

Az elektromágneses szennyezés és ennek hatásai a környezetünkre

The electromagnetic pollution and its impact on the environment

Poluarea electromagnetică și impactul acesteia asupra mediului

LINGVAY Mónika¹, SZATMÁRI Ilona², dr. LINGVAY József³

¹Babeș-Bolyai Tudományegyetem, Kémia és Vegyészmérnöki Kar, Kolozsvár, Arany János u. 11 sz.,
www.chem.ubbcluj.ro; monika_lingvay@yahoo.com

²Orbán Balázs Gimnázium, Székelykeresztúr, www.obg.ro ; szatmari@obg.ro

³INCIE ICPE-CA, București, Splaiul Unirii, nr. 313; www.icpe-ca.ro; office@icpe-ca.ro

Összefoglaló: Az elektromágneses szennyezés forrásait és környezetünkre való kihatásait vizsgáltuk meg. A szennyező elektromágneses terek főbb forrásai az elektromos tápvonalak és a fogyasztók. Mivel a mai, modern világban elektromos energia nélkül az élet elképzelhetetlen, az elektromágneses szennyezés biológiai kihatásaival is számolnunk kell. Környezetünk elektromágneses szennyezése a XXI. század emberiségének egyik legnagyobb kihívása.

Kulcsszavak: elektromágneses szennyezés, szennyező források, bioelektrokémia, sejtek

Abstract: Sources of electromagnetic pollution and its impact on the environment was analyzed. The main sources of electromagnetic pollution are electric power lines and consumers. Because, in today's modern world, life is unimaginable without electricity, the study of electromagnetic pollution's biological effects is required. Electromagnetic pollution of the environment is one of the greatest challenges of the XXI century.

Keywords: electromagnetic pollution source of pollution, bioelectrochemistry, cell

Rezumat: Au fost analizate sursele de poluare și impactul poluării electromagnetice a mediului. Principalele surse de poluare electromagnetică sunt liniile electrice și consumatorii de energie electrică. Viața din zilele noastre este de neconceput fără energie electrică, deci se impune studiul efectelor biologice ale poluării electromagnetice. Poluarea electromagnetică a mediului reprezintă una din marile provocări ale secolului XXI.

Cuvinte cheie: poluare electromagnetică, sursele de poluare, bioelectrochimie, celule

1. BEVEZETŐ

A XX sz. második felében a villamos energiatermelés és felhasználás megtízszerezedett. Ez a növekvő tendencia napjainkban is tapasztalható. A villamos energia szállításának és felhasználásának, sajnos negatív vetületei is vannak.

Az 1kHz-nél alacsonyabb frekvenciájú elektromágneses jelek hatásait az élő szervezetekre összefoglalóan Andrew A. Marino és Robert O. Becker [1] vizsgálta és arra a következtetésre jutottak, hogy az 50V/cm-nél nagyobb térerő (50 Hz) hatására az élőlények, fajtától függően, vagy elpusztulnak (egér, *Drosophila* muslicák stb.), vagy viselkedésükben / fejlődésükben komoly változások állnak be (a méhek egymást halálra szurkálják, az egerek májsejtjeinek mitózis-indexe megháromszorozódik stb.). Tanulmányukból ugyancsak kitűnik, hogy az alacsony térerőjű, zavaró jelek is változásokat okozhatnak különböző élő szervezetekben (a Rhesus majmoknál a 0,0035 V/cm-es térerő fokozott szomjúságot vált ki).

Frissebb és behatóbb kutatásokból kitűnik, hogy az alacsony frekvenciájú (10 – 100Hz), 10V/cm nagyságrendű zavaró jelek, melyek főleg a villamos energia szállítási és felhasználási rendszereiből származnak, a gyermekkori leukémia, idegrendszeri zavarok és különböző ráktípusok gyakoriságát számottevően növelik, valamint a Ca^{2+} membránátvitelében jelentős változásokat okoznak [2]. William R. Hendee [3] és társai ezeket a biológiai változásokat főleg az oxidációs stressz és a kalciumion homeosztázisában bekövetkezett módosulásokkal próbálják magyarázni.

A 100Mhz nagyságrendű elektromágneses hullámok kihatásait vizsgáló kutatások kimutatták, hogy a kísérleti nyulaknál, 3 hónapos, napi 3 órás kezelés után lényegesen megnő a fehérvérsejtek száma (kb. $3^{1/2}$ – szer [4]).

A mobiltelefonok által kibocsátott elektromágneses hullámok negatív kihatásainak vizsgálata egy nagyon aktuális témakör [5÷12]. Már több tanulmány kimutatta, hogy a mobiltelefonok intenzív használata főleg az idegsejtekben [8], az agyban [10÷11] és a bőrben [9] okoznak negatív változásokat.

Robert F. Cleveland, Jr., Jerry L. Ulcek (1999) [12] részletes beszámolója elemzi az elektromágneses hullámok kihatásait és veszélyeit a biológiai rendszerekre. A. B. Martínez [13] tanulmányozta az 1GHz-nél nagyobb frekvenciájú elektromágneses terek hatását a növények fejlődésére. D. J. Reinemann [14], 2008-ban összefoglalja a váltóáramú zavaró feszültségek kihatásait az állattenyésztő farmokban.

Az élővilág legkisebb önálló, metabolizmussal rendelkező egysége a sejt, melynek főbb összetevői a sejthártya vagy membrán (egy ionokra szelektív / permeábilis, kettős lipid réteg) és a citoplazma ami ásványi sókból, vízből, cukrokból és fehérjékből felépülő komplex kolloid rendszer (elektrolit). A sejthártya és a citoplazma határfelületén végbemenő redoxfolyamatok (elektromos töltéscserével végbemenő elektrokémiai reakciók) nagymértékben meghatározzák a sejtek fejlődését, az élet menetét. Az elektrokémiai és bioelektrokémiai folyamatok reakciómenetét és kinetikáját a sejthártya/citoplazma elektrokémiai rendszerre ható elektromos mező határozza meg. Ezekből kifolyólag minden emberi tevékenységből eredő (antropogén) elektromágneses mező megzavarja a sejthártya természetes potenciálviszonyait, tehát befolyásolja a természetben lejátszódó bioelektrokémiai folyamatokat, ezért *szennyező tényezőként tekinthető*.

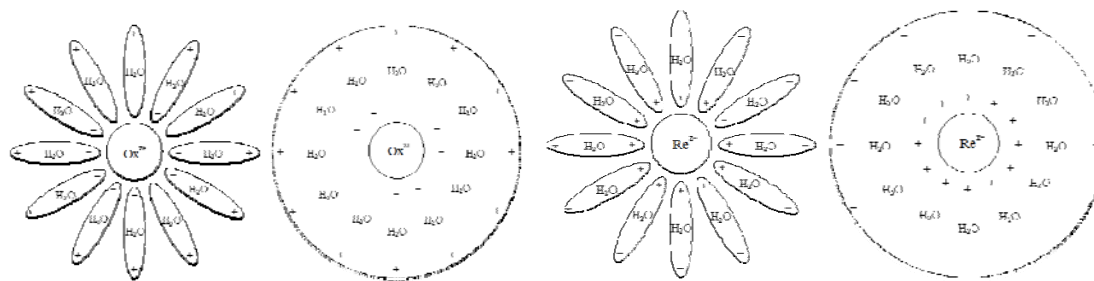
Megállapítható, hogy az elektromágneses szennyezés és ennek kihatásai a környezetre egy elméletileg bonyolult és nagy gyakorlati fontossággal rendelkező, aktuális témakör.

Mindezek ellenére a környezetvédők általában nem (vagy nagyon keveset) foglalkoznak az elektromágneses szennyezéssel. Ez azzal magyarázható, hogy az elektromágneses szennyezés eredetének, mértékének és kihatásainak tanulmányozása/mérése egy komplex, interdiszciplináris témakör, aminek megértése *kémiai, biológiai és főleg villamosmérnöki ismereteket feltételez. Az elektromágneses szennyezésnek nincs szaga, nincs íze, sem zaja – tehát egy átlag-ember érzékszervei nem észlelik!*

Ezekre való tekintettel, *dolgozatunk célja* elemezni az elektromágneses szennyezés forrásait és tanulmányozni a zavaró jelek, környezetünkre gyakorolt kihatásait.

2. A VÁLTÓÁRAMÚ ELEKTROMOS TEREK KIHATÁSAI AZ ELEKTROKÉMIAI FOLYAMATOKRA

Az elektrokémiai és bioelektrokémiai folyamatok reakciómenetét és kinetikáját az elektrokémiai rendszerre (elektrolit/elektród, illetve sejtfal/citoplazma) ható elektromos tér határozza meg. Az elektrolitok minden esetben tartalmaznak egy poláris oldószert (általában víz) melyben egyenletesen eloszlanak az oxidált Ox^{z+} és a redukált Re^{z-} állapotban levő ionok/vegyi gyökök. Az Ox^{z+} és Re^{z-} , elektrosztatikusan magukhoz vonzzák a poláris vízmolekulákat és nyugalmi állapotban egy hidratációs szféra alakul ki [15].



1. ábra.

Az Ox^{z+} és Re^{z-} ionok, töltéssel rendelkező vegyi gyökök és hidratációs szférájuk

Amikor az elektrolitokra elektromos mező hat, az elektrosztatikus vonzás hatására, az Ox^{z+} a „-” és az Re^{z-} a „+” polaritás irányába vándorolnak. A mozgás és a fellépő sűrűlódások hatására a hidratációs szféra ezeknek megfelelően eltorzul. Amikor a zavaró mező megszűnik, a relaxációs idő t eltelte után [15], a hidratációs szféra felveszi eredeti formáját. A relaxációs idő t fordítottan arányos a ion moláris koncentrációjával c , vegyértékével (a töltések száma z) és az oldat ekvivalens vezetőképességével Λ (1):

$$t = k_r / c \cdot z \cdot A \quad (1)$$

k_r – arányossági állandó.

Az 1. ábrából megállapítható, hogy gyakorlatilag, az Ox^{z+} és a Re^{z-} egy „védőburába van csomagolva”, „védőbura” ami az elektromos tér hatására, a haladás irányába lényegesen elvékonyodik, aminek következtében számottevően csökken azoknak a reakcióknak az aktiválási energiája, amelyekben részt vesz az Ox^{z+} és a Re^{z-} . Ebből adódóan, változnak az elektrokémiai és bioelektrokémiai reakciók mechanizmusai és esetenként a kinetikájuk is.

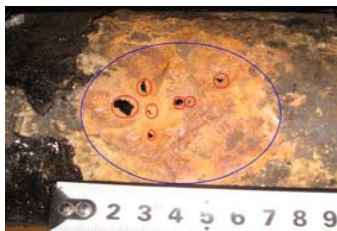
A váltóáramú elektromos tér esetében két helyzet lehetséges:

- a zavaró jel időállandója ($T=1/f$) nagyobb (alacsony frekvenciák f), mint a hidratált ion/gyök relaxációs ideje t ($T=1/f > t$), amikor a hidratációs szféra eltorzulása, elvileg időben képes követni az elektromos tér váltakozó polaritását, és ezáltal, akár csak az egyenáramú zavaró mező esetében, módosítja az elektrod folyamatok mechanizmusait és esetenként a kinetikájukat is;
- a zavaró jel időállandója kisebb (magas frekvenciák), mint a hidratált ion/gyök relaxációs ideje ($1/f < t$), amikor a hidratációs szféra eltorzulása már nem képes követni az elektromos tér váltakozó polaritását. Az oldaton áthaladó áram megnő (csökken az oldat kapacitív impedanciája $Z_c = 1/2\pi f C$ (C az oldat és a két elektróda által képzett kapacitás) – tehát ha nő az f , adott U feszültségen, nő a kapacitív áram $I_c = U/Z_c$). A nagyobb áram hatására az elektrolit nagyobb mértékben felmelegedik (elvileg ezzel magyarázható az, hogy hosszabb mobiltelefon beszélgetés után melegséget érzünk a fülünk környékén). Ezekben az esetekben, a citoplazmában, főleg a hő effektus hatására, szinte kiszámíthatatlan változások jelentkezhetnek – egyes biokémiai folyamatok felgyorsulnak, de a természetes állapothoz képest új folyamatok beindulása és reakciótermékek képződése is lehetséges (a mobiltelefon agyrákkeltő hatása [5÷11])

A váltóáramú elektromos mező kihatásait az elektrokémiai folyamatok kinetikájára világviszonylatban először Erdey-Gruz, T. és Dévay J. [16] tanulmányozták behatóan (elméletileg és kísérleti megfigyelésekkel). Tanulmányaikból arra a következtetésre jutottak, hogy a váltóáramú polarizáció hatására megnő az elektrokémiai folyamatok csereárama (tehát sebességük is). Ugyancsak megállapították, hogy egyes elektrokémiai folyamatoknál a váltóáramú polarizáció hatására csökken a folyamat túlfeszültsége, tehát csökken a reakció aktiválási energiája is.

A gyakorlatban általában komplex esetekkel találkozunk, amelyekben az élővilág kapcsolatban van az ember által előállított ipari, általában szervetlen rendszerekkel, és a két rendszer egymást kölcsönösen befolyásolja. Ilyen eset például egy, a talajba (másodrendű elektromos vezető, azaz elektrolit) fektetett fémcsőhálózat (gáz, olaj stb.), ahol a fém felülete kapcsolatban van a talajban élő mikroorganizmusokkal (penészgombák, baktériumok, stb.), és egymást kölcsönösen befolyásolják. Az elektromágneses mező jelenléte és erőssége meghatározza a keletkező *kóboráramok* erősségét, és megváltoztathatja a fém/elektrolit határfelületén végbemenő elektrokémiai folyamatok kinetikáját [16]), de ugyanakkor a mikroorganizmusok életkörülményeit is [17]. A mikroorganizmusok metabolizmus termékei növelik a fém korróziósebességét, és megváltozik a talajban lévő fémionok koncentrációja.

Az elektromágneses szennyezettség hatására jelentkező *kóboráramok* nagymértékben befolyásolják a talajba ágyazott acélcsövek és vasbeton rendszerek rongálódási folyamatát [18]. Esettanulmányok által ki lett mutatva, hogy a vasbeton szerkezeteknél tapasztalt kóboráramok által okozott korróziós rongálódások kezdeményezésében az alsóbbrendű élőlényeknek is fontos szerepük van [19]. A 2. ábra egy jellegzetes váltóáramú (kb. 2V/m 50Hz zavaró tér) és biokorrózió által kilyukadt gázcsövet mutat be (Zilah-i gázrobbanás) [20]. A 3. ábra egy jellegzetes vasbeton szerkezet, GSM átjátszó által okozott (kb. 800MHz zavaró jel) rongálódásait szemlélteti [21].



2. ábra,

Váltóáramú kóboráramok valamint a talaj vegyi és biológiai agresszivitása által okozott korrózió



3. ábra.

Egy tömbház vasbeton szerkezetének rongálódásai a GSM átjátszó hatására (kb. 5 év az átjátszó telepítése után) [21]

3. AZ ELEKTROMÁGNESES SZENNYEZÉS FORRÁSAI

A szennyező elektromágneses mezők főbb forrásai az elektromos energiát szállító és elosztó vezetékek valamint a felhasználó berendezések/fogyasztók. A vezetékek elsősorban 50Hz-es mezővel, a felhasználó berendezések pedig nagyon széles 50Hz-től 10 GHz fölötti frekvenciatartományban (főleg a rádió és TV adók, telekommunikációs rendszerek, mobil-telefon hálózatok stb.) szennyezik környezetünket [22]. A 4. ábrán a mindennapi életünkre ható tipikus szennyező források vannak bemutatva.



*AM rádió műsorszórás
középhullámon*



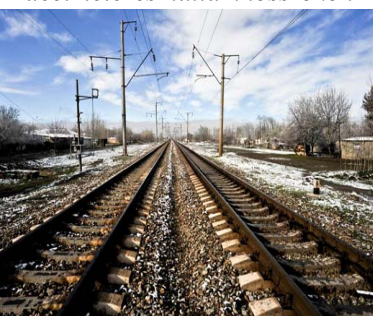
*Telekommunikációs központ
deciméteres hullámhosszokon*



Villamos légvezetékek



Elektromos vontatás (28kV/50Hz)

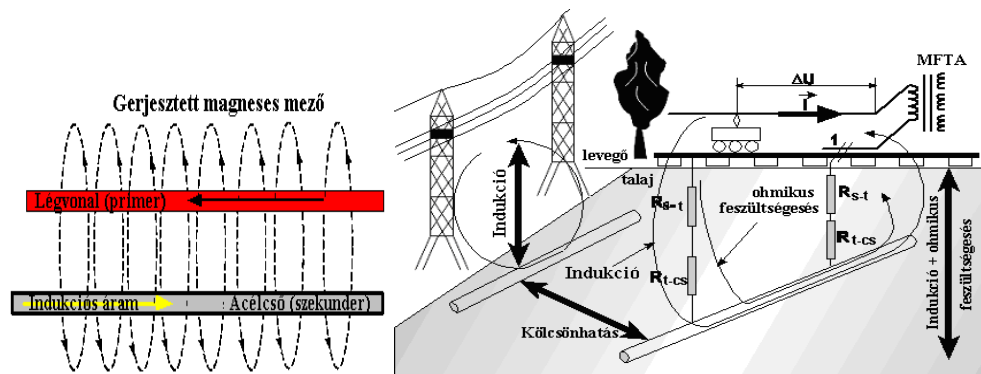


GSM (mobiltelefon) átjátszó

4. ábra.

Az elektromágneses szennyezés leggyakoribb forrásai

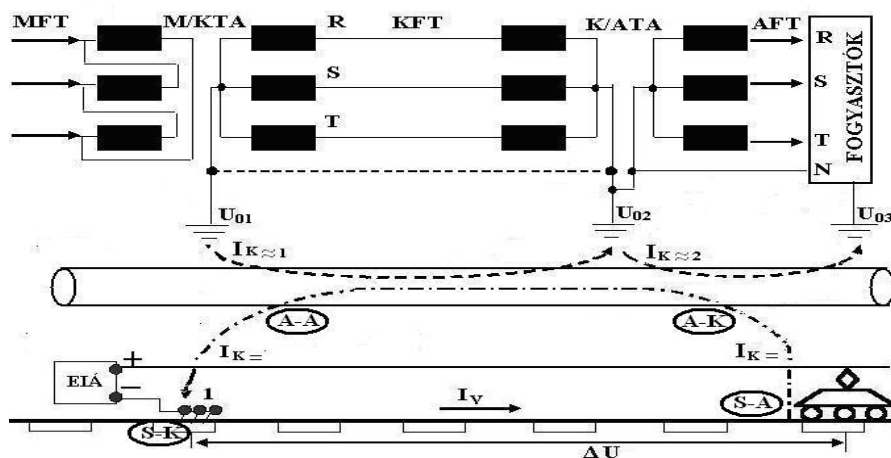
A talaj elektromágneses szennyezésének egy komplex esete, az amikor több acélső van a talajba ágyazva és ezekre hat egy magasfeszültségű légvezeték (indukció) és egy villamosított vasúti pálya (50Hz – 28kV – indukció + a síneken jelentkező ohmikus feszültségesés) – 5. ábra [23].



5. ábra.

Az indukciós zavarások vázlata. A váltakozó áramú vasúti vontatás és a magasfeszültségű tápvonalak által keltett kóboráramok: ΔU – a síneken jelentkező ohmikus feszültségesés; I – vontatóáram; MFTA – a vasutat tápláló magasfeszültségű transzformátortelep; I – a síneket tápláló kábel csatlakoztatása; R_{s-t} – a pálya (sínek) és a talaj közötti ellenállás; R_{t-cs} – a zavart cső és a talaj közötti ellenállás.

A gyakorlatban gyakran találkozunk olyan esetekkel, amikor a fém/talaj elektrokémiai rendszert, összetett, egyen és váltakozó áramú kóboráram zavarja (6. ábra).



6. ábra.

Az összetett (egyen és váltakozó) kóboráramok keletkezésének vázlata: MFT - magas feszültségű tápvonal; M/KTA - magas / középfeszültségű transzformátor állomás; KFT - középfeszültségű tápvonal; K/ATA - közép / alacsonyfeszültségű transzformátorállomás; U₀₁, U₀₂, U₀₃ – a három-fázisú rendszer kiegyensúlyozatlanságából adódó feszültségek; I_{K≈1} és I_{K≈2} – a földelések között keletkezett váltakozó áramú kóboráramok, EIÁ – a villamosok áram ellátása; I_V – a villamosok vontató árama; ΔU – a síneken jelentkező feszültségesés; I_{K=} – a villamosok által gerjesztett egyenáramú kóboráramok; S-A a pálya acélszerelvényeinek anódos polarizációja; A-K az acélső katódos polarizációja; A-A az acélső anódos polarizációja; S-K a pálya acélszerelvényeinek katódos polarizációja.

3. KÖVETKEZTETÉSEK

Az intenzív iparosítás eredményeképp, az utóbbi évtizedekben az elektromos energiatermelés és felhasználás számottevően megnövekedett és ezzel párhuzamosan környezetünk elektromágneses szennyezése is.

Tekintettel arra, hogy a természetben végbemenő folyamatok nagyrészt elektrokémiai vagy bioelektrokémiai reakciók, ezek mechanizmusát és kinetikáját az elektromágneses terek módosítják / megzavarják. Az antropogén eredetű elektromágneses terek kihatásai a környezetre egy elméletileg bonyolult és nagy gyakorlati fontossággal rendelkező, aktuális témakör.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. A. Marino, R.O. Becker, *Biological Effects of Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields: a Review*, Physiol. Chem. & Physics, vol. 9, no. 2, 1977 pp. 131-142.
- [2] L. E. Anderson, *ELF: Exposure Levels, Bioeffects and Epidemiology*, Health Physics, vol. 61, July 1991, pp. 41-46.
- [3] W.R. Hendee, J. C. Boteler, *The Question of Health Effects from Exposure to Electromagnetic Fields*, Health Physics, vol. 66, February 1994, pp.127-136.
- [4] K.S. Nageswari et al., *Effect of prolonged Low Power Microwave Radiation on Peripheral Leucocyte Counts in Rabbits*, Indian J. Med. Res., vol. 75, March 1982. pp. 453-459
- [5] G. J. Hyland, *Mobile Phone Mast Radiation Health*, 2000. [Online]. Available: http://fader.exit.mytoday.de/Health/Reports/Dr_Hyland/dr_hyland.html.
- [6] G.J. Hyland, *Physics and Biology of Mobile Telephony*, The Lancet, vol. 356, no. 9244, XI. 2000, pp.1833-1836.
- [7] **** Health Council of the Netherlands: Radiofrequency Radiation Committee, "Radio Frequency Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz) Summary of an Advisory Report", *Health Physics*, vol.75, July 1998, pp. 51-55.
- [8] L.G. Salford, A. E. Brun, J. L. Eberhardt, L. Malmgren, B. R. R. Persson, *Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones*, Environ Health Perspect., vol. 111, no. 07, June 2003, 881 – 883.
- [9] A. Karinen, S. Heinävaara, R. Nylund, D. Leszczynski, *Mobile phone radiation might alter protein expression in human skin*, BMC Genomics, vol. 9, no. 77, 2008. [Online]. Available: doi: 10.1186/1471-2164-9-77. [Accessed: 21 Apr. 2013.]
- [10] N.D. Volkow, D. Tomasi, G. Want et al., *Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on the brain glucose metabolism*, JAMA, vol. 305, no. 8, February 2011, pp. 808-813.
- [11] L. G. Salford, H. Nittby, A. Brun et al., *The Mammalian Brain in the Electromagnetic Fields Designed by Man with Special Reference to Blood-Brain Barrier Function, Neuronal Damage and Possible Physical Mechanisms*, Prog. Theor. Phys. Supplement, No. 173, 2008, pp. 283–309.
- [12] Robert F. Cleveland, Jr., Jerry L. Ulcek, *Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields*, Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology, OET BULLETIN 56, Fourth Edition, August 1999.
- [13] A. B. Martínez, *The Effects of Microwaves on the Trees and Other Plants*, Valladolid, Spain, December 2003. [Online]. Available: [http://www.teslabel.be/001/documents/The effects of microwaves on trees and other plants.pdf](http://www.teslabel.be/001/documents/The%20effects%20of%20microwaves%20on%20trees%20and%20other%20plants.pdf) [Accessed: 21. Apr. 2013]
- [14] D. J. Reinemann, *Literature Review and Synthesis of Research Findings on the Impact of Stray Voltage on Farm Operations*, Ontario Energy Board, Rep, March 2008. [Available: [http://www.uwex.edu/uwmrl/pdf/08 OEB SV Research Report_Reinemann_20080530.pdf](http://www.uwex.edu/uwmrl/pdf/08OEB%20SV%20Research%20Report_Reinemann_20080530.pdf)] [Accessed: 21. Apr. 2013]
- [15] I. Atanasiu, Gh. Facsko, *Electrochimie – Principii teoretice*, Editura Tehnică, 1958.
- [16] Erdely-Grúz Tibor, *Elektródfolymatok kinetikája*, Akadémiai kiadó, Budapest, 1969.
- [17] I. Lingvay, G. Rus, F. Stoian and C. Lingvay, *Corrosion Study of OL37 Carbon Steel in the Presence of Both Aspergillum Niger Fungi and AC Stray Currents*, UPB Sci. Bull, Series B, Vol. 63, No. 3, 2001, pp. 263-270.
- [18] I. Lingvay, *Coroziunea provocată de curenții de dispersie „vagabonzi”(A kóboráramok által okozott korrózió)*, Editura Electra, București, 2005. pp. 101-136.
- [19] Öllerer Kinga, Lingvay József, *Adatok a vasbeton szerkezetek biokárosodásának tanulmányozásához a bukaresti metróalagutakban*, Korróziós figyelő 45, 4, 2005 pp. 133-135.
- [20] Lingvay Iosif, *Good and Bad Practices in Corrosion Risk Management of Gas Distribution Networks* Proceedings book of URB-CORR 2008Băile Felix, Romania, June 25 – 27, 2008, pp.59-70.
- [21] Iosif Lingvay, Andreea Voina, Carmen Lingvay, Carmen 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, Tome 53, 2008, N° 2bis, Avril-Juin, pp.95-112.
- [22] I. Lingvay, Carmen Lingvay, Andreea Voina, *Impact of the anthropic electromagnetic fields on electrochemical reactions from the biosphere*, Revue Roumaine des Sciences Techniques série Électrotechnique et Énergétique, Tome 53, 2008, N° 2bis, Avril-Juin, pp.85-94.
- [23] Dan Doru Micu, Iosif Lingvay, Emil Simion, *Modelarea și predicția fenomenelor de interferență în regim electrocinetic*, Editura Electra, , București, 2006 , pp. 143-145.