

# A földalatti geoelektromos ellenállásmérések modell-kísérleteinek újabb eredményei

SZABÓ JÁNOS - BARANYI ISTVÁN - DUTKÓ ANTÓNINA

Jelen tanulmányunk célja a földalatti geoelektromos ellenállásmérések alkalmazásával kapcsolatban végzett laboratóriumi megfigyeléseink eredményeinek ismertetése.

A földalatti geoelektromos ellenállásmérésekkel kapcsolatos kísérleteink során elsősorban a homogén térben elhelyezett jövezető testek hatását vizsgáltuk. Meghatároztuk az anomáliák alakjának és intenzitásának változását.

1. az ércetest vastagságának,
2. az ércetestek települési mélységének,
3. a mérőelektrodarendszer méretének,
4. a csapásirány változásának,
5. a csapáshossz változásának

függvényében, hogy mindezek eredményeképpen a módszer kutatási mélységét megbecsüljük.

В работе излагаются результаты исследований, проведенных для изучения эффекта хорошо проводящих тел, залегающих в однородной среде. Для выяснения глубинности метода, форма и интенсивность вызываемых аномалий определялись в зависимости от

1. мощности рудного тела;
2. глубины его залегания;
3. разности измерительных электродов
4. изменения простирания;
5. изменения протяжения тел.

Es wird über die Resultate von Versuchen berichtet, wobei die Wirkung von gut leitenden Körpern untersucht wurde, die sich in einem homogenen Raum untergebracht befanden. Es wurde die Form und Intensität der Anomalien in Abhängigkeit von den folgenden Faktoren bestimmt:

1. Dicke des Erzkörpers,
2. Ablagerungstiefe des Erzkörpers,
3. Abmessungen des Messelektrodensystems,
4. Änderung der Streichrichtung
5. Änderung der Streichlänge,

um die Eindringungstiefe der Methode bestimmen zu können.

A geoelektromos mérések alkalmazásának egyik területe a bányavágatok által fel nem tárt, a környezetéhez viszonyítottan jó vezető inhomogenitások (vízzel telt karszt töbrök, ércetek stb.) kimutatása.\*

Jelen tanulmányunk célja a földalatti geoelektromos ellenállásmérések alkalmazásával kapcsolatban a jó vezetőkre végzett modellmérések eredményeinek ismertetése.

Laboratóriumi kísérleteink során a homogén térben elhelyezett jövezető testek hatását vizsgáltuk.

Meghatároztuk az anomália alakjának és intenzitásának változását

1. az „ércetek” vastagságának,
2. az „ércetek” mélységének,
3. a mérő elektrodarendszerek méreteinek,

\*A dolgozat szövegében és az ábrákon a távolságok mérésében „egység” megjelölést, ill. nevezetlen számot alkalmazunk. Ezzel azt kívánjuk kifejezni, hogy csupán a távolságarányok meghatározók.

4. a csapásirány változásának, és

5. a csapáshossz változásának

függvényében, hogy a módszer kutatási mélységét megbecsüljük.

Vizsgálataink az *I. táblázatba* foglalt esetekre terjedtek ki, ahol  $2b$  – a test horizontális vastagsága;  $L$  – a test csapásmenti hosszúsága;  $d$  – a test függőleges vastagsága.

*I táblázat\*\**

Test mérete	AB terítési távolság	Mélység (H) intervallum	Szögintervallum	Mérésköz
-------------	----------------------	-------------------------	-----------------	----------

*Таблица I.*

Размеры тела	Разнос AB	Интервал глубин, H	Динапазон углов	Пределы измерения
--------------	-----------	--------------------	-----------------	-------------------

*Tabelle 1*

Abmessungen des Körpers	AB Auslegungsabstand	Tiefenintervall, H	Winkelbereich	Messbereich
$2b \times L \times d$				
$0,5 \times 50 \times 20$	10,16,25,50	1,2,3,5,7	$20^\circ - 90^\circ$	0,25; 0,5
$2,5 \times 50 \times 20$	10,16,25,50	1,2,3,5,7	$20^\circ - 90^\circ$	0,25; 0,5
$5,0 \times 50 \times 20$	10,16,25,50	1,2,3,5,7	$20^\circ - 90^\circ$	0,25; 0,5
$10,0 \times 50 \times 20$	10,16,25,50	1,2,3,5,7		0,25; 0,5

\*\*A számadatok tetszőleges mértékegységekben vannak kifejezve.

A jövezető testeket rézlemezekből készítettük, a közeg, amelyben elhelyezkedtek, híg konyhasó oldat volt, tehát  $\rho_{test} \ll \rho$  környezet.

A kísérleteknél kétoldali háromelektrodás elrendezést (kombinált szelvényezés) alkalmaztunk. Az észlelési eredményekből a szimmetrikus ellenállás-szelvényezés görbéit építettük fel

$$\rho_{szim} = \frac{\rho_{AMN} + \rho_{MNB}}{2}$$

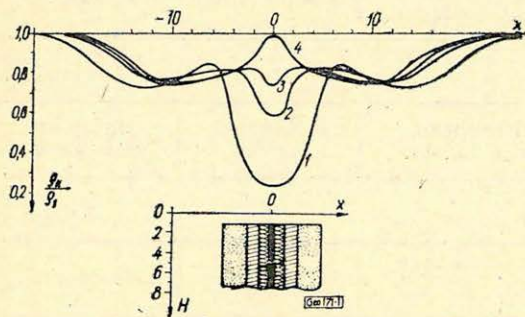
*1. Jövezető réteg vastagságának* az anomáliák alakjára és intenzitására gyakorolt hatásának vizsgálatára a méréseket az *I. táblázatban* is feltüntetett  $AB=10, 16, 25, 50$  egységnyi elektródátávolságoknál,  $H=1, 2, 3, 5, 7$  egységnyi mélységeknél és  $2b=0,5; 2,5; 5$  és  $10$  egységnyi rétegvastagságnál végeztük.

Egy-egy görbesereg észlelése alkalmával,  $AB=konst$ ,  $H=konst$  volt, és csak  $2b$  változott.

Egy ilyen görbesereget mutatunk be az *I. ábrán*, ahol  $AB=25$  egység = konst,  $H=1$  egység = konst és  $2b$  változott  $0,5$  egységtől  $10$  egységig. Az anomáliát a  $\rho_k/\rho_1$  hányadossal fejeztük ki, ahol  $\rho_1$  – az anomáliamentes közeg fajlagos elektromos ellenállása,  $\rho_k$  – az adott  $X_k$  pontban észlelt látszólagos fajlagos elektromos ellenállásérték.

Az ábrán látható, hogy viszonylag vastag réteg esetében az anomália (1) három minimummal és két maximummal jelentkezik, melyek közül közvetlenül a réteg fölötti minimum a legnagyobb. A két szélső minimum a tápelektrodák és a réteg között fellépő tértorzítás hatására jelentkezik, a tápelektrodáknak a jövezető réteg felé közeledtekor.

Kiértékelés szempontjából elsősorban a központi minimum a lényeges, ui. a terítési távolságot meghaladó szélességű anomália kiválasztása valóságos körülmények között nehéz, mivel az észlelt ellenállás-fluktuáció miatt nem tudjuk kijelölni a  $\rho_1$  fajlagos ellenállásnak megfelelő szintet.



1. ábra. Jövezető réteg vastagságának hatása az anomáliák alakjára és intenzitására.  $AB=2$ ,  $l=25$  = konst;  $H=1$  = konst. A 11,5 B 2 N 11,5 B 1.  $10 \times 50 \times 20$ ; 2.  $5 \times 50 \times 20$ ; 3.  $2,5 \times 50 \times 20$ ; 4.  $0,5 \times 50 \times 20$ .

Fig. 1. Влияние мощности хорошо проводящего слоя на форму и интенсивность аномалий

Fig. 1. Einfluss der Dicke einer gut leitenden Schicht auf die Form der Anomalien und ihre Intensität

A központi minimumzóna vizsgálata mutatja, hogy azonos mélység és terítési távolság esetében a rétegvastagság csökkenésével a központi minimum szélessége és intenzitása csökken, sőt vékony rétegnél a központi minimum egy látszólagos maximumba csap át, melynek abszolút értéke a 0,5 egységnyi vastagságú réteg esetében a  $\rho_1$  értéket közelíti meg.

Más körülmények (terítési távolság, mélység) között észlelt görbeseregek is az 1. ábrán bemutatott törvényszerűséget követik.

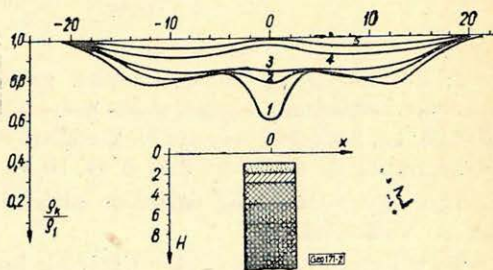
2. Jövezető réteg mélységének az anomáliák alakjára és intenzitására kifejtett hatását különböző  $AB$  távolságokra, különböző vastagságú testekre, változó mélység esetére vizsgáltuk. Egy-egy görbesereg észlelésénél  $AB$  = konst,  $2b$  = konst és csak a  $H$  mélységet változtattuk.

Az  $AB=25$  egységnyi terítési távolságnál és  $2b=5$  egységnyi rétegvastagságnál változó „ $H$ ” értékeknél végzett mérési sorozat eredményeit a 2. ábrán mutatjuk be.

2. ábra. Jövezető réteg mélységének hatása az anomáliák alakjára és intenzitására.  $AB=25$  = konst; A11,5 M 2N 11,5 B réteg:  $5 \times 50 \times 20$ ; 1.  $H=1$ ; 2.  $H=2$ ; 3.  $H=3$ ; 4.  $H=5$ ; 5.  $H=7$ .

Fig. 2. Влияние глубины залегания хорошо проводящего слоя на форму и интенсивность аномалий

Fig. 2. Einfluss der Tiefe einer gut leitenden Schicht auf die Form und Intensität der Anomalien



Megállapítható, hogy kis mélység és elég nagy vízszintes vastagság esetében hármas minimum jelentkezik, melyek közül lényeges és a kiértékelés szempontjából a legfontosabb a réteg fölött jelentkező minimum.

Ha az adott észlelési körülmények között növeljük a test mélységét, a központi minimum intenzitása csökken, az anomália „ellaposodik” (2., 3. görbék), sőt egy bizonyos mélység után a központi minimum látszólagos maximumba csap át (4., 5. görbék), melynek abszolút értéke a mélység további növelésével  $\varrho_1$  értékhez tart, ugyanakkor a szélső minimumok intenzitása is csökken, s egy bizonyos mélység után anomália egyáltalán nem jelentkezik.

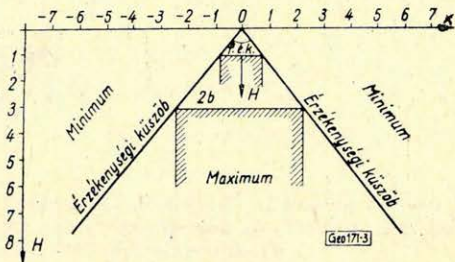
Az 1. és 2. pontban kapott eredmények egybevetése azt mutatja, hogy függetlenül az egyébként kellő lehatolási mélységet biztosító terítési távolságtól, csökken a központi minimum intenzitása és a minimum maximumba megy át, ha a konstans mélységnél csökken a test vastagsága, vagy konstans vastagságnál növekszik a test mélysége; vagyis mindkét esetben csökken a központi minimum intenzitása és az maximumba megy át, ha csökken a réteg epicentrumából a réteg két felső széléhez tartozó látószög.

A fentiek azt jelentik, hogy a látószög nagyságától függ az, hogy a test fölött minimum vagy maximum jelentkezik, s ezen keresztül a látószög nagyságától függ, hogy egy adott közegben a jővezető telér a szimmetrikus elektromos szelvényezés módszerével kimutatható-e vagy sem.

3. ábra. A  $\varphi_{ék}$  értéket meghatározó réteg-mélység ( $H$ ), vastagság ( $2b$ ) diagramm.

Фиг. 3. Диаграмма определения величин  $\varphi_{ék}$  по глубине залегания ( $H$ ) и мощности ( $2b$ ) слоя

Fig. 3. Bestimmungsdiagram für  $\varphi_{ék}$ -Werte aus Schichtentiefe ( $H$ ) und Dicke ( $2b$ ).



Meghatároztuk a látószögnek azt a határértékét, melynél a központi minimum már kisimul, de a maximum még nem jelentkezik. Ez a látószög tulajdonképpen az alkalmazott módszer „érzékenységi küszöbe” ( $\varphi_{ék}$ ), vagyis ennél nagyobb  $\varphi$  értékek esetében a jól vezető réteg minimummal, kisebb  $\varphi$  értékek esetében pedig maximummal jelentkezik (3. ábra).

A 3. ábra felhasználható annak meghatározására, hogy egy adott mélységben közelítőleg becsült vastagságú, jővezető test fölött minimum ( $\varphi > \varphi_{ék}$ ) vagy maximum ( $\varphi < \varphi_{ék}$ ) fog-e jelentkezni.

Az elvégzett kísérletsorozat alapján megállapítható, hogy  $\varphi_{ék} = 78^\circ$ . S mivel

$$\frac{b}{H} = \operatorname{tg} \frac{\varphi_{ék}}{2} = \operatorname{tg} 39^\circ = 0,81.$$

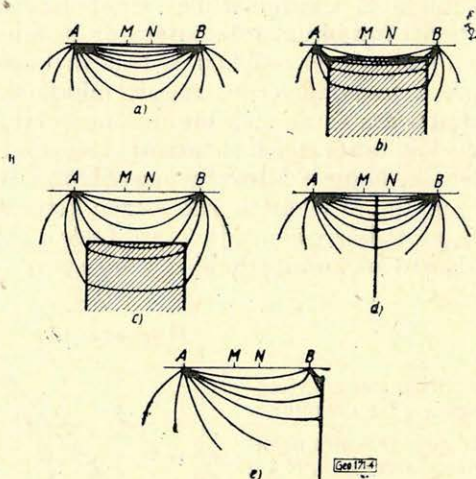
A minimum jelentkezésének feltétele

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} > \operatorname{tg} \frac{\varphi_{ék}}{2},$$

tehát  $\frac{b}{H} > 0,81$  s ebből  $2b > 1,62 H$ .

Vagyis annak feltétele, hogy valamely jól vezető réteg földalatti körülmények között szimmetrikus szelvényezéssel központi ellenállásminimummal jelentkezzen az, hogy vastagsága legalább 1,60-szor meghaladja településének mélységét.

A központi maximum kialakulásának fizikai magyarázatát a 4. ábra alapján könnyen megérthetjük.



4. ábra. A jóvezető fölötti ellenállásmaximum kialakulásának magyarázatához. a) árameloszlás homogén térben; b) árameloszlás nagy vastagságú, kis és közepes mélységű réteg esetén; c) árameloszlás  $\varphi \rightarrow 0^\circ$ -nál; e) oldalminimumok kialakulása

Fig. 4. К пояснению максимума величин сопротивлений, создающегося над хорошо проводящим слоем: a) распределение тока в однородной среде; б) и в) то же, при наличии слоя большой мощности, соответственно для небольшой (б) и средней (в) глубины залегания  $\varepsilon$ ) распределение тока при  $\varphi \rightarrow 0^\circ$ ; д) образование бокового минимума

Fig. 4. Zur Erklärung des sich über gut leitenden Körpern einstellenden Widerstandsmaximums: a) Stromverteilung in homogenem Raum; b) und c) dieselbe im Falle einer Schicht von grosser Mächtigkeit, und zwar bei b) mit kleiner, bei c) mit mittlerer Tiefe; d) Stromverteilung bei  $\varphi \rightarrow 0^\circ$ ; e) Ausbildung von Seitenminimums

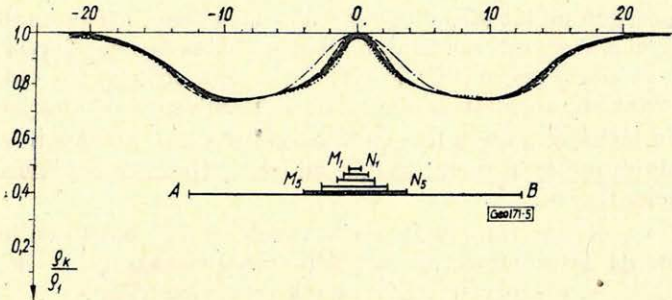
Valamely homogén köztömegben az áramvonalak az a) pontban bemutatott eloszlásúak, s ellenállásmérés esetén a homogén köztömeg fajlagos elektromos ellenállását határozzuk meg. Abban az esetben, ha az elektródaelrendezés egy, a  $\varrho_1$ -nél kisebb ellenállású, nagy látószögű inhomogenitás (réteg) fölé kerül, az  $AB$  elektródákról lekerülő áramvonalak többsége ráfut a jóvezetőre, az áramkör ezen rétegen keresztül záródik, s ezért az  $MN$  elektródák közelében igen jelentős áramvonalasűrűségcsökkenés lép fel, az észlelt ellenállás lényegesen kisebb lesz, mint  $\varrho_1$ ; a nagy látószögű inhomogenitás fölött ellenállásminimumot észlelünk.

Ha növeljük a mélységet, vagyis csökkentjük a látószöveget, az ellenállásminimum amplitúdója csökken, mert az  $MN$  körzetében az eredeti árameloszlási kép kezd ismét kialakulni. Abban az esetben, ha a réteg nagy mélységben van, vagy vastagsága kicsiny, a látószög  $0^\circ$ -felé tart, ismét a homo-

gén közzétömre jellemző árameloszlási kép alakul ki az epicentrumban (*d* ábra), vagyis jövezető vékony rétegek esetében ( $\varphi \rightarrow 0^\circ$ ) a test fölött szimmetrikusan elhelyezkedett *AMNB* elektródarendszerrel tulajdonképpen a befogadó közet fajlagos elektromos ellenállását észlelhetjük, ami a szelvényen, mint a vékony réteg fölötti ellenállásmaximum jelentkezik.

A jövezető vékony réteg fölötti ellenállásmaximum két oldalán jelentkező oldalminimumok kialakulása magyarázható a *4e* ábra alapján. Amikor ugyanis a vékony réteg nem az *AB* középpontjában helyezkedik el, a réteghez közelebb levő tápelektródáról az áramvonalak „rásűrűsödnek” a jövezető rétegre, ami az *MN* elektródák környékén az áramvonalak ritkulását, vagyis ellenállásminimum kialakulását eredményezi mindkét oldalon.

3. A kísérletsorozat alkalmával megvizsgáltuk, hogy konstans észlelési viszonyok esetében (állandó mélység, vastagság, terítési távolság) hogyan változik az anomáliák alakja és intenzitása, ha változtatjuk az észlelő elektródák (*MN*) közti távolságot. Az észlelések során az  $MN/|AB|$  viszonyt 0,04–0,3 között változtattuk, s azt tapasztaltuk, hogy a *MN* változása az anomáliák intenzitását alig változtatja (*5. ábra*).



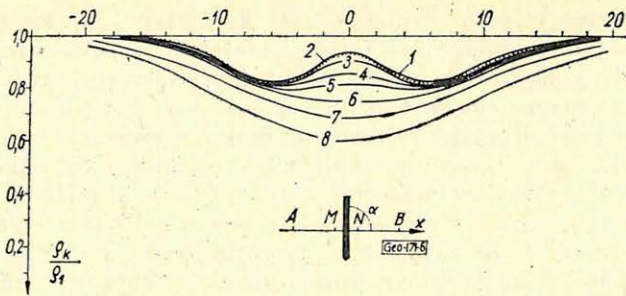
5. ábra. A mérőelektródák (*MN*) közti távolság változásának hatása az anomáliák alakjára és intenzitására. 1.  $MN=1$ ; 2.  $MN=2$ ; 3.  $MN=3$ ; 4.  $MN=5$ ; 5.  $MN=8$ ;  $AB=25=\text{konst}$ ; réteg:  $0,5 \times 50 \times 20$ ;  $H=1$ .

Fig. 5. Влияние изменения разнoса измерительных электродов (*MN*) на форму и интенсивность аномалий

Fig. 5. Einfluss der Änderung des Messelektrodenabstandes (*MN*) auf die Form und Intensität der Anomalien

4. A csapásirány változásának hatása az anomália alakjára és intenzitására.

Az elektromos kutatás gyakorlatában általánosan elfogadott szabály, hogy a mérési szelvényeket merőlegesen telepítsük a rétegek csapásirányára. Ebben az esetben az anomália alakja határozottabb, és pontosabban meg lehet állapítani a réteg települési helyzetét. Bányabeli körülmények között nincs lehetőség arra, hogy a profilirányt szabadon válasszuk meg. A vágatiránya adott és nem feltétlen merőleges a csapásirányra, ezért nem mellékes, milyen változások állnak elő az anomáliában, ha a szelvény nem merőleges a rétegre. A szelvényhez viszonyított csapásirány hatását az anomáliára a *6. ábrán* mutatjuk be, ahol  $H=2\text{ cm}=\text{konst}$  mellett a *7M2N7B* elektróda elrendezés-nél vizsgáltuk az anomália alakjának és intenzitásának változását  $2b=2,5\text{ cm}$  vastagságú réteg esetében ha a szelvényirány és a csapásirány által bezárt  $\alpha$  szög  $90^\circ$  és  $20^\circ$  között változott.



6. ábra. Jóvezető réteg csapásirányának hatása az anomáliák alakjára és intenzitására. 1.  $\alpha = 90^\circ$   
 2.  $\alpha = 80^\circ$ ; 3.  $\alpha = 70^\circ$ ; 4.  $\alpha = 60^\circ$ ; 5.  $\alpha = 50^\circ$ ; 6.  $\alpha = 40^\circ$ ; 7.  $\alpha = 30^\circ$ ; 8.  $\alpha = 20^\circ$ ;  $AB = 16 = \text{konst}$ ;  
 réteg:  $2,5 \times 50 \times 20$ ;  $H = 2$ .

Фиг. 6. Влияние простирания хорошо проводящего слоя на форму и интенсивность аномалий

Fig. 6. Einfluss der Streichrichtung der gut leitenden Schicht auf die Form und Intensität der Anomalien

A görbeseregen jól látható, hogy  $\alpha = 90^\circ$ -nál a központi anomália maximum.  $\alpha$  csökkenésével a központi maximum ellaposodik és átmegy lapos minimumba. Ugyanakkor az oldal-anomáliák is eltűnnek. A merőlegetestől való  $20-30^\circ$ -os eltérés gyakorlatilag alig hat az anomália intenzitására és alakjára.

Az ábrán látható, hogy a központi maximum  $50-40^\circ$  terítési irány között csap át a minimumba. Ennek alapján adott esetben az érzékenységi küszöb,  $\alpha = 45^\circ$ -nál jelentkezik.

Amikor a szelvényirány változik a vezető réteg felett, változik az észlelési irány menti látszólagos horizontális rétegvastagság is a  $2b' = 2b/\sin\alpha$  szerint, ahol  $2b'$  – a szelvényirány menti rétegvastagság.

Az adott esetben az érzékenységi küszöbhez tartozó szelvénymenti rétegszélesség:

$$2b' = \frac{2b}{\sin\alpha} = \frac{2,5}{\sin 45^\circ} = 3,5.$$

A  $2b'$ -hez tartozó  $\varphi_{ék}$  látószög:

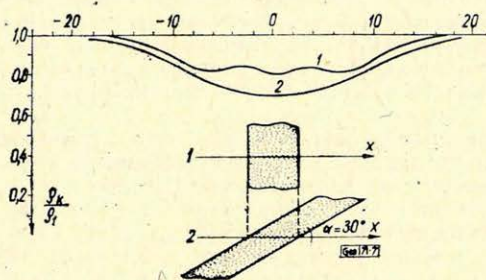
$$\operatorname{tg} \frac{\varphi_{ék}}{2} = \frac{b'}{H} = \frac{1,75}{2} = 0,87 \text{ és } \varphi_{ék} = 82^\circ.$$

Vagyis az érzékenységi küszöbhez tartozó látószög értéke gyakorlatilag ugyanaz, mint amit már korábban is megállapítottunk. Ebből következik, hogy bányabeli körülmények között ellenállás szelvényvel harántolt jóvezető tömeg csak akkor jelentkezik központi ellenállásminimummal, ha a réteg szelvénymenti vastagságának látószöge nem kisebb  $80^\circ$ -nál.

Ebből következik, hogy ha a szelvényirány változtatásával növeljük a látószöget, növekszik az ellenállásminimum és a hatótömeg kimutathatósága is.

Külön vizsgálatot igényel, hogyan változnak az anomáliák egymáshoz viszonyítva, ha a szelvénymenti vastagságok azonosak, de a szelvényirány és csapásirány közti szögek eltérők. A 7. ábrán az  $A7M2N7B$  elektróda elren-

dezésnél  $H = 2$  cm mélységben elhelyezkedő rétegek fölötti anomáliákat mutatjuk be. Az 1. görbe a  $2b_1 = 5$  cm vastagságú réteg által okozott anomáliát mutatja ha a szelvényirány merőleges a csapásirányra ( $\alpha_1 = 90^\circ$ ). A 2. görbe a  $2b_2 = 2,6$  cm,  $\alpha_2 = 30^\circ$  esetére vonatkozó anomáliát mutatja be. Ebben az esetben a szelvényezési irány menti látszólagos rétegvastagság  $2b'_2 = 2b_2 / \sin \alpha_2 = 5$  cm, tehát ugyanakkora, mint az 1. anomália esetében. A két anomália összehasonlítása alapján megállapíthatjuk, hogy azok sem alak, sem intenzitás tekintetében nem egyenértékűek: azonos szelvényirány menti rétegvastagság esetében a szelvényirányt kisebb szöggel harántoló csapásirányú test okoz szélesebb és nagyobb intenzitású anomáliát.



7. ábra. Azonos szelvénymenti szélességű, különböző csapásirányú rétegek által okozott anomáliák. 1.  $2b_1 = 5$ ; 2.  $2b_2' = 5$ ; ( $2b_2 = 2,6$ )  $AB = 16 = \text{konst}$ ,  $H = 2$ .

Fig. 7. Аномалии, вызванные хорошо проводящими слоями равной ширины и разного простирания

Fig. 7. Anomalien, die von gut leitenden Schichten gleicher profilgerichteter Breite und verschiedener Streichrichtung herrühren

5. A csapásmenti hosszúság változásának anomália alakjára és intenzitására gyakorolt hatását is megvizsgáltuk. A csapásmenti hosszúságot  $L$ -el a réteg szélességét  $2b$ -vel jelöljük. Az  $L/2b = 1, 2, 4, 8, 20$  arányszámokra végeztük el az észleléseket. Azt tapasztaltuk, hogy ha a test csapásirányú hosszúsága eléri az  $AB$  terítési távolságot, az anomáliák alakja és intenzitása a test hosszának további növelésével gyakorlatilag csak alig változik; ha a test hossza a  $2l$  terítési távolságnál kisebbre csökken ( $L < 2l$ ), az anomáliák intenzitása is csökken, azonban alakjuk csak kis mértékben változik. Vagyis a jövezető rétegek csapásmenti hosszának csökkenése az anomáliák intenzitásának csökkenését eredményezi, azonban ezek a változások gyakorlati szempontból nem jelentősek, ha  $L > (5 - 10)2b$ .

#### IRODALOM

- [1] Szabó J. – Baranyi I.: Modelirovanije zadacs podzemnoj elektrorazvedki metodom szproitivlenij. Izvesztijija vüszslih ucsebnüh zavegyenyij. Moszkva, 1964, No. 12.
- [2] Szabó J. – Baranyi I.: Az egyenáramú és alacsonyfrekvenciás váltakozóáramú kutatási módszerek földalatti alkalmazhatóságáról. Bányászati Lapok 1966. 2. sz.
- [3] Szpravočnyik Geofizika tom. 3.