

Salánki Péter István

## Kompozit szigetelők

### Általános összefoglaló, különös tekintettel a diagnosztikára

*Szakmailag ellenőrizte: Dr. Cselkó Richárd*

*(egyetemi adjunktus*

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*

*Villamosmérnöki és Informatikai Kar*

*Villamos Energetika Tanszék)*

*A villamos energetika területén belül a szabadvezetéki átviteli hálózat szerepe az utóbbi évtizedekben egyre fontosabbá válik, mivel ilyen módon vagyunk képesek a villamosenergiát nagy távolságokra, nagy feszültség szinten továbbítani. A hálózat kiemelten fontos elemei a szigetelők, amelyek az átvitel biztonságát, hatékonyságát, megbízhatóságát garantálják és mechanikai tartást is adnak strukturálisan. Ezek hagyományosan keramikusan anyagokból épülnek fel, de jelenleg a legdinamikusabban fejlődő újabb fajtájuk polimer alapú és a kompozit nevet viseli. Ez számos előnnyel rendelkezik a kommersz szigetelőkkel szemben, ezáltal hosszabb élettartam feltételezhető nála. Viszont ahhoz, hogy garantálni lehessen hosszú távon a biztonságos működését, pontosan szükséges ismerni a kompozit szigetelők legfontosabb paramétereit, őket érő degradációs hatásokat és diagnosztikai módszereiket.*

## 1. Szabadvezetékek szigetelői

A villamosenergia különböző formákban történő átvitele, továbbítása a XX. század folyamán nagy fejlődésen ment keresztül. A kezdeti, alig több mint 100 kV-os feszültség szinten történő átvitel mára odáig jutott, hogy akár több ezer km távolságra vagyunk képesek több mint 1 MV-os feszültség szinten továbbítani a villamos energiát. A nagyfeszültségű szabadvezetékek tervezésén és kivitelezésén kívül ezzel párhuzamosan a diagnosztika, analízis, szimulációs módszerek is jelentős fejlődésen mentek keresztül. Utóbbiak azért is kiemelt fontosságúak, mivel segítségükkel lehetséges nyomon követni, rögzíteni és megérteni a hálózat és környezete kapcsolatát, a különböző sérüléseket, hibákat, degradációs és öregedési folyamatokat (Papailiou & Schmuck, 2013).

A nagyfeszültségű szabadvezetéki átviteli hálózatban kiemelt fontosságú a szigetelők szerepe, hiszen ezektől is nagymértékben függ az átvitel biztonsága, megbízhatósága. Egy ilyen szigetelő látható az 1. ábrán. használat közben nagyfeszültségű távvezetéken.

**1. ábra:** Szabadvezetéki szigetelő használat közben



*Forrás: Increasing Confidence in Transmission Line & Substation Insulators, 2022*

A számunkra releváns rész az őket kívülről beborító burkolatuk. Ez kiemelt fontosságú része ezeknek a berendezéseknek, mivel a külső degradációs hatások, időjárási körülmények, akár mechanikai hatásból vagy vandalizmusból származó rongálódások ezt a rész érintik a legkomolyabb mértékben (Ghosh és Khastgir, 2018). A szennyezettség miatti átívelés általában a tervezésük talán legnagyobb korlátja, mivel a felületen lévő szennyeződések nedvességgel érintkezve először kis vezetőfelületekként viselkedve részkisüléseket hoznak létre nagyobb szivárgóárammal. A kúszóút, amely mentén ezek az átívelések kialakulnak, kiemelt jelentőségű mind hosszát, mind egyéb tulajdonságait tekintve a tervezéskor. A szigetelők tervezése esetén éppen emiatt legnagyobb figyelem nem a belső villamos tulajdonságokra irányul, hanem a felületi feszültséggradiensre, amely a fázisfeszültség és kúszóút hányadosaként adódik. Ez hosszú távon okoz problémát, hiszen nem életszerű az ilyen apró hibákat észlelni és kijavítani időben, emiatt sok részkisülés kialakulása idővel teljes átívelésbe is átalakulhat, gyakorlatilag használhatatlanná téve a szigetelőket. Fontos kiemelni, hogy itt a nagyfeszültségű terhelések miatt a teljes átívelés már néhány alkalom után teljesen tönkretelheti a szigetelőt.

A technológiát tekintve a szigetelők két fő csoportját lehet megkülönböztetni: a hagyományosabb keramikussal és az újkeletűnek számító polimer vagy más néven kompozit szigetelőket. A keramikussal tartoznak a porcelán és edzett üveg anyagú szigetelők, ezek régebb óta alkalmazott technikák. Hosszú technológiai fejlesztés és sok évtizedes tapasztalat van a használatuk mögött, megbízható és jól bevált anyagoknak számítanak, hosszú élettartammal rendelkeznek. Elmondható róluk, hogy a felületi kisüléseknek is akár jobban ellenállnak, jól viselik a mechanikai összenyomást. Ezen felül a porcelán ernyőzetű szigetelők fontos jellemzője, hogy egysapkás szigetelőegységgel rendelkeznek, többféle alkalmazásuk terjedt el, úgymint a hálózati tartószigetelők, átvezetőszigetelők vagy a hosszúrúd szigetelők. Mindezekben belül lehetséges tömör és üreges kialakítás. Az edzett üveg esetében szintén az egysapkás szigetelők terjedtek el, itt többernyőzetű is lehet a szigetelőréteg kialakítása. Versenyben vannak tehát jelenleg a hagyományos és polimer szigetelők, jelenleg az üzem alatt lévő hálózatban működő darabok kb. 50%-a üveg, 40%-a kompozit és 10%-a porcelán, de a növekedés üteme a kompozitok esetén szembetűnő leginkább (Papailiou és Schmuck, 2013).

Mindezek ellenére azonban az alábbi ismertető a kompozit szigetelőkkel kíván foglalkozni, mivel az ebbe a kategóriába tartozó anyagokból készült szigetelők fejlődése fokozott figyelmet kap napjainkban, számos előnyük, mind tervezés, mind alkalmazás során felmerülő praktikus szempontok miatt. Kezdetben ezek esetében is sok probléma merült fel, úgymint a nedvességbehatolás, felületi sérülékenység vagy a fokozott UV-degradáció, de mindezek kiküszöbölésére, kezelésére és kijavítására a mai infrastrukturális és ipari környezet már eléggé felkészült. Ezen előnyöket, a kompozit szigetelők legfontosabb jellemzőit, diagnosztikájuk néhány lehetséges megoldását vizsgálom az alábbiakban.

### *2.1 Kompozit szigetelők elterjedésének főbb okai, előnyök*

Bár az Egyesült Államokban már az 1950-es években kifejlesztették a technológiát a kompozit szigetelők gyártására, csak az 1970-es évektől kezdett jobban elterjedni világszerte, ekkor történtek nagy újítások az átviteli hálózat szigetelőinek gyártásában. Ez segítette a kompozit szigetelők egyre gyorsabb térnyerését. Az elterjedésének okai közé tartozik a számos előnye a korábbi keramikussal szemben (Papailiou és Schmuck, 2013).

Ilyen fontos előnyei például a nagyobb mechanikai ellenállóképesség a hirtelen külső hatásokkal szemben. Sokkal kisebb érzékenységet tanúsítanak az ilyen esetekben a kompozit szigetelők a keramikussal ellentétben, ez az anyag szerkezetéből is adódó nagyobb rugalmasságnak köszönhető. Míg előbbi alkalmazásban az ernyőzet könnyebben megrepedt, töredezett, addig a kompozitok esetén ez nem jár maradandó károsodással rövidtávon. Ehhez kapcsolódó másik hasznos adottságuk ezeknek az anyagoknak, hogy a vandalizmussal szemben is ellenállóbbak. A vandalizmus alatt itt elsősorban a lövéseket értem, ez különösen az európai térségen kívüli esetekben okoz gyakoribb problémát (Ghosh és Khastgir, 2018).

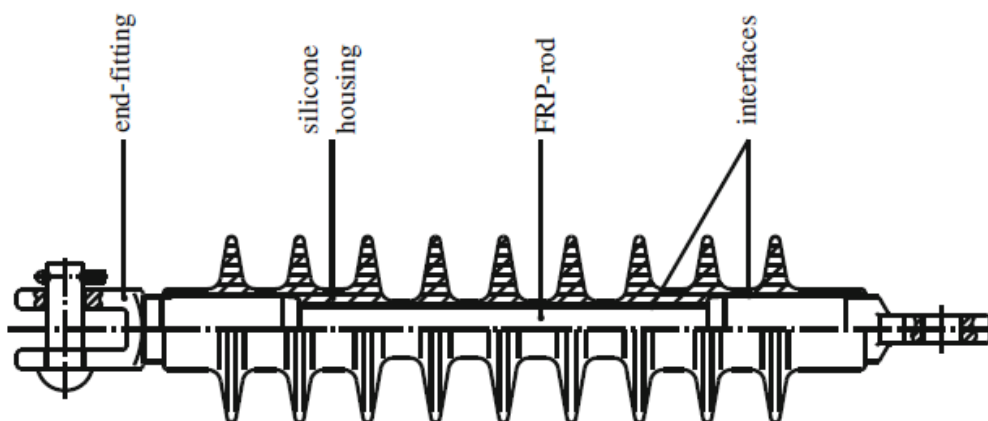
Fontos ok a kompozitok szélesebb körben való elterjedésére a kisebb érzékenység a felületi szennyeződésekre, különös tekintettel a hidrofobocitást értve ez alatt. A cseppek kialakulása a felületen elősegíti azt, hogy a nedvesség mentén ne tudjanak áramutak kialakulni, ezzel rongálva a szigetelő felületét. A kommersz keramikussal szemben a polimer szilikon-elasztomerek ráadásul saját maguktól is képesek a hidrofób tulajdonságaikat visszanyerni (Bánhegyi, 2022).

További kiemelkedő előnye a sokkal kisebb súly a keramikussal szemben. Az anyag felépítésének következtében akár 90%-os súlycsökkenés is megfigyelhető. Ez különösen a szállítást és a szélesebb körű felhasználást segíti elő. Egyrészt így sokkal nagyobb szigetelőképeség érhető el ugyanannyi polimer felhasználásával, másrészt szélsőséges körülmények között nagyobb biztonsággal alkalmazhatók. A súlycsökkenéssel szoros kapcsolatban áll a nagyobb érzéketlenség a külső hatások által okozott dinamikus vagy mechanikus eredetű sérülésekre, így nagysebességű vasúti felsővezeteki környezetben is ezek alkalmazottak szélesebb körben; akár természeti szempontból extrém körülmények között is, mint hegyek vagy alagutak esetében (Venkataraman és Gunasekaran, 2019). Másik járulékos nyereség a súlycsökkenés következményeként, hogy ha ugyanakkora szigetelőképeséget szeretnénk, mint a hagyományos darabok esetén, akkor kisebb méretű szigetelők alkalmazhatók, ami megkönnyíti mind a szállítást, mind az üzembe helyezést, valamint a fentebb is említett vandalizmus ellen is óvja a szigetelőt (Ghosh és Khastgir, 2018).

## 2.2 Kompozit szigetelők felépítése

A fentebb írt előnyök elérésénél a kompozit szigetelők felépítése is fontos szerepet játszik. Ez felépítését tekintve különbözik a kommersz keramikus esetektől, itt három részt különböztethetünk meg: a mechanikai stabilitást és tartást biztosító üvegszál-erősítésű műanyag mag; a kompozit anyagú burkolat vagy ernyőzet; valamint a préselt fém végszerelvények. Ahogy látható, burkolat és a mag közötti érintkező felületek külön gondos kialakítása, a primerezés is rendkívül fontos a rögzítéskor. A 2. ábrán látható képen egy kompozit szigetelő vázlatos felépítése látható.

2. ábra: Kompozit szigetelő keresztmetszete



*Forrás: Papailiou és Schmuck, 2013*

A mag adja a mechanikai terhelhetőséget, ennek az alkatrésznek a legnagyobb a súlya az egész szerkezetben. Szerkezetileg úgy épül fel, hogy hosszanti elrendezésben szigetelő tisztaságú minőségben vékony üvegszálak helyezkednek el gyanta mátrixba ágyazva. Ennek a gyantának lehet epoxi vagy poliészter az anyaga, mindkettőnek megvan a maga előnye, előbbi nagyobb stabilitást biztosít, utóbbi olcsóbb.

A fém végszerelvények a mechanikai terhelés tartása miatt fontosak, és ezek segítségével rögzíthető a feszültség alatt álló fázisvezetőhöz a szigetelőrod. Úgy kell kialakítani, hogy a nedvesség behatolása ne történhessen meg semmilyen körülmények között, emiatt kovácsolt vagy préselt fém formájában hozzák létre, és a kapcsolódási határfelületet is ernyőzettel vonják be.

A környezetállóság szempontjából leglényegesebb rész a polimerből készült burkolat, amelyet szilikon-elasztomerek alkotnak elsősorban, általában alumínium-trihidráttal adalékolva (Aman, Yaacob, Alsaedi, és Ibrahim, 2013). Az adalékolásra azért van itt is szükség, hogy a fizikai ellenálló képességet a szakítószilárdság által növelni lehessen. Az első polimerláncban ezekben az esetekben a szénláncok helyett szerves szilícium-oxigén kötések a meghatározók. A szilikonumikat a burkolatban leggyakrabban szerves PDMS (polidimetil-sziloxán) molekulák építik fel, a molekulaláncok végén trimetil-sziloxánnal lezárva (Bánhegyi, 2022). A PDMS-molekulák a környezeti hatásoktól függően háromféle viszkozitású, halmazállapotú változatban képesek gumis anyaggá formálódni; a kompozitok esetén a szilárd halmazállapotú változata van jelen értelemszerűen.

Fontos előny ennél az anyagnál az extrém alacsony üvegesedési hőmérséklet: a rugalmas szilikátláncoknak köszönhetően a hőmérséklet emelkedésével a még mindig szilárd anyag lágyabb lesz. Továbbá lehetővé teszi az alacsony felületi energiát is a jelenlévő metilcsoport árnyékoló hatásának köszönhetően. E miatt a két tulajdonsága miatt rendkívül jó a hidrofobicitása és vízlepergető képessége, ez a két fentebb írt előnye kardinális a hagyományos keramikus alkalmazásokkal szemben.

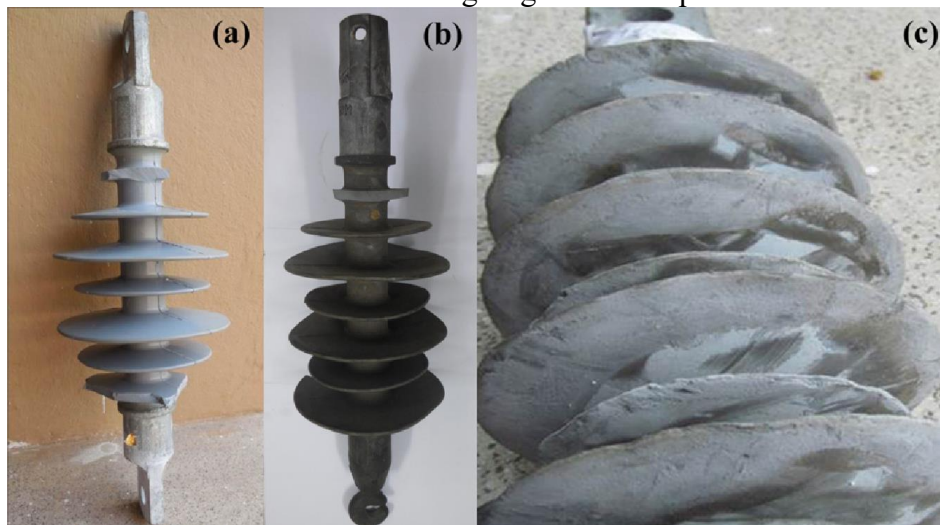
### 2.3.1 Általános összefoglaló a degradációs folyamatokról és élettartam-becslésről

Akár üzemben működő, akár újonnan gyártott nemkeramikus szigetelők esetén rendkívül fontos az, hogy ismerni lehessen, milyen külső körülmények vannak hatással az élettartamukra. Általában ez alatt az élettartamukat negatívan befolyásoló tényezők értendők; ezek sérüléseket, gyorsabb öregedést eredményező degradációkat jelentenek a gyakorlatban. Ahhoz, hogy a diagnosztikai vizsgálatok közül a megfelelőt választhassuk ki, elengedhetetlen az öregedési folyamatok és hirtelen külső hatások szigetelőn okozott hosszú távú hatásainak pontos ismerete.

Habár számos hatás éri a szigetelő egészét is, de legelőször szinte minden esetben a külső hatásokkal az ernyőzet és burkolat fog találkozni, ezért itt ezek a hatások lesznek a legrelevánsabbak. Ilyen degradáló hatások lehetnek többek között a hőhatás, a nedvesség, különböző porokból, állatoktól származó szennyeződések, savas eső, jegesedés, villamos kisülések vagy a fokozott UV-sugárzás. A PDMS jó ellenállóképességgel rendelkezik a fenti hatásokkal szemben is, mivel itt a szén-szilícium láncok helyett oxigén-szilícium gerincláncok vannak, amik kevésbé sérülékenyek, a szenet tartalmazó láncok hamarabb felszakadnak. A korábban említett hidrofób tulajdonságukat visszanyerni pedig úgy képesek, hogy az alacsony molekulatömegű részecskék folyamatos mozgásban vannak az anyag felszíne felé, ez is gátolva van a rongáló hatások miatt. Az üzemben lévő szigetelők természetes öregedésük miatti degradációs folyamatok viszont elkerülhetetlenek, a fentebb írt hatások erre rásegítenek, meggyorsítják, de mindenképpen jelen lesznek az idő előrehaladtával. Mindezek miatt is a PDMS szerkezetében is hosszútávon bekövetkeznek molekuláris változások. Ezek közül kettő a meghatározó: a gerincláncok felszakadozása, továbbá UV-sugárzás hatására a felszakadt gerincláncok helytelen rekombinációja (Bánhegyi, 2022). Ha pedig a felület sérült és a nedvesség könnyebben be tud hatolni, akkor a kábeleknél gyakoribb treeing jelenség itt is kialakulhat, aminek észlelése ismét csak azért fontos, mert teljesen használhatatlanná tudja tenni a szigetelőt.

A 3. ábrán látható három képen különböző életszakaszaiban láthatunk szigetelőket. Felfedezhető, hogy új állapotában külső kinézetében is elkülönül a végszerelvény és a szigetelő burkolat, valamint szabályos ernyő alakot ölt. Utóbbi a második képen is felfedezhető még, de itt már egy komolyabb szennyeződés és az ernyőzet deformációja is jelen van. Az utolsó képen pedig a burkolat alakja teljesen felismerhetetlen kívülről, deformációk, felületi és mélyebb sérülések nagy számban megfigyelhetők rajta.

**3. ábra:** Kompozit szigetelő a) teljesen új, nem használt; b) üzemi használat alatt; c) használhatatlanul megrongálódott állapotban



*Forrás: Ghosh & Khastgir, 2018*

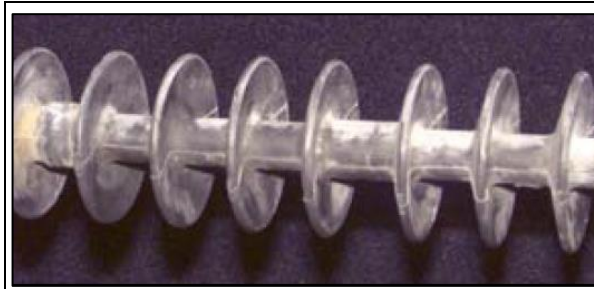
A természetes öregedést modellezendő terheléses vizsgálatok és ezek felhasználásával készült vizsgálati eredmények megállapítottak néhány összefüggést bizonyos hatások és az anyag különböző paramétereinek megváltozása között. A szimulációkat úgy végezték, hogy egy 10 éves viszonylatot modelleztek, ennek eredményeképpen adódtak az alábbi megállapítások.

A szakítószilárdság és szakítónyúlás csökken, a keménység nő az idő előrehaladtával. A felületi ellenállás kb. 4-5 évig drasztikusan csökken, majd ezután csak kisebb mértékben, mivel a PDMS szilikát jellegű viselkedést mutat már ekkor, ami pedig jó szigetelő. A relatív permittivitás és veszteségi tényező is hasonló tendenciát mutat az előzőekkel, nem számottevő a megváltozásuk. A hidrofobicitás kisebb mértékben csökken, ez közvetve a gerincláncdarabok hibás rekombinációjának is köszönhető. A felületi morfológia lassan, de folyamatosan romlik, érdes és szemcsés lesz, nagyon apró repedések megjelennek. Mivel a merevség is növekszik, ezért fennáll a veszélye a hidrofillé válásnak is, emiatt fokozott figyelmet érdemel ez a paraméter. Végül pedig termogravimetricus változásról is szót ejtve, magas hőmérsékleten súlycsökkenés figyelhető meg hosszú távon részben az alumínium-trihidrát, részben a PDMS molekula teljes felbomlása miatt (Sundhar, Bernstorf, Goch, Linson, és Huntsman, 1992). Utóbbi jelenség drasztikusan csökkenti az élettartamot (Ghosh és Khastgir, 2018).

### 2.3.2 Rongálódások

A következő, 1. táblázattal reprezentált klimatikus, környezeti vagy UV-sugárzás általi hatások eredményei a szigetelőkön nem jelentik az élettartam drasztikus csökkenését vagy a használhatatlanságot, és a legtöbb esetben ezeket a szigetelőket nem is szükséges cserélni. Fontos viszont tisztában lenni azzal, milyen következményei lehetnek az ilyen állapotoknak, mivel súlyosbodás esetén az élettartam drasztikusan csökkenhet.

1. táblázat: Különböző rongálódások hatásai a szigetelőkön



Elfehéredés/meszesedés



Elszínéződés



Nagyobb repedések



Enyhe felületi erózió



Hasadás



Apróbb letörés



Ernyőzet hullámosodása



Vég szerelvények korróziója



Zsírosodás a felszínen











Rágcsálók által okozott kár

Forrás: Elizabeth Da Silva Domingues, 2012

### 2.3.3 Sérülések

Az alábbi, 2. táblázat által mutatott mértékű degradációk már sérülésnek minősülnek, és bizonyos esetekben a fenti rongálódás eredményeképpen alakulnak ki, de egy erős klimatikus vagy egyéb impulzus is okozhatja őket. Az ilyen súlyos sérülések az esetek nagy részében komoly kockázatot hordoz a további biztonságos működésre való tekintettel, és drasztikusan csökkenti az élettartamot. Felülvizsgálandó és általában eltávolítandó darabok azok, amelyek ilyen károk által sérültek meg (Elizabeth Da Silva Domingues, 2012).

**2. táblázat:** Sérülések hatásai a szigetelőkön

	
Kettéválás elégtelen ragasztás miatt	Hasadás koronakisülés következtében
	
Üvegszál-szétválás elégtelen ragasztás miatt	Erős erózió a felületen a polimer elvékonyodása és nedvesedése miatt
	
Hiányzó ernyőzet miatti látható mag	Erős fizikai hatás miatti kettétörés
	
Villamos ív és átvélés miatti sérülés	Szigetelőn keresztül kialakult átütés miatti szúrás, „defekt”

*Forrás: Elizabeth Da Silva Domingues, 2012*



### 3. Vizsgálati, diagnosztikai módszerek

A kompozit szigetelők vizsgálatai során a személyzetnek értenie kell a hálózati viszonyokhoz, tudniuk kell a főbb tulajdonságait az adott darabnak, a főbb sérülésekről pedig általános tudás és rutin szükséges. Néhány specifikus vizsgálati módszer látható a 3. táblázatban felsorolva, ezeken kívül sok a IEC vagy ANSI-IEEE szabványok által szabályozott, azonban ezekről itt külön nem történik bővebb kifejtés. A legfontosabb vizsgálható paraméterek kerülnek kiemelésre mindegyik diagnosztikai módszer mellett; a cél ezáltal a lényegre törő rövidség és az áttekinthetőség volt (Schmuck, Seifert, Gutman, és Pignini, 2012).

**3. táblázat:** Néhány fontos diagnosztikai módszer és a használatukkal kimutatható paraméterek

Vizsgálati módszer	Vizsgálható paraméterek, degradációk
Szemrevételezés	Sokféle felszíni kár és sérülés; hidrofobicitás; felszíni szennyeződések; rögzítések állapota; a mag esetleges láthatósága
Infravörös vizsgálat	Nedvesség behatolása; nagyobb üregek és törések a magban; kúszóáramok a magban és a felületen; helyi kisülések
UV-vizsgálat	Helyi kisülések pontos helye
Röntgenes vizsgálat	Belső sérülések; polimer vagy magban lévő kötések felszakadása; nagyobb üregek, szálak leválása, törések, egyéb mechanikai hatások a magban
Elektromos térerősségben történő mérés	Nedvesség behatolása; felszíni kúszóáramok; polimer vagy magban lévő kötések felszakadása; szálak leválása, törések, egyéb mechanikai hatások a magban; kötések felszakadása
Szivárgási árammérés	Áramharmonikusok vizsgálata, következtetés a környezeti hatásokra, szennyező forrásokra
Ellenállásmérés	Nedvesség behatolása; felszíni kúszóáramok; polimer vagy magban lévő kötések felszakadása; szálak leválása, törések, egyéb mechanikai hatások a magban; kötések felszakadása
Ultraszónus vizsgálat	Komoly belső sérülések égés és kúszóáramok miatt; polimer vagy magban lévő kötések felszakadása; szálak leválása, törések, egyéb mechanikai hatások a magban
Frekvenciaválasz/rezgésválasz – vizsgálat	Polimer vagy magban lévő kötések felszakadása; szálak leválása, törések, egyéb mechanikai hatások a magban

Rádiós és TV interferencia	Lappangó mechanikai sérülések; külsőleg sérült szigetelőkön kisülések detektálása
Akusztikus vizsgálat	Polimer vagy magban lévő kötések felszakadása; szálak leválása, törések, egyéb mechanikai hatások a magban
Lézerrel indukált fluoreszcenciás spektroszkópia	Biológiai szennyeződések a polimer felületén
Mikrohullám közeli roncsolásmentes spektroszkópia	Teljes térbeli kép nyerhető; apró belső sérülések; vastagság megváltozása a szigetelő felületén vagy belsejében
Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia	Strukturális hibák; anyagszerkezet pontos detektálása

*Forrás: Elizabeth Da Silva Domingues, 2012 és Hackam, 1998*

#### 4. Összefoglalás és kitekintés

Láthattuk tehát, mennyire fontos a szabadvezeteki hálózatok szigetelőinek gondos kiválasztása akár nagy-, akár középfeszültségű hálózatok esetében. A kommersz, keramikus alapú szigetelők hosszú és megbízható élettartammal üzemeltethetők, egyszerű a gyártási folyamatuk, széles körben elterjedtek alkalmazásukat tekintve az évek során. Viszont az új technológiának számító polimer-kompozit szigetelők térnyerése növekszik napjainkban, mivel hosszú távon sokkal nagyobb hatékonysággal üzemeltethetők. Nagyobb feszültség szinten használhatóak, mechanikai, anyagszerkezeti tulajdonságuk miatt a klimatikus, természeti viszonyoknak is jobban ellenállnak. Azonban számos olyan külső és belső degradációs hatás van, amely nehezíti a használatukat és ezek megfelelő gyakoriságú és minőségű monitorozása elengedhetetlen a megbízható használathoz. Sok vizsgálati mód létezik az ilyen szigetelők vizsgálatára, ezek azonban laboratóriumi körülményeket, gyakran speciális mérőműszereket igényelnek, illetve nem lehetséges üzemeltetés közben elvégezni őket.

A lehetséges további vizsgálatok során érdemes olyan szempontból megközelíteni a kompozit szigetelőket, hogy milyen módon lehetséges az üzem alatti feltérképezésük. Ha erre ki lehet fejleszteni egy mérési, diagnosztikai módszert, amivel a most létező módszerek által kimutatható degradációs hatások, folyamatok szintén vizsgálhatók és detektálhatók, akkor hosszú távon jelentősen növelnék a megbízható üzemeltetést. Ez lehetőséget adna további fejlesztésekre az átviteli hálózaton.

## Irodalomjegyzék

- Aman, A., Yaacob, M. M., Alsaedi, M. A., & Ibrahim, K. A. (2013). Polymeric composite based on waste material for high voltage outdoor application. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 45(1), 346–352. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.09.004>
- Bánhegyi, Gy. (2022). Re: What is the MFI and Density of PE required for wires and cables?. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_the\\_MFI\\_and\\_Density\\_of\\_PE\\_required\\_for\\_wires\\_and\\_cables/622c69455051cc62dc0aa390/citation/download](https://www.researchgate.net/post/What_is_the_MFI_and_Density_of_PE_required_for_wires_and_cables/622c69455051cc62dc0aa390/citation/download).
- Da Silva Domingues, E. (2012). *Improved Condition Monitoring of Composite Insulators*. 307. University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering.
- Ghosh, D., & Khashtgir, D. (2018). Degradation and Stability of Polymeric High-Voltage Insulators and Prediction of Their Service Life through Environmental and Accelerated Aging Processes. *ACS Omega*, 3(9), 11317–11330. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b01560>
- Hackam, R. (1998). Outdoor high voltage polymeric insulators. *Proceedings of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials. 1998 Asian International Conference on Dielectrics and Electrical Insulation. 30th Symposium on Electrical Insulating Materials (IEEE Cat. No.98TH8286)*, 1–16. Toyohashi, Japan: Inst. Electr. Eng. Japan. <https://doi.org/10.1109/ISEIM.1998.741674>
- Increasing Confidence in Transmission Line & Substation Insulators -. (2022. március 18). Elérés 2022. május 18., forrás <https://www.inmr.com/increasing-confidence-in-transmission-line-substation-insulators/>
- Papailiou, K. O., & Schmuck, F. (2013). *Silicone Composite Insulators: Materials, Design, Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-15320-4>
- Schmuck, F., Seifert, J., Gutman, I., & Pignini, A. (2012). Assessment of the condition of overhead line composite insulators. *Paris, CIGRE-2012, b2-214*.
- Sundhar, S., Bernstorff, A., Goch, W., Linson, D., & Huntsman, L. (1992). Polymer insulating materials and insulators for high voltage outdoor applications. *Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 222–228. Baltimore, MD, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ELINSL.1992.247015>
- Venkataraman, S., & Gunasekaran, B. (2019). Case Study on Using Different Insulating Materials for Indian Railways Network, Performance Analysis of in-Service Composite Insulators & Recommendations for the Future. *2019 International Conference on High Voltage Engineering and Technology (ICHVET)*, 1–5. Hyderabad, India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHVET.2019.8724329>