

Sorfejtéses inverzió III – Gerjesztett polarizációs adatok inverziós feldolgozása

TURAI ENDRE¹, DOBRÓKA MIHÁLY^{1,2}, HERCZEG ÁDÁM¹

¹Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

²MTA–ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros

A jelen dolgozat egy cikksorozat része, amelyben a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén kifejlesztett sorfejtéses inverziós módszeren alapuló adatfeldolgozási/értelmezési eljárásokat mutatjuk be. Az első dolgozatban a Fourier-transzformációt újszerű megközelítésben inverz feladatként tárgyaltuk úgy, hogy a frekvenciaspektrumot sorfejtéssel közelítettük, inverziós változónak a sorfejtési együtthatókat tekintve. A második dolgozatban a sorfejtéses inverzió módszerét a mélyfúrás geofizikai adatok feldolgozására alkalmaztuk oly módon, hogy a petrofizikai paramétereket – mint a mélység függvényeit – sorfejtéssel közelítettük, a sorfejtési együtthatókat az inverziós eljárás keretében állítottuk elő. Folytatva az alkalmazási lehetőségeket, ebben a cikkben – általunk kidolgozott, új eljárásként – a gerjesztett potenciáladatok (GP) inverziós feldolgozását mutatjuk be. Az eljárás kiindulópontja a GP időállandó-spektrumainak sorfejtéses közelítése azáltal, hogy a sorfejtés együtthatóit inverzió keretében állítjuk elő.

A cikkben röviden bemutatjuk a GP-mérési módszert, a sorfejtéses inverzió alkalmazását a GP-mérési görbék TAU-transzformációjának egzakt előállítására, valamint bevezetünk egy, a szennyezettség mértékének és típusának becslésére alkalmas eljárást.

A környezetvédelmi problémák megoldása során a fémes, fém-sós, a kémiai redox szennyezések, valamint a diszperz agyagtartalom kimutatására, kommunális hulladéklerakók és vízbázisok vizsgálatára alkalmaztuk eredményesen a módszert. Ezek közül mutatjuk be néhány újabb terepi mérés inverziós feldolgozásának eredményeit.

Turai, E., Dobróka, M., Herczeg, Á.: Series expansion based inversion III – Procedure for inversion processing of induced polarization (IP) data

The present paper is a part of a series of articles in which we publish new data processing and interpretation procedures based on a series expansion inversion technique developed by the Department of Geophysics, University of Miskolc. In the first paper „Fourier transform as an inverse problem” was published in this journal which, following a novel way, the frequency spectra were approximated by series expansion considering the expansion coefficients as inversion variables. In the second paper, series expansion inversion method was applied to borehole geophysical data processing in such a way that petrophysical parameters were approximated as series expansions of deep function, the expansion coefficients computed by an inversion procedure.

Now as a continuation, a new procedure for the inversion processing of induced polarization (IP) data developed by the Department of Geophysics, University of Miskolc is presented. The origin of this procedure is the series expansion approximation of IP time-constant spectra in such a way that series expansion coefficients were computed by an inversion procedure.

The paper shortly presents the IP measuring method and the inverse solutions of TAU-Transform of the Time-Domain IP curves. A procedure for estimation of the type and the value of soil contaminations will be introduced.

The calculation of contamination type comes from the time-constant value of the time-constant spectra. The value estimation of the soil contamination is based on the waited amplitude values of the time-constant spectra.

This method was successfully applied among solving environmental problems for detection metallic, metallic salted and chemical (redox) contaminations as well as for detection disperse clay content and for examination communal waste sites and water-base areas. The paper presents the inverse processing results of some newer field measuring data from these.

Beérkezett: 2010. augusztus 31.; *elfogadva:* 2010. szeptember 14.

Bevezetés

A GP- (angol szakirodalomban: IP – *Induced Polarization*) módszert az 1950-es évektől kezdve mind az idő-, mind pedig a frekvenciatartományban eredményesen alkalmazták

az érekkutatásban (Wait 1959; Keller, Frischknecht 1966; Sumner 1976).

A módszer időtartományban mérhető – szigorúan monoton csökkenő – látszólagos polarizálhatósági görbéje ($\eta_a(t)$) az alábbi integráltranszformációval írható le (Turai 1981):

$$\eta_a(t) = \int_0^\infty w(\tau) \exp(-t/\tau) d\tau, \quad (1)$$

ahol t a gerjesztés kikapcsolásától eltelt idő, τ a polarizáció időállandója, $w(\tau)$ az időállandó-spektrum, amelyre vonatkozóan megköveteljük az

$$\int_0^\infty w(\tau) d\tau = 1$$

normálási feltétel teljesülését.

Az időállandó-spektrum tartalmazza az IP-mérés polarizációra vonatkozó összes információját (Turai 1985) ezért meghatározása még akkor is alapvetően fontos, ha a GP-jelenség leírására nincs közfizikai modellünk.

Nevezzük TAU-transzformációnak (Turai 1981) az (1) összefüggés inverzét,

$$w(\tau) = \text{TAU}[\eta_a(t)], \quad (2)$$

amelynek segítségével a mért látszólagos polarizálhatósági görbékhez tartozó időállandó-spektrumokat határozhatjuk meg. A TAU-transzformáció analitikusan nem oldható meg. Közelítő megoldására Turai (1985) polinomos interpolációs, ill. Fourier-transzformációs módszereket dolgozott ki. Általános megoldás a sorfejtéses inverzió keretében adható meg (Turai, Dobróka 2001) amelyet az alábbiakban részletesen bemutatunk.

A GP-adatok TAU-transzformációs értelmezését az 1990-es évektől kezdve számos esetben (Offheim – 1992, Nyékládháza – 1997, Ráckeve – 1997, Kecskemét – 1997, Győröcske – 1999, Pásztó – 2000, Tokaj – 2001, Balmazújváros – 2002, Szerencs – 2004) eredményesen használtuk a szennyezett területek lehatárolásánál és a szennyezettségük minősítésénél.

A TAU-transzformáció megoldása sorfejtéses inverzióval

A $w(\tau)$ időállandó-spektrum folytonos valós függvény, véges számú mérési adatból csak véges pontossággal ismerhető meg. Első lépésként tehát véges adattal való leírásáról kell gondoskodnunk, azaz diszkrétizálnunk kell. Írjuk fel a $w(\tau)$ időállandó-spektrumot alkalmasan választott bázisfüggvények szerinti sorfejtés formájában

$$w(\tau) = \sum_{q=1}^Q B_q \Phi_q(\tau), \quad (3)$$

ahol Φ_q a q -ik bázisfüggvény, B_q sorfejtési együttható. Mivel a bázisfüggvények ismertek, az időállandó-spektrum előállítás az ismeretlen sorfejtési együtthatók meghatározására egyszerűsödik.

Ha a TAU-transzformációt inverz feladatként definiáljuk, akkor a B_q sorfejtési együtthatók $\mathbf{B}$ vektora az ismeretlen modellparaméter-vektor, az (1) egyenlet a direkt feladatot megoldó válasz egyenlet, amely a (3) egyenlettel kombinálva a t_k mérési időpontra a

$$\begin{aligned} \eta(t_k) &= \eta_k = \int_0^\infty \sum_{q=1}^Q B_q \Phi_q(\tau) \exp(-t_k/\tau) d\tau \\ &= \sum_{q=1}^Q B_q \int_0^\infty \Phi_q(\tau) \exp(-t_k/\tau) d\tau \end{aligned} \quad (4)$$

összefüggést adja. Bevezetve az

$$S_{kq} = \int_0^\infty \Phi_q(\tau) \exp(-t_k/\tau) d\tau \quad (5)$$

jelölést, a számított adatokat az

$$\eta_k^{\text{calc}} = \sum_{q=1}^Q B_q S_{kq} \quad (6)$$

lineáris kifejezéssel állíthatjuk elő, vagy mátrix írásmódban:

$$\boldsymbol{\eta}^{\text{calc}} = \mathbf{S} \mathbf{B}.$$

Bevezetjük a mért és számított látszólagos polarizációs adatok eltérésvektorát:

$$\mathbf{e} = \boldsymbol{\eta}^{\text{obs}} - \boldsymbol{\eta}^{\text{calc}}. \quad (7)$$

A TAU-transzformációs probléma inverz feladatként fogalmazható meg. Ha a diszkrétizációt megfelelő módon végezzük, elérhető, hogy a mérési adatok száma meghaladja a sorfejtési együtthatók számát. Ekkor az inverz feladat túlhatározott, megoldását a (6) eltérésvektor (L_2) normájának minimalizálásával állíthatjuk elő. Ez a legkisebb négyzetek módszere, amely (lineáris inverzió esetén) az ismert

$$\mathbf{S}^T \mathbf{S} \mathbf{B} = \mathbf{S}^T \boldsymbol{\eta}^{\text{obs}}.$$

normálegyenlet-rendszerre vezet. Az egyenletrendszert megoldva

$$\mathbf{B} = (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T \boldsymbol{\eta}^{\text{obs}}$$

a mérési adatok alapján előállított sorfejtési együtthatókkal, a $w(\tau)$ időállandó-spektrum (3) alapján számítható.

A Φ_q bázisfüggvények alkalmas megválasztása a feladattól függ. Általános esetben (numerikus szempontból) hasznos lehet a Legendre-polinomok szerinti sorfejtés. A környezetgeofizikai alkalmazásokban fontos szerepet kapnak az intervallumon konstans függvények, mivel a gyakorlatban fontos időállandó-tartomány viszonylag szűk, így (az alábbiak szerint) elegendő mindössze négy intervallumra osztani. Ekkor a τ_q körüli, 2Δ kiterjedésű intervallumon a bázisfüggvényt így választhatjuk:

$$\Phi_q(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{ha } |\tau - \tau_q| \leq \Delta, \\ 0 & \text{egyébként,} \end{cases}$$

amellyel a (6) mátrixelemek analitikusan számíthatók. Előnye az ilyen diszkrétizálásnak, hogy a sorfejtési együtthatók ekkor közvetlenül az adott intervallumban érvényes (konsztans) időállandóspektrum-értéket adják meg. A (4) egyenletet ekkor a könnyen számítható

$$\eta_k = \sum_{q=1}^Q B_q \int_{\tau_q - \Delta}^{\tau_q + \Delta} \exp(-t_k/\tau) d\tau$$

alakban adhatjuk meg.

A GP-módszer korábbi gyakorlatához illeszkedik a Dirac-féle delta-függvények szerinti sorfejtés, amely az ún. „vonalas” időállandó-spektrum leírására alkalmas (Turai, Dobróka 2001). A (3) egyenlet ekkor így írható:

$$w(\tau) = \sum_{q=1}^Q B_q \delta(\tau - \tau_q),$$

ahol τ_q a q -edik diszkrét polarizációs mechanizmushoz tartozó időállandó. A direkt feladatot megfogalmazó (4) egyenlet,

$$\eta(t_k) = \eta_k = \sum_{q=1}^Q B_q \int_0^\infty \delta(\tau - \tau_q) \exp(-t_k/\tau) d\tau,$$

amely a Dirac-delta integrációs tulajdonsága miatt így is írható:

$$\eta_k = \sum_{q=1}^Q B_q \exp(-t_k/\tau_q),$$

ahonnan láthatjuk, hogy a sorfejtési együtthatók jelentése az adott τ_q időállandóhoz tartozó spektrális amplitúdó.

Az inverziót általános esetben és a fenti speciális esetekben egyaránt végezhetjük lineáris vagy globális eljárással is. Az utóbbi választásra példaként a Monte-Carlo-módszer alkalmazását mutatjuk be.

A TAU-transzformáció inverziós megoldása Monte-Carlo-eljárással

A gerjesztett polarizációs mérés során az $\eta(t)$ görbét mérjük diszkrét időpontokban. A közege a τ időállandóhoz tartozó spektrális amplitúdó hordoz információt. Az amplitúdó-spektrumra vonatkozó fontos feltétel:

$$\int_0^\infty w(\tau) d\tau = 1,$$

vagy diszkretizáció után

$$\sum_{q=1}^Q w_q = 1.$$

A (τ, w) modellparaméterek Monte-Carlo-módszer szerinti generálása előtt meg kell határozni, hogy hány komponens, azaz hányféle típusú polarizáció hatását keressük az adatrendszerünkben. Vizsgálatainkban négy komponensre történő inverziót végeztünk ($Q = 4$), a direkt feladatot a fentiekben bemutatott Dirac-féle delta-függvénnyel diszkretizált formában írtuk fel (a sorfejtési együtthatók ekkor egyszerűen a spektrális amplitúdók). A négy (τ, w) -pár generálása után a számított görbének a mért görbéhez való optimális illeszkedését a mért és a számított polarizálhatósági görbék L_2 normájának a minimuma jelöli ki:

$$\min \|e\|_2 = \min \sqrt{\frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} \left(\frac{\eta_{\text{obs}}(t_i) - \eta_{\text{calc}}(t_i)}{\eta_{\text{obs}}(t_i)} \right)^2},$$

ahol η_{obs} a mért adatokból előálló polarizálhatósági görbe, η_{calc} a Monte-Carlo-módszerrel generált adatokból számított polarizálhatósági görbe, N_t a mérési időpontok száma. A mérést az IRIS SYSCAL 72 csatornás műszerrel végeztük, amely teljes, 72 elektródából álló terítés, és Wenner-elektroda-elrendezés esetén 744 pontban, s minden vonatkozási pontban, $N_t = 20$ időpillanatban méri a GP-adatot. Az illesztést minden térbeli mérési pontra végre kell hajtani. A bemutatott szelvények esetén az algoritmus a minimális hibával illeszkedő számított görbét keresi oly módon, hogy 100 000 véletlenszerűen generált görbét ellenőriz. Amennyiben nem talál köztük 1%-nál kisebb eltéréssel illeszkedőt, akkor ismét 100 000 görbét számít ki újra véletlenszerűen generált paraméterekkel, és az elfogadási hibahatárt 1%-

kal növeli. Ezt a hibahatár-növelést és újragenerálást addig folytatja, míg nem talál az aktuális hibahatáron belül illeszkedő, számított lecsengési görbét. Az egész adatrendszerre kalkulált átlagos hiba a példaként bemutatandó terepi adatrendszer esetén 6,15%. Végeredményként a legjobb illeszkedésű számított görbe komponenseinek w és τ értékeit tároljuk el táblázatos formában, minden térbeli mérési vonatkoztatási ponthoz, és ezekből az időállandók ismeretében, azok amplitúdóját felhasználva szerkesztünk szelvényeket, ezzel ábrázolva az egyes komponensek hatását. (Az említett 100 000-es érték természetesen tetszőlegesen változtatható, de a tapasztalat szerint ennek jelentős növelésével már nem érhető el lényegesen jobb eredmény, ennél kevesebb próbálkozás azonban nagy eséllyel rontja az inverzió eredményét. Ezt támasztja alá az is, hogy többszöri futtatás után az adatrendszerre számolt átlagos hiba értéke közelítőleg mindig ugyanannyi, habár a számított adatokból szerkesztett szelvények minimálisan eltérhetnek egymástól.)

Fontos kikötésként alkalmaztuk, hogy a terepi $\eta(t)$ lecsengési görbének szigorúan monoton csökkenőnek kell lennie. Ezenkívül nem engedjük meg a görbe negatív tartományba való átcusúsását sem. Mindkét kikötés meglehetősen szigorú, ami az adatrendszer zajosságát nagyban csökkenti, de jelentős adatvesztéssel is járhat, ugyanis a kikötéseknek nem megfelelő térbeli mérési pontokat kizártuk. Ezzel együtt az eljárás gyakorlati felhasználásra alkalmasnak bizonyult.

A szennyezettség mértékének és típusának becslésére szolgáló eljárás

A terepi mérések feldolgozásával kapott időállandó-spektrumok alapján az időállandók növekedésével a filtrációs, a membrán, a redox és a fémes polarizációk különíthetők el egymástól. Az időállandó-értékek eloszlása alapján a polarizáció típusa becsülhető (Turai 2004), melynek földtani okait az 1. táblázat mutatja. A filtrációs polarizáció elektromosan vezető fluidumot tartalmazó porózus talajokban és kőzetekben, a membránpolarizáció diszperz agyagtartalom jelenlétében, a redox polarizáció oxidációt illetve redukciót okozó szennyezőanyagok esetén, míg a fémes (metallikus) polarizáció fémesen vezető talajkomponensek megjelenésekor lép fel.

1. táblázat | A polarizáció típusa és a polarizáció földtani okai

A polarizáció típusa	A polarizáció földtani okai
filtrációs polarizáció	Elektromosan vezető fluidumot tartalmazó porózus talajok és kőzetek
membránpolarizáció	Diszperz agyagot és vizet tartalmazó porózus talajok és kőzetek
redox (elektrokémiai) polarizáció	Oxidatív vagy redukzív hatású kémiai szennyezések
fémes (elektroda-) polarizáció	Fémesen vezető anyagok ionosan vezető fluidumot tartalmazó kőzetekben

A veszélyes környezetszennyezések okozta redox és fém-polarizációk nagyobb időállandókkal ($\tau > 1$ sec), míg a kevésbé veszélyes filtrációs és membránhatások kisebb időállandókkal ($\tau < 1$ sec) jelentkeznek, ezért a szennyezések fokának a jellemzésére bevezettük (Turai 2004) az időállandóval súlyozott amplitúdóértéket (WAV – *Weighted Amplitude Value*), amely a veszélyesebb polarizációk amplitúdóját megnöveli, a kevésbé veszélyes polarizációk súlyát pedig csökkenti:

$$\text{WAV} = \tau \cdot w(\tau).$$

Az újabb terepi mérések közül a tiszapalkonyai zagytározó esetében végzett szennyezettségi elemzéseket teljes körűen a IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencián (Turai et al. 2008) mutattuk be.

A korábbi terepi mérések adatainak újrafeldolgozása mellett több szennyezett területen (Nyékládháza – 2006, Berekbőszörmény – 2007, Nagytétény – 2008, Darvastó – 2008, Nagytárcsán – 2008, Miskolc-Hejőpart – 2008, Miskolc-Bedő-hegy – 2009) új terepi méréseket is végeztünk.

Ezek az eredmények igazolták, hogy a polarizációs szennyezettség mértékének a becslésére az időállandóval súlyozott amplitúdóspektrum-érték (WAV) minden mérési területen alkalmas volt. A szennyezettség okáról megállapítható, hogy a kisebb időállandóval ($\tau < 1$ sec) jelentkező komponensek a környezetszennyezés szempontjából veszélytelen filtrációs és membránpolarizációkhoz köthetők, melyeket a talaj elektromosan vezető fluidumtartalma, valamint a diszperz agyagtartalma okoz. A környezetszennyezés szempontjából veszélyes elektrokémiai és fém-hatások okozta

redox és metallikus (elektróda-) polarizációk viszont nagyobb időállandójú ($\tau > 1$ sec) komponensekkel jelentkeznek. Az előzők alapján tehát a környezeti szennyezés szempontjából veszélyesebb redox és fém-szennyezések által érintett térrészek lehatárolhatók.

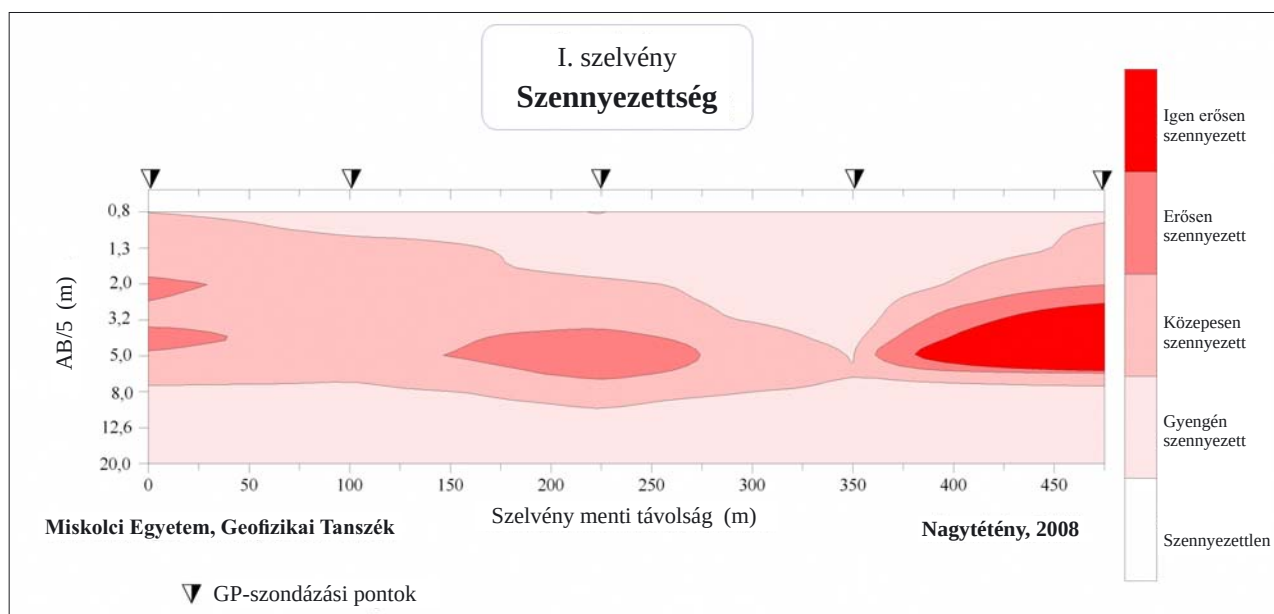
Bevezettük továbbá az időállandó-spektrum ($w(\tau)$) és a fajlagos elektromos vezetőképesség (σ) szorzataként a korrigált elektromos vezetőképességet (σ_{corr}):

$$\sigma_{\text{corr}} = \sigma \cdot w(\tau).$$

Ennek a korrigált vezetőképességnek a terepi mérések eredményeiből számított 100 mS/m értéktől nagyobb tartománya szintén alkalmas az erősen szennyezett térrészek lehatárolására (Turai et al. 2008).

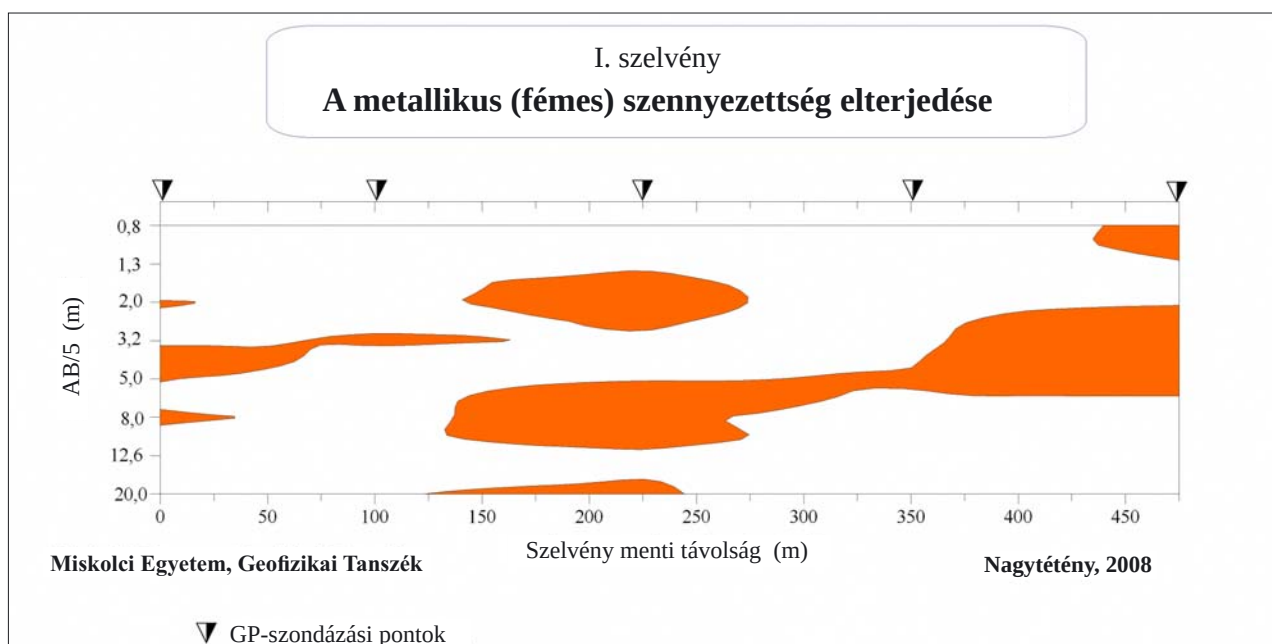
Néhány terepi mérés feldolgozásának eredménye

A nagytétényi kommunális hulladéklerakó felett 2008. júliusában mért IP-mérések TAU-transzformációjának az eredményeiből mutatjuk be az 1. szelvény menti kiértékelést a következőkben. Az 1. ábrán a TAU-transzformáció után kapott WAV-értékek alapján becsült szennyezettség vertikális metszete látható. Az ábra azt mutatja, hogy a vizsgált hulladéklerakónál igen erős szennyezés is fellép. Az időállandó-értékek alapján megállapítható, hogy a polarizációt főként a fém, fém-sós (2. ábra) szennyezettség okozta a diszperz agyagos (3. ábra) és a redox (4. ábra) hatások mellett.



1. ábra Nagytétényi kommunális hulladéklerakó felett számított WAV-metszet (szennyezetlen: $\text{WAV} < 2\%$, gyengén szennyezett: $2\% < \text{WAV} < 5\%$, közepesen szennyezett: $5\% < \text{WAV} < 10\%$, erősen szennyezett: $10\% < \text{WAV} < 20\%$, igen erősen szennyezett: $\text{WAV} > 20\%$)

Figure 1 Vertical WAV section calculated over a communal waste site near Nagytétény (non-contaminated: $\text{WAV} < 2\%$, less contaminated: $2\% < \text{WAV} < 5\%$, middle contaminated: $5\% < \text{WAV} < 10\%$, highly contaminated: $10\% < \text{WAV} < 20\%$, very highly contaminated: $\text{WAV} > 20\%$)



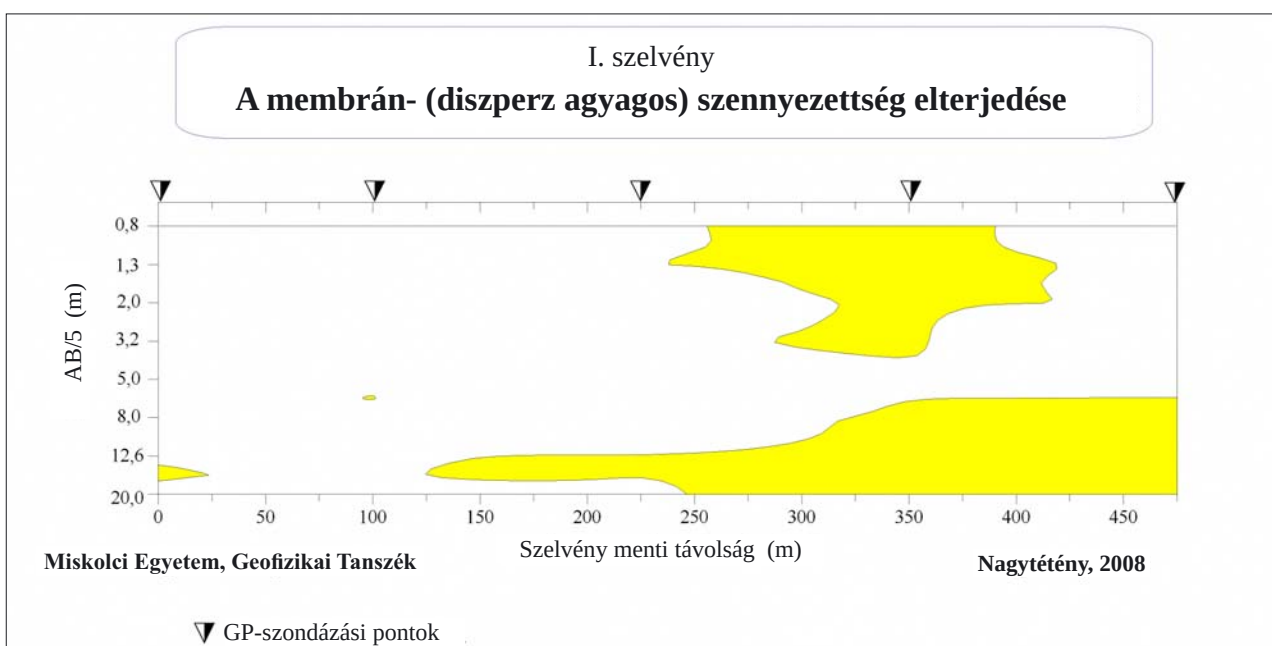
2. ábra | A fémes polarizáció elterjedésének vertikális metszete a nagytétényi kommunális hulladéklerakó esetén ($\tau > 1,0$ sec)

Figure 2 | Vertical section of metallic polarization over the Nagytétény communal waste site (time constants are higher than 1 second)

Az 5. ábrán a nagytétényi, a 6. ábrán pedig a berek-böszörményi hulladéklerakó esetében számított korrigált vezetőképesség vertikális metszetét mutatjuk be, bejelölve a metszeteken a 100 mS/m értékű határvonalat.

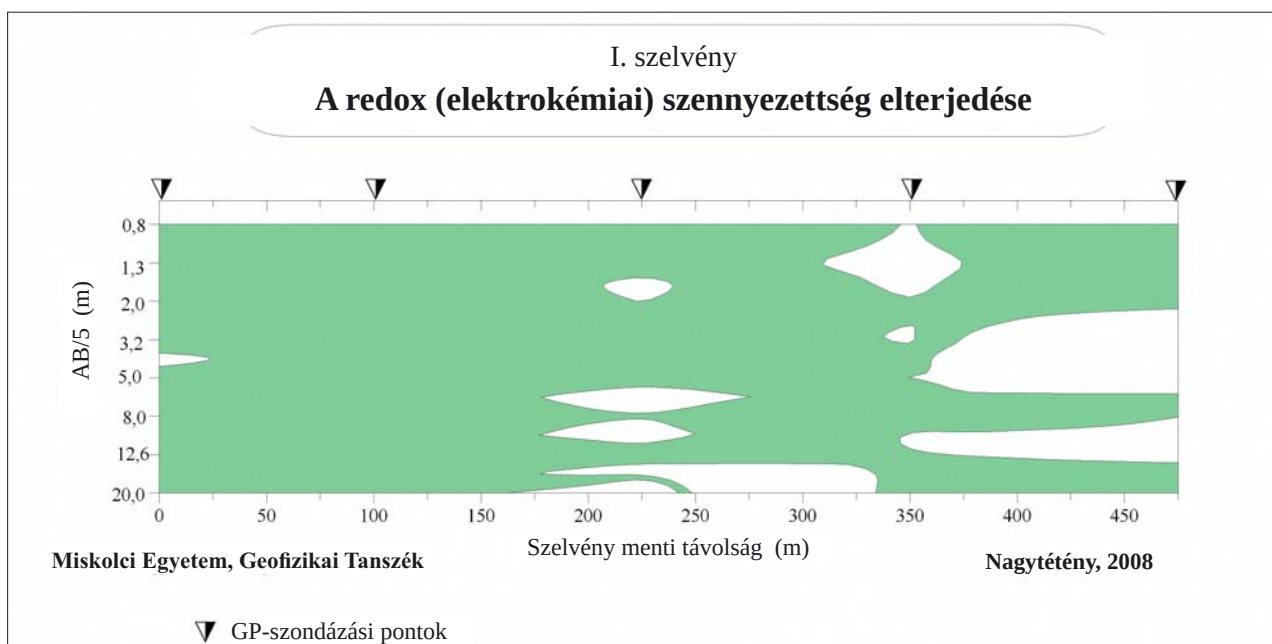
A Miskolc-Bedő-hegy területén lévő szánkópálya alatti földtani felépítést, 2009 tavaszán – hallgatói terepi gyakor-

lat keretében – az IRIS SYSCAL Pro (72 Ch.) multielektrodás műszerrel végzett méréssel vizsgáltuk. A mérési eredmények 2D inverziójával a felszín alatt 40 méteres mélységig megkaptuk a földtani felépítés fajlagos ellenállás-eloszlásának vertikális képét (7. ábra), valamint a 8. ábrán látható polarizálhatóság eloszlásának vertikális metszetét.



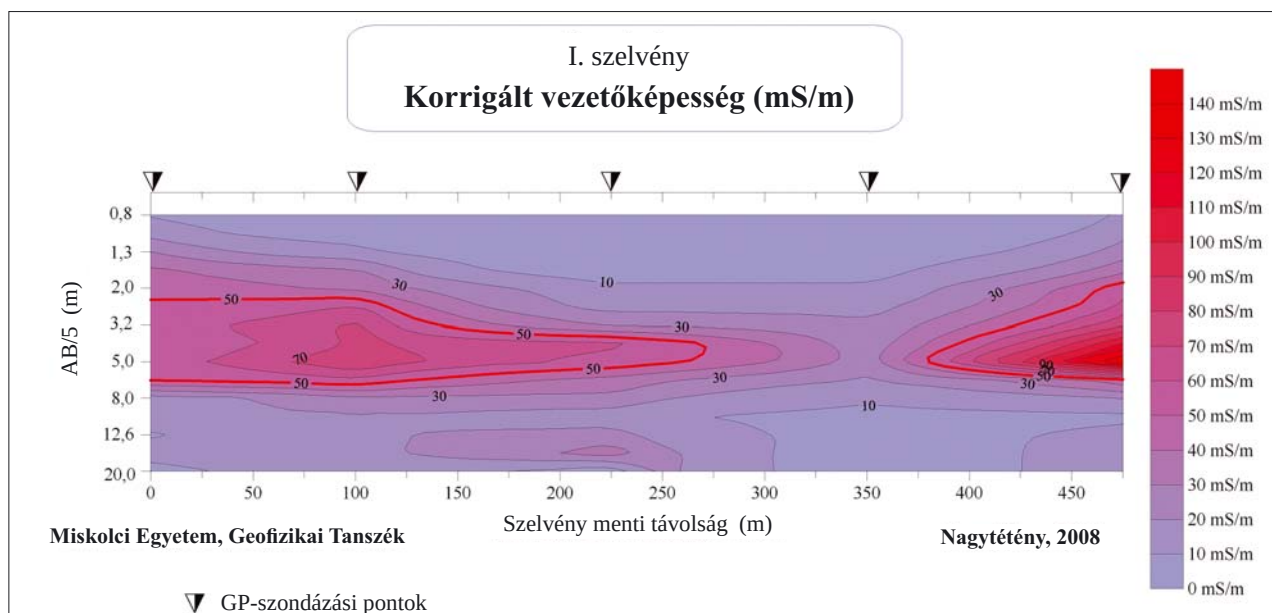
3. ábra | A membránpolarizáció elterjedésének vertikális metszete a nagytétényi kommunális hulladéklerakó esetén ($0,2 \text{ sec} > \tau > 0,8 \text{ sec}$)

Figure 3 | Vertical section of membrane polarization over the Nagytétény communal waste site (time constants are between 0.2 and 0.8 second)



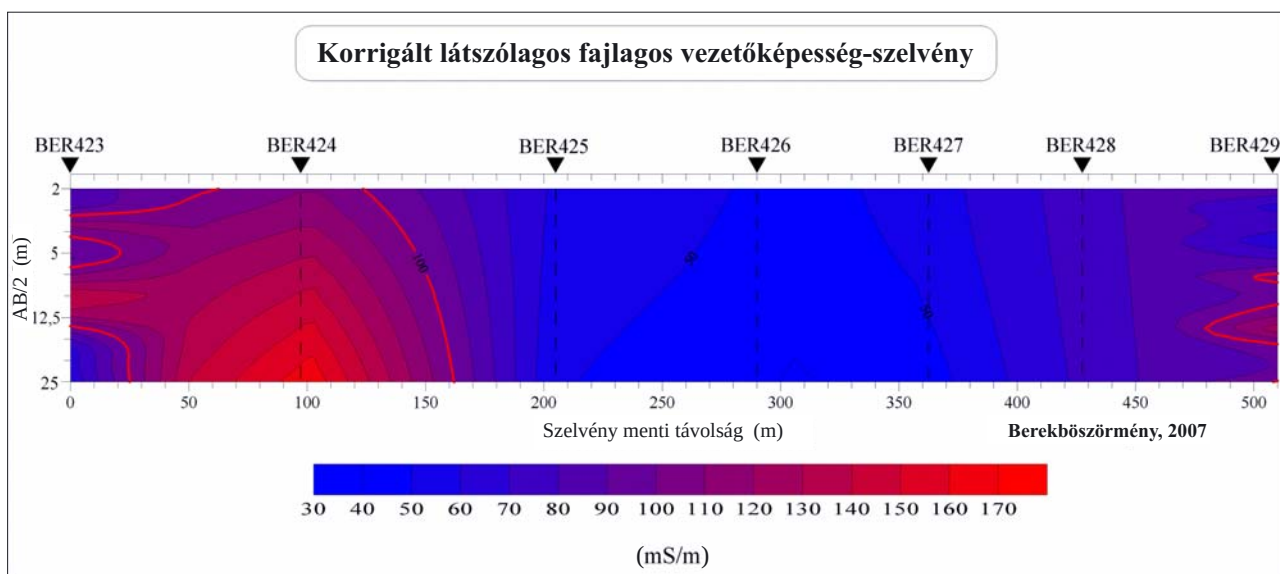
4. ábra | A redox polarizáció elterjedésének vertikális metszete a nagytétényi kommunális hulladéklerakó esetén ($0,6 \text{ sec} < \tau < 1,2 \text{ sec}$)

Figure 4 | Vertical section of redox polarization over the Nagytétény communal waste site (time constants are between 0.6 and 1.2 second)



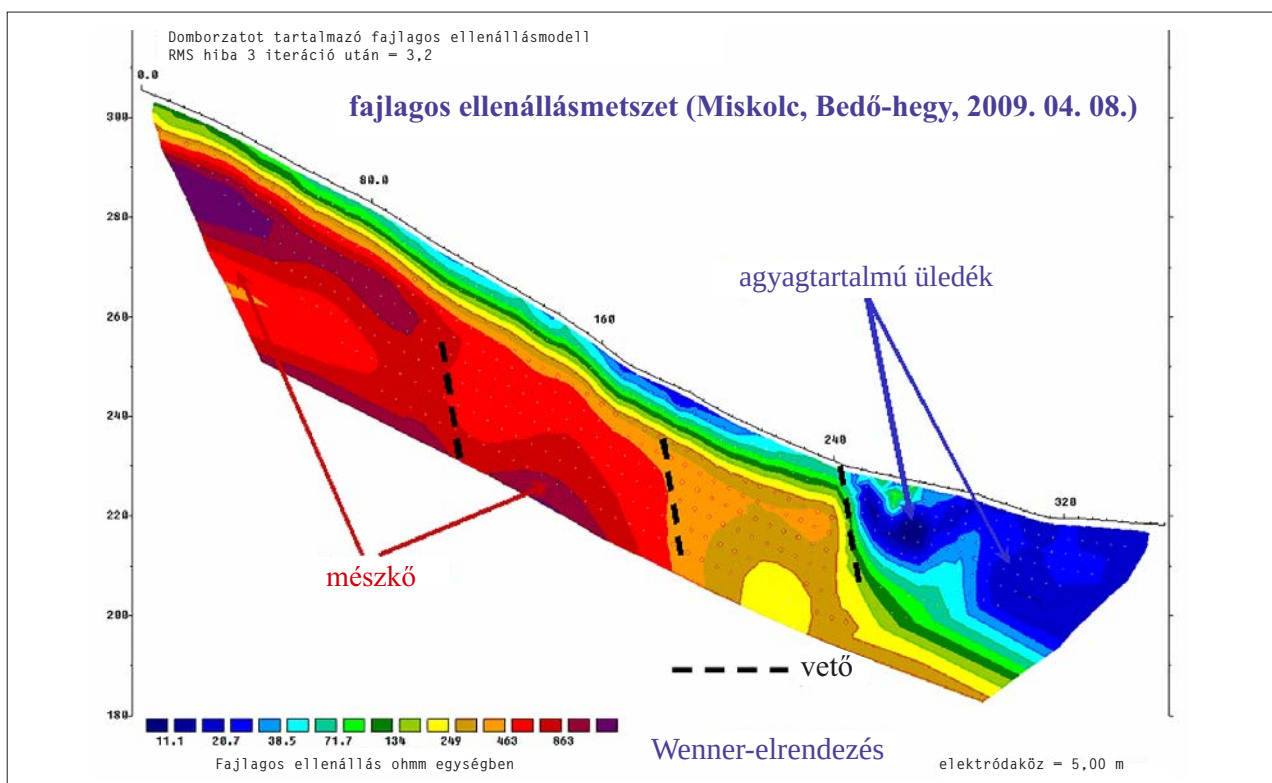
5. ábra | A korrigált fajlagos vezetőképesség vertikális metszete (Nagytétény, 2008)

Figure 5 | Vertical section of corrected conductivity (Nagytétény, 2008)



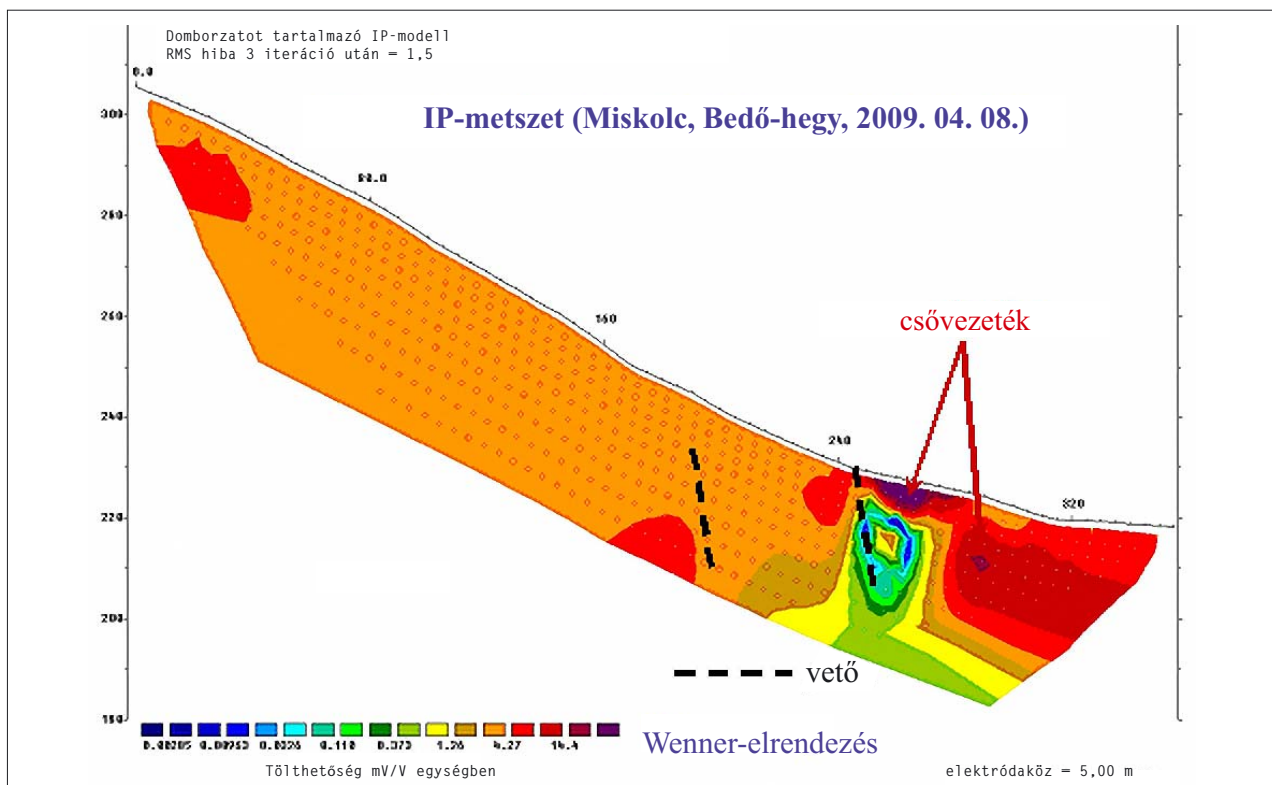
6. ábra | A korrigált fajlagos vezetőképesség vertikális metszete (Berekbőszörmény, 2007)

Figure 6 | Vertical section of corrected conductivity (Berekbőszörmény, 2007)



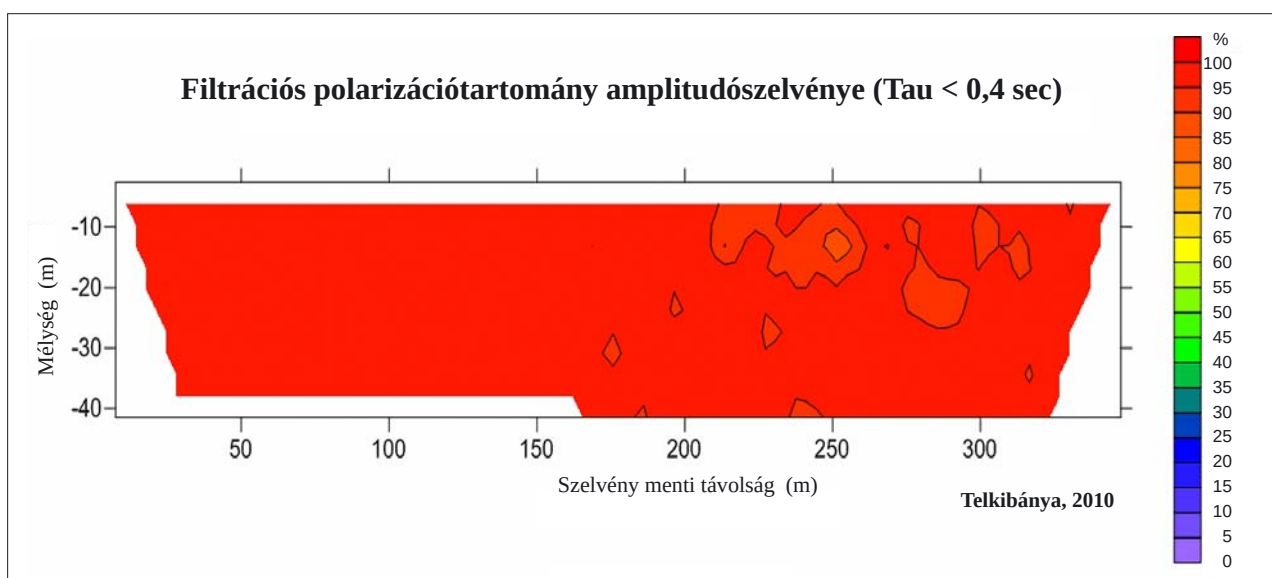
7. ábra | A földtani felépítés fajlagos ellenállásképeének vertikális metszete. (Horizontális skála: 16,41 pixel per távolságegység; a vertikális nagyítás mértéke a modellmetszeten = 1,70; az első elektróda 0,0 méternél, az utolsó elektróda 355,0 méternél helyezkedik el)

Figure 7 | Vertical section of resistivity image of the geological structure. (Horizontal scale is 16.41 pixels per unit spacing; vertical exaggeration in model section display = 1.70; first electrode is located at 0.0 m; last electrode is located at 355.0 m)



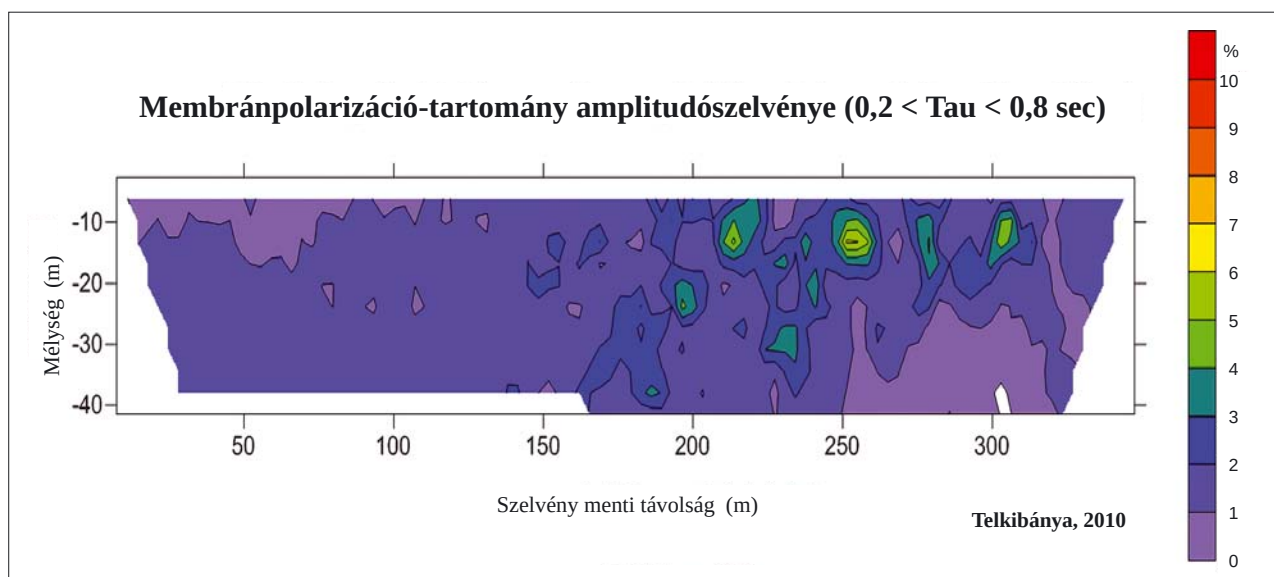
8. ábra A földtani felépítés polarizálhatósági képének vertikális metszete. (Horizontális skála: 16,41 pixel per távolságegység; a vertikális nagyítás mértéke a modellmetszeten = 1,70; az első elektróda 0,0 méternél, az utolsó elektróda 355,0 méternél helyezkedik el)

Figure 8 Vertical section of polarizability image of the geological structure. (Horizontal scale is 16.41 pixels per unit spacing; vertical exaggeration in model section display = 1.70; first electrode is located at 0.0 m; last electrode is located at 355.0 m)



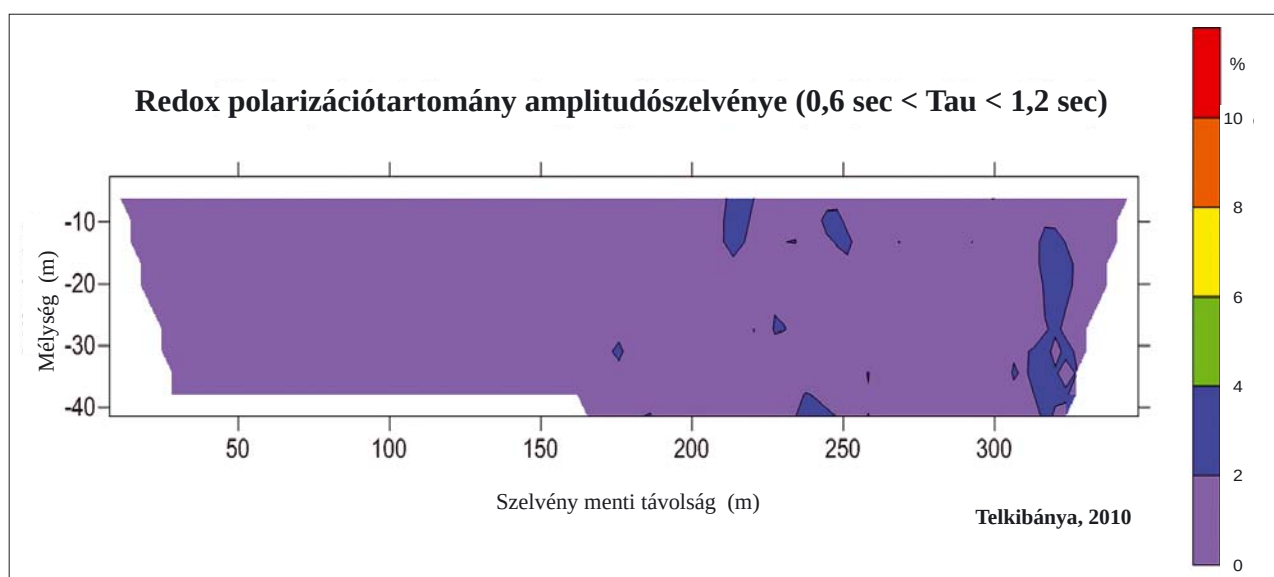
9. ábra A filtrációs polarizáció jelenléte a közegben

Figure 9 Location of filtration polarization in media



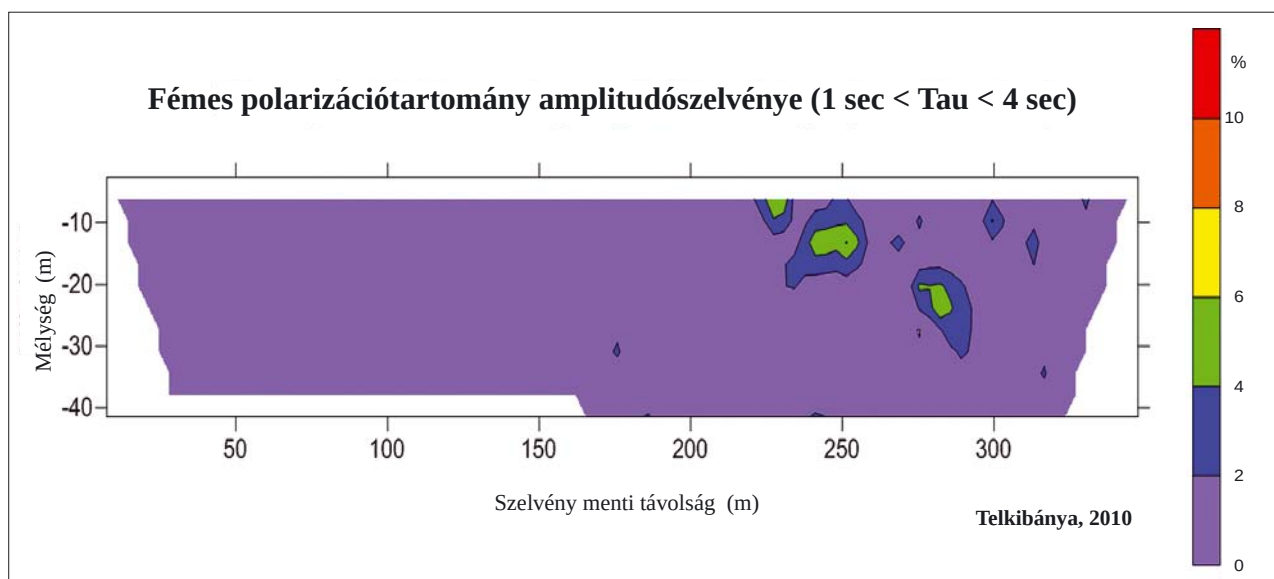
10. ábra | A membránpolarizáció kiterjedése a közegben

Figure 10 | Location of membrane polarization in media



11. ábra | A redox polarizáció kiterjedése a közegben

Figure 11 | Location of redox polarization in media



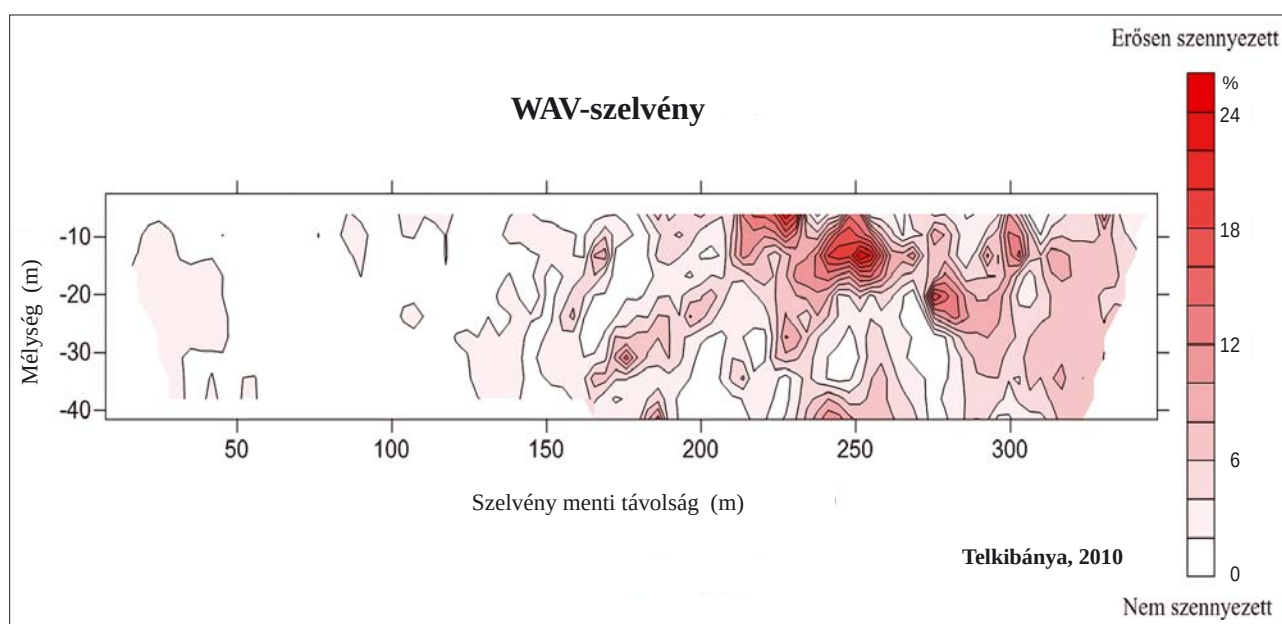
12. ábra | A fémes polarizáció kiterjedése a közegben

Figure 12 | Location of metallic polarization in media

Az eloszlásképek alapján vizsgálható a lejtőtörmelék, valamint az alatta megjelenő két mészkőszint vastagsága és kiterjedése, kijelölhetők a vetők és a szánkópálya alján, a talajban lévő csővezeték helye.

Az időállandó-spektrum számítására kifejlesztett Monte-Carlo inverziós módszerrel többek között a telkibányai (2010) mérés eredményét dolgoztuk fel. A 13. ábrán bemutatott WAV-metszet maximumai a kőzet ércesedési helyeire utalhatnak a metallikus polarizációs hatás miatt. Az itt be-

mutatott mérés 5 méteres elektróda-közzel, Wenner-elrendezésben történt. Négy polarizációtípusnak megfelelő komponenszt keresett a program a lecsengések vizsgálatakor. Az alábbi ábrákon az időállandó-tartományonként így kapott amplitúdószelvények (9–12. ábra), valamint a WAV-szelvény (13. ábra) látható. Az utóbbin az „Erősen szennyezett” jelölésű zóna természetesen az ércesedést valószínűsíti, nem pedig valódi szennyező anyagot a talajban, de ezek GP-lecsengésben mutatott hatása a fémes polarizáció miatt



13. ábra | Monte-Carlo inverziós módszerrel számított WAV-metszet (Telkibánya, 2010)

Figure 13 | Vertical WAV section calculated Monte Carlo inversion method (Telkibánya, 2010)

használó. Két zónában mutatkozik meg ez a hatás, az egyik kb. 15, a másik pedig kb. 25 méteres mélységben, a terítés mentén 250–275 méteres intervallumban. Ezeknek a zónáknak a környékére eleve jellemző, hogy az algoritmus nagyobb időállandókat és azokhoz nagyobb amplitúdókat talált, mint a szelvény többi részén.

A 9. ábra a filtrációs polarizáció amplitúdóeloszlásának vertikális metszetét mutatja. A lecsengésekben dominánsan jelenlévő, alacsony időállandójú komponens nagy amplitúdóval (közel 100%-os) jelentkezik, kivétel a szelvény „jobb felső” negyedében, ahol 90% körüli értékre csökken. Ennek magyarázata a talaj nagy nedvességtartalma, mivel a mérés erős esőzés után, egy patak völgyében, a völgy tengelyével párhuzamos szelvény mentén történt. Az időállandóval való súlyozás használhatóságát mutatja, hogy a WAV-paraméter (13. ábra) még ennek a domináns alacsony időállandójú komponensnek a hatását is elnyomja, és a környezetszennyezési, ércutatási szempontból érdekesebb hatásokat emeli ki.

A 10. ábrán látható membránpolarizáció a szelvényben mindenhol megfigyelhető, de amplitúdója alacsony, 10% alatti értéket vesz csak fel. Ez a hatás a talajban lévő diszperz agyagtartalomra utal.

A lecsengésekben a redox komponens alig van jelen, mindössze 0–4% közti amplitúdóval jelentkezik (11. ábra), ami arra utal, hogy a területen kémiai szennyezettség nem fordul elő.

A fém polarizációhoz köthető, nagyobb időállandójú komponensek amplitúdóeloszlása (12. ábra) ugyan mindenhol 10% alatti értékeket mutat, azonban a kialakuló anomáliák már érzékelhetően mutatják az ércdúsulások helyeit a talajban.

Összefoglalás

A sorfejtéses inverziós módszerekkel a gyakorlatban aránylag egyszerűen és eredményesen meghatározhatók az időtartománybeli gerjesztett polarizációs mérések időállandóspektrumai, melyek segítségével a közeg fém, redox, diszperz agyagos, valamint – az elektromosan vezető fluidumtartalomhoz kötött – filtrációs szennyezettségének a mértékét határozhatjuk meg. Az inverziós feldolgozás számos, szennyezett területen mért adat értelmezésének az alapját jelentette.

A meghatározott időállandóspektrum-értékeknek az időállandóval való súlyozása (WAV) kiemeli a veszélyesebb (nagyobb időállandóval jelentkező) redox és fém hatásokat, valamint elnyomja a természetben gyakran megjelenő (kevésbé veszélyes) membrán- és filtrációs anomáliákat, ezért a szennyezettség minősítésére a WAV-értékek előnyösen alkalmazhatók.

A cikkben bemutatott Monte-Carlo inverziós eljárással működő szoftver az IRIS SYSCAL Pro (72Ch.) műszerrel végzett sokelektrodás mérések TAU-transzformációs feldolgozását teszi lehetővé.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a Magyar Tudományos Akadémiát az MTA–ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport támogatásáért. A szerzők ezúton is megköszönik a T046765. számú OTKA projektben kapott kutatási támogatást, valamint a nagytétényi és a berekböszörményi méréseknél a Háromkő Bt. együttműködését.

Hivatkozások

- Keller G. W., Frischknecht F. C., 1966: Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamon Press, Oxford
- Sumner J. S., 1976: Principles of Included Polarization for Geophysical Exploration. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Turai E., 1981: GP time-domain görbék TAU-transzformációja. Magyar Geofizika, XXII/1, 29–36
- Turai E., 1985: TAU-Transformation of Time-Domain IP Curves. Annales Univ. Scien. Budapestensis de Rolando Eötvös Nom., Sectio Geophysica et Meteorologica, I–II, 182–189
- Turai E., Dobróka M., 2001: On a Generalized TAU-Transform Method – Some Case Histories. Publications of the University of Miskolc, Series A, Mining, Geosciences, 59, 75–94
- Turai E., 2004: IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra. Geophysical Transactions, 44/3–4, 301–312
- Turai E., Dobróka M., Vass P., 2008: TAU-transformation of Time-Domain IP data measured over a slag ash site. IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008. március 28–29., Konferenciakiadvány, REXPO Kft., ISBN 978-963-06-4625-3, pp. 269–274
- Wait J. R., 1959: Overvoltage Research and Geophysical Applications. Pergamon Press, London