

KORRÓZIÓS *figyelő*

KORRÓZIÓS FIGYELŐ
korrózióvédelmi műszaki tudományos folyóirat

Szerkeszti: a szerkesztőbizottság

A szerkesztőbizottság elnöke: Zanathy Valéria

Dalmay Gábor
Dr. Haskó Ferenc
Dr. Hencsei Pál
Horváth János
Dr. Horvátth Márton
Dr. Kahán Róbert
Dr. Kiss László

Dr. Lambertus Zsoltné
Dr. Lengyel Béla
Mátravölgyi Norbert
Dr. Medgyesi Iván
P. Nagy Sándor
Dr. Simor László
Tompai Miklós

A szerkesztőbizottsággal együttműködik az MKE és a GTE Korróziós Szakosztálya

Folyóiratunk az Európai Korróziós Szövetség és a Magyar Korróziós Szövetség hivatalos lapja
információinak és jelentéseinek közreadásában

Felelős szerkesztő: Mátravölgyi Norbert

ISSN 0133-2546
B/SZI/489/Ve/91

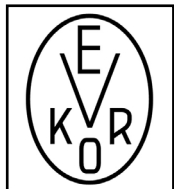
Előfizetési díj egy évre 11 000 Ft, nyugdíjasoknak 5 000 Ft.
Egész oldalas fekete-fehér hirdetés: 60 000 Ft + áfa, színes hirdetés: 96 000 Ft + áfa.

Megrendelhető:

VEKOR Kft. H-8200 Veszprém, Wartha Vince u. 1/2. Tel. és fax: (88) 428-514
e-mail: vekor@vekor.hu honlap: www.vekor.hu

A lapunkban megjelent közlemények más kiadványokba csak a kiadó hozzájárulásával vehetők át!

Kiadja: a VEKOR Kft., Veszprém
A kiadásért felel: Mátravölgyi Norbert ügyvezető



KORROZIÓS figyelő

LIII. évfolyam

3. szám

2013

TARTALOM

<i>Horváth Márton – Mátravölgyi Norbert: Talajkorrózió, talajvizsgálatok Budapesten</i>	65
<i>Lingvay József – Szatmári Ilona – Lingvay Mónika – Tudosie Liana:</i> Az erősáramú kábelek öregedése. Esettanulmány – 5 éves megfigyelések eredményei	71

SZEMLE

A Hempel HEMPACORE égéskésleltető bevonatai megkapták a CE-jelölést	80
---	----

CONTENTS

<i>M. Horváth, N. Mátravölgyi: Soil corrosion, examinations in Budapest</i>	65
<i>J. Lingvay, I. Szatmári, M. Lingvay, L. Tudosie:</i> Underground power cables ageing. Case study – results of 5 year monitoring	71

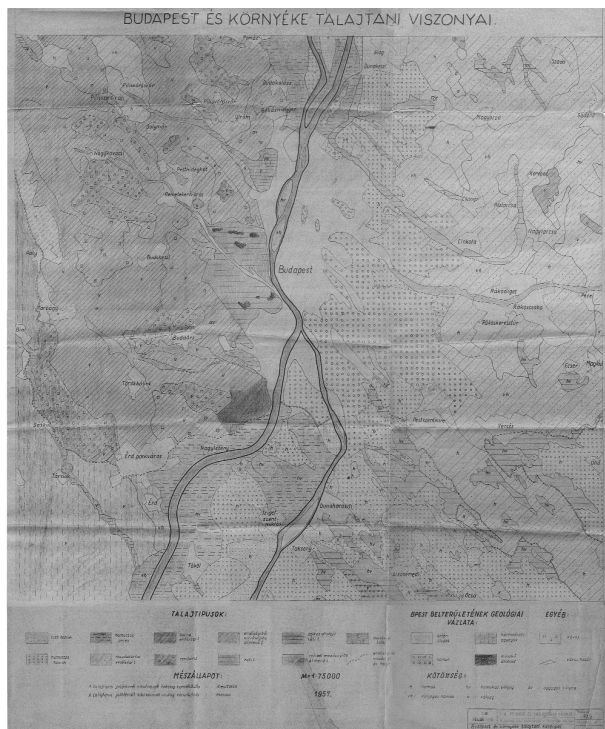
SYNOPSSES OF THE PAPERS IN THIS ISSUE***Soil corrosion, examinations in Budapest***

by M. Horvátth and N. Mátravölgyi

The article deals with the corrosion characteristics of soil which can be considered as a three phase heterogeneous electrolyte. What are the most important parameters, how can we classify the different soils, what type of soils are the most corrosive, what other environmental influences have to be taken into consideration – these are the key questions. Also presents a complex examination program in Budapest, during which soil corrosion map and soil type map was made.

Underground power cables ageing.***Case study – results of 5 year monitoring***by J. Lingvay, I. Szatmári, M. Lingvay
and L. Tudosie

Measurement result from 5 years observation of nine three-phase 20kV underground power line ($9 \times 3 = 27$ cables) are presented. Processing the results, can be concluded that cable insulation ageing is a process occurred in more successive steps, in which the first and decisive step is the cable external protective polymeric layer's microbial damage. It also can be stated that cables insulation aging can be prevented by cathodic corrosion protection of the cables' metallic screen, and already partially aged insulated cables can be rejuvenate in a limited extent.



5. ábra
Budapest és környéke talajtani viszonyai
(1957, É. M. Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat)



Dr. Horváth Márton

1944. augusztus 25-én született Budapesten. A budapesti Piarista Gimnáziumban érettségizett (1962), majd a Veszprémi Vegyipari Egyetemen, a radiokémiai ágazaton végzett okleveles vegyész-mérnöként (1968).

1968–1992. között a Nehézvegyipari Kutató Intézetben kutatott. A radiokémiai osztályon kilenc évig radioaktív izotópokkal analitikai, technológiai, mérés-technikai és növényvédőszer-kémiai kutatásokat folytatott. 1977. februárjától a korróziós osztály munkájában vett részt. Kutatási területei: talajkorrózió, tartályok és csővezetékek külső és belső korróziója, műtrágyaadatok és ipari atmoszférára korróziós hatásának vizsgálata. 1981-ben a Veszprémi Vegyipari Egyetemen doktorált. Részt vett a korróziós szakmérnökök képzésében és a szabványosításban. Az intézet felszámolása előtt a korróziós osztály osztályvezetője. 1992-ben munkatársával létrehozta a VEKOR Korrózióvédelmi, Analitikai Kft.-t, 2013. szeptemberéig ennek ügyvezetője. Több évtizedes kutatói tapasztalatát a kémia egyéb területén is használja, igazságügyi szakértő, a Magyar Mérnöki Kamara, a Magyar Kémikusok Egyesülete, az MTA-VEAB Korróziós Munkabizottsága, a Magyar Korróziós Szövetség, valamint a Magyar Anyagtudományi Egyesület tagja. Polinszky- és Bácskai-díjas.

AZ ERŐSÁRAMÚ KÁBELEK ÖREGEDÉSE ESETTANULMÁNY – 5 ÉVES MEGFIGYELÉSEK EREDMÉNYEI

Lingvay József¹ – Szatmári Ilona² – Lingvay Mónika³ – Tudosie Liana⁴

⁽¹⁾INC DIE ICPE-CA, Bukarest, Románia

⁽²⁾Orbán Balázs Gimnázium, Székelykeresztúr, Románia

⁽³⁾Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Románia

⁽⁴⁾ELECROVÂLCEA Kft., Râmnicu Vâlcea, Románia

1. Bevezetés

A fenntartható fejlesztés szellemében, a közműhálózatok biztonságos üzemeltetésének kiemelt fontossága van.

A közműhálózatok, különös tekintettel a talajba ágyazott energiakábelekre, korróziós károsodásoknak vannak kitéve. Főleg a nagyvárosok közműhálózataiban, a korróziós károsodások tanulmányozása egy nagyon komplex elméleti probléma, és ugyanakkor fontos gyakorlati vonatkozásai vannak.

A probléma elméletének bonyolultsága egyrészt a talajba (elektrolit – másodfajú elektromos vezető) helyezett fémvezetékek sokaságából, valamint az ezek között fellépő galvanikus kölcsönhatásokból, másrészt a nagyvárosok talajára jellemző korróziót gyorsító tényezők sokaságából (váltakozó áramú és/vagy egyenáramú kóboráramok – elektromágneses szennyezés [1], sótartalom, nedvesség, mikrobiológiai tényezők stb.) adódik.

Az elektromos energiát szolgáltató hálózati rendszerek biztonságos üzemeltetését elsősorban az erősáramú (középfeszültségű) kábelek szigetelésének állapota határozza meg [2].

Üzemeltetés közben az erősáramú kábelek különböző, egyrészt az üzemeltetésből eredő (üzemi feszültség, áramerősség stb.), másrészt a környezetre jellemző stresszhatásoknak vannak kitéve. Ezek kölcsönös (szinergikus) hatására a kábelszigetelés megöregedik, ami a kábel meghibásodását („átütését”) eredményezi [3]. Az erősáramú kábelek biztonságos üzemeltetésének idejét, a kábelszigetelés öregedésének sebessége határozza meg.

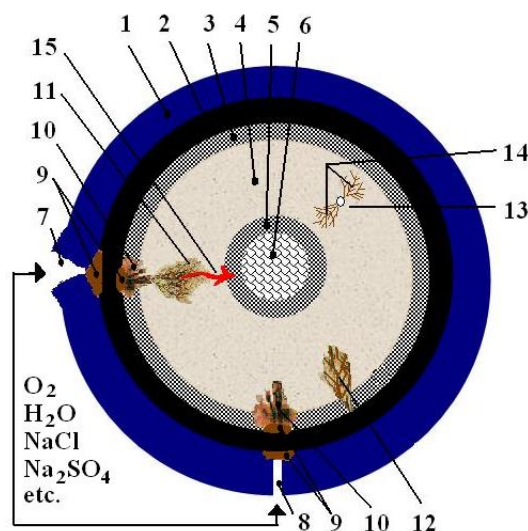
Az energetikai rendszerek meghibásodásainak előrejelzése intelligens diagnosztikai vizsgálatokkal – várható biztonságos üzemeltetési időszámítással – megoldható [4–8]. A biztonságos üzemeltetési időszámítás feltétele az üzemeltetési paraméter (pl. a kábel szigetelési ellenállása) minimálisan megengede-

dett értékének, valamint a szigetelési ellenállás időbeni alakulása és a stresszhatások közötti összefüggések ismerete.

Ezekre való tekintettel, *dolgozatunk célja* tanulmányozni a talaj vegyi és mikrobiológiai agresszivitása és a kábelszigetelés öregedése közötti összefüggéseket, valamint a 20 kV-os kábelek üzemeltetését még biztosító talaj-árnyékolóköpeny és árnyékolóköpenyvezető szigetelési ellenállások minimális értékének meghatározása.

2. Az erősáramú kábelek károsodási mechanizmusa

Több közép- (20 kV) és nagyfeszültségű (110 kV) kábel meghibásodásának részletes elemzési eredményei alapján, a kábelszigetelések öregedésének és meghibásodásának egy lehetséges mechanizmusát dolgoztuk ki [9–13]. A kidolgozott károsodási mechanizmus (1. ábra) több laboratóriumi vizsgálattal igazolt [14–18].



1. ábra

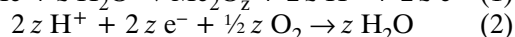
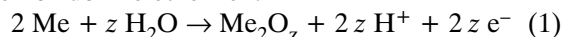
Az erősáramú kábelek károsodási folyamatának vázlata

- 1 – külső, polimer alapú védőréteg; 2 – árnyékoló fémköpeny (általában réz); 3 – külső félvezető réteg; 4 – kábelszigetelés; 5 – belső félvezető réteg; 6 – kábelér; 7 – kinyílt hiba/pórus a külső védőrétegben; 8 – hiba/pórus a külső védőrétegben; 9 – korróziótermék; 10 – elektrokémiai víz „treeing”; 11 – elektrokémiai víz „treeing”-en kifejlődött elektromos „treeing”; 12 – félvezető rétegen kifejlődött elektromos „treeing”; 13 – pórus, gázbuborék a szigetelésben; 14 – gázbuborékon kifejlődött elektromos „treeing”; 15 – a kábel átütése [11]

Az 1. ábrán felvázolt károsodási mechanizmus főbb lépései a következők:

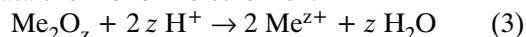
- a) A külső, polimer alapú védőréteg meghibásodása (ami a talaj és az árnyékolóköpeny között mért szigetelési ellenállás csökkenését eredményezi) telepítés közben (karcolás, átszúrás stb.) vagy a talajra jellemző károsító tényezők hatására (pl. mikrobiológiai károsodás [17–19]).
- b) Az a) lépésben keletkezett hibahelyeken, pórusokon behatolnak a fémkorróziót gyorsító tényezők (nedvesség, oxigén, agresszív ionok stb.), az árnyékolóköpeny fémje korrodálódik, első lépés-

ben (amikor a pórusok száma még kicsi és csak nedvesség és oxigén jut az árnyékolóköpenyhez) fémoxidok keletkeznek:



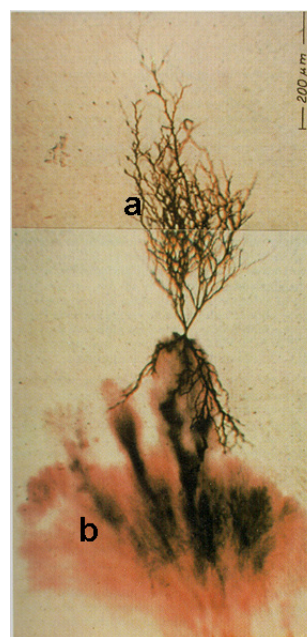
ahol Me az árnyékolóköpeny fémje, Me_2O_z az elsődleges korróziótermék, z a fém vegyértéke és e^- az elemi töltés.

- c) A b) lépésben keletkezett fémoxidok térfogata nagyobb mint a korrodált fémé, mechanikai feszültség alakul ki a polimer védőréteg és az árnyékolóköpeny között, ennek hatására a pórusok kinyílnak. Ezt követően a b) lépés felgyorsul, több víz jut a fémfelületre, aminek hatására fémionok, illetve hidratált fémionok keletkeznek:



ahol Me^{z+} a keletkezett fémion.

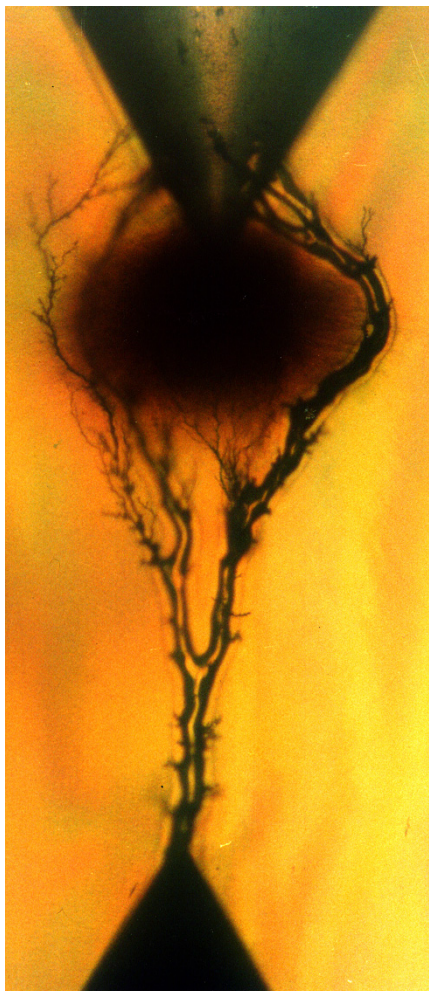
- d) A hidratált fémionok (főleg a $\text{Cu}^{2+} \cdot n \text{ H}_2\text{O}$) az üzemi feszültség hatására behatolnak a kábelszigetelésbe (elektrokémiai „treeing”) és vezető kanálisok alakulnak ki a dielektrikumban [20].
- e) Az elektrokémiai „treeing” hatására a szigetelőben belső mechanikai feszültségek alakulnak ki, és ezek, valamint az üzemi feszültség hatására az elektrokémiai „treeing”-eken elektromos „treeing”-ek képződnek (2. ábra) [21, 22].



2. ábra

Elektrokémiai „treeing”-eken (b) képződött elektromos „treeing”-ek (a) [22]

- f) A d) és e) pontban leírt, képződött vezető kanálisok [20–22] csökkentik a dielektrikum szigetelési szilárdságát, csökken a dielektrikum szigetelési ellenállása, a kábelszigetelés „öregedik”, végső esetben az üzemi feszültség hatására a szigetelés átüt (3. ábra).



3. ábra

Az elektrokémiai és elektromos „treeing” a szigetelés átütéséhez vezet [22]

A fentiekből megállapítható, hogy eltekintve a félvezetőrétegeken és a gázbuborékokon kifejlődő elektromos „treeing”-ektől (normális üzemi feszültségen és frekvencián ezek képződésének valószínűsége kicsi, növekedésük nagyon lassú [20–23]), a kábelkárosodásnak, illetve a kábelszigetelés öregedésének két folyamatmeghatározó lépése van:

- I. a *külső*, polimer alapú *védőköpeny károsodása* (ami lehetővé teszi a nedvesség behatolását az árnyékoló fémköpenyhez)
- II. az *árnyékoló fémköpeny korróziója* (aminek a korróziótermékei felgyorsítják az első folyamatot, és lehetővé teszik az elektrokémiai, majd az elektromos „treeing”-ek képződését).

Ugyancsak megállapítható, hogy az elektrokémiai, majd az elektromos „treeing”-ek képződésének egyik meghatározó feltétele a korróziótermékek képződése, tehát megfelelően kiképzett katódos védelemmel – ami termodinamikailag lehetetlenül teszik az (1) és (3) korróziós folyamatok végbemenetelét, és a Me^{z+} valamint a $\text{Me}^{z+} \cdot n \text{H}_2\text{O}$ képződését – a kábelszigetelés öregedése megelőzhető. Ezekre, valamint a kábel ekvivalens áramkörére alapozva, egy eredeti műszaki

megoldást dolgoztunk ki [23, 24], amellyel a kábelszigetelések öregedése megelőzhető, sőt a már üzemben levő, öregedett kábelek szigetelésének „fiatalítása” is lehetséges [9, 10, 25, 26].

3. Kísérletek – anyag és módszer

A talaj vegyi és mikrobiológiai agresszivitása és a kábelszigetelés öregedése közötti összefüggések tanulmányozásának érdekében, 9 középfeszültségű (20 kV) tápvonal kábeleinek nyomvonalán meghatároztuk (kb. 0,6–0,8 m mélyen) a talaj vezetőképességét (fajlagos ellenállását, ρ_t) és pH-ját, valamint azonosítottuk a talajban jelenlevő reprezentatív penészgombákat.

A talaj fajlagos ellenállását (ρ_t) a METREL által forgalmazott MI 2086 EUROTTEST 61557 berendezéssel mértük.

A mérési helyeken kb. 50 g talajt 100 cm³ desztillált vízben elkevertünk, majd kb. 5 perc ülepedés után indikátorpapírral határoztuk meg a talaj pH-ját.

A mérési helyeken steril edényekbe talajmintákat gyűjtöttünk, majd szabványosított mikrobiológiai módszerekkel határoztuk meg a jelenlevő penészgombákat [22].

A kábelek károsodási és öregedési állapotát öt éven keresztül figyeltük. Kb. hat hónaponként mértük:

- a talaj és az árnyékoló fémköpeny közötti átmeneti ellenállást (R_{t-k} , a kábelek külső, polimer alapú védőrétege károsodási állapotának a jellemzője) 5 kV-on, egy FLUKE 1550B típusú megaohmméterrel
- az árnyékoló fémköpeny/talaj korróziós potenciálját (E_{kor} , az árnyékoló fémköpeny korróziós állapotának a jellemzője) egy Cu/CuSO₄ referencia elektróddal és HC 81 típusú digitális multiméterrel
- az árnyékoló fémköpeny és a kábelér – vezető – közötti átmeneti ellenállást (R_{k-v} , jellemzője a kábelszigetelés öregedési állapotának) 5 kV-on, egy FLUKE 1550B típusú megaohmméterrel.

4. Kísérleti eredmények

A kilenc kísérleti tápvonal kábeleinek jellemzői és az első felmérés alkalmával felvett adatok (2008. szeptember) az I. táblázatban láthatók.

A megfigyelt kábeleken kb. hathátonként mért talaj–árnyékolóköpeny ellenállás (R_{t-k} , a külső polimer károsodási állapota), korróziós potenciál (E_{kor} , az árnyékoló fémréteg korróziós állapota) és árnyékolóköpeny–vezetőér ellenállás (R_{k-v} , a kábelszigetelés öregedési állapota) értékeinek időbeni alakulását a 4–12. ábrákon mutatjuk be.

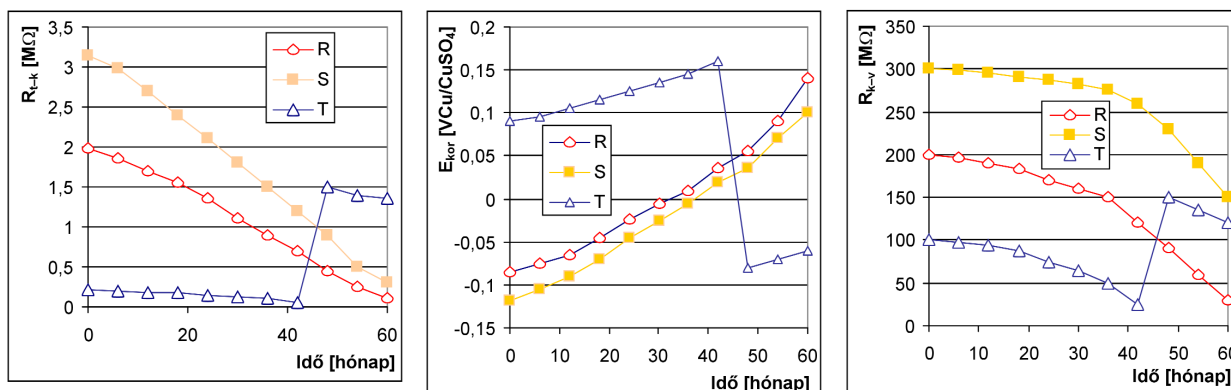
A 4–10. ábrákból megállapítható, hogy a katódos védelem hiányában a kábelek R_{t-k} és R_{k-v} értékei folyamatosan csökkennek, és az árnyékolóköpeny korróziós potenciálja (E_{kor}) egyre pozitívabbá válik, ami a polimer védőréteg károsodásával (R_{t-k} csökkenése), az árnyékoló fémköpeny korróziósebségének növekedésével (E_{kor} pozitívabb) és a kábelszigetelés öregedésével (R_{k-v} csökken) magyarázható.

I. táblázat A kísérleti tápvonalak és az első felmérés (2008. szeptember) adatai

N ^o tápvonal, hossz, Üzembe- helyezés éve	* ρ_l [$\Omega \cdot m$]	*pH	Jellemző penészgombák	Fázis	E_{kor} [V _{Cu/CuSO₄}]			R_{t-k} [M Ω]	R_{k-v} [M Ω]	Megjegyzés
					A vég	B vég	átlag			
N ^o 1. L = 0,4 km 2005	11,1	6,5	<i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium funiculosus</i> , <i>Aspergillus terreus</i>	R	-0,098	-0,072	-0,085	1,98	200	Hiba a T fázison 13.02.2012
				S	-0,133	-0,105	-0,119	3,15	300	
				T	0,065	0,115	0,090	0,21	100	
N ^o 2. L = 0,11 km 2002	43,2	6,5	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i> <i>Cladosporium sp</i> <i>Aspergillus terreus</i>	R	0,051	0,081	0,066	0,31	50	
				S	-0,201	-0,103	-0,152	2,97	200	
				T	-0,243	-0,229	-0,236	5,70	300	
N ^o 3. L = 0,67 km 2005	9,3	5,4	<i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium funiculosus</i> <i>Trichoderma viride</i>	R	-0,241	-0,265	-0,253	8,00	200	Hiba az S fázison 11.02.2011
				S	-0,088	-0,102	-0,095	2,00	20	
				T	-0,273	-0,301	-0,287	9,00	200	
N ^o 4. L = 0,68 km 2006	21,2	5,9	<i>Cladosporium sp</i> <i>Aspergillus terreus</i>	R	-0,353	-0,365	-0,359	19,00	1000	
				S	-0,369	-0,379	-0,374	20,00	1000	
				T	-0,342	-0,350	-0,346	19,00	1000	
N ^o 5. L = 1,05 km 2006	6,1	6,1	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i> <i>Trichoderma viride</i>	R	-0,413	-0,421	-0,417	19,00	8100	
				S	-0,550	-0,542	-0,546	21,00	9000	
				T	-0,389	-0,401	-0,395	18,00	8000	
N ^o 6. L = 3,01 km 1985	9,8	5,6	<i>Trichoderma viride</i> <i>Cladosporium sp</i> <i>Paecilomyces varioti</i>	R	0,011	0,025	0,018	0,20	7	Hiba az R fázison 04.04.2009
				S	-0,037	-0,025	-0,031	0,50	7	
				T	-0,062	-0,052	-0,067	0,70	10	
N ^o 7. L = 0,86 km 2001	25,2	5,5	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i> <i>Aspergillus terreus</i> <i>Paecilomyces varioti</i>	R	-0,141	-0,117	-0,128	0,78	39,2	Hiba az S fázison 07.09.2010
				S	0,029	0,065	0,047	0,31	11,6	
				T	-0,172	-0,142	-0,157	0,85	45	
**N ^o 8. L = 0,59 km 2000	12,4	5,5	<i>Paecilomyces varioti</i> <i>Trichoderma viride</i>	R	-0,340	-0,350	-0,345	19	960	Katódos védelem telepítve $E_k = 13,5$ V _{Cu/CuSO₄}
				S	-0,298	-0,310	-0,304	14	500	
				T	-0,369	-0,353	-0,361	20	1000	
**N ^o 9. L = 3,34 km 1984	9,9	5,5	<i>Cladosporium sp</i> <i>Aspergillus terreus</i>	R	0,040	0,060	0,050	0,3	13	Katódos védelem telepítve $E_k = 13,5$ V _{Cu/CuSO₄}
				S	0,013	-0,009	0,002	0,4	14	
				T	0,070	0,110	0,090	0,2	12	

*A kb. 50–100 méterenként végzett mérések átlagértéke

**Az első mérés alkalmával katódos korrózióvédelem [23, 24] lett beépítve



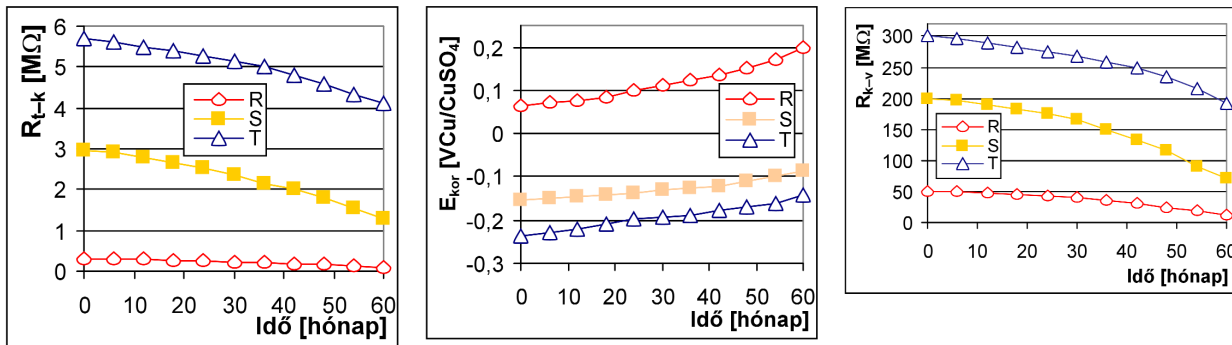
4. ábra

A N^o 1. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása. A megfigyelés 44. hónapjában a T fázis kábele átütött – a hibát 2 nap alatt kijavították

A 4., 6., 9. és 10. ábrákból megállapítható, hogy azokban az esetekben, amikor az R_{k-v} értéke kb. 5 M Ω alá csökken, a kábel meghibásodik, átüt (12. ábra), tehát a 10 M Ω -nál kisebb, 5 kV-on mért szigetelési ellenállású 20 kV-os kábelek meghibásodási esélye magas. Ugyancsak megállapítható, hogy minden meghibásodott kábel esetében az R_{t-k} értéke is aránylag alacsony volt (a kábel „régisége” és a talaj függvényében a meghibásodás $R_{t-k} < 0,5$ M Ω érték-nél történt).

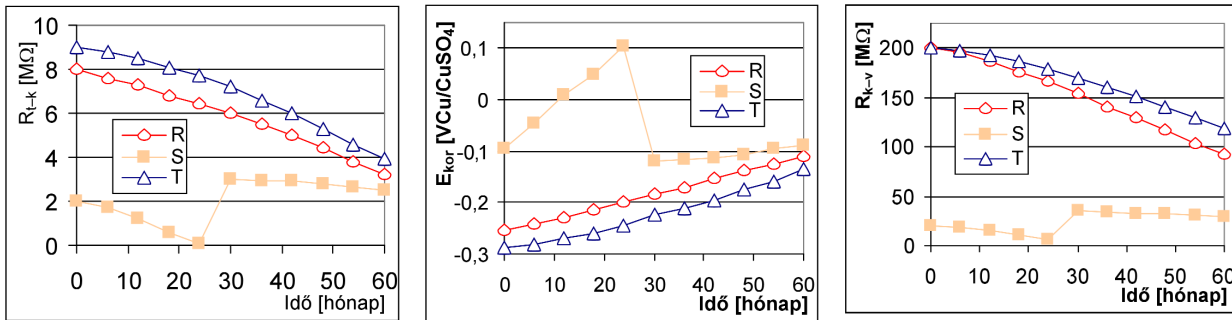
Mindegyik meghibásodott kábel esetében, a hiba kijavítása után az R_{t-k} és R_{k-v} értékek számottevően

megnőnek, és az E_{kor} negatívabbá válik. Ez azt sugallja, hogy a polimer védőréteg hibái (pórusai) és az ezekkel járó vezető kanálisok („treeing”-ek) eloszlása a kábel hosszában nem egyenletes – a fatális hibák egy aránylag rövid szakaszra koncentrálnak (13. ábra), ahol a kábel meghibásodik (átüt). A hibajavítás során a meghibásodott szakaszt kivágják, és így az R_{t-k} és R_{k-v} értékei megnőnek. Ezekre való tekintettel megállapítható, hogy a kábel diagnosztika és a hiba-előrejelzés szempontjából az R_{t-k} és R_{k-v} (a kábelben mért) abszolút értékei a mérvadóak (ezek jellemzik a kábel leggyengébb pontját/szakaszát) és nem a mért értékek



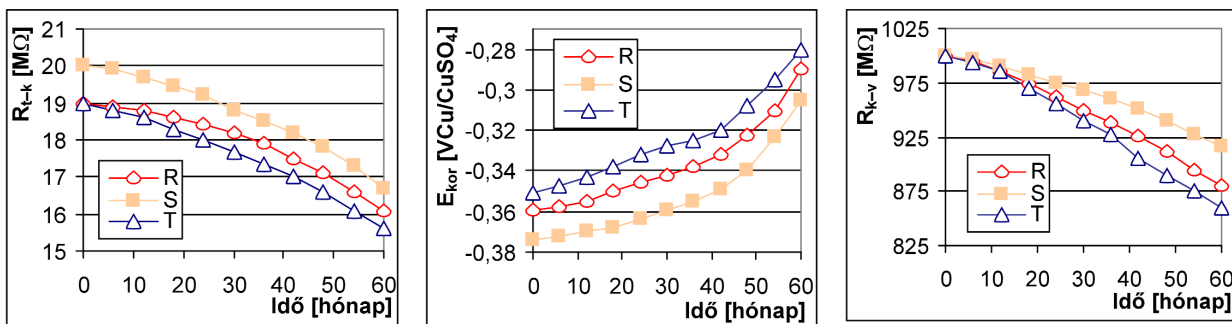
5. ábra

A N⁰ 2. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása



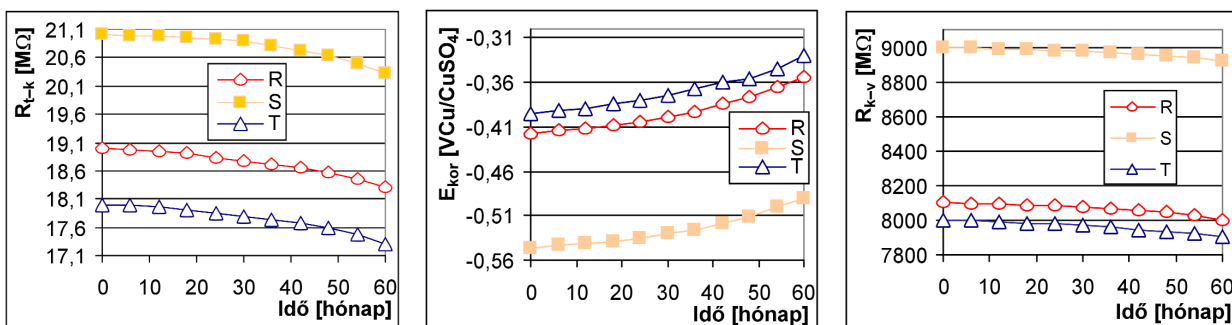
6. ábra

A N⁰ 3. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása. A megfigyelés 26. hónapjában az S fázis kábele átütött – a hibát 1 nap alatt kijavították



7. ábra

A N⁰ 4. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása

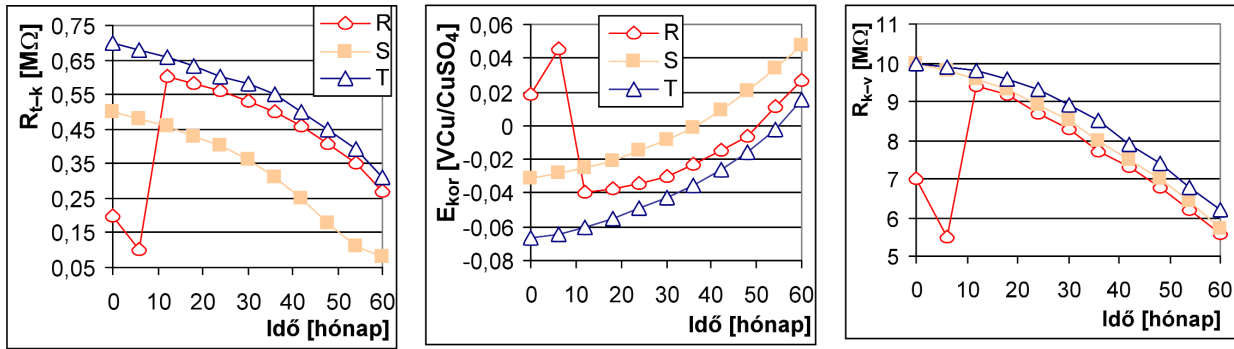


8. ábra

A N⁰ 5. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása

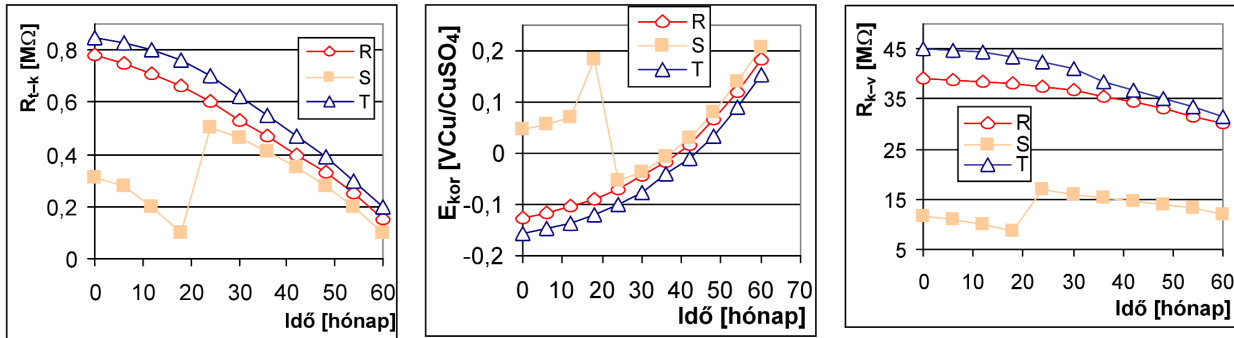
kábelhosszhoz viszonyított relatív értékei (hosszanti, fajlagos átmeneti ellenállások). Mindezeket figyelembe véve, a 20 kV-os kábelek diagnosztikájában, és a

biztonságos üzemeltetési időszámításokban, üzemeltetési paraméterekként ajánlott az $R_{t-k} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$ és $R_{k-v} \geq 10 \text{ M}\Omega$ értékeket választani.



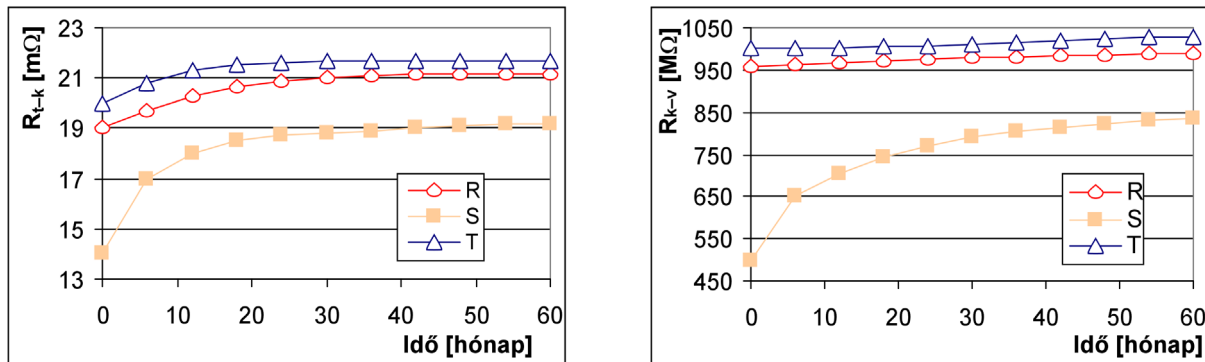
9. ábra

A N^o 6. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása. A megfigyelés 8. hónapjában az R fázis kábele átütött – a hibát 2 nap alatt kijavították



10. ábra

A N^o 7. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása. A megfigyelés 20. hónapjában az S fázis kábele átütött – a hibát 3 nap alatt ki javították



11. ábra

A N^o 8. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása. Az első mérés alkalmával a tápvonal kábeleire katódos védelem [23, 24] lett telepítve, $E_k = 13,5 V_{Cu/CuSO_4}$

Az új, frissen telepített, egyszálas 20 kV-os kábelek talaj–árnyékolóköpeny ellenállásának ($R_{0\ t-k}$) átlagértéke 25 MΩ (a gyártási típus függvényében 23 MΩ $\leq R_{0\ t-k} \leq 27$ MΩ). Ennek alapján, valamint az első felmérés (2008. szeptember) alkalmával mért R_{t-k} értékekből kiszámítható a polimer védőréteg károsodási sebessége (MΩ/év-ben kifejezve):

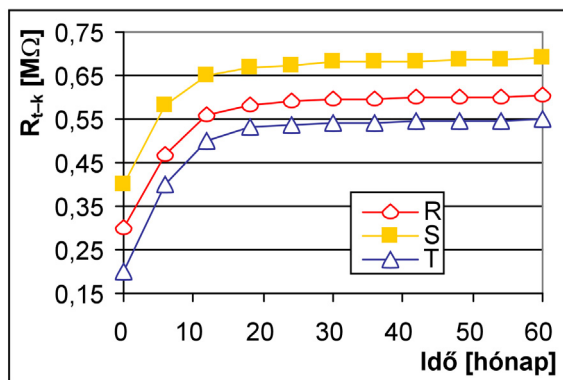
$$k = \frac{R_{ms-s0} - R_{ms-s}}{n} \quad (5)$$

ahol $n = t - t_0$, azaz a kábel üzemeltetési ideje, tehát $t = 2008$ (az első felmérés éve) és t_0 a kábel üzembehelyezésének éve.

Az I. táblázatban megadott talajokra (2., 3. és 4. oszlopok) és kábelekre (1. oszlop) jellemző számított k értékek a II. táblázatban láthatók.

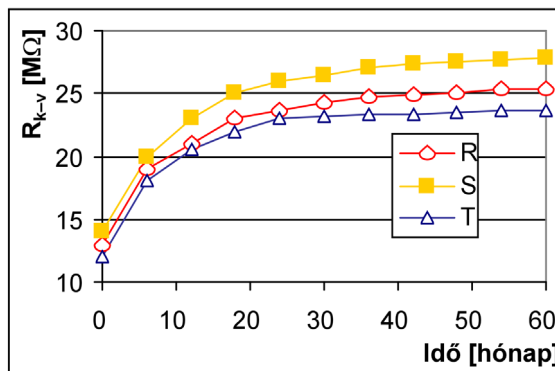
Összehasonlítva az I. és II. táblázat adatait, megállapítható hogy:

- a N^o 6., N^o 8. és N^o 9. tápvonalak nyomvonalán, bár a talaj vegyi agresszivitása aránylag nagy (pH kb. 5,5 és ρ_t kb. 10 Ω·m), a polimer védőréteg károsodási sebessége minimális (kb. 1 MΩ/év), ami arra utal hogy az itt kimutatott penészgombák (*Trichoderma viride*, *Cladosporium sp*, *Paecilomyces varioti* és *Aspergillus terreus*) agresszivitása minimális



12. ábra

A N^o 9. tápvonal kábelein mért R_{t-k} , E_{kor} és R_{k-v} értékek alakulása. Az első mérés alkalmával a tápvonal kábeleire katódos védelem [23, 24] lett telepítve, $E_k = 13,5 V_{Cu/CuSO_4}$



13. ábra

A N^o 7. tápvonal kábelének (S fázis) meghibásodása (2010. szeptember 7.). Megfigyelhető, hogy a hiba helyén a polimer védőbevonat erősen károsodott. Az árnyékolóköpeny rézfóliáján és szálain oxidok és intenzív korrózió nyomai láthatók

- a N^o 1. és N^o 3. tápvonalakon a polimer védőréteg károsodási sebessége maximális ($k > 6,2 \text{ M}\Omega/\text{év}$, bár a talaj agresszivitása kb. ugyanolyan, mint a N^o 6., N^o 8. és N^o 9. esetében), ami arra utal hogy az itt kimutatott penészgombák (főleg *Aspergillus niger* és *Penicillium funiculosum*) agresszivitása maximális
- a talaj vegyi agresszivitása minimális (pH 6,5 és $\rho_t = 43,2 \text{ }\Omega\cdot\text{m}$) a N^o 2. tápvonalon, ahol a polimer védőréteg károsodási sebessége közepes ($k = 3,66 \text{ M}\Omega/\text{év}$).

Ezek a megállapítások azt sugallják, hogy az erős-áramú kábelek esetében a külső polimer (általában polietilén) alapú védőburkolat károsodását, elsősorban a talajban jelen lévő penészgombák agresszivitása határozza meg. Erre való tekintettel, az I. és II. táblázatok adatai alapján, a megfigyelt tápvonalak esetében a kimutatott penészgombák agresszivitási sorrendje: *Penicillium funiculosum* > *Aspergillus niger*

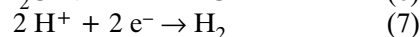
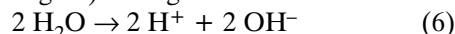
II. táblázat A megvizsgált tápvonalak kábeli polimer védőrétegének számított rongálódási sebessége

Tápvonal üzemeltetési idő	Kábel (fázis)	N ^o 1. 3 év	N ^o 2. 6 év	N ^o 3. 3 év	N ^o 4. 2 év	N ^o 5. 2 év	N ^o 6. 23 év	N ^o 7. 7 év	N ^o 8. 8 év	N ^o 9. 24 év
$k \text{ [M}\Omega/\text{év]}$	R	7,0	4,1	5,6	3,0	3,0	1,1	3,5	0,7	1,0
	S	7,2	3,7	7,7	2,5	2,0	1,1	3,5	1,4	1,0
	T	7,3	3,2	5,3	3,0	3,5	1,1	3,5	0,6	1,0
	Átlagos	7,16	3,66	6,20	2,83	2,83	1,10	3,50	0,90	1,00

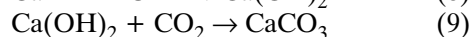
> *Scopulariopsis brevicaulis* > *Cladosporium* sp $\approx$ *Aspergillus terreus* > *Paecilomyces varioti* $\approx$ *Trichoderma viride*. Ez a sorrend nagymértékben megegyezik azokkal az eredményekkel, amiket N. Nowak és társai [28] közöltek a polietilén mikrobiológiai károsodásáról.

A 8. és 9. ábrák két olyan tápvonalat mutatnak be, amelyek kábeleire 8 (N^o 8.) illetve 24 (N^o 9.) éves üzemeltetés után katódos védelemi rendszert telepítettünk, ahol az árnyékoló fémköpeny potenciálja a talajhoz képest $-13,5 V_{Cu/CuSO_4}$ -on tartott [23, 24]. Ezekből megállapítható, hogy a katódos védelem üzemeltetésének első két évében a kábeleken mért R_{t-k} és R_{k-v} értékek folyamatosan és aszimptotikusan nőnek egy végeleges érték felé, ahol stabilizálódnak. Ez a megállapítás arra utal, hogy a katódos védelem hatására a kábel polimer burkolatának porúsossága csökken, és a kábelszigetelés „megfiatalodik”.

A polimerburkolat porúsosságának csökkenése magyarázható azzal, hogy a katódos polarizáció hatására a polimer védőburok hibáiban/pórusaiban lévő vízből (nedvességből) hidrogén keletkezik:



és így a pórusokban levő elektrolit (víz + a talajból kioldott sók) lúgossá válik. Ebben a lúgos közegben a kalciumionokból kalciumhidroxid keletkezik, ami széndioxid jelenlétében kalcium-karbonáttá alakul:



A keletkezett CaCO_3 (9) vízben oldhatatlan, és aránylag jó elektromos szigetelőként (a dielektromos állandója 6,1 és 9,1 közötti [18]) eltömi a károsodott polimer pórusait.

A katódosan védett kábelek szigetelésének „fiatalosodása” magyarázható azzal, hogy az árnyékolóköpeny katódos polarizációja következtében a korróziótermékek (oxidok és fémionok) redukálódnak, és új korróziótermékek már nem képződnek, csökkennek az árnyékolóköpeny és a polimer védőburok közötti mechanikai feszültségek (a még létező pórusok már nem tágulnak), és az elektrokémiai „treeig” visszahúzódik. Miután a szigetelő elektrokémiai „treeig” pórusaiból a fémionok elvándoroltak a katódosan polarizált árnyékolóköpeny felé (ahol redukálódnak), a „treeig”-ek vezetőképessége számottevően csökken, és megnő a szigetelési ellenállás.

Összegezve a kilenc háromfázisú tápvonal kábeleiben (összesen $9 \times 3 = 27$ kábel) 5 éven át hathavonta elvégzett megfigyelések eredményeit megállapítható, hogy a kábelszigetelés öregedése aránylag bonyolult folyamat, ami több stressztényező szinergikus hatására, az 1. ábrán felvázolt mechanizmus szerint (a kísérleti eredmények ezt igazolják) több egymást követő lépésben megy végbe [30]. A kábelkárosodás mechanizmusának sebességmeghatározó részfolyamata (lépése) a polimer védőburok károsodása, amit elsősorban a talajban jelenlevő fonalas penészgombák okoznak.

5. Következtetések

Kilenc háromfázisú 20 kV-os tápvonal kábeleiben (összesen $9 \times 3 = 27$ kábel), 5 éves megfigyelés során kapott mérési eredmények feldolgozásából megállapítható, hogy a kábelszigetelés öregedése egy több egymást követő lépésben végbemenő folyamat, amelynek első és meghatározó lépése a kábel külső polimer védőrétegének károsodása. A mérésekből kitűnik, hogy a külső polimer károsodásának meghatározó tényezője a talajban jelenlevő fonalas penészgombák, melyek közül az *Aspergillus niger* és a *Penicillium funiculosum* agresszivitása maximális.

A mérési eredmények bizonyítják, hogy a kábelszigetelés öregedési sebességének meghatározó tényezői az árnyékolóköpeny fémjének korróziótermékei, amelyek csak a polimer védőréteg károsodása után keletkeznek. Az árnyékolóköpeny katódos korrózióvédelmével a kábelszigetelés öregedése megelőzhető, sőt a már részben öregedett szigetelésű kábeleket korlátozott mértékben fiatalítani lehet.

Irodalomjegyzék

1. I. Lingvay, A. Voina, C. Lingvay, C. Mateescu: The impact of the electromagnetic pollution of the environment on the complex build-up media. *Revue Roumaine des Sciences Techniques série Électrotechnique et Énergétique* 2008. **53**. (2) április-június, 95–112.
2. C. Homan, I. Csuzi, I. Lingvay, C. Lingvay: Fiabilitatea instalațiilor energetice de medie tensiune I. Studii privind evoluția incidentelor pe rețeaua de distribuție a energiei electrice Cluj-Napoca. (A középvezettségű energetikai berendezések biztonságos üzemeltetése I. A kolozsvári meghibásodások okainak tanulmányozása.) EEA – Electrotehnică, Electronică, Automatizări 2009. **57**. (1) jan.–márc., 31–35.
3. R. S. Gorur: A Novel Approach for Prioritizing Maintenance of Underground Cables, Final Project Report. Power Systems Engineering Research Center, Arizona State University, PSERC Publication 06-40, 2006. október.
4. I. Lingvay, D. Isoc: Coroziunea în mediile construite și diagnosticarea ei (Az épített rendszerek korróziós diagnosztikája). Editura Electra, ISBN: 973-7728-62-9, București, 2006. 16–72.
5. D. Isoc, I. Lingvay: Corrosion as Illustrative Object of Pluri and Transdisciplinary Research - Arguments, Solutions and Results. *Analele Universității din Oradea – fascicula Chimie*, ISSN 1224-7626, 2008. **15**. 139–144.
6. D. Isoc, I. Lingvay: Diagnoza și predicția asistată a rețelelor electrice subterane – Computer-Aided Diagnosis and Prediction of Underground Electrical Grids. In *Proceedings of URB-CORR 2006*, Târgu Mureș, Romania, 2006. Május 18–20. 220–225.
7. D. Isoc: Fault state – a description, a model, and an application. In *Proceedings of SIMSIS 11 – 11th Symposium on Modelling, Simulation and Systems' Identification*, Galați, Romania, 2001. október 12–13. 234–238.
8. P. M. Frank: Analytical and Qualitative Model-based Fault Diagnosis – A Survey and Some New Results. *European Journal of Control* 1996. **1**. (2) 628–640.
9. I. Lingvay, C. Lingvay, O. Ciogescu, C. Homan: Contribuții la studiul și controlul degradărilor prin coroziune ale cablurilor electrice subterane I. Studiul stării de coroziune a unor linii electrice subterane – Contributions to study and control of the degradations by corrosion of the underground power cables I. Study of corrosion state for some underground power lines. *Rev. Chim. (București)* 2007. **58**. (1) 44–47.
10. I. Lingvay, C. Vlădoi, C. Lingvay, O. Ciogescu, L. Tudose, I. Szatmári: Înbătrânirea cablurilor de energie subterane – analiză de caz (The ageing of underground power cables – case study). EEA – Electrotehnică, Electronică, Automatică 2012. **60**. (3) 35–42.
11. J. Lingvay, C. Groza, C. Lingvay, I. Csuzi: Erős-áramú kábelek korrózió általi károsodásai – About the Degradation by Corrosion of Underground Power Cables. *Elektrotechnika* 2009. (7–8) 19–23.
12. J. Lingvay, C. Lingvay, K. Öllerer, C. Homan, I. Tankó, O. Ciogescu Ovidiu: Az elektromos földkábelek károsodásának tanulmányozása. *Korróziós Figyelő* 2006. **46**. (4) 102–105.

13. O. Ciogescu: Thesis – Theoretical and experimental study of the medium voltage cables behavior. University „Politehnica” Bucharest, 2013.
14. O. Ciogescu, L. Tudosie, C. Lingvay, C. Vlădoi, I. Lingvay: Înbătrânirea izolației cablurilor de energie datorată solicitărilor chimice și electrice. The ageing of cables insulations due to chemical and electrical stress. *Electrotehnică, Electronică, Automatică* 2012. **60.** (3) 50–58.
15. C. Stancu, A. Cucos, C. Lingvay, P. Budrugaec, I. Lingvay: Studies Regarding the Evolution of Polyethylene Insulation Parameters of Power Cables due to Thermal Stresses. *EEA – Electrotehnică, Electronică, Automatică* 2011. **59.** (3) 26–32.
16. I. Lingvay, C. Stancu, A. Cucos, C. Lingvay: Degradation of power cables polyethylene insulation due to thermal cyclind. *Journal of Sustainable Energy* 2011. **2.** (3) 6–11.
17. I. Lingvay, C. Groza, A. Comănescu, C. Lingvay, O. Ciogescu, C. Homan, I. Ciobanu: Studiu privind degradările microbiologice ale învelișurilor exterioare de protecție ale cablurilor de energie. *EEA – Electrotehnică, Electronică, Automatică* 2008. **56.** (4) okt–dec. 13–16.
18. I. Lingvay, K. Öllerer, C. Lingvay, C. Homan, O. Ciogescu: Contribuții la studiul și controlul degradărilor prin coroziune ale cablurilor electrice subterane II. Degradabilitatea biologică a cablurilor subterane. Contributions to study and control of the degradations by corrosion of the underground power cables II. The biodegradability of the underground cables. *Rev. Chim. (București)* 2007. **58.** (7) 624–627.
19. J. Lingvay, C. Groza, C. Lingvay, I. Csuzi: A közműhálózatoknál használt polietilén mikrobiológiai károsodásai. *Korróziós Figyelő* 2009. **49.** (3) 31–37.
20. P. V. Notingher, I. Radu, J. C. Filippini: Numerical Method of Computation of the Electric Field in Insulation with Water-Trees I. *Computation Methods. Rev. Roum. Sci. Tech-Electr. et Energ.* 2001. 2.
21. P. V. Notingher, I. Radu, J. C. Filippini: Numerical Method of Computation of the Electric Field in Insulation with Water-Trees II. Influence of Water Trees. *Rev. Roum. Sci. Tech-Electr. et Energ.* 2001. 4.
22. C. Stancu, P. V. Notingher, F. Ciuprina, P. Jr. Notingher, J. Castellon, S. Agnel, A. Toureille: Computation of the Electric Field in Cable Insulation in the Presence of Water Trees and Space Charge. *IEEE Transactions on Industry Applications* 2009. **45.** (1) január–február, 30–43.
23. I. Lingvay, C. Lingvay: Metodă și dispozitiv pentru creșterea mentenabilității cablurilor electrice subterane (Method and device for increasing of reliability of underground power cables). Patent RO 113502 / 30.06.1998.
24. I. Lingvay, O. Ciogescu, C. Homan, C. Lingvay: Technical solution and solid state devices for increase of durability and reliability of underground power lines (UPL). In *Proceedings on CIRED – 19th International Conference on Electricity Distribution*, Vienna, 2007. május 21–24. CD-Paper 0143.
25. J. Lingvay, C. Lingvay, I. Csuzi: Erősáramú kábelek korrózióvédelme és a kábelbiztonság élet-tartam növelése. Corrosion control and insulation increase of underground power cables. *Elektrotechnika* 2009. (10) 16–20.
26. I. Lingvay, F. Stoian, C. Lingvay, M. Cojocaru, C. Babutanu: Contributii la cresterea menten-



Lingvay József

Máramaroszigeten (Máramaros megye, Románia) született 1949. február 25-én. Vegyészmérnöki tanulmányait a Bukaresti Műszaki Egyetemen végezte 1972-ben, majd ugyanitt 1984-ben megvédte doktori tézisé. A bukaresti Villamosmérnöki Tudományok Nemzeti Kutató Intézetének (INCDIE ICPE-CA) tudományi titkára. 18 könyv, több mint 400 tudományos publikáció, valamint 26 műszaki találmány szerzője, társszerzője. Kutatási területei: korrózió és korrózióvédelem, elektrokémiai technológiák, elektromágneses kompatibilitás, környezetvédelem.

E-mail: lingvay@icpe-ca.ro; corozione@icpe-ca.ro; iosiflingvay@yahoo.com



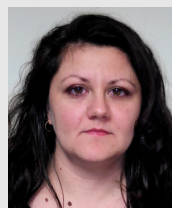
Lingvay Mónika

1991. május 9-én született Bukaresten. Vegyészmérnöki és orvosi fizikusi alapképzéseit a kolozsvári Babeș-Bolyai Egyetemen végezte 2013-ban, ahol jelenleg tanulmányait mesteri képzéssel folytatja (biotechnológia). Kutatási területei: az anyagok mikrobiológiai károsodása, az antropogén eredetű elektromágneses terek kihatásai az élővilágra.



Szatmári Ilona

Biológus, a székesfehérvári Orbán Balázs Elméleti Líceum tanára. Doktorandusz a Bukaresti Műszaki Egyetemen (tematika: biokorrózió–biorongálódás). E-mail: szatmari@obg.ro



Tudosie Liana

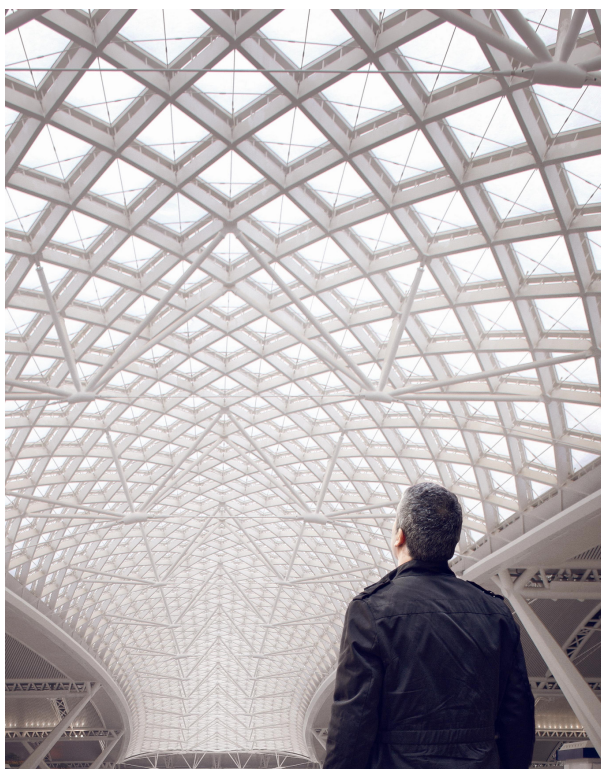
Villamosmérnöki oklevelét a Bukaresti Műszaki Egyetemen kapta 2004-ben. Az S.C. Electroválcea Kft. alkalmazottja, ahol 0,4 kV-os és 20 kV-os tápvonalak tervezésével foglalkozik. Doktorandusz a Bukaresti Műszaki Egyetemen (tematika: a környezeti tényezők hatása a kábelek öregedési folyamataira).

- abilitatii cablurilor electrice subterane (Contributions to increase of underground power cables durability). EEA – Electrotehnică Electronică Automatică 1999. **47.** (3–4) 10–13.
27. SR CEI 68-2-10/95. Încercări de mediu. Partea 2: Încercări. Încercarea J și ghid: Mușcăiuri (Környezeti meghatározások II. Meghatározások. J meghatározás és útmutató: penészgombák).
28. B. Nowak, J. Pająk, J. Karcz: Biodegradation of Pre-Aged Modified Polyethylene Films. Physics – Scanning Electron Microscopy, Edited by Viacheslav Kazmiruk. Publisher: InTech, Chapters published March 09, 2012 under CC BY 3.0 license. 643–670.
29. Dielectric constant reference guide: www.asiinstr.com/technical/dielectric_constants.htm
30. L. Simoni: A General Phenomenological Life Model for Insulating Materials under Combined Stress. IEEE Transactions on Dielectrics and Insulation 1999. **6.** (2) április, 250–258.

SZEMLE

A HEMPEL HEMPACORE ÉGÉSKÉSLELTETŐ BEVONATAI MEGKAPTÁK A CE-JELÖLÉST

Megfelelőségi igazolásként CE-jelöléssel látták el a nemrég bevezetett **HEMPACORE ONE** égéskésleltető bevonatokat, amelyek passzív tűzvédelmet biztosítanak az acélszerkezetek számára cellulózalapú tüzek esetén. A CE-jelölés egyfajta belépő az Európai Unió piacára, mivel lehetővé teszi, hogy az e jelöléssel ellátott termékek szabadon mozogjanak, és értékesíthetők legyenek minden uniós tagállamban és az Európai Gazdasági Térség országaiban is. A Hempel égéskésleltető bevonatok termékcsaládját jelenleg két egykomponensű, oldószer alapú akrilbevonat, a **HEMPACORE ONE 43600** és a **HEMPACORE ONE FD 43601** alkotja: az előbbi helyszíni felvitelre szolgál, az utóbbi pedig rendkívül rövid száradási idejének köszönhetően műhelyben alkalmazható. Mindkét bevonat képes akár 120 percen át védelmet biztosítani a cellulózalapú tüzek ellen.



Az építési termékekre vonatkozó rendelet (CPR)

A CE-jelölés megszerzése komoly előrelépést jelent e termékek számára a piacon. Az építési termékekre vonatkozó 305/2011/EU rendelet értelmében 2013. július 1-jétől a gyártók a termék forgalomba hozatala előtt kötelesek teljesítmény-nyilatkozatot kiállítani, és CE-jelölést elhelyezni azon építési termékeiken, amelyek megfelelnek a harmonizált Európai szabványnak, vagy az Európai Műszaki Értékelés (ETA) előírásainak. E körbe tartoznak az égéskésleltető bevonatok is. Az építési termékekre vonatkozó rendelet (CPR) az építési termékekről szóló hatályos irányelv (CPD) helyébe lép, célja pedig hogy megszüntesse az építési termékek kereskedelmének technikai akadályait az Európai Gazdasági Térségben belül.

Miért jó a CE-jelölés?

A CE-jelölés azt szimbolizálja, hogy a gyártó felelősséget vállal a termékért és annak teljesítményéért, továbbá kifejezi, hogy a termék összhangban van a vonatkozó iránymutatásokkal és megfelelt az értékelési eljárásnak. A jelölés megszerzéséhez a terméknek szigorú vizsgálatokon kell átesnie. E vizsgálatokat jóváhagyott bejelentett szerv végzi, amely tanúsítványt állít ki arról, hogy a termék megfelelt a vonatkozó Európai Műszaki Értékelés (ETA 12/0581) előírásainak. A vizsgálatok során az égéskésleltető bevonatokat az ETAG-018 iránymutatás szerint ciklikus időjárás hatásnak tesztelik ki. A vizsgálatok két szakaszban zajlanak. Az első szakaszban ciklikusan váltakozó száraz UV-sugárzást és vízpermetet alkalmaznak, a második szakaszban pedig szélsőséges hőmérsékletnek (–20 és +70 °C között) és páratartalomnak (20 és 95% között) tesztik ki a bevonatot. Az agresszív tesztelést követően tűzállósági vizsgálatnak vetik alá a bevonatot, hogy meggyőződjének arról, hogy még mindig az elvárásoknak megfelelően teljesít, és a kívánt ideig védelmet nyújt majd az acélszerkezetek számára.