

# REKULTIVÁLT HULLADÉKLERAKÓ BELSŐ SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA GEOELEKTROMOS MÓDSZEREKKEL

## EXAMINATION OF THE INNER STRUCTURE OF RECULTIVATED WASTE SITE USING GEOELECTIC METHODS

**TURAI Endre<sup>1</sup>, SZILVÁSI Marcell<sup>2</sup>, NÁDASI Endre<sup>3</sup>, ABORDÁN Armand<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>CSc, Dr. habil., intézetigazgató egyetemi docens, gfturai@gold.uni-miskolc.hu

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

<sup>2</sup>tanársegéd, gbmszm@uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

<sup>3</sup>tanársegéd, tudományos segédmunkatárs, gfne@uni-miskolc.hu,

<sup>3</sup>Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

<sup>3</sup>Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

<sup>4</sup>PhD. hallgató, gfaa@uni-miskolc.hu

<sup>4</sup>Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

**Kivonat:** A vizsgált rekultivált kommunális hulladéklerakó belső szerkezetének megállapításához fajlagos ellenállás és indukált polarizációs (IP), valamint mágneses felszíni geofizikai módszereket alkalmaztunk. A fajlagos ellenállás mérésekkel a hulladéktest fekéjét, az IP mérésekkel pedig a szennyezettség fekéjét határoztuk meg. Mérések megmutatták, hogy a hulladéklerakónak nincs aljzatszigetelése. Vízbázis védelmi szempontból kedvező, hogy a szennyezést átértesztő kavicsréteg alatt szigetelő agyagréteg van. Ezt a természetes záró réteget viszont fokozottan védeni kell mind a természetes mind pedig a mesterséges sérülésektől.

**Kulcsszavak:** Indukált Polarizáció, fajlagos ellenállás, tomográfia, súlyozott amplitúdó érték, korrigált látszólagos vezetőképesség.

**Abstract:** In order to establish the internal structure of the investigated recultivated communal waste site, we used specific resistivity and induced polarization (IP) and magnetic surface geophysical methods. The bed of the waste body was determined by specific resistivity measurements, and the IP measurements were used to determine the footwall of contamination. Measurements have shown that the waste site has no lower insulation. From the point of view of the water base protection, it is favorable that an impermeable clay layer is located in the bed of waste body under the permeable gravel layer. However, this natural impermeable clay layer should be protected from both natural and artificial injuries.

**Keywords:** Induced Polarization, specific resistivity, tomography, waited amplitude value, corrected apparent conductivity.

## 1. BEVEZETÉS

Az 1950-es években az IP (Induced Polarization) módszert klasszikus érckutató módszerként vezették be [16], [3], [5] a földtani-geofizikai kutatások területén, a terepi [4] és a laboratóriumi [6], [7] méréseknél egyaránt.

Az 1980-as évektől kezdve a módszer fokozatosan elterjedt a környezetvizsgálati feladatok megoldásánál is, a környezeti szennyezésekre való nagy érzékenysége miatt.

Az IP módszer időtartományban mérhető  $\eta_a(t)$  látszólagos polarizálhatósági görbéje integrál transzformációval írható le [8], s ezen transzformáció inverzével, az ún. TAU-transzformációval [9] előállítható az méréshez tartozó időálló spektrum ( $w(\tau)$ ), ami a polarizáció időálló ( $\tau$ ) szerinti súlyeloszlását adja meg.

Az időállandók növekedésével a filtrációs, a membrán, a redox, a fémes és a dielektromos polarizációk különíthetők el [12]. Az időállandók értékei alapján a polarizáció típusa és ezek földtani okai becsülhetők [15], míg az időállandó spektrum amplitúdója az adott időállandójú polarizáció súlyát adja meg.

A TAU-transzformációt diszperz ércesedést tartalmazó magminták laboratóriumi vizsgálatánál fejlesztettük ki [6], [7], terepi IP méréseknél pedig 1992-ben egy Offheim melletti kommunális hulladéklerakó vizsgálatánál alkalmaztuk először [10]. A sikeres terepi alkalmazást követően, a módszert eddig több mint ötven magyarországi mérési projektben használtuk [13], [14] eredményesen a területek állapotvizsgálatánál. Ezek közül a jelentősebbeket foglaltuk össze az 1. Táblázatban.

Offheim, 1992.	Ráckeve, 1997	Kecskemét, 1997.
Nyékládháza, 1997-2008.	Győröcske, 1999.	Pásztó, 2000.
Tokaj, 2001.	Balmazújváros, 2002.	Szerencs, 2004.
Tiszapalkonya, 2004.	Berekböszörmény, 2007.	Nagytárkány, 2008.
Darvastó, 2008.	Tiszavasvári, 2008.	Nagytétény, 2008.
Miskolc-Hejőpart, 2008-2015.	Miskolc-Bedő hegy, 2009.	Telkibánya, 2010.
Miskolc-Salakbánya, 2010.	Miskolctapolca, 2010.	Miskolc-Gózon L. út, 2010.
Felsőtelekes, 2011.	Rudabánya, 2011.	Ózd, 2012.
Almásfüzitő, 2013.	Pocsaj, 2013.	Bükkszentkereszt, 2013-2014.
Abasár, 2013-2014.	Berhida, 2014.	Miskolc-Egyetemváros, 2015.
Pálháza, 2016.	Miskolc-Egyetemváros, 2016.	Miskolc-Martonbánya, 2017.
Miskolc-Egyetemváros, 2017.	Nyékládháza, 2017.	

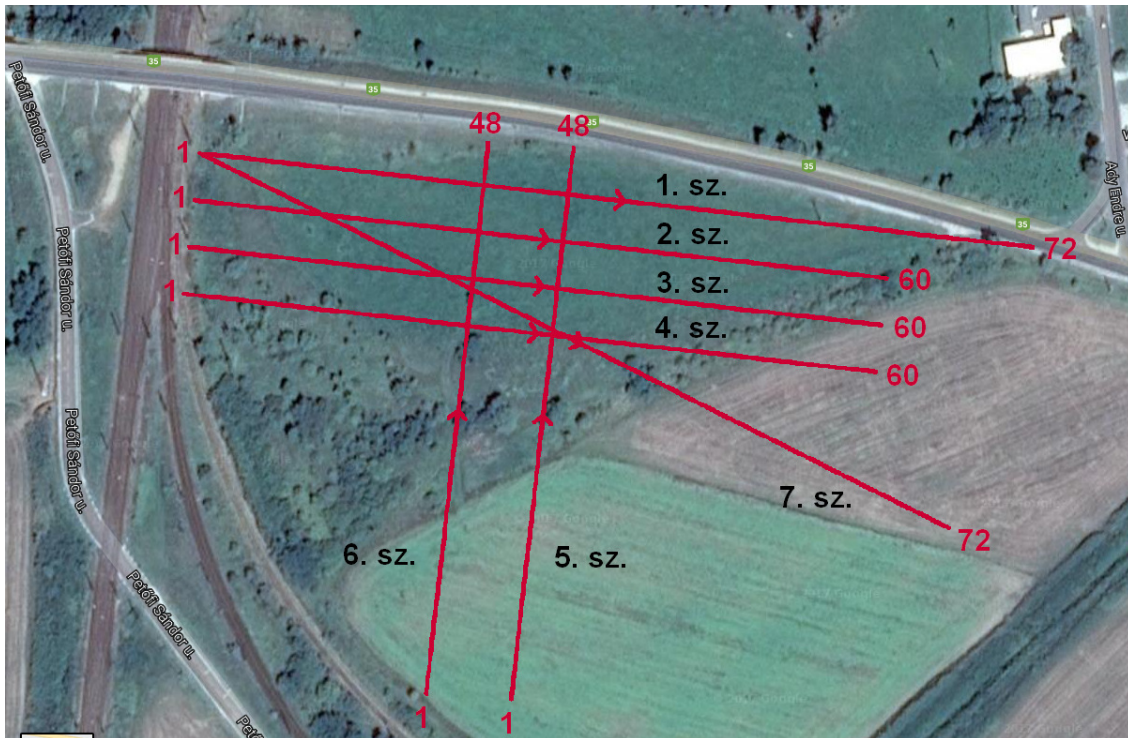
1. Táblázat A IP módszert alkalmazó környezetvizsgálat jelentősebb terepi alkalmazásai

A környezeti polarizációs szennyezettség fokának számszerű jellemzésére Turai [11] bevezette az un. időállandóval súlyozott amplitúdó érték (WAV - Waited Amplitude Value) paramétert, valamint a közetek ionos szennyezettségének becslésére az időállandó spektrum ( $w(\tau)$ ) és a közeg egyenáramú látszólagos fajlagos vezetőképességének ( $\sigma_a$ ) szorzataként előállított [12] korrigált látszólagos fajlagos vezetőképességet ( $\sigma_{\text{corr}}(\tau)$ ).

## 2. A VIZSGÁLT TERÜLET BEMUTATÁSA

A felszíni geofizikai mérésekkel vizsgált terület Nyékládháza belterületén, a 35 számú főközlekedési út és a Miskolc-Budapest vasútvonal kereszteződése mellett található (1. ábra) rekultivált kommunális hulladéklerakó volt.

A több mint 110 000 m<sup>2</sup> nagyságú mérési területen az 1. ábrán feltüntetett 7 db szelvény mentén végeztük el a felszíni méréseket. A szelvények közül négy (1-4 szelvények) a rekultivált hulladéklerakó felett haladt, míg három (5-7 szelvények) esetében csak a szelvények hosszának közelítően a fele esett a hulladéklerakóra. (Az 1. ábrán jól kivehető – sötétzöld színnel – a hulladéklerakó területe.)



1. ábra. A felszíni geofizikai mérések területe

### 3. AZ ALKALMAZOTT GEOFIZIKAI MÓDSZEREK

A mérési programban fajlagos ellenállás tomográfiát, IP tomográfiát és mágneses térerősség mérést alkalmaztunk. A tomográfiai méréseket IRIS SYSCAL Pro Ch. 72 műszerrel, a mágneses térerősség méréseket pedig protonprecessziós magnetométerrel végeztük.

A tomográfiai méréseknél 5 méteres elektródaközű Wenner elektróda elrendezést [4] használtunk multielektrodás mérési technikával. Az 1. ábrán, a szelvények végein feltüntettük az első és az utolsó elektródák sorszámát.

A cikk további részében a tomográfiai mérések eredményeit és azok értelmezését mutatjuk csak be, mivel a mágneses mérések még folytatódnak.

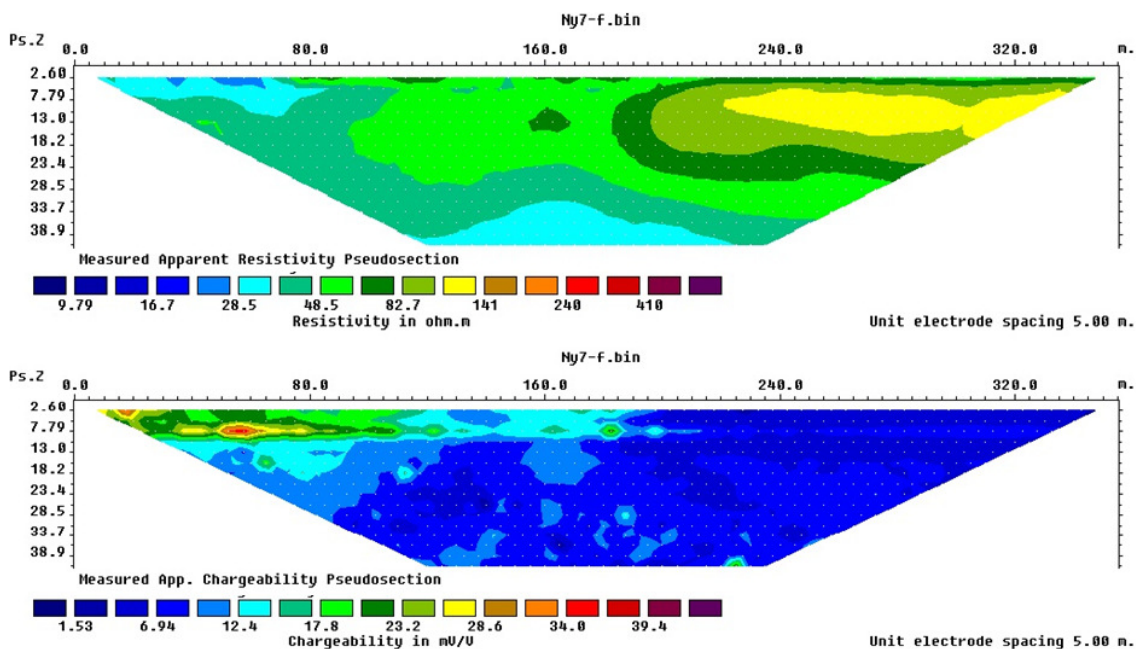
### 4. A MÉRÉSEK EREDMÉNYEI ÉS A MÉRT ADATOK FELDOLGOZÁSA

A felszínen végzett tomográfiai mérésekkel a szelvények nyomvonala alatti vertikális síkban kapjuk meg a behatolási mélységig a talaj és a talajréteg alatt elhelyezkedő kőzetek un. látszólagos fajlagos ellenállás és látszólagos IP tölthetőség térbeli eloszlását. A látszólagos paraméterek az áramtérben található legkisebb és legnagyobb valódi fajlagos ellenállású, illetve valódi IP tölthetőségű térrész közötti paraméter értékeket vesznek fel, mivel a mérés áramtere integráltan látja az áramtérbe eső földtani képződményeket. A látszólagos paraméterképek illusztrálására, a 2. ábrán bemutatjuk a 7. szelvényen mért látszólagos fajlagos ellenállás (a 2. ábrán felül) és látszólagos IP tölthetőség (a 2. ábrán alul) képeket.

A hulladéktest a környezeténél kisebb fajlagos ellenállással és nagyobb IP tölthetőséggel jellemezhető, azonban ennek alapján – mit az a 2. ábrán fent látható – a mért látszólagos fajlagos ellenállás képen egyáltalán nem határozható le a hulladék. Az ábra alsó részén feltüntetett látszólagos IP tölthetőség eloszláson már sokkal jobban kijelölhető a hulladéktest polarizációs határa, a 0 méter – 190 méter horizontális szelvényszakaszon a 0 méter és 10 méter közötti mélységintervallumban, mivel az IP hatás döntően felületi polarizációhoz

köthető.

A látszólagos paraméter eloszlásokból a valódi paraméterek térbeli eloszlásait inverziós rekonstrukcióval tudjuk meghatározni. Az inverziós adatfeldolgozást a kereskedelemben kapható, és a geoelektromos gyakorlatban széles körben alkalmazott RES2DINV szoftverrel [1], [2] hajtottuk végre.



2. ábra. A látszólagos fajlagos ellenállás (fent) és a látszólagos tölthetőség (lent) térbeli eloszlása a 7. szelvény alatti vertikális síkban

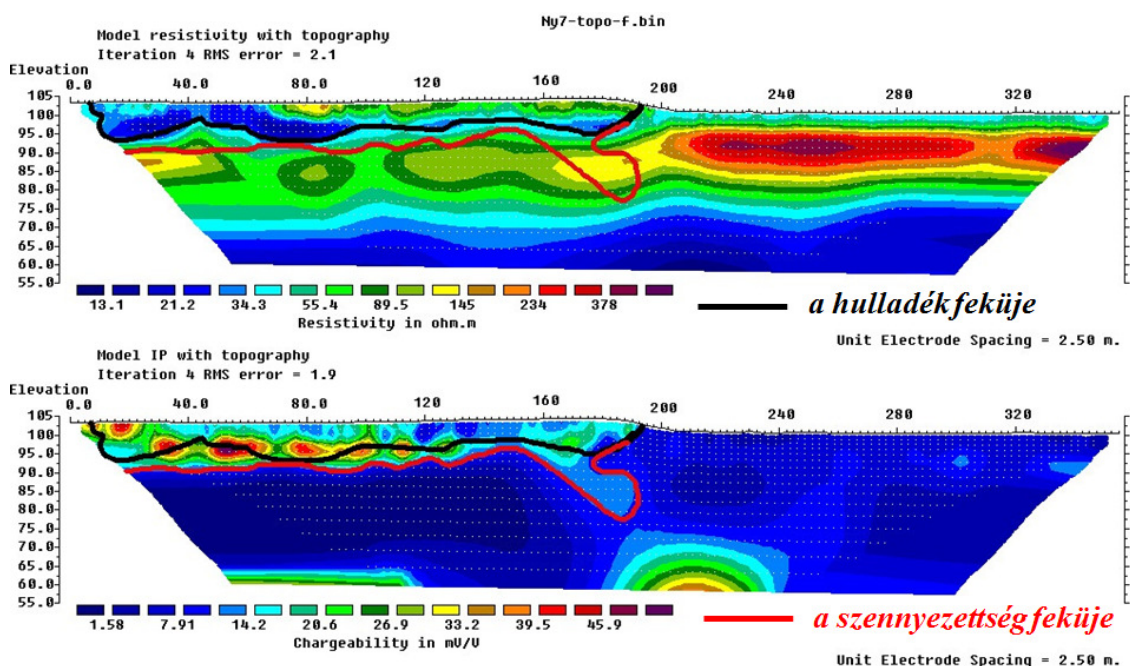
## 5. A HULLADÉKLERAKÓ SZERKEZETE

Az inverziós rekonstrukcióval előállítottuk a mért szelvények alatti valódi fajlagos ellenállás eloszlásokat és valódi IP tölthetőség eloszlás képeket. A 7. szelvény esetében a valódi paraméter képeket a 3. ábrán mutatjuk be. Az ábrán látható, hogy a valódi paraméterképek már kiválóan mutatják a hulladéktest térbeli helyzetét, horizontális és mélységi határait, valamint a belső szerkezetét.

A 3. ábra felső részén szereplő valódi fajlagos ellenállásképen fekete vonallal feltüntettük a hulladéktest fekvését, az ábra alsó részén látható valódi IP tölthetőség eloszláson pedig piros vonallal a polarizációs szennyezettség határát. Összehasonlítva a két fekvést, megállapítható, hogy az eredetileg lerakott hulladék alatt és annak környezetében olyan térrészekben is szennyezés mutatható ki, ahol már nincs hulladék. Ennek az az oka, hogy a hulladékot több évtized alatt felülről átmosták a csurgalékvizek és kioldották a hulladékból a szennyező ioncsoportokat. Az ionok elszennyezték a hulladéktest alatt elhelyezkedő kavicsréteg pórosaiban lévő kötött- és szabadvizet, mivel a hulladék alatt közvetlenül sem mesterséges aljzatszigetelés, sem pedig természetes záró réteg (agyag) nem található. Ennek következtében a szennyezettség térfogata közel duplája a hulladék térfogatának. Szerencsére azonban, a kavicsréteg alatt megfelelő vastagságú agyagréteg található, ami megakadályozta a nyomás alatti (zárt tükrű) vízbázis elszennyeződését.

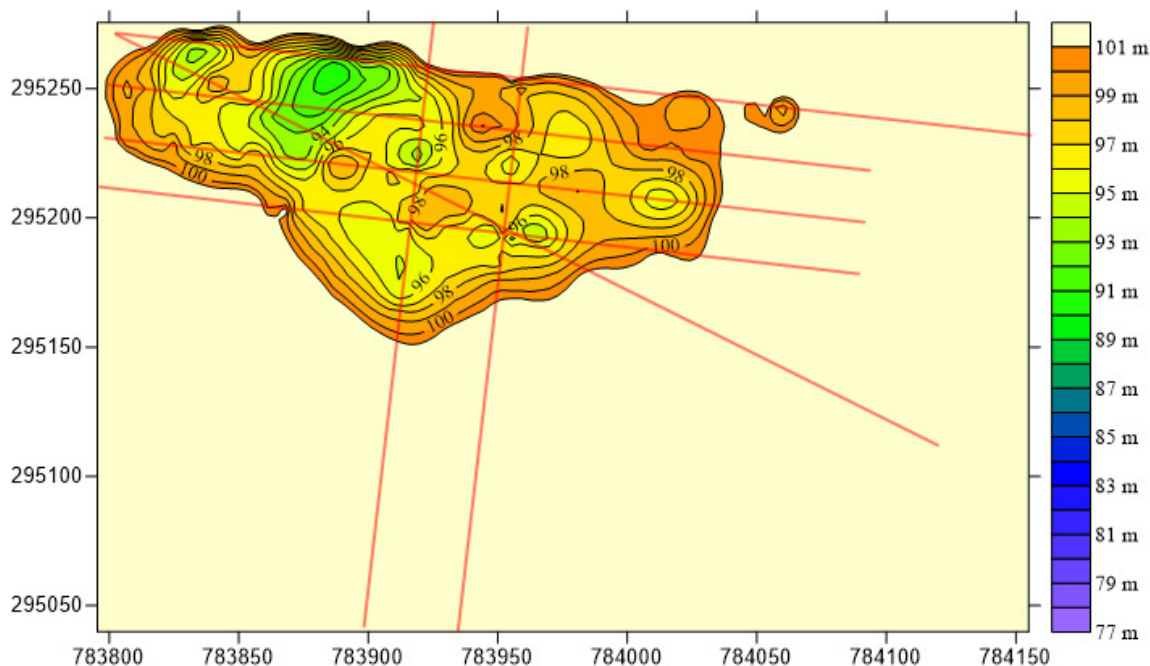
A 3. ábra felső részén, a felszín közelében megfigyelhető a nagyobb fajlagos ellenállású száraz takaró talajréteg, amit a hulladéklerakó rekultivációs munkálatainál helyeztek el a hulladék felszínén. Ez a takaró réteg megakadályozza a kiporzást, a szennyező anyagok levegőbe kerülését.

Mind a fajlagos ellenálláskép, mind pedig a tölthetőségi kép jól mutatja a hulladék inhomogenitását, az erősebb és a kevésbé erős szennyezettségi anomáliákat a hulladéktesten belül.

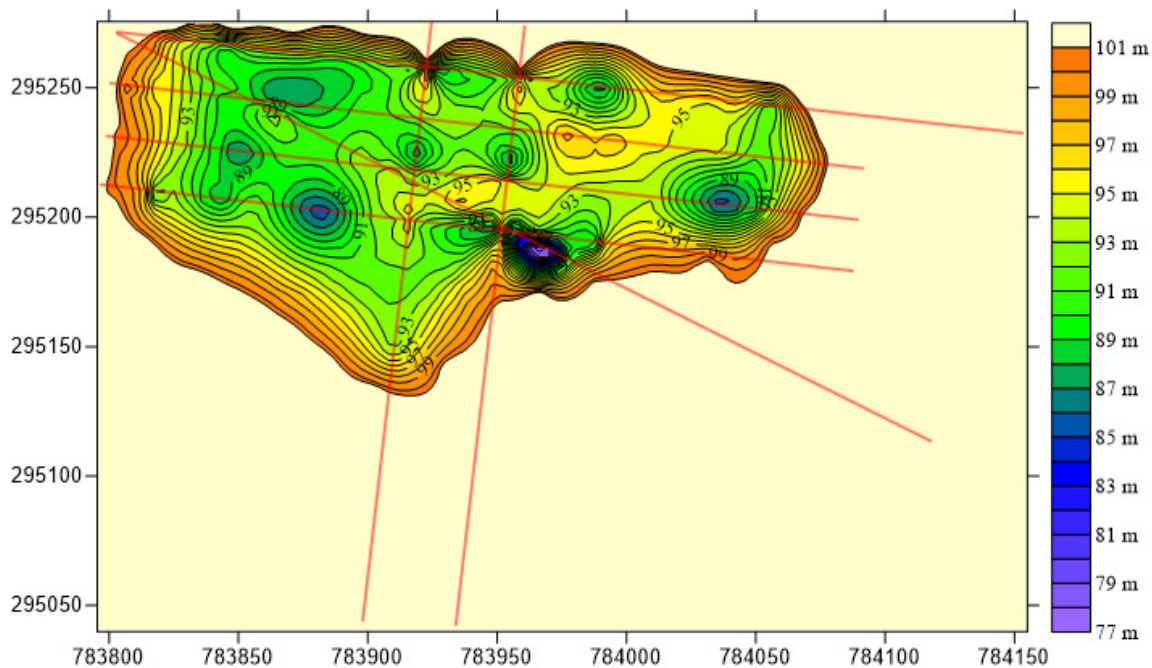


3. ábra. A valódi fajlagos ellenállás (fent) és a valódi IP tölthetőség (lent) térbeli eloszlása a 7. szelvény alatti vertikális síkban

A 7 db szelvény invertált adatainak egyesítésével megszerkesztettük és a 4. ábrán bemutatjuk, a hulladéktest feküjének izovonalas térképét EOZVZ (méter) egységben, valamint a polarizációs szennyezettség fekütérképét (5. ábra).



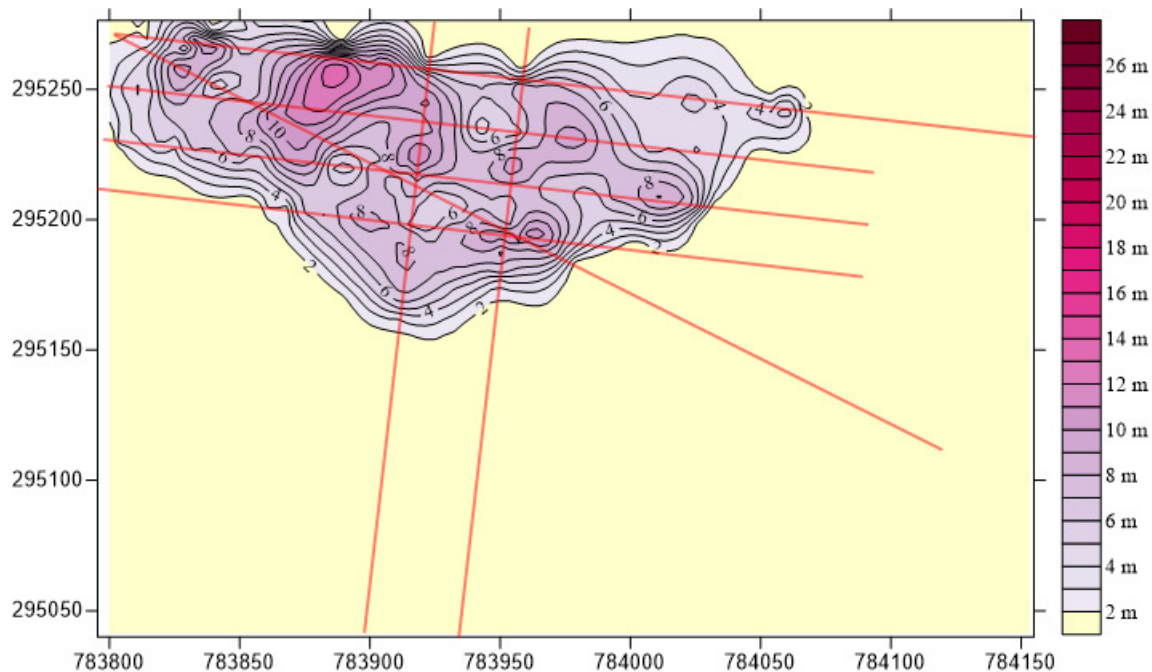
4. ábra. A hulladék feküjének izovonalas térképe



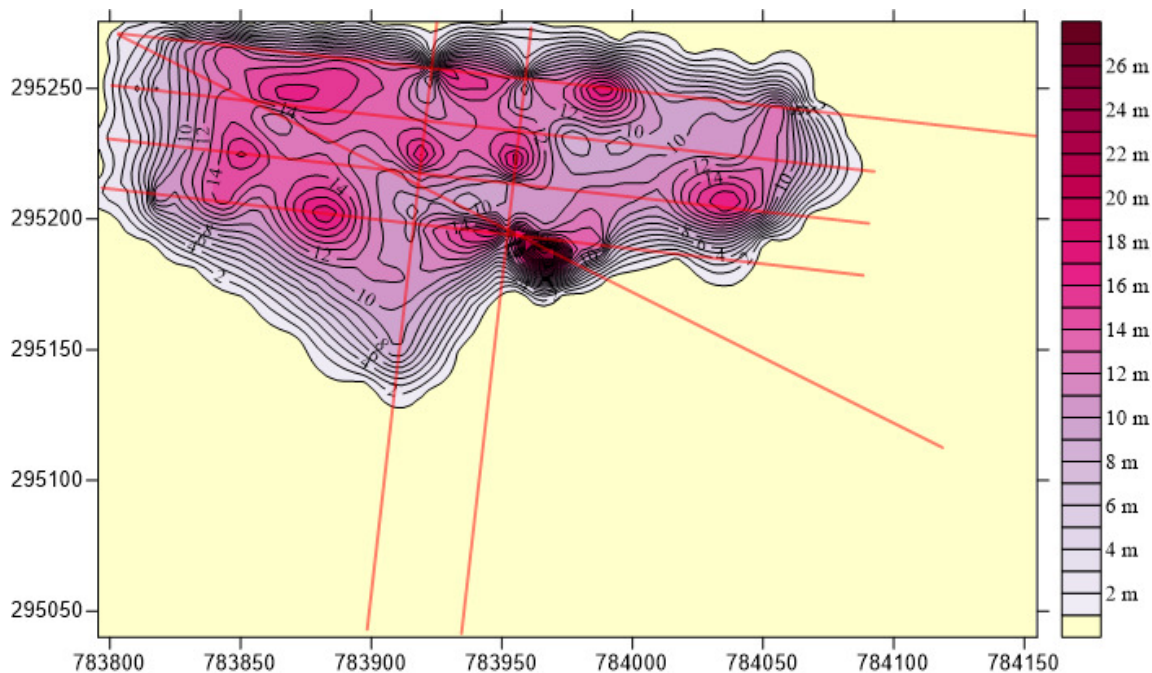
5. ábra. A szennyezettség fekjének izovonalas térképe

Az előző két ábrát összehasonlítva megállapítható, hogy a szennyezés fekjé mindenütt mélyebben található, mint a hulladéktest alja. A hulladék térfogatának és a szennyezett térrész térfogatának a kiszámításához hulladékvastagság térképet (6. ábra) készítettünk és előállítottuk szennyezett térrész vastagság térképét (7. ábra) is.

A vastagság térképek alapján becsült hulladék térfogat  $126864 \text{ m}^3$ , míg a szennyezett térrész nagysága  $265930 \text{ m}^3$ . Látható tehát, hogy a szennyezett térrész térfogata több mint duplája – 210 %-a – a hulladéktest térfogatának.



6. ábra. A hulladékvastagság izovonalas térképe



7. ábra. A szennyezettség vastagságának izovonalas térképe

## 6. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE ÉS A TOVÁBBI TERVEZETT VIZSGÁLATOK

A mérések alapján megállapítható, hogy a vizsgált kommunális hulladéklerakó létrehozásakor nem alkalmaztak aljzatszigetelést. A létrehozásakor feltehetően egy külszíni kavicsbánya bányagödrébe kezdték lerakni a hulladékot. A felszínről érkező csurgalékvizek kimosták (kimossák) a hulladéktestből az ionos szennyező anyagokat és elszennyezték (elszennyezik) a hulladék alatti kavicsréteget – vertikálisan és horizontálisan is.

A szennyezés bejutását a mélységi (nyomás alatti) vízbázisba azonban a kavicsréteg alatti agyagréteg megakadályozta. A természetes védelmet jelentő agyagréteget a hulladéklerakó környezetében fokozottan védeni kell a sérüléstől, ezért fúrásos talajmechanikai kutatás, mélyalpozás, cölöpös építési technológia alkalmazását nem javasoljuk. Kedvező, hogy hulladéklerakó rekultivációjánál alkalmazott fedő talajréteg megakadályozta a szennyezőanyagok levegőbe jutását, a kiporzást.

A továbbiakban tervezzük a mágneses mérések befejezését, a tomográfiai eredmények 3D inverziós rekonstrukcióját, valamint a hulladék összetételének időálló spektrumokkal történő becslését és a polarizációs szennyezettség kvantitatív meghatározását a WAV és a  $\sigma_{\text{corr}}$  paraméterek segítségével.

Javasoljuk a hulladéklerakó ismételt mérésekkel történő állapotvizsgálatát, illetve monitoring rendszer kiépítését a lerakó környezetében.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, az „INNOVÍZ-Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című GINOP-2.3.2-15-2016-00031 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BARKER, R., D.:** *A simple algorithm for electrical imaging of the surface*, First Break, 10, pp 53-62.
- [2] **GEOTOMO SOFTWARE:** *Res2DINV 3.55*, Malaysia, [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com) .
- [3] **KELLER, G. W., FRISCHKNECHT F. C.:** *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*, Pergamon Press, Oxford, 1966.
- [4] **KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I.:** *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Publishing Company, Oxford, 2002.
- [5] **SUMNER, J. S.:** *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976.
- [6] **TURAI E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus paramétereinek meghatározása kőzetmintákon*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1978, 19-25.
- [7] **TURAI E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus kőzetzfizikai paramétereinek meghatározására szolgáló műszer-módszer továbbfejlesztése*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1979, 8-44.
- [8] **TURAI E.:** *GP time-domain görbék TAU-transzformációja*, Magyar Geofizika XXII/1, 1981, 29-36.
- [9] **TURAI, E.:** *TAU-Transformation of Time-Domain IP Curves*, ANNALES Univ. Scien. Budapestinensis de Rolando Eötvös Nom. I-II, 1985, pp. 182-189.
- [10] **TURAI, E., ELSÉN, R., LIMBROCK, K.:** *Analysis of IP time-domain data measured above a waste site near Offheim using TAU-transformation of IP chargeability curves*, TEMPUS pr. Report, DMT Institute for Applied Geophysics, Bochum, 1992.
- [11] **TURAI, E.:** *IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra*, Geophysical Transactions 44, 2004, pp. 301-312.
- [12] **TURAI, E.:** *Data Processing Method Developments using TAU-transformation of time domain IP data*, Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 46(4), 2011, pp. 391-400.
- [13] **TURAI, E.:** *Application possibilities of IP method in the fields of environmental protection, ore- and direct hydrocarbon exploration*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 2012, pp. 161-166.
- [14] **TURAI, E.:** *Some field measurement results of IP method*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 2012, pp. 167-172.
- [15] **TURAI E., NÁDASI E., SZILVÁSI M.:** *A geoelektromos geofizikai módszerek terepi alkalmazásának új eredményei a környezetvizsgálatok területén*, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016, ISBN:978-963-7064-33-3, Miskolc, Debrecen, 2016, 680-689.
- [16] **WAIT, J. R.:** *Overvoltage Research and Geophysical Applications*, Pergamon Press, London, 1959.