

FIATAL ÜLEDÉKEK GEOELEKTROMOS KUTATÁSÁNAK MÓDSZERTANI TAPASZTALATAI ÉS ALKALMAZÁSUK A KISALFÖLD KUTATÁSÁBAN

DUDÁS József, DRASKOVITS Pál, HOBOT József

A Kisalföldön a víznyerésre legperspektivikusabb (100–500 m) vastag kvarter, felső-pannon korú képződmények a folyóvízi, beltavi feltöltődés miatt horizontálisan igen nagy változékonyságot mutatnak. A rétegsor felülről lefelé folyamatosan csökkenő szemcsemérettel jellemezhető. Így a hagyományos VESz-GP kiértékeléshez nem fűzhattünk sok reményt. Ezért kidolgoztuk a vastagsággal súlyozott átlag- és intervallum-ellenállás térképek, valamint a gerjeszthetőséget és a fajlagos ellenállást egyszerre értékelő litológiai térképek számításának és szerkesztésének módját.

1. Bevezetés

A kisalföldi közepes (100–500 m) mélységbeni összletek regionális vizsgálatait a vertikális elektromos szondázás és gerjesztett polarizációs (VESz-GP) módszerekre alapoztuk. Ezek a fiatal (főleg kvarter és felső pannon korú) beltavi, folyóvízi üledékek rendkívül gyors horizontális (laterális, homok-agyag-kavics) változásúak. Fentről lefelé az átlagos szemcseméret csökken, azaz a folyamatosan csökkenő fajlagos ellenállás uralkodik (ún. Q típusú modell). Nem teljesül a — VESz módszer számára lényeges — horizontálisan homogén rétegzettség és a folyamatos ellenállásátmenetek miatt nehéz önálló geoelektromos rétegeket elkülöníteni és korrelálni. Ezért a szokványostól eltérő megoldásokat kerestünk a mérések eredményeinek feldolgozására, értelmezésére, és elsősorban a vízkutatás számára hasznosítható ábrázolására. A több éves kutatás, tapasztalatok, felismerések és a hatékonyság növelésére tett kísérletek alapján néhány újonnan kifejlesztett módszer rutinszerű alkalmazását is megkezdjük.

Az új módszerek:

- A számítógépes kiértékelés és adatrögzítés bevezetése
- A vastagsággal súlyozott átlag- és intervallum-ellenállás térképek szerkesztése

- A ρ - P - d (fajlagos ellenállás, polarizálhatóság, szemcseátmérő) nomogramok felhasználása a litológiai változások területi meghatározására.

Utólag elmondhatjuk, hogy ezek alkalmazása valóban előbbre vitte a kutatásokat, elsősorban a víznyerési perspektíva megítélésében.

2. A számítógépes kiértékelés és adatrögzítés

A zsebsámológépek és asztali kalkulátorok, majd a személyi számítógépek rohamos elterjedésével megfogalmazódott az a követelmény, hogy a VESz görbék görbesereges kiértékeléséről áttérjünk a számítógépes feldolgozására, mely kevésbé szubjektív és matematikailag is pontos közelítést tesz lehetővé. A mérési pontok koordinátáinak, a pont jelének és a különböző AB távolságoknál mért ρ , P adatok beadása után kezdetben az *interaktív módszerre* készítettünk programokat. Ez azonban nagyon körülményes és továbbra is szubjektív volt, attól függően, hogy a kiértékelő mennyire volt türelmes, vagy leleményes az egyes paraméterek változtatásával számolt elméleti görbéknek a mért görbékre való illesztésénél. Gyakorlatilag 10–20 iteráció után már elegendően jó egyezést kaptunk. Az eljárás hátránya volt, hogy a kiértékelőnek végig a gép mellett kellett ülnie, egy iteráció számítása 2–3 percig tartott. További időt jelentett a paraméter változások meghatározása. Ezek gépi nyelvű programok voltak.

A személyi számítógépek megjelenése, jelentősen nagyobb kapacitása, valamilyen számítógépes nyelv használata lehetővé tette a *görbekiértékelés programozását* és ennek *automatizálását*. Ezen matematikai programok készítését a Marquardt (Bsolve) algoritmusnak elméleti görbeszámító szubrutinra való alkalmazása tette lehetővé.

2. 1. A Marquardt (Bsolve) algoritmus

Sok helyen (jelentésekben, stb.) hivatkoztunk már a Marquardt algoritmus alkalmazására, de soha nem részleteztük, hogy mi is az tulajdonképpen. Részletekbe, levezetésekbe nem bocsátkozva röviden most pótoljuk ezt a hiányosságot.

A nemlineáris paramétereknek a legkisebb négyzetek elve szerinti becslésre szolgáló algoritmusok két különböző jellegű megközelítés köré csoportosíthatók. Az egyik szerint a modellre felállított összefüggés Taylor-sorba fejthető és az egyes paraméterek javítása minden iterációban a lokális linearitás feltételezésével számítható. A másik eljárás a legnagyobb meredekség (vagy gradiens) módszerének különböző változatait használja. Nem ritkán azonban mindkét eljárás zátonyra fut, a Taylor-soros az iterációk divergenciája miatt, a

legnagyobb meredekség eljárás pedig az első néhány iteráció utáni rettenetesen lassú konvergencia miatt.

D.W. MARQUARDT [1963] egy „maximális környezet” módszert fejt ki. Ez tulajdonképpen a Taylor-soros és a gradiens eljárás közötti interpoláció, amely interpoláció azon a maximális környezeten alapul, amelyben a csonkított Taylor-sor megfelelően reprezentálja a nemlineáris modellt. Ez az eljárás a nemlineáris algebrai egyenletrendszer megoldásának problémájára is ki van terjesztve.

A számítási program egy többváltozós, nemlineáris regressziós egyenlet együtthatóit számítja: $Y_i = F(x_1, x_2, \dots, x_k; A_1, A_2, \dots, A_M)$, felhasználva N adatpontot Y_i -hez és Y_{k_i} -hez, ahol:

$$i = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

A matematikai program a Gauss-Newton módszer olyan kiterjesztése, amely az ismeretlen együtthatók viszonylag rossz kezdeti becslése esetén is lehetővé teszi a konvergenciát. Egy, a legkisebb négyzetek elvén alapuló célfüggvényt használ. Ebben a módszerben a Gauss-Newton normálegyenleteket egy tényező hozzáadásával módosítjuk:

$$\Delta X = (\underline{A}^T \underline{A} + \lambda \underline{I})^{-1} \underline{A}^T \Delta Y \quad (1)$$

ahol: \underline{I} az egységmátrix. Így \underline{I} hozzáadódik az $\underline{A}^T \underline{A}$ mátrix főátlójának minden tényezőjéhez. Kimutatható, hogy ha $\lambda = \infty$, a Marquardt-módszer eredménye azonos a legnagyobb meredekség eljárás eredményével.

Mikor azonban $\lambda = 0$, a módszer a Gauss-Newton módszerre egyszerűsödik. Általában a legnagyobb meredekség eljárás még rossz kezdeti érték esetén is konvergál, de hosszú időt igényel. A Gauss-Newton eljárás jó kezdeti becslés esetén gyorsan konvergál. Így a Marquardt módszerben λ kezdeti értéke nagy, és ahogy közeledünk az optimumhoz, egyre csökken.

A leírt algoritmus megegyezik a gradiens módszerekkel abban, hogy olyan kezdeti becslés esetén is jól konvergál, amely más módszerek konvergencia-tartományán kívül eshet. Az algoritmus megegyezik a Taylor-soros módszerrel abban, hogy gyorsan képes elérni a határértékeket, miután elérte a határértékek környezetét. Így a módszer egyesíti elődjeinek legkedvezőbb tulajdonságait, ugyanakkor elkerüli legfontosabb korlátait.

2. 2. A számítógépes kiértékelés előnyei és következményei

Mint már említettük, a számítógépes kiértékelés lehetővé tette a kiértékelés automatizálását. Mi ennek a lényege? A görbesereges vagy más gyors, közelítő kiértékelés eredményeit, mint kezdő paramétereket gépbe adva, a Marquardt-algoritmust tartalmazó program a matematikailag legjobban illeszkedő elméleti görbét számolja ki. A gépbe 20–25 görbe induló paramétereit lehet egyszerre betáplálni és a gép mindaddig nem igényel felügyeletet, míg az összeset ki nem

számolja. A kiértékelő ezen idő alatt mással foglalkozhat (1/2–1 nap, számítógép-típustól függően!) A nem megfelelő átlageltérésű görbéket újra kell futtatni. Az induló paraméterekkel egyúttal meghatároztuk a görbe típusát is. Ha a végeredmény más típusú görbét jelez, induló paramétereink, illetve a görbe típusának megadása volt a hibás, és új paraméterekkel újra kell futtatnunk a számítást. Ha két egymáshoz közelálló ellenállású réteget kapunk, akkor a rétegszám megadása volt hibás, kevesebb réteggel kell operálnunk. Ugyanez a helyzet, ha 0-hoz közeli rétegvastagságot kapunk nem felszínközeli réteg esetében, vagy ha ennek még az ellenállása is 0-hoz közeli érték.

A számítógépes kiértékelés az ekvivalencia problémákat nem szünteti meg, csupán a matematikailag legjobban illeszkedő elméleti görbét határozza meg. Az ekvivalencia-gyanús görbéket az első futtatás eredményével, mint induló paraméterrel újra futtatva, — ha ez az első eredménytől eltér, megkapjuk az ekvivalencia alsó illetve felső határát. Így mindkét végeredmény a legjobban illeszkedik, a közelítés szórása továbbra is kicsi marad, vagyis a megoldás ekvivalens.

A mágneslemezes adatrögzítés előnyeként a paraméterek (pont név, koordináták, mért görbe értékei, ellenállás és vastagság, illetve mélység) gyorsan és könnyen előhívhatók, szelvények, térképek szerkeszthetők. Ennek folytán jelentős adatbázis készíthető nagyobb területekre.

3. Vastagsággal súlyozott átlagellenállás térképek

A Kisalföld regionális komplex kutatása keretében 1982 és 1988 között mintegy 1300 ponton mérték a középmélységi behatolású VESz-GP komplexumot 4–6 km²/pont sűrűséggel. Az AB=4000 m-es VESz mérések behatolási mélysége 500–700 m körüli, az azokkal egy ütemben végzett GP méréseké ennél kisebb. A vizsgálatok célja a negyedidőszaki és részben a felső pannon korú összletek üledékföldtani-szerkezeti megismerése, vízföldtani minősítése volt.

A terület horizontális és vertikális felépítéséről a VESz görbék típusai, az összletek rétegeinek ellenállás- és vastagságviszonyai adtak felvilágosítást.

A mérések alapján a kutatás mélységéig terjedő rétegösszletet általában 4–8, eltérő vastagságú és ellenállású geoelektromos réteg alkotja. A teljes rétegsor — a feltalajokat is beleértve — valójában 8–10, vagy ennél is több, különböző időszakban keletkezett geoelektromos rétegből áll, melyek egyszerre és együtt sehol sem fordulnak elő.

A mérési pontok sűrűsége és a vele összemérhető litológiai finomszerkezet-változások miatt az egyes képződmények szinttérképes ábrázolása bonyolult és bizonytalan megoldású feladat. A 8–10 kimutatható, gyakran csak foltokban jelentkező geoelektromos réteg térképi ábrázolása sok kicsi — esetenként nem értelmezhető — térképet jelentene, ami tovább bonyolítaná a helyzetet. Mindenképpen szükséges azonban, hogy a terület geoelektromos változásait valamiképpen ábrázoljuk. A problémák miatt csak olyan térképek-

nek van reális tartalmuk és értékelhetőségük, amelyeket bizonyos mélységtartományokra meghatározott átlagértékekből állítottak össze.

Ezért a különböző földtani képződmények geoelektromos tulajdonságainak — mint anyagi jellemzőknek — a változásait az egyes kiértékelhető rétegek vastagságával súlyozott átlagellenállás-értékek térképi ábrázolásával tettük szemléletessé.

3.1. Felszíntől számított átlagellenállás térképek

A vastagsággal súlyozott átlagellenállás térképeket a felszíntől 25, 50, 100, 200, 500, 1000 m mélységig (h_j) az elsődleges adatokból, vagyis a kiértékelt VESz görbék paraméter értékeiből (ρ_i, m_i) állítottuk elő, ahol ρ_i az i -edik összetett ellenállása és m_i az i -edik összetett vastagsága, h_j a számított mélység 1-től 6-ig, azaz $h_1=25$ m, $h_2=50$ m, ... $h_6=1000$ m.

Az átlagellenállás térképek szerkesztéséhez az értékeket (ρ_o-h_j) a következő összefüggések alapján számoltuk: a felszíntől (0) számított $\rho_{o_{h_j}}$ érték a h_j mélységig

$$\rho_{o_{h_j}} = \frac{\sum_{i=1}^k \rho_i m_i + \rho_{k+1} (h_j - \sum_{i=1}^k m_i)}{h_j} ; \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

azzal a feltétellel, hogy

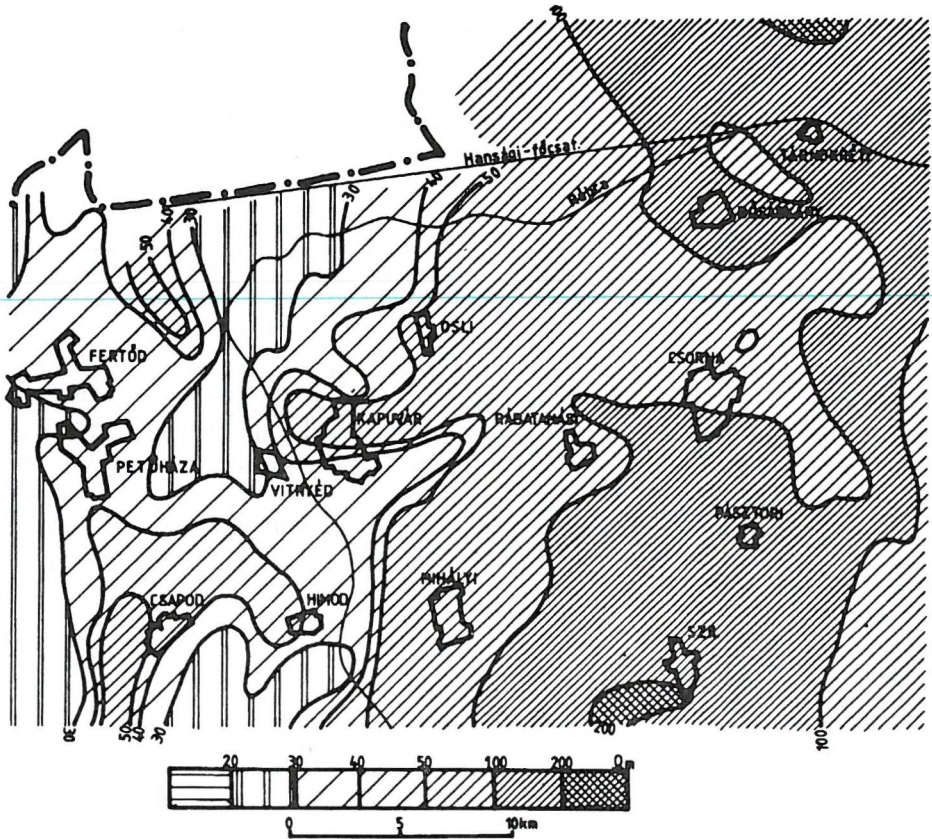
$$\sum_{i=1}^k m_i < h_j < \sum_{i=1}^{k+1} m_i$$

Ezek a térképek (1. ábra) láthatóvá teszik a finomabb és durvább szemcseösszetételű összetettek horizontális elterjedését, s jó közelítéssel mélységi lehatárolásra is alkalmasak.

Hibájuk, hogy a kutatási mélységen belül a vastagabb, de nagyobb vagy kisebb ellenállású képződmények jelentősen hatnak a szomszédos mélységintervallum átlagellenállására is.

3. 2. Intervallumokra számított átlagellenállás térképek

A szomszédos mélységintervallumokra való hatás kiküszöbölésére, az egyes ellenállás anomáliáknak, illetve azok hatóinak jobb mélységi lehatárolására néhány mélységközre, így 25-50, 50-100, 100-200, 200-500, 500-



1. ábra. Vastagsággal súlyozott átlagellenállás térkép a felszíntől 100 m mélységig
 Fig. 1. Map of average resistivity weighted with thickness (from the surface down to a depth of 100 m)

1000 méterre is szerkesztettünk vastagsággal súlyozott átlagellenállás ($\rho_{h_{j-1}-h_j}$) térképeket.

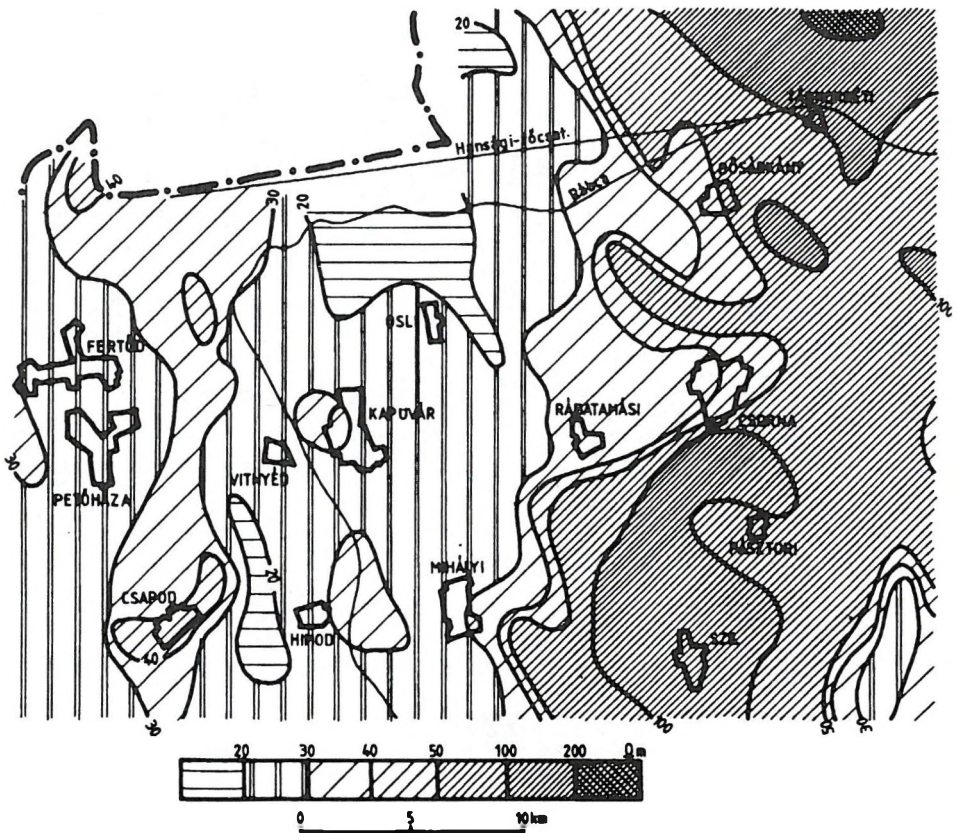
A különböző mélységintervallumokra ($h_{j-1} - h_j$) programmal számítható átlagellenállás

$$\rho_{h_{j-1}-h_j} = \frac{\left[\sum_{i=1}^k \rho_i m_i + \rho_{k+1} \left(h_j - \sum_{i=1}^k m_i \right) \right] - \left[\sum_{i=1}^l \rho_i m_i + \rho_{l+1} \left(h_{j-1} - \sum_{i=1}^l m_i \right) \right]}{h_j - h_{j-1}} \quad (3)$$

ahol: ρ_i — az i -edik réteg ellenállása,
 m_i — az i -edik réteg vastagsága,
 h_j — a mélységintervallum alja, ($j = 1, 2, \dots, 6$)
 h_{j-1} — a mélységintervallum teteje,
 $\rho h_{j-1} - h_j$ — a mélységintervallum vastagsággal súlyozott átlagellenállása.
 Feltételek:

$$\sum_{i=1}^k m_i < h_j < \sum_{i=1}^{k+1} m_i \quad \text{és} \quad \sum_{i=1}^l m_i < h_{j-1} < \sum_{i=1}^{l+1} m_i$$

Ezek a térképek (2. ábra) az adott mélységközben pontosítják a hatókat, s jobban közelíthető a rétegtani felépítés jellege. Különösen előnyösek a vízföldtani értelmezésben, ugyanis a kedvezőbb paraméterekkel rendelkező



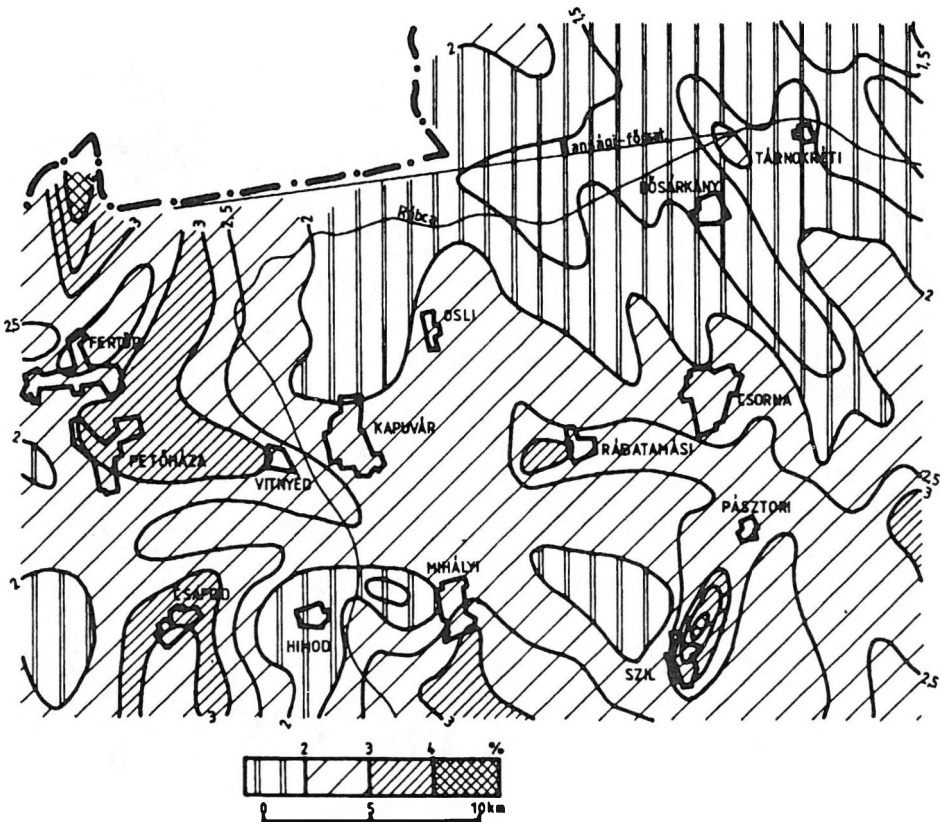
2. ábra. Az 50 és 100 m közötti összlet átlagellenállása

Fig. 2. Map of interval resistivity (for a sequence lying in the depth interval between 50 and 100 m)

rétegsorok pontosabb mélységi lehatárolását biztosítják. Így alkalmasak részletes kutatások tervezésére, vízkutató fúrások kitzésére.

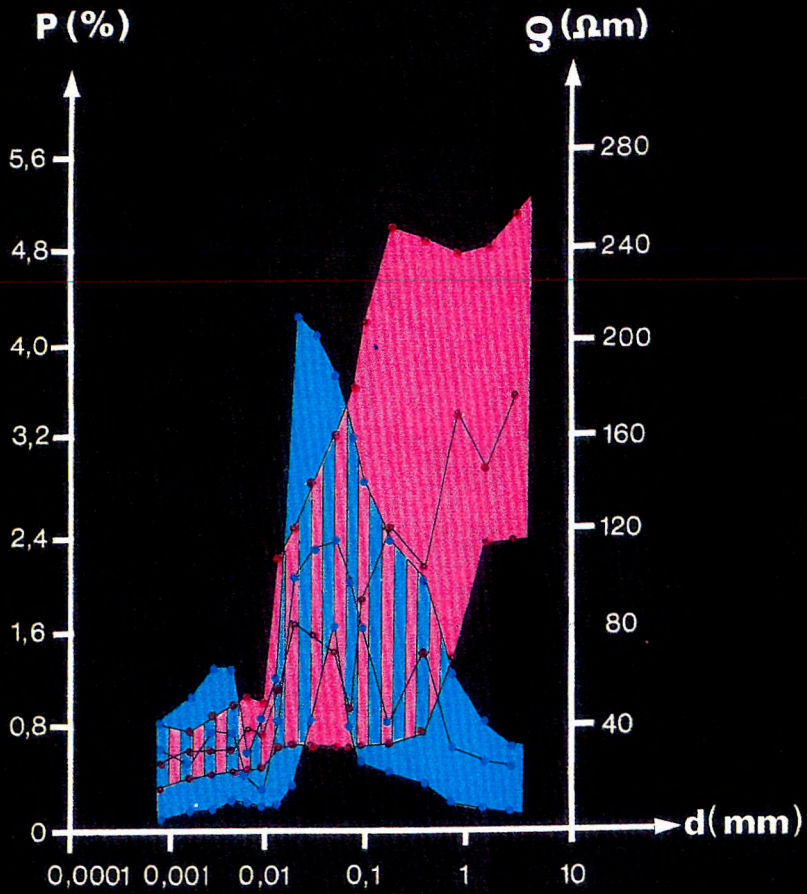
4. A ρ_a - P_a - d_a nomogramok alkalmazása a litológiai változások meghatározására

A vízföldtani kutatásokban, de általában a laza üledékek kutatásában régóta alkalmazzuk az ellenállás (ρ_a) mérések mellett a polarizálhatóság (P_a) méréseket is. A két érték (ρ_a , P_a) kapcsolata az ércutatásban régen ismert volt. A laza üledékek kutatásánál a P_a térkép (3. ábra) önmagában keveset árul el a ρ_a térképekkel (2. ábra) szemben. Az utóbbi önmagában is ad becslési lehető-



3. ábra. Látszólagos polarizálhatóság térkép
Fig. 3. Map of apparent polarizability (AB = 400 m)

4. ábra. Az ellenállás (ρ), a polarizálhatóság (P) és a szemcseméret (d) összefüggése
Fig. 4. Connection between resistivity (ρ), polarizability (P), and grain size (d)



CLAY	SILT	FINE	MEDIUM	COARSE	GRAVEL
		S	A	N	D
IMPERMEABLE		PERMEABLE			→

séget az agyagosság, homokosság, kavicsosság megítélésére. A probléma főleg a kisebb ellenállású (20–40 Ωm) összletek megítélésénél jelentkezik, ahol ugyan feltételezhetőek homok kivastagodások, de ennek a bizonytalansága elég nagy. Ekkor segíthet a polarizálhatóság mérésével szerzett tapasztalat, a két paraméter térkép együttes értelmezése. Régóta szükség volt olyan paraméterre, amely a litológiai értelmezést elősegíti és érthetővé teszi a hidrogeológus számára is. Üledékes összletben ez a paraméter lehet a szemcseméret. Ugyanis az ellenállás (ρ_a) és a polarizálhatóság (P_a) laza üledékek esetén szoros kapcsolatban áll a szemcsemérettel (d). Laza üledékek esetén akkor célszerű polarizálhatóságot mérni, ha azok együttes vastagsága legalább 50–100 m a fekvőzet vagy az aljzat fölött, és az összlet nem sós vízzel telített. Ellenkező esetben a fekvő vagy az aljzat polarizálhatóságának a hatása meghamisíthatja az értékeket, a sós vízzel telített üledékek pedig nem is polarizálódnak.

4. 1. Fúrólukban végzett ellenállás és GP mérések eredményei

Ismeretes, hogy a tiszta homokok, tiszta agyagok és különböző homok-agyag keverékek eltérően polarizálhatók és az ellenállásuk is eltérő. A polarizálhatóság értéke többek között jelentősen függ a szemcsemérettől, a rétegvíz mennyiségétől és só-ionkoncentrációjától (3 gr/l esetén kissé polarizálódik), több komponens esetén a komponensek (pl. homok, agyag) arányától, stb. Ezt a kapcsolatot szemlélteti szovjet kutatók [LIPSKAJA, RJAPOLOVA 1970, SZTEPANOV 1972] nagyszámú terepi és laboratóriumi mérés alapján összeállított és általunk a hazai nevezéktanuk megfelelően átszerkesztett diagramja (4. ábra). A diagram az ellenállás (ρ_a) és a polarizálhatóság (P_a) szélső (max., min.) és közepes (köz) értékeit ábrázolja a litológiai összetétel, vagyis a szemcseméret (d) függvényében.

Látható, hogy a szemcseméret növekedésével az ellenállás folyamatosan növekszik, a polarizálhatóságnak viszont egy meghatározott szemcseméret intervallumban (kőzetliszt) maximuma van. Az is látható, hogy az egy képződményre (pl. homok) jellemző szemcseméret intervallumhoz tartozó ellenállás vagy polarizálhatóság értékek igen széles határok között változhatnak. Csak az ellenállás vagy csak a polarizálhatóság alapján a képződmények minősítésére csupán durva becslés adható. A két paraméter együtt már jobban meghatároz egy szemcseméret intervallumot, ami bár szintén csak közelítés (a szemcseméret mellett, főleg a kisebb szemcséknél meghatározó az ún. alaki tényező is!) — de sokkal jobb —, mivel az egyes képződmények között jelentős átfedés található. Ennek oka az, hogy a természetben az üledékképződés folyamán nem alakul ki egységes — pl. 0,04 mm szemcseátmérőjű — több méter vastag finomhomok. Az viszont valószínű, hogy egy több méter vastag finomhomoknak minősíthető rétegben az uralkodó szemcseméret 0,02 mm és 0,08 mm közé esik.

A litológiai összetételre jellemző ρ_a - P_a értékpárok területenként kissé eltérhetnek egymástól. Az 5 %-nál nagyobb P_a -értékek az érckutatásnál fémes,

elektronos vezetést jeleznek, ami esetünkben esetleg finom rétegzettség vagy gyakrabban csővezeték okozta tértorzulás következménye.

Egy évtizede vizsgáljuk az ellenállás és polarizálhatóság kapcsolatát hagyományos, felszíni mérésekkel és fúrásokban végzett lyukbeli vizsgálatokkal. Mindkét mérésnél azonos, szimmetrikus szondát alkalmazva, a hagyományos karotázs ρ_a - P_a értékei természetesen jól egyeznek a pontszerű, felszíni műszerekkel végzett mérés értékeivel, azzal a különbséggel, hogy a folyamatos karotázs nagyobb felbontásra képes.

Számos marosi és kislalföldi fúrásban tapasztaltuk, hogy az azonos anyagi rétegekben mért ρ_a - P_a értékpárokat ρ - P koordináta-rendszerben ábrázolva, azok a koordináta-rendszer meghatározott területén csoportosulnak (5. ábra).

Mivel a 4. ábrán mind az ellenállás, mind a polarizálhatóság a szemcseméret függvényében van ábrázolva, kézenfekvő, hogy a három paraméter együtt is ábrázolható úgy, hogy a koordináta tengelyek a polarizálhatóság (P) és az ellenállás (ρ) legyenek. Ebből a szemcseméret, vagyis a litológiai minősítés — az alaki tényező meghatározhatatlanságát, valamint a keverékek arányának ismeretlenségét figyelembevéve — közelítőleg megállapítható. A lehetőségek vizsgálatánál abból a megfontolásból indulunk ki, hogy a Kislalföldön sem szárazak a laza üledékek. Több-kevesebb vizet még az agyagok is tartalmaznak, valamint e vizek sótartalma lényegesen kisebb az említett határértéknél (3 gr/l). Ha a laza üledékek víztartalma nő, növekszik a polarizálhatósága és csökken az ellenállása. Ez fordítva is igaz, vagyis csökkenő víztartalomnál csökken a polarizálhatóság és növekszik az ellenállás, tehát antikorrrelációval állunk szemben.

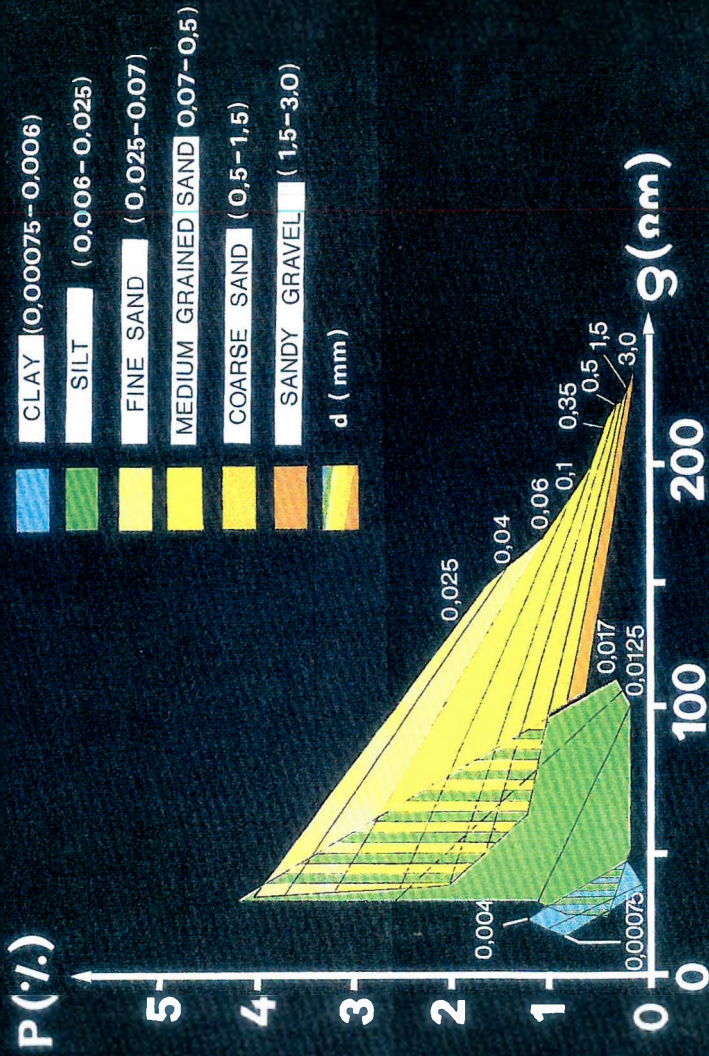
A 4. ábra ρ_a - d és P_a - d kapcsolatából ezért egy olyan háromparaméteres nomogramot szerkesztettünk, ahol a koordináta tengelyeken a polarizálhatóságot és az ellenállást ábrázoltuk, a szerkesztett görbék pedig — a feltételezett nedvességtartalom és keverékarány függvényében — az azonos szemcseméretrehoz tartozó ρ - P értékeket kötik össze (ρ_{\min} - P_{\max} ; $\rho_{\text{köz}}$ - $P_{\text{köz}}$; ρ_{\max} - P_{\min}). Ez látható a 6. ábrán.

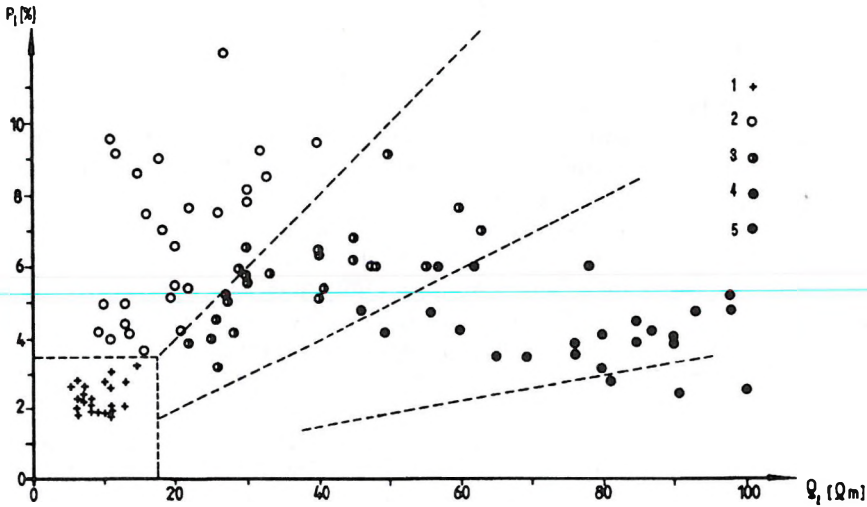
E nomogram alapján megszerkesztettük a lyukban mért ρ_a - P_a értékekből több fúrás rétegsorát és összehasonlítottuk a fúrási, illetve karotázs rétegsorral. Az eredmény a meglepően jó egyezés volt. Néhány ponton ugyan mértünk olyan értékeket is, melyek kívül estek a nomogram tartományán: magasabb polarizálhatóságuk ($P=4-5\%$) alapján kőzetliszt, a fúrás szerint pedig homokok voltak. A fúrómaggal összehasonlítva kiderült, hogy igen sűrűn rétegzett agyag-homok, kőzetliszt-homok képződményekről van szó, melynek nagy a csillámtartalma (alaki tényező!).

A magasabb polarizálhatóságú ($P=4-5\%$) és kis ellenállású (agyag és kőzetliszt tartományba eső) képződményeket agyagos, illetve iszapos (szerves elszíneződésű, szenes, lignites szennyeződésű) kőzetlisztnek, vagy iszapos agyagnak minősítettük. A kiugróan magas polarizálhatósággal ($P \geq 5-6\%$) jelentkező kis ellenállású pontokon szerves szénülést (lignit csíkokat) kísérő piritesedést jeleztek a fúrásokban. Ezen magok laborvizsgálatánál bebizonyosodott, hogy a hasonló ellenállású és anyagi minőségű, de nem magas polarizálhatóságú mintákhoz viszonyítva nagyságrenddel több piritet tartalmaztak.

6. ábra. ρ_a - P_a - d_a nomogram
Fig. 6. Nomogram of ρ_a - P_a - d_a

g-P-d NOMOGRAM





5. ábra. A Kevermes-Π/P fúrás ρ_a - P_a diagramja. A harántolt képződmények minősítése a karotázs görbék alapján történt
 1—agyag; 2—agyagos kőzetliszt; 3—homokliszt; 4—homok; 5—durva homok, kavics

Fig. 5. ρ_a - P_a diagram of the Kevermes-Π/P well. Penetrated material has been classified on the basis of geophysical logs
 1—clay; 2—argillaceous silt; 3—fine sand, silt; 4—sand; 5—coarse sand, gravel

Ezen lignitcsíkoknak több méter vastagságot is elérő szerves szennyeződésű (pirites) udvara van.

Az összehasonlítás után célszerűnek látszott a nevezéktani egyszerűsítés, nevezetesen, hogy — mivel nem osztályozott képződményekről, hanem keverékekről van szó, ami a nomogramok átfedéséből is jól látható — nem teszünk különbséget homokos agyag és agyagos homok között, hanem az elsőt a kőzetliszthez, a másodikat pedig a finom homokhoz vesszük. Az általunk használt szemcseméret tartományok az I. táblázatban találhatók.

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1. agyag, iszapos agyag | ($d \leq 0,006$ mm) |
| 2. kőzetliszt | ($d = 0,006 - 0,025$ mm) |
| 3. finom homok | ($d = 0,025 - 0,07$ mm) |
| 4. közepes homok | ($d = 0,07 - 0,5$ mm) |
| 5. durva homok | ($d = 0,5 - 1,5$ mm) |
| 6. kavicsos homok | ($d > 1,5$ mm) |

Jellemző példaként bemutatjuk az Arak-1 (Halászi A-1) fúrás geológiai rétegsorát, és a pontszerű lyukbeli ρ_a - P_a értékek alapján a nomogram felhasználásával szerkesztett rétegsort (7. ábra). Ez a fúrás jó példa arra, hogy a rossz megtartású folyós kavics-homok magminta kihozatala mellett megfelelő mére ssűrűség esetén még a pontszerű mérések is jobb rétegfelbontást eredményeznek (1 m), mint a bizonytalan magminták vizsgálata. Itt három lényeges dologra szeretnénk felhívni a figyelmet:

- a/ A ρ_a - P_a - d_a nomogram alapján szerkesztett rétegsor egy szemcseméret intervalluma egy kisebb vagy nagyobb intervallumban a látszólagos szemcseméretet adja meg, ami a fúrás rétegsorából is jól látszik. Tehát közepes és durva homok helyett a valóságban durva homok, finom kavics található. Porózus összlet esetén kisebb szemcseméret adódik.
- b/ A rossz magkihozatal miatt esetenként a több méter vastag agyagos rétegek is kimaradnak a geológiai rétegsorból (pl. 256–266 m-ig, 280–307 m-ig, 304–309 m-ig), vagy csak vékonyabb rétegeként jelennek meg, holott ezek valójában agyagos, kőzetlisztes képződmények. Paramétereik: $\rho \sim 20 \Omega\text{m}$, $P \sim < 1,0\text{--}2,0 \%$, ami egyértelműen ezekre a képződményekre jellemző. A kevésbé porózus összleteknél nagyobb polarizálhatóság és szemcseméret adódhat.
- c/ A kavicsos képződmények polarizálhatósága a magas csillámtartalom miatt magasabb ($P = 1,5\text{--}2,0 \%$) a vártnál és a szokásosnál.

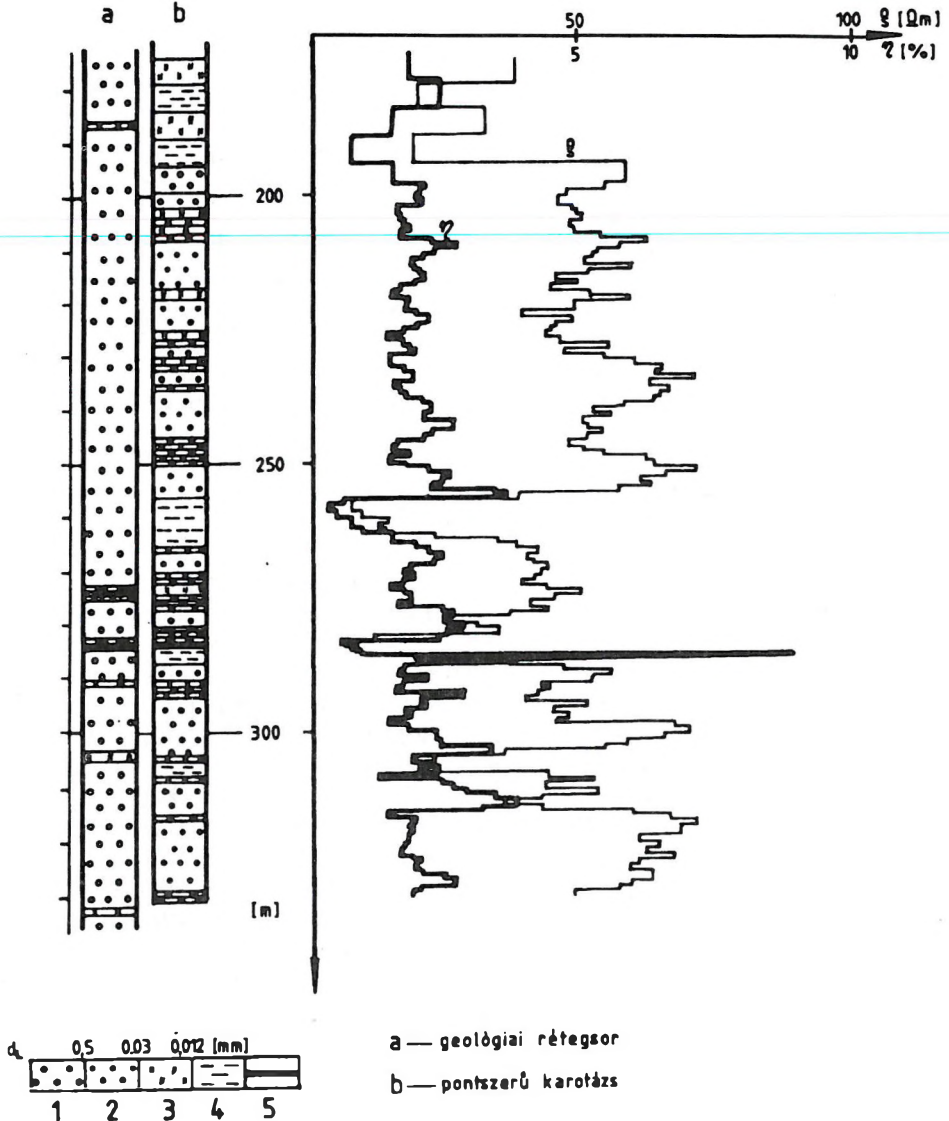
A VESz mérések alapján a fúrás karotált szakasza végig 256 Ωm -rel volt kiértékelhető. A fúrás felsőbb szakaszát az omlékonyság miatt lecsövezték, így abban elektromos karotázs nem volt végezhető.

Az a., b., c. pontban leírtak, valamint a VESz mérésekből kiértékelhető ellenállás értékek látszólag ellentmondanak (karotázs ellenállás 50–60 Ωm , a VESz 256 Ωm -es ellenállásával szemben) egymásnak. Ezt az ellentmondást az oldja fel, hogy a rövid karotázs szonda behatolási mélysége ilyen porózus képződményeknél kicsi és a fúróiszapot, az elárasztott zónát is érzékeli. Ezért kisebb a karotázs által mért ellenállás. A fúrásnál használt bentonit viszont emelheti a polarizálhatóságot. Ez a fúrás jó példa volt értelmezésünk korrigálására.

4.2. Litológiai vázlatok előállítás a ρ_a - P_a - d_a nomogram alapján

Az előző pontban leírtakat felhasználva a kisalföldi kutatásban széleskörűen alkalmaztuk a ρ_a - P_a - d_a nomogramokat. A felszínen mért ρ_a - P_a értékpárokból négy mélységintervallumra szerkesztettük meg a látszólagos szemcseméret (d_a) térképeket. A mélységintervallumok a következők voltak:

Halászi A-1 fúrás



7. ábra. A Halászi A-1 jelű fúrás földtani rétegsora és a nomogram használatával számított rétegsor

1—kavicsos durva homok; 2—homok; 3—agyagos homok; 4—kőzetlisztes agyag; 5—agyagos közbetelepülés; a—földtani rétegsor; b—a ρ és P értékekből a 6. ábra nomogramjának felhasználásával meghatározott geofizikai rétegsor

Fig. 7. Geological log and calculated log (using the nomogram) of well A-1 (Halászi)

1—coarse-grained sand with gravel; 2—sand; 3—argillaceous sand; 4—silty clay; 5—clay interbedding; a—geological log; b—geophysical log stratigraphic column obtained from ρ - P data using the nomogram of Fig. 6

0 - 25 m	(AB = 100 m),
25 - 50 m	(AB = 200 m)
50 - 100 m	(AB = 400 m)
100 - 150 m	(AB = 640 m)

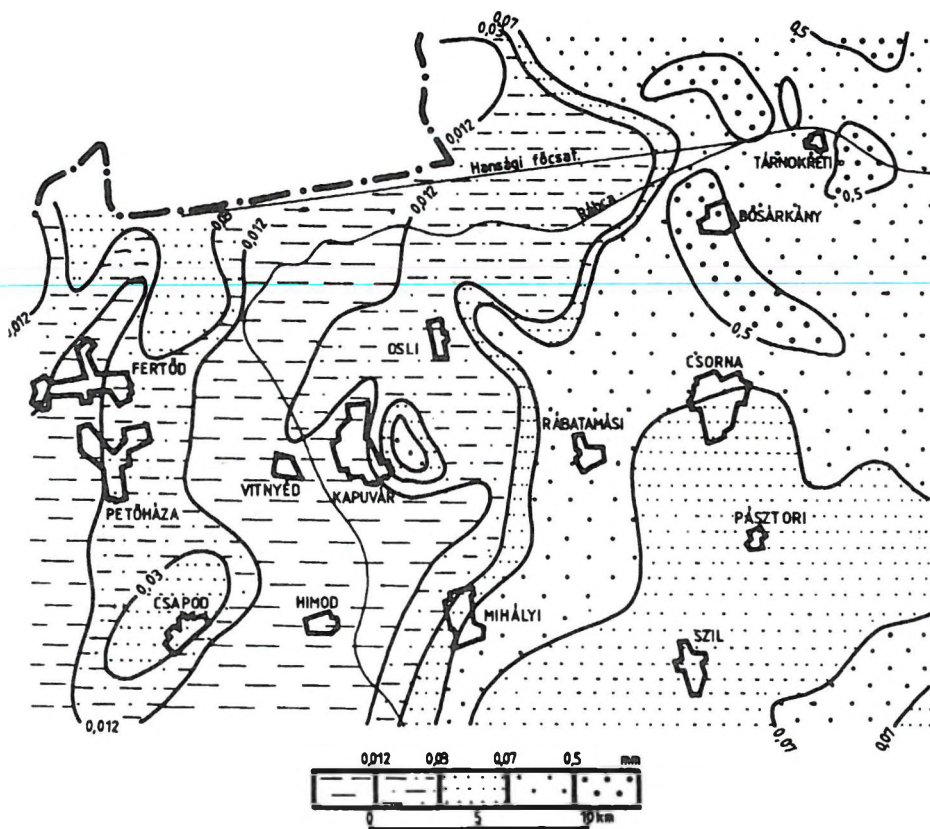
A kutatás során ezeket a térképeket litológiai vázlatoknak neveztük el, mivel a látszólagos ellenállás (ρ_a) és a látszólagos polarizálhatóság (P_a) adatokból készültek.

A szerkesztésnél minden méréspont alá rövidítve fölírtuk a szemcseméretet és a minősítést (pl. közepes homok: kh). Amennyiben a minősítés a nomogram bal oldalán más is lehetett, zárójelben azt is feltüntettük. A képződmény határoknak megfelelő d_a izovonal szerkesztésénél a környezetbe leginkább beleillő minősítést vettük figyelembe.

Voltak olyan pontok, melyek nem estek a nomogram területére. Ezeknek három változata volt:

1. A $\rho_a < 30 \Omega\text{m}$ és $P_a < 5 \%$ értékek szerves szennyeződésre és/vagy főleg sűrű rétegzettségre és magas csillámtartalomra utaltak. Ez esetben a szemcseméret tartományának (agyagos kőzetliszt: ak) megfelelően minősítettünk.
2. $\rho_a > 30 \Omega\text{m}$ és $P_a = 4,2-5 \%$ esetén a környezet ellenállásának alapján minősítettünk. Ez szintén igen sűrű rétegzettségre (keresztrétegzettség) és magas csillámtartalomra utalt.
3. $P > 5 \%$ esetén ellenállástól függetlenül általában tértorzulás az ok. Ez lehet jelentősebb vastagságú lignitesedés, esetleg szerves szennyeződés, amelyet piritesedés kísér, de ez már nem ionos, hanem elektronos vezetésre utal. Itt a 2. ponthoz hasonlóan jártunk el.

Az ellenállás (2. ábra) és a polarizálhatóság (3. ábra) térképek alapján szerkesztett litológiai térkép (8. ábra) így a különböző szemcseméret intervallummal jellemezhető képződmények „regionális” elterjedését határolja le az adott mélységtartományban. Az izovonalak a látszólagos szemcseméretet, illetve a korábban megadott szemcseméret intervallum (képződmény elterjedés) határait jelzik. A képződmény megnevezése hidrológiai paraméterekre (porozitás, hézagterefogat, vízvezető képesség) ad jó becslési lehetőséget. Az adatokból eredő átfedések és ekvivalenciák bizonytalanságokat takarnak, de a mélység függvényében még így is jól lehatárolhatóak a részletes vízkutatásra alkalmas, illetve víznyerésre legkedvezőbb homokos, kavicsos rétegvastagodásokat tartalmazó összletek és a kedvezőtlenebb agyagos, kőzetlisztes rétegsorok térségei.



8. ábra. Litológiai vázlat az 50 és 100 m közötti mélységtartományra
 Fig. 8. Lithological sketch (for the depth interval between 50 and 100 m)

4.3. Az összesítő litológiai vázlat

A különböző mélységintervallumok képződményeire jellemző ρ_a - P_a - d_a adatok átlagolásával összesítő litológiai vázlat szerkeszthető. Ez, mivel már vastagsággal súlyozott értékekből készült, a számított átlagos és látszólagos szemcseméretet (d_a) adja meg a GP mérések maximális behatolási mélységéig (200 m), s mint ilyen, vízföldtani információkat tartalmaz. Azt nem olvashatjuk ki pontosan, hogy pl. a kedvező vízadó réteg milyen mélységben található, de annak egyetlen belüli létezését, elterjedését jól körvonalazza. Erre a korábbi fúrások rétegsoraival összehasonlításban legtöbbször egyezést vagy jó közelítést kaptunk.

Az összesítő vázlat értékeinek meghatározása a következő képlettel történik:

$$d_a = (1/150) [d_{(AB=100)}*25 + d_{(AB=200)}*25 + d_{(AB=400)}*50 + d_{(AB=640)}*50] \quad (4)$$

A valóságban mindig felfelé kerekítünk, mivel csak a szemcseméret intervallumra van szükségünk.

Érzékletes példaként a Kisalföld összesítő litológiai vázlatát mutatjuk be a következő cikk [HOBOT, DUDÁS 1995] 12. ábráján, feltüntetve rajta a regionális üledékföldtani felépítés jellegét. Az összesítő vázlat területi értelmezéseként az I. táblázatban szereplő geológiai formációk különböztethetők meg, azok hidrogeológiai tulajdonságaival együtt. Ez a vázlat mutatja be legkifejezőbbben a VESz-GP mérési komplexum eredményeit. Mivel a különböző litológiai vázlatok felhasználásával készül, minden mérésponton jelzi az adott mélységtartomány uralkodó szemcseméretét. Így mintegy 150 m-es mélységig áttekintő képet ad a terület litológiai változásairól. E vázlaton még differenciáltabban láthatók a hordalékokat szállító vízfolyások, vagy ösfolyók mederváltozásai, a jelentősebb durvaszemcsés üledékfelhalmozódások, valamint a hordalékkúpok területei. Víznyerésre ugyanis elsősorban ezek a legkedvezőbbek.

IRODALOMJEGYZÉK

- DON Gy., DUDÁS J., HOBOT J., SÍKHEGYI F. 1987: Negyedidőszaki képződmények földtani-geofizikai vizsgálata és értelmezése a Kisalföld É-i részén. Előadás, Geofizikai Vándorgyűlés, Balatonszemes
- DRASKOVITS P., HOBOT J. 1984: A gerjesztett polarizációs módszer alkalmazása negyedkori homokos-agyagos víztároló összletek kutatásában. Magyar Geofizika XXV (2-3), pp. 81-90
- DRASKOVITS P., HOBOT J., VERÓ L., SMITH B. D. 1990: Induced polarization surveys applied to evaluation of groundwater resources. Pannonian Basin, Hungary, *In*: Induced Polarization, Application and Case Histories; Investigations in Geophysics, No. 4. pp. 379-396. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa
- DUDÁS J., JÓSA E. 1974: Szakvélemény Bükkfürdő Térségében végzett vízkutatásról. ELGI Adattár
- DUDÁS J., DRASKOVITS P. 1986: Gerjesztett potenciál módszer alkalmazhatóságának kiterjesztése, értelmezési kérdésének elméleti és gyakorlati vizsgálata, különös tekintettel a vízkutatásokra. Tanulmány, ELGI Adattár
- DUDÁS J., E. NIESNER, VERÓ L. 1987: The use of ρ_a - P_a parameters measured over sedimentary sequences and nonmetallic minerals for hydrogeologic interpretation and differentiation between minerals. Előadás, EAEG Szimpózium, Belgrád
- DUDÁS J. 1990: A ρ - P - d nomogramok alkalmazása a litológiai változások meghatározására. Tanulmány, ELGI Adattár
- DUDÁS J., HOBOT J. 1990: Összefoglaló jelentés a Zala medence közepes mélységű szakaszának geofizikai vizsgálatáról ELGI Adattár
- HOBOT J., DRASKOVITS P., DUDÁS J., NEMESI L., PÁPA A., VARGA G.: Jelentés a Kisalföldön végzett geofizikai mérésekről a. 1982-83. (ELGI Adattár, 1983)

- b. 1983–84. (ELGI Adattár, 1984)
 - c. 1984–85. (ELGI Adattár, 1985)
 - d. 1985–86. (ELGI Adattár, 1986)
 - e. 1986–87. (ELGI Adattár, 1987)
 - f. 1987–88. (ELGI Adattár, 1988)
- HOBOT J., DUDÁS J., VARGA J.-né 1983: Rába terasz és hordalékkúp geofizikai kutatása a folyó Sárvár–Répcelak közötti szakaszán 1982–83. években. ELGI Adattár
- HOBOT J., DUDÁS J., FEJES I., NEMESI L., PÁPA A. 1991: Összefoglaló a Kisalföldön 1982–90 között végzett regionális komplex geofizikai kutatásról. ELGI Adattár
- HOBOT J., DUDÁS J. 1995: A kisalföldi medence fiatal üledékeinek szerkezete regionális geoelektromos mérések alapján. *Geophysical Transactions present issue* pp. 115–137
- LIPSZKAJA A. E., RIAPOLVA V. A. 1970: A gerjesztett potencial módszer alkalmazása mérmökgeofizikai kutatásokban. Moszkva
- MARQUARDT D.W. 1963: An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Indust. Appl. Math.* 11 (2) pp. 431–441

METHODOLOGICAL EXPERIENCE OF GEOELECTRIC STUDIES OF YOUNG SEDIMENTS OF THE LITTLE PLAIN

József DUDÁS, Pál DRASKOVITS, József HOBOT

1. Introduction

Quaternary and Upper Pliocene sediments — clay, sand and gravel beds — are laterally very inhomogeneous. Vertically a gradual decrease in dominant grain size is characteristic, from coarse gravel through sand to clay, i.e. a continuous decrease in resistivity can be observed because all these formations are water saturated (*Q* type geoelectric section). Both phenomena make the traditional application of the VES method questionable.

To overcome the difficulties:

- Data of VES and IP measurements were entered into a computer and the sounding curves were inverted using the Marquardt algorithm.
- Maps of average and interval resistivity weighted with thickness were constructed.
- Using the $\rho - P - d$ (resistivity, polarizability, grain size) nomograms, lithological maps were also constructed.

The results are useful first of all in assessing water production potential.

2. Data processing and data storage by computer

At first co-ordinates and identifiers of sounding sites, ρ and P values measured at different AB separations were entered, then the curves were interactively interpreted; later the Marquardt algorithm was used for that.

2. 1. *The Marquardt algorithm*

The algorithms applied for estimating the non-linear parameters using the principle of least squares can be divided into two groups based on the type of approach. The essence of the first group is the expansion into Taylor series where the parameters can be calculated assuming local linearity. The other group uses the so called gradient method where the linear parameters of the tangents are determined. The Marquardt algorithm combines the advantages of these two methods and provides a quickly converging solution even in the case of poor initial parameters. Marquardt describes it in detail, we do not intend to repeat it [MARQUARDT 1963].

2. 2. *Advantages and consequences of interpretation using a computer*

The first and obvious advantage is that a large number of curves can quickly be interpreted and at the same time the calculated curves very closely approximate the measured ones. The results can relatively easily be modified if certain parameters such as the type of curve or number of layers are fixed (possibility for correlation).

Problems of equivalence cannot, however, be solved automatically.

Maps or sections of arbitrary parameters (thickness, resistivity) can be constructed using the co-ordinates of measurement sites and processing results stored on disk.

3. Maps of average resistivity weighted with thickness

3. 1. *Maps of average resistivity starting from the surface*

Using the resistivity and layer thickness parameters obtained from interpretation by the Marquardt algorithm and formula (2) the average resistivity data were calculated from the surface down to depths of 25, 50, 100, 200, 500 and 1000 m and then maps were constructed from them. *Figure 1* shows such an average resistivity map on which the higher average resistivity represents the areas of dominantly coarser grain size, the low resistivity that of finer grain size.

3. 2. Maps of average resistivities calculated for depth intervals

Our aim was to classify resistivity anomalies according to their depth. Using formula (3), maps were constructed for the sequences lying between 25 and 50, 50 and 100, 100 and 200, 200 and 500, and finally between 500 and 1000 m. *Figure 2* shows the map of such an interval resistivity.

4. Application of $\rho_a - P_a - d_a$ nomograms to determine lithological changes

In addition to resistivity measurements we have been applying measurement of polarizability in groundwater prospecting for decades. As an example *Fig. 3* is presented. The benefits of this parameter could be utilized as additional information for sequences of 20-40 Ωm resistivity.

4. 1. Results of in-hole resistivity and IP measurements

The basis for integrated interpretation of resistivity and IP measurements is the nomogram constructed by Russian scientists. This nomogram shows the relationship between the grain size and the two previously mentioned parameters (*Fig. 4*). It shows that resistivity increases with increasing grain size, polarizability has a maximum at the grain size range of silt.

Interpretation of ground measurements is based on the determination of $\rho-P$ values in petrologically known layers of wells. We have experienced that layers of the same material (grain size) provided the same ρ_a-P_a parameter pairs independently of their vertical or lateral position (*Fig. 5*). Finally, we constructed a nomogram from the diagrams of resistivity versus grain size and polarizability versus grain size (*Fig. 6*); this nomogram exhibits the relation between the three parameters. Using this nomogram and knowing the $\rho-P$ data in the wells we obtained calculated grain sizes very close to the real ones in wells drilled later in the survey area. (The sporadic extremely high polarizability values which cannot be interpreted by grain size can be explained by organic matter or the pyrite content of sediments.) *Figure 7* compares the geological log of the Arak-1 well with the interpretation calculated using the nomogram which represents the relation between the ρ_a-P_a values and grain size.

4. 2. Lithological map versions based on the $\rho_a-P_a-d_a$ nomogram

These versions were constructed from the previously described and determined parameters for the intervals of 0-25, 25-50, 50-100 and 100-150 m (*Fig. 8*). Isolines show the boundaries in apparent grain size. Our

experience is that grain size is connected with porosity, percentage void and hydraulic conductivity in view of which the most promising areas for water production can be delineated both laterally and vertically.

4. 3. The summarized lithological sketch

By averaging the d_a data obtained for the different depth intervals a summarized lithological sketch can be constructed (Fig. 12 of paper HOBOT, DUDÁS 1995). The average grain size was calculated using formula (4) down to a depth of 150 m. In this map version the coarse-grained detrital cones of buried paleo-rivers can easily be recognized.