

Válasz
Gyulai Ákosnak
a Szalai Sándornak
a „Geoelektromos kvázi null elrendezések” címmel írt MTA doktori értekezéséről adott
opponensi véleményére

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Gyulai Ákosnak, az MTA doktorának, hogy értekezésem elbírálta, észrevételezte és az értekezést pozitívan értékelte.

A Bíráló által javasolt **formai változtatásokat a tézisekbe** bevezettem, ahogy azt a következőkben részletesen kifejtem:

a. Minden tételnek legyen egy összefoglaló része, s ha kell, tartalmazza alpontokban az egyes részmegállapításokat.

Az összefoglaló szerepet az egyes tézisek **címeinek** szántam.

A téziseken belül ne legyenek magyarázó részek

A magyarázó részeket az 1, a 4c, a 6b és a 6c tézisekből **töröltem**.

b. Zavaró, hogy az 1. tételben szerzőtársról beszél. Szerintem a saját eredményeit jó lenne megjelölni.

A szerzőtársra vonatkozó tevékenység **csak a csoportokba sorolásra** vonatkozik: „szerzőtársammal rendszereztem őket három paraméter, az egyvonalúság, a fókuszálás és a többszörös mérés elvén, összesen 8+1 csoportot alkotva”. Minden más az én eredményem.

c. Mivel Gyulai a paraméterérzékenységek más definícióját használta (egy az egész struktúrára vonatkozó paraméterérzékenységet) jelölnie kellene a tételben, hogy a Szerző általa alkalmazott paraméterérzékenység elemi kockára van definiálta.

A 2a. altétel a kért formában: **Levezettem** a geoelektromos elrendezések paraméterérzékenység térképeinek számításához szükséges képletet **elemi kockára** és annak a tér **mindhárom irányára merőleges lappárjaira** külön-külön is, **ábrázoltam** ezeket minden **elrendezés** esetére, amelyeknél ez lehetséges és **bemutattam** néhány **alkalmazási lehetőséget**.

d. Megjegyzés a 4. tézishez: Kialakítottam egy kvalitatív összehasonlítási rendszert, felsorolni a leggyakrabban használt elrendezéseket.....

A 4a. tézis új megfogalmazása:

4a.Összevetettem egy általam kialakított kvalitatív összehasonlítási rendszer segítségével az öt leggyakrabban alkalmazott hagyományos elrendezés (Wenner- α , Wenner- β , P-DP, P-P és a Dp-Dp) és a hagyományos négyelektródás elrendezésekből optimalizálással létrehozott úgynevezett Stummer elrendezés leképezési tulajdonságait nyolc különböző modell és modellenként két különböző zajszint esetére.

Ennek segítségével kimutattam, hogy **mind a modelltől, mind a zaj szintjétől jelentősen függ, hogy melyik elrendezés adja a legjobb képet.**

e. 5.tézis: Amit az 5.a-f tartalmaz az mind igaz, talán még az is, hogy a mélység változásokra is érzékeny. Viszont jó lenne rövidíteni és jobban korlátozódni a tézis megfogalmazásában csak az új eredményekre.

A tézist a Bíráló kérésének megfelelően átfogalmaztam, lerövidítettem:

5. Az egyvonalú null elrendezések

5a. A MAN elrendezés paraméter-érzékenység térképei segítségével kimutattam, hogy esetében a KuM nem értelmezhető. Geometriai faktorának végtelen volta miatt a MAN elrendezés KimM-e sem értelmezhető és a MAN eredmények nem is invertálhatóak.

5b. A MAN elrendezés esetében a mért eredmények megjelenítésére a $\Delta U/I$ mennyiséget javaslom. Jóllehet az fajlagos ellenállás értékek számítására nem, az elrendezés inhomogenitások detektálására kiválóan alkalmas.

5c. Terepi mérésekkel bebizonyítottam, hogy a null elrendezések esetében az elektróda pozicionálási hibák ellenére is, még zajos környezetben is tökéletesen elkülönültek a jelek a háttérértékektől, azaz a jel/zaj arány a terepi mérések során a jelek feldolgozásához elegendőnek bizonyult.

5d. Mivel a MAN jelek a hagyományos elrendezésekeinél sokkal gyorsabban változnak az inhomogenitás felett elhaladva, ezek az elrendezések a horizontális irányú ellenállás változásokra érzékenyebbek. A terepi mérések ezt megnyugtatóan alátámasztották.

5e. Megmutattam, hogy a nem-null-, és a null elrendezések működése között az alapvető különbség, hogy előbbiek esetében a számunkra általában érdekes, a horizontális irányú ellenállás változásokból eredő jel a homogén féltér felett mérhető jelre tevődik rá, míg a null elrendezés esetében az önállóan jelenik meg, hiszen a homogén féltér felett nulla jelet kell mérnünk.

5f. A null elrendezések jobbnak bizonyultak repedések lokalizálásában és azok irányának meghatározásában, mint a hagyományos elrendezések.

f. A 8. és 9. tézist javaslom összevonni, amelynek a lényegét az adja, hogy kidolgozott olyan új talajmechanikai mérőmódszereket, amelyek alkalmasak felszín közeli mikro-szerkezetek kutatására különösen geofizikai kutatásokkal együtt archeológiai kutatásokra, mikro repedezettség kutatásokra, felszín közeli, karsztos szerkezetek kutatására.

A Bíráló e kérésének nem tettem eleget, mert a másik két Bíráló nem támogatta a 8. tézis elfogadását, így nem látszik célszerűnek a 8. és a 9. tézis összevonása.

A Bíráló kérésének megfelelően átfogalmazott tézisek a *Mellékletben* már az új formájukban láthatók.

A Bíráló által feltett **kérdésekre válaszaim** a következők:

1. kérdés

Kísérletezett-e a Gyulai által definiált „strukturális” paraméterérzékenységi vizsgálatokkal, amelyek lehetővé teszik a különböző elrendezések összehasonlítását bonyolultabb szerkezetek esetén is?

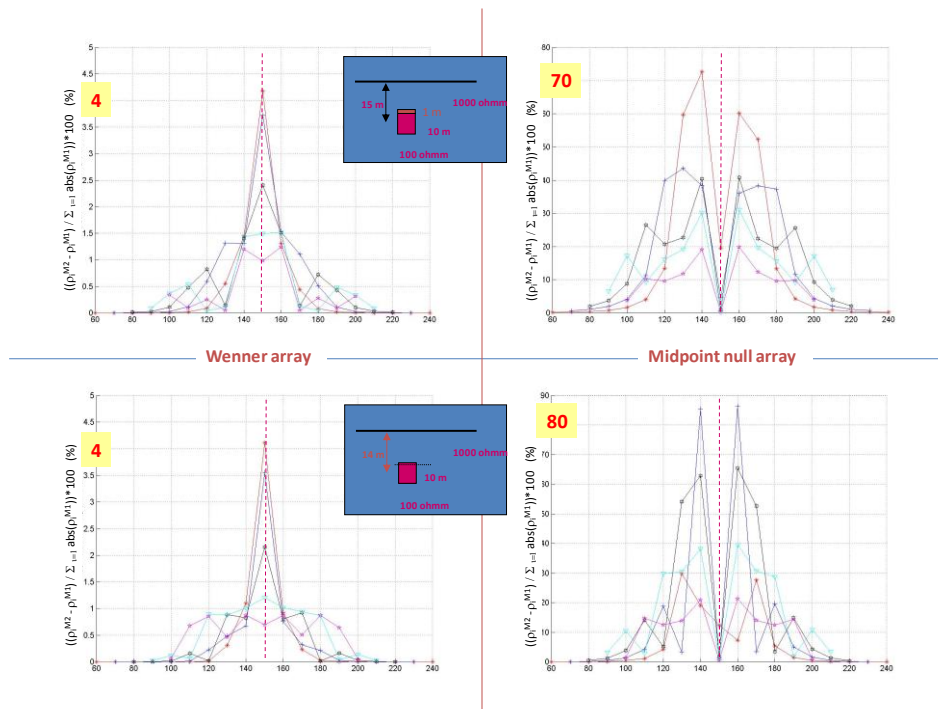
Az 1. kérdésre adott válaszom:

Konkrétan a Gyulai által definiált „strukturális” paraméterérzékenységi vizsgálatokkal **ez idáig nem** folytattam kísérleteket. Ennek oka **időhiány** mellett az is, hogy **mindeddig elsősorban az egyszerűbb hatók vizsgálatára koncentráltam**, míg a Gyulai-féle paraméterérzékenységi vizsgálatok előnyös oldala talán inkább bonyolultabb szerkezetek esetén domborodik ki. A kvázi null elrendezések segítségével pedig elsősorban az egyszerűbb hatók kimutatásában és jellemzésében várok jelentős előrelépést.

A **monitorozás**, azaz a felszínalatti elektromos ellenállás eloszlás időbeli változásának nyomon követése a másik jelentősebb olyan problémakör, amiben ezektől az elrendezésektől előrelépést várok. A monitorozási problémák esetében pedig **már elkerülhetetlenek lesznek** a Gyulai által definiált „strukturális” paraméterérzékenységi vizsgálatok. **Szintén nagy szükség** lesz majd ezekre, amikor ezen elrendezések kutatása, alkalmazása már olyan szintre jut, hogy **konkrét, bonyolultabb szerkezetekkel jellemezhető terepi problémákkal** szembesülünk.

Mindemellett **némileg hasonló** jellegű vizsgálatokat korábban végeztem, de azok eredményei nem jutottak el a nyilvánosságra hozatalig. Ezért is minden változtatás nélkül, **csak** az ilyen irányú tevékenység **illusztrálására** mutatom be az *1. ábrát*, ami egy ilyen vizsgálat eredményét ábrázolja.

Fentiek mellett az is az oka, hogy mindeddig nem folytattam kísérleteket a Gyulai által definiált „strukturális” paraméterérzékenységi vizsgálatokkal, hogy már **óriási nyomást** éreztem abba az irányba, hogy bemutassam, hogy a kvázi null elrendezések **terepi körülmények között is használhatóak**. Így aztán jelenleg és a közeljövőben is ebbe az irányba fókuszálok az erőforrásaimat, de ha van rá igény, szívesen részt veszek a Bíráló által javasolt kutatásban.



1. ábra: Prizma alakú ható geometriai paramétereiben (felső sor: magasságában; alsó sor: mélységében) bekövetkező kis változás hatására bekövetkező változás a mért jelben. A „Midpoint null array” a MAN elrendezés korábbi neve. A különböző színű görbék különböző hosszúságú elrendezésekkel mért profilok. Az azonos színű görbék azonos elrendezés hosszának felelnek meg a két elrendezés esetében.

2. kérdés

Mit ért a MAN rendszer paraméter érzékenységén?

A 2. kérdésre adott válaszom:

Az értekezés II.2c. pontja szerint az egyes elrendezések paraméter-érzékenység térképei egy homogén fél térbe helyezett, attól eltérő fajlagos ellenállású, kisméretű kocka által adott választ ábrázolják a kocka pozíciójának függvényében. A térképeken az adott elrendezés esetében a kocka hatására megjelenő elektromos feszültségkülönbség-értékek szerepelnek a hasonló karakterisztikus hosszúságú Wenner elrendezéssel a homogén féltér felett mérhető érték százalékában, normálva ezt még az ellenálláskontraszttal is.

Minden egyes elrendezés esetében így történt a paraméter-érzékenység térképek számítása, ez alól a MAN elrendezés sem kivétel. Ezzel elkerülhető volt a probléma, ami a null elrendezések esetén kiküszöbölhetetlen lett volna, ha a saját homogén fél tér értékükkel akartunk volna normálni. Az ugyanis definíciószerűen nulla.

3. kérdés

3a. kérdés

Kétféle inverziós módszert is használt, miért és melyek ezeknek a főbb vonásai.

A 3a. kérdésre adott válaszom:

Eredetileg a kereskedelemben **széles körben elérhető szoftverek** használatában gondolkodtam. Ennek oka részben az volt, hogy azokat mindenféle elrendezés adatainak kezelésére képesnek tartottam, másrészt pedig az, hogy ha azok alkalmasnak bizonyultak volna a null-, és a kvázi null elrendezésekkel kapott adatok kezelésére, akkor azok inverziója **bárki által megvalósítható lett volna**, a célom pedig ez volt. **A RES2DINV szoftver** (Loke, 2016) **azonban teljesen alkalmatlan** a fenti elrendezésekkel kapott adatok invertálására.

Az **EarthImager** szoftver (*Advanced Geosciences, 2006*) **jobban** teljesített a null-, vagy kvázi null elrendezésekkel kapott adatok vonatkozásában, **de annak lehetőségei is behatároltak**: pl. terepi adatok, vagy nagyobb méretű hatók által generált jelek invertálására az is alkalmatlannak bizonyult. Ezen problémák miatt is kellett a továbbiakban az MTA GGKI-ban kifejlesztett 2DRes-Hu (*Prácser, 1999*) programot alkalmaznom.

Az, hogy az EarthImager nem mindig tudja kezelni a null-, és a kvázi null elrendezésekkel kapott adatokat elsősorban abból fakadhat, hogy a RES2DINV-hez hasonlóan ezt is **specializálták a hagyományos elrendezésekre**. Így azok adatainak invertálásra ugyan alkalmasabbá vált, de egyben **elveszítette a rugalmasságát tetszőleges adatok kezelésében**. **A 2DRes-Hu viszont nem specializált, bármilyen elrendezés adatainak kezelésére képes.**

Bár nem szerepelt a kérdésben, meg kell említenem, hogy ugyanakkor számos esetben **még a 2DRes-Hu sem volt képes a null-, és a kvázi null elrendezésekkel kapott adatok gyors horizontális irányú változásait követni**. Ez arra utal, hogy ilyen esetekben célszerű lehet **akár a nyers adatokhoz is visszanyúlni** és az azokban maradt – ily módon **kiaknázatlan** – **információt más módon kinyerni**. Azaz ilyen esetekben valószínűleg még további kinyerhető információ is van az ezekkel az elrendezésekkel kapott eredményekben.

A Res2D-Hu és az EarthImager 2D (2.1.7 verzió) szoftverek rövid leírása

Res2D-Hu

A **Res2D-Hu kód** (Prácser, 1999) az előre modellezés során a véges különbségek módszerét alkalmazza (Dey and Morrison 1979), az inverzió pedig simított inverzió. A simítási tényezőt a program automatikusan csökkenti 100-tól kezdve a következő értékeken keresztül: 50, 20, 10, 5, 2, 1, 0.2. Minden egyes simítási tényező esetében 3 iteráció fut le és ennek eredménye a következő, kisebb simítási tényezővel végrehajtandó inverziós lépés bemeneti modellje. Amennyiben az RMS értéke nem csökken a 3 iterációs lépés során, akkor az ezt megelőzően alkalmazott simítófaktorialapított képet fogadjuk el. Kezdeti modellként homogén fél teret használunk, aminek az ellenállása megközelítőleg a látszólagos fajlagos ellenállás értékek átlaga.

EarthImager 2D (2.1.7 verzió)

Az előremodellezés során véges különbségek és véges elemek opciók közül lehet választani. A modellezéseim során a véges elemek módszerét használtam. Az inverzió során a csillapított legkisebb négyzetek elvét használó, a simító-, és a robusztus inverziók állnak rendelkezésre, de a simító inverzió az alapbeállítás. Itt kezdeti modellként az átlagos látszólagos fajlagos ellenállás beállítást alkalmaztam. Ez a szoftver *elvileg* bármilyen elrendezés típus használatát engedélyezi.

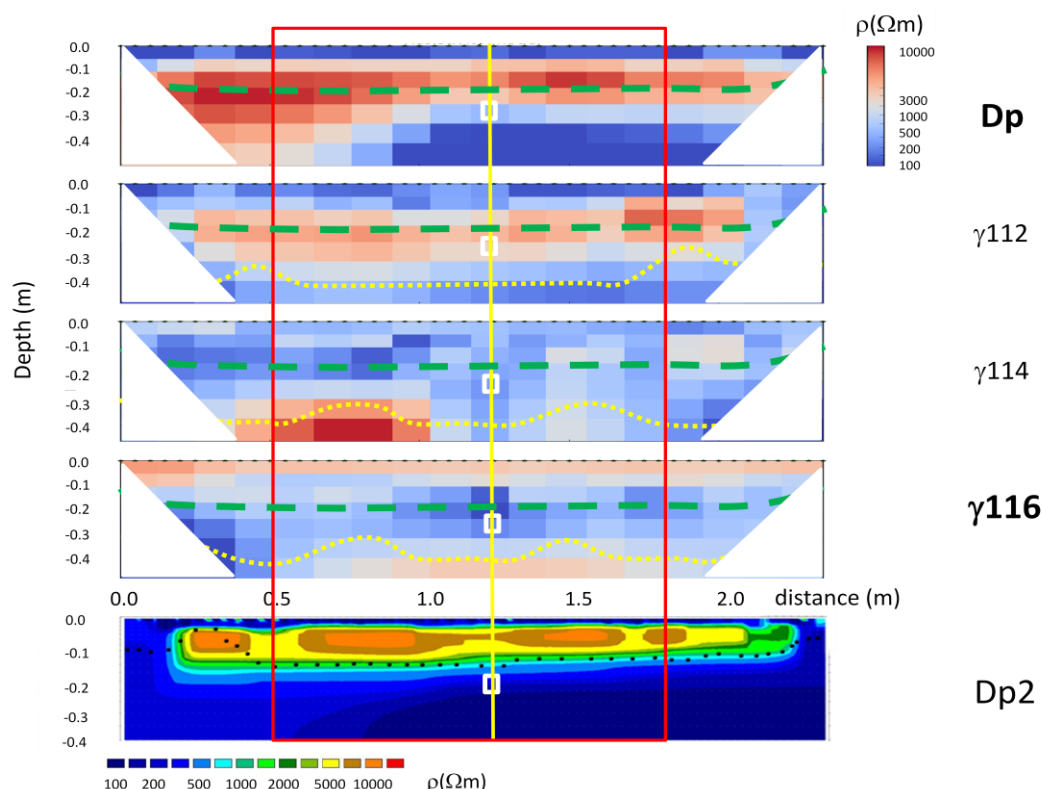
3b. kérdés

Van-e ezeknél lehetőség az eredmények megbízhatóságának számszerűsítésére?

Ennek a kérdésnek a megválaszolásához citálnom kell egy, már az értekezésem beadása után megjelent cikkünket (Zubair et al., 2020): ebben már szerepelnek számszerű megbízhatósági eredmények, amint azt az onnan importált 2. ábra is mutatja.

A **RES2DINV**-ben az eredmények megbízhatóságának számszerűsítésére **szolgáló DOI** (depth of investigation; Christiansen és Auken, 2012) már beépített funkció, így a Dp2 szelvényen ezt jelenítettem meg (2. ábra). A **2DRes-Hu** esetében viszont a **felbontóképesség mátrix** regularizált változatának j. diagonális eleme mutatja a **j. modell paraméter megbízhatóságát** (Zubair et al., 2020). A két számítás eredményeit úgy tudtam **összhangba**

hozni egymással, hogy ugyanazon mérés esetére az utóbbi 0.03 értékű vonalát feleltettem meg a 0.8 értékű DOI görbének. Ez a 3. ábra Dp szelvényén a zöld szaggatott vonal. Ezt a zöld vonalat a könnyebb összehasonlíthatóság kedvéért a többi szelvényen is ábrázoltam, hogy az könnyen összevethető legyen az adott szelvényhez tartozó sárga pontvonallal, amellyel a hasonló megbízhatóságúnak bizonyuló görbéket jelöltem.



2. ábra: Dőlő jól vezető, prizma keresztmetszetű grafitrúd felett különböző elrendezésekkel meghatározott fajlagos ellenállás szelvények (Zubair et al., 2020). A rúd szelvény alatti pozícióját és méretét a fehér négyzet mutatja. A Dp2 ábrán a pontvonal mutatja a DP elrendezés esetére számított 0.8 értékű DOI görbét. A zöld szaggatott vonal mutatja a Dp szelvényen az ennek megfelelő mélységben lévő, általunk számított 0.03 értékű görbét (Zubair et al., 2020). A sárga pontvonal a többi elrendezéshez tartozó hasonló értékű görbéket mutatja.

A 2. ábrán jól látszik, hogy a γ_{11n} elrendezések esetében a megbízhatónak tekintett zóna következetesen, minden horizontális pozícióban nagyobb mélységig tart, mint a Dp elrendezés esetében. Ez ráadásul a hivatkozott cikk minden ábrája esetében így volt. A megbízható zóna mindemellett majdhogynem szisztematikusan mélyül a γ_{11n} elrendezések n értékének növekedésével, ami összhangban van Szalai et al. (2014) Kimutathatósági Mélységre vonatkozó eredményeivel is.

Hivatkozások

Advanced Geosciences. 2006. Instruction manual of AGI EarthImager 2D, version 2.1.7, Austin, Texas

Christiansen, A.V., Auken, E., 2012. A global measure for depth of investigation. *Geophysics*. 77/4, WB171-WB177.

Dey, A., and Morrison, H.F. 1979. Resistivity modelling for arbitrary shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting* 27, 106–136.

Loke, M.H., 2016. Res3DModx64 ver. 3.05.14. 3-D Resistivity and IP forward modeling using finite-difference and finite - element method. Geotomo Software

Prácser, E. 1999, Annual report about the activity of the geoelectric laboratory in 1988. 3D d.c. modeling: Eötvös Loránd Geophysical Institute Internal report (in Hungarian).

Szalai, S., Lemperger, I, Metwaly, M, Kis, Á, Weszttergom, V, Szokoli, K, Novák, A., 2014. Multiplication of the depth of detectability using γ 11n arrays. *J. Appl. Geophys.* 107, 195–206.

Zubair M, Prácser E, Metwaly M, Lemperger I, Szarka L, Israil M, Szalai S. 2020: A comparative study of the Imaging capability of Quasi-Null and Dipole-Dipole electrode configurations over an elongated, dipping, semi-infinite conducting body, *Journal of Applied Geophysics*, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.103969>

Ismételten köszönet a bírálattért!

Sopron, 2020. 04. 15.

Szalai Sándor

CSFK GGI

Melléklet

A téziseknek a Bíráló kérdésének megfelelően átfogalmazott változata

III. A TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

1. *A valaha használt geoelektromos elrendezések összegyűjtése, rendszerezése és előállítási stratégiáik*

1a. Összegyűjtöttem az angol és orosz nyelvű szakirodalomban megtalálható összesen 102 geoelektromos elrendezést, egységes jelölésmóddal ábrázoltam és szerzőtársammal rendszereztem őket három paraméter, az egyvonalúság, a fókuszálás és a többszörös mérés elvén, összesen 8+1 csoportot alkotva.

1b. Összegyűjtöttem és rendszereztem a felszíni geoelektromos elrendezések előállításához használt stratégiákat, ami – az egyes elrendezések számára - megnyitja az utat a sokelektrodás rendszerekben történő alkalmazáshoz.

2. *Paraméter-érzékenység térképek (PÉT)*

2a. Levezettem a geoelektromos elrendezések paraméter-érzékenység térképeinek számításához szükséges képletet **elemi kockára** és annak a tér **mindhárom irányára merőleges lappárjaira** külön-külön is, **ábrázoltam ezeket minden elrendezés esetére**, amelyeknél ez lehetséges és **bemutattam néhány alkalmazási lehetőségüket**.

2b. Kimutattam, hogyan befolyásolják az elrendezések PÉT-einek **antiszimmetria tengelyei** az adott elrendezés leképezési tulajdonságait, és az hogyan vezet **a különböző dimenzionalitású hatók kimutathatóságához**, illetve kimutathatatlenségéhez; hogyan használhatóak ennek következményeként különböző dimenziókra vonatkozó **dimenzió-indikátorokként**; valamint, hogy miért alkalmasak földtani **szerkezetek, mesterséges objektumok irányának meghatározására**.

3. *Kutatási és kimutathatósági mélység*

3a. A mélység-érzékenység karakterisztika függvény és ennek segítségével a **kutatási mélység értékek számításához levezettem egy analitikus formulát** különböző egyvonalú-, nem-egyvonalú és fókuszáló elrendezésekre és **bemutattam mind a Roy and Apparao (1971), mind pedig az Edwards (1977)-féle értékeket minden olyan elrendezés esetére**, amelyeknél azok számítása egyáltalán lehetséges.

3b. Kimutattam, hogy az Edwards (1977) féle kutatási mélység értékek **szisztematikusan nagyobbak, mint a Roy és Apparao (1971) féle értékek**. Az outlyer-ek kivételével a két érték **hányadosára 1.59 ± 0.31** adódott.

3c. Kimutattam, hogy a γ_{m11n} kvázi null elrendezések nagyobb n értékek esetén **konzekvensen nagyobb kutatási mélység értékkel rendelkeznek, mint a legtöbb hagyományos négyelektrodás egyvonalú elrendezés**, sőt - amennyiben n értéke meghaladta a 4-et – jobbnak bizonyultak a legjobb értékkel rendelkező dipól axiális elrendezésénél is.

3d. Bevezettem egy új, a kutatás mélységével kapcsolatos definíciót, a **kimutathatósági mélységet** (KimM), amely a kutatási mélység definícióval szemben bármilyen sokelektrodás mérési rendszer esetére alkalmazható és azt a maximális mélységet adja meg, amelyből adott modell, adott zajszint mellett még kimutatható. Hat különböző modell és két zajszint esetére meghatároztam a leggyakrabban használt hagyományos elrendezések és a γ_{m11n} elrendezések KimM értékeit.

3e. Megállapítottam, hogy a **hagyományos elrendezések közül a β típusúak** (azaz a Dipól-Dipól, a Pól-Dipól és a Wenner- β elrendezések) **kimutathatósági mélysége a legnagyobb.**

3f. Kimutattam, hogy a γ_{m11n} (ahol n egész szám) kvázi null elrendezések már $n=2$ esetén is **nagyobb kimutathatósági mélységgel rendelkeznek, mint az e téren legjobbnak bizonyult hagyományos elrendezések.**

Nagyobb n értékek esetén a γ_{m11n} elrendezések KimM értéke a legjobb hagyományos elrendezések KimM értékeit általában 2-3-szorosan is meghaladja.

4. A hagyományos elrendezések leképezési képességének összehasonlítása

4a. Összevettem egy általam kialakított kvalitatív összehasonlítási rendszer segítségével az öt leggyakrabban alkalmazott hagyományos elrendezés (Wenner- α , Wenner- β , P-DP, P-P és a Dp-Dp) és a hagyományos négyelektródás elrendezésekből optimalizálással létrehozott úgynevezett Stummer elrendezés leképezési tulajdonságait nyolc különböző modell és modellenként két különböző zajszint esetére.

Ennek segítségével kimutattam, hogy **mind a modelltől, mind a zaj szintjétől jelentősen függ, hogy melyik elrendezés adja a legjobb képet.**

4b. A hagyományos elrendezések közül messze a Dp-Dp elrendezésekkel kapott kép hasonlított a legjobban a modellhez. Az optimalizált Stummer elrendezés ugyanakkor az összes hagyományos elrendezésnél sokkal hatékonyabbnak, gyakorlatilag minden vizsgált modell esetében az egyik legjobbnak bizonyult.

4c. Az elrendezések leképezési tulajdonságai szerint is **határozottan jobbnak bizonyultak a β -típusú elrendezések, ugyanúgy, ahogy a kimutathatósági mélység vizsgálatok során (3e. tétel).**

5. Az egyvonalú null elrendezések

5a. A MAN elrendezés paraméter-érzékenység térképei segítségével kimutattam, hogy esetében a **KuM nem értelmezhető.** Geometriai faktorának végtelen volta miatt a MAN elrendezés KimM-e sem értelmezhető és a MAN eredmények nem is invertálhatóak.

5b. A MAN elrendezés esetében a mért eredmények megjelenítésére a $\Delta U/I$ mennyiséget javaslom. Jóllehet az fajlagos ellenállás értékek számítására nem, az elrendezés inhomogenitások detektálására kiválóan alkalmas.

5c. Terepi mérésekkel bebizonyítottam, hogy a null elrendezések esetében az elektróda pozicionálási hibák ellenére is, még zajos környezetben is tökéletesen elkülönültek a jelek a háttérértékektől, azaz a jel/zaj arány a terepi mérések során a jelek feldolgozásához elegendőnek bizonyult.

5d. Mivel a MAN jelek a hagyományos elrendezésekinél sokkal gyorsabban változnak az inhomogenitás felett elhaladva, ezek az elrendezések a horizontális irányú ellenállás változásokra érzékenyebbek. A terepi mérések ezt megnyugtatóan alátámasztották.

5e. Megmutattam, hogy a nem-null-, és a null elrendezések működése között az alapvető különbség, hogy előbbieket esetében a számunkra általában érdekes, a horizontális irányú ellenállás változásokból eredő jel a homogén féltér felett mérhető jelre tevődik rá, míg a null elrendezés esetében az önállóan jelenik meg, hiszen a homogén féltér felett nulla jelet kell mérnünk.

5f. A null elrendezések jobbnak bizonyultak repedések lokalizálásában és azok irányának meghatározásában, mint a hagyományos elrendezések.

6. Numerikus vizsgálatok kvázi null-, és hagyományos elrendezésekkel

6a. Numerikus vizsgálatokkal kimutattam, hogy a γ_{11n} elrendezéseket azok **tükrözött** változatával, a γ_{n11} elrendezésekkel együtt célszerű használni. **Az így kapott γ_{m11n} elrendezések minden vizsgált esetben jobb eredményeket adtak a γ_{11n} elrendezéseknél.**

6b. A legtöbb γ_{m11n} elrendezés (főleg nagyobb n értékek esetén) **határozottan jobb eredményt adott a horizontális felbontóképesség vizsgálatok során**, mint a hagyományos elrendezések, beleértve az ezekből optimalizált Stummer elrendezést is.

A **vertikális felbontóképesség** vizsgálatokban ugyan egyik elrendezés sem volt képes az egymás alatt elhelyezkedő hatók szétválasztására, **bizonyos γ_{m11n} elrendezések, elsősorban a γ_{m113} , a mélyebben fekvő hatókat is kimutatták, sőt vertikális pozíciójukat is képesek voltak megadni, szemben a hagyományos elrendezésekkel.**

6c. **Kis-hatású modellek esetében következetesen jobbnak bizonyultak a γ_{m11n} elrendezések minden hagyományos elrendezésnél, de még egyes nagy-hatású modellek esetében is jobb eredményeket adtak.**

Szintén alkalmasabbnak bizonyultak a γ_{m11n} elrendezések a hagyományos elrendezéseknél nagy **elektromos ellenállású, vagy nagy vezetőképességű rétegek alatt lévő hatók leírására.**

7. A null-, és a hagyományos elrendezések összevetése kvázi terepi analóg mérésekkel

7a. **Analóg modellezési eredmények segítségével is alátámasztottam, hogy a γ_{11n} elrendezést annak párjával, a γ_{n11} elrendezéssel együtt célszerű használni.**

7b. Az analóg modellmérések eredményei szerint **a hagyományos elrendezések közül a β -típusú elrendezések (P-DP, DP-DP, Stummer, W- β) képesek kimutatni a hatókat a legnagyobb mélységből. Az ezekkel elért maximális mélységet is jelentősen meghaladta azonban a γ_{m11n} elrendezéseké, amennyiben n értéke legalább 2 volt.**

Ezzel kvázi terepi mérésekkel is visszaigazoltam a *3e. és 3f. tézisekben* bemutatott numerikus eredményeket, ami azt is jelenti, hogy a numerikus eredmények a γ_{m11n} elrendezések esetében is képesek előre jelezni a terepen várható eredményeket.

7c. **Kimutattam, hogy a függőleges lemez modellnek a γ_{m113} elrendezéssel kapott képe sokkal kevésbé gyengül a modell mélységével, mint a Dp-Dp elrendezése. A γ_{m113} elrendezés még a legnagyobb vizsgált mélységben is egyértelmű, álanomália-mentes képet adott, jól pozicionálva a hatót.**

7d. **Az analóg modellmérések során a hagyományos elrendezések a numerikus modellezés alapján vártnál kisebb mélységekből tudták csak kimutatni a függőleges lemezt. Különösen a Stummer elrendezés teljesítőképességének csökkenése szembetűnő.**

Ugyanígy a horizontális felbontóképesség vizsgálatok esetén is a hagyományos elrendezések esetében **inkább romlás tapasztalható a numerikus eredmények alapján várthoz képest, míg a γ_{m113} elrendezés esetében talán még jobb is a kép, mint a numerikus modellezés esetében.**

7e. **Fizikai modellezéssel is megerősítettem azt a PÉ vizsgálatok alapján alkotott elméleti feltevést, mely szerint a hagyományos elrendezésektől a MAN null elrendezés felé történő átmenet a γ_{m11n} elrendezésekben n értékének növekedésével többek között az 1D érzékenységtől a 2D érzékenység felé való átmenettel jár.**

Fizikai modellezés révén is megerősítést nyert tehát, hogy a nagy n értékű γ_{m11n} elrendezések számára az 1D szerkezetek átlátszóak, azok csak a nagyobb dimenziójú szerkezetekre érzékenyek. Ebből pedig az is következik, hogy ezek az elrendezések jó dimenzióindikátorok is.

8. Talajmechanikai mérőmódszerek (Szűrőpróba, Nyomáspróba)

8a. **Kidolgoztam** a talaj kötőrmelék-eloszlásának, illetve mechanikai ellenállás változásának mérésére alkalmas **SzűrőPróba (SzP)** és **NyomásPróba (NyP)** módszereket.

Bebizonyítottam, hogy **a SzP alkalmas eltemetett falmaradványok, épületalapok, utak fellelésére és jó felbontóképességű feltérképezésére akár különböző (de felszínközeli) mélységekben.**

8b. SzP méréseim szerint a kötőrmelék eloszlása bizonyos terepi körülmények között nem véletlenszerű. **Igazoltam a SzP geológiai célú alkalmazhatóságát víznyelők, repedések detektálásában.**

Kimutattam az összefüggést a vékony talajjal fedett alapkőzet repedezettség értéke és SzP értéke között. Ennek alapján a SzP adatok felhasználásával **repedezettség térképet is készítettem.**

8c. Egy földcsuszamlás repedésrendszerének példáján keresztül **megmutattam, hogy a Nyomáspróba (NyP) módszer alkalmas a talaj mechanikai ellenállása változásainak, így a benne bekövetkező folytonossági hiánynak (pl. repedés, vagy üreg miatt bekövetkező) feltérképezésére is, amennyiben a változás a NyP által elérhető mélységben van.**

Megmutattam a NyP nagyon jó felbontóképességét, miszerint elegendő, ha a mintavételezési távolság nem haladja meg a repedés szélességének mintegy háromszorosát.

9. Kis skálájú repedésrendszerek vizsgálata

9a. A bevett gyakorlattal szemben – mely a csúszó felület, illetve a várhatóan lecsúszó közettömeg megismerését célozza - a dunaszekcsői **földcsuszamlás** tanulmányozásához annak **repedésrendszerét térképeztem fel.**

Ezzel a megoldással **le tudtam határolni a földcsuszamlás által veszélyeztetett területet olyan földcsuszamlás esetében is, amelyik nem rendelkezik csúszófelülettel és az elmozduló tömeg sem tér el a helyben maradótól kőzettani szempontból.**

9b. **A repedésrendszer feltérképezésére mind az Elektromos Tomográfia, mind a NyP képesnek bizonyult, de a NyP sokkal részletgazdagabb képet adott róla.**

9c. **A repedésrendszer ismerete lehetővé tette a későbbi csúszások frontvonalának, valamint egyben elmozduló, egységes blokkok előrejelzését.** Előre jelezhetőnek bizonyult az is, hogy jelentős repedések vannak már jelen a földcsuszamlás passzív oldalán is.

A méréseket a 21 hónappal követő **új tömegmozgások minden fontosabb előrejelzést beigazoltak.**

9d. Karszterületen (Szalonna; Les-Breleux, Svájc) végrehajtott terepi mérések példáján keresztül bemutattam, hogy a Wenner elrendezés mellett **a null elrendezések is képesek repedések detektálására, lokalizálására és irányának meghatározására, sőt mindezen célokra a null elrendezések a hagyományos elrendezéseknél jobban megfelelnek.**

9e. **Kimutattam, hogy a terepi méréseket megelőző időszak csapadékviszonyai nagyon jelentős szerepet játszhatnak bizonyos mérések esetén.** Az ideális körülmények között nagyon jól észlelhető hatók nem megfelelő körülmények esetén akár teljesen detektálhatatlanok lehetnek.

A különböző víztelítettségi viszonyok a felszín alatti térség különböző aspektusait emelhetik ki. A szalonnai mérés esetében pl. a csapadékos időszakot követően végrehajtott mérés **az aljzatban lévő repedéseket jelenítette meg** nagyon jól, a száraz időszakot követő mérés pedig **az alapkőzet topográfiáját.**

9f. Analóg modellezést végeztem többirányú repedésrendszer repedési irányainak meghatározása céljából. Mivel **az analóg modellmérés során a módszer eredményessége hasonló volt a terepi körülmények között megszokotthoz,** arra a következtetésre jutottam, hogy **a terepi mérések eredményeinek hiányosságai nem a terepi körülmények következménye, hanem azoknak fizikai oka van.**