

A gerjesztett polarizációs módszer alkalmazása negyedkori homokos-agyagos víztároló összletek kutatásában*

DRASKOVITS PÁL – HOBOT JÓZSEF**

A GP módszer alkalmazhatóságára vonatkozó irodalmi adatok rövid áttekintése után a módszer hazai alkalmazására mutatunk be példát. Fúrólukokban végzett első méréseink szerint a legfontosabb víztároló képződmények polarizálhatóság szempontjából is eltérők. A területi felszíni mérésekből kapott ellenállás és polarizálhatóság térképeket a fúrólukbeli mérések alapján értelmeztük. Megállapítottuk, hogy a vízkutatásban a GP módszer legfőbb előnye az egymáshoz hasonló ellenállású anomáliák megkülönböztetése. Valószínűleg széles körben általánosíthatók a fúrásokkal is igazolt következtetéseink, amelyek szerint törmelékes üledékes összletekben vízbeszerzésre legalkalmasabbak a nagy ellenállással és alacsony vagy közepes polarizálhatósággal jellemezhető kőzetek.

После краткого обзора литературных данных о возможностях применения метода ВП приводятся примеры применения данного метода в Венгрии. По первым измерениям в скважинах важнейшие водоносные формации различаются и с точки зрения поляризуемости. Карты сопротивления и поляризуемости, составленные по наземным работам, были подвергнуты интерпретации на основании данных скважинных измерений. Было установлено что при разведке на воду важнейшее достоинство метода ВП заключается в различении аномалий, имеющих примерно одинаковое сопротивление. Наши выводы, подтвержденные бурениями, вероятно подлежат обобщению в широком смысле о том, что в обломочных осадочных толщах для получения воды наиболее подходящими являются участки высокого сопротивления и низкой или средней поляризуемости.

After a short review of literature on the applicability of the IP method, a case history will be given demonstrating applications in Hungary of this technique. According to the first down-hole measurements, the main water-bearing formations differ in polarizability, too. Resistivity and polarizability maps, constructed from ground measurements, were interpreted on the basis of down-hole measurements. It was established that the main advantage of the IP method in water prospecting is the differentiation of similar resistivity anomalies. Conclusions, confirmed by drillings, too, can probably be generalized: in clastic sedimentary complexes formations of high resistivity and low or medium polarizability are the most promising for water.

Az utóbbi évtizedben egyre több olyan publikáció jelent meg, amely a korábban szinte kizárólag ércutató módszerként ismert gerjesztett polarizációs módszer vízkutatásban való alkalmazásával foglalkozik. Különböző kutatók számos laboratóriumi és terepi kísérletet végeztek, amelyeknek legfőbb eredménye az volt, hogy a vízkutatásban leggyakrabban előforduló kőzetek eltérő polarizációs tulajdonságokkal rendelkeznek. Mérőműszertől és mérési módszertől gyakorlatilag függetlenül azt kapták, hogy sem a tiszta agyag, sem a tiszta homok, kavicsos homok nem polarizálódik, míg az agyag-homok keverékek, homoklisztek polarizálhatósága néha jelentős. A polarizálhatóság mértéke erősen függ a minta relatív agyagtartalmától. E függés számszerű értékére viszont a különböző szerzőknél igen eltérő adatokat találhatunk: az egyéb körülmények változatlanul tartása mellett maximális polarizálhatóságot észleltek:

a. 1% montmorillonit és 99% homok, illetve 3% illit és 97% homok keverékénél (Keller, Friskhnecht, 1970),

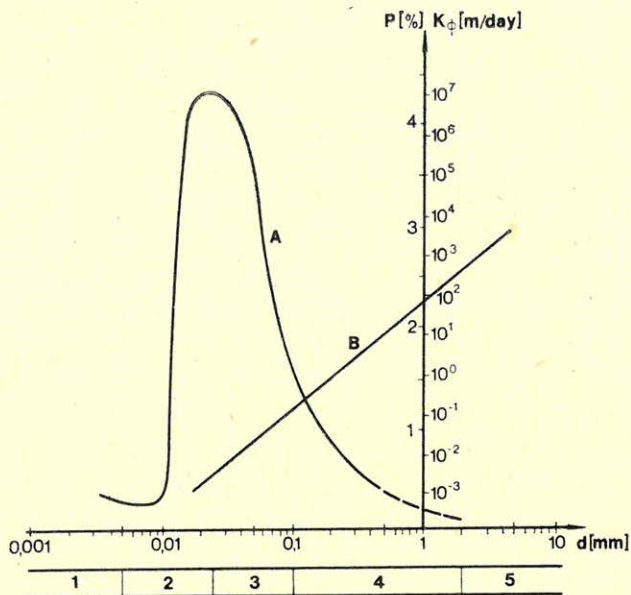
* Elhangzott a 27. Nemzetközi Geofizikai Szimpóziumon, Pozsony, 1982. szeptember.

** M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest.

b. 20% homok és 80% agyag keverékénél (Roy, Elliot, 1980).

Az erősen eltérő adatok jól mutatják, hogy a gerjesztett polarizációs jelenség kialakulása és magyarázata körül sok még a tisztázatlan kérdés.

Ismereteink szerint a törmelékes üledékes összletekben észlelhető polarizáció kialakulásában az elektrolitikus és az elektrokinetikus jelenségek dominálnak. Itt nyilván igen lényeges paraméter az uralkodó szemcseméret, amely döntően befolyásolja a pórusok geometriai jellemzőit. A szemcseméret, a filtrációs koefficiens és a polarizálhatóság között fennálló, empirikus úton talált összefüggések közül egyet mutatunk be, szovjet kutatók nyomán (Lipszkaja, Rjapolova, 1970/ 1. ábra). Az összefüggés lényege az, hogy egy bizonyos szemcseméret-tartományban (körülbelül 0,01–0,06 mm átmérő) a polarizálhatóság maximális és innen mind a finomabb, mind a durvább szemcsézottság felé haladva elég gyorsan csökken.



Geo 84/2-1

1. ábra. Összefüggés közetek szemcsemérete (d), filtrációs koefficiense (K_{ϕ}) és polarizálhatósága (P) között

1 – agyag, 2 – iszap, 3 – homokliszt, 4 – homok, 5 – kavics, A – $P=f(d)$ összefüggés, B – $K_{\phi}=f(d)$ összefüggés

Рис. 1. Связь между зернистостью (d), фильтрационным коэффициентом (K_{ϕ}) и поляризуемостью (P) горных пород

1 – глина, 2 – ил, 3 – песочная мука, 4 – песок, 5 – гравий, А – связь $P=f(d)$, B – связь $K_{\phi}=f(d)$

Fig. 1. Relationship between grain size (d), filtration coefficient (K_{ϕ}) and polarizability (P) of rocks

1 – shale, 2 – slurry, 3 – sand flour, 4 – sand, 5 – gravel, A – relation $P=f(d)$, B – relation $K_{\phi}=f(d)$

Az irodalmi adatok alapján reálisan várható volt, hogy a különböző víztároló képződmények polarizálhatóságuk alapján is eltérőek lesznek. Vizsgálatainkat fúrólukbeli mérésekkel kezdtük. Először egy ellenállás karotázs szelvényt készítettünk, majd – GP karotázs műszer hiányában – felszíni műszerrel végeztünk pontszerű méréseket. Az alkalmazott *DIAPIR-E* típusú műszerrel egyidejűleg mértük a látszólagos fajlagos ellenállást és a látszólagos polarizálhatóságot; ez utóbbit 8 s gerjesztési és $0,25\text{ s}$ mintavételi idővel. Méréseinkhez szimmetrikus négyelektródás kábelszondát (*A 0,5 M 0,5 N 0,5 B*) használtunk. Az egyik fúrólukban végzett mérésnek egy jellegzetes szakasza látható a 2. ábrán. A tömör karikákkal jelölt pontszerű ellenállás értékek igen jól egyeznek a hasonló hosszúságú potenciálszondával felvett ellenállás karotázs görbével. Az üres karikákkal ábrázolt polarizálhatóság szelvényből az alábbi következtetések vonhatók le:

– legkevésbé polarizálódnak ($P \approx 2\%$) a kis ellenállású ($\rho \approx 10 - 12\ \Omega\text{ m}$) tiszta agyagok ($50 - 58\text{ m}$, $74 - 76\text{ m}$);

– közepes ($4 - 6\%$) polarizálhatósággal rendelkeznek a legnagyobb ellenállású ($\approx 60\ \Omega\text{ m}$) vastag tiszta homokréteg középső szakaszai ($62 - 68\text{ m}$, $94 - 97\text{ m}$);



Geo 84/ 2-2

2. ábra. Fúrólukbeli ellenállás és polarizálhatóság mérések

- 1 – ellenállás karotázs görbe, 2 – pontszerű ellenállás mérés eredménye, 3 – pontszerű polarizálhatóság mérés eredménye

Рис. 2. Скважинные измерения сопротивления и поляризуемости

- 1 – каротажная кривая сопротивления, 2 – результат точечных измерений сопротивления, 3 – результат точечных измерений поляризуемости

Fig. 2. Down-hole resistivity and polarizability measurements

- 1 – resistivity log, 2 – result of point-like resistivity measurements, 3 – result of point-like polarizability measurements

– legjobban polarizálódnak ($P > 8\%$) a homoklisztek, sűrűn váltakozó vékony homok- és agyagrétegek (78–87 m), valamint a homok-agyag határok (60 m, 70 m, 91 m, 98 m), amelyekre közepes (40–50 Ωm) ellenállás érték jellemző. Feltehető, hogy a 90–98 m közötti homokréteg felső része homoklisztes, esetleg agyaggal szennyezett.

Megemlítjük, hogy az első időszakban több fúrásban végeztünk lyukbéli ellenállás és polarizálhatóság méréseket. Ezek eredménye gyakorlatilag megegyezik a bemutatottakkal.

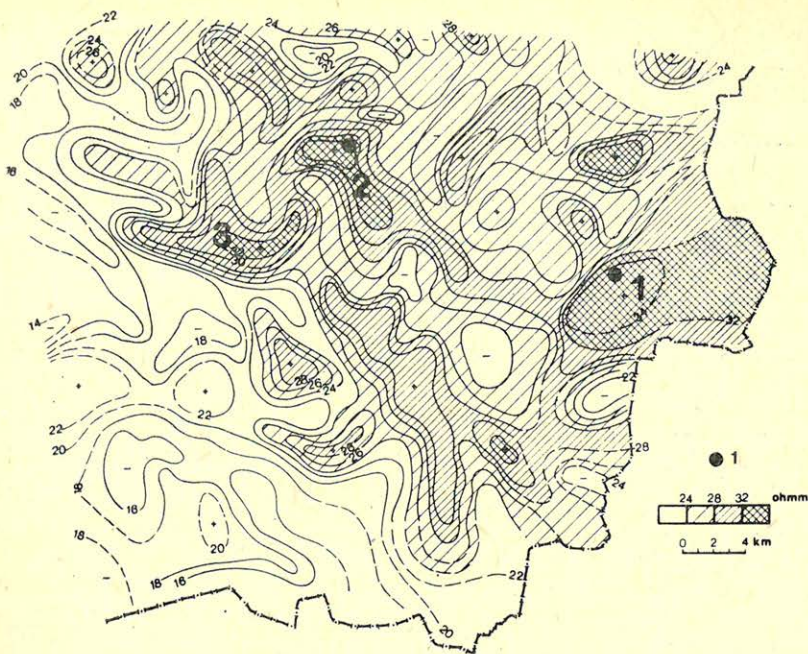
A fúrólyukbéli vizsgálatok után, azok kedvező eredményei alapján azt vizsgáltuk, hogy a különböző összetetek fenti sajátosságai mennyire észlelhetők felszíni mérésekből. A kiválasztott terület földtani felépítése fúrások és korábbi, nem vízkutató geofizikai mérések alapján nagy vonalakban az alábbi. A neogén képződmények alacsony ellenállásuk (anyaguk többnyire agyag, agyagmárga, kisebb mértékben homok) és nagy vastagságuk következtében az elektromos mérésekben megbízható feküösszletként jelentkeznek. A fekü mélysége 300 és 700 m között várható. A felszín és a fekü között szendvics típusú pleisztocén törmelékes, homokos-agyagos üledékek települnek, amelyek a távolabbi medenceperemek felől a vízutánpótlódás biztosításával a fő víztároló összetetet alkotják. A kutatás célja az volt, hogy megfelelő sűrűségű mérések alapján részletesen megismerhessük a perspektivikus összetet vastagságát, az elkülöníthető rétegcsoportokat, információkat szerezzünk a rétegsorban előforduló összes porózus réteg relatív mennyiségéről, azaz körvonalazzuk a vízáadásra legalkalmasabb körzeteket.

A területen közel egyenletes sűrűséggel telepítettünk $AB_{max} = 4000$ m-es ellenállás szondázásokat. A mért görbék igazolták az előzetes várakozásokat. A felszíni rétegek alatt 3 rétegösszletet sikerült elkülöníteni, mivel a pleisztocén összetet egy felső, 20–40 Ωm ellenállású és egy alsó, 9–18 Ωm ellenállású szakaszra volt felbontható. Alattuk 4–7 Ωm értékkel jelentkezett a pannon korú vízzáró fekü.

Néhány korábbi fúrás tanúsága szerint az egész pleisztocén összetetre különböző vastagságú homok- és agyagrétegek váltakozása jellemző. A két külön kiértékelhető rétegre való felbonthatóság nyilván azt jelzi, hogy a pleisztocén két szakaszában a porózus rétegek és az agyagok összes mennyisége eltérő, valamint azt, hogy a porózus rétegek átlagos szemcsemérete a felső szakaszban nagyobb. Az egész terület elsőrendű fontosságú vízáadó képződménye a pleisztocén rétegsor felső, nagyobb ellenállású szakasza. Másodrendű, de még határozott víztárolásai perspektívával rendelkezik az alsó pleisztocén összetet. A 4–7 Ωm ellenállású agyagos feküképződményekben nagyobb mennyiségű, gazdaságosan kitermelhető vízkészletekre nem számíthatunk.

A pleisztocén felső összetetének fajlagos ellenállása látható a 3. ábrán. Az ellenállás maximumok nyilván azokat a körzeteket jelölik, ahol a felső 100–300 m mélységtartományban a porózus rétegek összes mennyisége, illetve az agyagokhoz viszonyított relatív mennyisége a legtöbb. Vízművek telepítésére várhatóan ezek a körzetek lesznek a legalkalmasabbak.

A területi GP kutatások főbb fázisai az alábbiak voltak. Először – de nem az ellenállásmérések után, hanem azokkal egyidejűleg – a terület különböző pontjain mértünk GP szondázási görbéket, amelyeket a rendelkezésünkre álló álló két- és háromréteges görbeseregek segítségével próbáltunk kiértékelni. Kiderült, hogy a polarizálhatóság réteghatárok az esetek túlnyomó többségében nem esnek egybe ellenállás réteghatárokkal, így az egy bizonyos ellenállású összetet



Geo 84/2-3

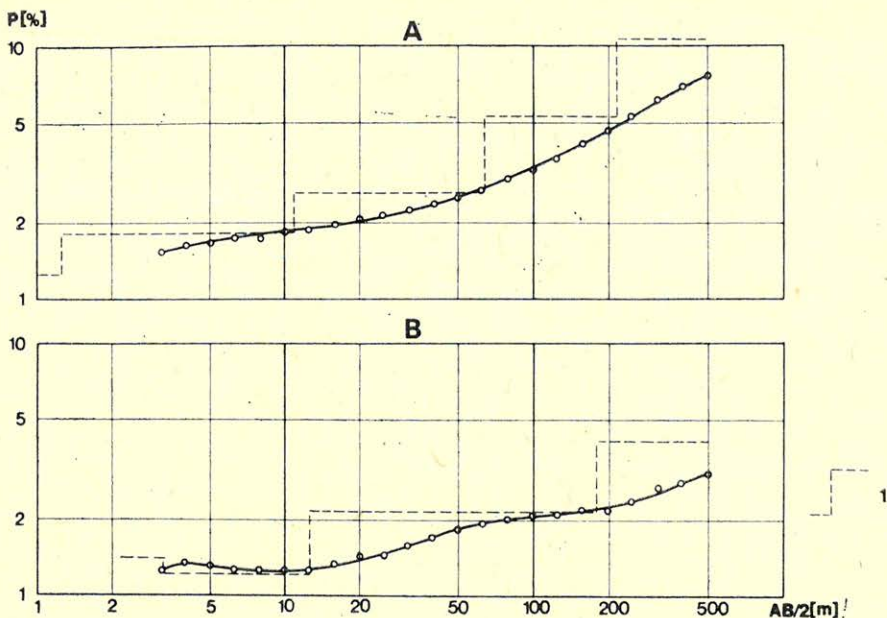
3. ábra. A pleisztocén összlet felső szakaszának fajlagos ellenállása
1 – mélyfúrás

Рис. 3. Удельное сопротивление верхней части плейстоценового комплекса
1 – скважина

Fig. 3. Specific resistivity of the upper part of the Pleistocene complex
1 – drilling

nem jellemezhető egyértelműen egy jellemző polarizálhatóság értékkel. Emiatt csak a legegyszerűbb, ellenállásváltozás nélküli esetre vonatkozó kétréteges görbesereget használhattuk. Másik tényező, hogy a GPS görbék – a VES módszerből kölcsönzött kifejezéssel – ún. A típusúak voltak ($P_1 < P_2 < P_3$). Ez a kis polarizálhatóság-kontrasztokkal együtt lényegesen rontja a P értékek és polarizálhatóság réteghatárok megállapítási pontosságát. Ezeknek a meglehetősen pontatlanul megkapható paramétereknek az értéke nem állt arányban a GP szondázások jóval nagyobb időszükségletével. Mindezek miatt nem terveztünk valamennyi VES ponton GP szondázásokat, viszont szükségesnek láttuk, hogy valamilyen polarizálhatósági információ az ellenállás adatokkal azonos sűrűségben álljon rendelkezésünkre.

Kiértékelés nélkül is látható volt, hogy a monoton emelkedő jelleg valamennyi GPS görbén jelentkezik, az emelkedés meredeksége viszont területenként eltérő (4. ábra). Ezért a mérési pontok túlnyomó többségén GPS helyett 3 kiválasztott AB távolságnál mértük meg a látszólagos polarizálhatóságot. Ezeket az AB távolságokat úgy választottuk meg, hogy a mérések adta információ zömmel a pleisztocén összlet felső, kisebb részben pedig annak alsó szakaszából származzék ($AB = 200\text{ m}, 320\text{ m}, 640\text{ m}$).



Geo 84/2-4

4. ábra. Jellemző GPS görbék

A – a terület középső részén, B – a terület K-i részén, 1 – a GPS görbe kiértékelése

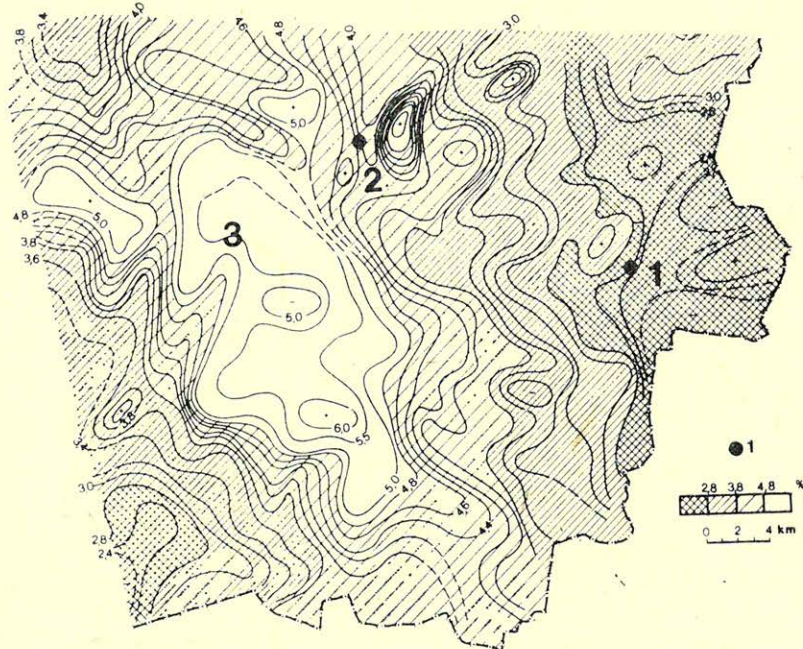
Рис. 4. Характерные кривые зондирования ВП

A – на центральной части, B – на восточной части, 1 – интерпретация кривой зондирования ВП

Fig. 4. Typical IP sounding curves

A – on the middle part, B – on the Eastern part, 1 – evaluation of the IP sounding curve

A feldolgozás során kitűnt, hogy a polarizálhatóság értékek területi eloszlásában határozott rendszeresség észlelhető. Ez a rendszeresség az egyes térképeken hasonló jellegű volt, ezért itt csak az $AB = 640 \text{ m}$ -re vonatkozó térképet mutatjuk be (5. ábra). Jól érzékelhető a terület K-i és DNY-i részén a minimum és a folyamatos növekedés a középső nagykiterjedésű maximumig. Érdekesebb azonban, ha együtt vizsgáljuk az ellenállás és polarizálhatóság térképeket. Az ellenállás térképen 1,2,3-mal jelölt anomáliák értéke hasonló, csak kiterjedésükben látható különbség. Ezek az ellenállás alapján hasonlóan ítéltető körzetek a másik paraméter – a polarizálhatóság – szerint már lényegesen különböznek. Nézzük meg újra a 2. ábrát. Látjuk, hogy egy vastag homokréteg belsejében (62–68 m) sokkal kisebb a polarizálhatóság, mint a csak kevéssel alacsonyabb ellenállással jellemezhető, gyakrabban váltakozó homok- és agyagrétegek tartományában (80–87 m). Ha elfogadjuk, hogy az ellenállás maximumokat az okozza, hogy az összetetben levő porózus képződmények összes mennyisége ezekben a körzetekben megnövekedett – márpedig ezt az egyébként is magától értetődőnek tűnő következtetést igen sok fúrás támasztja alá – akkor a fentiek értelmében az is elfogadható, hogy a felszínen észlelhető látszólagos polarizálhatóság értékét az határozza meg, hogy az összetetben az adott mennyiségű poró-



Geo 84/2-5

5. ábra. Látszólagos polarizálhatóság térkép, AB=640 m
1 – mélyfúrás

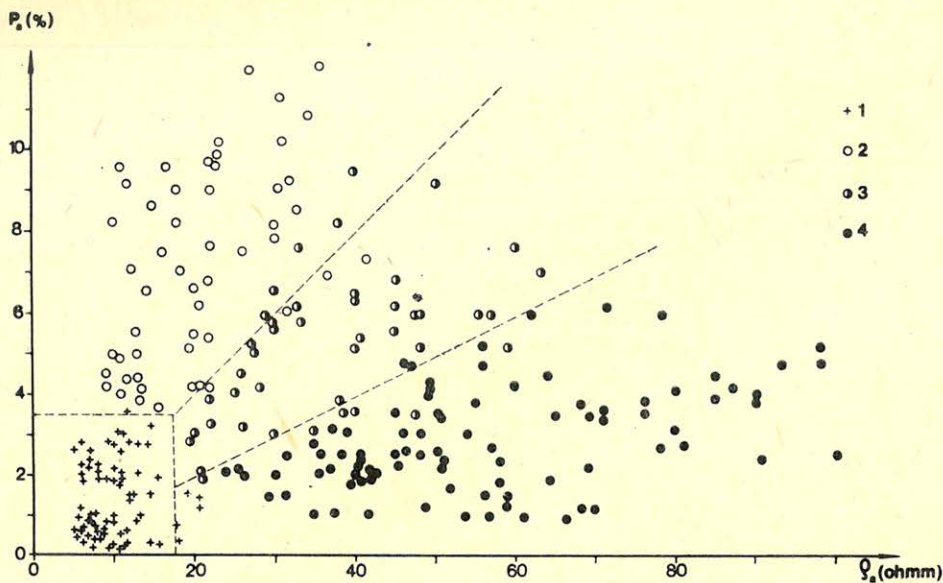
Рис. 5. Карта кажущейся поляризуемости, AB = 640 м
1 – скважина

Fig. 5. Apparent polarizability map, AB=640 m
1 – drilling

zus képződmények kevesebb, vastag rétegben (alacsony látszólagos polarizálhatóság), vagy több, de egyenként vékonyabb rétegben (magasabb látszólagos polarizálhatóság) fordulnak elő. Nyilvánvaló, hogy vízkitermelés szempontjából az előző eset a kedvezőbb.

A területen a különböző anomáliákra telepítve több fúrás is mélyült, közülük néhányban részletes földtani anyagvizsgálatot is végeztek. Egyik ilyen fúrás tanúsága szerint a felső 150 m-ben gyakran fordulnak elő 10–15 m vastag porózus rétegek. A 150–350 m mélységintervallumban az egyes rétegek vastagsága már csak néhány méter, 350 m alatt csak még vékonyabb rétegek fordulnak elő. A rétegvastagságok ilyen változása a 2. ábra figyelembe vételével jól magyarázza a monoton emelkedő GPS görbék kialakulását.

Valamennyi fúrásban végeztünk pontszerű ellenállás és polarizálhatóság méréseket, amelyeket ρ -P diagram formájában ábrázoltunk. A terület középső és K-i részén levő fúrásokban méréseink igen hasonló eredményeket adtak, ezért ezeket egy összesített diagramon mutatjuk be (6. ábra). Jól látható, hogy a legjobb vízleadó képességű durva homokok és kavicsos homokok nagy ellenállásúak és alacsony polarizálhatóságúak. Az is megfigyelhető, hogy a maximális



Geo 84/2-6

6. ábra. Fúrólukokban mért ellenállás és polarizálhatóság értékek kapcsolata a terület K-i részén
 1 – agyag, 2 – agyagos kőzetliszt, 3 – finom homok, 4 – durva homok, kavics

Рис. 6. Связь между сопротивлением и поляризуемостью, измеренными в скважинах на восточной части

1 – глина, 2 – глинистая каменная мука, 3 – мелкий песок, 4 – крупный песок, гравий

Fig. 6. Down-hole polarizability vs resistivity on the Eastern part

1 – shale, 2 – shaly rock flour, 3 – fine sand, 4 – coarse sand, gravel

7. ábra. Fúrólukokban mért ellenállás és polarizálhatóság értékek kapcsolata a terület Ny-i peremén

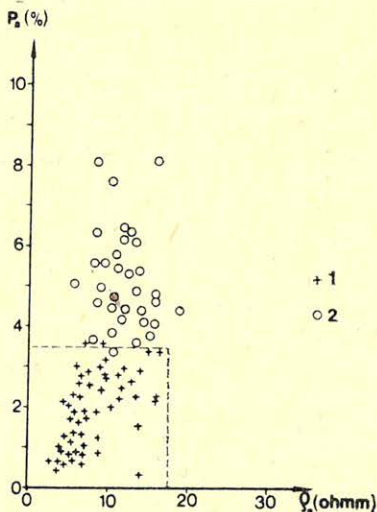
1 – agyag, 2 – kőzetliszt

Рис. 7. Связь между сопротивлением и поляризуемостью, измеренными в скважине на западном краю

1 – глина, 2 – каменная мука

Fig. 7. Down-hole polarizability vs resistivity on the Western border

1 – shale, 2 – rock flour

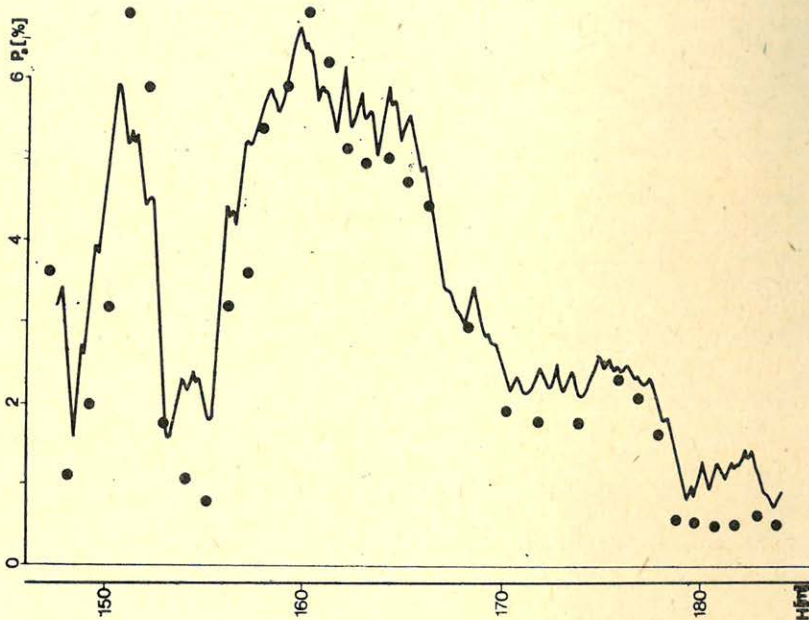


Geo 84/2-7

polarizálhatóság értékekhez minden esetben közepes ellenállás tartozik. Ezek a helyek a fúrások és a karotázs mérések szerint kevésbé jó vízadók. A terület Ny-i szegélyén, ahol a felszíni mérések szerint már sokkal kevésbé számíthatunk jó vízadó rétegekre, a lemélyített fúrásban végzett méréseink hasonló diagramja látható a 7. ábrán. Ez a grafikon kétségtelenül bizonyítja, hogy a felszíni mérések értelmezése helyes volt, a kedvező vízadó rétegek itt már kiékelődtek.

A fúrásokban végzett próbaszivattyúzások megerősítették azon következtetésünket, hogy a K-i terület rész vízperspektívája a legkedvezőbb. A 2. anomálián mélyített fúrásból maximálisan 1000 lit/perc vízmennyiséget lehetett kivenni, az I. anomálián levő fúrásnál a maximálisan kivett víz mennyisége 3000 lit/perc volt.

Miután láttuk, hogy a polarizálhatóság mérések a vízkutatásban hasznos többletinformációkat adtak, az ELGI-ben elkezdtek egy karotázs műszer kifejlesztését. A folyamatos mérésekhez természetesen egész más gerjesztési és mintavételi idők szükségesek. A karotázs műszer első megépített változatában 200 ms gerjesztési időt és az első 100 ms -ban integrális mintavételt alkalmaztak. Igen érdekes, hogy a gerjesztési és mintavételi idők jelentős eltérése ellenére a folyamatos és a pontszerű mérések nagyon jó összhangban vannak (8. ábra).



Geo 84/2-8

8. ábra. Felszíni műszerrel fúrólukban mért polarizálhatóság értékek és folyamatos GP karotázs görbe összehasonlítása

Рис. 8. Сравнение поляризуемости, измеренной в скважине поверхностным прибором, с непрерывной кривой каротажа ВП

Fig. 8. Comparison of down-hole polarizability values, measured with surface equipment, and IP log

Az elmondottakat összefoglalva úgy véljük, hogy a *GP* módszer sikerrel alkalmazható a törmelékes üledékes összletek vízföldtani célú kutatásában. Fő előnyének azt tarjuk, hogy a polarizálhatóság egyidejű mérésével a hasonló ellenállás anomáliák megkülönböztethetők, gyakran rangsorolhatók. A bemutatott példák alapján úgy ítéljük, hogy a hasonló földtani felépítésű törmelékes üledékes összletekben vízbeszerzésre legalkalmasabbak a nagy ellenállással és alacsony vagy közepes polarizálhatósággal jellemezhető körzetek.

IRODALOM

- V. *Vacquier, C. R. Holmes et al.*: Prospecting for Groundwater by Induced Electrical Polarization. *Geophysics* 22, July 1957. p. 660 – 687.
- G. V. *Keller, F. C. Frisknecht*: *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*. Pergamon Press. 1970.
- K. K. *Roy, M. M. Elliott*: Model Studies on Some Aspects of Resistivity and Membrane Polarization Behaviour over a Layered Earth. *Geophysical Prospecting*, October 1980. p. 759 – 775.
- Lipszkaja, Rjapolova*: Primenenie metoda vüzvannoj poljarizacii pri inzsenerno-geologicseszkih izüszkanijah. V szbornike: „Primenenie Geofizicseszkih metodov pri gidrogeologicseszkih i inzsenerno-geologicseszkih iszsledovaniyah”. Moszkva, 1970.
- Draskovits Pál, Hobot József*: A Maros hordalékkúp geofizikai kutatása. Budapest, 1982. ELGI adattár (kézirat).