

Az elektromágneses zavarások kiszámítása numerikus interpolálással

Numerical interpolation methods applied in electromagnetic interference problems

Aplicarea metodelor de interpolare numerică la rezolvarea problemelor de interferență electromagnetică

MICU Dan-Doru¹, LINGVAY József², CSUZI István³, SIMION Emil¹, LINGVAY Carmen²

¹Kolozsvári Műszaki Egyetem, www.utcluj.ro, E-mail: Dan.Micu@et.utcluj.ro; emil.simion@et.utcluj.ro

²Villamosmérnöki Tudományok Nemzeti Kutató Intézete, INCDIE ICPE-CA, Bukarest,
www.icpe-ca.ro; E-mail: lingvay@icpe-ca.ro; corozsiune@icpe-ca.ro

³TRIODA Kft, Nagyvárád, www.trioda.ro; E-mail: office@trioda.ro; istvancsuzi@yahoo.com

ABSTRACT

In the paper are evaluated the induced potential in pipeline based on the subdivision of the zone of influence AC Power Lines / electric traction line / gas pipeline, in a relatively great number of sections in order to be able to determine voltages at many positions along the gas pipeline.

Key words: Induced voltage, electromagnetic interference, interpolation algorithm, power systems.

ÖSSZEFOGLALÓ

A talajba ágyazott, gázt szállító acélcsővezetékben indukált feszültségeket becsültük fel matematikai numerikus módszerrel. A számítások érdekében, egy algoritmust alkalmaztunk, amely a számítandó acélcső / elektromágneses zavaróforrás rendszert felosztja eléggé rövid szakaszokra, amelyekben az indukált feszültségek a cső minden pontján kiszámíthatók.

Kulcsszavak: Indukált feszültség, elektromágneses interferencia, interpolálási algoritmus, energetikai rendszer, fémcső.

1. BEVEZETÉS

A távlati és fenntartható fejlesztés egyik fő problémája az energetikai rendszerek biztonságos és tartós működése. Az intenzív ipari fejlesztés eredményeként, az elektroenergetikai rendszerben termelt, szállított, elosztott és felhasznált elektromos energiamennyiség folyamatosan nő. Ebből kifolyólag az elektromágneses zavarások is egyre számottevőbbek.

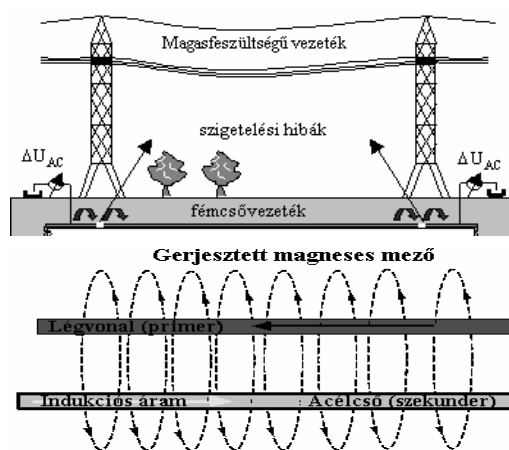
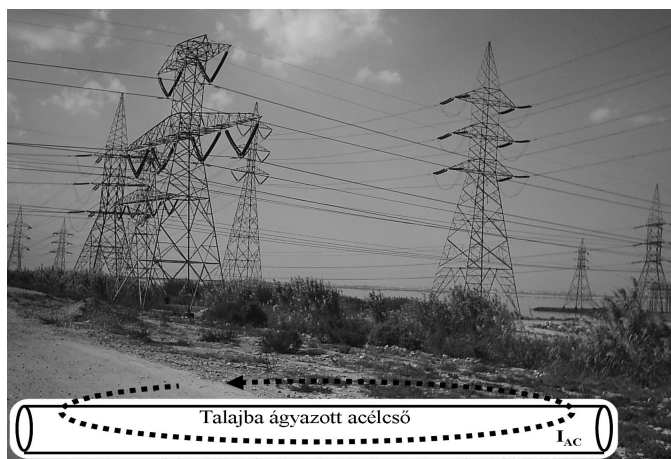
Az elektroenergetikai rendszerből eredő elektromágneses zavarások egyik példája a fémcsőhálózatok váltakozó áramú zavarása, ami a talajba ágyazott acélcsővek esetében ezek gyorsított korrózióját eredményezi (1. ábra) [1÷6]. Az elektroenergetikai rendszerből származó zavaró váltakozó áramú feszültségek a talajba fektetett fémcsővezetéseken indukció (2. ábra) és/vagy ohmikus csatolás (3. ábra) útján jelentkeznek [7].

A gázvezeték és az elektroenergetikai rendszer (magasfeszültségű tápvonalak, ipari fogyasztók, az ezekhez tartozó földelések stb.) között jelentkező interferenciákat elsőnek Dawalibi [8] vizsgálta meg behatóan. Vizsgálatainak eredményeivel megmagyarázták a gyakorlatban egyre gyakrabban jelentkező váltóáramú korróziós károsodásokat. Következésképpen, Kanadában kidolgozták az első gyakorlati jellegű útmutatót, aminek alapján felbecsülhetők a magasfeszültségű tápvonalak kihatásai a fémcsővezetésekre [9]. Ennek alapján az interferenciás zavarok két csoportra oszthatók (indukciós kölcsönhatások és ohmikus csatolások – 3. ábra), külön-külön számíthatók, majd feltételezve, hogy a rendszer lineáris, a két részeredményt össze kell adni. Azokban az esetekben, amikor a zavaró forrás (magasfeszültségű tápvezeték) és a zavart fémszerkezet (például gázvezeték) különböző közegekben (levegő/ionok által vezető talaj) vannak, az elektromágneses interferenciák analitikai megoldása egy igen bonyolult feladat, ami csak megfelelő egyszerűsítő megközelítésekkel oldható meg [8–10].



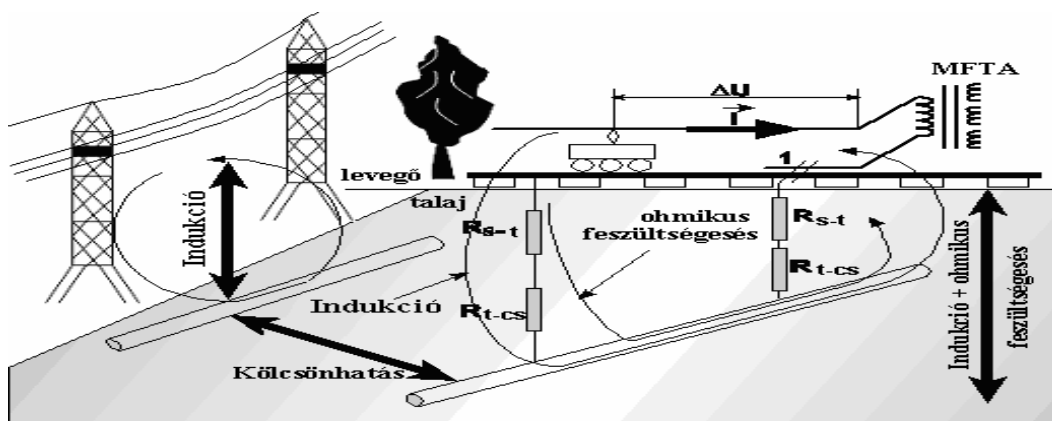
1. ábra

Váltakozó áramú kóboráramok által korrodált gázcső.
Felderítéskor a cső és a talaj között $2,5 V_{cs-cs}$ feszültség volt mérhető.



2. ábra

A talajba fektetett fémcsővezetékek indukciós váltakozó áramú zavarásának vázlata
 I_{AC} – indukált zavaró áram; U_{AC} – talaj/acélcső zavaró feszültség



3. ábra

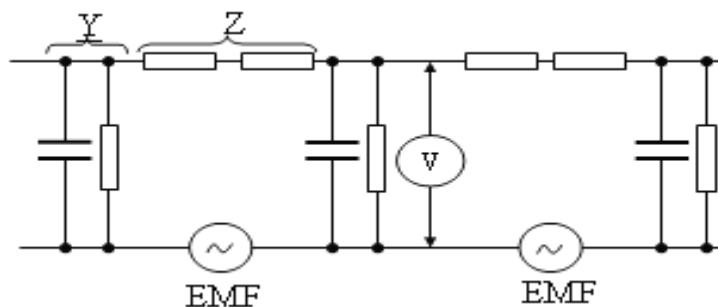
A talajba fektetett fémcsővezetékek komplex váltakozó áramú zavarásának vázlata
 R_{s-t} – vasúti pálya (sín)/talaj ellenállás; R_{t-cs} – talaj/fémcső ellenállás; I – vontató áram;
 ΔU – a vasúti pályán (síneken) jelentkező feszültség; MFTA – magasfeszültségű transzformátor,
az elektromos vontatás táplálása

A fémcsővezetékben jelentkező interferenciás áramok és feszültségek számításának egyik módszere abban áll, hogy a vezetéket olyan rövid szakaszokra osztják, amelyekre már alkalmazható a „rövid vezetők” elmélete. Ez, a térelméletre és a *Maxwell* egyenletekre alapozó módszer habár megfelelő, alkalmazása gyakorlati nehézségekbe ütközik, amikor numerikus eredményeket akarunk kiszámítani. Az áramkörök elméletével kiszámítható minden egyes szakasz végén jelentkező potenciál, valamint a szakaszok hosszában keringő áramok.

Dolgozatunk célja egy modell és matematikai módszer kidolgozása, amellyel egy adott fémcsővezeték minden pontján kiszámíthatók a zavaró feszültségek a zavaróforrás(ok) függvényében, valamint ezek alkalmazása egy konkrét Kolozs megyei gázvezetékre.

2. AZ INDUKÁLT FESZÜLTSEGEK MATEMATIKAI FELBECSÜLÉSE

A magasfeszültségű tápvonalak által zavart csővezetékben indukált feszültségek számítása két lépésben történik. Az első lépésben azokat az elektromotoros erőket számítjuk ki, amelyeket a magas-feszültségű tápvonalban haladó áramok indukálnak. Ezek a cső hosszában áramot eredményeznek [8–9], az áramvonalak kilépnek a csőből és a talajon keresztül záródnak, váltakozó árammal polarizálják a cső (fém)/talaj határfelületet (2. ábra, első kép). A második lépésben kiszámítjuk a zavart csővezetéken jelentkező feszültségeket és áramokat – mint választ a hosszanti indukált elektromotoros erőkre. A magasfeszültségű tápvonal/acélcsővezeték rendszer helyettesítő kapcsolását a 4. ábrán mutatjuk be.



4. ábra

A magasfeszültségű tápvonal/acélcsővezeték rendszer helyettesítő kapcsolása
EMF – indukált elektromotoros erő; $\underline{Y}$ – a tápvonal admittanciája az acélcsővezeték felé;
 $\underline{Z}$ – a tápvonal hosszanti impedanciája; V – a tápvonal feszültsége

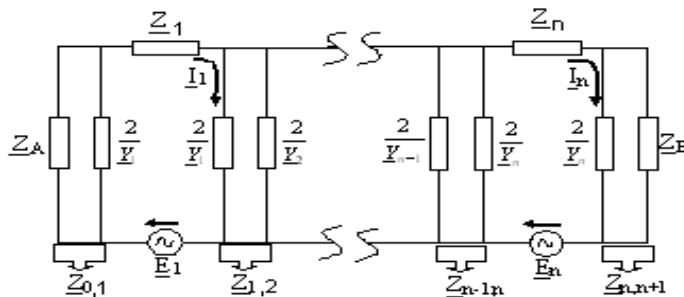
A 4. ábrát elemezve megállapítható, hogy az indukált elektromotoros erő (EMF) tulajdonképpen egy virtuális áramforrás, amely a zavart fémszerkezetben (csővezeték, betonvasalás stb.) keletkezik a tápvezeték/acélcsővezeték induktív csatolásának következtében (elektromágneses zavarás). A zavaró elektromotoros erő az acélcsőben áramot gerjeszt, illetve feszültséget (U_{AC} – 2. ábra – talaj/acélcső feszültség). Tehát, amint a [8, 9] hivatkozás külön kiemeli, az elektromotoros erő/feszültség (EMF) és az ennek a hatására jelentkező zavaró váltakozó áramú feszültség (U_{AC}) között feltétlenül különbséget kell tenni.

Ha az acélcsővezeték/zavaró tápvonal adottak (tápfeszültség, hossz, távolság, csőátmérő stb.), elvileg az EMF, illetve a gerjesztett I_{AC} valamint U_{AC} a 4. ábra alapján kiszámítható. A gyakorlatban jelentkező konkrét helyzeteknél a számítások eléggé bonyolultak. A bonyodalmak főleg a zavaró vonal és a csővezeték egymáshoz viszonyított helyzetéből, a talaj heterogenitásából, a csővezeték esetleges elágazásaiból stb. adódnak. Mindezek ellenére, főleg az újonnan telepítendő, feltehetőleg zavaró tápvonal és/vagy csővezeték szakszerű tervezésénél ezek a számítások nagyon fontosak.

Az indukált feszültségek és áramok matematikai becslése minden konkrét esetben elvégezhető, ha a zavart csőszakaszt megfelelően meghatározott paraméterű szakaszokra (adott térbeli helyzet a zavaróforráshoz képest, homogén talaj stb.) bontjuk. Adott paramétereknél az elemi szakaszokon kiszámíthatók a gerjesztett zavaró feszültségek, majd ezek összeadásával aránylag pontossággal megkapjuk a csővezeték különböző pontjain jelentkező U_{AC} zavaró feszültségek. Az 5. ábrán egy elemi szakaszokra bontott zavaróforrást/zavart acélcsővezeték mutatunk be. A zavaró tápvezeték és a zavart acélcső közötti induktív csatolást egy elosztott elektromotoros erőforrásként ($\underline{E}_1 \dots \rightarrow \dots \underline{E}_n$) jelöltük be, illetve adott x ponton (E_x), ami tulajdonképpen a cső hosszában

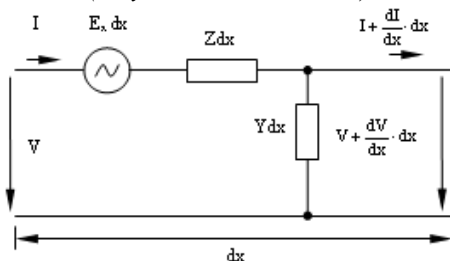
jelentkező elektromos tér. Minden elemi szakasz dx egy „elemi” $E_x dx$ feszültséggel táplált – tehát az E_x az elektromos tér mértékegységében (V/m) fejezzük ki.

Egy elemi csőszakasz helyettesítő áramkörét a 6. ábrán mutatjuk be. Ebből megállapítható, hogy eltekintve az elosztott feszültségforrástól, azonos egy hosszú elektromos vezeték elemi szakaszának helyettesítő áramkörével (amelynek adott az egységnyi hosszanti komplex impedanciája $\underline{Z} = R + j\omega L$ valamint az egységnyi keresztirányú komplex admittanciája $\underline{Y} = G + j\omega C$).



5. ábra

A zavaró tápvezeték / zavart acélcsővezeték rendszer felosztása elemi szakaszokra (helyettesítő π áramkör).



6. ábra

Egy elemi csőszakasz helyettesítő áramköre

Alkalmazva a hosszú vezetékekre ismert egyenleteket, kiszámítható minden x pontra az indukált feszültség $V_{(x)}$ (1):

$$V(x) = Z_C \left\{ [K_1 + P(x)] e^{-\gamma x} - [K_2 + Q(x)] e^{\gamma x} \right\} \quad (1)$$

ahol a $P_{(x)}$ és $Q_{(x)}$ függvények:

$$P(x) = \frac{1}{2Z_C} \int_{x_A}^x e^{\gamma s} E_x(s) ds \quad (2)$$

$$Q(x) = \frac{1}{2Z_C} \int_x^{x_B} e^{-\gamma s} E_x(s) ds \quad (3)$$

és K_1 valamint K_2 a határfeltételek alkalmazásából adódnak:

$$K_1 = v_1 e^{\gamma x_A} \cdot \frac{v_2 P(x_B) e^{-\gamma x_B} - Q(x_A) e^{\gamma x_B}}{e^{\gamma(x_B - x_A)} - v_1 v_2 e^{-\gamma(x_B - x_A)}} \quad (4)$$

$$K_2 = v_2 e^{-\gamma x_B} \frac{v_1 Q(x_A) e^{\gamma x_A} - P(x_B) e^{-\gamma x_A}}{e^{\gamma(x_B - x_A)} - v_1 v_2 e^{-\gamma(x_B - x_A)}} \quad (5)$$

3. VASÚTI PÁLYÁK ÉS A TÁPVEZETÉKEK KÖZÖTT JELENTKEZŐ ELEKTROMÁGNESES INTERFERENCIA ELEMZÉSE

A vasúti pálya sínjei és a közelükben telepített magasfeszültségű tápvonalak között számottevő elektromágneses interferencia jelentkezik. A vasúti pályák és a magasfeszültségű tápvezetékek között jelentkező elektromágneses interferencia elemzésének érdekében elsősorban a vasúti pálya sínjeinek relatív permeabilitása meghatározó [11], majd ennek alapján kiszámíthatók a különböző frekvenciákon és a tápvonal üzemi paramétereinek a függvényében a sínekben indukált áramok és feszültségek. Esetünkben, a vasúti pálya sínjeit tekinthetjük úgy, mint egy elektromágneses interferencia által befolyásolt hosszú vezetőt, tehát az impedanciájuk a CARSON integrálokkal fejezhető ki. Esetünkben a specifikus reaktancia meghatározások helyhez kötöttek, tehát az ezekből számított ekvivalens permeabilitások is. Ebből kifolyólag szükséges meghatározni egy folytonos összefüggési korrelációt az indukált áramok, feszültségek, ezek frekvenciája valamint a sínpálya permeabilitása között. Ez numerikus interpolálással és a nemlineáris összefüggések leegyszerűsítésével lehetséges.

A problematika megoldásának érdekében, a szakirodalomban közölt numerikus adatok alapján [12–15], kifejlesztettünk és ellenőriztünk egy interpolálási készletet. A készlet fejlesztésénél különös figyelmet szenteltünk az interpolálásból adódó eltérések minimalizálására, valamint a javasolt interpolálási függvények stabilitásának ellenőrzésére.

A Lagrange polinomos interpolálással szerkesztett függvények nagy hiányossága az, hogy a csomópontok között nem simák. Ezt a hiányosságot a *spline* függvények kiküszöbölik azáltal, hogy az interpolálási függvény ismert csomópontjaiban – kiegészítésként – a függvény legyen bizonyos fokig folyamatos és differenciálható [16].

Dolgozatunkban az interpolálásokat köbös *spline* függvényekkel végeztük, a (6) modell szerint:

$$B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq -2 \\ (x+2)^3 & -2 \leq x \leq -1 \\ 1 + 3 \cdot (x+1) + 3 \cdot (x+1)^2 - 3 \cdot (x+1)^3 & -1 \leq x \leq 0 \\ 1 + 3 \cdot (1-x) + 3 \cdot (1-x)^2 - 3 \cdot (1-x)^3 & 0 \leq x \leq 1 \\ (2-x)^3 & 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & 2 \leq x \end{cases} \quad (6)$$

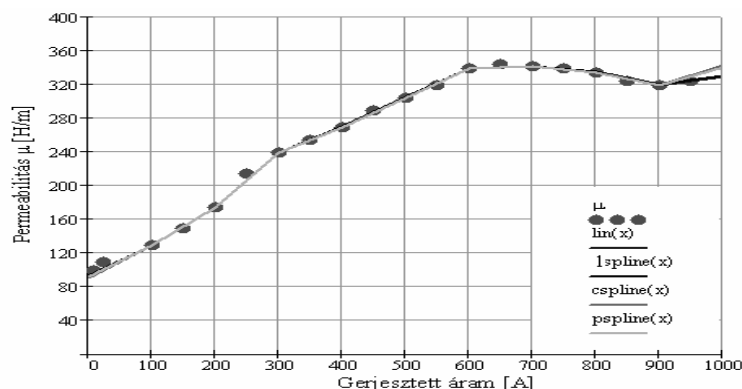
A köbös *spline* interpolálási függvény meghatározható, mint a B_i függvények lineáris kombinációi az ismert interpolálási csomópontokban (7).

$$f(x_k) = \sum_{i=-1}^{n+1} c_i \cdot B_i(x_k) \quad 0 \leq k \leq n \quad (7)$$

A (7) függvény c_i tényezőinek meghatározása egy tridiagonális egyenletrendszer (8) megoldása, valamint a Tikhonov [17] által javasolt szabályozási módszerekkel lehetséges.

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 & & \\ & 1 & 4 & 1 & \\ & & \dots & \dots & \dots \\ & & & 1 & 4 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{-1} \\ c_0 \\ \dots \\ c_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_0) \\ f(x_1) \\ \dots \\ f(x_n) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Az ismert interpolálási csomópontokban (határpontok) a megközelítéseket kifejezhetjük harmadrendű függvényekkel (*cspline*), lineáris függvényekkel (*lspline*) vagy parabolikus függvényekkel (*pspline*). A 7. ábrán egy adott magasfeszültségű tápvezeték által a vasúti sínekben gerjesztett áramerősség értékeit [A] mutatjuk be a rendszer permeabilitásának a függvényében különböző típusú spline függvényekkel kifejezett megközelítésekkel. Amint a 7. ábrából kitűnik, adott diszkrétizációnál a különböző *spline* függvényekkel kapott értékek nem térnek el lényegesen.



7. ábra

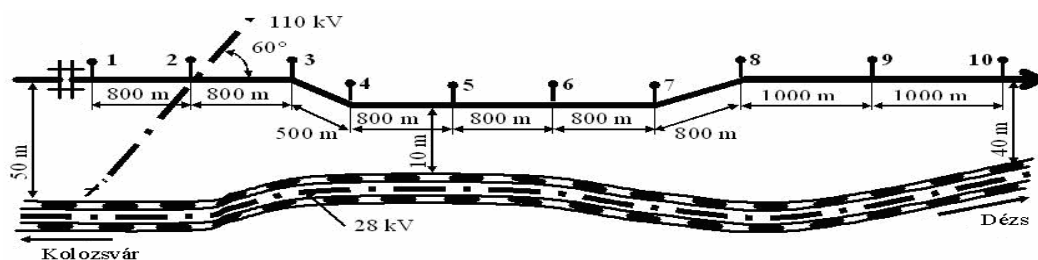
Egy adott magasfeszültségű tápvezeték által, a vasúti sínekben gerjesztett áram [A], a rendszer permeabilitásának függvényében különböző típusú spline függvényekkel kifejezett megközelítésekkel

Gyakorlati esetekre alkalmazott számításaink kimutatták, hogy az interpolálás pontossága nem feltétlenül nő, amikor növeljük a számítási csomópontokat, sőt esetenként, amikor a számítási csomópontok száma megegyezik a Lagrange interpolálási polinom rendjével, a kapott függvények instabillá válnak.

4. A SZÁMÍTÁSOK ELLENŐRZÉSE. AZ INDUKÁLT FESZÜLTSEGEK FELBECSÜLÉSE EGY ADOTT GÁZVEZETÉK ESETÉBEN

A gyakorlatban általában komplex esetekkel találkozunk. A talajba ágyazott fémcsövek (mint az elektromágneses zavarás szenvedő alanyai) egyszerre több zavaró forrás hatásainak vannak kitéve (magasfeszültségű tápvezeték, váltóáramú vontatású vasúti pálya stb.). Ezekben az esetekben a fémcsövön jelentkező zavarófeszültségek kiszámításának egyik járható útja az, hogy zavaróforrásonként külön-külön kiszámítjuk az indukált zavarófeszültségeket és az áramokat, majd a zavart cső különböző pontjain kapott értékeket, a fázistolódásokat figyelembe véve, vektoriálisan összeadjuk. A számítások aránylag egyszerűsödnek, ha lehetőség van a zavart csővezeték néhány pontján megmérni az indukált zavaró feszültségeket, majd a 3. fejezetben felvázolt interpolálási módszerrel kiszámítható a cső minden pontján jelentkező zavarófeszültség.

A felvázolt számítás ellenőrzésének érdekében megvizsgáltuk egy 6 bar-os, katódos védelem nélküli gázvezeték konkrét esetét (8. ábra). A megvizsgált gázvezeték (DN 300-as, 8 mm csőfálvastagságú) Kolozsvar és Dész között telepítették 1999-ben, és egy kb. 20 km-es szakaszon egy duplavágányú elektromos vontatású (28 kV) vasúti pálya mentén halad (elvileg hasonló a 3. ábrán bemutatott rendszerhez). A vezeték és a vasúti pályát egy 110 kV-os tápvonal keresztezi. A csövek extrudált polietilénnel (3 mm vastagságú) szigeteltek (EN 10285).



8. ábra

A vizsgált magasfeszültségű tápvezeték–duplavágányú vasúti pálya–gázvezeték rendszer vázlata

A 8. ábrát elemezve, megállapítható, hogy:

- a) a 110 kV-os tápvonal zavarófeszültséget indukál: a1) a gázvezetékben és a2) a vasúti pálya sínjeiben;
- b) a vasút 28 kV-os tápvonala zavarófeszültséget indukál: b1) a gázvezetékben és b2) a pálya sínjeiben;
- c) az a2) és b2) zavarófeszültségek a sínekben összeadódnak és állandó jelleggel áramot gerjesztenek, amely összeadódik (a vonatok közlekedésének függvényében) a vontatóárammal, és az eredő összárám zavarófeszültséget indukál a gázvezetékben.

Ezekre való tekintettel megállapítható, hogy a gázvezeték minden pontján az a1), b2) valamint a c) zavarófeszültségek eredő értéke mérhető.

A megvizsgált gázvezeték-szakasz minden mérőpontjánál megmértük: – a cső és a talaj között jelentkező váltóáramú feszültséget [V_{rms}]; – a talaj fajlagos ellenállását [Ωm]; – a cső korróziós potenciálját [$V_{Cu/CuSO_4}$]. A mérési eredményeket az I. táblázatban mutatjuk be.

I. táblázat

A vizsgált gázvezeték-szakasz mérőpontjainál végzett mérések eredményei*

Mért paraméter	Mérőpont (8. ábra)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A talaj fajlagos ellenállása [$\Omega \cdot m$]	11	18	16	45	32	93	21	64	17	15
Cső/talaj váltó feszültség [V_{rms}]	8.10	19.1	17.2	29.3	15.2	26.4	7.13	1.89	2.11	4.32
Cső / talaj potenciál [$V_{Cu/CuSO_4}$]	-0.353	-0.398	-0.371	-0.325	-0.394	-0.410	-0.387	-0.324	-0.352	-0.365

* mérés közben, a vizsgált szakaszon vonat nem közlekedett

Esetünkben a talajba ágyazott fémcső és a talaj között az indukált zavarófeszültségek eredő értéke helyenként (a vezeték mérőpontjain) mérhetők. A mért értékek alapján (I. táblázat), MathCad programban (amely előre meghatározott interpolálási függvényeket használ fel) számítási algoritmust készítettünk, mellyel az indukált feszültségek meghatározhatók az acélcsővezeték bármely pontján. Első lépésként, a mért indukált feszültségek értékeit (y) a mérési hely függvényében (x) tápláltuk be a MathCad programba:

$$x := \begin{pmatrix} 800 \\ 1600 \\ 2400 \\ 2650 \\ 3450 \\ 4250 \\ 5050 \\ 5450 \\ 6450 \\ 7450 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} 8.10 \\ 19.10 \\ 17.2 \\ 29.3 \\ 15.2 \\ 26.4 \\ 7.13 \\ 1.89 \\ 2.11 \\ 4.32 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Második lépésként az interpolálási függvényeket határoztuk meg:

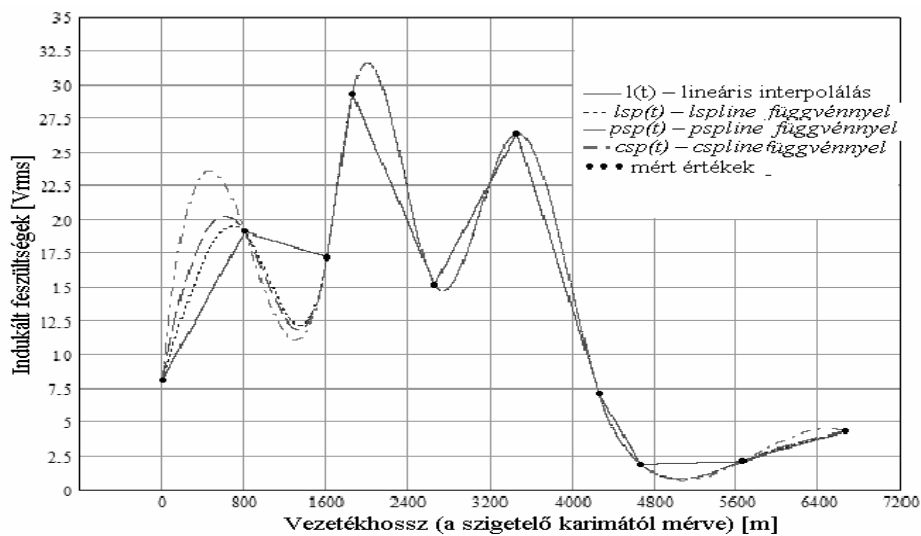
$$\begin{aligned} L &:= \text{lspline}(x, y) & C &:= \text{cspline}(x, y) & P &:= \text{pspline}(x, y) \\ \text{lsp}(t) &:= \text{interp}(L, x, y, t) & \text{csp}(t) &:= \text{interp}(C, x, y, t) \\ \text{psp}(t) &:= \text{interp}(P, x, y, t) & l(t) &:= \text{linterp}(x, y, t) \\ t &:= 800, 801.. 7450 \end{aligned} \quad (10)$$

Ezek alapján, a MathCad programban szerkesztett számítási algoritmussal (11, 12) az indukált feszültségek meghatározhatók az acélcsővezeték bármely pontján.

$$\begin{aligned}
 A &:= \begin{array}{l} X \leftarrow x \\ V \leftarrow v \\ n \leftarrow \text{last}(X) \\ \text{for } j \in 0 \dots n \\ \quad A_{j,0} \leftarrow V_j \\ \quad \text{for } j \in 1 \dots n \\ \quad \quad \text{for } k \in 0 \dots n-j \\ \quad \quad \quad A_{k,j} \leftarrow \frac{A_{k+1,j-1} - A_{k,j-1}}{X_{k+j} - X_k} \\ \quad \quad \quad \text{for } i \in 1 \dots j \\ \quad \quad \quad \quad A_{n-j+i,j} \leftarrow 0 \\ \quad \quad A \\ A \end{array} \\
 j &:= 1 \dots \text{last}(x) \quad \text{last}(x) = 3 \quad z := 56, 58 \dots 86
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$N(z) := \sum_j \left[A_{0,j} \cdot \prod_{i=0}^{j-1} [z - (x)_i] \right] + A_{0,0} \tag{12}$$

A vizsgált gázvezetéksz szakaszon kapott számítási eredményeket a 9. ábrán mutatjuk be.



9. ábra

*A cső/talaj között jelentkező feszültségek számított és mért értékei,
a megvizsgált gázvezetéksz szakaszon*

A 9. ábrából megállapítható, hogy a *spline* típusú interpolálási függvényekkel kapott értékek sokkal pontosabb eredményekhez vezetnek, mint a lineáris *l(t)* függvények.

Az I. táblázat adataiból megállapítható, hogy a vizsgált gázvezeték csöveinek korróziós állapotát számottevően befolyásolják a vezetékben indukált feszültségek, azaz azokon a pontokon ahol magasabb indukált feszültségeket mértünk, a mért korróziós potenciálok elektropozitívabbak voltak. Ez összhangban van a szakirodalomban közölt adatokkal [1, 3, 4, 18]. Erre való tekintettel megállapítható, hogy a 9. ábrán bemutatott függvénnyel egy adott gázvezetéken kimutathatók olyan pontok, amelyeken – habár mérőpont hiányában cső/talaj potenciál nem mérhető – a váltakozó áramú korrózió veszélye nagyobb, mint a szomszédos mérőpontok közelében (esetünkben a szigetelőkarimától számítva 400 m, 2000 m valamint 3450 m-re).

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A gáz acélcsővezetékekben indukált feszültségeket matematikai numerikus módszerrel becsültük fel. Egy algoritmust alkalmaztunk, amely a számítandó acélcső/elektromágneses zavaróforrás rendszert felosztja eléggé rövid szakaszokra, amelyekben az indukált feszültségek a cső minden pontján kiszámíthatók. Bemutattuk egy Kolozs megyei gázvezeték kb. 8 km-es szakaszát, melynek mérőpontjain cső/talaj potenciálokat, a magasfeszültségű tápvonalból és a vasúti pályából indukált feszültségeket mértünk. A terepen mért értékekből megállapítható, hogy a vizsgált gázvezeték csőveinek korróziós állapotát számottevően befolyásolják a vezetékekben indukált feszültségek, azaz azokon a pontokon ahol magasabb indukált feszültségeket mértünk, a mért korróziós potenciálok elektropozitívabbak, tehát a korróziósebesség (és a veszély) nagyobb. MathCad programban egy számítási algoritmust készítettünk, amellyel a mérőpontokon mért indukált feszültségek alapján meghatározhatók az indukált feszültségek a gázvezeték bármely pontján. A MathCad programban szerkesztett algoritmussal és *spline* típusú interpolálással (egy adott gázvezetéken) kimutathatók olyan pontok, amelyeken habár mérőpont hiányában a cső/talaj potenciál nem mérhető, a váltóáramú korrózióveszély nagyobb, mint a szomszédos mérőpontok közelében.

Köszönetnyilvánítás: Dolgozatunkat az Oktatási és Kutatási Minisztérium támogatta (CEEX–X2C37)

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] E. BINI, L. Di BIASE: *Assessment of External Corrosion Protection of Buried Pipelines*, 4-th International Conference CEOCOR '97, 3–5 september, Viena, secteur A, pp. 18–36.
- [2] VESPER, W.: *Wechselstromkorroion*, CEOCOR, 4th International Conference, Viena, 1997, pp. A45–68.
- [3] REGAULT, I. și DELORS, B.: *Corrosions dues aux influences des courants alternatifs par des lignes très haute tension sur des canalisations en acier revêtues de polyéthylène. Evaluation des risques - mesures de prevention*, CEOCOR, 4th International Conference, Viena, 1997, pp. A37–44.
- [4] I. LINGVAY, F. STOIAN, CRISTINA RATA, *Study of Corrosion for Some Iron Steels Given by the Alternative Stray Currents* – EUROCORR '97, 22–25 Sept. 1997, Trondheim, Norway, vol. I, pp. 635–641.
- [5] LINGVAY, I., e.a.: *Contributions to the control of A.C. stray currents corrosion*, Revue Roumaine de Chimie, 46, 2, 2001 pp. 85–90.
- [6] LINGVAY, I., LINGVAY, C.: *Contributions to Control of Accelerated Corrosion of Metallic Structures from the Urban Infrastructures Due to AC Stray Currents*, URB-CORR 2007 – ISBN 978-973-718-756-7, Cluj-Napoca – Romania, June 20–23, 2007, pp. 196–200.
- [7] LINGVAY, I., LINGVAY, C.: *The Impact of Electromagnetical Pollution on the Natural Electrochemical Reactions*, URB-CORR 2007–ISBN 978-973-718-756-7, Cluj-Napoca – Romania, June 20–23, 2007, pp. 85–97.
- [8] DAWALIBI, F., *Analysis of electrical interference from power lines to gas pipelines-Part I-Computation method*, PWRD-4, No 3, pp. 1840–1848, July 1989.
- [9] *** *Guide Concerning Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines*, CIGRE Working Group 36.02, Canada, 1995.
- [10] MICU, D.D., LINGVAY, I., SIMION, E.: *Modelarea și predicția fenomenelor de interferență în regim electrocinetic (Elektrokinetikus jellegű interferenciás jelenségek modellezése és előrejelzése)*, Ed. ELECTRA, București, 2006. pp. 27–50.
- [11] J. Liu, F. Dawalibi, Y. Yang: *Determination of Rail Conductor Characteristics for Electromagnetic Interference Studies*, IEEE, 2002, pp. 382–386.
- [12] D. D. Micu, E. Simion, A. Ceclan, D. Micu: *Numerical methods for induced voltage evaluation in electromagnetic interference problems*, 9th International Conference EPQU Barcelona, 9–11 Oct. 2007.
- [13] D.D. Micu, I. Lingvay, E. Simion: *Calculul tensiunilor induse in conductele subterane*, Research report (in romanian), CEEX – ICEMECOS X2C37, july 2007.
- [14] D.D. Micu, E. Simion, D. Micu, A. Ceclan, L. Cret: *Numerical algorithm for the accurate evaluation of the induced voltages in a pipeline*, 6th International Conference on Computational Electromagnetics, Aachen, Germany, April 4–6, 2006, pp. 230–232.
- [15] D.D. Micu, D. Micu, E. Simion, L. Cret: *Numerical computation of the induced voltages in a pipeline using special interpolation functions*, International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA Sofia, Bulgaria, Sept. 15–16, 2005, pp. 327–329.
- [16] J. Epperson: *An Introduction to Numerical Methods and Analysis*, John Wiley & Sons Inc., New-York, U.S.A., 2001.
- [17] A. Tikhonov, et all: *Numerical Methods for the Solution of Ill - Posed Problems*, Kluwer Academic Publishers, London, 1995.
- [18] Floyd, R.: *Testing and mitigation of AC corrosion on 8" line: A field study*, NACE Meeting Papers - Corrosion 2004; New Orlean, LA; 28 March 2004 through 1 April 2004, p. 17.