülések okozta áram- vagy feszültségjeleket meg tudjuk különböztetni a teljesen ép kábelekre jellemző képtől. Vizsgáltuk, hogy az okosmérő berendezés képes-e ezen jelek detektálására, mert ezek segítségével infrastrukturális beruházás nélkül lehetne online diagnosztikai méréseket végezni.

## **Absztrakt**

The topic of my TDK thesis is the investigation of the detectability of fault locations on low voltage distribution cables. In the intact, fault-free case, the phenomena that occur in medium- and high-voltage distribution networks do not appear on low-voltage distribution networks. In the case of a faulty underground cable, arcing or partial discharges may also occur at this voltage level. Our goal is to have a tool to detect damaged cables.

Nowadays, it is also common for outages to occur in certain sections of the low voltage distribution network system. To resolve these outages, the current practice is to replace the whole section of the network where the repeated outage has occurred. Today, this solution is less and less feasible and acceptable. It would be good if we could be more precise in identifying where the failure occurred in each of the faulty sections. As described above, at low voltage, partial discharge occurs only on the faulted section, so we should be able to determine where partial discharge occurs on the cable.

In the present work, I investigated fault-free and intentionally damaged underground cables under laboratory conditions. These were placed in two different media, once in dry soil and then in wet (rain-soaked) soil. The voltage and current flowing through the cable were measured over a wide frequency range using both an oscilloscope and a smart meter. My goal was to show that we can distinguish the current or voltage signals caused by discharges on damaged cables from the picture that is typical of completely intact cables. We investigated whether smart metering equipment could detect these signals, as they could be used to make online diagnostic measurements without infrastructure investment.

# 1 Bevezetés

A kisméretű átviteli hálózaton nem jelennek meg azok a jelenségek, melyek közép-, illetve nagyfeszültségű hálózatokon megjelennek. A térerősség értéke az alacsony feszültség miatt jellemzően pár 100 volt/milliméter érték körül mozog, ezért azon öregedési mechanizmusok melyeket nagy és közepfeszültségen megfigyelhetünk, nem jelennek meg kisméretű hálózaton [1][2]. A közép- és nagyfeszültségű hálózatokkal ellentétben, a kisméretű földkábelek témájában, még nem született sok kutatás. A kisméretű átviteli hálózatokon gyakran egy egész szakaszt kicserélnék, ha az a szakasz többször okoz kimaradást. Egyre kevésbé megoldható ez a típusú megoldás [2][3]. Előnyös lenne, ha megtudnánk határozni, hol van a hiba a kábelekben, és így csak egy részét kellene kicserélni a kábelszakasznak. A jelen kutatás célja az volt, hogy megnézzük a földkábeleken általunk okozott hibát, sérülést, detektálni tudja-e az oszcilloszkóp és az okosmérő.

A méréseket laboratóriumban végeztem, ezért fontos kérdés az, hogy a kimutatott eredmények megismételhetőek-e a valóságban. Ismert, hogy nagyon sok a zajforrás a környezetünkben. Továbbá az esetlegesen megnövekedett teljesítmény okozója nem csak a kábel meghibásodása okozhatja, hanem a nagyobb fogyasztás az egyes háztartásoknál. A laboratóriumi kísérletek elvégzése közben kismértékű háttérzajjal és elhanyagolható hálózati terheléssel számolhatunk, hiszen a kábelhez nem volt fogyasztó csatlakoztatva, 'üresen járt'.

Ezen földkábelek akár 100 éves élettartamot is kibírhatnak[1][4]. Rajtuk a különböző hibák külső sérülések hatására alakulnak ki, vagy tervezési okai vannak. A külső szigetelés sérül leggyakrabban, jellemzően vágás keletkezik (véletlen esemény különböző földmunkák esetén). Ez lehet akár egy ásó vagy markoló által keltett sérülés. Ezen vágások mélysége, ha meghaladja a szigetelés vastagságát, akkor nyíltan érintkezik a földdel a vezetőképes anyag. Ilyenkor beszennyeződik a kábel, esős időben a vezetőképes anyaghoz képes víz is behatolni, és hosszabb távon a nedves környezetben a hiba hamar zárlatokat, kisüléseket okozhat [1][5][4]. Ennek megelőzése a cél. Lehetséges, hogy a vágás csak egy vezető ért érint; érintheti valamelyik fázist, vagy a nullavezetőt is. A vágás egyszerre megsebesíthet két fázisvezetőt, vagy egy fázisvezetőt és a nullavezetőt. Két vezető sérülése esetén hamarabb jöhet létre részleges kisülés, majd ezekből zárlat [5].

A mérések során azt is terveztük bemutatni, hogy a nedves földre fektetett megsebesített kábel mennyire mutat más viselkedést a száraz földre helyezett mintával szemben.

A laboratóriumi mérések során a kábelt nem csak oszcilloszkóppal monitoroztuk, hanem egy úgynevezett okosmérővel is, amiket az elmúlt években családi háztartásokba is telepíteni szoktak. Ez része a hálózat fejlesztésének, mellyel a kisméretű elosztóhálózatot smart-gridesíteni lehet [8]. Ezen okosmérők azzal a céllal lettek beiktatva a hálózatba, hogy több adatot tudjanak egyszerűbben szolgáltatni az áramszolgáltatónak. A méréseink során arra is kitértünk, hogy ez az okosmérő milyen módszerekkel képes észlelni a hibát a kábeleken. Ha tudná észlelni, akkor könnyebben lehetne megelőzni komolyabb hibákat és az előre nem tervezett áramkimaradások időtartamát és gyakoriságát is lehetne csökkenteni a kisméretű kábel hálózaton. Ezzel a hosszadalmas kereséseket a hiba helyéről vagy az egy szakaszon keletkező sok szakaszos hibát lehetne megelőzni, esetlegesen baleseteket és zárlatokat is megtudnánk vele előzni.

## 2 Részkisülések fizikája

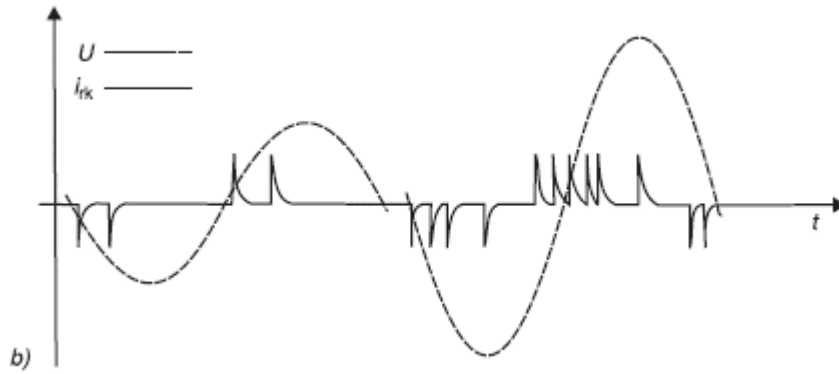
Azokat a villamos kisüléseket, amik nem hidalják át a teljes elektródközt, részleges kisüléséknak nevezzük. Ezek kialakulhatnak:

- Gázokban és folyadékokban, ez lehet például a koronakisülés.
- Szilárd szigetelőanyagok gázzal töltött üregeiben, vagy folyadékokban lévő zárványokban. Ezt nevezzük belső vagy üregkisülésnek.
- Különböző halmazállapotú szigetelőanyagok határfelületén, úgy, hogy a keletkező kisülés az egyik elektróddal érintkezik csak. Ez a felületi vagy kúszó kisülés[10].

A vizsgálataink szempontjából a két később említett kisülés típus a fontosabb.

A földkábelek szigeteléseit nem lehet tökéletesen homogén módon előállítani. A kábelek legyártása során keletkezhetnek belső üregek, amelyek levegővel lehetnek kitöltve. Ezen belső üregekben alakulhatnak ki részkisülések [10]. A körülöttünk lévő gázok és szilárd szigetelőanyagok rendelkeznek egy villamos szilárdsággal, ami térerősség típusú mennyiség, mely azt a határhelyzetet jelöli, ahol a szigetelőanyag elveszíti szigetelő képességét és vezetni kezdi az elektromos áramot. Valamint rendelkeznek kapacitással, amely a villamos szilárdság eléréséig folyamatosan töltődik a feszültség növekedésével. A villamos szilárdság elérésekor ez a kapacitás kisül.

Rendszerint a kábelek szigetelőanyagának jobb a szigetelőképességei, mint a levegőnek. A kábelekben kialakulhatnak zárványok, üregek melyek gázzal vannak kitöltve [10]. Az ilyen hibahelyekkel rendelkező földkábelekre váltakozó feszültséget vezetve, a feszültség felfutási szakaszában a légrés kapacitása elkezd feltöltődni, majd egy bizonyos átütési feszültség elérése után kisül. A kisülés időpontjában egy kisebb áramlöket indul meg a kábelen hosszirányba a két vége felé.



**1. ábra – Belső üregkisülések jellegzetes alakja[10]**

Az 1. ábra látható a kábelekben kialakuló üregkisülések jellegzetes alakja. Fontos, hogy az ábrázolásakor a feszültség és az áram görbéjének fázishelyzetét egyidőben jelenítsük meg az oszcilloszkópon[10].

A részkisüléseket a külső vizsgálóberendezések csak az áramimpulzusok által tudják érzékelni. A részkisülések kis energiájú, nagyfrekvenciás impulzusokkal lesznek jelen a hálózaton. Amennyiben a fázisfeszültség felfutó élének elején történik meg a részkisülés előfordulhat, hogy a kapacitás feszültsége újra olyan szintet ér el, hogy megtörténjen a részkisülés. Ugyanez a folyamat a feszültség lefutó fázisában is létrejöhet. Ezek a hibák létrejöhetnek két fázisvezető között, vagy fázis és föld között is.[11]

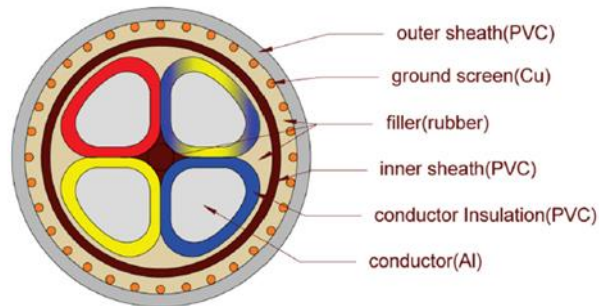


### 3 Földkábelek felépítése

A méréseink során kisfeszültségű extrudált szigetelésű PVC földkábeleket alkalmaztunk. Ezen a feszültség szinten, ahogy a bevezetésben is említettem ép kábel esetén nem jelenik meg a treeing vagy részkiülés jelensége, mert nincs meg a szükséges térerősség nagysága [1]. Ezáltal a kábelek degradációja nem számottevő, így élettartamuk igen nagyra tekinthető [1]. Egyes helyeken akár 60-70 éves földkábelek is üzemelhetnek a kisfeszültségű elosztóhálózaton. Statisztikailag bizonyított, hogy a földkábeleken megjelenő hibákat döntő többségben külső hatások okozzák [1][12]. Sok esetben ezen kábelek azok, amiket a legközelebb lehet elhelyezni a földfelszínhez, hiszen nem érzékenyek annyira a fagyra, mint például a víz- és gázvezetékek. A fagy állandóság miatt az elektromos vezetékeket helyezik el a víz- és gázvezeték hálózat fölé. Amikor ezeket a vezetékeket javítják, gyakran megsebzik ásóval, csákánnyal a villamos hálózat kábeleit a munkások. Azaz ezen a feszültség szinten inkább a külső behatások okozta hibákkal kell foglalkozni a kábelek esetén. A kábel belsejében kialakulhatnak üregek, zárványok, ahol felléphet az üregkiülés jelensége. Ezeket a hibákat a kábelekben üzembe helyezés előtti vizsgálatok segítségével veszik észre, kábeldiagnosztikai szempontból nem kell velük foglalkozni [10]. Az üzemi állapot alatt fellépő külső sérülések általában nem egyből fejtik ki a hatásukat a kábelen, először csak kisebb részkiülések indulhatnak meg, amelyek a kábel szigetelését roncsolják. Abban az esetben, ha a kábel a kisebb kiülések miatt sokat veszített szigetelőképesességéből először csak kisebb áramkimaradásokat okozhatnak a kiülések, később teljes rövidzár alakulhat ki [13]. Előfordulhat, hogy a sérülés létrejötté utáni napokban, hetekben, de lehetséges, hogy csak több hónappal később alakul ki valamilyen, a hálózat működésére is hatással lévő következmény. Ez azért lehetséges, mert a hiba nem biztos, hogy elérte a kábelekben lévő vezetőket.

Egy kisfeszültségű földkábel legkülső rétege egy szigetelő burkolat, leggyakrabban PVC, ez védi a kábelt a víz és egyéb szennyező anyagok behatolásától. Gyakran páncélozása is van, mely adja az alakját a kábelnek, valamint a mechanikai védelmet nyújt. Ez a páncélozás a legtöbb esetben acélhuzal. A kábelek belsejében futnak a vezetők ezek között kitöltő szigetelő anyag található, mely lehet olajimpregnált papír vagy extrudált szigetelés, kisfeszültségen az extrudált esetben a kitöltő anyag PVC [10][4]. Maguk az áramvezetők a legbelsejében foglalnak helyet. Ezek anyaga lehet réz vagy alumínium. Itt fut egymás mellett szigeteléssel elválasztva egymástól a 3 fázis

és a nullavezető is. Az áramvezetők sem egy nagy rézhuzalból állnak, hanem több vékonyabb keresztmetszetű rézhuzalból alakítanak ki egy köteget. Főleg nagy feszültség szintek esetén a középső kitöltő réteget felválthatja egy optikai kábel is, ezzel egyszerre két különböző feladatkört tud ellátni a földkábel.



2. ábra - Kisfeszültségű földkábel felépítése [4]

### 3.1 Telített papírszigetelésű kábelek

Ennek a technológiának az egyik nagy előnye az volt, hogy a gyártás során a szigetelésben keletkező egyes üregeket kitöltötte a szigetelőmassza. Ezáltal a gyártási hibákra kevésbé érzékeny kábeltípus, de az üzemi körülményekre érzékenyebb. Az üregek kérdése azért fontos, mert az üregekben a levegő és a szigetelő eltérő permittivitása miatt kialakult lokális térerősség megnövekedhet, ami idővel átütésre vezethetnek akár ezen a feszültség szinten is. Ezeket az üregeket átvétel alkalmával részleges kisülés vizsgálatokkal észre lehet venni. Üzembe helyezett kábelek esetén nem jellemző az üregek képződés [10].

### 3.2 Extrudált szigetelésű kábelek

A magyar villamos hálózatban az újonnan elhelyezett kábelek jellemzően extrudált szigetelésű kábelek. Ebben az esetben a papírszigetelésű kábelekkel ellentétben a gyártás során kialakult üregek meg is maradnak, ezeket a későbbiek során mérésrel észre lehet venni. Régebbi felfogás alapján ezen típus nem érzékeny a nedvesség behatolására így a kábelvégek lezárásáról nem megfelelően gondoskodtak a kialakításnál [10]. A gyakorlat ezt megcáfolta, hiszen ez káros az extrudált szigetelésű kábelekre, a kábelek szigetelési ellenállása romlásnak indul a nedvesség hatására. Amennyiben hosszanti irányban nincsenek elzárók elhelyezve a kábelben, akkor az egész kábelhosszában egy hibából kiindulva végig terjedhet a behatolt víz.

A papírszigetelésű kábelektől eltérő a szerelési módja miatt sok diagnosztikai vizsgálat például a feszültségpróba nem végezhető el úgy extrudált szigetelésű kábeleken, mint papírszigetelésű kábeleken.

## 4 Kábel diagnosztikai módszerek

A magyar kábelhálózatok jellemzően kétféle kábeltípusból épülnek fel. Sok helyen még a régebben lefektetett telített papírszigetelésű kábelek találhatóak meg, valamint az ezeket egyre inkább felváltó extrudált szigetelésű kábelek [10]. A kábeltípusok között minden téren, üzemviteli, öregedési és vizsgálati szempontból is különbségek vannak. Méréseink során, a második típust használtuk, de kitérő jelleggel a papírszigetelésű kábelekről és azok diagnosztikájáról is említést teszünk.

Fontos megjegyezni, hogy a legtöbb kábeldiagnosztikai mérés közép- és nagyfeszültségen alkalmazott. Egyes esetekben lehet ezeket a módszereket alkalmazni kisfeszültségen is.

### 4.1 Extrudált szigetelésű kábelek vizsgálata

A diagnosztikai vizsgálatok teljes megértéséhez és helyes elvégzéséhez szükség van az üzembe helyezési mérések rövid áttekintésére. Ezeket a kábelt gyártó cégek végzik el szabványok szerint. Jelen szabvány az MSZ HD 620 S2:2010 [14]. Az üzemi mérések eredményeinek ismerete fontos a kábeldiagnosztikai mérések előkészítéséhez. Mivel ezen mérések határolják be a diagnosztikai vizsgálatok paramétereit. Érdekes, hogy a legújabb szabványban nem engedik meg az egyenfeszültségű próbát, helyette 45-65 Hz-es  $2U_0$  vagy 0,1 Hz-es  $3 U_0$  ad meg [10].

A diagnosztikai módszereket alapvetően több szempontrendszer alapján lehet csoportosítani. Egy osztályozási módszer alapján lehet, szigetelést veszélyeztető, valamint szigetelést nem veszélyeztető mérés. A szigetelést veszélyeztető mérés típusok közé soroljuk például a feszültségpróbát. A szigetelési ellenállás mérése, a szigetelés feszültségpróbája, a burkolat feszültségpróbája, részleges kisülés vizsgálata (OWTS) vagy épp a dielektromos veszteségi tényező mérése nem számít szigetelést veszélyeztető mérések közé.

A diagnosztikai méréseket lehet aszerint is csoportosítani, hogy a vizsgálat a kábelszakasz általános állapotáról, vagy az esetleges helyi hibákról ad visszajelzést. Helyi hibákról. Egy osztályozási szempont alapján a vizsgálatok egy része a kábelszakasz általános állapotáról ad tájékoztatást. A helyi hibákról feszültségpróba vagy az OWTS ad

visszajelzést, az általános hibákról a szigetelési ellenállás méréssel vagy épp a dielektromos veszteségi tényező méréssel tudhatunk meg többet.

Egyik méréssel sem tudjuk felmérni a kábel teljes állapotát, így egyik eljárás sem elhanyagolható.

#### **4.1.1 Szigetelési ellenállás mérés**

A szigetelési ellenállásmérés célja mindkét kábeltípus esetében az öregedés során fellépő általános romlás során megváltozott fajlagos ellenállás meghatározása. Ehhez elengedhetetlen, hogy a méréseket üzemi feszültségen végezzük különben nem ad helyes visszajelzést a kábel állapotáról [17]. A helyszíni mérések során nem tudjuk pontosan meghatározni a fajlagos ellenállást, hanem egy eredő szigetelési ellenállást tudunk meghatározni [10]. A mérés folyamán egyenfeszültséget kapcsolunk a terhelésmentes kábelre, majd a kábelben átfolyó áramot megmérjük. A kábelben eső feszültség és rajta átfolyó szivárgási áram hányadosából kapjuk meg szigetelési ellenállását [18]. Fontos megemlíteni, hogy ezt nem csak az általunk mérni kívánt dielektrikum határozza meg, hanem a végelzárók szennyezettsége, valamint a szigetelés mérete, alakja és sok egyéb fizikai paraméterei is befolyásolja. A végelzárókat mérés előtt érdemes megtisztítani.

Az extrudált kábelek esetén ebből a mérési eljárásból kevesebb következtetést lehet levonni, a papírszigetelésű kábelekhez képest ötször nagyobb eredmények jöhetnek ki. Ez azzal jár, hogy az előbb említett zavaró tényezők, jobban befolyásolják a mérést. A mérések gyakorlatban háromfajta végeredménnyel végződhetnek. Abban az esetben, ha nulla értékű lesz a szigetelési ellenállás, akkor zárlatos a kábel. Közepes értékű szigetelési ellenállás esetén a kábelszakaszt lezáró végelzárók szennyezettek. Nagy értékek esetén a kábelszakasz nem zárlatos, de a szigetelés állapotáról pontos következtetéseket nem tudunk levonni. Kisfeszültségen PVC használatos.

#### **4.1.2 A szigetelés feszültségpróbája**

A szabványok alapján az a kábel, ami a feszültségpróbát kibírta, nagy valószínűséggel egész üzemideje alatt bírni fogja sérülés nélkül az üzemi feszültséget[10]. Ennek a mérésnek a célja az üzem alatt bekövetkező esetleges romlások ellenőrzése. Minél idősebb kábelben végezzük el a szigetelés feszültségpróbáját, a vizsgáló feszültség értékét is csökkenteni kell, akár az eredeti próbafeszültség 65-85 százalékára is le kell menni. Ahogy csökken a szigetelőképeség, a kábelek egyre inkább kitétek

lesznek a részleges kisüléseknek. Itt fontos megjegyezni, hogy a kábelek esetén az alkalmazott próbafeszültség kihatással lehet a kábel élettartamára. A névleges feszültségénél nagyobb próbafeszültség évekkal is rövidítheti egy kábel élettartamát. Minél régebbi a kábel gyártási éve, annál kevésbé szabad feszültségpróba alá helyezni.

A próbával arra lehet következtetni, hogy pillanatnyi kisülés kockázata nélkül feszültség alá helyezhető-e kábel vagy sem. Az általános jellemzőkre nem feltétlenül lehet ezzel a próbával következtetni. A próba során, ha a felvett áramerősség a geometriai kapacitás feltöltése után állandó vagy csökken, akkor a kábel feszültségpróbának megfelelő. Ha növekszik a felvett áramerősség, akkor hibagyanús a kábel, további diagnosztikai vizsgálatok elvégzése szükséges. A feszültségpróbával párhuzamosan érdemes több más vizsgálatot végezni. Így kombinálva más mérésekkel a diagnosztika hatékonyságát nagyban növelhetjük [10].

A feszültségpróbát extrudált kábelek esetén nem végezhetjük el egyenfeszültségen. Ennek legfőbb oka, hogy ezen típusú kábelek egyenfeszültségű feszültségpróba alatti kisütése a szigetelés romlásával járhat a nagyobb térerősségek miatt.


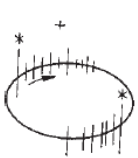
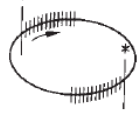
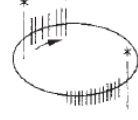
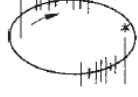
### **4.1.3 A burkolat feszültségpróbája**

A kábelhálózat működéséhez szükség van arra, hogy a külső burkolat is hibátlan legyen. Az utóbbi évek tapasztalatai alapján, jelentős számú hiba származott a külső burkolat sérüléseiből is. Ezeken a sérüléseken keresztül betud hatolni a nedvesség a kábel belsejébe, és ez különböző részleges kisüléseket képes okozni. Egyes kábeleknél a gyártástechnológia miatt a bejutott nedvesség elterjedhet a kábel egész hosszában, ezek ellen hosszirányú tömítésekkel is lehet védekezni [10]. Fontos az, hogy a kábelhálózatokon minél hamarabb észrevegyük az esetleges sérüléseket, hogy minél kevesebb esetben kelljen lekapcsolni a hálózatról az adott kábelt zárlatok fellépése miatt. Egyes helyeken fokozott korrózióveszély állhat fent. A burkolat épségének vizsgálatára az árnyékolás és a föld közé kapcsolt feszültségpróbát használjuk. Ennek a próbának a feltétele, hogy a kábelvonalat műanyag kábelösszekötővel szereljék. Abban az esetben nem sikeres a próba, ha a próbafeszültségen részletörések jönnek létre.

#### 4.1.4 Részleges kisülések mérése

A különböző meghibásodások főleg közép- és nagyfeszültségen tipikus részleges kisülési válaszjeleket adnak, ezzel megkönnyítve az azonosításukat. Ezen módszereket középfeszültségen szokás használni, de egyre több a kísérlet arra, hogy tudjuk a kisebb feszültségszinteken is kihasználni a részletörések által okozott jelváltozásokat.

A részleges kisülések vizsgálata ipari frekvencián a különböző hibák más és más jellegű választ adnak. A vizsgálóberendezésnek feltétlenül kell oszcilloszkóppal rendelkeznie. Ebben a módszerben az oszcilloszkópon a feszültséget egy ellipszisben ábrázoljuk [10].

Az oszcillogram magyarázata	Osczillogram	A hiba forrása
Sok egyenlő nagyságú impulzus az egyik félhullámon. Növekvő feszültségnél az impulzusok száma növekszik, a nagyságuk nem.		Koronakisülés a nagyfeszültségű kör csúcsain (impulzusok a negatív félhullámon) vagy a földelővezetéken (impulzusok a pozitív félhullámon)
A negatív félhullámon sok, közel azonos nagyságú impulzus egymástól szabálytalan távolságban; a pozitív félhullámon különböző nagyságú impulzusok. Növekvő feszültségnél az impulzusok száma és nagysága növekszik.		A szigetelés külső mechanikai sérülése
Nagyon sok impulzus mindkét félhullámon a nullaátmenet és a feszültségmaximum között. Növekvő feszültségnél az impulzusok száma és nagysága növekszik.		Rendellenességek az árnyékolórétegen
A pozitív félhullámon kevés és nagy, a negatív félhullámon sok és kis impulzus. Növekvő feszültséggel az impulzusok száma és nagysága növekszik.		Üregek a szigetelés és az árnyékolóréteg határfelületén
Kevés, különböző nagyságú impulzus mindkét félhullámon. Növekvő feszültséggel az impulzusok száma és nagysága növekszik.		Üreg a szigetelésben

3. ábra - részleges kisülések oszcillogramjai

A részleges kisülések függőleges impulzusok formájában jelennek meg. Ezek amplitúdója a nagysággal arányos, elhelyezkedése a köríven a kisülés fajtájáról ad tájékoztatást. Például, ha a negatív félhullámon a közel azonos nagyságú impulzusok vannak egymástól megegyező távolságra akkor nagy valószínűséggel külső mechanikai sérülést szenvedett a kábel. Egy kutatás alapján egy létező közép feszültségen is használt

konvencionális részleges kisülés mérő eszközt és egy oszcilloszkópot a vizualizációhoz lehet használni, akár kis feszültségszinteken is ehhez a próbához[15].

Eddigi módszerek a hiba tényéről adtak tájékoztatást, az OWTS (Oscillating Wave Test System – oszcilláció hullámú vizsgálati rendszer) a hiba helyére is adhat megoldást. A módszerben a vizsgálandó kábelvonalat egyenfeszültséggel töltik fel, majd ráhelyeznek a kábellel párhuzamosan egy megfelelő induktivitású tekercset, így kialakul egy soros rezgőkör, mely az (1)-es egyenlet alapján számítható

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

frekvenciájú lesz. Ez a rezonancia frekvencia nagyjából egyezni fog az üzemi frekvenciával. Ezen rezonancia hatására a kritikus helyeken részleges kisülések begyűjtanak. Egy erre alkalmas mérőeszköz detektálja az összes részleges kisülést, a kisülések helyét pedig hullám-visszaverődés elvén határozza meg egy számítógép. A vizsgálat előnye, hogy igazán rövid igénybevétel a kábelszáma, és behatárolhatóak vele a kábelszakaszok gyengepontjai [10].

#### 4.1.5 Dielektromos veszteségi tényező és kapacitás mérése

A szigetelőanyagok romlásával, a dielektrumban nő a vezetőképesség. Ahogy nő a vezetőképesség úgy növekszik a dielektromos veszteségi tényező ( $\text{tg}\delta$ ). Ez a szigetelések állapotának ellenőrzésére használt leggyakrabban használt módszer. A mérés folyamán a veszteségi tényező feszültségfüggését vizsgáljuk[10]. Ezt a mérést szokás elvégezni gyártás után közvetlenül és diagnosztikai célokra is.

$$\text{tg}\delta = f(U) \quad (2)$$

A vizsgálat során a (2)-es egyenlet alakjából következtetünk a szigetelés állapotára. A mérés kiértékelése folyamán három eset léphet fel. Ha a  $\text{tg}\delta$  kicsi és stabil, akkor minden rendben van, jó a szigetelés, ha nagy és instabil, akkor lehet jó a szigetelés, csak típusra jellemzően nagyobb ez az érték; ehhez az értékhez rögzítjük a későbbiekben alkalmazandó diagnosztikai méréseket. Viszont lehetséges, hogy a kábel elnedvesedett, ezért romlott le a dielektromos veszteségi tényező. Az utolsó esetben a  $\text{tg}\delta$  értéke instabil és mérés folyamán nő, ebben az esetben a mérés általában átütéssel végződik. Ilyenkor például OWTS módszerrel megkeressük a hiba helyét és javítjuk a kábelt.



## 5 Okosmérők

A magyarul okosmérőknek nevezett 'Smart meter'-ek fognak bekerülni az összes magyar háztartásba a következő években, hogy leváltsák a régi forgótárcsás villanyórákat[7]. Ezen eszközök hálózatba integrálásával szeretnék korszerűsíteni a hálózatot. Erre azért is van szükség, mert eddig meghatározott volt az energia áramlás iránya. A tradicionális energia szektorban az energia központi generátoroktól jutott el a fogyasztókig. Egyre több háztartásnak van napeleme, amivel ők is termelnek a hálózatra, ezzel megváltoztatva az energiaáramlás fő irányát. Ennek a típusú nem meghatározott áramlási iránynak a hozadéka a smart grid. Ez egy olyan típusú hálózat, ami megengedi a határozatlan irányú energia áramlást és ezen felül a kétirányú kommunikációt is létrehozza[8].

A kétirányú kommunikáció megvalósításához, arra van szükség, hogy a fogyasztóknál legyen olyan eszköz, ami képes kommunikálni[8]- Az okosmérők tulajdonképpen olyan energiamérő berendezések, amik képesek a megmért adatok alapján plusz információkat eljuttatni a rendszer operátornak, ezzel jobban tudják ellenőrizni a hálózatot, és könnyebb kiírni a számlákat. Az okosmérők képesek élőben adatot szolgáltatni a feszültségről, a frekvenciáról vagy épp az akkori fogyasztásról. Vannak beépített funkciói egyes részegységek fel és lekapcsolására, mely főleg az újonnan épülő okosházaknál lesz használható. Operátorok a kinyert adatokkal képesek irányítani távolról az energiaáramlás irányításával, így javítva az egész hálózat fogyasztását.

Az okosmérők kommunikációját szenzorok és irányító rendszerek segíthetik. Az általuk továbbított adat a fent említetteken kívül diagnosztikai célokat is szolgálhat az elosztóhálózat és a háztartások állapotáról. Ez jelenleg legtöbbször csak arra terjed ki, hogy segítse a szolgáltatót a számlák meghatározásában. Viszont a jövőben a kábel és szabadvezeték hálózatok állapotát illetően is nagy hasznát lehet majd venni ezeknek az eszközöknek. A diagnosztikai vizsgálatok közül a kábelek esetén a mechanikai sérülések észlelése várhatóan megvalósítható lesz ezen mérőeszközökkel.

Eddig csak az üzemeltetési oldal számára létrejövő hasznokról ejtettem szót. Viszont az okosmérők segítenek a fogyasztóknak is. Az élőben szolgáltatott fogyasztási

adatok alapján a mérőberendezés képes egy fizetendő összeget számolni, így a fogyasztó tudja optimalizálni a fogyasztását.

Egyre több országban, köztük Magyarországon is egyre nagyobb teret nyernek az okosmérők. Hazánkban az összes újonnan beszerelt eszköz egy okosmérő lesz a háztartásokban. Ezáltal fejlesztve az infrastruktúrát. Jelenleg az okosmérők nagyrésze tradicionális mérőként funkcionál azzal a kivétellel, hogy nem kell villanyóra leolvasó embernek kimenni a fogyasztókhoz, hanem az egy kommunikációs hálózaton továbbítja a mért adatokat a rendszerirányításnak, és a szolgáltatóknak.



**4. ábra - Egy hazánkban is elterjedten használt okosmérő**

## 6 Mérés célja

A nagy- és közepesfeszültségű hálózatokon lévő hibák detektálására már számtalan módszer és praktika kialakult. A kisfeszültségű kábelek esetén a hibák észlelése még mindig kezdetleges[3]. Középfeszültségű hálózattal ellentétben nem alakulnak ki azok a villamos mellékhatások, mint például koronakisülés, elektronlavina, teljes átívelés. Ez azért van, mert nincs hozzá meg a kellő térerősség. Ezen a feszültség szinten, az eddigiek alapján tudhatjuk, hogy a legtöbb hiba és feszültség kimaradás a külső fizikai sérülések miatt következik be. Azt is tudjuk, hogy csak külső hiba esetén következnek be apró részkiülések. Ezeket a kiüléseket szeretnénk a hálózatban észlelni, hogy a hibát megtudjuk előzni.

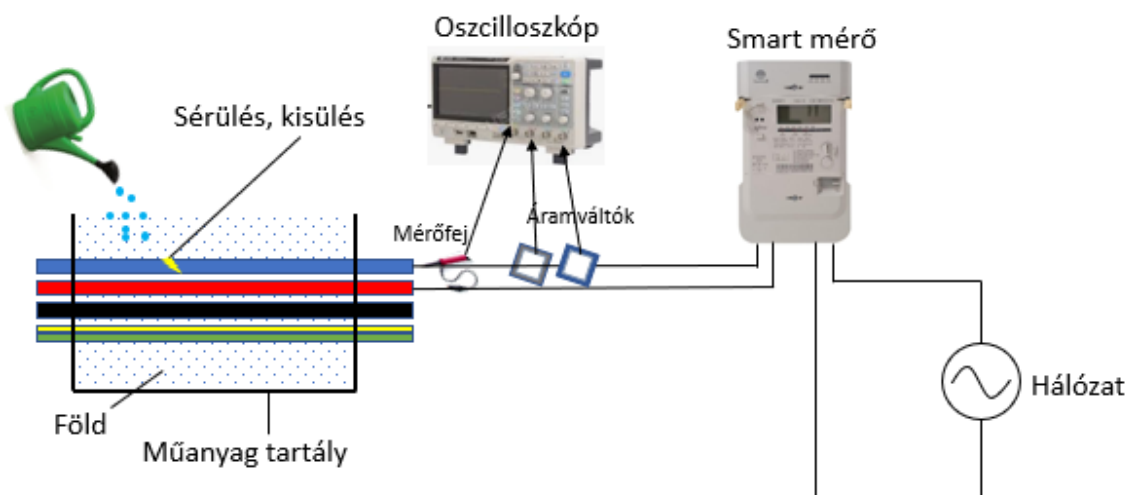
A kisfeszültségű hálózat átalakulóban van. Az energia áramlás iránya már nem meghatározott. A fogyasztók rendelkezhetnek saját energiatermelő egységekkel, ezek a kisfeszültségű hálózatra kapcsolják az általuk termelt energiát. Viszont ezt a régebbi típusú tárcsás villanyórák nem tudják lekezelni[7]. Az okosmérők pont erre a célra kerültek a hálózatba. Ezen eszközök képesek kommunikálni egymással és a hálózattal. Azaz vannak beépített mérőegységeink, az a kérdés, hogy ezek képesek-e észlelni a hibát a hálózatban.

A mérésben kétféle megközelítésben közelítjük meg az okosmérőket. Egyfelől arra szeretnénk volna választ kapni, hogy kisebb szoftveres átalakítások révén a saját mintavételi frekvenciáján képes-e úgy mintavételezni a jelet, hogy azon adatokból láthatóak legyen a részleges kiülések okozta áramimpulzusok. Másfelől pedig arra kerestük a választ, hogy az elsődlegesen mért értékei alapján, mint például teljes elfogyasztott hatásos teljesítmény, következtethetünk-e arra, hogy a kábel hibával sújtott.

Ezeken felül a méréseink során vizsgáltuk, hogy kábeleket különböző nedvesség tartalmú földbe helyezve, a mechanikai sérülése milyen hatással lesz a kábelben kialakuló részkiülésekre. Illetve, hogy van-e szignifikáns különbség a nedves környezet és a száraz környezet között.

## 7 Mérési elrendezés bemutatása

A méréseket a BME Nagyszültségű Laboratóriumában végeztük el. Az elrendezésben helyett kapott egy négycsatornás Agilent oszcilloszkóp, valamint egy okosmérő[19]. A mérési összeállításban a vizsgálódó kábelminták kisebbik része földbe volt helyezve úgy, hogy az általunk okozott mechanikai sérülés minden esetben biztosan föld alatt legyen, ennek a tesztmintának a feszültségét és áramát mintavételezzük. Ezeket az oszcilloszkóp egyes csatornáin jelenítettük meg. Az áramok méréséhez el lett helyezve kétféle áramváltó lakatfogó a mérő vezetéken. Az egyik áramváltó a nagyfrekvenciás részét mintavételezte a jelnek (100 kHz – 20 MHz)[20], a másik áramváltó a kisfrekvenciákat mintavételezte (5 Hz -20 kHz)[21]. A feszültséget 1/100-as feszültségosztóval ellenőriztük az oszcilloszkópon. A mérés tartalmaz ezen felül egy 230/400-as leválasztó transzformátort. Az okos mérő elhelyezkedése a transzformátor és a hálózati táplálás között van. A transzformátor segítségével el tudjuk érni, hogy a kábel erei között fázis és vonali feszültséggel egyezzen meg a potenciál eltérés. A mérések során mindig két vezető eret használtunk, amik vagy közvetlenül az okos mérőből, vagy a transzformátorból indulnak ki. A mérési elrendezés sematikus ábrája az 2-es ábrán látható.



5. ábra - Részkiülés vizsgálat, mérési elrendezés

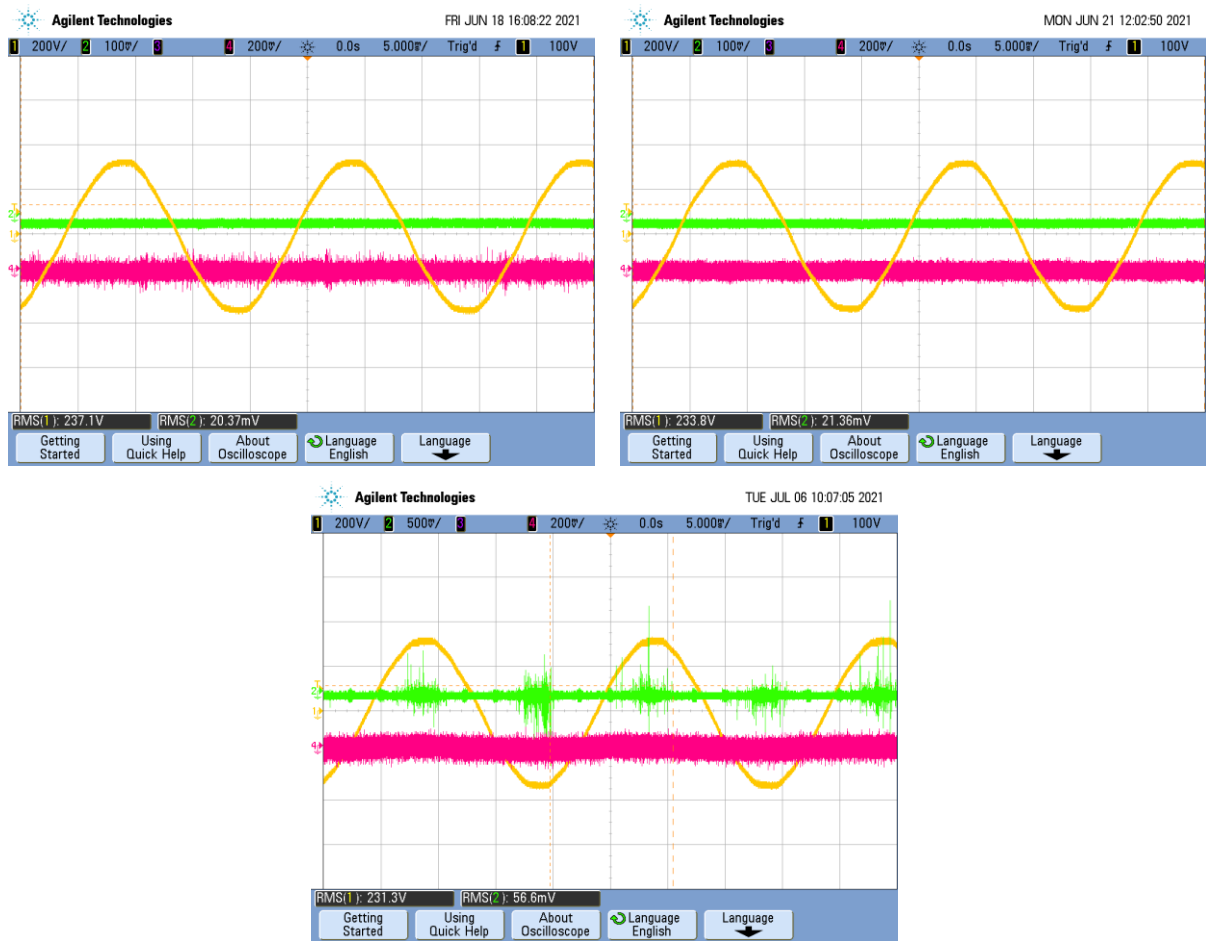
A fentiekben említettek szerint a vizsgálódó kábeleket földbe helyeztük. Először minden kábel mintával végeztünk egy referenciamérést, sérülésmentes esetet száraz földben. Az egyes mérések 8 órát vettek igénybe, hogy az okosmérő által mért teljes

elfogyasztott hatásos energiát, vagy az elfogyasztott hatásos teljesítményt legyen értelme mérni. A mérési darabon ezek után, létrehoztunk egy sérülést (mély vágást). A valóságban leggyakrabban vágási sérüléseket szenvednek az ilyen földkábelek, ezért igyekeztünk vágott sérülést létrehozni. A méréseket megismételtük a már hibát tartalmazó kábellel először száraz földben, majd ahogy az ábrán is látható vizes, nedves környezetben is.

## 8 Mérési eredmények közzlése

A mérések folyamán a feszültség szint változott csak 230 V, illetve 400 V között. A nedves földes kísérletek esetén, nem feltétlenül ugyanolyan mennyiségű vizet öntöttünk a földre, nem mindig lett ugyanannyira nedves a talaj. A kábeleket nem mindig pontosan ugyanúgy helyeztük el a földben. Ezeket azért tehattuk meg, mert a valóságban sem egyenletesen vannak a kábelek a földbe fektetve, máshogy hajlanak, más területen és szögekben lehetnek rajuk a sérülések. Számunkra a cél az volt, hogy minél jobban reprodukáljuk a valóságot. A kábeleken ezen a feszültség szinten kialakuló részleges kisüléseket szeretnénk volna megmérni. Nem lesz mindenütt ugyanolyan mértékű az eső, hogy pontosan ugyanolyan nedves legyen a talaj, és nem mindenütt van ugyanolyan mélyre fektetve a kábel sem.

Méréseink folyamán az oszcilloszkóp három csatornáján mért jelet vettük figyelembe és az okosmérő által mért elfogyasztott energiákat. Először a 230 V-on mért eseteket mutatnám be. Ezen a feszültség szinten tulajdonképpen csak nedves környezetben észlelhető a sérülés után kialakuló kisebb rész kisülések. A hibamentes kábelen lévő áramok a zajnak felelnek meg. A száraz földbe helyezett mechanikailag sérült teszt darab esetén még nem jelennek meg kisülések. Amikor a föld nedves volt, megjelentek egyes kisülések a kábelen, amiket tudunk is detektálni az oszcilloszkóppal. Amint ezt mutatja is a 6. ábra. Ezen részleges kisülések megjelennek mind a pozitív mind pedig a negatív félperiódusában a feszültség görbének. Különböző amplitúdókkal de nagyjából egyenletes időközönként.



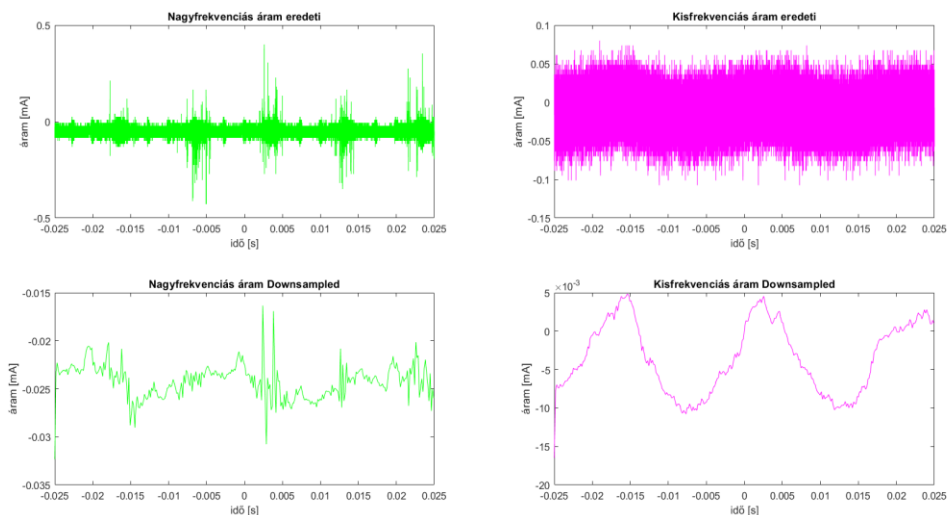
6. ábra - 230 voltos mérések eredményei: bal felül hibamentes, jobb felül száraz földben, alul nedves földben

A 6. ábra mutatja, hogy a hibamentes kábel oszcilloszkópos képén, a megjelenő áramokon, a zöld színű jel a nagyfrekvenciás áram, a magenta színű jel a kisfrekvenciás áram és a sárga színű jel a feszültség, csak a zaj figyelhető meg. Az ábrán jobbra fent látható a már megsértett kábel földbe helyezett mérésének egy oszcilloszkópos képét. Ezen is megfigyelhető, hogy mind a nagyfrekvenciás, mind pedig a kisfrekvenciás áramok csak a zajt mérték. Így a hibát sem sikerült detektálni a kábelen. Az általunk elvégzett száraz földre helyezett kábel esetén egyetlen alkalommal sem tudtuk kimutatni a kábel hibáját. Az alsó kép esetén a kábelt nedves földre helyeztük, ekkor a nagyfrekvenciás áram (zöld színű jel) esetén a feszültségmaximumok környezetében, megfigyelhetőek ugrások. Ezek a részleges kisülések kisenergiájúak. Az áramcsúcsok változó nagyságúak, csak a feszültségcsúcsok közvetlen környezetében lépnek fel. Az

alacsonyfrekvenciás áramváltóval mért jeleken ebben az esetben is leginkább zajt mértünk. Ebből kifolyólag a fellépő jelenségek nagyfrekvenciásnak tekinthetők.

A következő nagy kérdés az volt, hogy ezeket a jeleket mennyire tudja érzékelni az általunk mérő körbe helyezett okos mérő. Ennek az okosmérőnek a mintavételi frekvenciája nagyságrendekkel kisebb volt, mint az oszcilloszkópé. Az oszcilloszkóp mintavételi frekvenciája 40 MHz, az okosmérő mintavételi frekvenciája 1500 Hz. Ezért Matlab segítségével egy aluláteresztő szűrővel, úgy mintavételeztem a jelet, hogy azt alul mintavételezzem. Ezzel elértem, hogy a jelem olyan alakban álljon elő, mintha azt az okosmérő szolgáltatta volna.

Ezek alapján egy olyan mérést kiválasztottam, ahol az oszcilloszkóppal észleltük nedves környezetben a hibát a kábelen, és megnéztem, hogy az alulmintavételezett szűrő segítségével is képesek vagyunk-e észlelni a kisülések jelenségét.



**7. ábra - 230 voltos mérések esetén az eredeti és az alulmintavételezett jelek**

Az 7. ábra felső sorban találhatóak az eredeti mintavételezési frekvencia alapján készített ábrák, alul pedig az alul mintavételezett jel látható. Jól megfigyelhető, hogy az eredeti frekvencián kivehetőek a részleges kisülések által okozott áramimpulzusok a nagyfrekvenciás áram összetevő esetén. Az impulzusok nagysága elérheti a 0.4 mA-t is. Kisfrekvencián az oszcilloszkóp továbbra is zajt, és szivárgó áramot mért. Az alsó sorban láthatóak az alulmintavételezés után nyert jelalakok. Az eredeti áramgörbe körülbelül minden 26000-ik pontján lett mintavételezve a jel, így egy nagyon durva átlagolást végeztünk. Abban az esetben, ha a kisülés nagyon rövid idő alatt megy végbe, és túl



gyorsan, akkor előfordulhat, hogy az alulmintavételezés miatt ezt a kisülést nem érzékeljük. Az ábrán látható, hogy a nagyfrekvenciás áramváltón négy esetben látszódnak nagyobb impulzusok az áram jelalakjában. Ez az alulmintavételezett jel esetén nem egyértelműen eldönthető. Ezzel a módszerrel az alap mintavételi frekvenciák által mért részleges kisülések közül csak a 0 és 0.005 másodperc közötti jelenséget tudtuk egyértelműen észlelni. Nem minden impulzus esetén eldönthető, hogy azt az alul mintavételezés után észleltük-e, vagy csak zajnak tekinthető a mutatott érték.

Az okosmérő segítségével mértük az átfolyó áramot, a feszültséget, a teljes elfogyasztott hatáson, illetve meddő teljesítményeket. Az eredmények az 1. táblázatban láthatóak.

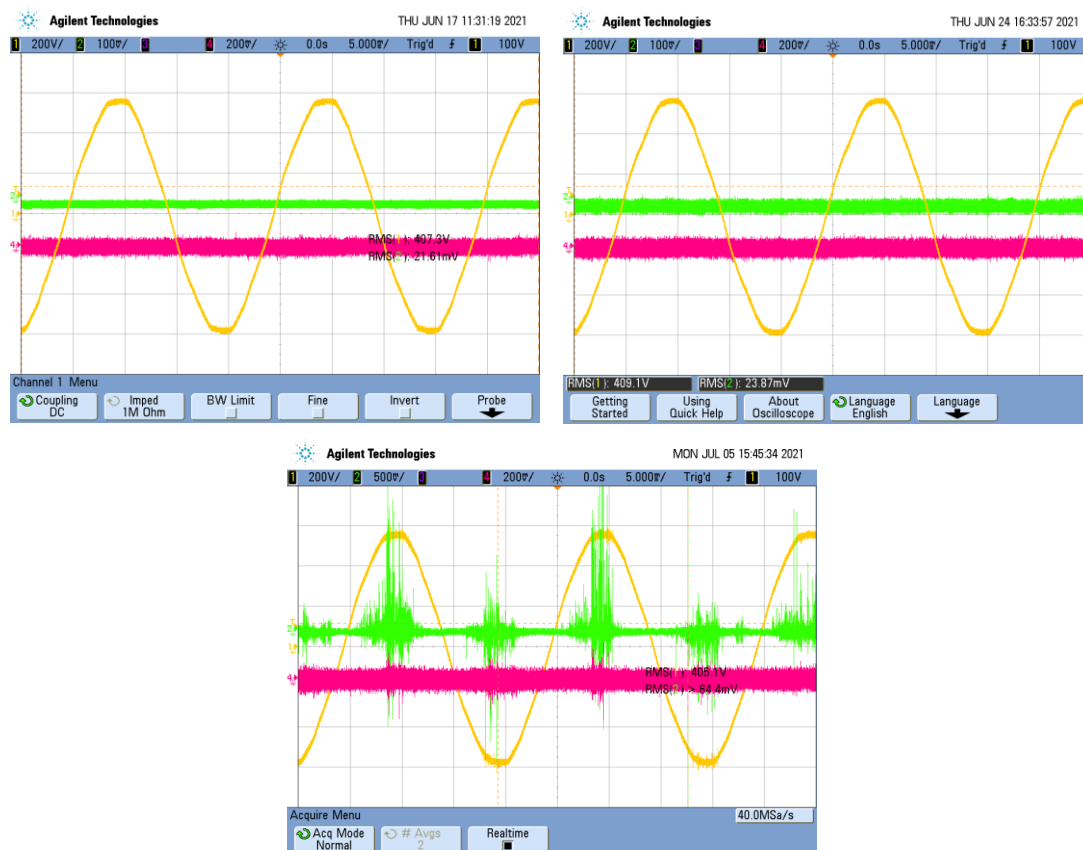
	Hibamentes		Száras földbe helyezett		Nedves földbe helyezett	
	mérés elején	mérés végén	mérés elején	mérés végén	mérés elején	mérés végén
Teljes elfogyasztott hatáson energia [kWh]	815.6	815.9	815.9	815.9	816.4	816.5
Teljes visszatáplált hatáson energia [kWh]	792.1	792.1	792.1	792.1	792.1	792.1
Teljes elfogyasztott meddő energia [kvarh]	30.1	30.9	30.9	30.9	32.2	32.2
Teljes visszatáplált meddő energia [kvarh]	411	411	411	411	411	411
Elfogyasztott hatáson teljesítmény [kW]	0	0	0	0	0	0
Feszültség [V]	231.12	235.81	232.15	233.21	232.43	246.25
Áram [A]	0	0	0	0	0.02	0.03

**1. táblázat – Okosmérőn tapasztalt változások 230 V-on**

Amint a táblázatból kivehető a legtöbb érték a vizsgálat viszonylag rövid ideje alatt nem változott. A méréseket 8 órán át végeztük, egy üresen járó kábelon, így fogyasztott teljesítmény sem lett számottevő egyik esetben sem. Érdekes, hogy pont a

hibamentes kábel esetén változtak a mérés végére a teljes elfogyasztott meddő energia és hatásos energia értékei. A méréseink során érdemes az áram pillanatnyi értékét megnézni a három esetben. Az első hibamentes esetről az üresjárás miatt tudjuk, hogy az áram pillanatnyi nagyságának minden esetben 0 ampernek kell lennie. Ugyanúgy 0 amper mértünk a száraz földbe helyezett hibával sújtott kábel esetén is. Viszont az utolsó esetben amikor a mintánk nedves földbe volt helyezve az okosmérő által mért áramértékek eltérnek a nullától. Ez azért lehetséges, mert az okosmérő észlelhette a hibahely által okozott részleges kisüléseket. A pillanatnyi feszültség értéke is kisebb mértékben megnövekedett az utolsó mérés esetén. Ebből arra lehet következtetni, hogy az okosmérő is kitudta mérni azt, hogy jelen vannak kisülések a kábelen, azaz mechanikailag sérült.

Ugyanezeket a méréseket elvégeztük 400 V-on is, hogy ezzel is szimuláljuk, ha föld még nem kerül be a kábelbe, de két fázis is sérült.



**8. ábra – 400 voltos mérések eredményei balra fent hibamentes, jobbra fent száraz földben, lent nedves földben**

Az 5. ábrán egy kábel esetén láthatóak az oszcilloszkópos képek a 3 mérési elrendezésben. Az eredmények nagyon hasonlóak a 230 voltos részletezett esethez. A referencia mérések folyamán az áramok továbbra is zajnak tekinthetőek. A száraz földes

méréseink alatt, egyetlen esetben kaptunk az általános zajtól eltérő áramgörbét a nagyfrekvenciás kimenetén az oszcilloszkópnak.

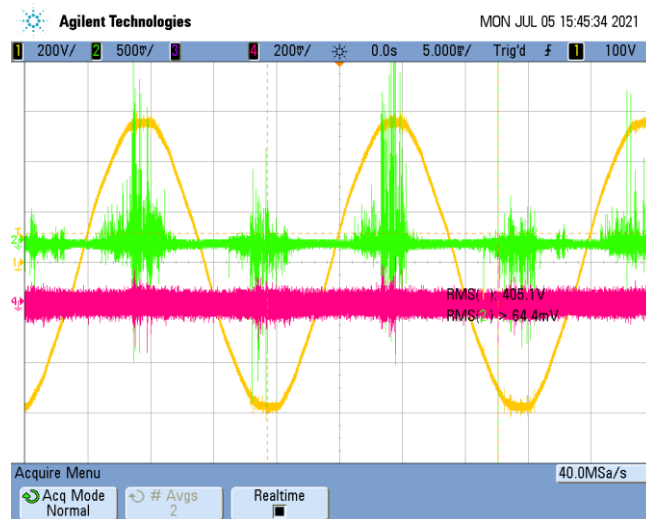


**9. ábra - 400 voltos feszültségen száraz földbe helyezett sebzett kábel**

A 9. ábra mutatja azt az esetet a száraz földbe helyezett kábelről, amelyen eltérő a nagyfrekvenciás áram jelalakja a többi száraz földbe helyezett mérés eredményeitől 8. ábra. Ezek a kisülések a feszültség negatív és pozitív félperiódusának maximum értékei körül jönnek létre. Mivel a kisfrekvenciás áramváltóval nem tudtuk észlelni ezeket a kisüléseket, bizonyosak lehetünk abban, hogy ezek a kisülések nagyfrekvenciás kisülések. Így arra a következtetésre jutottam, hogy ezen a mérésen koronakisülések jöhettek létre a kábelben, amelyet csak a nagyfrekvenciás áramváltó vett észre.

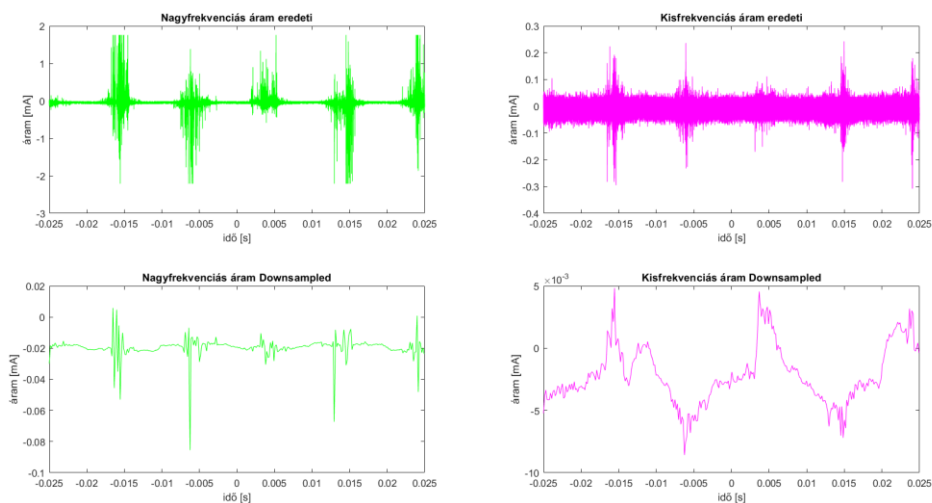
A méréseink folyamán nedves földben tudtuk a legtöbbször kimutatni a hibát. Az 8. ábra látható, hogy a nagyfrekvenciás áramösszetevőben már jelentősen nagyok a részleges kisülések okozta áramok által keltett amplitúdók. A feszültség pozitív félperiódusában jóval hosszabb ideig eltartanak a kisülések, és nagyobb értékeket is ér el az áram, mint a negatív félperiódusban. Ezen a feszültség szinten már a kisfrekvenciás áramváltóval bekötött magenta színű áramgörbén is látszanak a kisebb részleges kisülések okozta áramcsúcsok. Ezeket a kisüléseket az okosmérő frekvenciáján is nagyon jól lehet érzékelni. Nedves földben viszont a mérés lefolytatása során, egyre nagyobb amplitúdóval szerepeltek a részleges kisülések, míg nem egy esetben a mérést nem mi

állítottuk le, hanem a biztosíték oldott ki, mivel a kismegszakítón olyan értékű áram folyt át, ami elérte ennek a nyitási áramát. A kismegszakító megszakította az áramkört, hogy ezzel is védje a hálózatot a zárlattól. Megjegyzendő, hogy nedves földes mérés esetén a feszültség szinuszos görbéje sem olyan szép sima már, mint az ép kábel vagy épp a száraz földre helyezett kábel esetén.



10. ábra - 400 V-on nedves földes mérés oszcilloszkópos képe

Ebben az esetben is megcsináltam a jel alul mintavételezését. Mivel most jóval nagyobb amplitúdóval jelentkeztek a részleges kisülések a kábelen ezért az alulmintavételezett jelen is nagyon látványos az eredmény. Tisztán kivehető mind a nagyfrekvenciás, mind pedig a kisfrekvenciás összetevőből, hogy részleges kisülések következtek be a kábelen. Azaz észrevettük, a mechanikai hibáját a kábelnek.



11. ábra - 400 V-os mérés esetén az áramok eredeti jelalakja, illetve alulmintavételezett alakja

A nagyfrekvenciás áram jelén láthatjuk, hogy a kisülések egy-egy időszakban történnek és időtartamuk 5 ezredmásodperc. Ezalatt nagyon magas amplitúdokat érnek el az áramimpulzusai, az eredeti mintavételezési frekvencián látható, hogy 2 mA fölé egyszer sem mennek az áramértékek, ez azért van, mert az oszcilloszkóp csak azt a jelet tudja mérni, ami a képernyőjén van. A jel rosszul volt skálázva az oszcilloszkóp kijelzőjére így a maximum értékek nem fértek rá. Ebben az esetben az alulmintavételezés során is jóval tisztábban látszódnak a kisülések okozta impulzusok. Ez amiatt is lehet, mert szignifikánsabban nagyobb értékeket ért el az áram, valamint a kisülések is hosszabb ideig felléptek a kábelben. A kisfrekvenciás árammérővel mért jelen is megjelennek a részleges kisülések, ez a 7. ábrán jól látható. Ellenben az alulmintavételezett jellel ezeket a kisüléseket nem tudjuk észlelni, csak egy trendet láthatunk, hogy egyszer pozitív lesz az áram, egyszer negatív, de amplitúdója nagyon kicsi, a nagyfrekvenciás összetevőhöz képest.

Ebben az esetben is rögzítettük a 8 órás mérés elején és végén az okosmérő által mért értékeket. Ezen mérési eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

	Hibamentes		Száras földbe helyezett		Nedves földbe helyezett	
	mérés elején	mérés végén	mérés elején	mérés végén	mérés elején	mérés végén
Teljes elfogyasztott hatásos energia [kWh]	816.5	816.8	816.8	817.6	816.4	816.5
Teljes visszatáplált hatásos energia [kWh]	792.1	792.1	792.1	792.1	792.1	792.1
Teljes elfogyasztott meddő energia [kvarh]	32.2	32.9	32.9	35	35	35.6
Teljes visszatáplált meddő energia [kvarh]	411	411	411	411	411	411
Elfogyasztott hatásos teljesítmény [kW]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Feszültség [V]	232.14	233.2	234.12	232.06	233.22	234.54
Áram [A]	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44

**2. táblázat 400 voltos esetben az okosmérő által mért értékek**

A táblázatból kiolvasható, hogy az előző mérésben is változatlan értékek továbbra sem változtak meg. Az előző méréshez képest az áramértékek nőttek meg szignifikánsabban. Viszont ezek az áramértékekben nemcsak a kisülések által okozott áram van benne, hanem benne van a transzformátor árama is. Szóval ezzel a módszerrel nincs esélyünk, mérni és detektálni a részleges kisüléseket.

## 9 Konklúzió

Ebben a dolgozatban arra kerestük a választ, hogy a kisfeszültségű elosztóhálózatokon fellépő hibákat miképpen lehetne minél egyszerűbben és költséghatékonyabban észlelni. Ezek a hibák eltérőek a nagyobb feszültségű hálózatoktól, így egészen más módszereket kell alkalmazni felismerésükhöz. A kisebb feszültség miatt a kábeleken létrejövő kisülések minden esetben egy hibára utalnak. Ez nagyban megkönnyíti a hibák észlelését.

A számunkra rendelkezésre álló mérőeszközökkel szeretnénk megmutatni, hogy képesek vagyunk-e észlelni ezeket a részleges kisüléseket. Egy laboratóriumban több olyan mérőberendezés a rendelkezésünkre áll, amikkel ezek a hibák könnyen kimutathatóak, de ezen berendezések nem állnak rendelkezésre mindenhol. Az elosztóhálózat hibáit viszont csak diagnosztikai mérések során mérjük ilyen eszközökkel. Ahhoz, hogy minél több diagnosztikai mérést megspóroljunk, a hálózatfejlesztésből adódó lehetőséget használhatjuk ki. A kisfeszültségű hálózat egyre dinamikusabban változik és ezzel a szolgáltatóknak is tartania kell a lépést. Az okosmérők ennek a fejlesztésnek fontos részegységei.

Ezen okosmérők képesek kommunikálni a hálózattal, ezt a kommunikációs képességüket kábeldiagnosztikai célokra is ki szeretnénk használni. Ezen kutatások során arra kerestük a választ, hogy ez mennyire lehetséges. Az okosmérő által mért értékeket és az okosmérő fizikai képességei alapján milyen lehetőségeink vannak a kábelek helyi hibáinak kimutatására.

Amint a kábeldiagnosztikai fejezetben is látható, létezik több olyan módszer, amivel képesek vagyunk kábelek hibáit észlelni, ezen mérések közül a legtöbb nem arról ad tájékoztatást, hogy hol helyezkedik el a hiba a kábel hosszanti irányában, hanem arról, hogy hibás-e a kábel. Az általunk használt módszer sem lenne arra alkalmas, hogy pontosan meghatározza, hogy hol található a hiba a kábelszakaszon. Viszont sok okosmérő csatlakozik a hálózatra. Abban az esetben, ha egy hiba két okosmérő között lépne fel, akkor a két közvetlenül mellette lévő okosmérő észlelheti ezt, és kisebb területre redukálhatjuk a hiba forrását.

A Nagyfeszültségű Laboratóriumban sikerült olyan mérési elrendezést összeállítani, amivel tudtuk ellenőrizni azt, hogy képes-e az okosmérő detektálni a

hibákat. Az okosmérők mintavételi frekvenciájával nem minden esetben sikerült detektálni a mechanikai hibát a kábelben. Alacsonyabb feszültség szinteken ez a megoldás kevésbé tűnik célravezetőnek, hiszen a méréseink folyamán üresen járó kábeleket vizsgáltunk, amin alapesetben nem folyik áram. Azonban a hálózatban ez nem működőképes, ott minden esetben folyik a kábelben áram, nem fogjuk észlelni a kis áramimpulzusokat. Viszont nagyobb feszültség szinten képesek voltunk ezen a mintavételi frekvencián is észlelni a kisüléseket. Az okosmérő primer mérőadatai alapján nem tudjuk észlelni a hibát a kábelben.

A méréseink során további alátámasztást nyert, hogy a nedves földben a mechanikai sérülések jobban éreztetik hatásukat. A nedves földben lévő víz mennyisége is befolyásolta a részleges kisülések nagyságát. Száraz földben még a mechanikailag sértett kábeleken sem alakultak ki a részleges kisülésre jellemző áramcsúcsok.

Ezen vizsgálatok jelenlegi tapasztalataink alapján továbbfejleszthetők. Érdekes lehet a méréseket még hosszabb ideig futtatni. A hosszabb mérés idő alatt, az okosmérők által mért értékekben jelentősebb változást észlelhetnénk. Az adatokat érdemes lehet nem csak idő tartományban, hanem frekvencia tartományban vizsgálni. A korszerű részleges kisülés érzékelők a hullámtranszformációt használják, mellyel egyszerre idő- és frekvenciatartományban látható a jelünk[11]. Tudjuk, hogy ezek a kisülések nagyfrekvenciások, szóval frekvenciatartománybeli analízis során érdemes lehet megfigyelni, hogy milyen tartományban mozog a kábelben folyó áramok frekvenciája, és ebből kiindulva is megállapítható, hogy mechanikailag sérült a kábel.



## Irodalomjegyzék

- [1] S. M. Rowland and M. Wang, "Fault Development in Wet, Low Voltage, Oil-Impregnated Paper Insulated Cables," in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 15, no. 2, pp. 484-491, April 2008, doi: 10.1109/TDEI.2008.4483468
- [2] Mohsen Mohammadi Alamuti, Hassan Nouri, Rade M. Ciric és Valadjimir Terzija: Intermittent Fault Location in Distribution Feeders
- [3] Dr. Cselkó Richárd: Application of partial discharge measurement as a diagnostic tool for low-voltage cables <http://hdl.handle.net/10890/13188> (elérés: 2021.10.25. 17:26)
- [4] B. Kruizinga és P.A.A.F. Wouters: Fault Development upon Water Ingress in Damaged Low Voltage Underground Power Cables with Polymer Insulation
- [5] A. van Deursen, B. Kruizinga, P. A. A. F. Wouters and E. F. Steennis, "Impact of corrosion on the reliability of low voltage cables with aluminium conductors," *2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC.2017.8231883.
- [6] W. Charytoniuk, W.J. Lee, M.S. Chen, J. Cultrera, T. Maffetone: Arcing Fault Detection in Underground Distribution Networks – Feasibility Study
- [7] MVM okosmérők a hálózaton - <https://mvmhalozat.hu/aram/oldalak/1551> (elérés: 2021. 10. 28.)
- [8] Jixuan Zheng, David Wenzhong Gao, Li Lin: Smart Meters in Smart Grid: An Overview
- [9] Okosmérő kép - <https://www.eon.hu/content/dam/eon/eon-hungary/documents/Muszaki-ugyek/Fogyasztasmerok-leirasa/sanxing-sx6x1/EON-leiras-az-ugyfelek-szamara-SX6X1-S12U16-S34U18-V010.pdf> (elérés: 2021. 10. 29.)
- [10] Luspay Ödön: Közép- és nagyfeszültségű hálózati berendezések diagnosztikai vizsgálata
- [11] Dr Colin Smith: On-Line Partial Discharge Testing & Monitoring Webinar – Underground Cable Networks 2021.09.14. 9:00 <https://app.livestorm.co/ipec/the-pd-webinar-partial-discharge-in-underground-cables/live?s=ab8ee75b-d9a6-4eac-8d8b-091b7dd737c7#/chat>
- [12] Dogan Gokhan Ece, Francis M. Wells, Hakan G. Senel: Analysis And Detection of Arcing Faults In Low-voltage Electrical Power System
- [13] Ayan Mukherjee, Aurobinda Routray, Anik Kumar Samanta: Method for On-line Detection of Arcing in Low Voltage Distribution Systems

- [14] [http://www.mszt.hu/web/guest/webaruhaz?p\\_p\\_id=msztwebshop\\_WAR\\_MsztWAportlet&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_msztwebshop\\_WAR\\_MsztWAportlet\\_refer=149881&\\_msztwebshop\\_WAR\\_MsztWAportlet\\_javax.portlet.action=search](http://www.mszt.hu/web/guest/webaruhaz?p_p_id=msztwebshop_WAR_MsztWAportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_msztwebshop_WAR_MsztWAportlet_refer=149881&_msztwebshop_WAR_MsztWAportlet_javax.portlet.action=search)
- [15] Z.Á. Tamus, R. Cselkó, I. Berta: Partial Discharge Measurement in Low Voltage Cable Diagnostics
- [16] <https://diagnostics.hu/a-kapacitas-es-a-vesztesegi-tenyezo-merese/> elérés ideje: 2021. 10. 27.
- [17] Li Lei, Li Zhong: Additional low frequency signal measurement method of insulation resistance about mine cable
- [18] Wei Xinlao, Ma Sen, Chen Qingguo, Wang Yonghong: An On-line Measurement Method for Cable Insulation Resistance in a GPT's Neutral point Directly Grounded System
- [19] Sanxing SX501 (SX1A1-SELS-05) Egyfázisú SMART fogyasztásmérő v04
- [20] Nagyfrekvenciás áramváltó - <https://www.ontrium.com/get.aspx?id=2019204>
- [21] Fluke kisfrekvenciás áramváltó - [http://www.testequipmentdepot.com/fluke/pdf/i400\\_manual.pdf](http://www.testequipmentdepot.com/fluke/pdf/i400_manual.pdf)

# Ábrajegyzék

1. ábra – Belső üregkiszülések jellegzetes alakja[10] .....	8
2. ábra - Kisfeszültségű földkábel felépítése [4].....	10
3. ábra - részleges kiszülések oszcillogramjai3. ábra - részleges kiszülések oszcillogramjai.....	15
4. ábra - Egy hazánkban is elterjedten használt okosmérő .....	18
5. ábra - Részkiülés vizsgálat, mérési elrendezés.....	20
6. ábra - 230 voltos mérések eredményei: bal felül hibamentes, jobb felül száraz földben, alul nedves földben .....	23
7. ábra - 230 voltos mérések esetén az eredeti és az alulminta vételezett jelek... 24	
8. ábra – 400 voltos mérések eredményei balra fent hibamentes, jobbra fent száraz földben, lent nedves földben .....	26
9. ábra - 400 voltos feszültségen száraz földbe helyezett sebzett kábel .....	27
10. ábra - 400 V-on nedves földes mérés oszcilloszkópos képe.....	28
11. ábra - 400 V-os mérés esetén az áramok eredeti jelalakja, illetve alulminta vételezett alakja .....	28