

**HULLADÉKLERAKÓK ÉS KÖRNYEZETÜK ÁLLAPOTFEL-  
MÉRÉSE  
GEOFIZIKAI MÓDSZEREINEK FEJLESZTÉSE**

**OTKA szám: T 042686**

**Témavezető: Prof. Dr. Gyulai Ákos**

**ME Geofizikai Tanszék**

**Miskolc  
2007. augusztus**

## BEVEZETÉS

A kutatás munkaterve alapvetően két célkitűzést tartalmazott:

1. Geofizikai módszerfejlesztést – beleértve a kiértékelési módszereket a hulladéklerakók állapotfelméréséhez.
2. Geoelektromos módszerfejlesztést a hulladéklerakók természetes és mesterséges aljzatszigetelésének vizsgálatára, a szigetelési hibák geofizikai módszerekkel (roncsolásmentesen) történő kimutatásához.

Az 1. pontbeli célkitűzésnek több tanszéki előzménye is volt az egyenáramú, az elektromágneses és a szeizmikus módszerfejlesztések vonatkozásában. Különösen is ki kell emelni a geofizikai adatok inverziós kiértékelésének módszereit, beleértve ebbe a joint inverziót, amelynek különösen nagy szerepe van a geológiai, hidrogeológiai, geotechnikai, környezetvédelmi szerkezetek minél részletesebb és pontosabb meghatározásában. Az inverziós kutatások eredményei azt mutatták, hogy a pontbeli adatok (egy állomáshoz tartozó VESZ adatok) kiértékeléshez képest jelentős továbblépést jelent az adatok szelvény menti kiértékelése, amely önmagában véve valamilyen együttes inverziót jelenthet. Jó példa erre az ún. 1,5D geoelektromos inverziós módszer.

Az 1.5D módszer hazai publikálás (1997) után került külföldi publikálásra is, amelyek közül a Gyulai Á., Ormos T.: A new procedure for the interpretation of VES data: 1.5-D simultaneous inversion method. Journal of Applied Geophysics 41 (1999), 1-17., az utóbbi két évben az alábbi jelentős hivatkozásokat kapta:

- 1. Brodie R, Sambridge M  
[A holistic approach to inversion of frequency-domain airborne EM data](#)  
GEOPHYSICS 71 (6): G301-G312 NOV-DEC 2006
- 2. Auken E, Pellerin L, Christensen NB, et al.  
[A survey of current trends in near-surface electrical and electromagnetic methods](#)  
GEOPHYSICS 71 (5): G249-G260 SEP-OCT 2006
- 3. Nicollin F, Gibert D, Beauducel F, et al.  
[Electrical tomography of La Soufriere of Guadeloupe Volcano: Field experiments, 1D inversion and qualitative interpretation](#)  
EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS 244 (3-4): 709-724 APR 30 2006
- 4. Tolboll RJ, Christensen NB  
[Robust 1D inversion and analysis of helicopter electromagnetic \(HEM\) data](#)  
GEOPHYSICS 71 (2): G53-G62 MAR-APR 2006
- 5. de Nardis R, Cardarelli E, Dobroka M  
[Quasi-2D hybrid joint inversion of seismic and geoelectric data](#)  
GEOPHYSICAL PROSPECTING 53 (5): 705-716 SEP 2005
- 6. Auken E, Christiansen AV, Jacobsen BH, et al.

[Piecewise 1D laterally constrained inversion of resistivity data](#)  
GEOPHYSICAL PROSPECTING 53 (4): 497-506 JUL 2005

- 7. Pellerin L, Wannamaker PE  
[Multi-dimensional electromagnetic modeling and inversion with application to near-surface earth investigations](#)  
COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE 46 (1-3): 71-102 MAR 2005
- 8. F., Nicollin, D., Gibert, F., Beauducel, G., Boudon, and J.C Komorowski:  
[Bayesian inversion of 1-D local models of electrical resistivity](#) EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS, Vol. 244, 709-724,2006

A függvényinverziós módszerek, amelyeket az egyenáramú mérések mellett a váltóáramú mérésekre, a fúrólúkszelvényezési módszerekre, a gerjesztett polarizációs mérésekre, a szeizmikus refrakciós kiértékelésekre is alkalmaznak többféle megnevezést is kapott, úgymint 1.5D inverzió, általánosított sorfejtési inverzió, szelvény menti geofizikai mérések inverziója, kényszerített inverzió .... Bárhogyan is nevezzük ezt az inverziós „családot”, ezek a módszerek olyan együttes inverzióként foghatók fel, amelyekben az ismeretlenek számát az együtthatók száma határozza meg. A szerkezet típusától függően célszerű a függvénytypust meghatározni. A függvényinverzióban még bonyolult szerkezetek esetén is lecsökken az ismeretlenek száma, amely következtében megnő a kiértékelés pontossága. Ez jelenti a módszer igazi előnyét. Ettől várjuk annak széles körű nemzetközi elterjedését.

**1. Ebben az OTKA témában hulladéklerakók vizsgálatához kapcsoltuk a függvényinverziós módszerfejlesztéseket.** Az új inverziós eljárások bevezetésével a meglévő és környezetvédelmi szempontoknak nagyrészt nem megfelelő hulladéklerakók állapotának felméréséhez, a környezetvédelmi veszélyforrások feltáráshoz és megszüntetéséhez, a terület rekultiválásához az eddigieknél sokkal jelentősebb szerepet kaphatnak a geofizikai módszerek. Ezek jelentős környezetvédelmi, gazdasági hasznot hozhatnak.

- a) Hulladéklerakókon és környezetükben geoelektromos, elektromágneses, mágneses és szeizmikus paraméterek vizsgálata illetve meghatározása terepi geofizikai mérésekkel.
  - Miskolc közelében egy lefedett kommunális hulladéklerakó helyezkedik el, amely többféle geofizikai módszer kipróbálására is alkalmas volt. Alkalmaztuk a klasszikus VESZ módszert, a multielektrodás elektromos méréseket, a VLF módszert, a gerjesztett polarizációs módszert, a földmágneses módszert (télerősség és gradiens méréseket), a szeizmikus refrakciós módszert. Megállapítottuk, hogy kommunális hulladéklerakó esetében a hulladék és környezete, valamint az inhomogén hulladék paraméterei jelentősen eltérnek egymástól, amely alkalmassá teszi ezen módszereket a kapcsolatos kutatások elvégzésére. A későbbiekben bemutatjuk egy 2D inverzióval kapott geoelektromos keresztzelvényét a hulladéklerakónak.
  - A kutatás témavezetőjének irányításával öt olyan diplomaterv készült ebben az időszakban, amely különféle típusú hulladéklerakóknál vizsgálta a geofizikai alkalmazási lehetőségeket. A hozzáférhetőség érdekében megadjuk ezen szerzők neveit: Szónoczky János, Krajcs Balázs, Mátyás Gábor, Juhász Zsolt és Tóth Andrea.

Kommunális hulladéklerakók mellett ipari hulladéklerakó, hígtrágyával öntözött agrárterület, pernye zagytározó és radioaktív hulladéklerakó volt a geofizikai kutatások tárgya. Ezen mun-

kák alapján összefoglalóan megállapítható, hogy a fajlagos ellenállás, a gerjeszthetőség, a hullámterjedési sebesség, a mérnökgeofizikai szondázás sok paramétere, mintavizsgálatok, a mágneses szuszceptibilitás és a radioaktív sugárzással kapcsolatos paraméterekhez kapcsolható geofizikai módszerek (mérések és kiértékelés) látszanak a leginkább alkalmasnak hulladéklerakók kutatására.

A munkatervben foglaltak teljesítéséről 20 publikációban számolunk be, továbbá ezekhez kapcsolódóan két PhD értekezés készítése van folyamatban. A teljesítés lényegét úgy foglalhatjuk össze, hogy elvégeztük mindazon vizsgálatokat, amelyeket az 1.5D inverzió fejlesztésénél terveztünk, ezek közül is kiemeljük az 1D előremodellezéssel, mint közelítő eljárással kapcsolatos vizsgálatokat, ill. fejlesztéseket, az inverzióban szereplő együtthatók számának meghatározási módszerét, az 1.5D geoelektromos és a 2D szeizmikus refrakciós együttes inverziós vizsgálatokat, a 2D és 2.5D kombinált geoelektromos függvény inverziós módszer kifejlesztését, az ezekhez kapcsolódó teszteléseket szintetikus és terepi példákon, az együtthatók száma meghatározásának általános alkalmazható módszerét, beleértve a zavizsgálatokat és több mérési elrendezés adatainak, ill. különböző mérési irányban mért geoelektromos adatok együttes inverziós módszerének kidolgozását és részben tesztelését. Ebben a kutatási fázisban a területi inverzió egy speciális ún. szelvényszakaszok összegzési módszerével is foglalkoztunk (Gyulai, Ormos, Dobróka 2007). A területi inverziós módszer (3D) kifejlesztését egy későbbi kutatásunkban tervezzük, mivel az egy általános megoldást kínál többféle területi geofizikai adat együttes inverziójával bonyolult geológiai szerkezetek részletes kutatására.

1. Az inverziós módszerfejlesztések eredményeinek szemléltetésére a jelentésben 10 ábrát mutatunk be.

Az 1. és 2. ábra az 1.5D függvényinverzióra vonatkozik, az 1D előremodellezés közelítés hibájának vizsgálatát mutatja olyan 2D modellsorozaton, amelynél a modell szélességének növelésével a 2D geoelektromos modell egyre inkább 1D modellhez közelít. Az ábrán látható, hogy a modell szélességének (szelvénytávolságnak) a növelésével az inverzióban csökken az adattávolság, amely kezdetben a modell 2D jellegéből és az adatokat terhelő 2 %-os hibából adódik. A szelvénytávolság (modell) növelésével az 1D-hoz való közelítéssel az inverzióban jelentkező adattávolság egyre jobban megközelíti a szintetikus adatokat terhelő hibát. A 2. ábra szerint létezik olyan modell, amely tipikusan 2D-modellnek tekinthető, majd átmeneti zóna után jutunk el az 1D modelltípushoz. Az első modell típus 2D inverziót igényel és ugyanez vonatkozik az átmeneti zóna első szakaszára, azonban az átmeneti zóna második szakaszától már jó eredményt ad az 1D inverzió.

A 3. ábrán 2D modell kombinált inverziójának eredményét mutatjuk be. Az iteráció első szakaszában 1.5D inverzió alkalmazunk, majd ennek eredményéből, mint start modelltől továbbfolytatjuk az inverziót 2D véges differenciás előremodellezést alkalmazva. Az 55-ik iteráció eredménye azt mutatja, hogy 2D előremodellezéssel az eredménymodell pontosan visszaadja a célmodellt, ill. a kombinált inverzió második szakaszában a 7. iterációs lépésnél már igen jónak mondható az inverzió eredménye.

A 4.a. és 4.b. ábrákon a kombinált függvényinverzió eredményei láthatók a modell második rétegének vastagságára vonatkozó együttható szám növelésével. Az együttható számának növelésével látszólag javítani lehet a modell részleteinek meghatározását, azonban egy bizonyos együttható szám felett már az adathibából adódó modellhibák növekednek meg. Az együttható optimális számának meghatározása sokáig a módszer legkritikusabb problémájának látszott, hiszen ennek megoldása biztosan modellfüggő és adathiba függő. A 4.-7. ábrák eredményei azt mutatják, hogy van egy olyan együttható szám (nevezzük ezt optimális együttható számnak), amely felett már nem érdemes növelni annak értékét, annak ellenére, hogy részletesebb modellbecslést

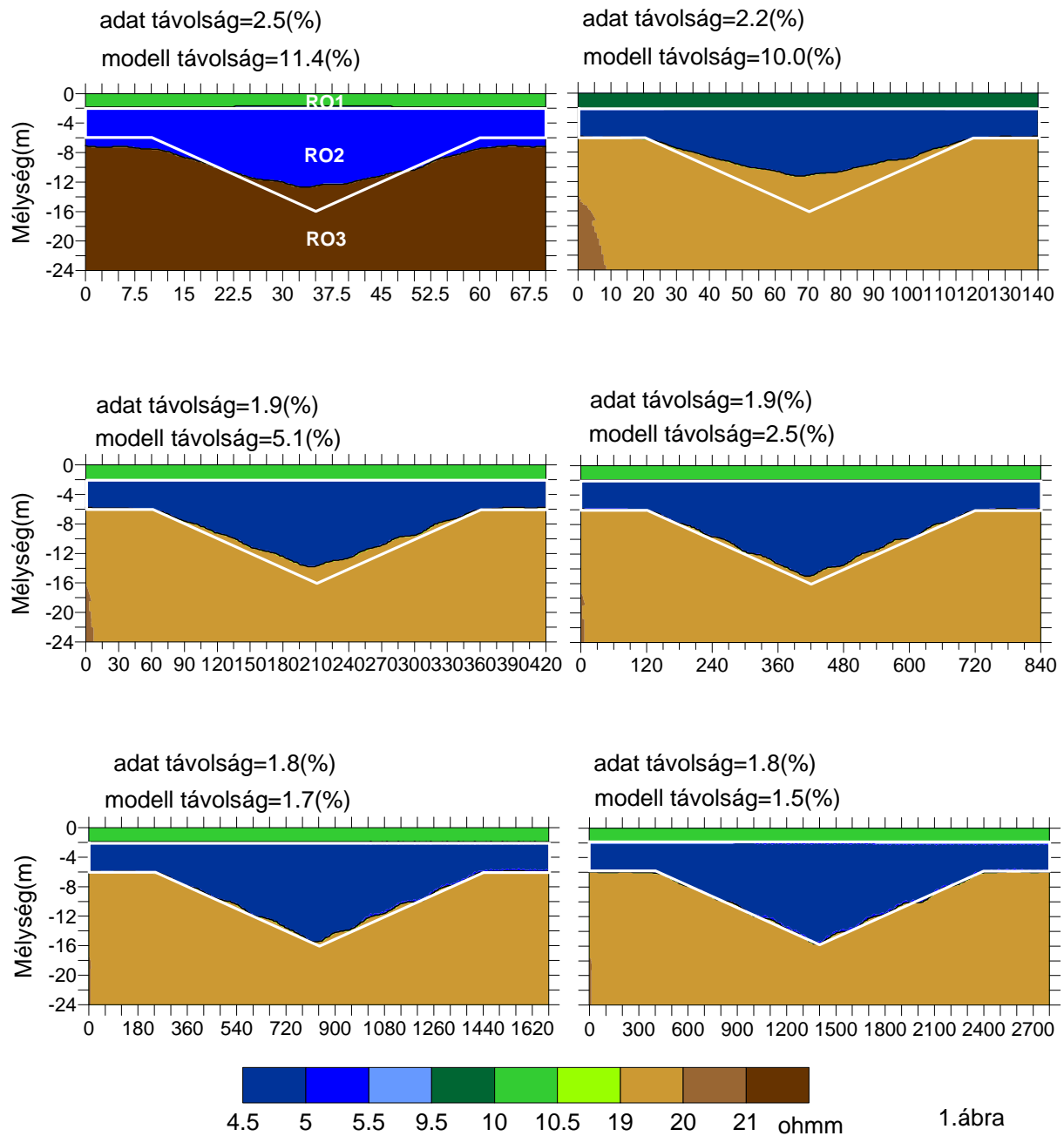
adhatnak viszont nagyobb hibával. A mérési adatokban nincs annyi információ, amely ezt lehetővé tenné. Az inverziós stratégia alapja az adathiba és az átlagos becslési hiba együttes minimuma. Az együtthatók számát akkor lehetséges továbbnövelni az inverzióban, ha újabb geofizikai adatokat vonunk be az inverzióba, vagy a mélységre és/vagy fizikai paraméterekre a priori ismereteket tudunk beépíteni.

### 1.5D INVERZIÓ EREDMÉNYE A MODELLSZÉLESSÉG NÖVEKEDÉSÉVEL

29 SCHLUMBERGER VESZ ÁLLOMÁS AB/=1.6- 50m

Együtthatók száma:  $h_1=3$ ,  $h_2=29$ ,  $RO_1=1$ ,  $RO_2=1$ ,  $RO_3=1$

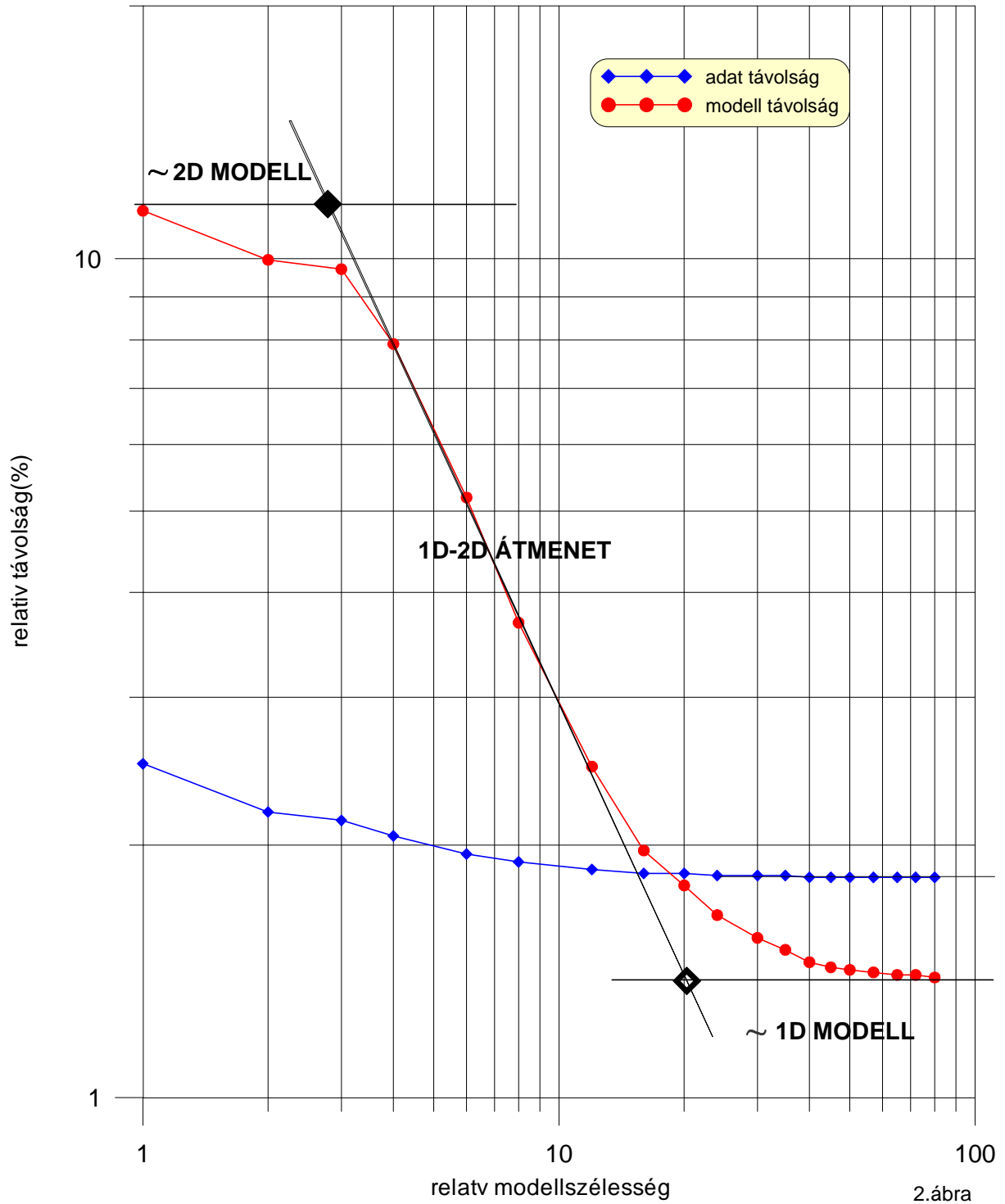
$RO_1=10$  ohmm       $RO_2=5$  ohmm       $RO_3=20$  ohmm



1.ábra

# 1.5D FÜGGVÉNYINVERZIÓ EREDMÉNYE A MODELLSZÉLESSÉG VÁLTOZÁSÁNAK HATÁSÁRA

MODELLHIBA+2% GAUSS ZAJ



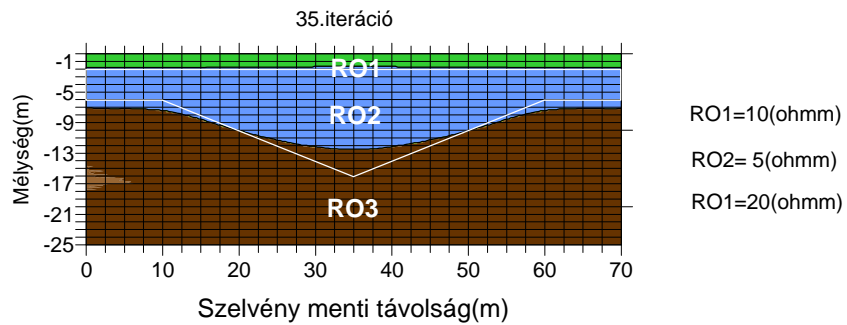
# KOMBINÁLT FÜGGVÉNYINVERZIÓ EREDMÉNYE

29 VESZ ÁLLOMÁS AB/2=1.6-50(m)

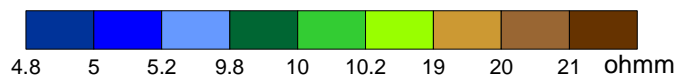
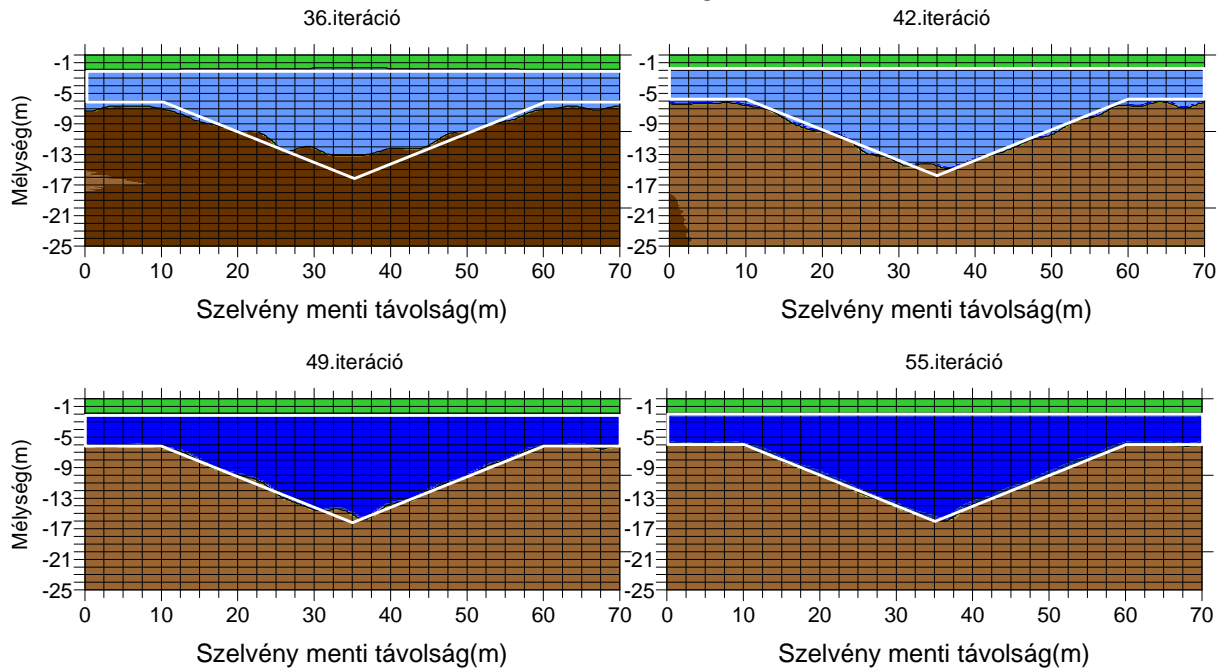
GAUSS ZAJ=0(%)

együtthatók száma:h1=3 ,h2=29, RO1=1, RO2=1, RO=1

## 1.5D INVERZIÓ



## 2D INVERZIÓ



3.ábra

## KOMBINÁLT FÜGGVÉNYINVERZIÓ EREDMÉNYE

29 VESZ ÁLLOMÁS AB/2=1.6-50(m)

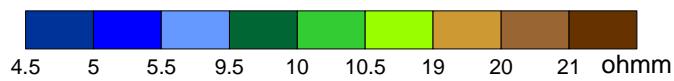
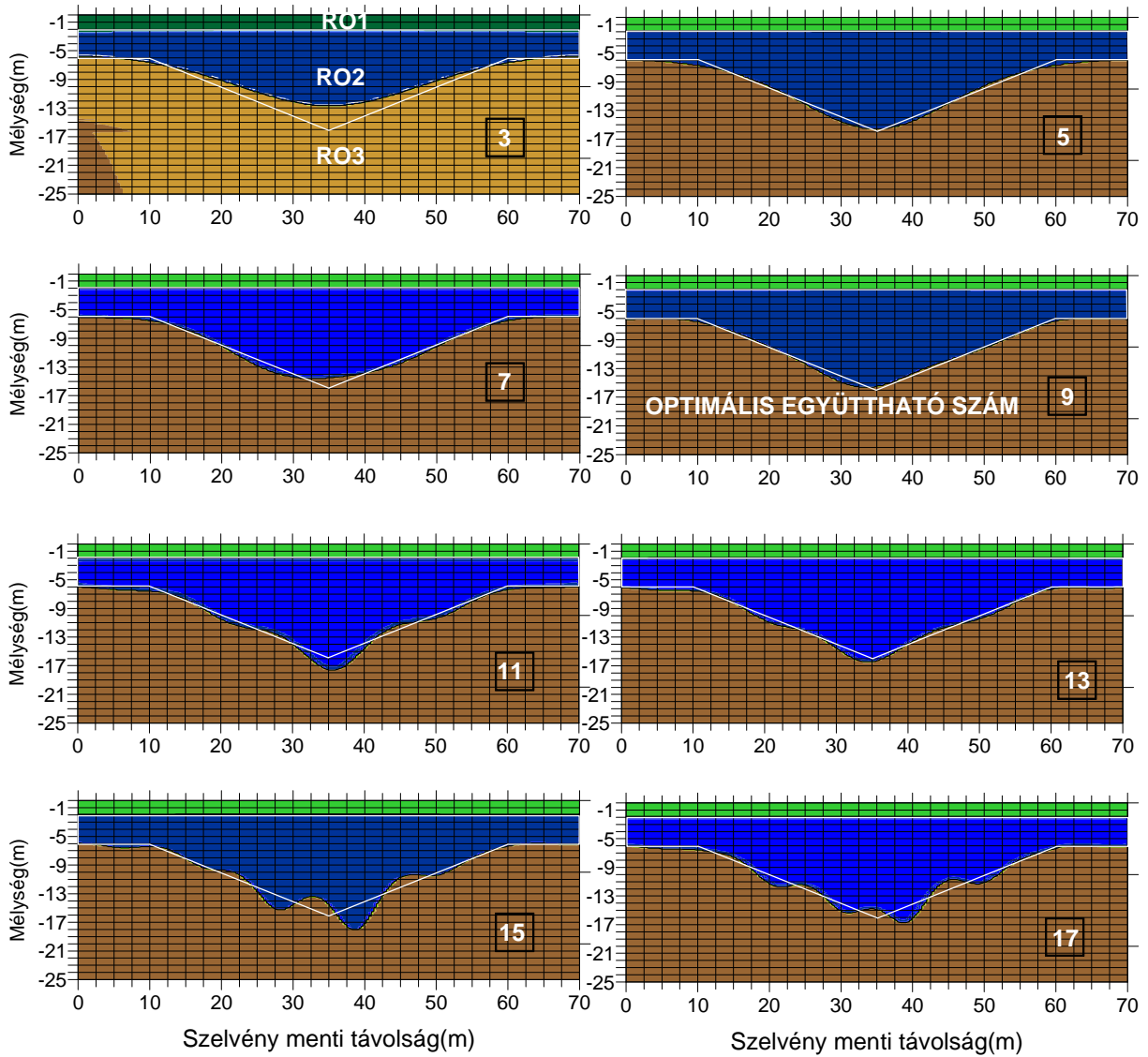
GAUSS ZAJ=2(%)

együtthatók száma:h1=3 ,h2= , RO1=1, RO2=1, RO=1

RO1=10(ohmm)

RO2= 5(ohmm)

RO1=20(ohmm)



4.a ábra



# KOMBINÁLT FÜGGVÉNYINVERZIÓ EREDMÉNYE

29 VESZ ÁLLOMÁS AB/2=1.6-50(m)

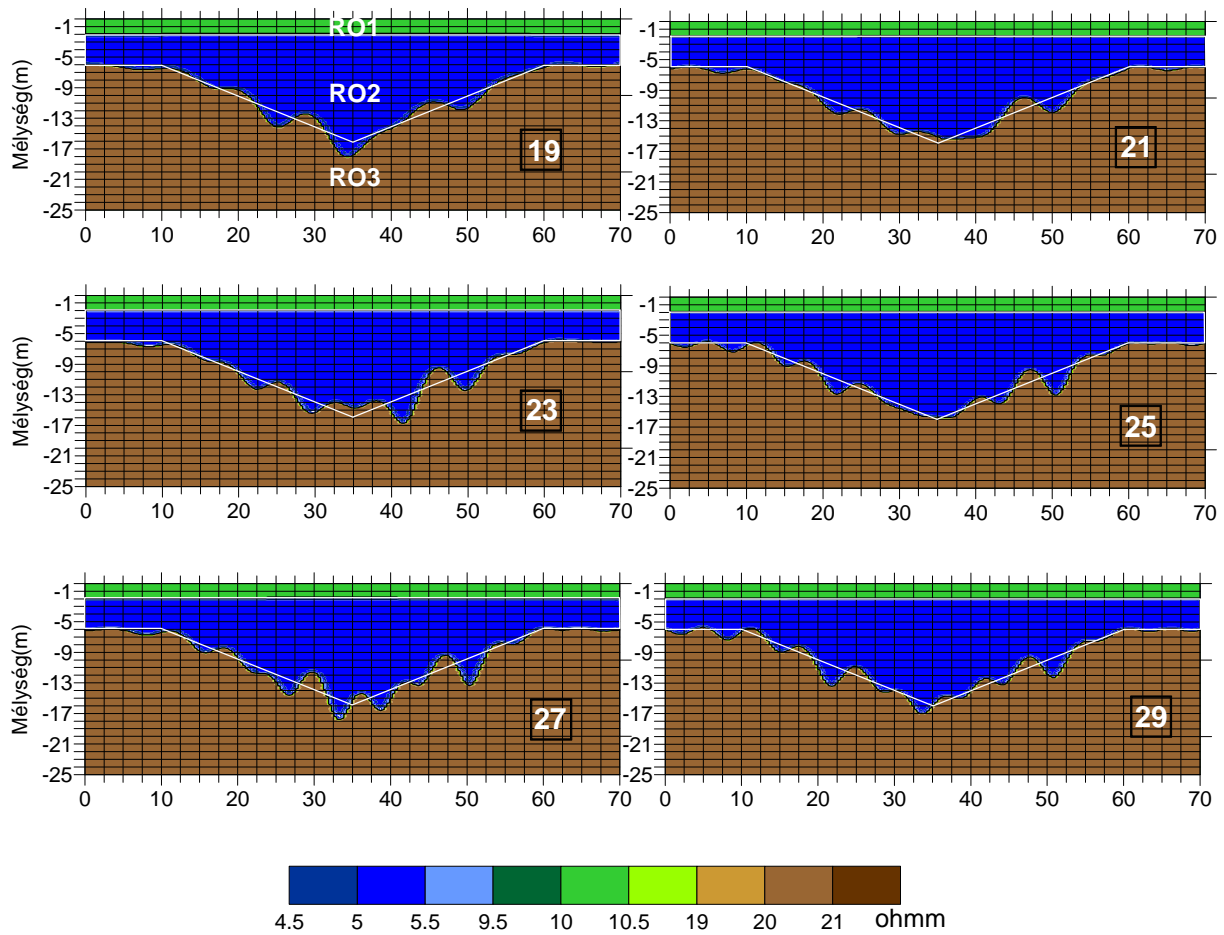
GAUSS ZAJ=2(%)

együtthatók száma:h1=3 ,h2=  , RO1=1, RO2=1, RO=1

RO1=10(ohmm)

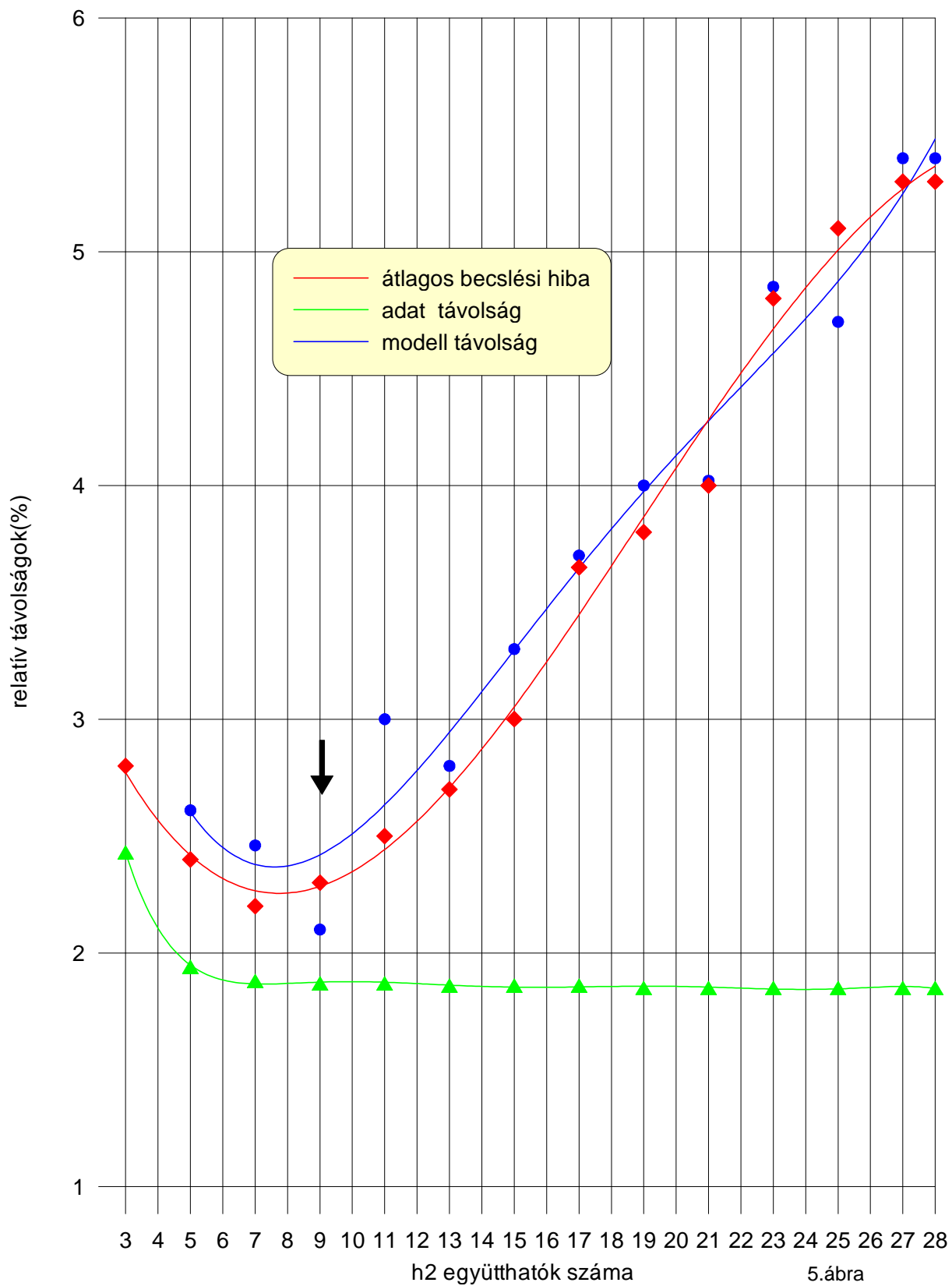
RO2= 5(ohmm)

RO1=20(ohmm)



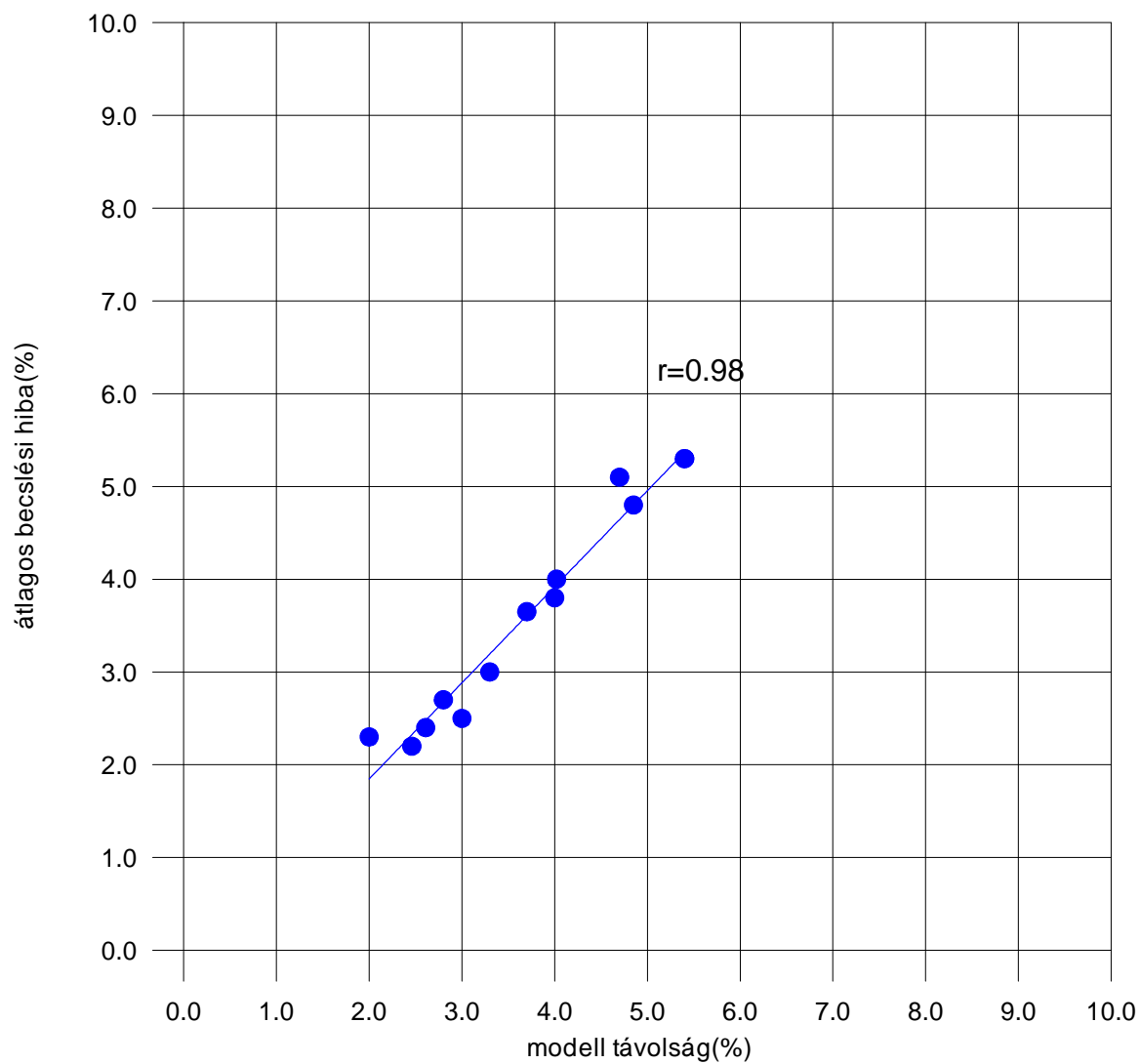
4.b ábra

# Optimális együtttható száma



5.ábra

## A MODELLTÁVOLSÁG ÉS ÁTLAGOS BECSLÉSI HIBA KORRELÁCIÓJA 2D FÜGVÉNYINVERZÍÓ ESETÉN



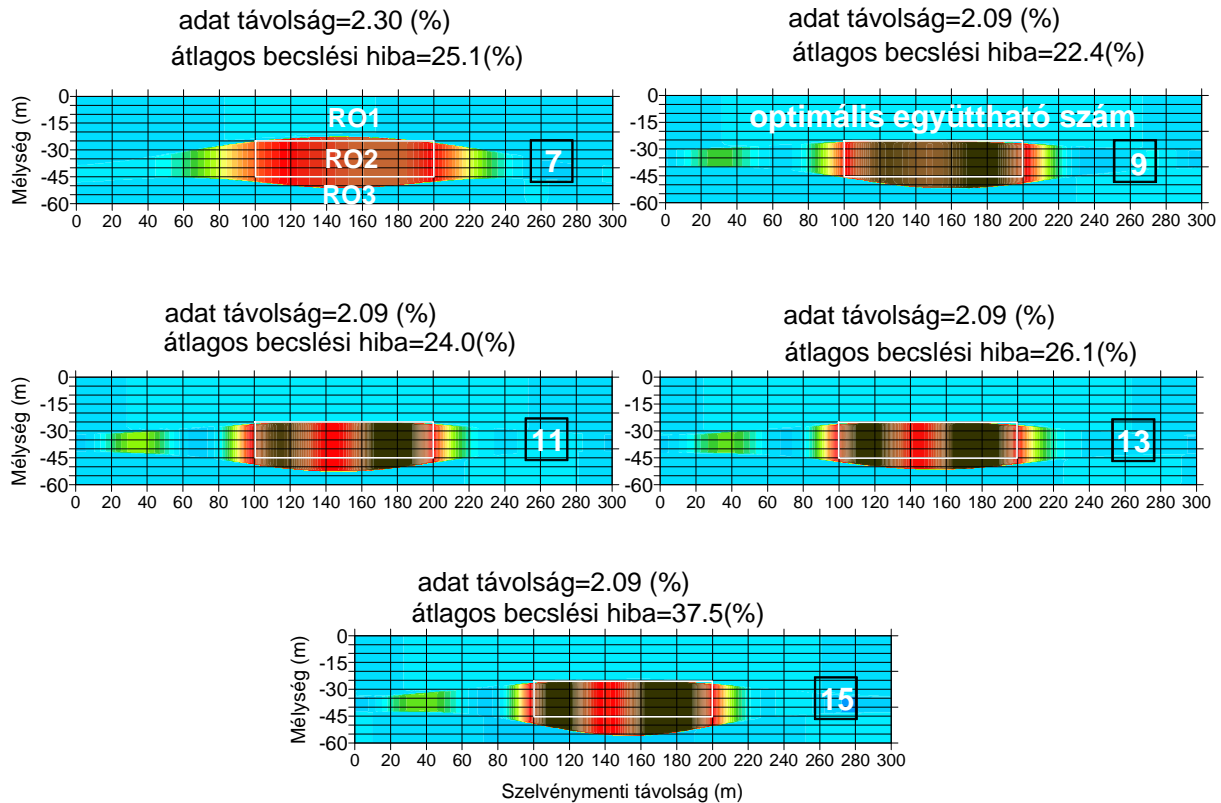
6.ábra

KOMBINÁLT FÜGGVÉNYINVERZIÓ EREDMÉNYE  
 16 SCLUMBERGER VESZ ÁLLOMÁS AB/2=3.2-200(m)

GAUSS ZAJ=2(%)

együtthatók száma:h1=3 ,h2= 3, RO1=3, RO2=□ , RO=3

RO1=10(ohmm) RO2= 50(ohmm) RO3=10(ohmm)

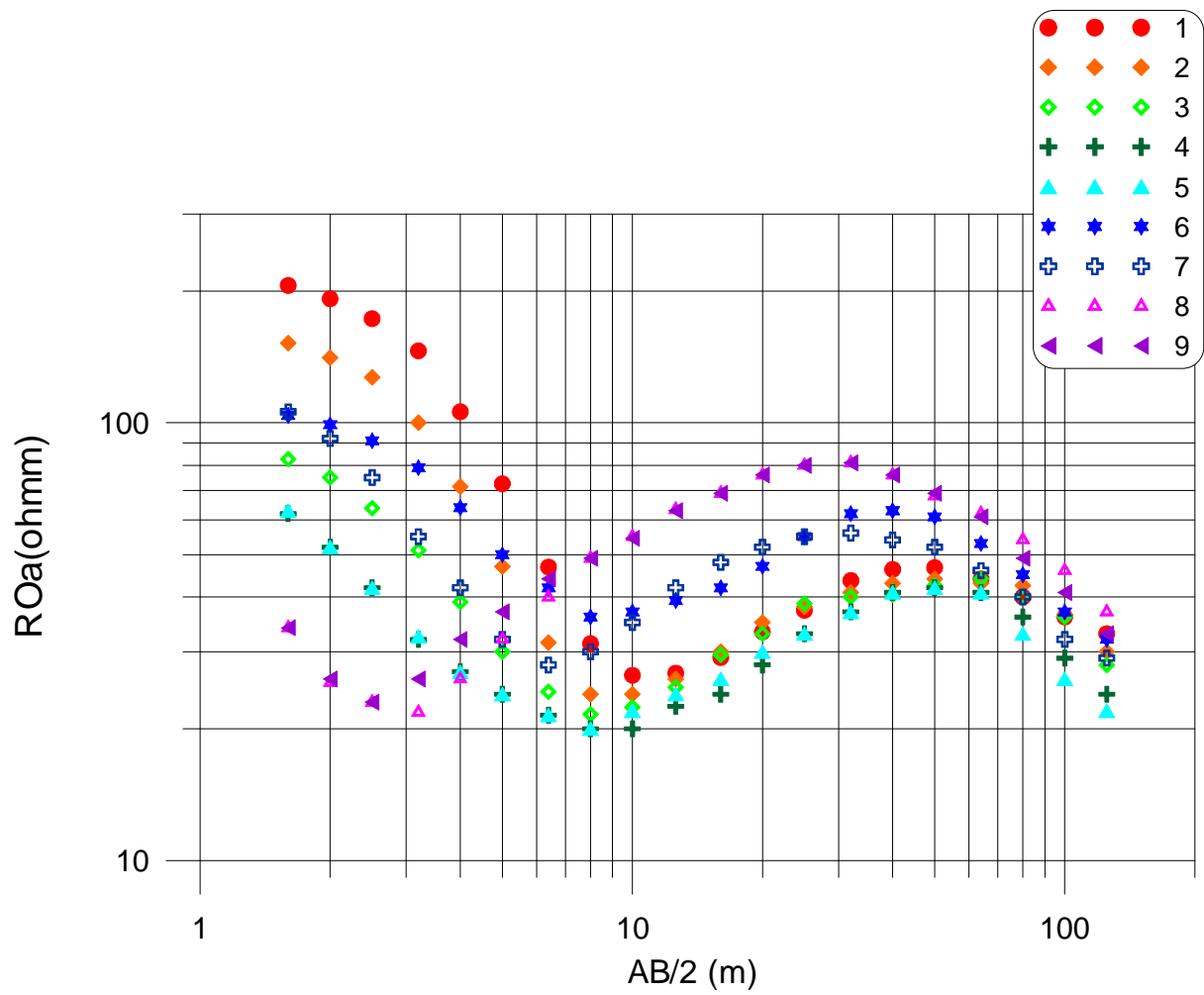


7.ábra

A 8. és 9. ábrák hulladéklerakón mért VESZ szondázási adatok kombinált inverziós eredményét mutatják be. Az 1.5D inverzióban adódó átlagos becslési hibák nagy része az első kisvastagságú rétegből adódik. A 2D inverzióban az átlagos becslési hiba jelentősen lecsökken. Érdeemes megemlíteni még a korrelációs norma jelentős csökkenését a 2D inverzióban.

Az inverziós eredmények közül kiemeljük még a különböző mérési adatok együttes inverzióját, amelyet a 10. ábra szemléltet. A modellt a Geophysics-ben megjelent egyik publikációból vettük át. A modellre a hasábok figyelembevételével szintetikus adatokat számítottunk véges differencia programmal, majd együttes kombinált 2.5D inverziós módszerrel végeztük a kiértékelést. A vizsgálat célja egyben annak bemutatása is, hogy blokkos szerkezetekre is jól alkalmazható a függvényinverzió. (A 2.5D elnevezés hasonlóan az 1.5D-hez, az alacsonyabb dimenziójú előre-modellezésre utal.)

# TEREPI SCHLUMBERGER VESZ ADATOK A KOMBINÁLT FÜGGVÉNY INVERZIÓHOZ



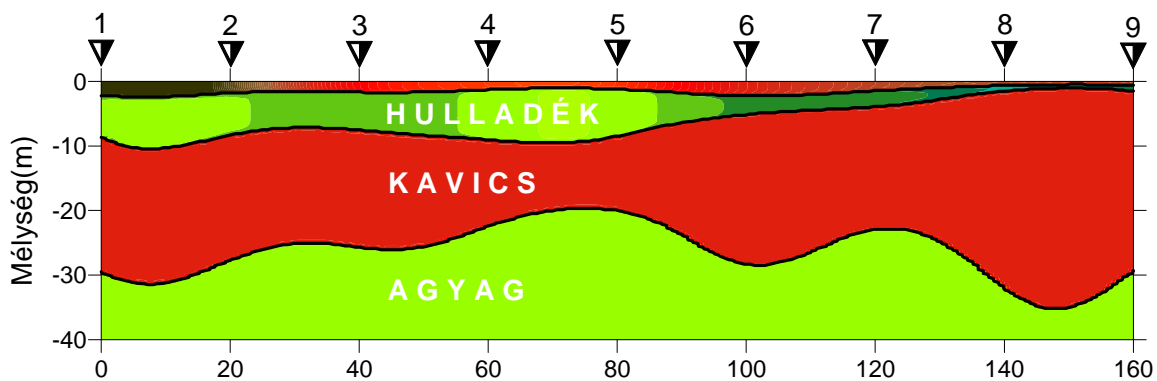
8.ábra

# TEREPI SCHLUMBERGER VESZ KOMBINÁLT 2D INVERZIÓ EREDMÉNYE

együtthatók szám  $h_1=9$ ,  $h_2=9$ ,  $h_3=9$  ,  $RO_1=9$ ,  $RO_2=9$ ,  $RO_3=1$ ,  $RO_4=1$

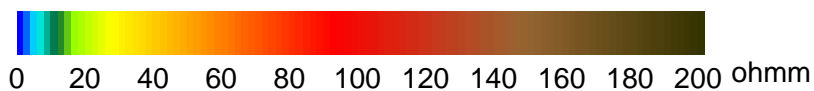
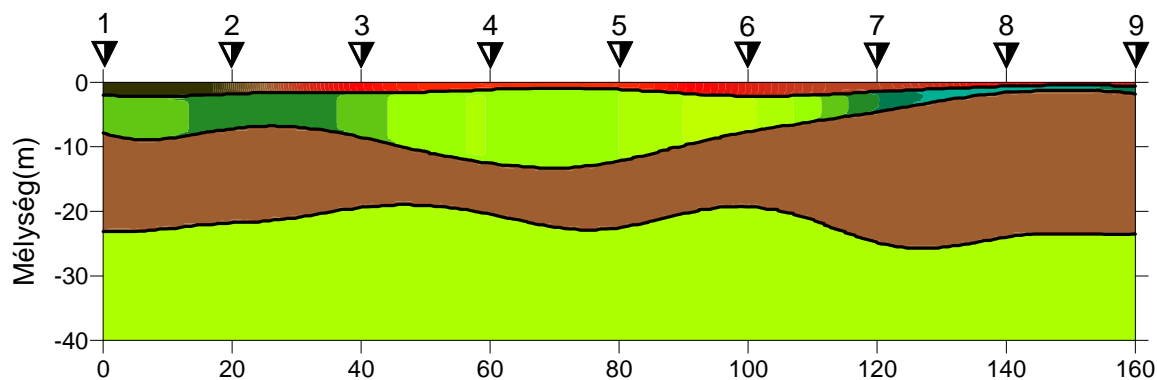
## 1.5D INVERZIÓ

adat távolság=3.9(%)    átlagos becslési hiba=150(%)    korr.norma=0.464



## 2D INVERZIÓ

adat távolság=2.4(%)    átlagos becslési hiba=16.2(%)    korr.norma=0.269



9.ábra

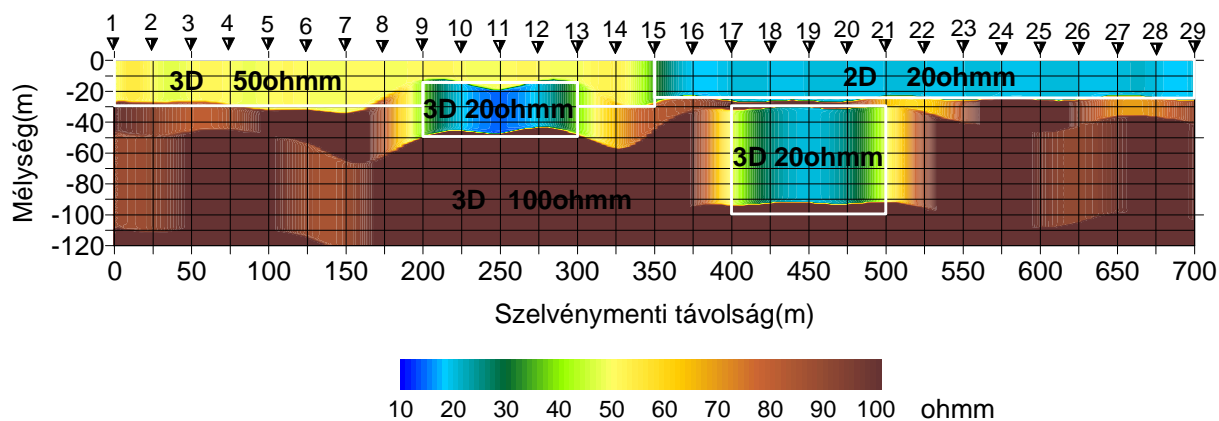
## 2.5D FÜGGVÉNYINVERZIÓ ERDMÉNYE 3D -VEL KOMBINÁLT 2D MODELL ESETÉN

A 20ohmm-es 3D HASÁBOK HOSSZÚSÁGA MERŐLEGESEN MINTEGY 200(m)

FÉLSCHLUMBERGER(AMN.NMB) VESZ 29 ÁLLOMÁS AB/2= 6.3-200 (m) DŐLÉS IRÁNYBAN

FOURIER SORFEJTÉSSEL, EGYÜTTHATÓK SZÁMA : 21-11-1/29-13-13-1

adattávolság=3.4 (%) átlagos becslési hiba=36.9(%)



10.ábra

Az inverziós módszerfejlesztés eredményeiről folyamatban (kéziratban) van két további publikáció nemzetközi szaklapban (ezek ábrái már el is készültek). Arra számítunk, hogy új eredményeink jelentős nemzetközi visszhangra találnak.

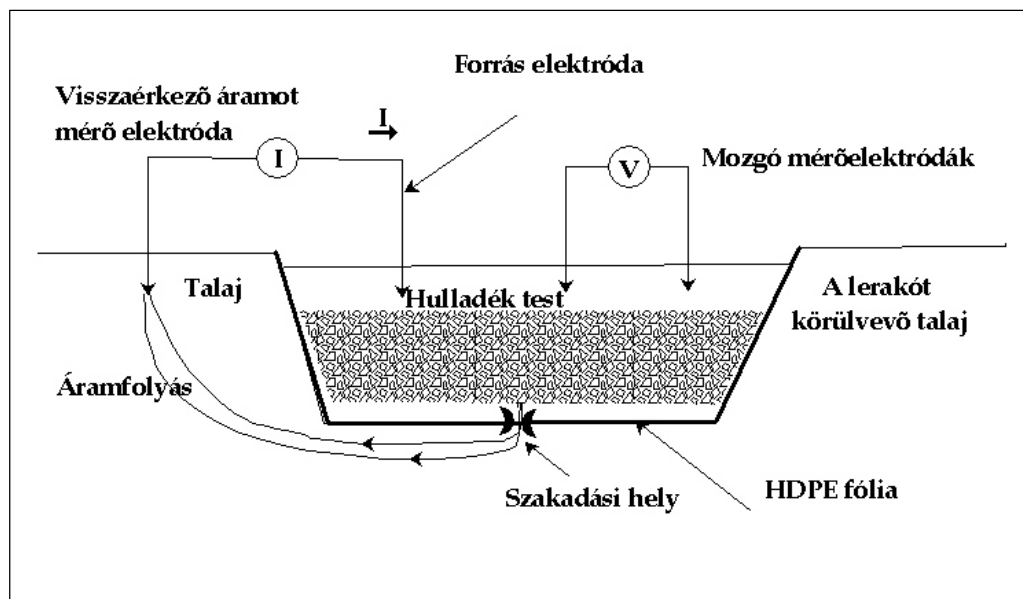
## 2. Hulladéklerakó aljzatszigetelési vizsgálatok

A világszerte egyre szigorodó környezetvédelmi előírásoknak megfelelően új hulladék lerakók építésére már csak úgy adható engedély, ha a beszállítani kívánt hulladékok veszélyességének megfelelően aljzatszigetelési rendszert építenek ki. Az aljzatszigetelési rendszer egyik fontos eleme a HDPE fólia, mely a hulladéktestből a földtani befogadó közeg irányába áramló csurgalékvíz visszatartására szolgál. Az aljzatszigetelési rendszer kiépítése során és a hulladéklerakók üzemeltetése közben a fólia felületén hibák keletkezhetnek, melynek következménye, hogy a hulladéklerakó környezetében a talajvíz, esetleg rétegvizek elszennyeződhetnek. A biztonságos üzemeltetés feltétele az ellenőrzés. Ennek egyik eszköze lehet a geoelektromos geofizikai vizsgálat, melynek nagy előnye a fúrásos és egyéb in-situ vizsgálati módszerekkel szemben, hogy a már behordott hulladékok és a kiépített aljzatszigetelési rendszer nem kerül megbontásra.

A hazai és nemzetközi gyakorlatban az utóbbi években épült kommunális és veszélyes hulladéklerakók HDPE fólia szigetelési vizsgálatait, a kiépítéskor előre beépített elektróda rendszerrel vizsgálják. Ezen háló szerűen elrendezett elektródák általában a szigetelő fólia alatt vannak elhelyezve, mérés köztük a hulladéklerakó szélére kivezetett kábelközpontból valósítható meg. Sajnos, ha hulladékbehordás során valamilyen baleset, vagy a nem megfelelő kiépítés miatt a kábelek elszakadnak, akkor azon a területen mérés csak a kábelek kiásásával valósítható meg, ami az oda hordott hulladékok elszállításával és a szigetelő rendszer szétvágásával érhető el. A gyakorlatban ezt a megoldást csak kivételes esetben alkalmazzák, hogy elkerüljék a másodlagos környezet-szennyezést.

Vannak olyan „korszerűnek” mondható hulladéklerakók ahol, a szigetelő rendszert elkészítették, de előre beépített geoelektromos mérőrendszert nem építettek be. Ilyen esetekben, illetve valamilyen hiba miatt működésképtelen mérőrendszerrel üzemelő hulladéklerakók ellenőrzésénél alkalmazható az a hulladékfelszínről történő geofizikai mérési eljárás, melynek kidolgozása ezen OTKA tárgya volt

Az új mérési és kiértékelési eljárás lényege, hogy előre beépített mérési rendszer nélkül, a hulladéklerakó felszínéről végezhető el a hulladéktest alatt elhelyezkedő HDPE fólia integritásának vizsgálata (11. ábra).



11. ábra

A vizsgálatokat Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékének programkönyvtárában található konjugát gradiens módszert felhasználó 3-D FD (véges differencia) előremodellező program segítségével végeztük.

A szigetelésminősítés, a felszíni térképező geoelektromos előremodellezések elvégzése után, a Geofizikai Tanszék által évtizedek óta fejlesztett geofizikai mérési és inverziós kiértékelési módszerek alkalmazásával együtt értelmezhetők.

### **3-D véges differencia előremodellezés**

A rendelkezésre álló 3-D FD előremodellező program tetszőleges keresztmetszetű, háromdimenziós, inhomogén, – bármilyen fajlagos ellenállású és geometriájú- hulladék lerakó vizsgálatát teszi lehetővé. A tetszőleges kifejezés alatt, a hulladéklerakókba behordott anyagok gyakor-



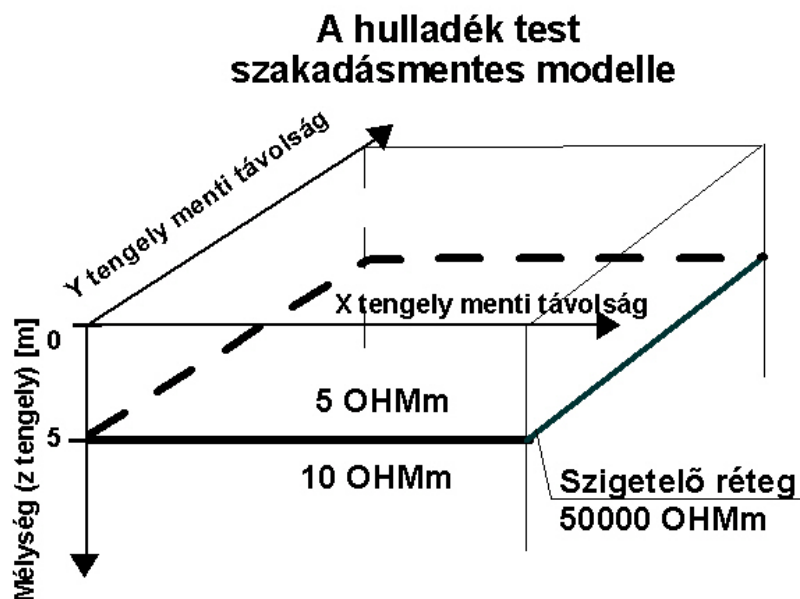
latában tapasztalható átlagos fizikai tulajdonságai értendők. A véges differencia előremodellező alapprogramot Klaus Spitzer intézetigazgató fejlesztette a freibergi Bányászati Akadémia Geofizikai Intézetében. Mivel a program forrásnyelvű változatát is megkaptuk, a szükséges fejlesztéseket ill. változtatásokat a vizsgálatunkhoz elvégeztük. A programban az x, y horizontális irányokban elhelyezhető rácselemek maximális száma 73, a z vertikális irányú rácselemké 39, amelyeket szükség esetén tovább tudunk növelni. A program segítségével rácsfüggetlen elektróda helyzetek valósíthatók meg (adó és vevő elektródák). A potenciálértékek az x, y, z tér tetszőleges rácspontjaiban olvashatók ki. Ez azt jelenti, hogy bármilyen térbeli vizsgálatokat el tudunk végezni, mivel a program végeredményként, a beállításoknál aktuálisan kialakított elektróda elrendezés által gerjesztett térben előálló potenciál értékeket határoz meg.

Az irodalmi ismereteink alapján, valamint néhány tesztszámítás alapján részletes előremodellezési vizsgálatokat két elektródás (pole- pole), és fókuszált elektróda elrendezések segítségével végeztünk. A későbbiekben ezen vizsgálatokat kiegészítjük vonalelektrodás rendszerek vizsgálatával is.

A két elektródás eset példaként bemutatott ábrákon, a forrás elektróda ( $X=-40; Y=0; Z=0$ ) pontban volt elhelyezve. A másik forrás és vevő elektróda a kvázi végtelenben ( $X=-6000; Y=-6000; Z=0$ ) helyezkedett el.

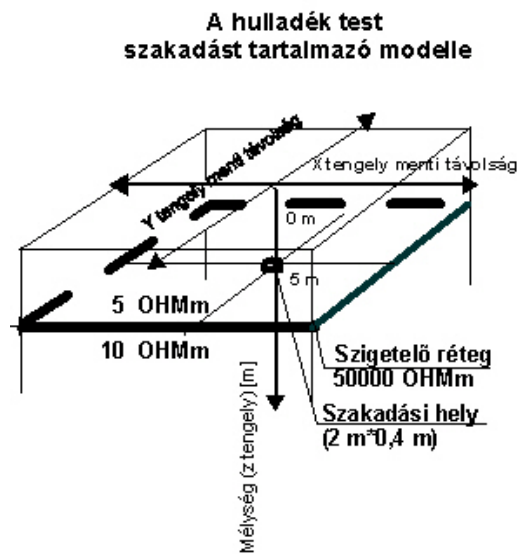
Az ábrákon két alapmodellre vonatkozó eredményeket láthatók:

- A szakadásmentes modellnek  $200 \times 200$  m-es belső hulladéklerakó terület felelt meg, amelyben 5 m vastag, 5 ohmm látszólagos fajlagos ellenállású hulladék réteggel számítottunk. Ez a hulladékvastagság átlagosnak tekinthető egy használatban lévő hulladéklerakónál. Az FD előremodellező programmal történő vizsgálatokban ezt a rétegparamétert csökkenteni és növelni is lehetséges (szükséges). A hulladékok alatt 10 ohmm látszólagos fajlagos ellenállású „szennyezetlen” talajt modelleztünk, melyet egy 50.000 ohmm-es szigetelőréteg (fólia) választ el a fölötte elhelyezkedő hulladékoktól (12. ábra).



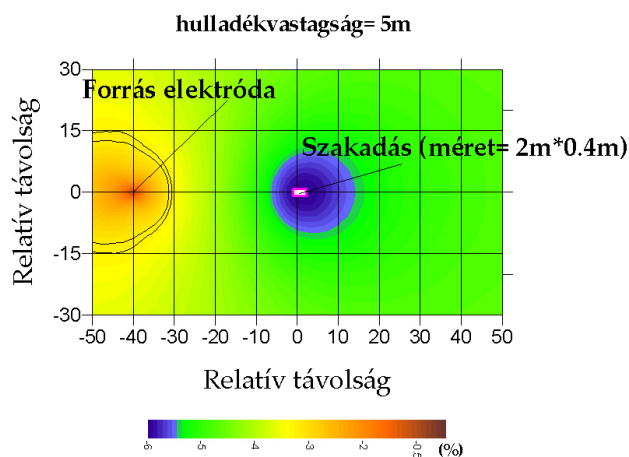
12. ábra

- b. Aljzatszigetelési hibát tartalmazó modell a sérülésmentes modelltől annyiban különbözik, hogy az 50.000 ohmm-es szigetelő rétegben, az önkényesen használt koordináta rendszer 0, 0 pontjában egy szigetelési hiba található, aminek mérete 2 m\*0,4 m (13. ábra).



A szakadásmentes és a szakadást tartalmazó potenciálértékek egymásra normált értékeiből számított eloszlás térképet a 14. ábra mutatja be. A potenciál-eloszlás térképen jól látható, hogy a középpontban elhelyezett „szakadásnál” jelentős eltérés adódik a területre jellemző potenciál-eloszláshoz képest. A valódi esetekben a fóliaszigetelés elektromos fajlagos ellenállása az itt felvett (50000 ohmm)-hez képest 2-3 nagyságrenddel is nagyobb lehet. A jelentésben nem közölt számítások szerint ezekben az esetekben arányosan megnövekszik a szakadásnál jelentkező anomália.

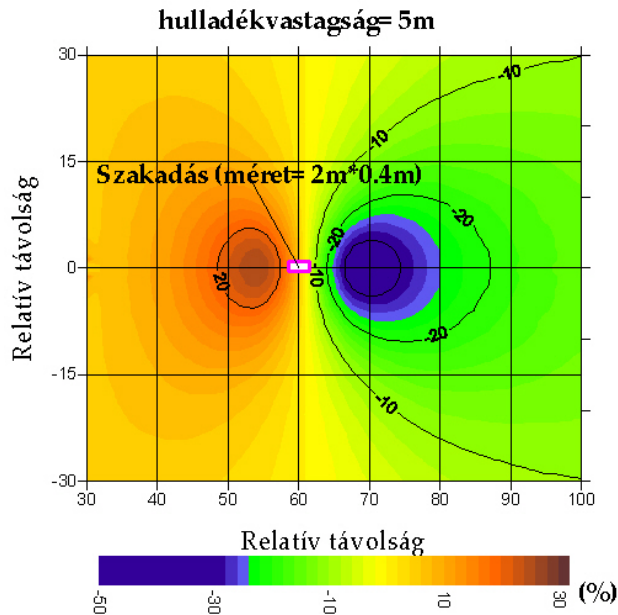
## Potenciál-eloszlás Két elektródás eset



A szakadás jobb kimutathatósága érdekében a méréssel végrehajtott speciális deriválási transzformációval adódik a 15. ábrán bemutatott potenciálkülönbség eloszlása. A szakadás X= -60 Y =0 Z=0 rácspont környezetében található, mérete 2 m\* 0,4 m. Az ábrán két, a szakadásra

szimmetrikusan elhelyezkedő anomália jelentkezik. A +30 és -60% -os anomália közötti távolság felező pontja jelöli ebben a speciális derivált elrendezésben a szakadás helyét. Az ábra alapján megállapítható, hogy ezzel a derivált konfigurációval jelentősen javul a szakadás kimutathatósága.

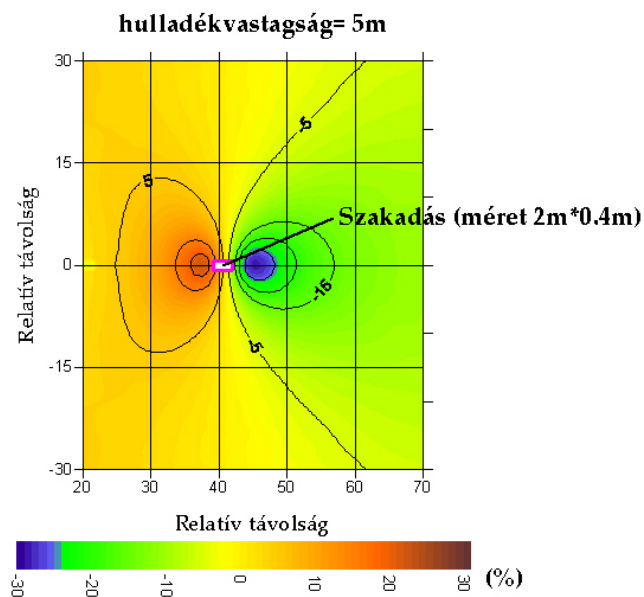
### Derivált potenciál-eloszlás Két elektródás eset



15. ábra

A 16. ábrán speciális fókuszált elektróda elrendezés által keltett potenciál eloszlás figyelhető meg. A szakadás középpontja az X=-40 Y=0 Z=0 rácspont. Az ábrán látható, hogy a szakadás közvetlen környezetében 30 és -30%-os anomáliapár található. A két anomália közötti szakasz felezési pontja mutatja a szakadás helyét.

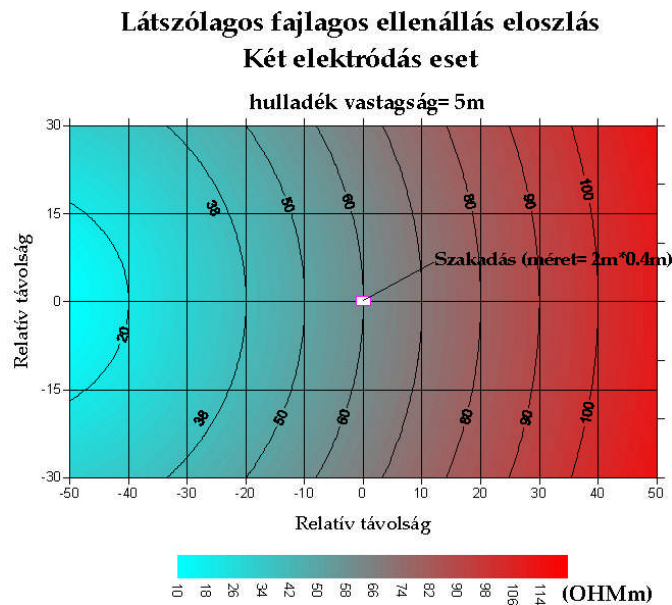
### Fókuszált elektróda elrendezés



16. ábra

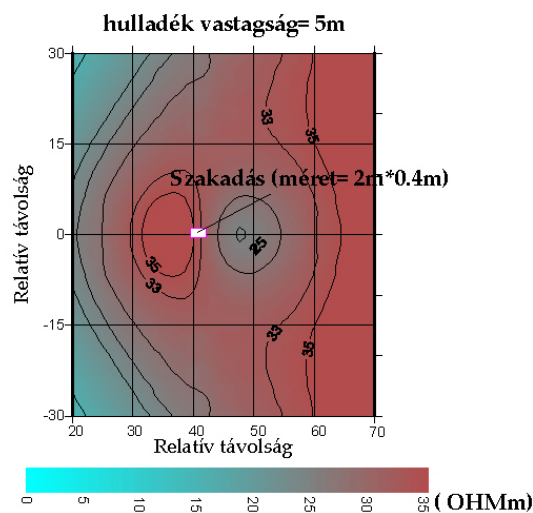
A kiragadott 3 potenciál-eloszlást tartalmazó példákon a 3D FD program segítségével kapott eredmények láthatók. A 2-féle elektródakonfigurációval (két elektródás, fókuszált) és egy speciális deriválási transzformációval kapott felszíni potenciál-eloszlás térképek azt mutatják, hogy a geoelektromos szempontból a környezetétől szigetelő fóliával elhatárolt hulladék lerakók aljzatszigetelési hibái jól elkülöníthetőek a lerakó felett mérhető potenciál eloszlás alapján.

Bemutatjuk még a potenciál eloszlás térképből számított látszólagos fajlagos ellenállás térképet (17. ábra). A szakadás az ábra középpontjában helyezkedik el. Az izovonalak eloszlásában észrevehető zavar nem figyelhető meg. Azért, hogy a szakadás helye kimutatható legyen, deriválási transzformációt hajtottam végre a potenciál eloszlási adatokon. Majd a transzformáció segítségével kapott adatokból számított fajlagos ellenállás eloszlás térképet számítottunk. Ezt a 18. ábra mutatja.



17. ábra

**Derivált fajlagos ellenállás eloszlás**  
**Két elektródás eset**



18. ábra

A bemutatott ábrák alapján megállapítható, hogy egy 5 m-es átlagos hulladékkal való borítottság esetén, az aljzatszigetelésen előforduló szigetelési hiba eredményesen kimutatható ezekkel a geoelektromos mérésekkel. Az alkalmazott két elektródás és fókuszált elektróda elrendezés a szigeteléssel lehatárolt modellre vonatkozó paraméter-érzékenység és az árambehatolási képessége miatt, jól használható szakadási hely/ek felkutatására.

A mérés során megvalósítható deriválási transzformáció segítségével, javítható a két elektródás elrendezés szakadás kimutató képessége.

Az eredmények összefoglalása a teljesítésről egy külön pontban található. Ugyanez vonatkozik a kutatással kapcsolatban megjelent publikációkra.