

A laterális érzékenységek szerepe a horizontális elektromos szelvényezésben¹

HURSÁN GÁBOR²

A dolgozat a laterális irányú érzékenység alakulását vizsgálja a homogén féltér különböző mélységű vízszintes síkjaiban az axiális és ekvatoriális elrendezésű horizontális elektromos szelvényezésre. Erre alapozva foglalkozik a szelvényezési görbéken jelentkező, a kiértékelést sokszor megnehezítő fiktív indikációk okával. Rámutat a megnyúlt hatók és az elektromos térerősség relatív orientációjának szerepére kimutathatóságukban, ami indokolttá teheti két egymásra merőleges áramirány használatát.

G. HURSÁN: On the role of lateral sensitivities in the horizontal electric profiling

The paper examines the behaviour of the sensitivity in horizontal planes in different depths for horizontal electric profiling with axial and equatorial arrays. Based on the sensitivities it deals with the cause of the fictitious indications which occur on the profiling curves and often make the interpretation difficult. It shows the role of the relative orientation between the electric field and long shaped bodies in their detectability, which can justify the use of two parallel current directions.

1. Bevezetés

A geoelektromos szakirodalomnak számos tanulmánya foglalkozik a különböző elektródelrendezésű egyenáramú vertikális elektromos szelvényezések kutatási mélységének, az érzékenység vertikális eloszlásának vizsgálatával. Megadása általában ún. Frechet-deriváltak segítségével történik, ami a homogén féltérben egy kis mélységintervallumon belül a fajlagos ellenállás megváltozásának hatását adja meg [ZHDANOV, KELLER 1994].

Napjainkban növekszik a horizontális szelvényezések — azaz egy mélységintervallumban a laterális inhomogenitások kutatásának — a szerepe. Viszont azzal a kérdéssel, hogy egy-egy mélységszinten belül adott elektródelrendezés mellett milyen az érzékenység eloszlása — azaz az elektródokhoz képest laterálisan különböző helyzetű térrészekből milyen jellegű és nagyságú információ származik — jóval kevesebb tanulmány foglalkozik. A dolgozat az utóbbi témakört tárgyalja, a dipól axiális szelvényezést tekintve. Összehasonlításként az áramirány szerepének bemutatására minden esetben ugyanazon elektródelrendezési középpontú, az axiális helyzetű elektródok 90 fokos elforgatásával nyert dipól ekvatoriális elrendezés esetét is bemutatjuk.

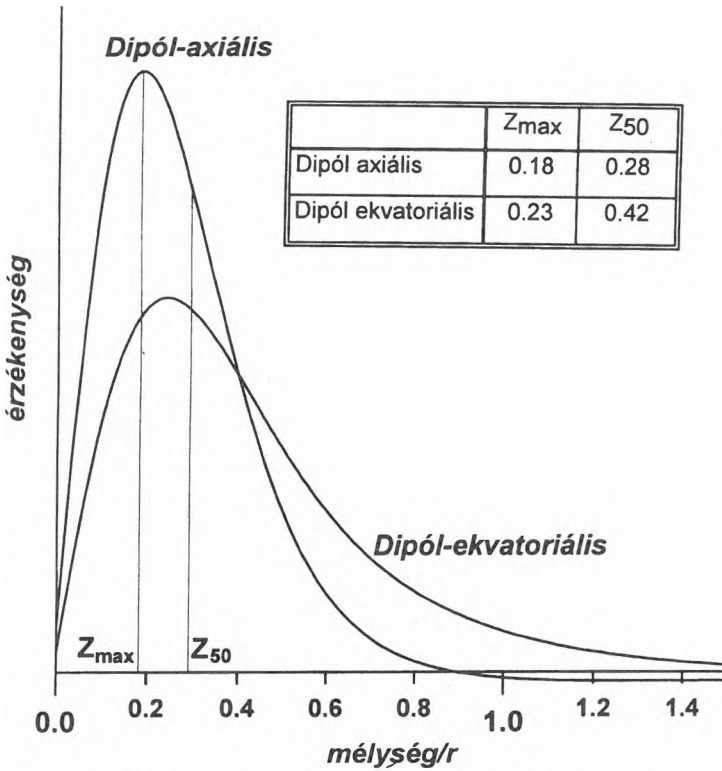
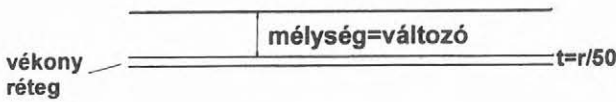
2. A földtani információ mélység szerinti eloszlása

Ahhoz, hogy megtudjuk, milyen mélységből mennyi információt kapunk, a horizontálisan rétegzett féltér esetén használható, lineáris digitális szűréssel dolgozó programmal az alábbi vizsgálatot végeztük el. Adott r adó-vevő távolság mellett a homogén féltér belsejében helyezünk el változó mélységben egy kis vastagságú réteget. A rétegvastagságot az r távolság ötvenedrészének választottuk. Változtassuk meg ezen réteg fajlagos ellenállását egységnyivel. Nézzük meg, hogy ez a változtatás a felszínen mérhető látszólagos fajlagos ellenállás hány egységnyi megváltozását okozza. A kapott értékek tetszőlegesen normálhatók, így az ordinátán nem szükséges konkrét számértékeket feltüntetni. Az abszcisszán a vékony réteg mélységének az adó-vevő távolság egységében kifejezett nagysága szerepel. Az ilyen függvényeket a továbbiakban NMK (*normált mélység-érzékenység karakterisztika*)-függvényeknek nevezzük. A dipól axiális és dipól ekvatoriális elrendezéshez tartozó NMK-függvények az 1. ábrán láthatók.

A szakirodalomban többféle, az NMK-függvény alapján definiált kutatási mélység-definíció is napvilágot látott. ROY, APPARAO [1971] szerint a függvény maximumához tartozó z_{\max} , EDWARDS [1977] szerint pedig a görbék mediánjához tartozó z_{50} értékek adják a kutatási mélységet. Az 1. ábrán megjelöltük a dipól axiális konfigurációhoz tartozó ezen

¹ Beérkezett: 1996. június 30-án

² Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszék, H-3515 Miskolc, Egyetemváros



1. ábra. A dipól axiális és ekvatoriális elrendezés normált mélység-érzékenység karakterisztika függvényei

Fig. 1. Normalized depth of investigation functions of the dipole axial and equatorial arrays

mélységeket és táblázatba foglaltuk mindkét dipól elrendezéshez tartozó Z_{max} és Z_{50} számszerű értékeit is. Ezek alapján megállapítható, hogy a dipól axiális konfiguráció információja határozottan szűkebb tartományból érkezik, mint a dipól ekvatoriális elrendezésé.

3. A földtani információ laterális eloszlása különböző mélységtartományokban

A laterálisan inhomogén féltér feletti szelvényezési görbék helyes értelmezéséhez szükség van annak ismeretére is, hogy milyen az érzékenység laterális eloszlása. Ezt az egyes mélységszintek pontjaihoz tartozó Frechet-deriváltakkal szemléltetjük, melyeket a háromdimenziós direkt feladat megoldására alkalmas, az integrálegenletek elvén működő modellező szoftver [ZHDANOV, KELLER 1994] segítségével számítottunk ki a következő módon. Az elektródokat egy olyan xyz koordináta-rendszerbe helyeztük, melynek egysége r . Az adó a $(-0,5;0)$, a vevő a $(0,5;0)$ pontban található. A z mélységben

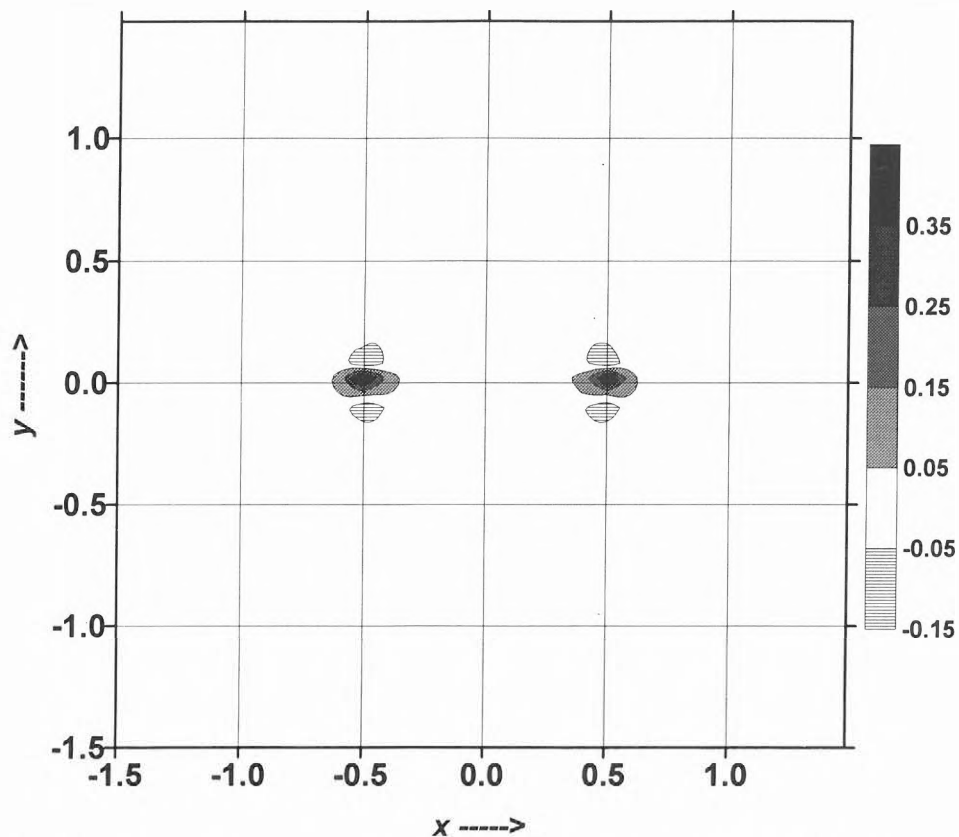
levő vékony — jelen esetben $r/50$ vastagságú — réteget ugyanekkora élhosszúságú kocka alakú térfogatelemekre bontottuk, majd az egyes térfogatelemek fajlagos ellenállását egységnyivel megváltoztattuk. A látszólagos fajlagos ellenállás megváltozását az egyes térfogatelemek helyének függvényében vizsgáljuk. A z mélységeket rendre $r/20$, $r/5$, $r/2$, r -nek vettük. Jelen esetben arra vagyunk kíváncsiak, hogy az egyes z mélységekben levő rétegeken belül milyen laterális eloszlást mutatnak az érzékenységek, ezért az érzékenységek maximumát mindenütt 1-re normáltuk. Az így kapott eredményeket dipól ekvatoriális elrendezésre a 2.—5., dipól axiális konfigurációra pedig a 6.—9. ábrákon láthatjuk.

A féltér belsejében mindkét konfigurációnál pozitív, illetve negatív érzékenységű zónákat figyelhetünk meg. Az ábrákon ezen zónák különböző z mélységű horizontális síkmetszetei láthatók, melyek alapján térbeli elhelyezkedésükre következtethetünk. A kis mélységű tartományokban a táp- és mérő dipólok kis környezetében mindkét konfigurációnál kiugróan magas pozitív érzékenységeket kapunk (2.—3., 6.—7. ábra). Nagyobb mélységekben a pozitív érzékenységek maximuma a dipólok által közrezárt tartomány középső részében található. A mért jel kialakításában döntő szerepet játszó pozitív érzékenységű térrész egy olyan lefelé kiszélesedő „kiflihez” hasonlít, amelynek két vége az áram- és mérő dipólokhoz illeszkedik, a középső része pedig mintegy $r/2$ mélységben van.

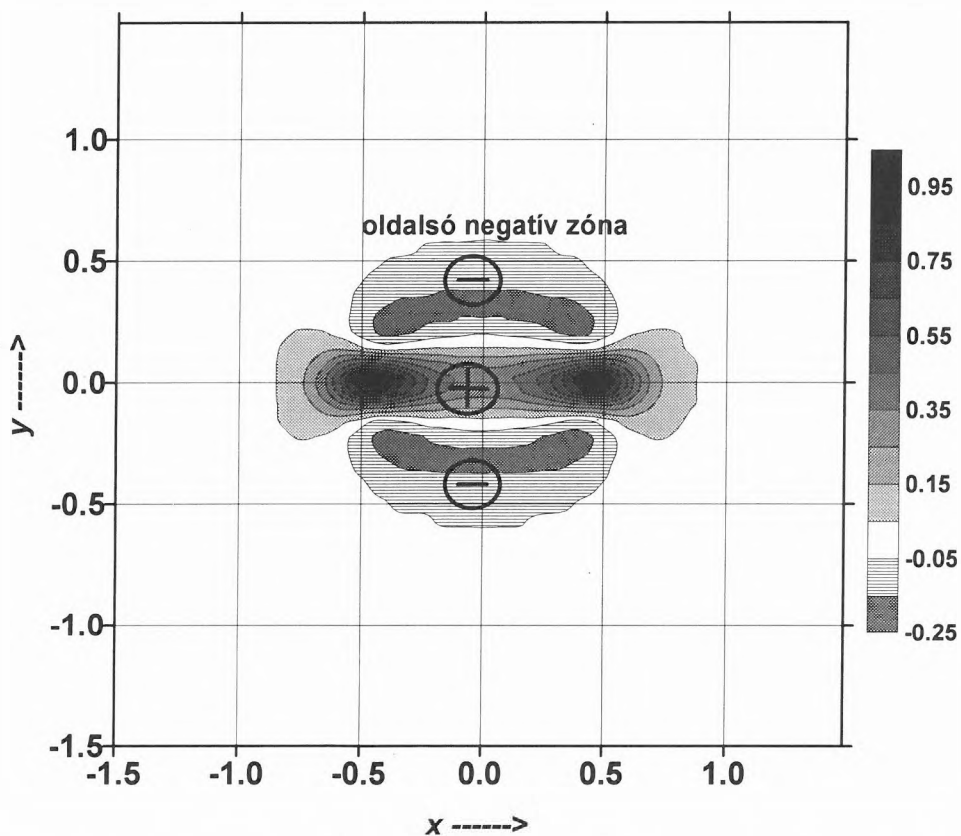
A negatív érzékenységű zónák helyzete a két konfigurációnál lényegesen különbözik. A dipólok irányában a pozitív tartományt mindkét esetben negatív zóna váltja fel.

Dipól ekvatoriális konfigurációnál kis mélységekben a dipólok által közrezárt terület oldalsó részén ($|x| < 0,5$, $|y| > 0,25$) találunk negatív zónát, melyet *oldalsó negatív zónának* nevezünk (2.—3. ábra). Ez fogja közre a dipólok közötti „pozitív kiflit”, amelynek y irányú kiterjedése jóval kisebb, mint dipól axiális elrendezésnél. Az oldalsó negatív zóna a mélység növekedtével ($z > 0,5$) megszűnik.

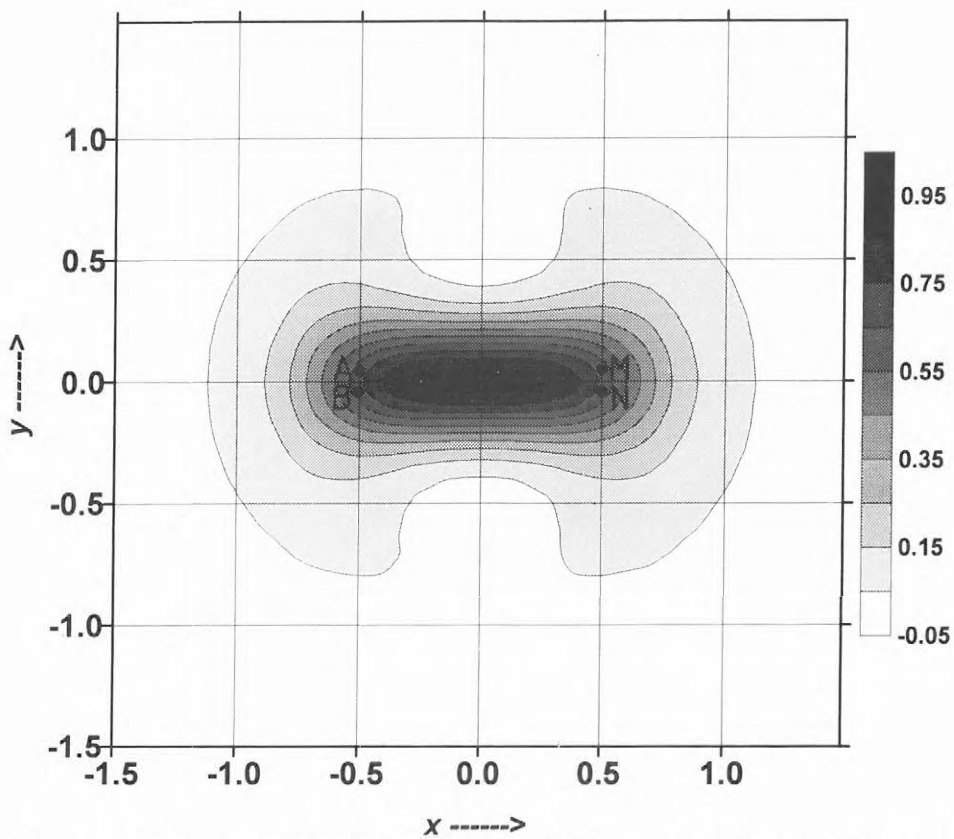
A dipól axiális konfigurációnál két egymástól elkülöníthető negatív zóna létezik. A dipólok által közrezárt területen, kis mélységben ($|z| < 0,5$) az $|x| < 0,3$ és $|y| < 0,25$ tartományban találjuk a *belső negatív zónát* (6.—7. ábra). A *külső negatív zóna* a



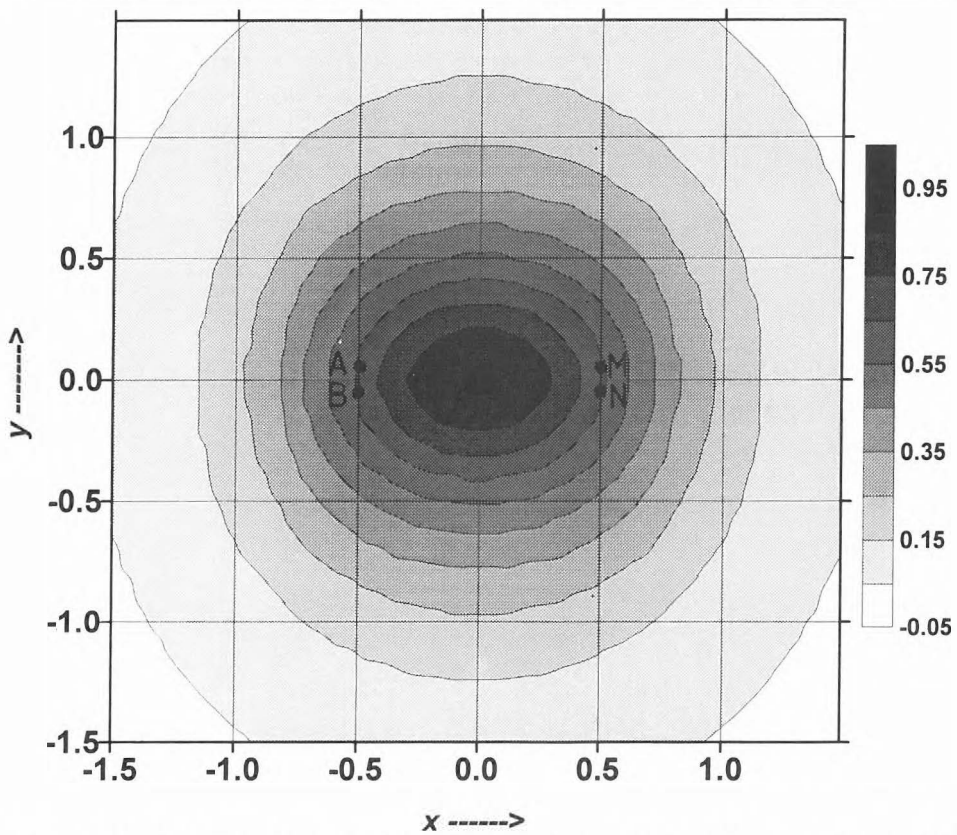
2. ábra. A $z = r/20$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása dipól ekvatoriális elrendezés esetén
 Fig. 2. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r/20$ in case of dipole equatorial array



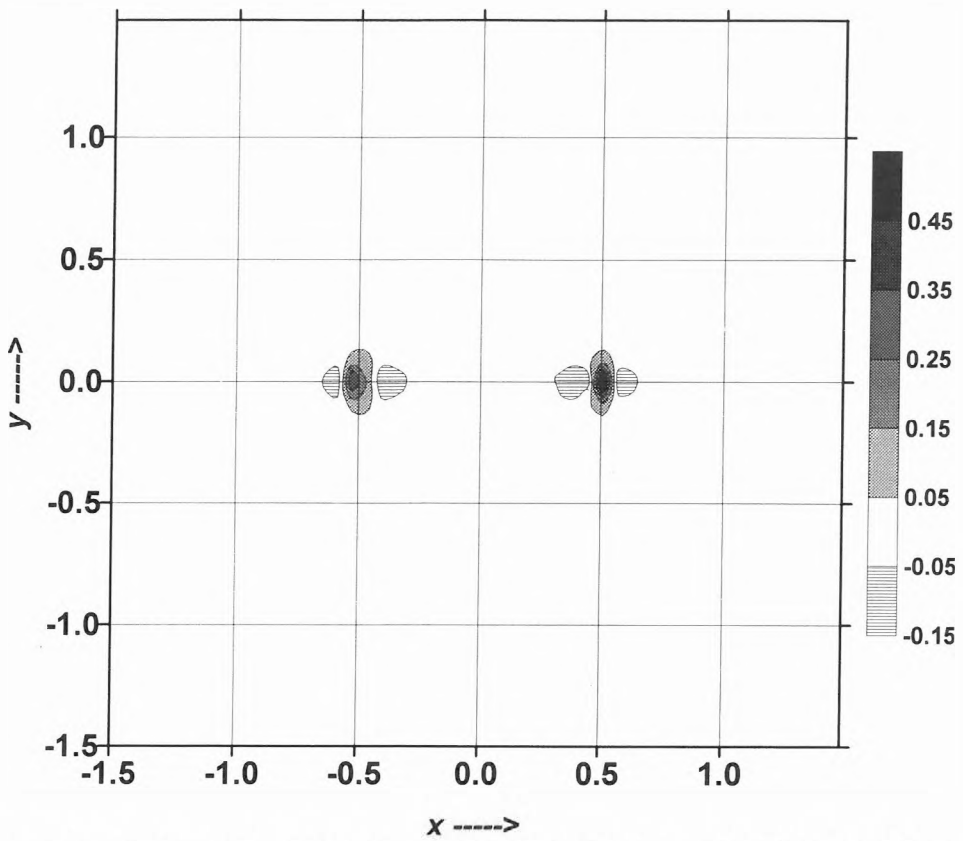
3. ábra. A $z = r/5$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása dipól ekvatoriális elrendezés esetén
 Fig. 3. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r/5$ in case of dipole equatorial array



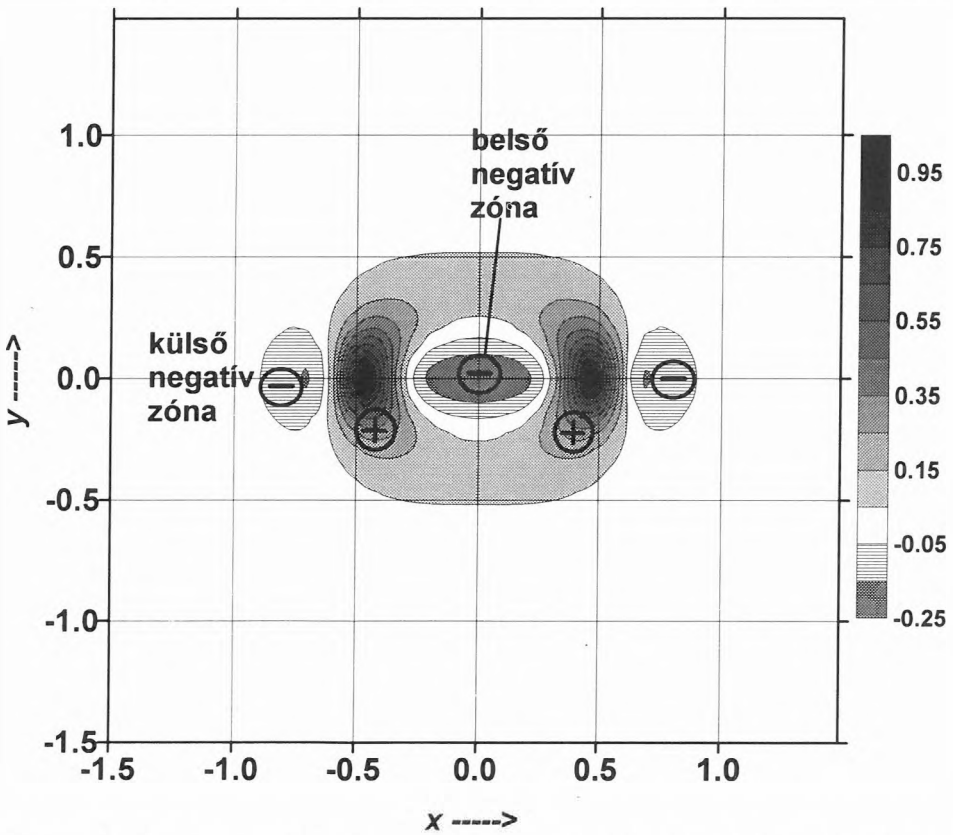
4. ábra. A $z = r/2$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása *dipól ekvatoriális* elrendezés esetén
 Fig. 4. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r/2$ in case of *dipole equatorial array*



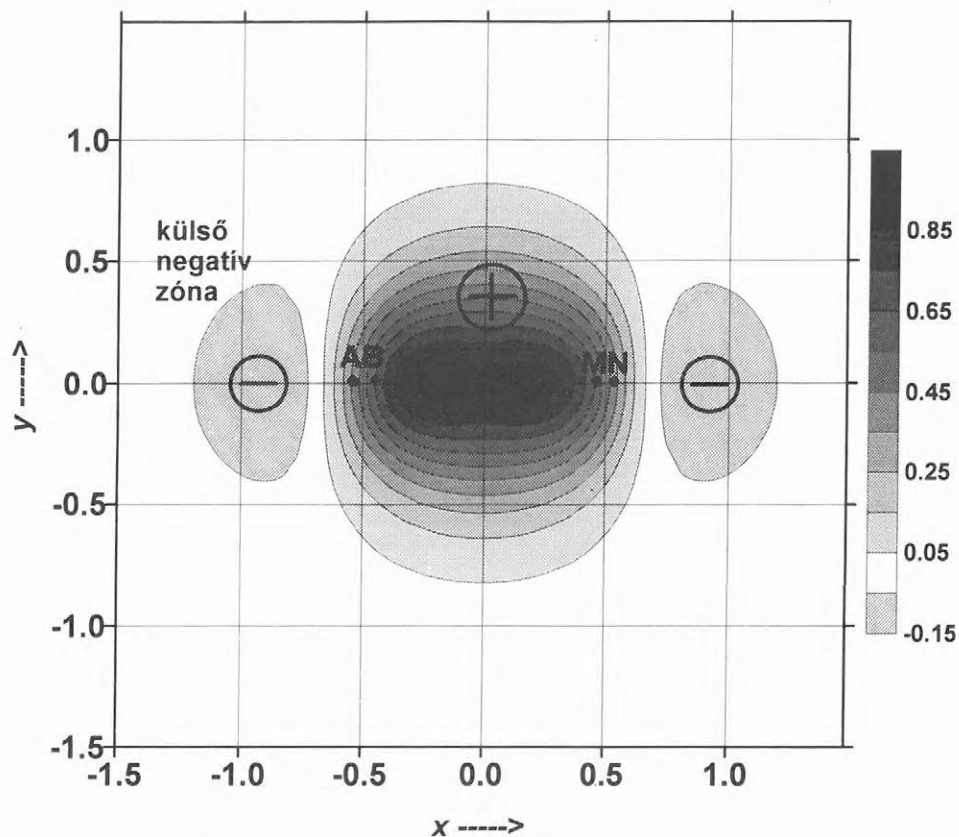
5. ábra. A $z = r$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása *dipól ekvatoriális* elrendezés esetén
 Fig. 5. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r$ in case of *dipole equatorial array*



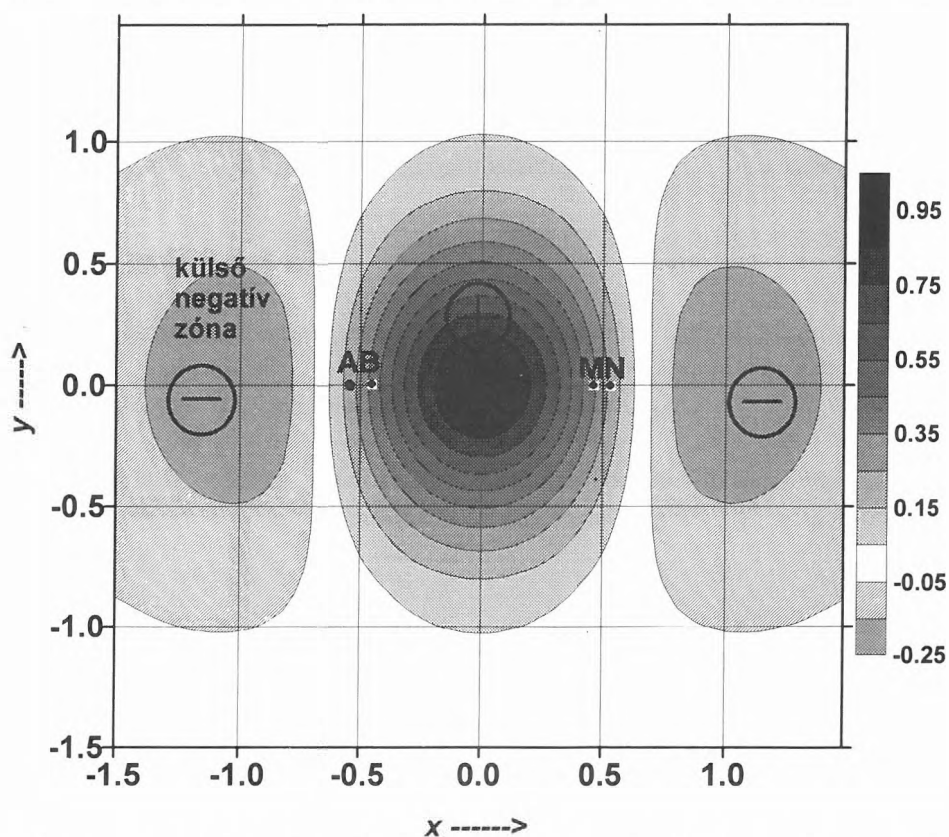
6. ábra. A $z = r/20$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása *dipól axiális* elrendezés esetén
 Fig. 6. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r/20$ in case of *dipole axial* array



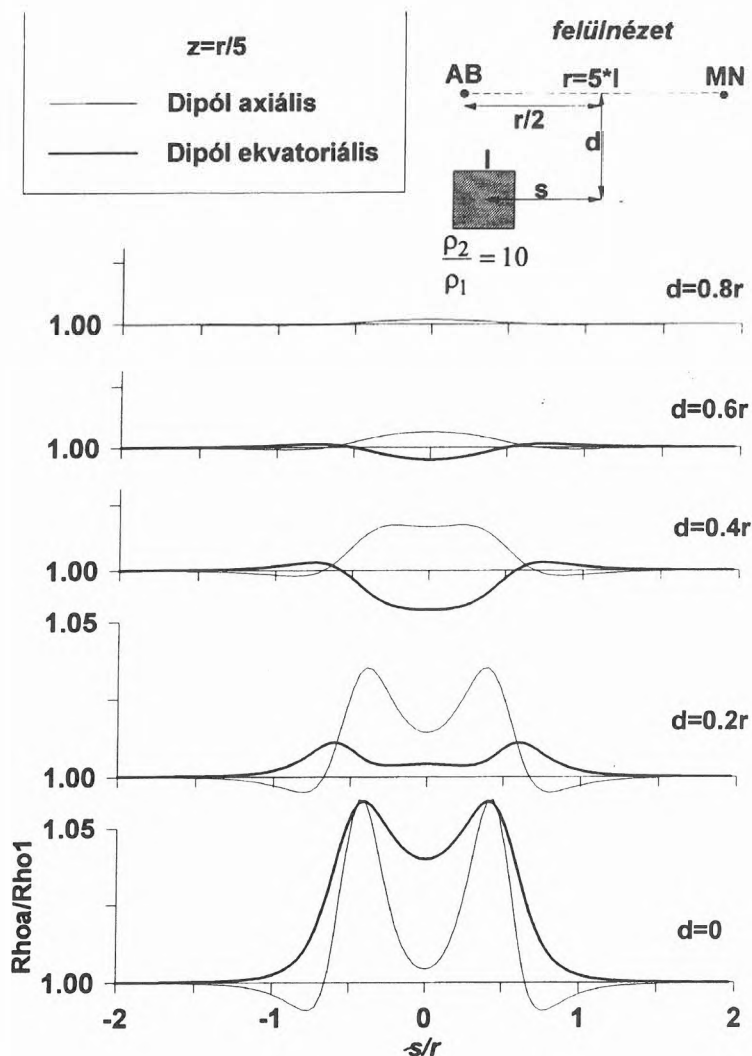
7. ábra. A $z = r/5$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása *dipól axiális* elrendezés esetén
 Fig. 7. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r/5$ in case of *dipole axial* array



8. ábra. A $z = r/2$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása *dipól axiális* elrendezés esetén
 Fig. 8. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r/2$ in case of *dipole axial* array



9. ábra. A $z = r$ mélységhez tartozó Frechet-deriváltak horizontális eloszlása *dipól axiális* elrendezés esetén
 Fig. 9. Horizontal distribution of the Frechet derivatives in depth of $z = r$ in case of *dipole axial* array



10. ábra. $z = r/5$ mélységben levő, környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású, $r/5$ élhosszúságú kocka felett különböző oldalirányú távolságokban dipól axiális és ekvatoriális elrendezésekkel mérhető szelvényezési görbék

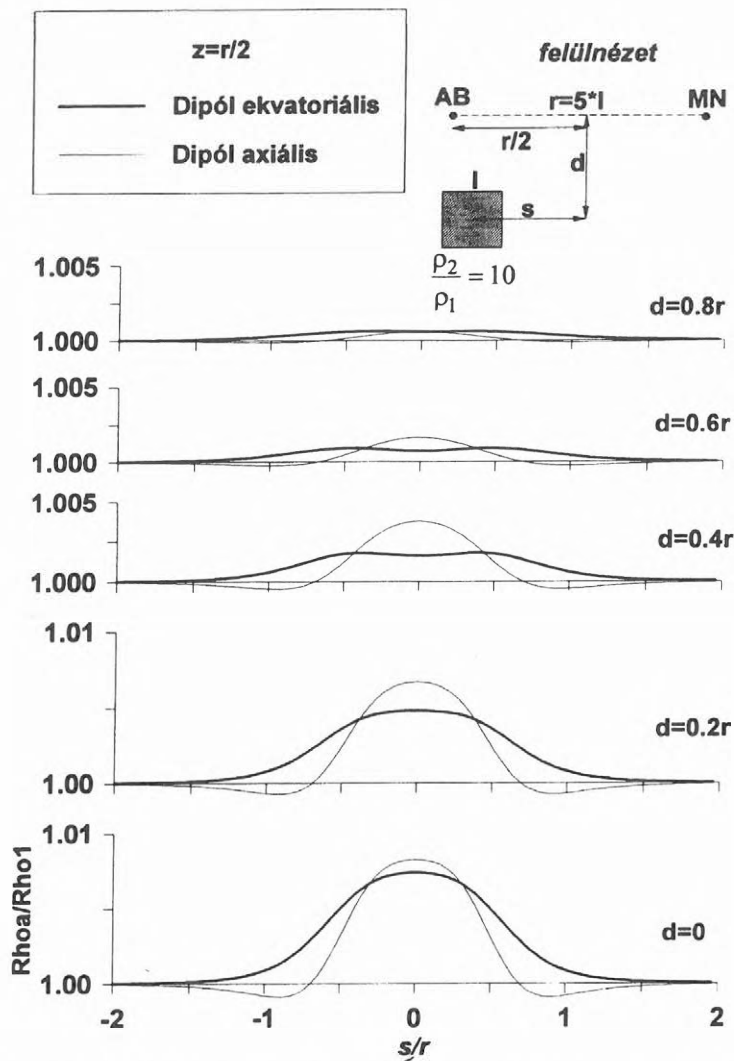
Fig. 10. Profiling curves in different distances aside over a cube of $r/5$ edge-length in depth of $z = r/5$ having a resistivity 10 times greater than its surroundings for dipole axial and equatorial arrays

dipólok által közre nem zárt területek legnagyobb részét lefedi, az $|x| > 0,7$ tartományok egészében negatív érzékenységet kapunk. A pozitív érzékenységű zóna y irányú kiterjedése jóval nagyobb, mint a dipól ekvatoriális elrendezésnél, az $|x| < 0,5$ és $|y| > 0,25$ tartomány teljes egészében pozitív érzékenységű.

4. A különböző helyzetű, rosszul vezető inhomogenitások hatása a horizontális szelvényezés görbéire

A mérnök- és környezetgeofizikai gyakorlatban számos olyan feladat van, ahol viszonylag kis mélységű, környezeténél nagyobb fajlagos ellenállású háromdimenziós inhomogenitások lehatárolása a cél. Ezeket igen gyakran dipól szelvényezéssel derítjük

fel. Az inhomogenitás mérési eredményekre gyakorolt hatása attól függ, hogy az milyen érzékenységű tartományokban helyezkedik el. Ha a pozitív érzékenységű, „kifli” alakú térrészben található, akkor a látszólagos fajlagos ellenállás az ellenálláskontasztal egyező irányban változik. Ha a ható a negatív érzékenységű zónák valamelyikében van, a látszólagos fajlagos ellenállás görbék ellentétes anomáliaképet adnak. Legtöbbször azonban az inhomogenitások mind a pozitív, mind a negatív zónákba belenyúlnak. Ilyenkor nehezen kiértékelhető, fiktív anomáliákat tartalmazó görbéket kapunk, melyek értelmezéséhez nagy segítséget nyújthatnak a 2.—9. ábrákon bemutatott érzékenység-síkmetszetek. A különböző alakú és mélységű, rosszul vezető inhomogenitások dipól szelvényezési görbékre gyakorolt hatását egyszerű példákon mutatjuk be.



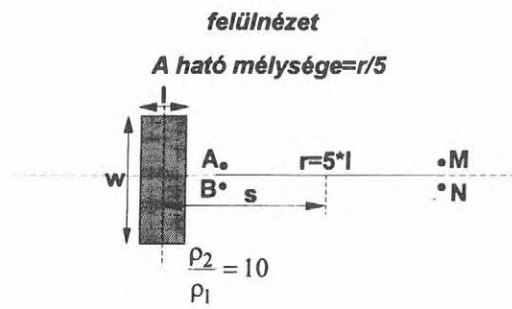
11. ábra. $z = r/2$ mélységben levő, környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású, $r/5$ élhosszúságú kocka felett különböző oldalirányú távolságokban dipól axiális és ekvatoriális elrendezésekkel mérhető szelvényezési görbék

Fig. 11. Profiling curves in different distances aside over a cube of $r/5$ edge-length in depth of $z = r/2$ having a resistivity 10 times greater than its surroundings for dipole axial and equatorial arrays

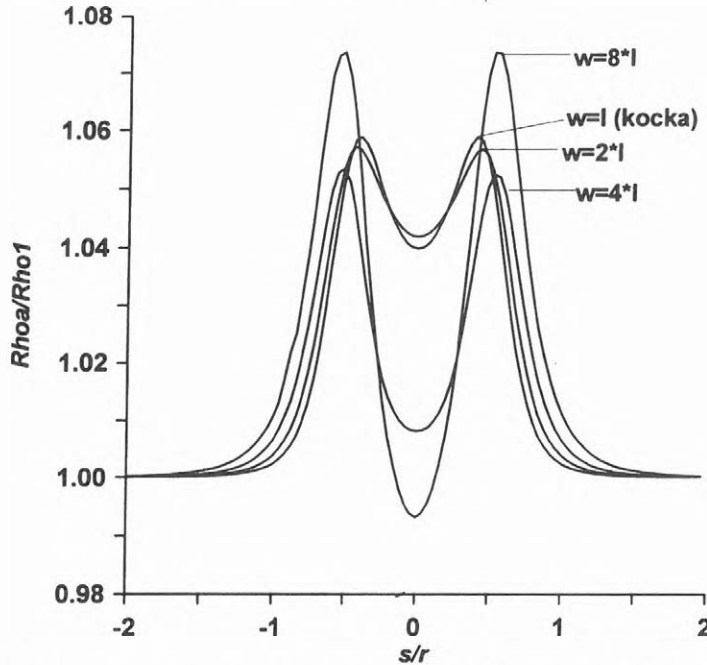
Vegyünk egy xyz derékszögű koordináta-rendszert, melynek xy síkja a homogén féltér felszíne. A z tengely lefelé mutat. Helyezzünk el a homogén féltérbe a koordináta-rendszer tengelyeivel párhuzamosan egy l élhosszúságú, környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású kockát. A féltér felszínén az adó- és a vevődipólokat összekötő egyenes essen az x tengely irányába. Az r adó-vevő távolság legyen a kocka élhosszúságának 5-szöröse. A kocka középpontjának és az elektródrendszer felezőpontjának x irányú eltérését jelöljük s -sel, az y irányú távolságát pedig d -vel. A kockát először $z = r/5$, majd $z = r/2$ mélységben helyeztük el. Mélység alatt a kocka felső lapjának a felszíntől való távolságát értjük. A 10. ábra a két dipól konfigurációval különböző d oldalirányú távolságok mellett mérhető látványos fajlagos ellenállásokat mutatja s/r függvé-

nyében $z = r/5$ esetén. A 11. ábrán ugyanezt láthatjuk $z = r/2$ mellett. A dipól axiális elrendezéshez tartozó szelvényezési görbéket vékony, a dipól ekvatoriális konfiguráció görbéit vastag vonallal jelöltük.

Vessük össze eredményeinket a $z = r/5$ mélységszinthez tartozó 3. és 7. ábrával. A dipól axiális elrendezésnél $|x| > 0,7$ esetén azért kapunk negatív anomáliát, mert az inhomogenitás a külső negatív zónába esik. $d = 0$ esetén mindkét görbe jól kivehető kettős maximumot mutat a dipólok kis környezetében található kiugróan magas pozitív érzékenységgű tartománynak köszönhetően. Mivel e tartomány y irányú kiterjedése a dipól axiális elrendezésnél nagyobb, $d = 0, 2r$ -nél ezen elrendezés görbéjén a kettős maximum még élesen megjelenik. A belső negatív zóna hatására a dipól axiális szondázási görbén a maximumok között jóval élesebb minimum tapasztalható.



Dipól ekvatoriális elrendezés



12. ábra. $z = r/5$ mélységben levő, környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású, a mérési vonalra merőleges orientációjú, különböző mértékben megnyúlt inhomogenitás felett dipól ekvatoriális elrendezéssel mérhető szelvényezési görbék

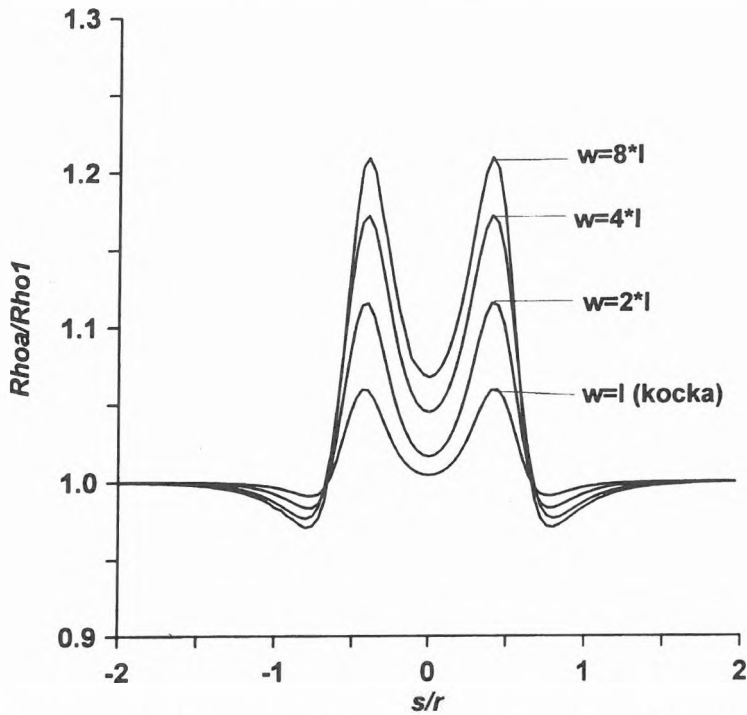
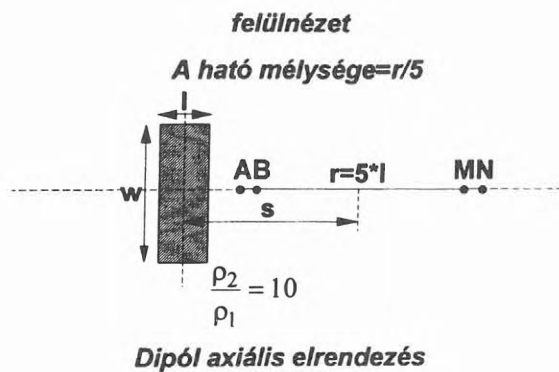
Fig. 12. Profiling curves of dipole equatorial array over a differently long-shaped inhomogeneity in depth $z = r/5$ of a resistivity 10 times greater than its surroundings and a main direction perpendicular to the measuring line

talható, mint dipól ekvatoriális konfigurációnál. A $d \geq 0,4r$ tartományban az anomáliakép már jobban hasonlít a valós földtani helyzethez, azonban a jel intenzitása rohamosan csökken. Az oldalsó negatív zónának köszönhetően a dipól ekvatoriális elrendezés szelvényezési görbéje ellentétes előjelű változást mutat a $d \geq 0,4r$ tartományban. Amennyiben az inhomogenitást mélyebbre tesszük, az anomáliakép alakja jól követi a valós fajlagos ellenállás viszonyokat, a térerősség anomália viszont gyakorlatilag nem mutatható ki (11. ábra).

Az előző példában bemutatott koordináta-rendszer és mérési konfigurációt változatlanul hagyva helyezzünk el egy, a környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású hasábot $z=r/5$ mélységbe úgy, hogy élei párhuzamosak a koordináta-rendszerrel,

középpontja pedig rendre maradjon az AB és MN dipólok egyenesé alatt. A hasáb x és y irányú élhosszúsága legyen az r adó-vevő távolság $1/5$ része, y irányú kiterjedését pedig jelöljük w -vel. A hasáb elnyúltságát w értékeivel változtatjuk. Az előző példához hasonlóan mozgassuk mérőrendszerünket x irányban és ábrázoljuk a relatív látszólagos fajlagos ellenállást. A dipól ekvatoriális elrendezés görbéit a 12., a dipól axiálishoz tartozókat pedig a 13. ábra mutatja.

Dipól axiális elrendezésnél a ható méretével a jel nagysága is növekszik, hiszen az inhomogenitás oldalirányban pozitív érzékenységgű tartományba nyúlik. A maximumok közötti lokális minimum értékének emelkedése annak köszönhető, hogy a belső negatív zónába az inhomogenitás egyre kisebb



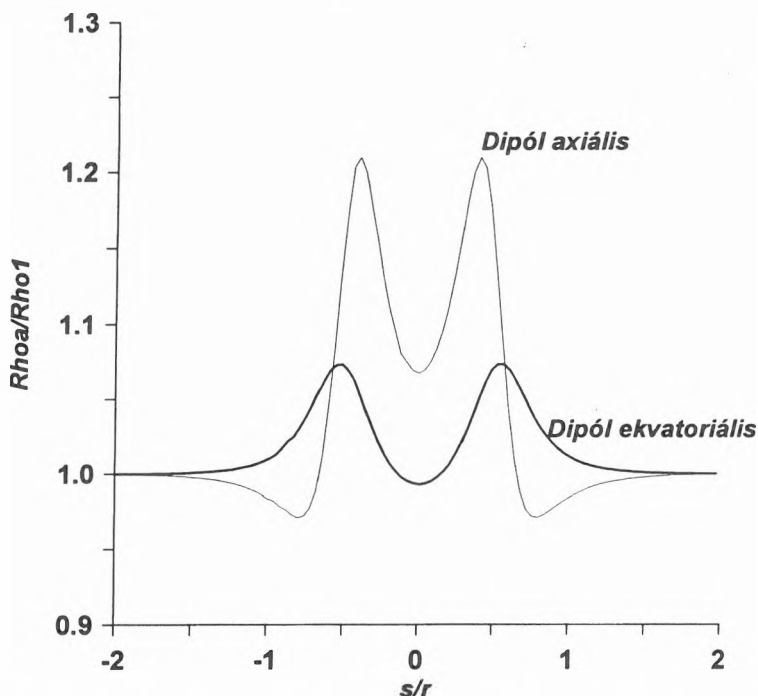
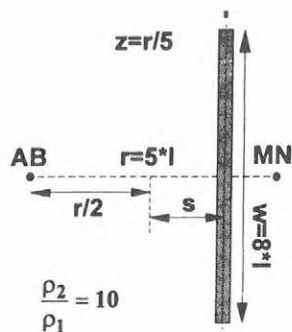
13. ábra. $z = r/5$ mélységben levő, környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású, a mérési vonalra merőleges orientációjú, különböző mértékben megnyúlt inhomogenitás felett *dipól axiális* elrendezéssel mérhető szelvényezési görbék

Fig. 13. Profiling curves of *dipole axial* array over a differently long-shaped inhomogeneity in depth $z = r/5$ of a resistivity 10 times greater than its surroundings and a main direction perpendicular to the measuring line

hányada esik. A dipólokön kívül a külső negatív zóna hatásának eredményeképp a látszólagos fajlagos ellenállás kismértékű csökkenése tapasztalható.

Dipól ekvatoriális elrendezésnél, miután a pozitív érzékenységtű tartomány y irányú kiterjedése kicsi, a ható oldalirányú méreteinek növekedése nem okoz jelentős változásokat a látszólagos fajlagos ellenállás görbéken. A maximumok között kialakuló minimum fokozatos elmélyülése annak köszönhető, hogy az inhomogenitás egyre nagyobb része nyúlik az oldalsó negatív zónába (vö. 3. ábra). Az is feltűnő, hogy az anomáliakép a dipól ekvatoriális elrendezés mellett jóval szélesebb, mint dipól axiális konfiguráció esetén, mivel a pozitív érzékenységtű zóna x irányú kiterjedése az $|x| > 0,5$ tartományban nagyobb, mint a dipól axiálishoz tartozó pozitív tartományé.

A 12. és 13. ábrákon bemutatott jelenségek fizikai oka az alábbiak szerint adható meg. A felszínen mérhető térerősség a források homogén feltér felett mérhető primer térnek és az inhomogenitások által okozott szekunder térnek az összege. Az inhomogenitást, hatását tekintve, a következő modellel helyettesíthetjük. A határfelület minden pontjában töltéseket helyezünk el úgy, hogy azok nagysága a forrás térnek felületi normális összetevőjével és az ellenálláskontraszt arányos. Ezen töltések felszínen mérhető összhátása adja azt a szekunder teret, amelyet tisztán az inhomogenitás okoz. A primer térnek a dipólokban folyó árammal párhuzamos összetevője a forrás közelében jóval meghaladja az arra merőleges összetevőt. Emiatt például a dipól ekvatoriális elrendezésnél hiába növekszik az inhomogenitás árammal párhuzamos kiterjedése, az a



14. ábra. A mérési vonalra merőleges főirányú, rosszul vezető inhomogenitás felett dipól axiális és ekvatoriális elrendezéssel mérhető szelvényezési görbék

Fig. 14. Profiling curves of dipole axial and equatorial arrays over a resistive, long-shaped inhomogeneity directed perpendicular to the measuring line

felszíni teret szinte nem is befolyásolja, némi változás csupán a $w=8l$ hosszúságú hasábnál tapasztalható.

Merőben más a helyzet a dipól axiális elrendezésnél. Az áramfolyásra merőleges felület növekedtével a felszínen mérhető anomális tér jelentősen növekszik, azaz amíg $w=l$ esetén mindkét elrendezés hasonló nagyságú anomáliákat ad, az inhomogenitás y irányú elnyújtásával a dipól axiális elrendezés jobb kimutathatóságot biztosít.

A fentiekből következik, hogy a laterális inhomogenitások kimutathatósága jelentősen függ attól, hogy a forrás primer áramsűrűségének iránya milyen orientációjú az inhomogenitás csapásirányához képest. Ezt szemlélteti a 14. és 15. ábra. A környezeténél 10-szer nagyobb fajlagos ellenállású, elnyúlt inhomogenitást először a mérőrendszer tenge-

lyére merőlegesen, majd vele párhuzamosan helyeztük el.

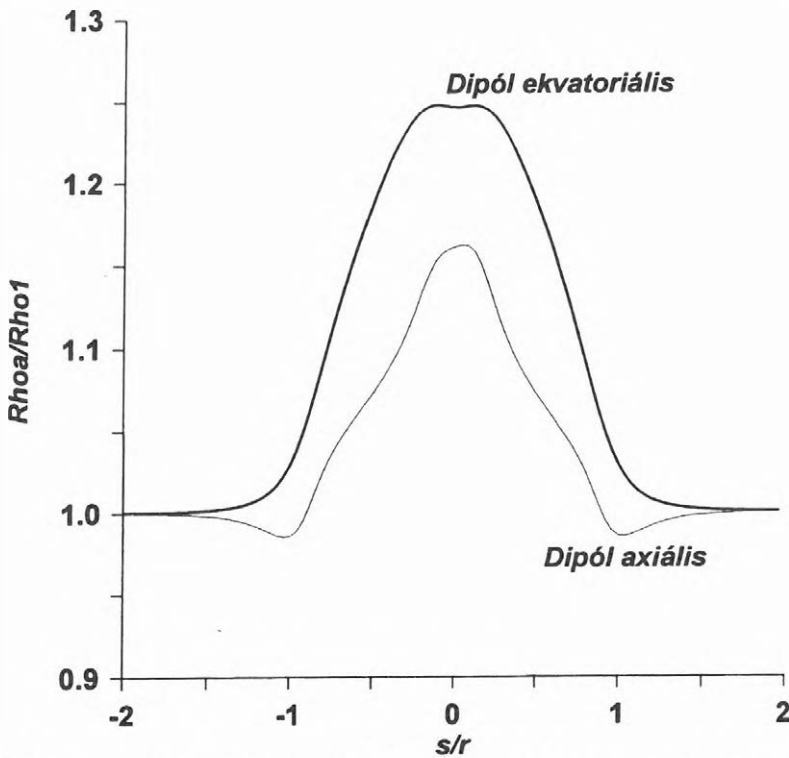
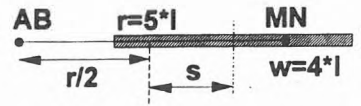
Amennyiben a csapás iránya a mérési vonalra merőleges, a dipól ekvatoriális elrendezésnél még egy viszonylag nagyméretű, nagy ellenálláskontraszttal rendelkező inhomogenitás is rejtve maradhat, a dipól axiális elrendezés azonban jól megfogható anomáliaképet ad.

Amennyiben a ható csapásiránya párhuzamos a mérési vonallal, a dipól axiális konfiguráció használatakor kapunk kisebb intenzitású jelet, a dipól ekvatoriális görbéjén ennél jóval nagyobb mértékű változás látható.

Amikor egy elnyúlt ható az árammal párhuzamos helyzetű, tértorzító hatása jóval kisebb, mint az áramra merőleges inhomogenitásé. Ezért előfordulhat, hogy ha egyetlen dipóllal mérünk, a keresett

$$z=r/5$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 10$$



15. ábra. A mérési vonallal párhuzamos főirányú, rosszul vezető inhomogenitás felett dipól axiális és ekvatoriális elrendezéssel mérhető szelvényezési görbék

Fig. 15. Profiling curves of dipole axial and equatorial arrays over a resistive, long-shaped inhomogeneity directed parallel to the measuring line

objektumot orientációja miatt nem tudjuk kimutatni. Két, egymásra merőleges áramrendszert létrehozva, a mért térértékek alkalmasan választott kombinációjával ez a veszély már nem állhat fenn.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton köszönöm dr. TAKÁCS Ernő egyetemi tanárnak a vizsgálatot nagyban megkönnyítő tanácsait és a dolgozat megírása során nyújtott segítségét.

HIVATKOZÁSOK

- EDWARDS L. S. 1977: A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics* **42**, 1020–1036
- ROY A., APPARAO A. 1971: Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics* **36**, 943–959
- ZHDANOV M. S., KELLER G. V. 1994: *The geoelectrical methods in geophysical exploration*. Elsevier, Amsterdam