

Elektromágneses módszerfejlesztések a mérési adatokban lévő földtani információ hatékonyabb és stabilabb feltárása céljából (T046765. sz. OTKA-projekt)

TURAI ENDRE¹, DOBRÓKA MIHÁLY^{1,2}, TAKÁCS ERNŐ¹, SZABÓ ISTVÁN³,
SZABÓ NORBERT PÉTER¹, VASS PÉTER¹, HERCZEG ÁDÁM¹

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

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

³MOL NyRt. Kutatás-Termelés, Petrofizika, 5001 Szolnok Ady E. u. 26.

Az OTKA-téma keretében 3D elektromágneses (EM) globális inverziós szoftvereket fejlesztettünk ki. A szoftverekkel felszín közeli olajszenyezések inverziós rekonstrukcióját végeztük el.

Az EM módszerek esetére GIS alapú fejlesztést végeztünk, s GeoMedia Open GIS alatt működő rendszert hoztunk létre, amely lehetővé teszi az EM és IP paraméterek komplex képi és numerikus elemzését.

Sikeresen pályáztunk az Intergraph RRL programjára. GeoMedia WebMap alatt kifejlesztettük a GIS alapú rendszer hálózati kliens verzióját.

Vizsgáltuk a felszín közeli vetős szerkezetek és a csővezetékek hatását a H_z és az E_x/H_y térkomponensek amplitúdó- és fázisviszonyaira. A béléscsöves gerjesztésű geoelektromos szondázások adatainak inverziójára elkészült a „Cube3Dinv” elnevezésű program, melyben a direktfeladat megoldása integrálegenletes módszerrel történik.

Az IP módszer esetén elvégeztük az időálló-spektrum inverziós számításának továbbfejlesztését. Megoldottuk az időálló-spektrum Fourier-spektrumok segítségével történő meghatározását.

A korábbi terepi mérések adatainak újrafeldolgozása mellett négy szennyezett területen új terepi méréseket is végeztünk. Az eredmények igazolták, hogy a szennyezettség mértékének a becslésére alkalmas az időállóval súlyozott amplitúdóérték (WAV). Az időálló-spektrumok alapján a szennyezés szempontjából veszélyesebb redox és fémes hatások által érintett térrészek lehatárolhatók.

A szennyezés lehatárolására bevezettük a korrigált elektromos vezetőképességet.

Turai, E., Dobróka, M., Takács, E., Szabó, I., Szabó N. P., Vass, P., Herczeg, Á.: Development of Electromagnetic (EM) Methods tending to more efficient and more stable revelation of the geological information from field data (OTKA 046765)

In the framework of the research 3D electromagnetic (EM) global inversion software has been developed. We performed the inverse reconstruction of near-surface oil contaminations using this software.

A GIS based system under GeoMedia Open GIS has been developed for EM Methods, which makes possible the complex image and numerical analysis of EM and IP parameters.

Our application for the Intergraph RRL program membership was successful. We developed the network client version of the GIS based system.

The effects of the pipes and near surface structures with faults for the amplitude and phase relation of H_z and E_x/H_y parameters were examined. A software named “Cube3Dinv” for the inversion of geoelectric sounding data obtained by using well casing for transmission has been finished. The software uses integral equation method for the solution of the forward problem.

We elaborated the calculation of the IP time constant spectra using inverse methods. Determination possibility of time constant spectrum from Fourier spectra has been solved.

We performed four new field measurements over contaminated areas beside the data reprocessing of former field measurements. Results verified that the amplitude value waited with time constant (WAV) is suitable for the estimation of the contamination level. The dangerous contamination types, the areas touched by redox and metallic effects can be determined on the basis of time constant spectra.

Corrected electric conductivity has been introduced for the mapping of contamination.

Beérkezett: 2010. december 17.; *elfogadva:* 2011. március 3.

A többdimenziós integrálegyenletes numerikus modellezési módszerek fejlesztése területén elért fontosabb eredmények (1. résztema)

A 3D hibrid integrálegyenletes elektromágneses modellezés stabilitásának növelését célzó fejlesztéseket végeztünk, amely lehetővé tette a globális inverziós rendszerek előre-modellezési részében való alkalmazást. Az elemzések alapján az SA (*Simulated Annealing*) és a VFSA (*Very Fast Simulated Annealing*) inverziós módszer számítógépes algoritmusokban való alkalmazása mellett döntöttünk.

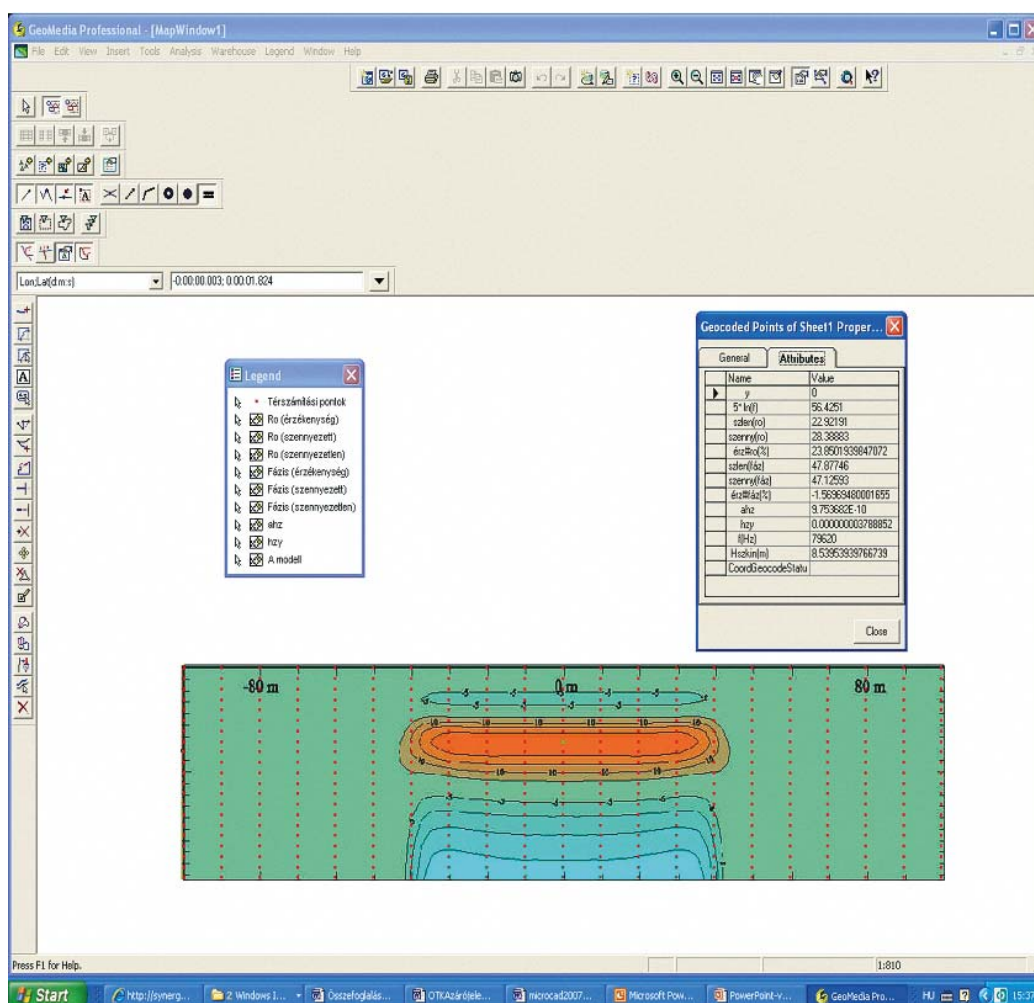
A továbbfejlesztett algoritmusok alapján 3D elektromágneses globális inverziós szoftvereket fejlesztettünk ki. A kifejlesztett inverziós szoftverekkel felszín közeli 3D olaj-

szennyezések inverziós rekonstrukciójának az elemzését végeztük el az olajszennyezések felett számított fajlagos-ellenállás- és a fázisadatok alapján. A 3D inverzió egyik eredményét foglalja össze az 1. táblázat, amely alapján megállapítható, hogy az inverzió hatékonyan működött, hiszen 230%-os startmodell-távolságról indítva, 3,16%-os eltéréssel becsülte meg a paraméterek értékeit.

A síkhullámú elektromágneses módszerek esetére térinformatikai (GIS) alapú rendszerfejlesztést végeztünk. Adatbázist állítottuk össze, amely a GeoMedia nyitott tér-

1. táblázat | Olajszennyezés 3D elektromágneses inverziójának eredménye

Modellparaméterek	$\rho_{\text{fedő}}$ (ohmm)	ρ_{olaj} (ohmm)	$\rho_{\text{fekü}}$ (ohmm)	H_{olaj} (m)	$H_{\text{fedő}}$ (m)	Adattávolság
Célmodell	20	500	5	3	7	–
Kezdőmodell	100	200	10	3,50	6,5	230 %
Inverzióval becsült	20,8	416,7	5,55	2,97	7,03	3,16 %



1.1. ábra | A fajlagosellenállás-értékek olajszennyezésre való érzékenységének vertikális eloszlásképe és a GIS adatbázisban végzett egyik keresés eredménye

Figure 1.1 | Vertical section of sensitivity distribution of the resistivity value for oil contamination and a query result from GIS database

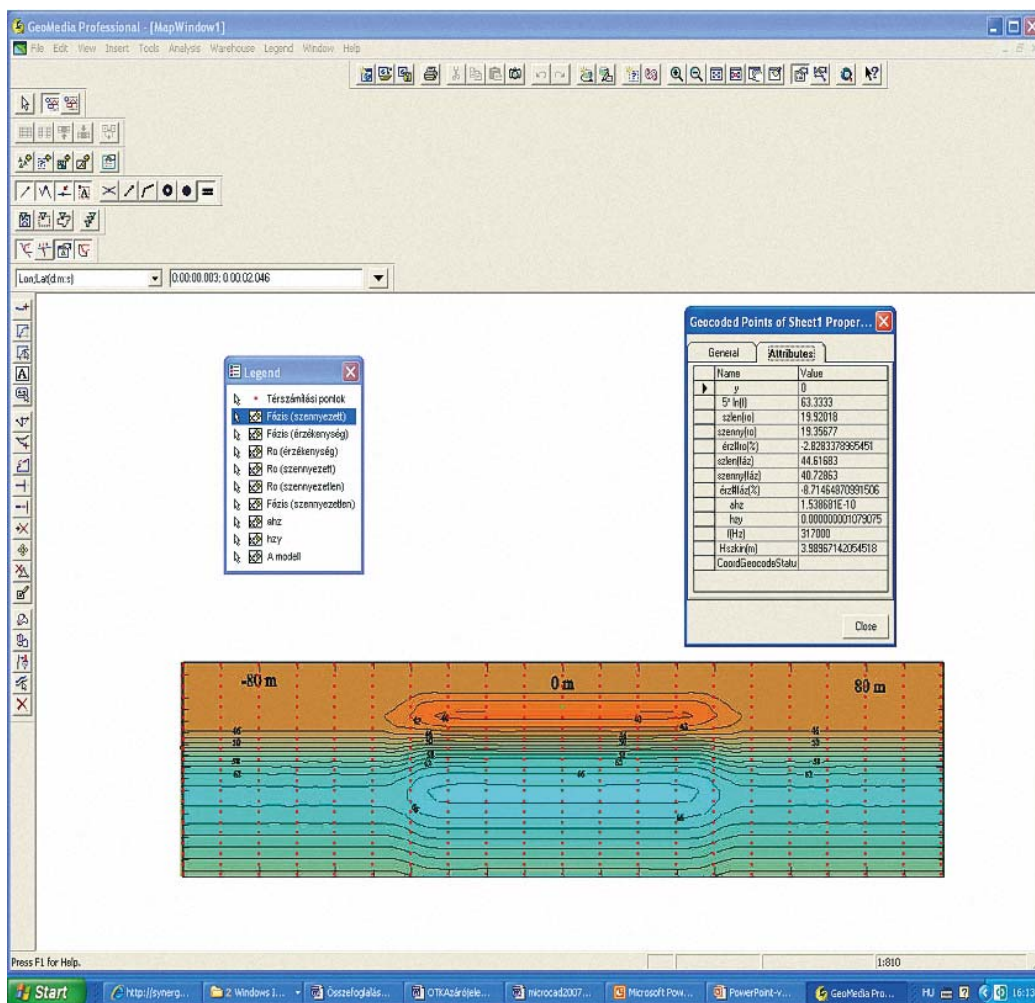
informatikai szoftver alá grafikus-alfanumerikus kapcsolatrendszerrel csatlakoztatható, s a modellezéssel kiszámítható elektromágneses paramétereket a térinformatikai rendszer tematikus dimenzióiként definiálva, lehetővé válik az EM paraméterek komplex képi és numerikus elemzése. A térinformatikai adatbázis alapján a GeoMedia Open GIS alatt működő geoinformatikai rendszert hoztunk létre.

A GIS adatbázis minden térszámítási pontban az EM primer (elektromos és mágneses térerősség-komponensek valós, képzetes, amplitúdó- és fázisértékei) és szekunder (frekvenciafüggő fajlagos ellenállás, impedanciák, impedanciafázis, H_z/H_y értékek, szkinmélység, érzékenységek) paraméterek numerikus értékeit tartalmazza, melyet saját fejlesztésű 3D hibrid integrálegyenletes eljárással számítottunk ki felszín közeli olajszenyvezést tartalmazó modellek és kommunális hulladéklerakó modellek esetére. Az alábbi ábrákon egy adott olajszenyvezést tartalmazó modellre összeállított GIS estében mutatunk be három szemléltető példát.

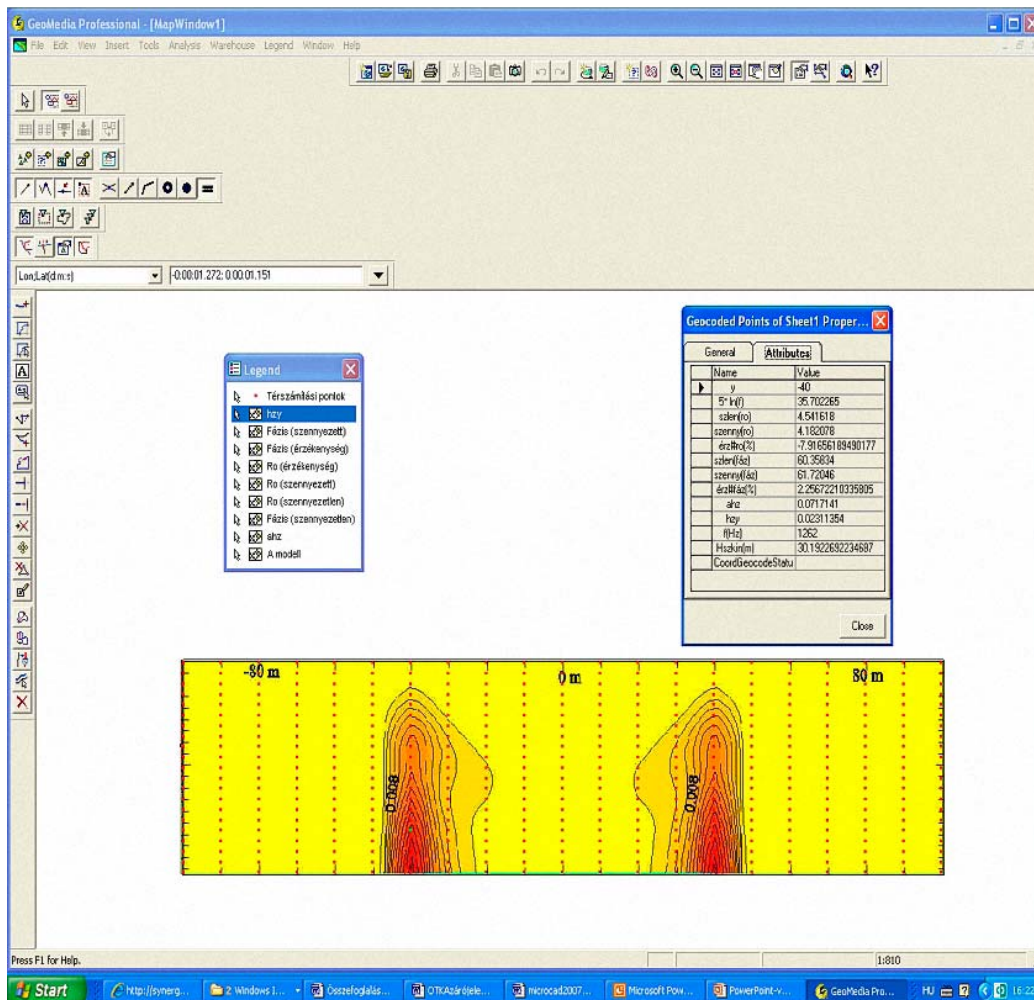
Az 1.1. ábrán a „Legend” ablak a kifejlesztett GIS tematikus dimenzióit mutatja, a munkaablakban alul, középen a

fajlagosellenállás-értékek olajszenyvezésre való érzékenységének vertikális eloszlásképe látható a modell y tengellyel párhuzamos szimmetriasíkjában, míg a „Geocoded Points of Sheet1 Proper ...” megnevezésű ablak az adatbázisban végzett egyik keresés eredményét szemlélteti. Az 1.2. ábra ugyanebben a szimmetriasíkjban mutatja be az impedanciafázis-értékek vertikális eloszlásképet és az adatbázisban végzett egyik keresés eredményét („Geocoded Points of Sheet1 Proper ...” ablak). A horizontális mágneses térerősség-komponensre (H_y) normált vertikális mágneses térerősség-komponens (H_z) modellbeli alakulásából az y tengellyel párhuzamos szimmetriasíkjban (1.3. ábra) megállapítható, hogy a H_z/H_y paraméter maximális értékei nagy biztonsággal kijelölik az olajszenyveződés laterális határait.

Az OTKA projekthez kapcsolódva sikeresen pályáztunk az Intergraph RRL (*Registered Research Laboratory*) programjában való részvételre, és 2006 januárjától két évig az Intergraph által támogatott kutatóhely lettünk. A támogatási időtartamon belül GeoMedia WebMap alatt kifejlesztettük a GIS alapú rendszer hálózati kliens verzióját.



1.2. ábra | Az impedanciafázis-értékek vertikális eloszlásképe és a GIS adatbázisban végzett egyik keresés eredménye
 Figure 1.2 | Vertical distribution section of the impedance phase value and a query result from GIS database



1.3. ábra | A H_z/H_y paraméter vertikális eloszlásképe és a GIS adatbázisban végzett egyik keresés eredménye

Figure 1.3 | Vertical distribution section of the H_z/H_y parameter value and a query result from GIS database

Laterális szerkezeti változások kutatása a fúrólukbéli elektródás – béléscső-elektródás – geoelektromos mérés szekunder mágneses komponenseivel (2. résztema)

A fúrólukak acél béléscsőve alatti tápelektrodának – vagy magának a béléscsőnek mint árambevezető elektródának – használata egyre gyakoribb témája a szakirodalomnak (Rocroi, Koulikov 1985, Asch, Morisson 1989, Szarka, Nagy 1992, Pellerin, Hohmann 1995, Takács et al. 1995, Ushijima et al. 1995, Takács et al. 2001). A széles frekvenciatartományú, béléscsőves, fúrásfelszíni frekvenciaszondázás elindításában a 80-as évek végétől a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének úttörő szerepe volt (Takács, Hursán 1998, W. Yang et al. 2009).

1. Az áramforrást a felszíni elektródákhoz és a béléscsőhöz, illetve a fúrólukbéli elektródához csatlakoztatva olyan elektromágneses tér hozható létre, amely kedvező sajátságú a fúrás környezetében előforduló laterális inhomogenitások térképezésére vagy a rétegsorban előálló vezetőképesség

változások időbeni megfigyelésére (Takács 1995). A módszer előnye a tisztán felszíni forrású méréshez képest a nagyobb kutatási mélység, továbbá az, hogy a felszínen mérhető mágneses komponenseket kizárólag a laterális inhomogenitások hozzák létre. A béléscsőves gerjesztéssel ugyanis elérhető, hogy horizontális rétegződés esetén a primer térerősségnek nincsenek mágneses komponensei. Ez azzal jár, hogy a mélybeli laterális inhomogenitások kis adó-vevő távolságokkal – a fúrás közelében is – kutathatók.

A mágneses komponensek megjelenése tehát már önmagában utal a laterális inhomogenitások meglétére. Anomáliáik rajzolata azonban meglehetősen bonyolult, és emiatt a diszkontinuitások helyének pontosabb megadásához a mért adatok inverziójára van szükség.

Az elektrodinamika törvényei szerint a felszíni mágneses teret azok a vízszintes síkú, mélybeli áramrendszerek hoz-

zák létre, amelyeknek a primer tér által az inhomogenitások felületén létrehozott elektromos töltések a forrásai. Ezen áramrendszer függőleges irányú szakaszainak a felszínen nincs mágneses tere. Ebből következően az inverzió feladata nem más, mint az anomáliát okozó áramrendszert felépítő, felszín alatti, horizontális elektromos dipólusok sorozata helyének megkeresése.

2. Az OTKA T046765. téma keretében kidolgozott inverziós algoritmus alapfeltevései az alábbiak (Takács 2002, Szabó 2006, Takács, Pethő 2009).

Az inverzióba bevont, felszín alatti térfogatot elemi kockákra osztjuk. E térfogat laterális és mélységi kiterjedését a felszíni anomáliakép alapján – a szélső értékek helyzete, félértékű távolságok, térbeli hullámhossz – vagy földtani ismeretek alapján választjuk meg. Az elemi kockákon átfolyó áramot a kockák középpontjában x és y irányú horizontális elektromos dipólusmomentumokkal helyettesítjük. Ezek a keresett ismeretlenek. A momentumok térbeli eloszlása jelöli ki az inhomogenitás helyzetét, kontúráját.

A félteret homogénnek vehetjük fel, mert a mélybeli elektromos dipólus normált felszíni mágneses tere – például a legnagyobb értékére normalva – a kvázistacionárius esetben a vízszintes rétegződéstől is független. A rétegződésnek ugyanis csak a térerősség nagyságát befolyásoló hatása van. A normált, relatív értékek izovonalrajzolata a rétegződéstől független.

A következőkben példaként csak a kvázistacionárius vertikális mágneses térerősség inverziójával foglalkozunk. A felszíni mérési háló i -edik pontjában a felszín alatti j -edik cella közepén levő m_x^j és m_y^j horizontális, elektromos dipólusmomentum-komponensek a Biot–Savart-törvény szerint

$$dH_z^i = -m_x^j(y^j - y^i)(R^{ij})^{-3} + m_y^j(x^j - x^i)(R^{ij})^{-3}$$

vertikális mágneses térerősség-komponenseket hoznak létre, ahol $m_x^j = i_x^j dv$, $m_y^j = i_y^j dv$ és i_x , i_y az áramsűrűség-komponenseket, dv a kocka térfogatát,

$$R^{ij} = \sqrt{(x^j - x^i)^2 + (y^j - y^i)^2 + (z^j)^2}$$

a felszín alatti kocka (x_j, y_j, z_j) középpontja, és az $(x_i, y_i, 0)$ felszíni pont közötti távolságot jelenti.

A felszíni i . pontban az inverzióba bevont teljes térfogat összes cellájából eredő vertikális mágneses összetevő

$$H_z^i = \sum_{j=1}^M [-m_x^j(y^j - y^i)(R^{ij})^{-3} + m_y^j(x^j - x^i)(R^{ij})^{-3}]$$

lesz.

Legyen az ismeretlen horizontális elektromos dipólusmomentum-összetevők transzponált vektora az

$$\bar{\mathbf{m}} = (m_{x_1}^1, \dots, m_{x_M}^M, m_{y_1}^1, \dots, m_{y_M}^M)^T$$

vektor, a mért vertikális mágneses térerősségek transzponált vektora pedig a

$$\bar{\mathbf{h}} = (H_z^1, \dots, H_z^N)^T$$

vektor, akkor az előremodellezés művelete az

$$\mathcal{A}\bar{\mathbf{m}} = \bar{\mathbf{h}}$$

lineáris egyenletrendszerrel adható meg, ahol a $2 \times M \times N$ méretű \mathcal{A} mátrix, az előremodellezés operátora csak a geometriai adatok függvénye.

A dipólusmomentumokra kezdőértékeket véve fel kiszámítható a vertikális mágneses térerősség közelítő $\bar{\mathbf{h}}^c$ adatrendszere. Ennek a mért adatrendszerrel való eltérése pedig megadja az

$$\bar{\mathbf{e}} = \bar{\mathbf{h}} - \bar{\mathbf{h}}^c$$

hibavektort. Az inverziós eljárások szokásos sémája szerint az m_x^j , m_y^j modellparamétereket a hibavektor euklideszi normájának minimalizálásával határozzuk meg, ami a következő normál egyenletrendszerre vezet

$$\mathcal{A}^T \mathcal{A} \bar{\mathbf{m}} = \mathcal{A}^T \bar{\mathbf{h}}.$$

A normál egyenletrendszer iterációs megoldására a konjugált gradiens – CG – módszert használtuk az

$$\varepsilon \leq \| \bar{\mathbf{h}} - \mathcal{A} \bar{\mathbf{x}} \| / \| \bar{\mathbf{h}} \|$$

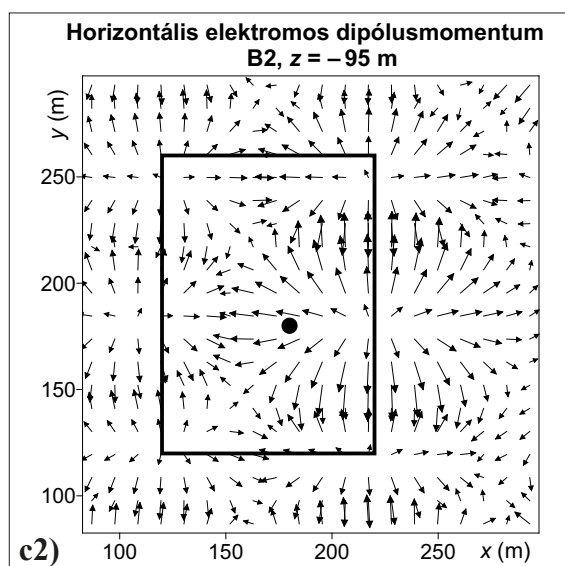
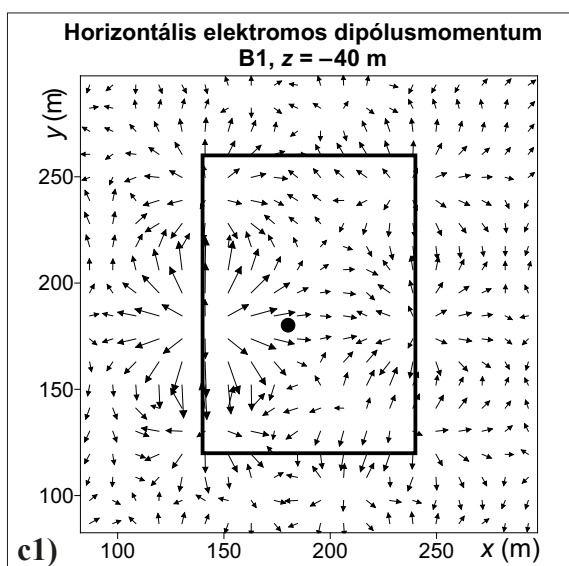
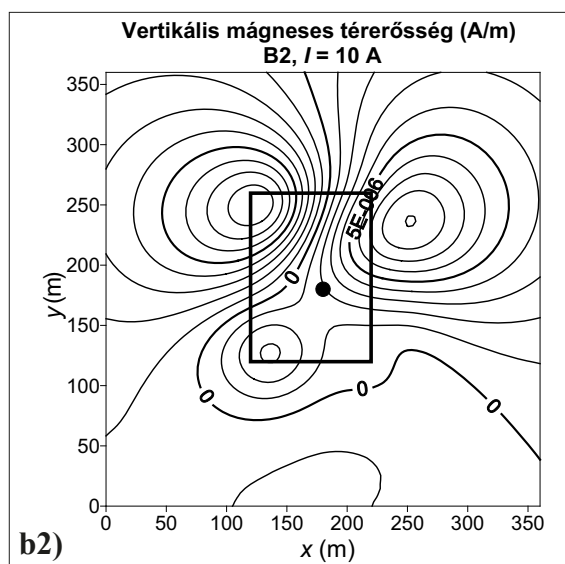
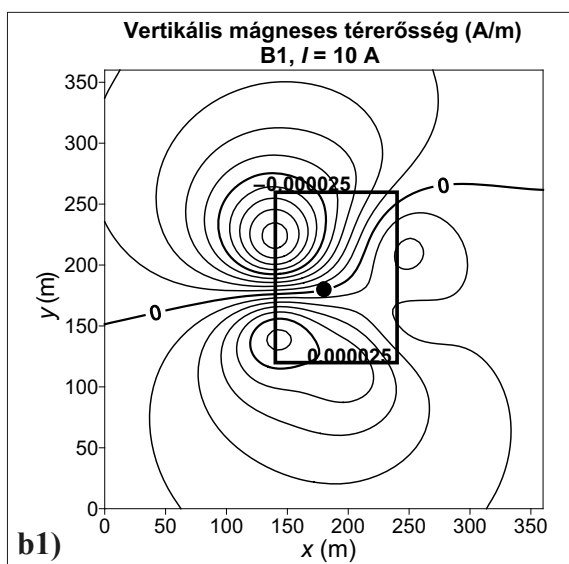
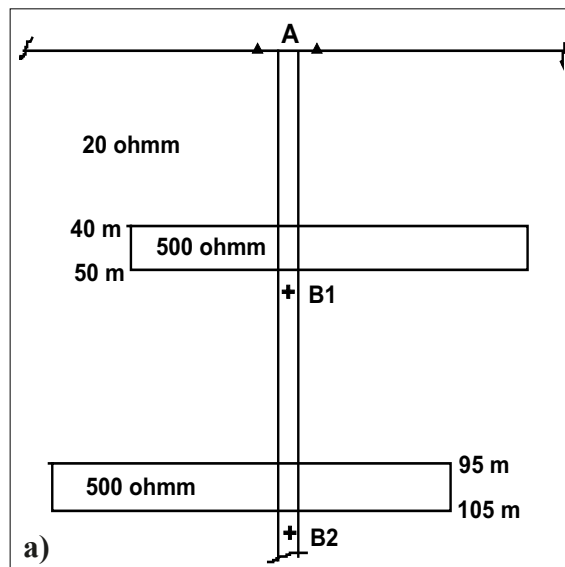
stop kritériummal, ahol ε egy megválasztott, kis értékű pozitív szám.

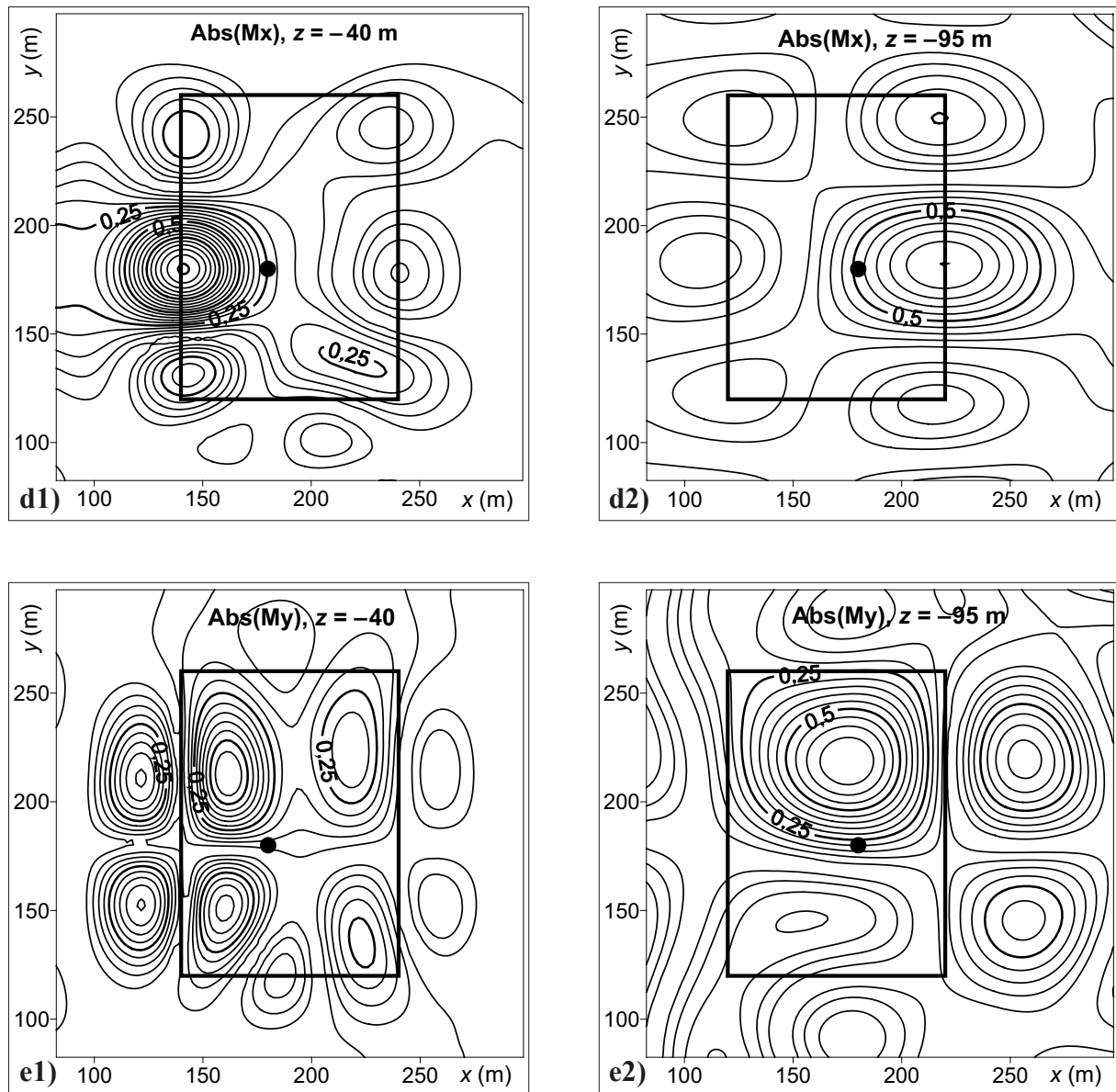
3. A bélésűcsőves gerjesztésnél a bélésűcsőbeli árameloszlás miatt a rétegsor legkisebb mélységben – a nagyobb áramsűrűségű térben – levő laterális inhomogenitásnak lesz domináló hatása a felszíni térerősségben. Az alatta levő laterális inhomogenitások csak nagyon kedvező esetben jelenhetnek meg elkülöníthető indikációval. Felszíni és fúrólukbeli tápelektrodákat használva viszont elérhető a laterális inhomogenitások mélységintervallumonkénti kutatása. A vizsgálatok szerint az acél bélésűcső alá, a cső sugarának ötszörösével mélyebbre helyezett tápelektrodával a bélésűcsőnek már nem lesz számottevő hatása a felszíni mérés eredményére. Így ez a mérés a fúrás folyamata alatt többször megismételhető különböző mélységű tápelektrodákat használva.

A fentiekben leírt inverziós eljárás hatékonyságát a bélésűcső alatti tápelektroda használatának esetére mutatjuk be egy numerikus modellezési eredményre. A *2.a ábrán* a 40 és 95 m fedőlapmélységű, vízszintesen eltolt helyzetű, a környezetükénél nagyobb fajlagos ellenállású hasábok lényegében ferde vetőket szimulálnak. A fúrólukbeli elektrodát először a felső, majd az alsó a hasáb alá juttatva a felszíni vertikális mágneses összetevőre először a *B1*, majd a *B2* elektroda környezetének lesz meghatározó hatása. A vertikális mágneses komponens adatait – *2.b ábra* – invertálva a fúrólukbeli elektrodák mélységtartományára – $220 \times 220 \times 10$ m méretű hasáb – kapott horizontális áramsűrűségvektorok (*2.c ábra*), valamint x és y irányú összetevőik – *2.d* és *2.e ábra* – egyértelműen mutatják a felső és alsó hasáb elektrodákhoz közelebbi 2-2 oldallapjának 20 m-rel eltolt helyzetét.

Az ábra szemlélteti a horizontális elektromos dipólusmomentumok indikációinak sajátosságait is. Például azt, hogy az oldallapokra merőleges elektromos komponens az

oldallap mentén helyi szélsőértékek sorozatával, a lappal párhuzamos komponens pedig nulla értékű vonalakkal – illetve a momentumok abszolút értékénél minimumsávval – jelöli ki a lap helyét. Nyilvánvalóan az inhomogenitás kontúrvonala az áramsűrűség-változás lokális jellege miatt folyamatosan nem rajzolódhat ki. Az egyes oldallapokhoz tartozó indikációk mértéke az elektródától való távolságuk függvénye, és így markánsan a fűráshoz közeli szakaszok jelennek meg. A kisméretű inhomogenitásoknál a közeli oldallapok indikációinak szuperpozíciója bonyolíthatja a képet. 3 dimenziós inhomogenitás esetében kedvező, ha az nagyjából szimmetrikus a fűráshoz képest. A megnyúlt – 2 dimenziósnak tekinthető – szerkezeti elemek, vetők jelentik a legkedvezőbb esetet.





2. ábra | A fúrólukbeli áramelektroda helyzetének szerepe a földtani információ mélység szerinti felbontásban

Figure 2 | Function of the current electrode position in bore-hole related to draw the geological information in depth

Az IP módszer környezetvizsgálati célú továbbfejlesztése területén elért fontosabb eredmények (3. résztema)

Az IP (Indukált Polarizáció) módszer esetén elvégeztük a TAU-transzformációval előállítható időálló-spektrum inverziós számításának továbbfejlesztését. A lokális inverziós algoritmusok mellett vizsgáltuk a globális inverziós módszerek alkalmazhatóságát (Turai et al. 2010).

Megvizsgáltuk az időálló-spektrum Fourier-spektrumok segítségével történő meghatározásának a lehetőségét. Ez a lehetőség a szakirodalomból eddig nem ismert, alapvetően új inverziós utat jelenthet.

A korábbi terepi mérések (kommunális hulladéklerakók és szennyezett területek) adatainak újrafeldolgozása mellett

három szennyezett területen (Nyékládháza – 2006, Berekböszörmény – 2007, Nagytétény – 2008) és egy zagytározón (Tiszapalkonya – 2004) új terepi méréseket is végeztünk.

A terepi mérések feldolgozásával kapott időálló-spektrumok alapján az időálló növekedésével a filtrációs, a membrán-, a redox és a fémes polarizációk különíthetők el egymástól. Az időálló-értékek eloszlása alapján a polarizáció típusa becsülhető (Turai 2004) melyek földtani okait a 2. táblázat mutatja. A filtrációs polarizáció elektromosan vezető fluidumot tartalmazó porózus talajokban és

2. 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
fém (elektroda) polarizáció	Fémesem vezető anyagok ionosan vezető fluidumot tartalmazó kőzetekben

kőzetekben, a membránpolarizáció diszperz agyagtartalom jelenlétében, a redox polarizáció oxidációt, illetve redukciót okozó szennyezőanyagok esetén, míg a fém (metallikus) polarizáció fémesen vezető talajkomponensek megjelenésekor lép fel.

Az eredmények igazolták, hogy a polarizációs szennyezettség mértékének a becslésére alkalmas az időállandóval súlyozott amplitúdóspektrum-érték (WAV – *Weighted Amplitude Value*). A szennyezettség okának vizsgálatakor 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 hatásokat okozta redox és metallikus (elektroda) 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, ezért a szennyezések fokának a jellemzésére bevezettük (Turai 2004) az időállandóval súlyozott amplitúdóértéket (WAV), amely a veszélye-

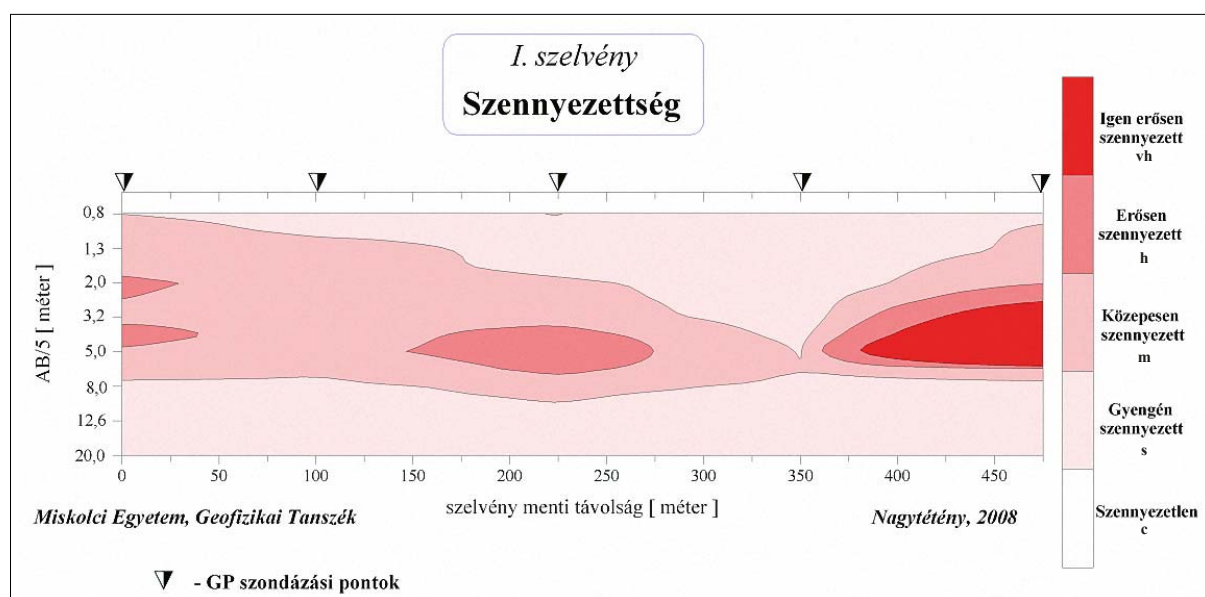
sebb polarizációk amplitúdóját növeli, a kevésbé veszélyes polarizációk súlyát pedig csökkenti:

$$WAV = \tau \cdot w(\tau).$$

A 3.1. ábrán a TAU-transzformáció után kapott WAV értékek alapján becsült szennyezettség vertikális metszete látható a nagytétényi kommunális hulladéklerakó felett. Az ábra azt mutatja, hogy a vizsgált hulladéklerakónál igen erős szennyezés is fellép. Az időállandó-értékek alapján megállapítható, hogy a polarizációt főként a fém, fémsós szennyezettség okozta a diszperz agyagos és a redox hatások mellett (Turai et al. 2010). A tiszapalkonyai salakpernye zagyatározó felett számított WAV metszet (3.2. ábra) csak közepes szennyezettséget mutat, amely a membrán és a redox polarizáció (Turai et al. 2008) miatt alakult ki.

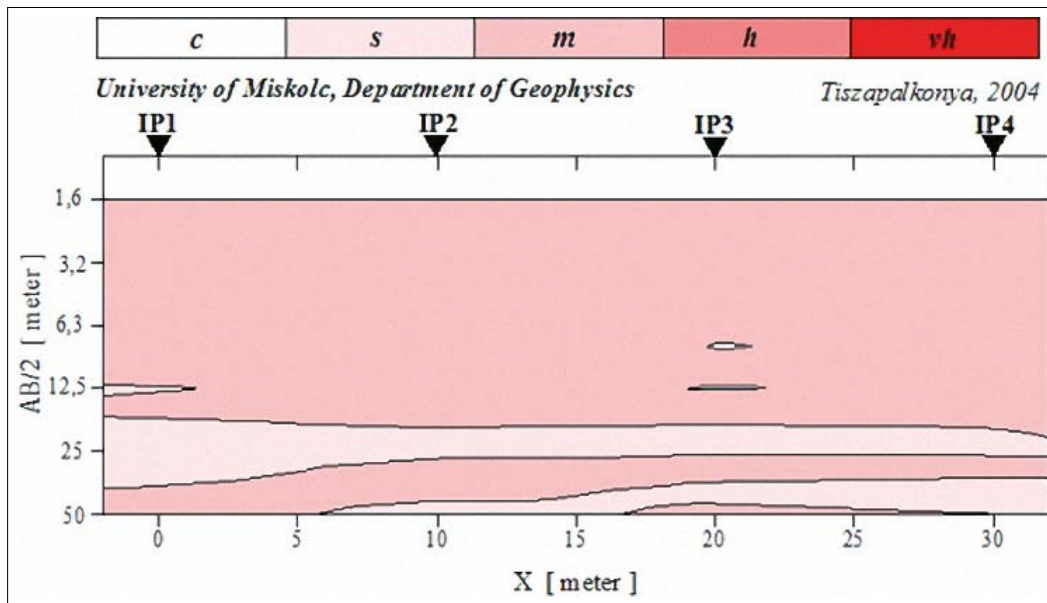
Bevezettük az időállandó-spektrum ($w(\tau)$) és a fajlagos elektromos vezetőképesség (σ) szorzataként a korrigált elektromos vezetőképességet (σ_{kor}), amely szintén alkalmas a szennyezett térrészek lehatárolására:

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



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

Figure 3.1 | Vertical WAV section computed over the Nagytétényi communal waste site (vh: WAV is higher than 0.2, h: WAV is between 0.1 and 0.2, m: WAV is between 0.05 and 0.1, s: WAV is between 0.02 and 0.05, c: WAV is lower than 0.02)

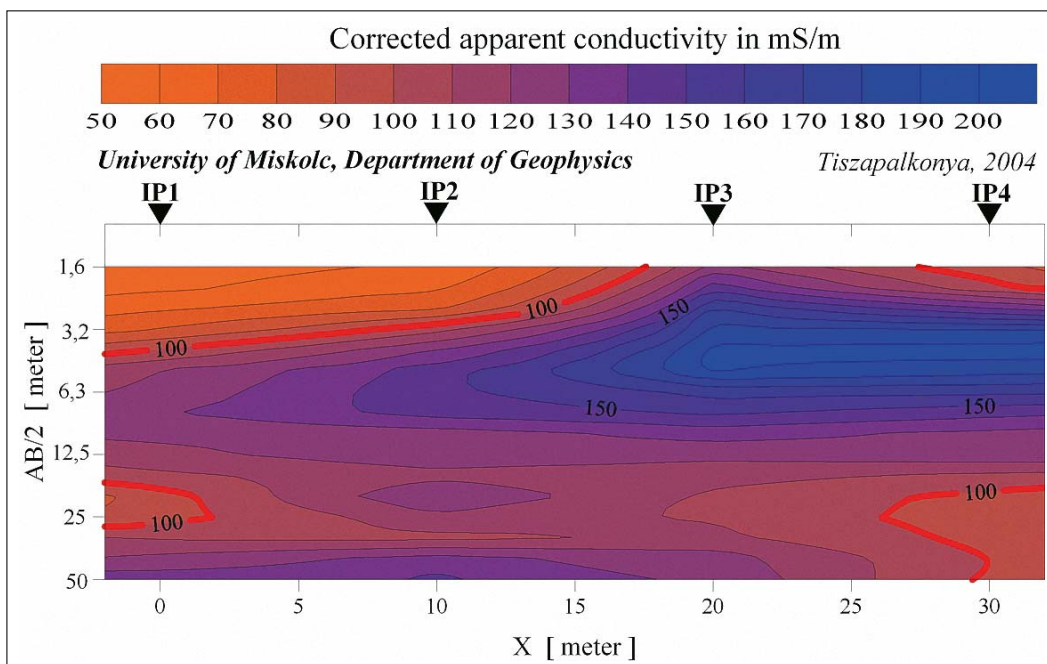


3.2. ábra A tiszapalkonyai salakpernye tározó felett számított WAV metszet (szennyezetlen: $WAV < 2\%$, gyengén szennyezett: $2\% < WAV < 5\%$, közepesen szennyezett: $5\% < WAV < 10\%$, erősen szennyezett: $10\% < WAV < 20\%$, igen erősen szennyezett: $WAV > 20\%$)

Figure 3.2 Vertical WAV section computed over the Tiszapalkonya slag ash site (vh: WAV is higher than 0.2, h: WAV is between 0.1 and 0.2, m: WAV is between 0.05 and 0.1, s: WAV is between 0.02 and 0.05, c: WAV is lower than 0.02)

A 3.3. ábrán a salakpernye-tározó esetében számított korrigált vezetőképesség vertikális metszetét mutatjuk be, piros színnel kiemelve a metszeten a 100 mS/m értékű izovonalat, amelytől nagyobb vezetőképességű térrészek jól korrelálnak a közepes szennyezettségű tartományokkal (3.2. ábra).

Más forrásból (kari) beszerzett multielektrodás geoelektromos és IP műszert (72 csatornás IRIS SYSCAL Pro) állítottunk üzembe (Turai és társai, 2010), amely a jövőben az OTKA-téma fejlesztési eredményeinek terepi alkalmazását jelentősen segítheti.



3.3. ábra A korrigált fajlagos vezetőképesség vertikális metszete (Tiszapalkonya, 2004)

Figure 3.2 Vertical section of the corrected apparent conductivity (Tiszapalkonya, 2004)

Hivatkozások

Az 1. résztémához kapcsolódó fontosabb publikációk a közéleti időrendjében

- Vass P., 2004: 3D földtani-geofizikai adatrendszerek megjelenítési lehetőségei nyitott térinformatikai rendszer segítségével. MS-tézisek, Miskolci Egyetem Általános Informatikai Tanszék és Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtárai
- Vass P., 2005: Többdimenziós földtani-geofizikai adatrendszerek elemzését segítő saját fejlesztésű térinformatikai alapú szoftver. XXXVI. Ifjú Szakemberek Ankétja, Sarlópuszta, 2005. április 1–2., Konferenciakiadvány, 13–14. o.
- Vass P., 2005: A földtudományi oktatásban alkalmazható, többdimenziós adatrendszerek elemzését segítő térinformatikai alapú szoftver. XIV. Térinformatika az oktatásban szimpózium, Budapest, 2005. október 26., Konferencia CD kiadványa, 1–8. o.
- Vass P., 2005: Többdimenziós adatrendszerek elemzését segítő szoftver. 2005. Őszi Ifjúsági Előadói Nap, Miskolc, 2005. december 9.
- Barcsák G., 2006: GeoMedia WebMap alatti geoinformatikai rendszer fejlesztése. MS-tézisek, Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtára
- P. Vass, 2006: GeoMedia-based System Development for the Visual Analysis of Geological and Geophysical Data Sets. Intergraph Online Research Library, <http://synergy.intergraph.com/orl/catalog.asp?id=1937>, pp. 1–9
- Turai E., Dobróka M., Szabó N. P., 2006: Elektromágneses Inverzió vizsgálata 3D modellen. Inverziós Ankét 2006, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2006. március 20–21.
- Vass P., 2006: Saját fejlesztésű térinformatikai alapú szoftver alkalmazása földtani-geofizikai adatrendszerek elemzésében. X. Geomatematikai Ankét, Mórahalom, 2006. május 18–20., Internetes konferenciakiadvány, http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geomatematikai_szakosztaly/abstracts_2006/VassPéter.pdf.
- Vass P., Turai E., Szabó N. P., 2007: GeoMedia-based System Development for water-base and analysis of oil contamination. microCAD'2007. Miskolc, 22–23 March 2007, Section B: Watermanagement and Environmental Protection, ISBN 978-963-661-744-8, pp. 167–172
- Turai E., Szabó N. P., Vass P., 2007: Analysis of Electromagnetic parameters for the application in Environmental Protection. III. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, 2007. március 29–31., Konferenciakiadványa, Ábel Kiadó, 2007, ISBN 1842-9815, pp. 96–100
- Turai E., Szabó N. P., Vass P., 2007: Application Possibilities of Electromagnetic Parameters in Environmental Protection. XI. Geomatematikai Ankét, 2007. május 10–12., Mórahalom, Internetes konferencia kiadvány, http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geomatematikai_szakosztaly/abstracts_2007/Turaiea.pdf
- Herczeg Á., 2007: A „GEO” adatok közzétételét támogató „GEO-MEDIA WEB MAP” alatti rendszer fejlesztése. MS-tézisek, Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék könyvtára
- Turai E., Dobróka M., Szabó N. P., 2007: 3D Electromagnetic inversion over a near surface oil contaminated model. Near Surface 2007, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 3–5 Sept. 2007, Istanbul, Conf. CD, ISBN 978-90-73781-81-8, P31 pp. 1–5
- Herczeg Á., 2007: Geo-adatbázisok elérése, megjelenítése és feldolgozása Interneten keresztül. Doktoranduszok Fóruma 2007, Miskolci Egyetem, 2007. november 13., Miskolc
- Herczeg Á., 2008: Development of a Web based GIS solution for publishing the Hungarian Geophysical Exploration meta-data-

bases by GeoMedia WebMap Professional. Intergraph Online Research Library, <http://synergy.intergraph.com/catalogfiles/documents/2062.pdf>.

- Turai E., Szabó N. P., Vass P., 2008: Analysis of Electromagnetic Parameters for the Application in Environmental Protection. Intergraph Online Research Library, <http://synergy.intergraph.com/catalogfiles/documents/2063.pdf>.
- Dobróka M., Herczeg Á., Turai E., 2008: GIS supported soil contamination detection and characterization. microCAD'2008, Miskolc, 20–21 March 2008, Sect. A: Waste Processing, Recycling, ISBN 978-963-661-812-Ö, pp. 23–28
- Herczeg Á., 2008: Talajszennyeződés detektálásának és vizsgálatának támogatása geoinformatikai módszerekkel. XXXIX. Ifjú Szakemberek Ankétja, Baja, 2008. március 28–29., Konferenciakiadvány, 23–24 o.
- Dobróka M., Herczeg Á., Szabó N. P., Turai E., Vass P., 2008: GIS-based system development for processing and publishing geophysical data. IV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008. március 28–29., Konferenciakiadványa, REXPO Kft., ISBN 978-963-06-4625-3, pp. 112–117

A 2. résztémához kapcsolódó irodalomjegyzék

- Asch T., Morisson H. F., 1989: Geophysics 54, 235–244
- Pellerin L., Hohmann G. W., 1995: Geophysics 60, 43–52
- Rocroi J. P., Koulikov A. V., 1985: Geoph. Prosp. 33, 138–152
- Szabó I., 2006: Diplomatervezés, Miskolci Egyetem
- Szarka L., Nagy Z., 1992: Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. 27, 5–17
- Takács E., 1995: Acta Geodaetica, Geophysica Hung. 30/2–4, 331–341
- Takács E., Szarka L., Varga M., 1995: Magyar Geofizika 36, különszám, 60–64
- Takács E., Hursán G., 1998: Extended Abstracts of the papers presented by CEMI at 68. Annual SEG meeting, New Orleans
- Takács E., Nagy Z., Ferenczy L., 2001: Geosciences, Publ. Univ. of Miskolc, Series A, Mining 59, 153–190
- Takács E., 2002: Magyar Geofizika 43/3, 112–118
- Takács E., Pethő G., 2009: Acta Geod. Geoph. Hung. 44, 167–178

A 3. résztémához kapcsolódó fontosabb publikációk a közéleti időrendjében

- 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., 2004: Introduction to IP methods and interpretation in time-domain using TAU-transformation of IP curves. TÉT (SF-8/2001) finn-magyar továbbképző konferencia, 2004. 11. 8–12., Miskolci Egyetem, Miskolc, pp. 1–22
- Dobróka M., 2004: Introduction to geophysical inversion and combined application of the geophysical inversion and IP methods. TÉT (SF-8/2001) finn-magyar továbbképző konferencia, 2004. 11. 8–12., Miskolci Egyetem, Miskolc
- Turai E., Dobróka M., 2005: New results in the Waste Site characterization using TAU-transformation of Time-Domain IP Data. EGU General Assembly, Vienna, 24–29 April 2005., Conference CD, Abstract Number: EGU05-A-00835, pp. 1–2
- Turai E., Dobróka M., 2005: Hulladéklerakók jellemzése az IP adatok TAU-transzformációja segítségével (Characterization of the Waste Sites using TAU-Transformation of IP Data). Környe-

- zettudományi Konferencia, 2005. március 17–18., Kolozsvár, Konferencia CD, 1–25. o.
- Vass P., 2005: Fourier-transzformáció mint inverz probléma. Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, 2005. november 9., Konferenciakiadvány, 120–127. o.
- Dobróka M., Vass P., 2006: A Fourier-transzformált inverziós előállítás. Inverziós Anket 2006, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2006. március 20–21.
- Dobróka M., Vass P., 2006: A Fourier-transzformáció mint robusztus inverz feladat. A magyar EAGE csoport és az ELGI közös előadói napja, ELGI, Budapest, 2006. november 16.
- Turai E., Dobróka M., Vass P., 2006: Newer results in the Waste Sites Characterization using TAU-Transformation of IP Data. microCAD'2006 International Scientific Conference, Miskolc, 16–17 March 2006, Section B: Geoinformatics – Spatial Informatics, ISBN 963 661 700 7 Ö, pp. 57–62
- Turai E., Dobróka M., Vass P., 2006: Method Development for Waste Site Characterization Using TAU-Transformation of IP Curves. 68th EAGE Conference & Exhibition, Vienna, 12–15. June 2006, Extended abstracts, CD, ISBN 90-73781-00-0, Abstract-Number: H007, pp. 1–5
- Dobróka M., Turai E., Vass P., 2006: Solution of Near Surface Environmental Problems Using TAU-Transformation of IP Data. Near Surface 2006, 12th European Meeting of EEG, Helsinki, 4–6 September 2006, Extended abstracts, CD, ISBN 90-73781-62-0, Abstract Number: A019, pp. 1–5
- Dobróka M., Vass P., 2006: Fourier Transform as a Robust Inverse Problem. Near Surface 2006, 12th European Meeting of EEG, Helsinki, 4–6 September 2006, Extended abstracts, CD, ISBN 90-73781-62-0, Abstract Number: P069, pp. 1–5
- Vass P., Dobróka M., 2006: New method for the determination of Fourier transform of noisy data set. microCAD'2006 International Scientific Conference, Miskolc, 16–17 March 2006, Section B: Geoinformatics – Spatial Informatics, ISBN 963 661 700 7 Ö, pp. 63–68
- Turai E., 2006: A TAU transzformáció környezetvizsgálati alkalmazásainak eredményei. X. Geomatematikai Anket, Mórahalom, 2006. május 18–20., Internetes konferenciakiadvány, http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/geomatematikai_szakosztaly/abstracts_2006/Turaiea.pdf.
- Turai E., Dobróka M., 2006: Hulladéklerakók jellemzése az IP adatok TAU-transzformációja segítségével (Characterization of the Waste Sites using TAU-transformation of IP Data). Környezettudományi Konferencia, 2005. március 17–18., Kolozsvár, Konferenciakiadvány, ISBN(10) 973-7953-69-X, ISBN(13) 978-973-7953-69-8, 337–348. o., pp. 445, 464
- Turai E., Dobróka M., Vass P., 2006: Az IP görbék Tau-transzformációját felhasználó módszer fejlesztése a hulladéklerakók jellemzésére. A magyar EAGE csoport és az ELGI közös előadói napja, ELGI, Budapest, 2006. október 12.
- Vass P., 2006: Zajos adatsorok frekvencia spektrumának meghatározása inverziós módszerek segítségével. MGE XXXVII. Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonkenese, 2006. március 31. – április 1., Konferenciakiadvány és CD, 32–33. o.
- Vass P., 2006: Zajos adatsorok frekvencia spektrumának meghatározása inverziós módszerek segítségével. Földtani Kutatás internetes szakmai folyóirat, 2006. II. szám, www.foldtanikutatas.hu, 1–17. o.
- Vass P., 2006: Zajos adatsorok frekvencia spektrumának meghatározása inverziós módszerek segítségével. Geofizikai – Földtani – Környezetvédelmi Vándorgyűlés és Kiállítás, Zalakaros, 2006. szeptember 21–23., 32–33. o.
- Vass P., 2006: Inverziós módszerek alkalmazás a frekvenciaspektrum előállítására, Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem, 2006. november 9., Miskolc
- Vass P., 2007: Determining the frequency spectrum of noisy data sets by geophysical inversion method. 6th International Conference of PhD students, Miskolc, 12–18 August 2007, Conference Book, pp. 167–173
- Dobróka M., Herczeg Á., Turai E., 2008: GIS supported soil contamination detection and characterization. microCAD'2008 Miskolc, 20–21 March 2008, Sect. A: Waste Processing, Recycling, ISBN 978-963-661-812-Ö, pp. 23–28
- Herczeg Á., 2008: Talajszennyeződés detektálásának és vizsgálatának támogatása geoinformatikai módszerekkel. XXXIX. Ifjú Szakemberek Ankétja, Baja, 2008. március 28–29., Konferenciakiadvány, 23–24. o.
- 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., Konferenciakiadványa, REXPO Kft. 2008., ISBN 978-963-06-4625-3, pp. 269–274
- Turai E., Gyulai Á., 2008: Salakpernye-tározó geoelektromos vizsgálata. Inverziós Anket 2008, MTA Miskolci Akadémiai Bizottság Székháza, 2008. április 28–29.
- Turai E., Dobróka M., Takács E., Ormos T., 2008: Newer Results of Environmental Analysis Using TAU-transformation of Time-domain IP Data. 70th EAGE Conference & Exhibition, 9–12 June 2008, Rome, Extended Abstracts, CD, ISBN 978-90-73781-53-5, Abstract Number: P088, pp. 1–5
- Turai E., 2009: A geofizika szerepe a szennyezett területek lehatárolásában és állapotvizsgálatában. A Kármentesítés Aktuális Kérdései c. konferencia, 2009. április 22–23., Budapest, Konferenciakiadvány, Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, 2009., ISBN 978-963-88125-1-3, 13–15. o.
- Turai E., Herczeg Á., 2010: Az IP módszer környezetvédelmi alkalmazási eredményei (Application results of IP method in the field of environmental protection). VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Nyíregyháza, 2010. április 22–24., Konferenciakiadvány, Bessenyei György Könyvkiadó 2010, ISBN 978-963-9909-57-1, 265–270. o.
- Turai E., Dobróka M., Herczeg Á., 2010: Sorfejtéses inverzió III – Gerjesztett polarizációs adatok inverziós feldolgozása. Magyar Geofizika 51/2, 88–98