



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Nagy Dániel

**FESZÜLTSG ALATTI
MUNKAVÉGZÉS ESZKÖZEINEK
ÁTVÉTELI ÉS PERIODIKUS
VIZSGÁLATA**

Elektródelrendezések felülvizsgálata

KONZULENSEK

Németh Bálint

Cselkó Richárd

BUDAPEST, 2013

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	4
Abstract.....	5
1 Bevezetés	6
2 FAM technológiák.....	7
2.1 Távolból végzett munka.....	7
2.2 Érintéssel végzett munka	8
2.3 Potenciálon végzett munka	8
3 FAM eszközök	10
3.1 FAM eszköz funkciója és igénybevétele	11
3.1.1 Szigetelő rudak	11
3.1.2 Csatlakoztatható eszközök.....	11
3.1.3 Szigetelő védőburkolatok	12
3.1.4 Áthidaló szerkezetek.....	13
3.1.5 Mérő és vizsgáló eszközök	13
3.1.6 Tartószerkezetek	14
3.1.7 Személyi védőfelszerelések	14
3.1.8 Elhelyezkedésre használt eszközök	15
3.1.9 Feszültség alatt végzett tisztítás eszközei	16
4 Szimuláció bevezetése	17
5 Szigetelő rúd	18
5.1 Általános bevezetés.....	18
5.2 Használat során fellépő igénybevételek.....	21
5.2.1 Mechanikai igénybevételek	21
5.2.2 Használat során fellépő villamos igénybevétel.....	22
5.2.3 Szimuláció – szigetelő rúd üzem közben.....	23
5.3 Villamos vizsgálat.....	25
5.3.1 Szabvány által előírt villamos vizsgálat.....	25
5.3.2 Különböző elektródformák bemutatása	27
5.3.3 Villamos erőter szimulációk - eltérő elektródokkal.....	31
6 Szigetelő lepel	33
6.1 Általános bevezetés.....	33

6.2	Használat során fellépő igénybevételek.....	36
6.2.1	Mechanikai igénybevételek	36
6.2.2	Villamos igénybevétel	36
6.2.3	Szimuláció – szigetelő lepel használat közben	37
6.3	Előírt villamos vizsgálat során fellépő igénybevétel	39
6.3.1	Alkalmazandó feszültségérték	39
6.3.2	Vizsgáló elrendezésre vonatkozó előírás	40
6.3.3	Villamos felülvizsgálat során fellépő igénybevétel	41
7	Összegzés.....	47
	Irodalomjegyzék.....	48

Összefoglaló

Az elmúlt néhány évtizedben jelentősen megváltoztak a fogyasztói szokások, melynek köszönhetően az élet bármely területén elengedhetlenné vált a villamos energia szüntelen szolgáltatása. A folyamatos és növekvő energiaigények biztosítása miatt egyre kevésbé engedhető meg az átviteli hálózat távvezetékszakaszainak kikapcsolása. A feszültség alatti munkavégzés (továbbiakban FAM) egy olyan módszer, melynek alkalmazásával a hálózaton esetlegesen fellépő üzemzavarok elhárítása, illetve karbantartási munkafolyamatok végrehajtása során a fogyasztók továbbra is zavartalan ellátásban részesülnek. Az egyes feszültségszinteken alkalmazott FAM technológiák biztonságos elvégzéséhez elengedhetetlen a villamos szempontból megfelelő védelmet nyújtó eszközök és védőfelszerelések használata.

Minden FAM védő-, és munkaeszköznek az első használat előtt átvételi vizsgálaton, ezt követően pedig ún. periodikus vizsgálaton kell bizonyítania, hogy alkalmazása biztonságos a fellépő maximális igénybevételek mellett is.

Dolgozatomban a különböző FAM módszerek során alkalmazott védő és munkaeszközökre (pl. szigetelő rudak, szigetelő karvédők és kesztyűk stb.) vonatkozó szabványok felülvizsgálatával foglalkozom. Méréseim és szimulációim segítségével bemutatom, hogy a vizsgálat során milyen villamos igénybevétel éri az egyes bevizsgált eszközöket, és ez hogyan változik a használat közben az adott eszközt érő igénybevételekhez képest.

A vonatkozó nemzetközi szabályozások nem minden esetben egyértelműek, az azokban részletezett diagnosztikai eljárások pedig többször nem alkalmasak az eszközök meghibásodásainak kimutatására. Felülvizsgálatot igényelhetnek továbbá azok a villamos- és mechanikai vizsgálatok, melyek több esetben az eszközök élettartamát is rövidíthetik.

Abstract

In the last few decades, the consumers' habit changed significantly. On the other hand, the increase of the international power transport requires not to switch off power lines. In the electrical engineering, live line working is a maintenance of electrical equipment under voltage, operating at low, medium and high voltage in our country. The advantage of LLW is that, during repairing and maintenance on the power lines, the consumers get continuous supply of electricity.

On every voltage level there are different LLW techniques, where it's necessary to use different working tools and individual protective equipment to keep the live line workers in safe. On each of them have to be performed a safety measurements, before the first use and after that, periodically through its lifetime.

In my work I am going to review the standards of the different safety equipment (for example insulating poles, sleeves of insulating material, gloves of insulating material). I introduce the stress of the measured equipment due to stress of this safety periodical measurement, and compare it to the stress due to use of these working tools on live line.

The international standards of these safety measurements are not always obvious, and the diagnostic procedures in them are often not suitable to detect the equipment's failure. Some electrical and mechanical tests, which can cause the equipment's life shorter, require a review too.

1 Bevezetés

Az 1970-es évek közepén Dr. Csikós Béla munkásságának köszönhetően létrejött a magyar nagyfeszültségű hálózatra vonatkozó feszültség alatti munkavégzés (röviden FAM) technológiája. Felismerve annak előnyeit, néhány év alatt átdolgozták azzal a céllal, hogy közép-, és kisfeszültségű rendszereken is alkalmazható legyen. Ugyan az első megjelenése óta rengeteg változáson és fejlődésen ment már át a FAM tudománya, mégis a mai napig alapkövekként szolgálnak a Dr. Csikós Béla által kidolgozott módszerek.

Hazánkban jelenleg mind a három feszültség szinten alkalmaznak FAM-ot, hiszen mind műszaki, illetve gazdasági előnye egyaránt jelentős. Alkalmazásának egyik legnagyobb haszna, hogy munkavégzés közben - feszültségmentes állapottal ellentétben - a karbantartandó részhez tartozó távvezeték szakaszt nem kell kikapcsolni, így a fogyasztók továbbra is szünetmentes ellátásban részesülhetnek, illetve az áramszolgáltatóknak sem jelent energia kiesést. A megfelelő munkavégzési előírásokat betartva egy rendkívül biztonságos és sokoldalú technológiáról van szó. A feszültség jelenléte azonban nem csak a szakképzett dolgozó személyek tudatos és elővigyázatos munkavégzését követeli meg, hanem a fejlett, korszerű védő- és munkaeszközök használatát is. A Feszültég Alatti Munkavégzés Biztonsági Szabályzatában foglaltak alapján csak azokkal a védő-, és munkaeszközökkel lehet feszültég alatti munkavégzést végrehajtani, amelyek megfeleltek az első használat előtt esedékes átvételi vizsgálaton, illetve a használat során előírt időszakonként végrehajtandó úgynevezett periodikus vizsgálatokon.

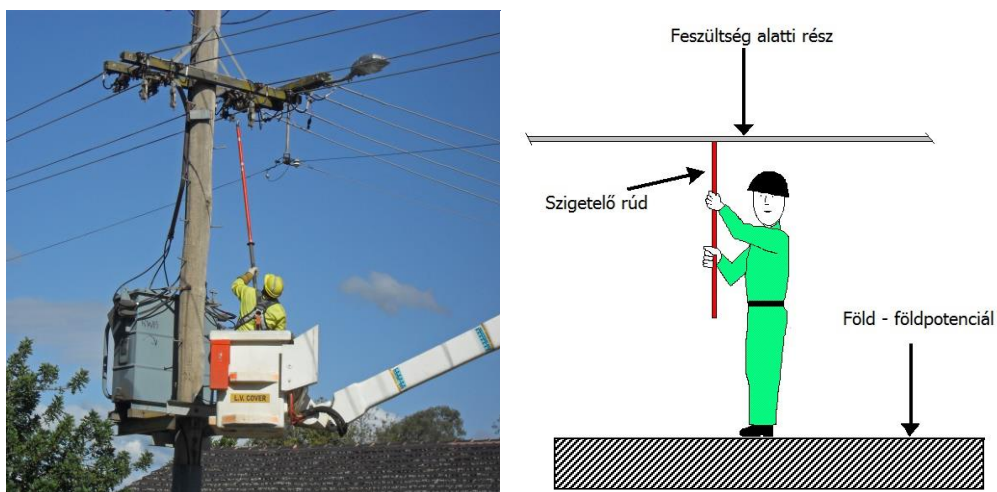
2 FAM technológiák

Feszültség alatti munkavégzés során alapvetően három fő munkamódszert különböztetünk meg, melyek külön-külön, illetve egymással kombinálva is alkalmazhatóak. [1] [2]

2.1 Távolból végzett munka

A távolból végzett munka módszere során a dolgozó személyek szigetelő rudakat segítségével végzik el a feszültség alatti rész karbantartását, javítását. A rudak használatának célja, hogy a munkavégző személy olyan távolságról dolgozzon a feszültség alatt álló részen, amely a veszélyes övezeten kívül esik, vagyis a szerelőre nézve biztonságos. Másik nagy előnye, hogy a munkavégző személy nem halad át szigetelési légközön.

Jellemzően középfeszültségen használják a rudas módszert, például oszlopkapcsolók, álló-, és feszítőszigetelők cseréje, tisztítási munkálatok stb., de néhány esetben nagyfeszültségű rendszereknél is alkalmazásra kerül.

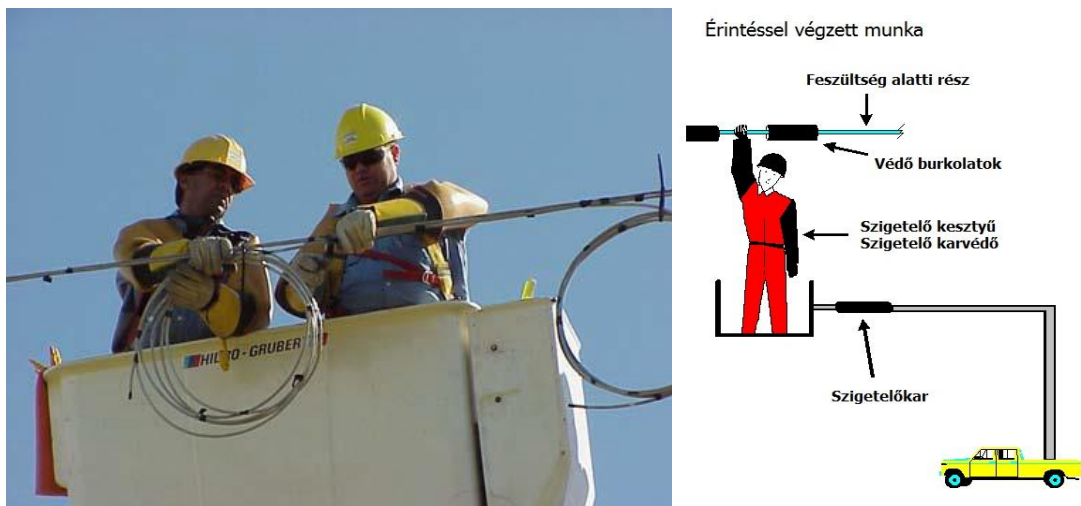


2.1. ábra: Távolból végzett munkamódszer

2.2 Érintéssel végzett munka

A kisméretű feszültségű hálózati problémáknál legtöbbször érintéssel végzett FAM technológiát alkalmaznak. Ekkor a dolgozó személy közvetlen mechanikai kontaktusba kerül a feszültség alatt álló áramköri elemmel, azaz munkáját a veszélyes övezeten belül tartózkodva végzi, ahol a megfelelő védőfelszerelések és szerszámok biztosítják a szükséges szigetelést. A biztonságos munkavégzéshez elengedhetetlen a villamos védelmet nyújtó elektrotechnikai gumikesztyű, illetve a mechanikai védelmet biztosító védőkesztyűk viselete, továbbá szükség esetén a szigetelő karvédők használata.

Ilyen FAM módszert alkalmaznak például a kisméretű rendszeren történő fogyasztásmérő bekötésénél, cseréjénél, illetve csavarkötések utánhúzásánál stb. [3]



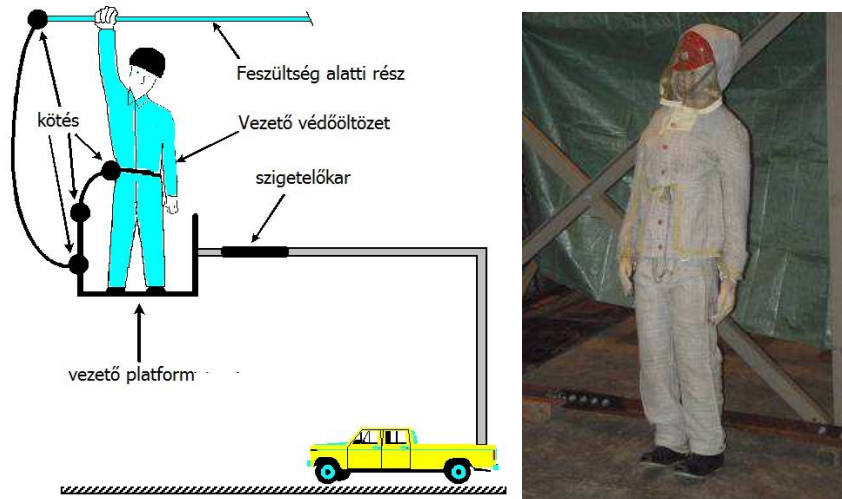
2.2. ábra: Érintéssel végzett munkamódszer

2.3 Potenciálon végzett munka

Potenciálon történő munka módszerét általában nagyfeszültségű rendszereken alkalmazzák, ahol már elegendően nagyok a fázisvezetők, illetve a fázisvezető és földelt részek közötti távolságok ahhoz, hogy a munkavégző személy kényelmesen és biztonságosan hozzáférjen a karbantartandó részhez. Ennél a munkamódszernél a dolgozó szintén közvetlen kapcsolatban van a feszültség alatt álló elemmel, azonban itt nem csak mechanikailag, hanem villamosan is, azaz teste a karbantartandó rész

potenciáljára kerül. Éppen ezért, e technológia alkalmazásának egyik feltétel a Faraday-kalitka elvén működő, speciális kialakítású, fémszálal védőruha viselete.

Ekkor a dolgozó személy munkája közben áthaladhat a szigetelési légtérben. A balesetek elkerülése végett, különösen oszlopkarokon, illetve oszlopok közelében végzett munkálatoknál (pl. szigetelő lánc cseréjénél) létfontosságú az eltérő potenciálú részek elszigetelése és a biztonsági távolságok betartása.



2.3. ábra: Potenciálon végzett munka - védőruházata

3 FAM eszközök

A világ számos területén végeznek kutatásokat és fejlesztéseket a FAM azon területével kapcsolatban, hogy az egyes munka-, és védőeszközök használatát a jelenleg létező legkorszerűbb anyagokat felhasználva minél kezelhetőbbé, könnyebbé és biztonságosabbá tegyék. Különböző feszültségszintekre eltérő villamos szilárdsággal és funkcióval rendelkező eszközöket gyártanak és fejlesztenek, melyek segítségével akár új FAM technológiák kidolgozására is lehetőség nyílik. (pl. olasz nyílpuskás módszer)

FAM során csak azok a munka-, és védőeszközök használhatóak, amelyek a FAM bizottság által megfelelőnek minősített vizsgáló laboratóriumban a vonatkozó előírások alapján lettek bevizsgálva, illetve jóváhagyva.[4] [5]

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nagyfeszültségű Laboratóriuma is rendelkezik ilyen vizsgálati jogosultsággal, ugyanis a FAM bizottság először 2008-ban „Közép- és kisméretű FAM szerszámok átvételi és periodikus felülvizsgálatát végző FAM Laboratórium”-má minősítette, mely azóta bővült pl. szigetelőkarú kosaras kocsik és egyéb nagyfeszültségű eszközök bevizsgálási engedélyével. [6]

Az egyes munkaeszközök és védőfelszerelések vizsgálati módjával különböző külföldi és hazai szabványok is foglalkoznak, melyek változását a minősített FAM Laboratóriumoknak folyamatosan követniük kell. Vizsgálat esetén mindig a mérés időpontjában éppen hatályban lévő szabványt kell alkalmazni.

Minden olyan FAM eszközt, amely első használat előtt áll vagy javításon esett át, úgynevezett átvételi vizsgálat alá kell vetni, ahol megállapítják a minőségi jellemzőit, és hogy ezek megfelelnek-e a használatban lévő, előírt európai, nemzeti vagy nemzetközi szabványok valamelyikének. (pl. ANSI, ASTM vagy IEC). Használat közben fellépő igénybevételek hatására romlik az egyes eszközök állapota, így megváltoznak a szigeteléstechnikai és egyéb tulajdonságaik. A biztonságos műszaki állapot megőrzése érdekében minden eszközön előírt időszakonként, úgynevezett periodikus vizsgálatokat kell elvégeztetni. Ez általában kevésbé olyan szigorú, mint az átvételi vizsgálat.

Egy eszköznek az átvételi és periodikus vizsgálatok során 5 minőségi jellemzőnek kell megfelelnie:

- szemmel látható minőség
- működési minőség
- villamos minőség
- méret szerinti minőség
- mechanikai minőség

A továbbiakban főként a villamos vizsgálatokra előírt feltételekkel foglalkozok. Az elvégzendő vizsgálat módja kétféle lehet:

- 100 %-os vizsgálat
- mintavételes vizsgálat

A 100 %-os vizsga során, minden egyes eszközön kivétel nélkül el kell végezni az előírt méréseket, szemben a mintavételes vizsgálattal, ahol az azonos típusú eszközöknek csak egy részét kell bevizsgálni. A mintavétel mennyiségének meghatározása adott esetben függ a szállító technológiai megbízhatóságától, a vizsgálat jellemzőjétől (roncsolásos, vagy roncsolásmentes), eszköz megbízhatósági fokától stb. [7]

3.1 FAM eszköz funkciója és igénybevétele

A 2.1-2.3 pontokban látható, hogy a különböző FAM technológiák eltérő eszközöket, segédszerszámokat és védőöltözetet követelnek meg. A jelenleg piacon lévő FAM munkaeszközök és személyi védőfelszerelések funkcionalitásuk alapján az alábbi csoportokba sorolhatóak be: [4] [5]

3.1.1 Szigetelő rudak

A szigetelő rudakat a távolból végzett munkamódszer alapeszközei, melyeket a későbbiekben részletesen ismertetek.

3.1.2 Csatlakoztatható eszközök

Olyan segédszerszámok, melyek az erre alkalmas szigetelő rudak végére erősítve a munka távolból történő végrehajtását segítik, ezáltal a szerelő biztonságos

távolságból végezheti el a különféle feladatokat. Ilyen segédeszköz lehet például egy csapszeg furatból történő kiütésénél alkalmazott kalapács és hajlított túske, melyek a képen is láthatóak. A munka végrehajtása során alkalmazott csatlakoztatható eszközöket többnyire csak mechanikai funkciót töltenek be, így átvételi vagy periodikus vizsgálat esetén jellemzően nem kell a villamos tulajdonságaikat ellenőrizni.



3.1. ábra: Egyetemes rúd végére csatlakoztatott segédszerszámok

3.1.3 Szigetelő védőburkolatok

A szigetelő burkolatok feladata, hogy az adott potenciálú részhez közeli különböző potenciálú részeket elszigeteljék egymástól, ezzel megakadályozva a munkavégző és a másik potenciálon lévő rész közötti átütést, illetve a két eltérő feszültség alatti elem között fellépő zárlat lehetőségét. Munkavégzés során jelentős villamos és mechanikai igénybevételek is érik a burkolóeszközöket, ezért szigorú laboratóriumi vizsgálatok érvényesek rájuk.



3.2. ábra: Szigetelő tömlő felhelyezése a vezetékre

3.1.4 Áthidaló szerkezetek

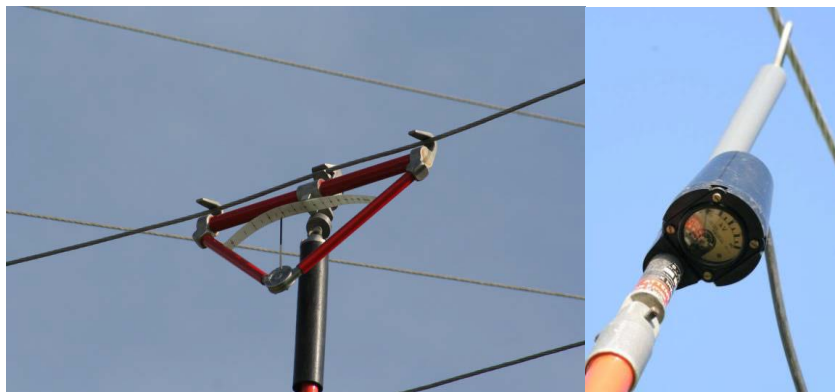
Ilyen szerkezet például a terheléskapcsoló, vagy a söntkábel. Ezek segítségével lehetőség nyílik a feltételeket kielégítő terhelés alatti áramkör nyitására vagy zárására, például biztosító csere esetén.



3.3. ábra: Söntkábel felhelyezése horgos szigetelő rudak segítségével

3.1.5 Mérő és vizsgáló eszközök

Mérő és vizsgáló eszközök a hálózatra jellemző tulajdonságok meghatározására, változásának figyelésére alkalmas berendezések. Ide tartozik például a fázisegyeztető, mely segítségével megállapíthatjuk az egyes vezetékek fázisazonosságát, illetve feszültségük nagyságát összekötésük előtt, valamint a mérővessző is, mely a veszélyes övezeten belüli távolságok mérésére használható.



3.4. ábra: Mérőeszközök alkalmazásuk során

3.1.6 Tartószerkezetek

A tartószerkezetek közé sorolható a kiszolgáló kötél, mellyel főként a szükséges munkaeszközök és anyagok szerelőhöz történő feljutását, leeresztését valósítják meg. További ilyen eszköz például a gyűrűs nyereg, melyet kikötési pontok kialakítására használnak, illetve a heveder, amely akár munkapont kialakítására alkalmazható.



3.5. ábra: Említett tartóeszközök alkalmazásának bemutatása

3.1.7 Személyi védőfelszerelések

Nagyon fontos eszközcsoporthoz képeznek a személyi védőfelszerelések, melyek védelmet nyújtanak a fellépő villamos jelenségek ellen, továbbá biztosítékként is szolgálnak a magasból történő leesés elkerülése érdekében – mint például a teljes testhevederzet. A személyi védőfelszerelések többségére félévente vagy évente elvégzendő szigorú villamos és mechanikai vizsgálatok vonatkoznak.



3.6. ábra: személyi védőfelszerelések bemutatása

3.1.8 Elhelyezkedésre használt eszközök

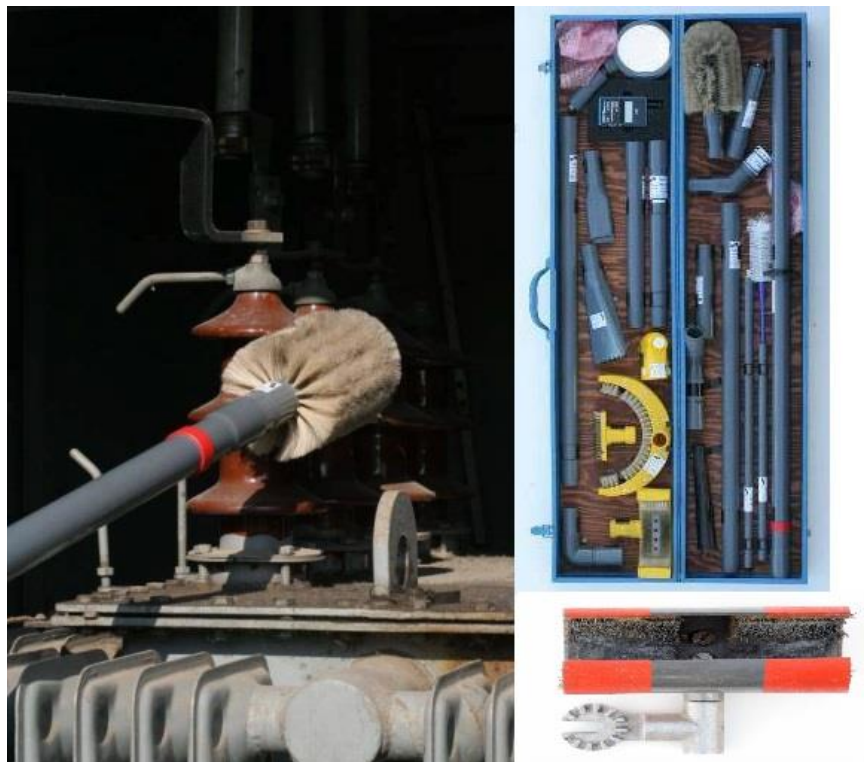
Az elhelyezkedésre használt eszközöket olyan munkaállások gyors kialakítására alkalmazzák, ahonnan kényelmesen és biztonságosan elvégezhetőek a karbantartási, javítási vagy létesítési FAM feladatok. Erre a célra jellemzően összeilleszthető fém vagy szigetelt létrákat alkalmaznak, illetve ha a terepviszonyok engedik szigetelő karú kosaras autó segítségével jutnak a javítandó rész közelébe. [3]



3.7. ábra: elhelyezkedést segítő eszközök

3.1.9 Feszültség alatt végzett tisztítás eszközei

A hálózat egyes üzem alatt lévő elemein - szigetelőkön, szigetelőláncokon, vezetékeken - gyakran lép fel annak igénye, hogy a felhalmozódott lerakódásokat, szennyezéseket, port, koszt eltávolítsák, hiszen ezek jelenléte rontja az elemek tulajdonságait, például szigetelők esetén csökkenti azok szigetelőképességét. Ennek megelőzése érdekében különböző eszközök segítségével időszakos tisztításokat hajtanak végre a hálózat egyes elemein. Erre használt eszközök például a porelszívós takarítókészlet, vezetőtisztító kefe stb.



3.8. ábra: tisztításra alkalmas eszközök

A továbbiakban az említett eszközcsoportok közül részletesen foglalkozok a távolból végzett munkamódszer alapeszközeivel, azaz a szigetelő rudakkal és a szigetelő védőburkolatok közé sorolható szigetelő leplekkel.

4 Szimuláció bevezetése

FAM során használt eszközök villamos felülvizsgálatakor bekövetkező átütés, vagy átívelés esetén az eszközöket funkciójuktól és hibájuktól függően javításra kell küldeni, vagy nem megfelelőnek, selejtesnek kell minősíteni. Átvételi és periodikus vizsgálatoknál a munkaeszköz tulajdonságait a használatakor fellépő igénybevételek sokszorosával ellenőrzik, ezért a vizsgálati elrendezések „pontatlan” kialakítása miatt olyan extra igénybevételek léphetnek fel, melyek már elegendőek az átütés, átívelés előidézéséhez. Mivel a munkaeszközök beruházási költsége magas, illetve tömeges leselejtezésük szennyezi a környezetet, ezért nagyon fontos, hogy a rendszeresen szükséges vizsgálatok egy előre definiált és precízen kidolgozott mérési elrendezésen legyenek végrehajtva.

Az 5. és 6. fejezetben részletezett szigetelő rudakat és szigetelő lepleket érő igénybevételek szimulálásához egy végeelem analízisen alapuló programot használtam. Modellezések segítségével szeretnék rámutatni olyan, a gyakorlatban néha elhanyagolt kialakítási problémára, melyek megfontolásával pontosabb és hitelesebb mérési eredményekhez jutunk.

Minél alaposabb illusztrálás érdekében 3D-ban ábrázoltam a vizsgált mérési elrendezéseket és a rajtuk kialakuló térerősséget. Az elrendezések megalkotását a különböző elemek anyagának és fizikai tulajdonságainak meghatározása, illetve az egyes modellelemek funkciójának (földelés, szigetelés, vezető) definiálása követett. A szimulációk végrehajtása előtt, a különféle kialakítású elemeken végeselemes hálót kellett legenerálni, melynek rácsmérete a szimuláció pontosságát határozta meg. Ezután történtek meg a felhasználás során fellépő igénybevételek vizsgálatára lefuttatott szimulációs számítások, melyek lefutási ideje a részletes ábrázolás miatt, néhány esetben napokig is eltartottak.

Az általam bemutatott elrendezéseken többnyire a villamos térerősség alakulását szemléltetem. Mivel 3D-ban dolgoztam, így a fellépő eredő villamos térerősség is 3 komponensre bontható: E_x , E_y , E_z , amely több érdekes ábrázolási módra adott lehetőséget.

5 Szigetelő rúd

5.1 Általános bevezetés

A jelenleg gyártott szigetelő rudak általában üvegszál erősítésű műgyantából készülnek eltérő méretekben. Hosszúságuk főként attól függ, hogy milyen feszültségszintre lettek tervezve, hiszen minél nagyobb feszültségen dolgozunk, annál messzebb kerül a munkavégzés legkisebb védőtávolságának határa a feszültség alatti résztől.

Funkciója szerint megkülönböztetjük az alábbi rudakat:

- kötéskészítő rúd
- horgos rúd
- satus rúd
- egyetemes rúd
- sodronyvágó rúd
- univerzális, teleszkópos rúd

Különbözős típusú rudakkal eltérő feladatok hajthatóak végre:

- Kötéskészítő rúd: -kötés készítése / bontása
-szigetelő nyakánál lévő kötőhuzal kihajlítása, letörése
-megfelelő kialakítású könnyű tartozékok (pl. béka, heveder, csiga stb.) át-, elhelyezése, eltávolítása



5.1. ábra: kötéskészítő rúd

- Horgos rúd: -fogási ponttal rendelkező eszközök elhelyezése / eltávolítása / mozgatása
pl. szigetelő burkolat, söntkábel, mérővessző



5.2. ábra: horgos rúd

- Egyetemes rúd: -különböző funkcionalitású csatlakoztatható eszközök rögzíthetőek rá, így sokféle feladat ellátására alkalmas



5.3. ábra: egyetemes rúd

- Satus rúd: -többnyire kör keresztmetszetű tárgyak pl. vezető megfogására, mozgatására, megtartására alkalmazzák



5.4. ábra: satus rúd

- Sodronyvágó rúd: -különböző átmérőjű fém vezetők és sodronyok elvágása



5.5. ábra: sodronyvágó rúd

A nem megfelelő tárolás miatt fellépő sérülések, karcolások elkerülése érdekében a szigetelő rudakat ép műanyag borítással rendelkező rúdtartó állványra kell elhelyezni, illetve szállítás közben az erre kialakított helyen gumiövekkel rögzítve kell tartani. [5] [18]



5.6. ábra: rudak tárolása

A munkavégző személyek feladatuként, a rudakat minden használat után meg kell tisztítani, továbbá 6 havonta:

- szappanos vagy mosószeres vízzel le kell mosni
- denaturált szesszel el kell távolítani a megmaradt foltokat
- forgó részeket graftporral be kell kenni
- a szerszám végeinek fémrészeit olajos ronggyal át kell törölni

5.2 Használat során fellépő igénybevételek

5.2.1 Mechanikai igénybevételek

Az eltérő rendeltetésük miatt, más kialakítás, hosszúság, súly és mechanikai igénybevétel jellemző valamely szigetelő rúdra. Akár már azonos feszültségszintre tervezett rudak mérete és súlya is eltérő lehet az egyes gyártóknál. Ennek szemléltetésére kigyűjtöttem néhány középvezültségre tervezett horgos rúdra jellemző adatot, különböző gyártók katalógusából:

RITZ [2.65 m, 3.1 kg], CATU [2.6 m, 2.3 kg], FAMECA [2.5 m, 2.1 kg]

Felépítésükből adódóan kb. 60 cm-es fogási határral rendelkeznek, amely azt jelenti, hogy a munkavégző személy csak ezt a 60 cm-es részt érintve foghatja, emelheti és tarthatja meg a szigetelő rudat. Az így magasba emelt, és ott megtartott különböző méretű, tömegű tárgyak során fellépő erők hatására a szigetelő rudak meghajlanak, ezért anyaguk idővel gyengülhet. Az átvételi és periodikus vizsgálatok folyamán, egyes esetekben ezek felülvizsgálatával is foglalkozni kell. [19]



5.7. ábra: rudak mechanikai tesztelése

Előfordulhat továbbá az is, hogy használatuk, vagy nem megfelelő tárolásuk közben olyan éles tárgyakkal érintkeznek, amelynek következtében megkarcolódhatnak, vagy esetleg mélyebb vágás keletkezhet rajtuk, ami jelentősen leronthatja a szigetelőképességüket.

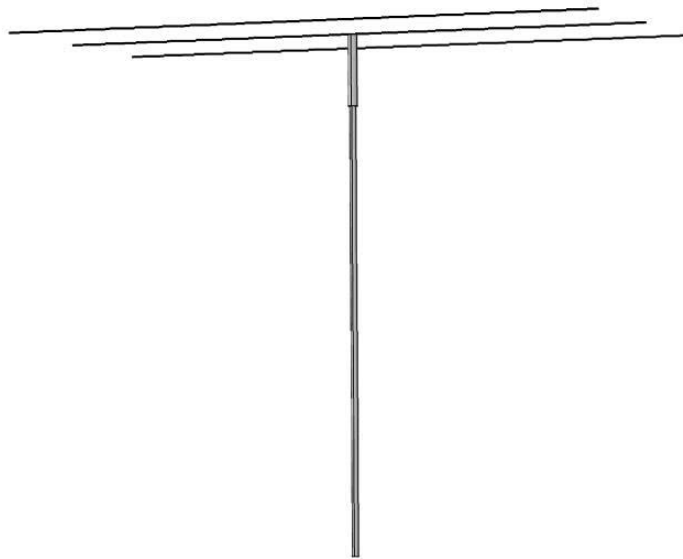


5.8. ábra: Hanyag tárolás következtében megkarcolódott felületű szigetelő rúd

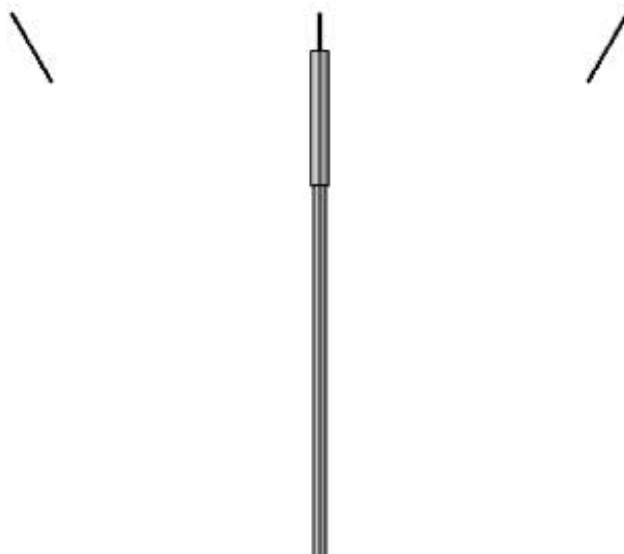
5.2.2 Használat során fellépő villamos igénybevétel

A fellépő villamos igénybevétel bemutatására egy olyan modellt hoztam létre, ahol a szigetelő rúd egy 20 kV-os szabadvezeték szakasz egyik fázisvezetőjével érintkezik. A modellezett rúd hossza: 255 cm, amelyből 35 cm hosszú a rúdfej. A hálózat vezetőinek átmérője 1.2 cm és 75 cm távolságra helyezkednek el egymástól.

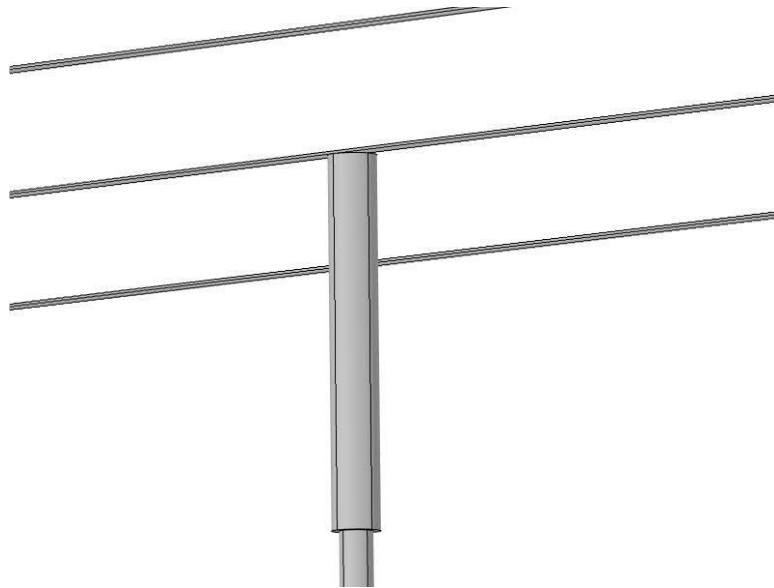
Az elrendezés az alábbi ábrákon látható:



5.9. ábra: Szigetelő rúd üzem közbeni vizsgálatának modellje



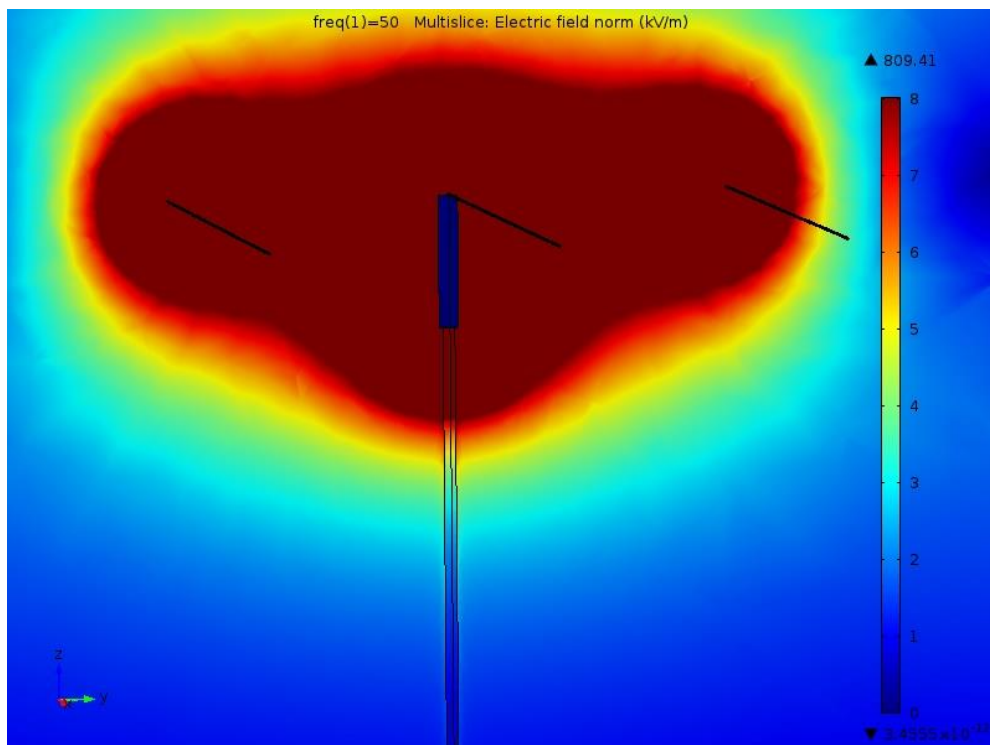
5.10. ábra: Szigetelő rúd üzem közbeni vizsgálatának modellje szemből



5.11. ábra: Szigetelő rúd üzem közbeni vizsgálatának modellje közlelről

5.2.3 Szimuláció – szigetelő rúd üzem közben

Elvégezve a szimulációt, a következő eredményre jutottam:

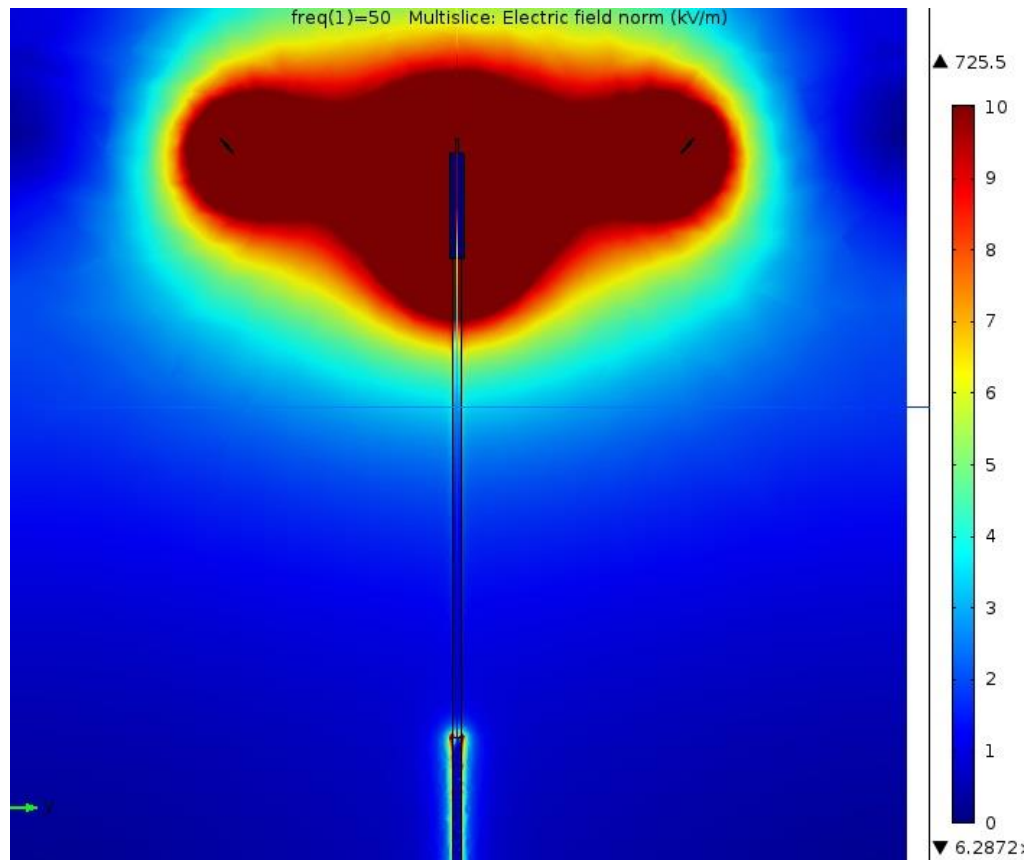


5.12. ábra: szigetelő rudat érő villamos igénybevétel használat közben

A szemléletesebb ábrázolás érdekében (az ábra jobb oldalán látható) térerősség skála felső határértékét 8 kV/m-re állítottam be. A megjelenített skála felett látható

maximális térerősség valójában nem ennyire nagy, azonban a végeelem módszer és a modellre illesztett rács sajátosságai miatt, a program egy adott pontban 809.41 kV/m nagyságú térerősséget mért, melyet maximumként tüntetett fel.

A szimulálási eredményből jól látható, hogy a használatuk során fellépő villamos térerősség csak a rudak felső harmadát veszi igénybe.



5.13. ábra: szigetelő rudat érő igénybevételek munkavégzés közben

Az 5.13. ábrán látható szigetelő rúd alsó része a földpotenciálon lévő munkavégző karját modellezi. Az adott feltételek mellett így kialakuló villamos térerősség 4-6 kV/m értékű, azaz helyenként meghaladja a lakosságra kiszabott 5 kV/m-es határértéket, azonban a szakszemélyzetre megállapított villamos erőtér 10 kV/m-es határértékét nem éri el. Fontos megjegyezni azt is, hogy ez a határérték a teljes testfelületre vonatkozik, illetve szakszemélyzet esetén csak napi 8 óra időtartamra érvényes. [8]

5.3 Villamos vizsgálat

5.3.1 Szabvány által előírt villamos vizsgálat

A szigetelő rudak villamos vizsgálatát az MSZ_EN_60832 és az MSZ 60855 számú szabványok írják le. Rudak esetében az átvételi, illetve az 1 évenként elvégzendő periodikus villamos felülvizsgálatának menete és követelménye megegyezik. A rúdon 100 %-os villamos vizsgálatot, a rúdfejen 10 %-os mintavételes, de minimálisan 3 mintás szigetelési szilárdság próbát kell elvégezni. [9] [10]

5.3.1.1 Szigetelő rudak villamos vizsgálata

A szabvány 13.1. pontjában előírt villamos vizsgálat a következő:

A szigetelő rúdon 300 mm-ként elhelyezett elektródok között 100 kV_{eff} értékű 50 Hz-es váltakozó feszültséget kell alkalmazni 1 percen keresztül. A rúd akkor minősíthető jónak, ha a próba során nem jön létre sem átívelés, sem átütés, helyi kisülés, szikrázás, sem kézzel érezhető melegedés, továbbá vizsgálat közben a szivárgó áram értéke nem növekedhet.

5.3.1.2 Szigetelő rúdfejre előírt szigetelési szilárdság próba

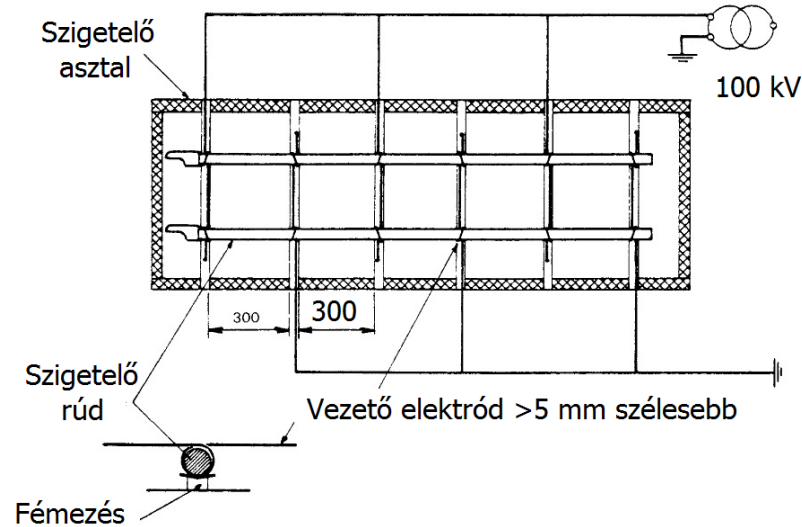
A szabvány 31-61. pontja leírja az egyes rudak fején elvégzendő méréseket, melyek közül a rúdfejekre vonatkozó villamos szigetelési szilárdság vizsgálat a következő:

A rúd fej belsejébe elhelyezett elektród és a fej közé tekert réz szövet által képzett külső elektród között 23 kV_{eff}, 50 Hz-es feszültséget kell alkalmazni 1 percig. A próba során nem keletkezhet sem átívelés, sem átütés, helyi kisülés, szikrázás, vagy kézzel érezhető melegedés, továbbá a szivárgó áram értéke nem növekedhet a vizsgálat közben.

A továbbiakban részletesen foglalkozok az 5.3.1.1 pontban leírt szigetelő rudakra vonatkozó villamos vizsgálatokkal.

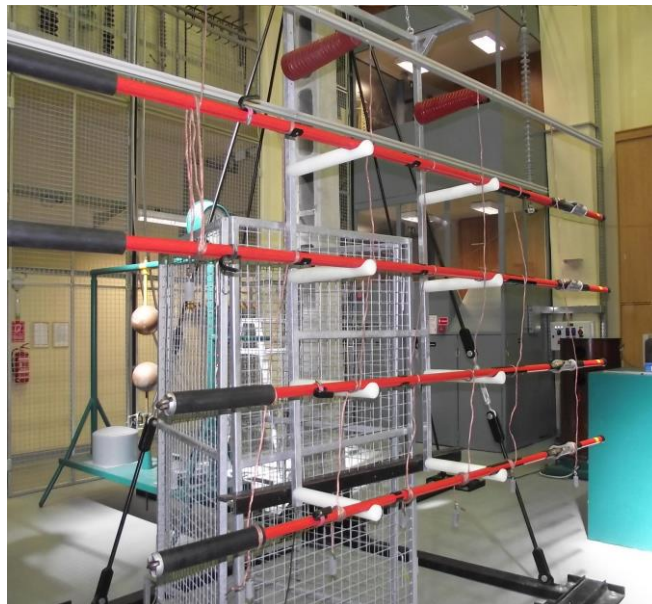
5.3.1.3 Alkalmazott mérési elrendezés – elektródok

Az MSZ_EN_60832 számú szabvány „B” mellékletének B2-es ábrája szemlélteti a mérési elrendezést.



5.14. ábra: szigetelő rudak mérési elrendezése [10]

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemhez tartozó Nagyfeszültségű Laboratóriumban egyszerre akár 4 szigetelő rúd mérésre is van lehetőség, melyet az 5.15. ábra prezentál. A villamos vizsgálat elvégzéséhez a rúd teljes keresztmetszetén körbetekert 6 mm széles, finom szövésű réz sodrat funkcionál elektródként.[17]

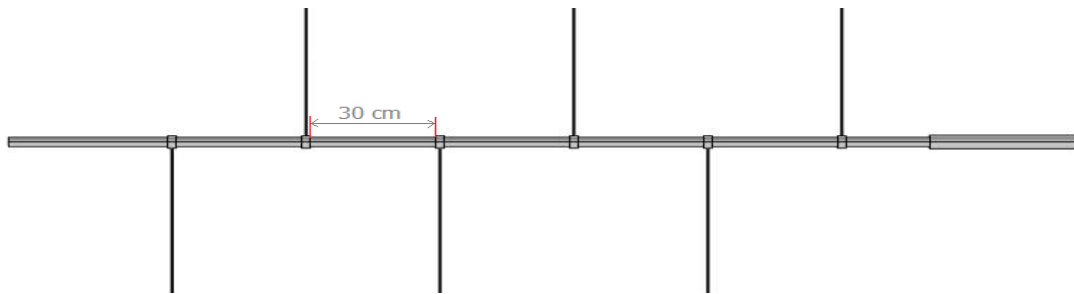


5.15. ábra: Nagyfeszültségű Laboratórium – szigetelő rúd mérése

A szabvány az elektródokra előírja, hogy szélesebbek legyenek, mint 5 mm, azonban az alakjukra nézve nincs konkrét megkötés. A rudak villamos szigetelőképességének ellenőrzésekor 30 cm-ként elhelyezett elektródra adott $100 \text{ kV}_{\text{eff}}$ (5.3.1.1 pont) értékű próbafeszültség egy sima felület vizsgálatánál rendkívül extrém igénybevételt jelent, melynek köszönhetően néhány kV növekedés is nagyon sokat számít az átütés, illetve átívelés szempontjából.

A továbbiakban szimulációm segítségével szemléltetem a különböző elektródformák mellett fellépő villamos térerősség nagyságát.

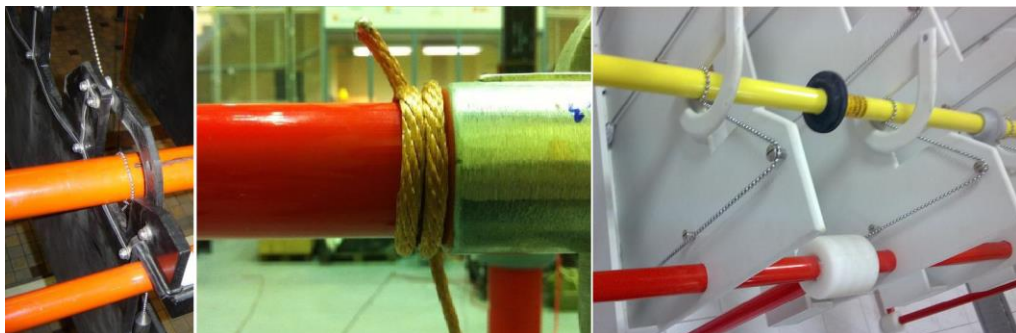
A vizsgálat közben kialakuló villamos térerősség megjelenítésére az 5.16. ábrán megfigyelhető Nagyfeszültségű Laboratóriumban is használatos módszerhez hasonló modellt hoztam létre, ahol a vizsgált elektródforma a rúd teljes keresztmetszetével érintkezik. Középen található maga a szigetelő rúd, mely az előző szimulációban (5.12. és 5.13. ábra) szereplő rúddal megegyező méretekkel és fizikai tulajdonságokkal rendelkezik. Az elektródokat pontosan 30 cm-re helyeztem el egymáshoz képest.



5.16. ábra: szigetelő rúd vizsgálati elrendezése

5.3.2 Különböző elektródformák bemutatása

Az egyes minősített laboratóriumban különböző elektródelrendezéseket használnak a szigetelő rudak villamos vizsgálatához, melyekre néhány példa az 5.17. ábrán is látható.[11] [12]

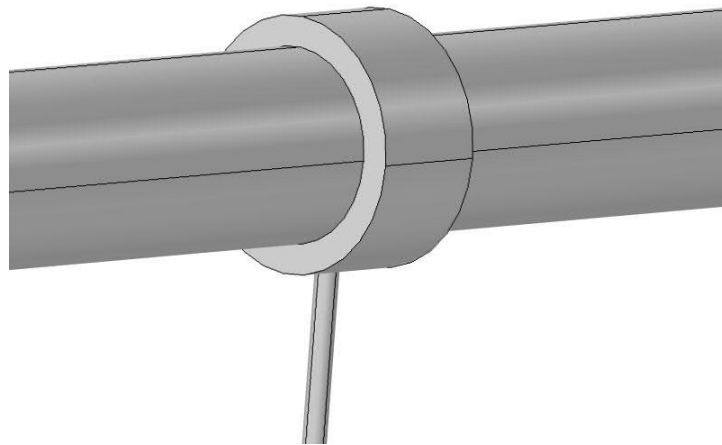


5.17. ábra: Eltérő laboratóriumokban használatos elektródok

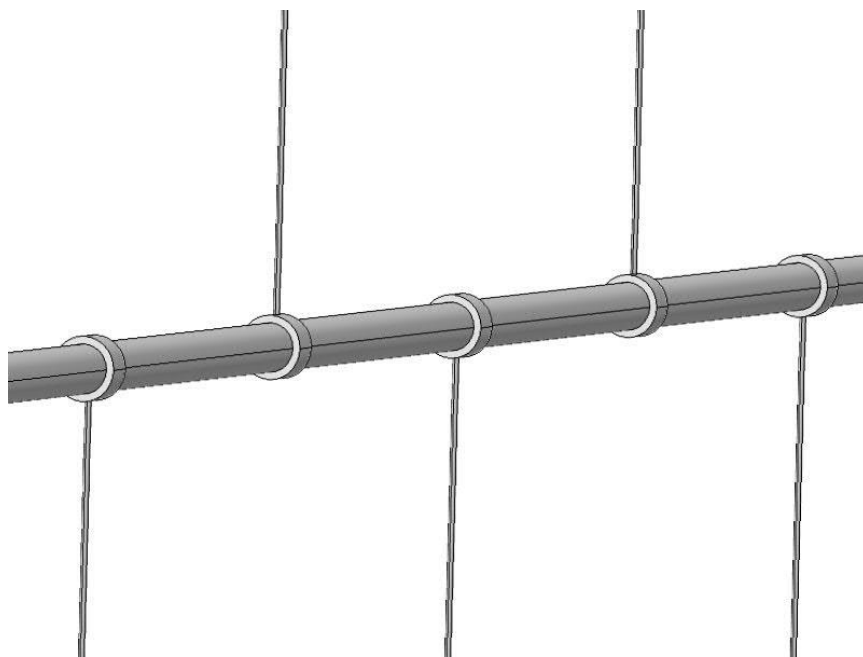
A szimulációkat öt különböző alakú illetve elrendezésű elektród alkalmazásával végeztem el, melyeket a következő alfejezetekben mutatok be. Az elektródok eltérő méreteinek figyelembevételével a modellezés során ügyeltem arra, hogy két egymás mellett elhelyezkedő elektród közötti távolság pontosan 30 cm legyen.

5.3.2.1 Vékony szalagelektrod

Az egyik elektródforma éles sarkakkal rendelkező, négyszögletes „szalagelektrod”, mely a modellben 0.5 mm vastagságú és 2 cm széles elektródként jelenik meg. (5.18. ábra)



5.18. ábra: szalagelektrod modellezése



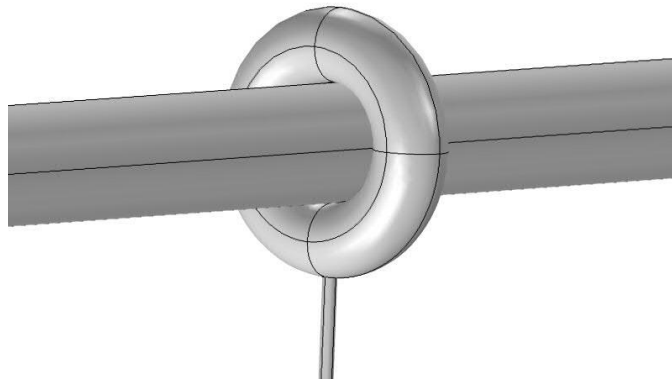
5.19. ábra: 30 cm-ként elhelyezett szalagelektrodok

5.3.2.2 Vastag szalagelektrod

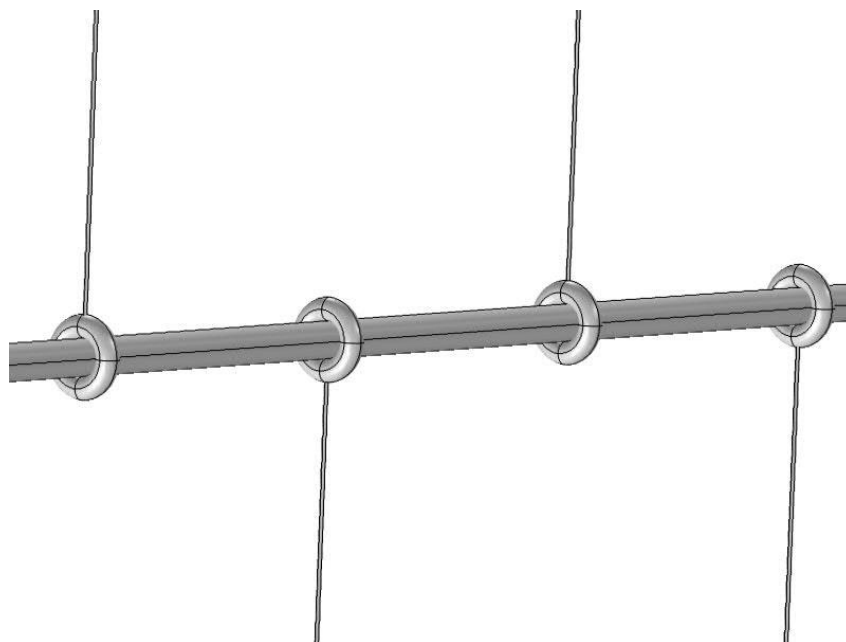
A vastag szalagelektrod formája megegyezik az 5.3.2.1-ben bemutatott elektrod kialakításával, azonban vastagságát 5 mm helyett 10 mm-re növeltem.

5.3.2.3 Tórusz elektrod

Az itt bemutatott elektrodalak egy teljesen lekerekített kör keresztmetszetű, tórusz formájú elektrod, amelynél a forgástengely és kör középpontjának távolság: 2.6 cm, illetve a generáló kör sugara 1 cm, így szélessége az 5.3.2.1-ben leírt elektrod szélességével megegyezően 2 cm, azonban vastagsága már attól eltérő: 2 cm.



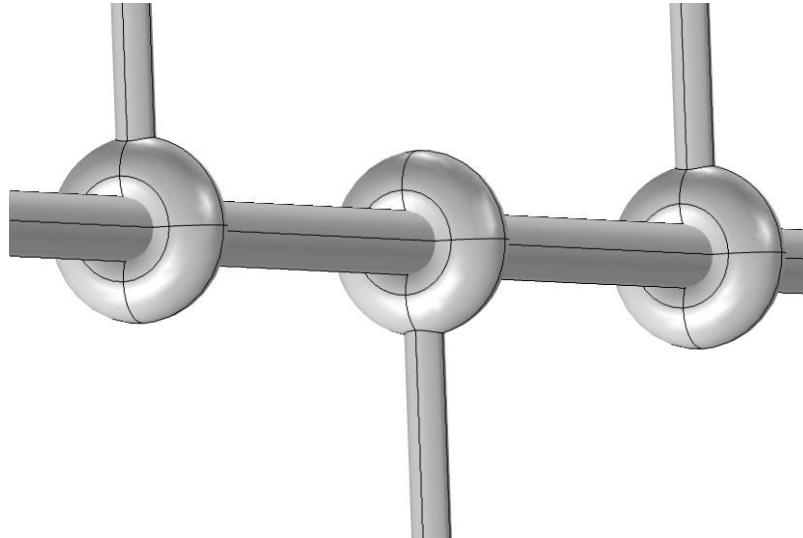
5.20. ábra: tórusz alakú elektrod szemléltetése



5.21. ábra: 30 cm-ként elhelyezett tórusz alakú elektrodok

5.3.2.4 Vastag, tórusz alakú elektród

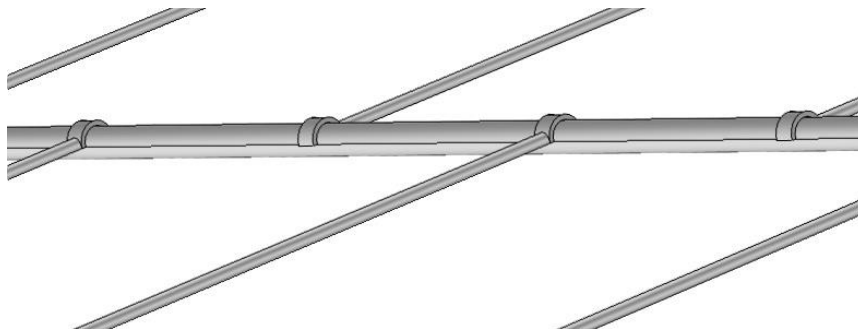
Az következő tórusz alakú elektród forgástengelyének és kör középpontjának távolsága szintén 2.6 cm, azonban a generáló kör sugara 2 cm, így vastagsága 4 cm-re nőtt.



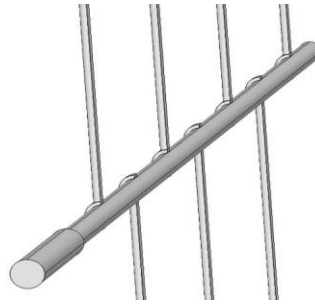
5.22. ábra: Vastag, kör keresztmetszetű elektród

5.3.2.5 Félíg „feltekert” szalagelektrod

Néhány Laboratóriumban előfordul olyan elektródelrendezés a villamos vizsgálat során, melynél a szigetelő rudak nem teljesen körbetekert, hanem csak azzal érintkező (pl. „félíg rátekert”) elektródokkal vizsgálják. Az így kialakult villamos térerősség szimulálásához létrehoztam egy ehhez hasonló elrendezést, mely a 5.23. ábrán látható.



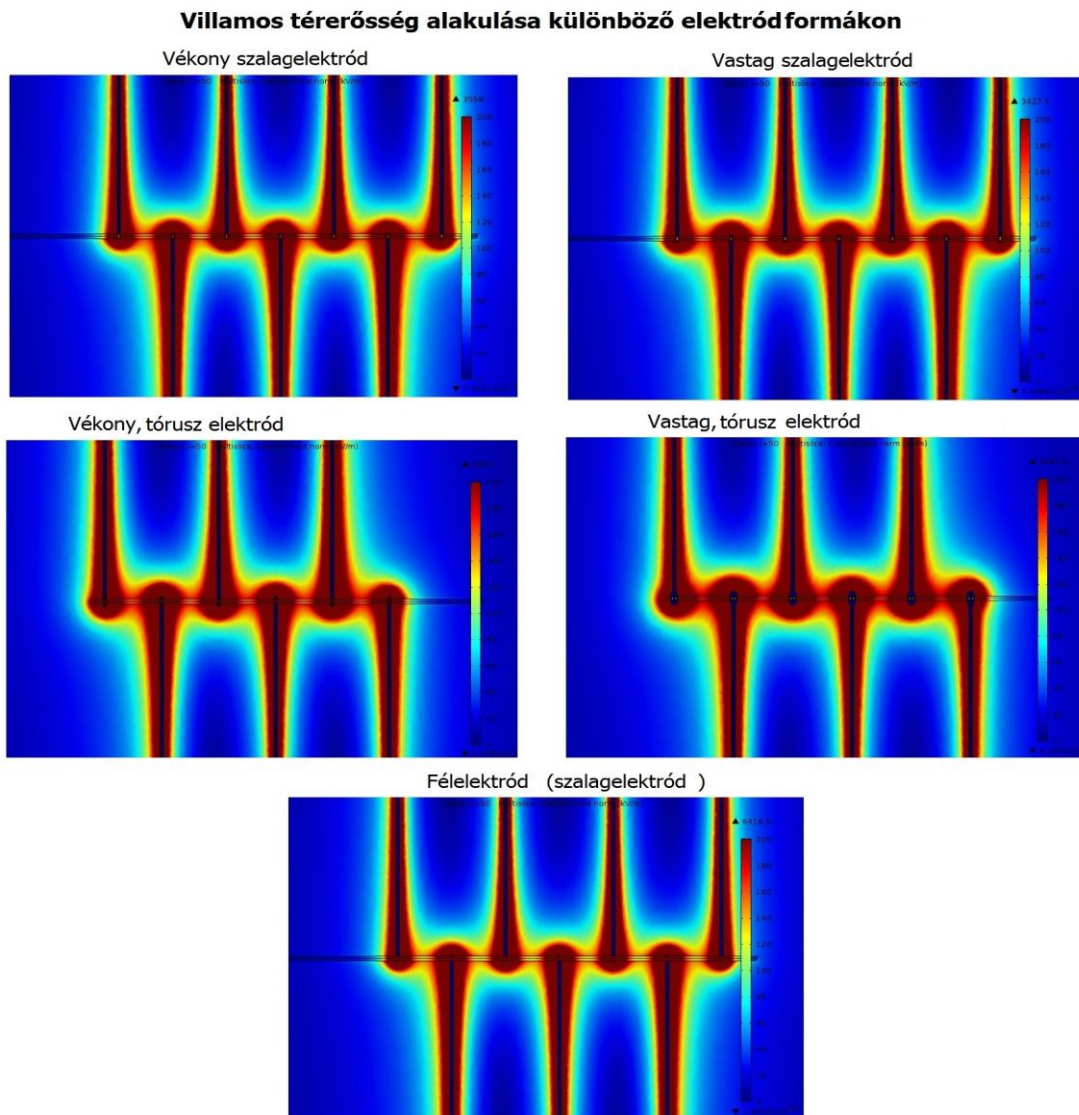
5.23. ábra: félíg felhelyezett elektródok



5.24. ábra: félig felhelyezett elektródok elrendezése

5.3.3 Villamos erőtér szimulációk - eltérő elektródokkal

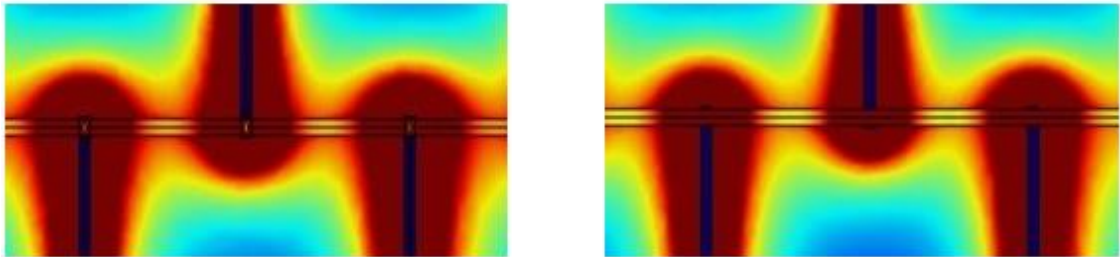
Az 5.25 ábrán bemutatott szimulációs eredményeimen megjelenő villamos térerősséget azonosan 200 kV/m-es felső határértékkel jelenítettem meg az összehasonlíthatóság miatt.



5.25. ábra: eltérő elektródformákon kialakuló villamos térerősség

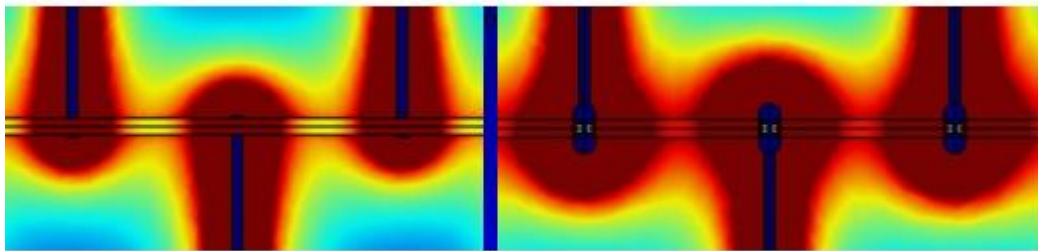
Az eredményen látható, hogy az alkalmazott elektród alakjától függően a szigetelő rúd 30 cm-es szakaszain belül különböző a villamos térerősség eloszlása és nagysága. Ezt jobban szemlélteti az 5.26 és az 5.27. ábra.

elektród - "félelektród"



5.26. ábra: teljes kör és félkör elektródok - villamos térerősség összehasonlítása

Félelektród és tórusz elektród



5.27. ábra: fél elektród és tórusz elektród - villamos térerősség összehasonlítása

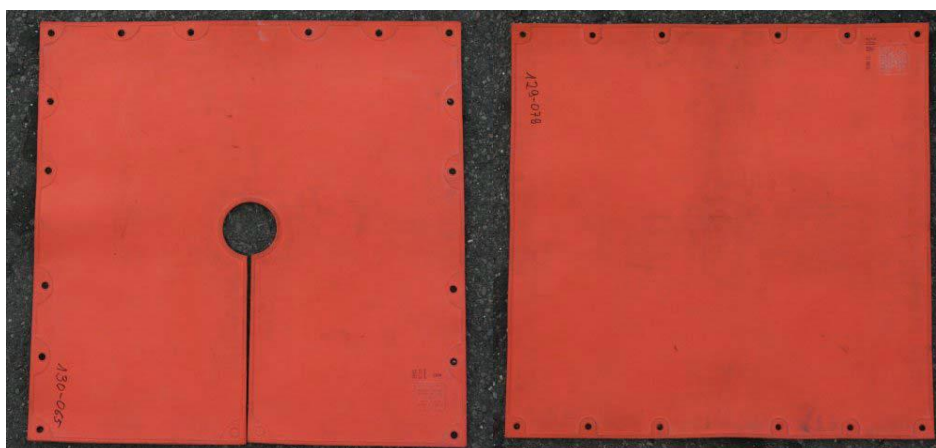
Mivel ekkora villamos igénybevétel esetén már néhány kV/m-nyi villamos térerősség változás, növekedés is átütéshez vagy átíveléshez vezethet, ezért lényeges, hogy milyen elektródelrendezést használunk. Fontos megjegyezni azt is, hogy ezek alapján nem hasonlítható össze a különböző elektródelrendezéssel bevizsgált eszközök eredményei, hiszen ugyanakkora feszültségérték mellett eltérő nagyságú villamos térerősség lép fel. A különböző Laboratóriumban végrehajtott vizsgálatok eredményeinek összehasonlíthatóságához kulcsfontosságú lépés a használandó elektródelrendezés pontos definiálása.

6 Szigetelő lepel

6.1 Általános bevezetés

A szigetelő lepel a 3.1.3. pontban említett szigetelő védőburkolatok csoportjába tartozó FAM munkaeszköz, mely a munkaállástól eltérő potenciálú részek elszigetelésére alkalmazható. Kialakításukat tekintve kétféle FAM szigetelő leplet különböztetünk meg:

- hasított szigetelő lepel
- nem hasított szigetelő lepel



6.1. ábra: hasított és nem hasított szigetelő lepel bemutatása

Gyártásukhoz rugalmas műanyagot használnak fel, melynek köszönhetően könnyen és jól formálható az elszigetelni kívánt rész alakjához. Munkavégzés közben az elmozdulásuk megelőzése érdekében rögzítéseket kell alkalmazni, melyre fából vagy műanyagból készült csipeszek, és egyéb erre a célra kialakított kapcsok állnak rendelkezésre.



6.2. ábra: szigetelő leplek rögzítésére használt eszközök

FAM munkavégzés során előfordulhat olyan elrendezés, melynél a teli szigetelő lepel nem éri át az elszigetelni kívánt részt, vagy nem elég annak lefedéséhez. Ekkor jön elő a hasított szigetelő lepel előnye, melynél az esetleges akadályt jelentő részek hasításon keresztüli közrefogásával, ilyen esetekben is megfelelően rögzíthető a lepel helyzete (például eltérő potenciálú rész lefedése feszítőszigetelőnél 2.1. ábra). Ha két szigetelő lepel egyesített alkalmazására van szükség, legalább 12 cm-es átfedést kell biztosítani a kettő között. [13]



6.3. ábra: hasított lepel használat közben

A leplek anyaguktól és méreteiktől függően eltérő feszültség szinten alkalmazhatóak, melyet osztályba sorolással és színjelöléssel is feltüntetnek rajtuk: [14]

Osztály	Színjelölés	AC feszültség (V_{eff})	DC feszültség (V)
00	drapp	500	nem alkalmazható
0	piros	1 000	1 500
1	fehér	7 500	11 250
2	sárga	17 000	25 500
3	zöld	26 500	39 750
4	narancs	36 000	54 000

1. Táblázat: szigetelő leplek színjelölése és maximális feszültségének megadása

Emellett egyéb speciális tulajdonsággal is rendelkezhetnek, melyek jelölése a 2. Táblázatban látható.

Kategória	Ellenáll az említett igénybevételnek
A	Sav
H	Olaj
Z	Ózon
M	Mechanikai defektek – szűrés
R	Sav, olaj és ózon
C	Extrém alacsony hőmérséklet

2. Táblázat: egyéb igénybevételek ellen kialakított leplek jelölése

Minden használat előtt és után a felhasználó kötelessége szemrevételezéssel ellenőrizni a leplek minőségét. Feltűnő színük miatt könnyen észrevehető a rajtuk keletkezett sérülés nyoma. Károsodás, vagy 5 napon túli folyamatos használat esetén a következő igénybevétel előtt, egyébként pedig 1 évente valamelyik FAM jogosultsággal rendelkező laboratóriumban periodikus villamos vizsgálatot kell végrehajtani rajtuk.

6.2 Használat során fellépő igénybevételek

A szigetelő leplek gumis anyaguknak és vékonyságuknak köszönhetően rendkívül sérülékenyek. Már a szállításnál ügyelni kell arra, hogy a szigetelő lepleket nem szabad összehajtott állapotban tartani, csak összetekerve, az erre kialakított megfelelő védelmet nyújtó zsákokban lehet tárolni.

6.2.1 Mechanikai igénybevételek

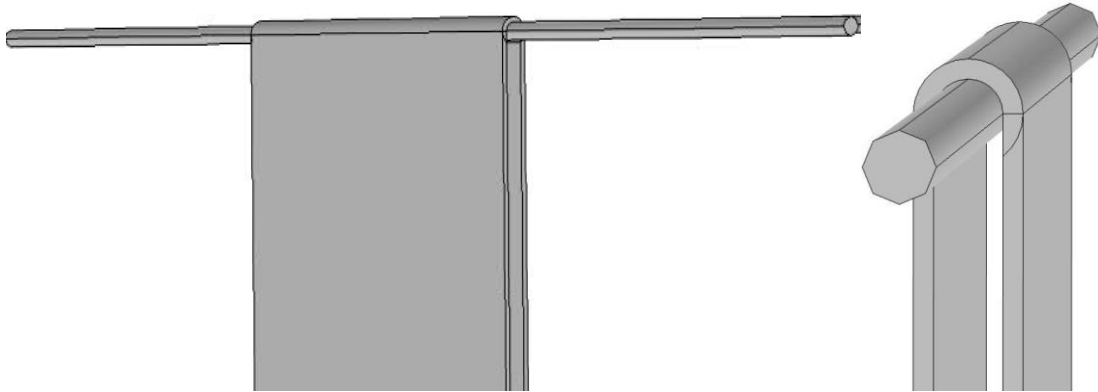
Alkalmazásukkor gyakran érintkezhetnek olyan elemekkel, melyek éles, hegyes kiálló részeket tartalmazhatnak, például szálkisodródott, szálszakadt vezeték, vagy rögzítőcsavarokból kiálló fém sorja. Ezek könnyedén károsíthatják a lepleket, hiszen átszúrhatják, vagy mozgatusuk esetén mély karcolást, vágást ejthetnek rajtuk. [15]



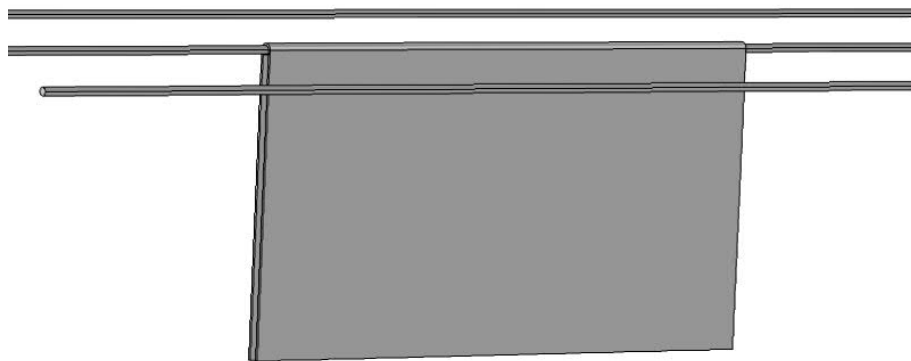
6.4. ábra: éles kiálló részek a sérült vezetón

6.2.2 Villamos igénybevétel

A szigetelő lepleket használatuk során különböző potenciálú részek között helyezik el. Az így fellépő villamos igénybevétel illusztrálásához egy 4-es osztályba sorolható, 910 mm x 910 mm x 3,5 mm mérettel rendelkező, nem hasított szigetelő leplet modelleztem. Az alkalmazásukkor fellépő villamos igénybevétel szemléltetésére, olyan elrendezést alakítottam ki, ahol a szigetelő lepel egy 20 kV-os közepfeszültségű távvezeték egyik fázisvezetőjére lett felhelyezve. A vezetékek közötti távolság: 75 cm. Az elrendezés az 6.5. és 6.6. ábrán látható.



6.5. ábra: Szigetelő lepel üzemben

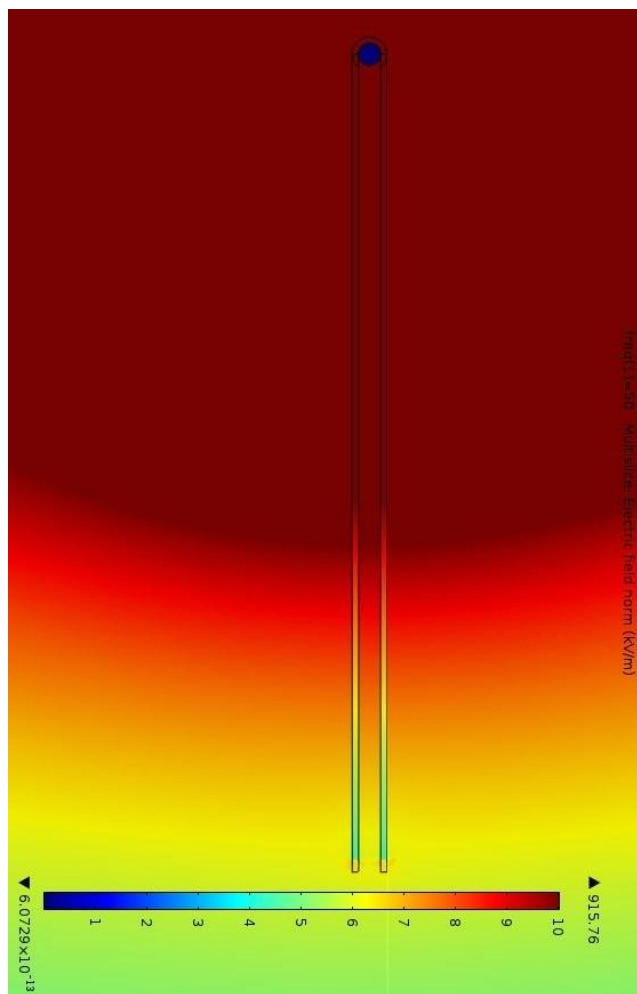


6.6. ábra: Szigetelő lepel üzemben – oldalról

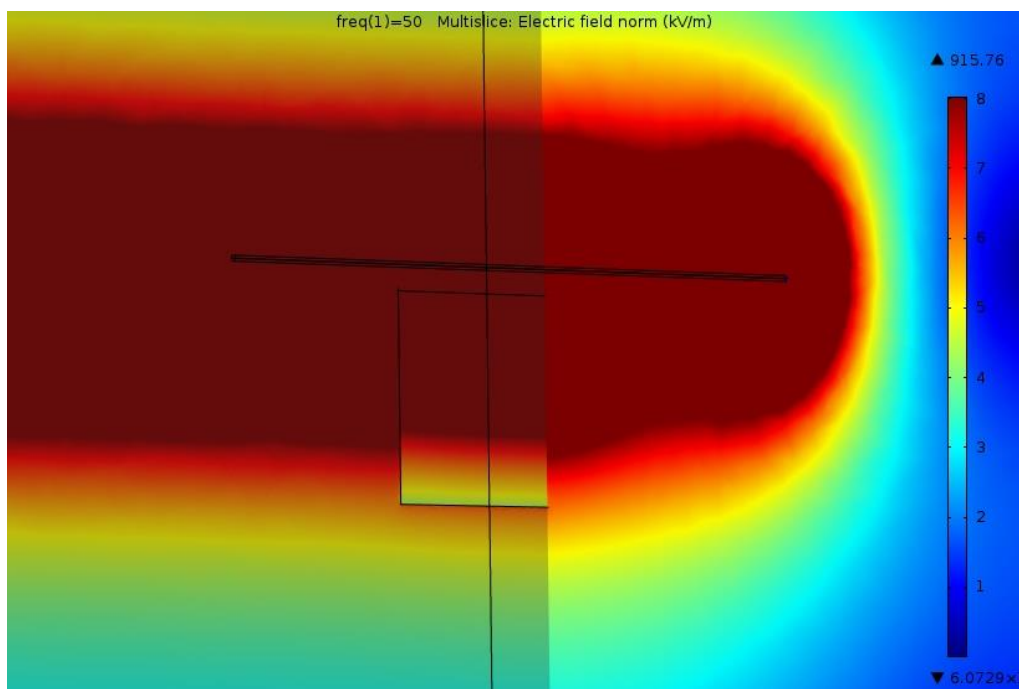
6.2.3 Szimuláció – szigetelő lepel használat közben

A 6.7. ábrán a 20 kV-os hálózatrész középső fázisára helyezett szigetelő lepel keresztmetszeti képe látható, mely szemlélteti a lepel anyagában fellépő igénybevétel eloszlását (az eredményben mind a 3 fázisvezető hatása szerepel). A 6.8-as ábrán megfigyelhető az is, hogy a szigetelő anyagban is kialakul egy a környezetéhez képest eltérő villamos térerősség, mely a lepel öregedését eredményezi.

A kombinált FAM munkamódszerek terjedésének köszönhetően egyre nagyobb szerephez jutnak a szigetelő lepek, melyeknek a bemutatott mechanikai, villamos és (itt nem említett) környezeti igénybevételek mellett meg kell őrizniük a minősített szigetelési funkciójukat. Ennek folyamatos ellenőrzésére szolgál a 6.3-as pontban részletezett időszakos vizsgálatok végrehajtása.



6.7. ábra: Szigetelő lepel villamos igénybevétele (90°-al elforgatva)



6.8. ábra: Szigetelő lepel felületén fellő igénybevétel

6.3 Előírt villamos vizsgálat során fellépő igénybevétel

A gyártás után esedékes átvételi vizsgálat, és a lepel esetében 1 évenként szükséges periodikus villamos felülvizsgálat részleteit az MSZ_EN_61112 számú szabvány és az ÁPVGy foglalja össze. Ebben a pontban bemutatom a villamos vizsgálatra vonatkozó előírásokat, és az ekkor fellépő igénybevételeket.

6.3.1 Alkalmazandó feszültségérték

A szigetelő lepleken 100 %-os vizsgálatot kell végrehajtani. A szabvány alapján eltérő osztályú szigetelőlepleket más-más feszültségértékkel kell vizsgálni, átvételi vizsgálat esetén 3 percen, periodikus vizsgálat esetén pedig 1 percen keresztül.

A 3. táblázat tartalmazza a megfelelő vizsgálófeszültség nagyságát.

Szigetelő lepel osztálya	Feszültség (kV _{eff})
00	2.5
0	5
1	10
2	20
3	30
4	40

3. Táblázat: Villamos vizsgálat során alkalmazandó feszültség

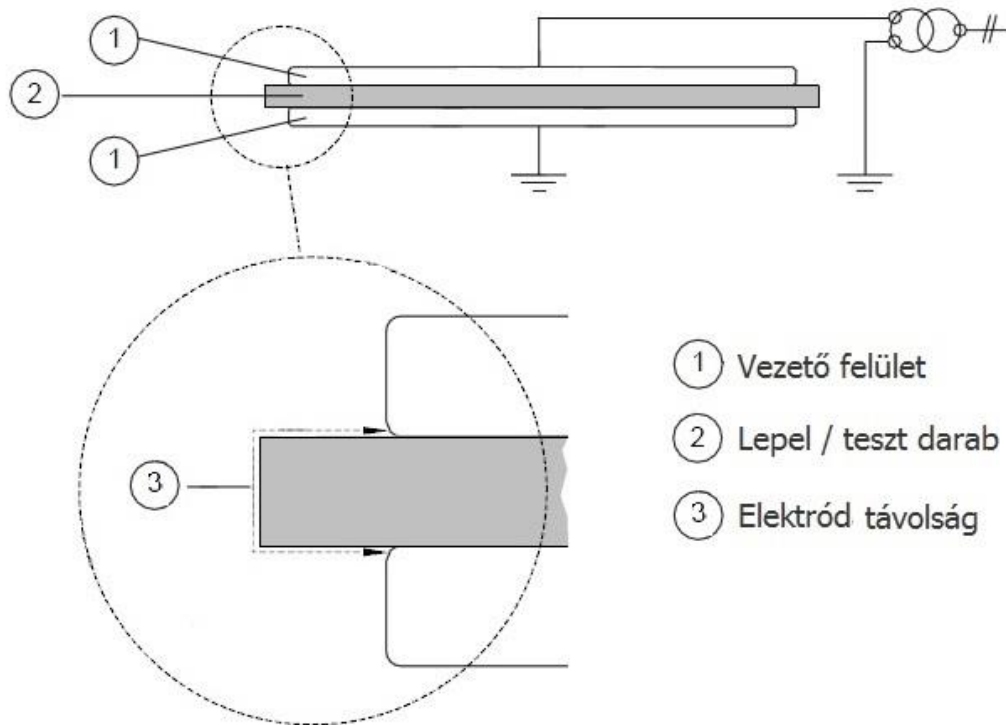
Az ÁPVGy-ben található lepelre vonatkozó villamos vizsgálatok megfogalmazása nem egyértelmű. Az ÁPVGy 308. oldalán az olvasható, hogy 3.5 mm-es vastagságú szigetelő lepelre 20 kV_{eff} értékű feszültséget, kombinált típusú lepel estén pedig 40 kV_{eff} értékű feszültséget kell alkalmazni, mely a 3. táblázatban is látható, hogy nagyobb osztályba sorolt lepleknél ez eltér. Az ÁPVGy a leplek osztályzásáról, és azok vizsgálófeszültségéről nem tesz említést.

A továbbiakban az MSZ EN 61112 számú szabvány által leírt villamos vizsgálatot mutatom be. Az 6.3.2 pontban részletezett elrendezés feszültségét, a lepel megfelelő osztályára vonatkozó érték eléréséig 1000 V/s-os sebességgel kell növelni.

A lepel tulajdonságai abban az esetben megfelelőek, ha a vizsgálat során nem következik be átütés, átívelés vagy kézzel érezhető melegedés. A próba közben a szivárgó áramot is mérni kell, melynek értéke nem növekedhet.

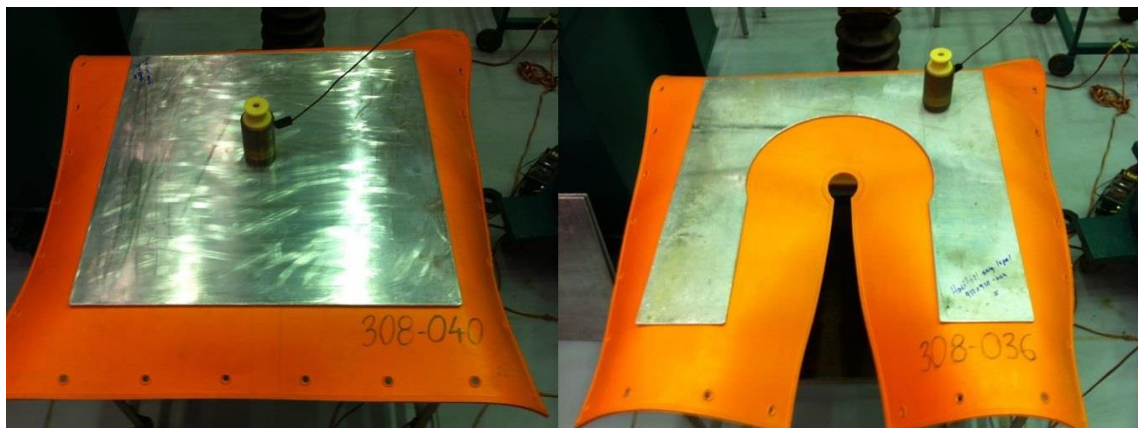
6.3.2 Vizsgáló elrendezésre vonatkozó előírás

A vonatkozó szabvány 5.6.2.2 pontjában bemutatott vizsgáló elrendezések közül a BME Nagyszültségű Laboratóriumában is megvalósított konstrukció látható a 6.9. ábrán.



6.9. ábra: Elektródelrendezés villamos vizsgálathoz

A bemutatott elrendezés, a 6.10. ábrán látható módon valósul meg a Nagyszültségű Laboratóriumában: bal oldalon a teli, jobb oldalon pedig a hasított szigetelőre kialakított elektród látható. [17]



6.10. ábra: Nagyszültségű Laboratóriumában kialakított elektródelrendezés

Ettől eltérő egyéb vizsgáló berendezéseket is léteznek, mint pl. a 6.11. ábrán látható elrendezés. [16]



6.11. ábra: szigetelő lepel tulajdonságait vizsgáló elrendezés

A különböző osztályba besorolt szigetelő lepleknél a mérés során eltérő elektródtávolságot kell alkalmazni, mely az 6.9. ábra 3-as jelölésénél látható módon az alsó elektródtól a felső elektródig tart. Az erre vonatkozó értékek szintén a leplek osztályától függően változnak, melyeket a 4. táblázat tartalmaz.

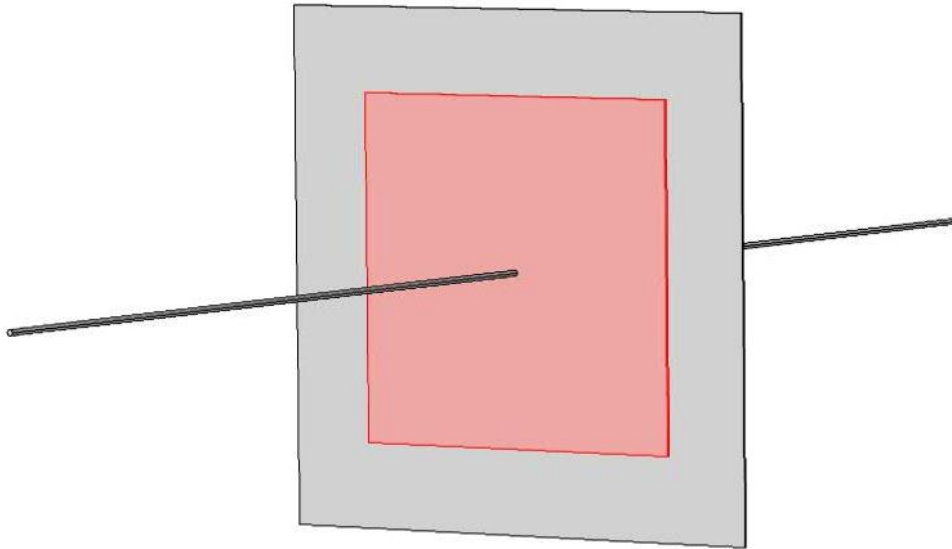
Szigetelő lepel osztálya	Elektródtávolság (mm)
00	10
0	20
1	80
2	150
3	200
4	300

4. Táblázat: előírt elektródtávolságok

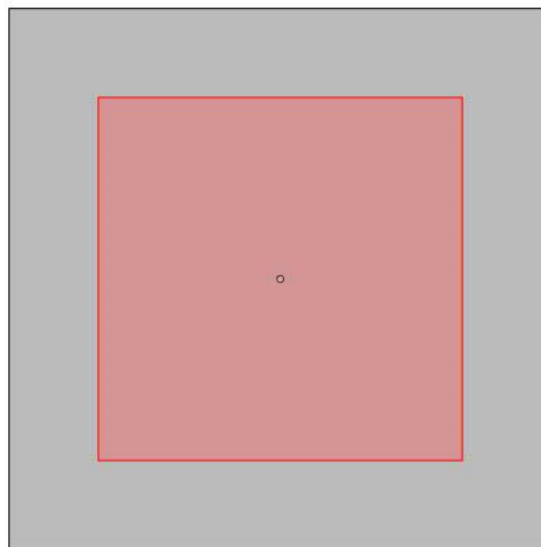
6.3.3 Villamos felülvizsgálat során fellépő igénybevétel

A továbbiakban csak a nem hasított szigetelő lepel vizsgálatára alkalmas teli elektródok vizsgálatával foglalkozok, melyek vékony lemezből készülnek, például a Nagyfeszültségű Laboratóriumban alkalmazott lemezek oldalfala 5 mm. A villamos térerősség eloszlásának szempontjából fontos különbség lehet abban az esetben, ha az elektród éles, illetve ha lekerekített szélekkel rendelkezik. Ennek tanulmányozására létrehoztam a kétféle vizsgálati elrendezést.

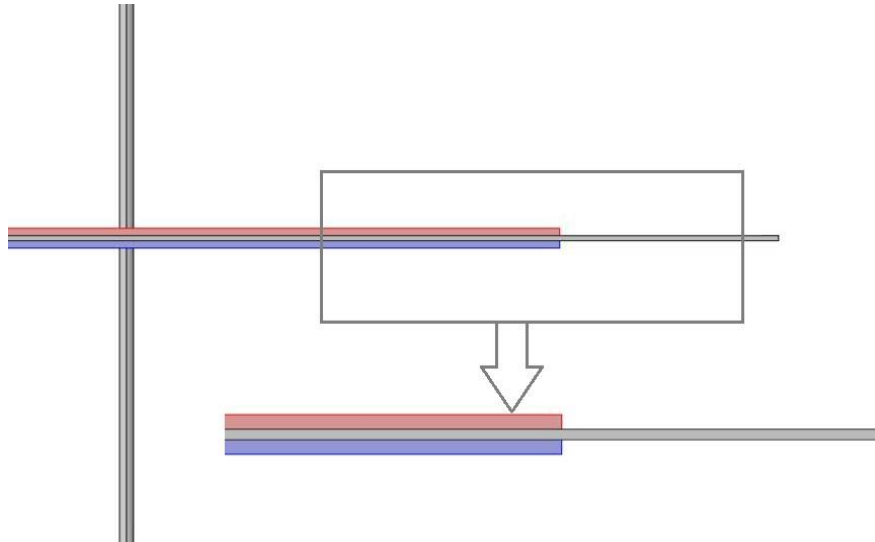
Az elsőként bemutatott modellt a 6.12. ábra szemlélteti. Az alkalmazott elektródok lekerekítés nélküli (6.14. ábra) fémlemezek, melyek mérete: 61x61x0.5 cm, közöttük pedig egy 91x91x0.35°cm-es szigetelő lepel tulajdonságú réteg helyezkedik el.



6.12. ábra: Szigetelő lepel vizsgálatának modellje oldalról: piros - elektród, szürke - lepel

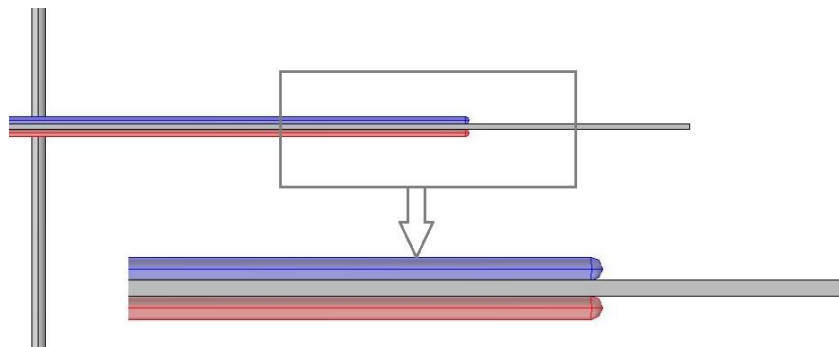


6.13. ábra: Szigetelő lepel vizsgálati elrendezésének modellje szemből



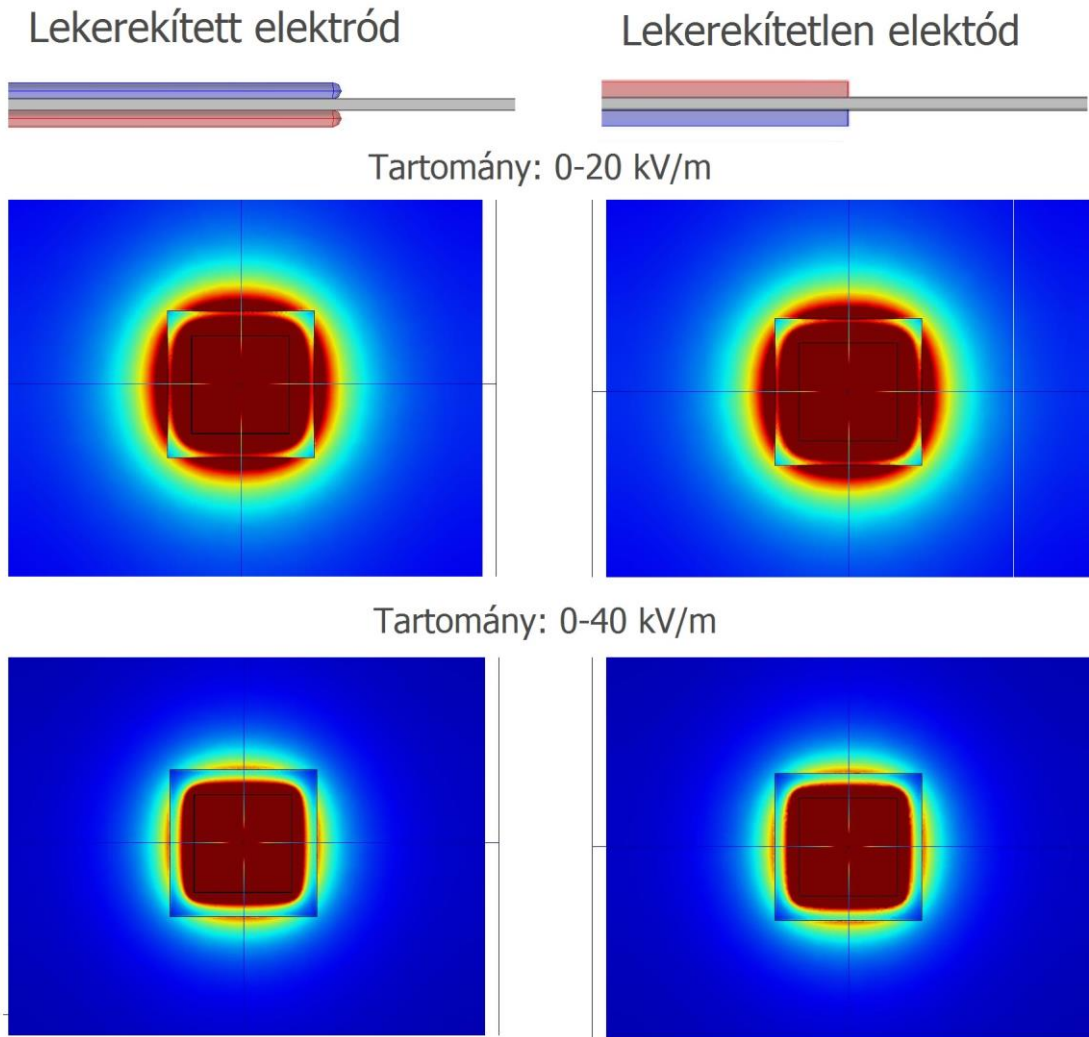
6.14. ábra: Lekerekítés nélküli elektródok szemléltetése

A másik modellezett elrendezés (6.15. ábra) méretei és tulajdonságai csak annyiban térnek el az előbb bemutatottaktól, hogy az itt létrehozott elektródok széleit végig 0.25 cm-es görbületi sugarú lekerekítéssel készítettem el.



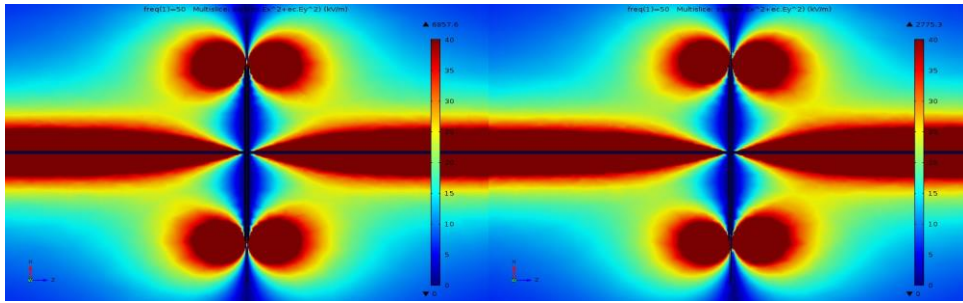
6.15. ábra: Lekerekített elektródok szemléltetése

A vizsgálat során fellépő villamos térerősség jobb szemléltetése és könnyebb összehasonlíthatósága miatt, a két elrendezésen kapott szimulációs eredményeket egymás mellett mutatom be (6.16. ábra, 6.17. ábra, 6.18. ábra). Az alkalmazott vizsgáló feszültség értéke $40 \text{ kV}_{\text{eff}}$, frekvenciája pedig 50 Hz .



6.16. ábra: Kapott $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ térerősség ábrázolása

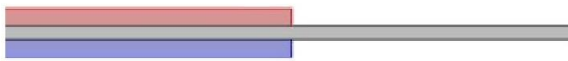
Mivel a modelleket 3D-ban készítettem el, így az ábrázolt villamos térerősség is felbontható az eredő teret alkotó 3 komponensre (derékszögű koordinátarendszernek megfelelően): E_x , E_y , E_z . A 6.18. ábra bal sarkban látható az elrendezés koordinátarendszerben való elhelyezkedése, mely alapján a villamos térerősség tangenciális, azaz a lepelrel párhuzamos komponensét az E_x és E_y irányú összetevők adják, miközben az E_z a normális, azaz a lepelre merőleges komponensét alkotja. Az eltérő kialakításokon fellépő villamos térerősség normális komponense mindkét esetben megegyezik, melyet a 6.17. ábra illusztrál.



6.17. ábra: normális komponens

Az 6.16. ábrán megjelenített eredmények nagyságrendileg megegyeznek, mivel a villamos térerősség normális irányú komponense dominál. A vizsgált két elrendezés között a térerősség tangenciális összetevőjében jelentkezik lényeges különbség. Ennek szimulálására vektoriálisan összegeztem az E_x és E_z térerősség komponenseket: $E = \sqrt{E_x^2 + E_z^2}$. Az így kapott eredményt a 6.18. ábrán mutatom be, ahol a lepel felületét érő villamos térerősség tangenciális összetevője látható. A vizsgálati tartomány maximumát 40 kV/m-re állítottam a szemléletesebb eredmény érdekében. Itt is fontos megjegyezni az 5.2.2 pontban leírtakat, hogy a skála felett feltüntetett maximális térerősség érték valójában a végeselem módszer és a modellre illesztett rács sajátosságai miatt csak egy adott pontban mérhető.

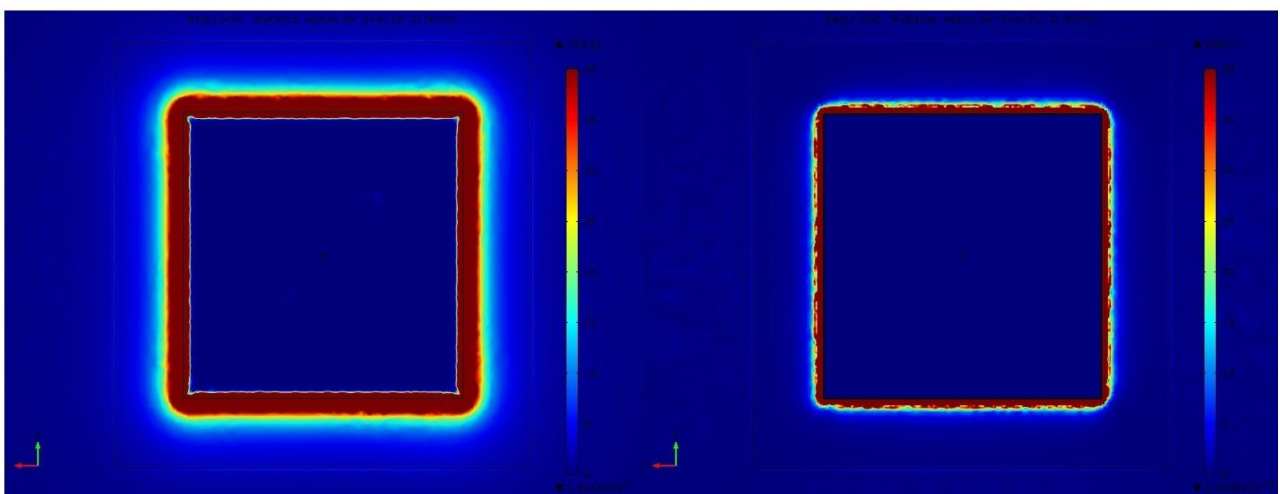
Lekerekítetlen elektód



Lekerekített elektród



Tartomány: 0-40 kV/m



6.18. ábra: Villamos térerősség tangenciális komponense a lepel felületén $E = \sqrt{E_x^2 + E_z^2}$

A 6.18. ábrán bemutatott szimulációk összehasonlításával már lényeges különbséget tapasztalhatunk, hiszen látható, hogy a lekerekítésnek köszönhetően szignifikánsan redukálódik a lepel szélein fellépő villamos igénybevétel. Átvételi és periodikus vizsgálatok esetében a térerősség homogénebbé tételével - azaz a vizsgáló elektródok széleinek megfelelő lekerekítésével - elkerülhető a vizsgálat „meghamisítása”, azaz a még megfelelő tulajdonságú szigetelő leplek tönkretétele.



6.19. ábra: Vizsgálat során tönkrement szigetelő lepel

7 Összegzés

Szimulációim eredményeit kiértékelve látható, hogy a tanulmányozott FAM eszközök átvételi és periodikus felülvizsgálatai során kapott eredményeket jelentősen befolyásolhatja a különböző elrendezésekhez létrehozott elektródák kialakításának kismértékű változtatása is. Mivel a munkavégző személyzet biztonsága kulcsfontosságú, ezért az egyes eszközök felülvizsgálatuk során olyan nagy igénybevételeknek vannak kitéve, melyek a valóságban fellépő igénybevételek többszörösei. Már kismértékű többlet feszültség (illetve villamos térerősség) is az eszköz tönkretételét eredményezheti.

A feszültség alatti munkavégzés technológiája hazánkban is egyre elterjedtebb, ezért az elkövetkező években várhatóan az eszközök, és így az elvégzendő átvételi és periodikus vizsgálatok száma is növekedni fog. A bemutatott eredmények alapján, a további FAM munkaeszközök vizsgálati elrendezésének modellezésével és az azokon fellépő térerősség szimulációjával, az előírt villamos vizsgálatokhoz képesti többlet igénybevétel csökkentését lehet elérni, így elkerülhető a FAM eszközök felesleges öregítése, azok esetleg tönkretétele.

Irodalomjegyzék

- [1] Optimizing the Transmission Line Design for Effective Live working – EPRI 1002032 – R. Lings
- [2] Kimpián Aladár – A feszültség alatti munkavégzés FAM – 2012.10.27
https://vet.bme.hu/drupal/sites/default/files/tantargyi_fajlok/5EloadasFAM20121018VETthonlap.pdf - 2013.08.25 , 20:00
- [3] Changing a conductor section in 33 kV – Julio Álvaro Callejo – ICOLIM 2006
- [4] MEE FAM Tagozat, a FAM Bizottság ajánlásával: Középfeszültségű átvételi és periodikus vizsgálatok gyűjteménye, 2006
- [5] MEE FAM Tagozat, a FAM Bizottság ajánlásával: Középfeszültségű műszaki lapok és műveleti módok, 2006
- [6] Németh Bálint, Cselkó Richárd- NaF és KöF kutató, oktató, bemutató FAM tanpálya a BME Nagyfeszültségű Laboratóriumban
- [7] Magyar Szabvány: Erősáramú üzemi szabályzat (MSZ_1585:2012)
- [8] Fact sheet - On the guidelines for limiting exposure to time varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz) Published in health phys 99(6):818-836, 2010
- [9] Magyar Szabvány: Habbal töltött szigetelőcsövek és tömör szigetelőrudak feszültség alatti munkavégzéshez (MSZ_EN_60855:2000)
- [10] Magyar Szabvány: Szigetelőrudak és szerelvényeik feszültség alatti munkavégzéshez (MSZ_EN_60832)

- [11] Testing of insulation of live work tools and equipment –experience based recommendations – Vladimir Caha, Damir Sljivac, Srete Nikolovski
ICOLIM 2011
- [12] ICOLIM 2011 – Accreditation of HV testing laboratory according HRN EN ISO/IEC 17025:2007 – testing of hot sticks – Vlaimir Caha, Damir Sljivac, Srete Nikolovski
- [13] ICOLIM 2004 –The 7th International Conference on Live Maintenance - Romanian Live Working Association
- [14] Magyar Szabvány: Feszültség alatti munkavégzés, Villamos szigetelőleplek (IEC 61112:2009)
- [15] HQ LineROVer: A Remotely Operated Vehicle for Live-Line Work overhead Transmission Lines
- [16] ICOLIM 2011 - Live working with direct current – Comparison with alternating – Current behavior using different tool technologies – Sabine Ostermann
- [17] Tarcsa Dániel- A feszültség alatti munkavégzés eszközeinek átvételi és periodikus vizsgálatai - 2012
- [18] CIGRE 561 - Live Work – A Management Perspective – Joint Working Group B2/B3.27, 2013
- [19] LERC.TST - Manufacture insulation sticks and associated control according to CEI 60855 – F. Eppler