

Gerjesztett polarizációs terepi és laboratóriumi mérések a vízbázisok védelmében¹

DRASKOVITS PÁL², DANKHÁZI GYULA³, STICKEL JÁNOS²

Vízben oldódó szervesetlen sók által szennyezett talajvíz vizsgálatára irányuló különböző projektekben többször is megfigyeltük, hogy az ellenállás-minimumok nem esnek egybe a polarizálhatóság maximumaival. Ebből a tapasztalatból kiindulva laboratóriumi mérésorozatot végeztünk különböző sótartalmú elektrolitokkal átitatott különböző szemcseméretű homokmintákon. Azt tapasztaltuk, hogy az ellenállás és a polarizálhatóság különbözőképpen reagál a sótartalom változására:

- a sótartalom növelésével az ellenállás monoton csökken a vizsgált teljes koncentrációtartományban;
- kis sótartalmak esetén a polarizálhatóság alacsony szintről indulva a sótartalom növelésével növekszik;
- a közepes koncentrációk tartományában (ezer – néhány ezer mg/l) a polarizálhatóságnak relatív maximuma van;
- nagy sótartalmak (tízezer – néhány ezer mg/l) esetén a sótartalom növelésével a polarizálhatóság erősen csökken.

Ez azt jelenti, hogy az ellenállás és a polarizálhatóság különbözőképpen viselkedik, ezek tehát független paraméterek. Egyidejű vizsgálatokkal egy közepes szennyezettségi front helyzete, a szennyezettség mértéke és annak valószínű terjedési iránya jól becsülhető. Megfelelő geofizikai előkészítéssel a szükséges megelőző intézkedések időben megtehetők, ami mindenképp gazdaságosabb megoldás, mint egy súlyosan szennyezett terület kármentesítése.

P. DRASKOVITS, Gy. DANKHÁZI, J. STICKEL: Field and laboratory induced polarization measurements in protection of water resources

In different projects aimed at the examination of groundwater contaminated with water-soluble inorganic salts it was observed several times that resistivity lows do not coincide with polarizability highs. Starting from this experience, laboratory measurements were carried out on different grain size sand samples saturated with electrolytes of different salinity. It was observed that resistivity and polarizability respond to the salinity changes in different ways:

- with increasing salinity the resistivity monotonously decreases over the whole studied concentration range;
- at low salinities, the polarizability starts from a low level and increases with increasing concentration;
- in the range of moderate concentrations (thousand – several thousands mg/l) polarizability shows a relative maximum;
- in case of high salinities (ten thousand – several times ten thousands mg/l) the polarizability strongly decreases with increasing concentration.

It means, that resistivity and polarizability show different behaviour, they are independent parameters. On the basis of their simultaneous examination a front of moderate contamination, the extent of pollution and the probable spreading direction can well be estimated. With the help of proper geophysical preparation, the necessary prevention measures can be taken in time which must be a more economic solution than to carry out remediation of a heavily contaminated site.

1. Bevezetés

Több mint 20 éve, hogy először alkalmaztuk sikeresen a gerjesztett polarizációs (GP) módszert nem ércutatási feladat megoldása során. A Maros hordalékkúpjának kutatása kapcsán azt tapasztaltuk, hogy ugyanarra az árammal átjárt köztartományra a fajlagos ellenállás térbeli eloszlása egészen más jellegű volt, mint a polarizálhatóságé. A két paraméter együttes vizsgálatából a vizsgált fiatal üledékes összetétel rétegzettségére tudtunk következtetni [DRASKOVITS et al. 1990].

Ettől kezdve a vízkutatásban addig szinte kizárólagosan alkalmazott ellenállásmódszer kiegészült a GP módszer rutinszerű használatával. E módszerkomplexum eredményességét számos kutatási példa bizonyította a Mura és a Kerka allúviumának kutatásától a Kisalföld komplex regionális vizsgálatáig [DRASKOVITS, FEJES 1994, DUDÁS et al. 1994, DRASKOVITS, ÚJSZÁSI 1997]. Időközben azonban az általános vízszintcsökkenési tendencia miatt, valamint a vízbázisok mennyiségi megőrzése céljából új, felszín alatti vízbázisok felkutatása folyamatosan veszített aktualitásától. Ilyen feladatok megoldását a vízügy már nem igényelte: a kilencvenes évek elejére az ismert és a távlati vízbázisok védelme, veszélyeztetettségük reális becslése jóval fontosabb feladattá vált.

A felszín alatti vizeket többféle veszély is fenyegeti. Ezek közül az egyik a vízben jól oldódó szervesetlen sók (elsősorban a NaCl, konyhasó) által történő elszennyeződés. Ilyen környezeti problémák előfordulhatnak (gyakran

¹ A Magyar Geofizikusok Egyesületének Eötvös Loránd Jubileumi Közgyűlésén (Pécs, 1998. szeptember 23–24.) elhangzott díjnyertes előadás

² ELGOSCAR International Kft., H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

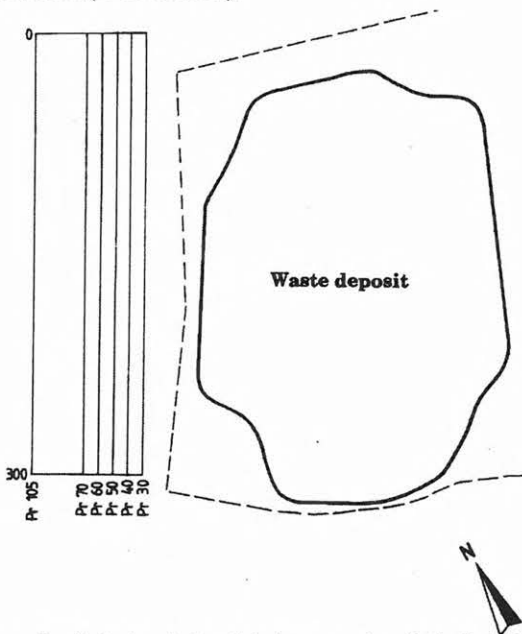
³ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

elő is fordulnak) a környezetüktől nem megfelelően elszigetelt hulladéklerakók kapcsán, ugyanis a vízben oldott sók a csapadék és a talajvíz közreműködésével kijuthatnak a tárolóból. Logikus, hogy az ilyen feladatok megoldása során olyan módszereket alkalmazzunk, amelyek érzékenyek a talajvíz ionkoncentrációjára. Ilyen az ellenállásmódszer, de ilyen a GP módszer is, mivel az ércet nem tartalmazó kőzetekben a GP fő okozója a membrán-, az elektrolitikus és elektrokinetikus polarizáció.

A geofizikai kutatómódszerek általában közvetettek: a legtöbb esetben nem magát a keresett nyersanyagot (ércet, vizet, szenet, kőolajat stb.), vagy a környezeti geofizika esetében pl. a szennyezőanyagot vagy a felszín alatti szennyezett vizet) kutatjuk, hanem az olyan földtani képződményeket vagy szerkezeteket, amelyekben az adott anyag előfordulhat, illetve — a környezetvédelem kapcsán — amelyek a szennyeződések terjedését elősegítik, vagy éppen megnehezítik. Cikkünk egyik érdekessége, hogy a közvetlen kimutatásra adunk példákat.

2. Előzmények

A kilencvenes évek elején Németországban egy olyan hulladéklerakó környezetében kutattunk, amelyet a nem megfelelő szigetelés következtében az áramló talajvíz gyakorlatilag átöblített: a talajvíz kilépési oldalán mélyített figyelőkutakból vett vízminták sótartalma igen nagy volt. Az oldott só mennyisége természetesen a lerakóhoz legközelebbi figyelőkutakban volt a legnagyobb, helyenként 50 000 mg/l fölötti értékeket ért el. A szennyezett talajvíz térbeli helyzetének vizsgálatára a lerakónak ezen az oldalán egymással párhuzamos szelvények mentén pól-dipól elrendezésben ($a = 10$ m, $n = 1 \dots 6$) ellenállás- és polarizálhatóság-méréseket végeztünk (1. ábra). A kapott adatokat pszeudoszelvényeken mutatjuk be. A szelvények számozása a lerakó szélétől mért és m-ben megadott távolságuknak felel meg. Az ábrákon a legfelső szelvény van a lerakóhoz legközelebb (2. és 3. ábra).



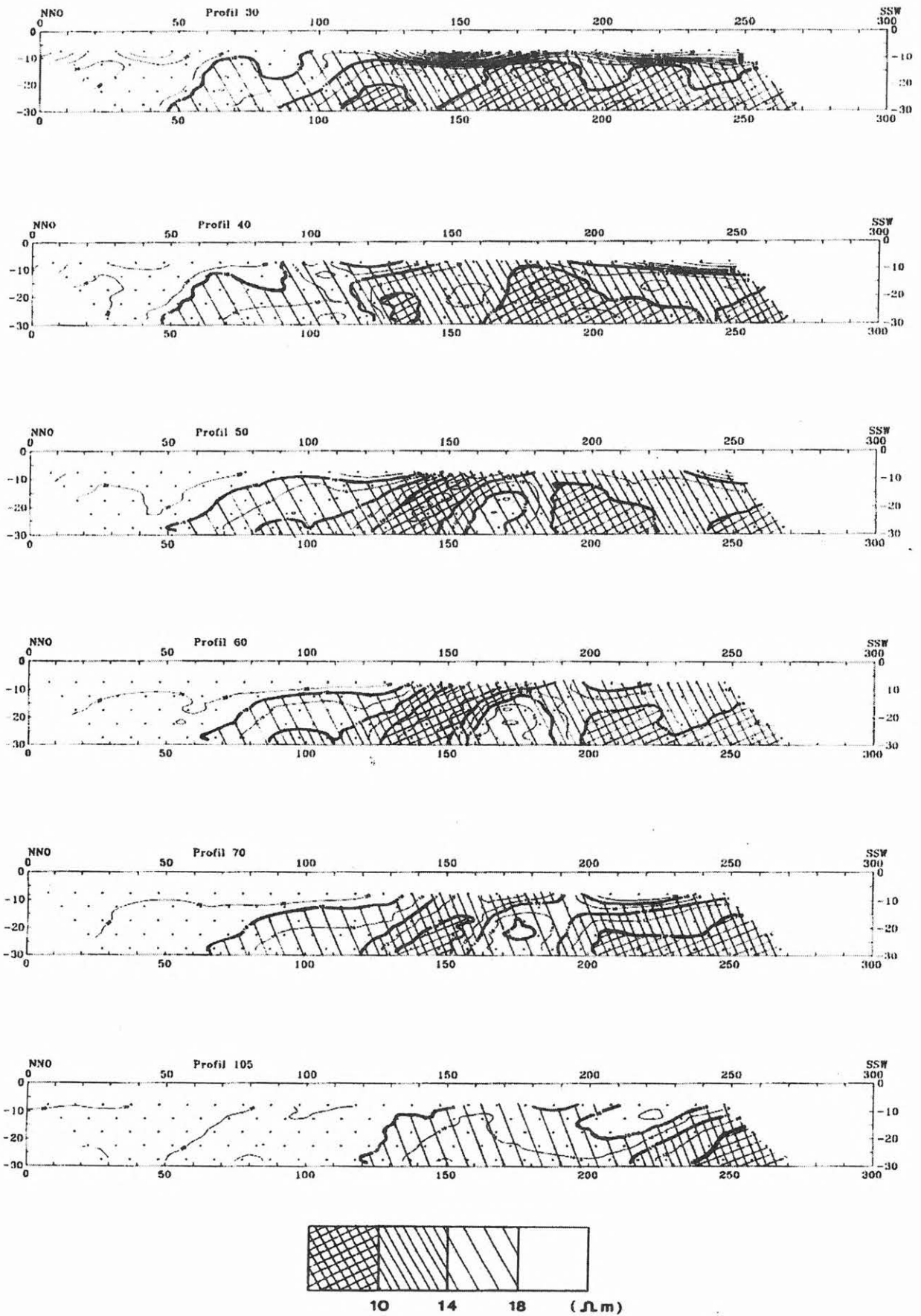
1. ábra. Geofizikai szelvények helyzete a vizsgált hulladéklerakó mellett

Fig. 1. Location of geophysical profiles at a waste deposit

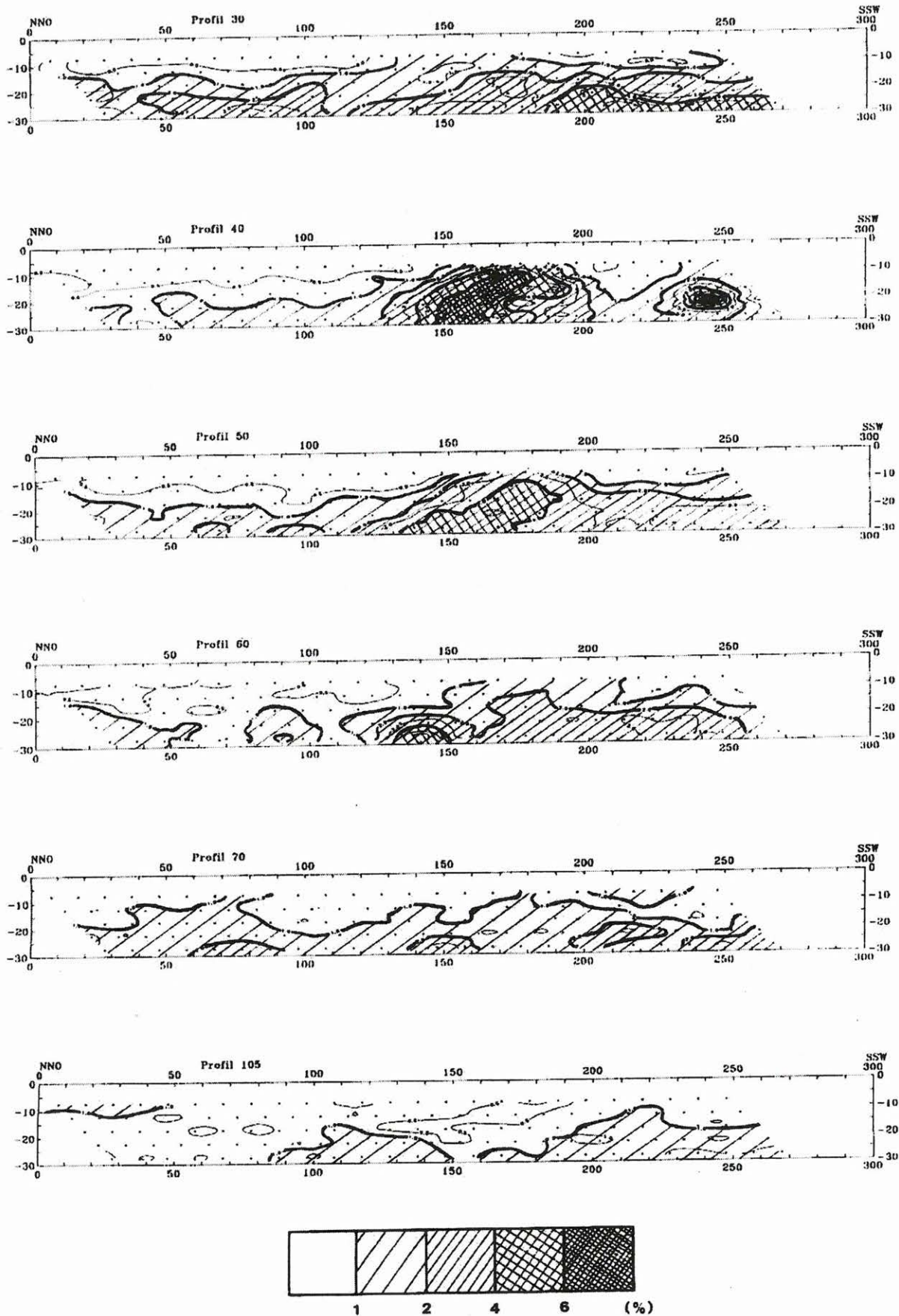
Már említettük azt a (véleményünk szerint jogos) feltételezést, hogy a talajvíz ionkoncentrációja befolyásolja a kialakuló polarizálhatóságot: nagyobb ionkoncentráció esetén nagyobb polarizálhatóságot vártunk. Híg elektrolitok esetén ugyanis minél nagyobb a telítő talajvíz ionkoncentrációja, annál nagyobbak lesznek az ionok eltérő mozgékonyága következtében fellépő membrán-polarizációs változások, továbbá a pórus-szűkületeknél keletkező ionkoncentrációs különbségek, következésképp annál több (és/vagy annál nagyobb dipólmomentummal rendelkező) elemi dipól jön létre, ami nagyobb mérhető polarizálhatóságot eredményez. Ennek alapján a polarizálhatóság pszeudoszelvényeken kialakuló kép a lerakóhoz legközelebbi szelvény kivételével megfelel egy pontforrásból kiinduló szennyeződés (pl. a lerakóból egy adott helyen történő kiszivárgás) várt szétterjedésének: a forrástól távolodva az anomália területe növekszik, csúcspontja pedig csökken. A legtávolabbi szelvény már anomáliamentes, vagyis a szennyeződés idáig nem jutott el. E gondolatmenet alapján azt várnánk, hogy a lerakóhoz legközelebbi szelvényen kapjuk a legkisebb területű és legnagyobb amplitúdójú GP anomáliát. A mérési eredmények azonban nem ezt mutatják, ebben a szelvényben a polarizálhatóság kisebb, mint a másodikban.

A mérési eredményekből néhány talajvízáramlás-irányú szelvényt összeállítva a következőkre kell gondolnunk. A távoli, nem szennyezett háttér felől a lerakóhoz közeledve egy bizonyos távolságban a talajvíz ionkoncentrációja elkezdi növekedni és egészen a lerakóig monoton nő. Az ellenállás menete ennek teljesen megfelel: viszonylag magas szintről indulva a koncentráció növekedésével folyamatosan csökken. A polarizálhatóság viselkedése kezdetben szintén megfelel a várakozásnak: a háttértől a szennyeződéshez közeledve növekszik. Egy bizonyos helyen (egy bizonyos koncentráció mellett) azonban maximumot ér el és az ionkoncentráció további növelése már a polarizálhatóság csökkenését eredményezi (4. ábra). Azt látjuk tehát, hogy bár mind az ellenállás, mind a GP módszer érzékeny a talajvíz ionkoncentrációjára, ez az érzékenység más és más jellegű, mert a két paraméter eltérően viselkedik [DRASKOVITS et al. 1993].

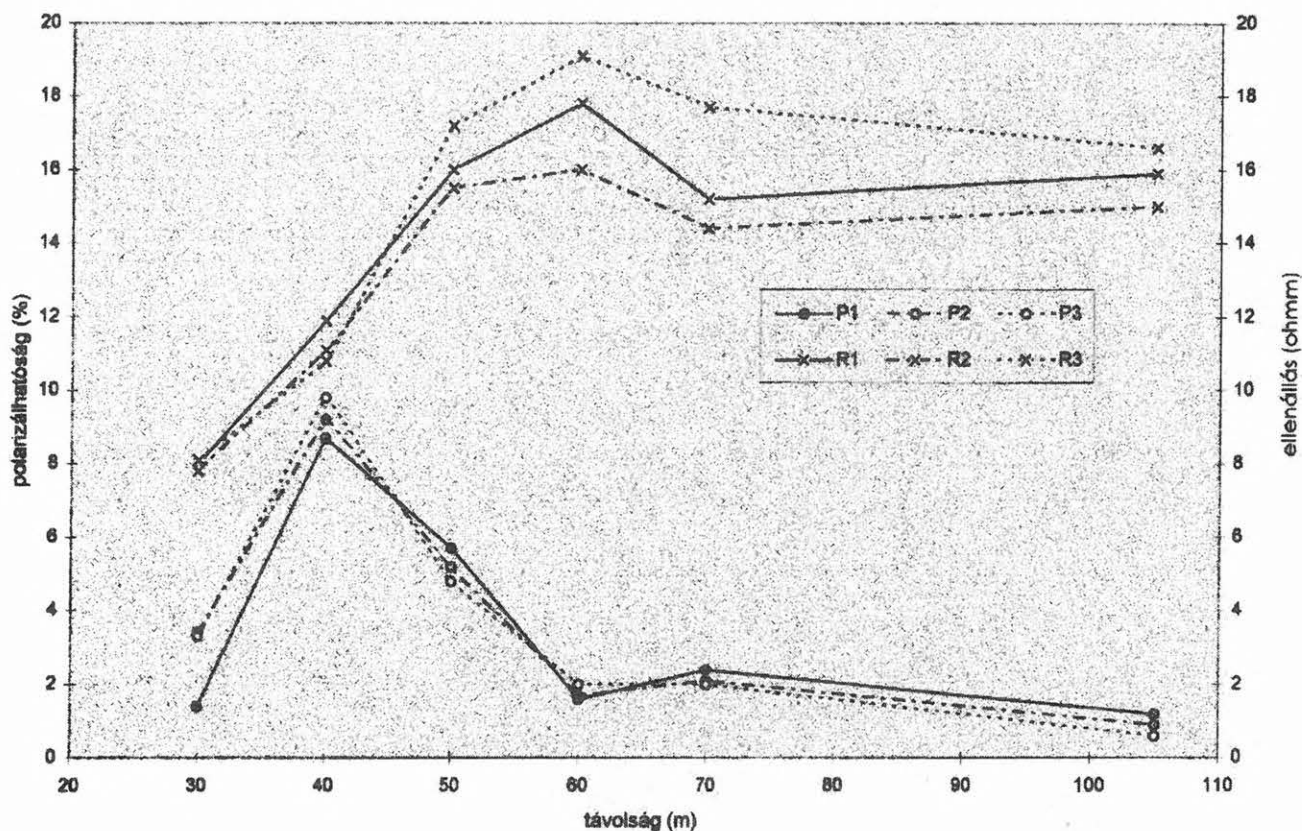
Később egy hazai projektben erősen sós vizet befogadó zagyártározók környezeti hatását vizsgáltuk. A tározómedencék környékén létesítettek ugyan néhány figyelőkutat és ezekből időszakonként vízmintákat vettek, mégis szükségessé vált az információ sűrítése, ezért ellenállás- és polarizálhatóság-méréseket végeztünk. Az ellenállás-eloszlás jól jelzi a tározókból a környezetbe elszivárgó sós víz okozta ellenállás-csökkenést. A minimumokat természetesen a tározók közvetlen szomszédságában kaptuk, a tározóktól távolodva pedig minden irányban növekedett az ellenállás, ahogyan azt vártuk is. Az ellenállástérkép nem tartalmaz olyan új információkat, hogy érdemes lenne mellékelni. A már említett vízminták elemzéséből kapott sótartalom-eloszlás (5. ábra) megfelel az ellenállás-eloszlásnak. A polarizálhatóság-térkép viszont ismét teljesen más jellegű: a legfontosabb vonás az, hogy a legnagyobb polarizálhatóság nem a koncentráció-maximumok területére esik (6. ábra). A két elektromos paraméter viselkedése ebben az esetben is lényegesen különbözik. A kapott mérési adatok értelmezése során a következőképp jártunk el.



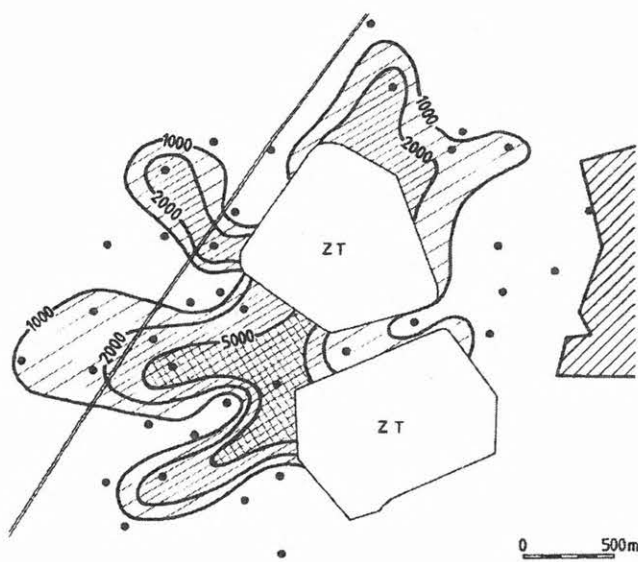
2. ábra. A hulladéklerakó mellett mért ellenállás-pseudoszelvények
 Fig. 2. Resistivity pseudo-sections at a waste deposit



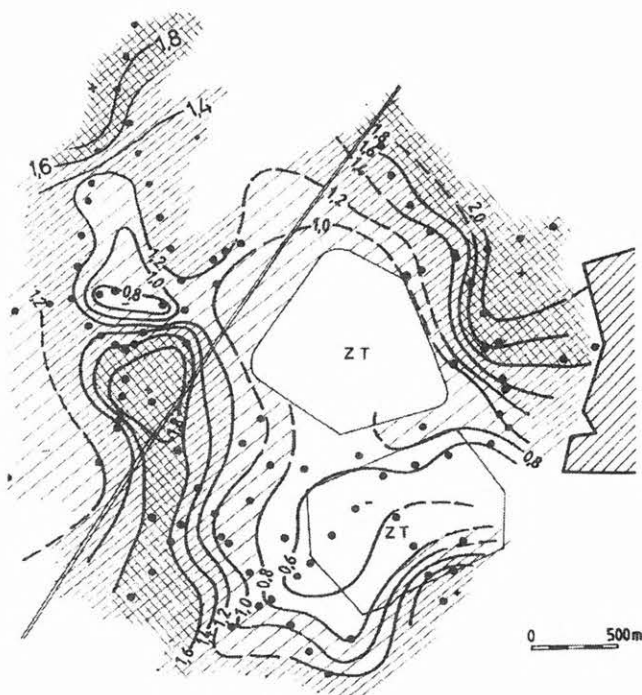
3. ábra. A hulladéklerakó mellett mért polarizálhatóság-pszeudoszelvények
 Fig. 3. Polarizability pseudo-sections at a waste deposit



4. ábra. Ellenállás (x) és polarizálhatóság (o) a lerakó szélétől való távolság függvényében
 Fig. 4. Resistivity (x) and polarizability (o) vs. distance from the edge of the deposit

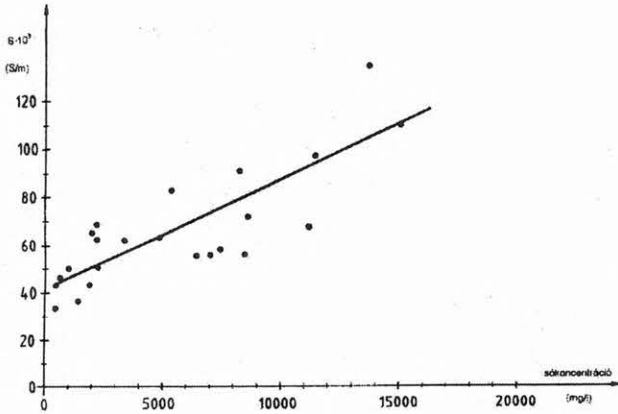


5. ábra. Vízminták oldott sótartalmának térképe a zagytározók (ZT) közelében (mg/l); ●—a mintavételi pontok
 Fig. 5. Salinity of water samples (mg/l) near tailing ponds (ZT); ●—sampling points



6. ábra. Polarizálhatóság-eloszlás (%) a zagytározók (ZT) közelében; ●—a méréspontok
 Fig. 6. Polarizability (%) distribution near tailing ponds (ZT); ●—measuring points

A figyelőkutakon végzett ellenállásmérésekből sótartalom–vezetőképesség diagramot állítottunk össze (7. ábra). Tekintetbe véve, hogy a sótartalom pontszerű adat, a mért (látszólagos) ellenállás pedig az 50 m AB távolság miatt egy nagyobb térrész átlagos jellemzője, a korreláció egész jónak tekinthető. Ez a jó korreláció egyrészt azt jelenti, hogy az ellenállás változása főleg a sókoncentráció változásának tudható be, nem pedig a területünkön előforduló különböző földtani képződményeknek. Másrészt pedig, mivel a vezetőképesség jó közelítéssel arányos a sótartalommal, azt sugallja, hogy egy ellenállás–polarizálhatóság diagram kvalitatíve sótartalom–polarizálhatóság diagramnak is tekinthető.

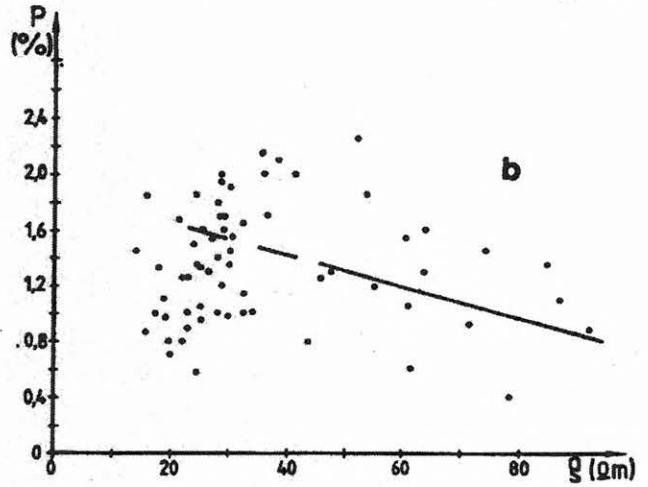
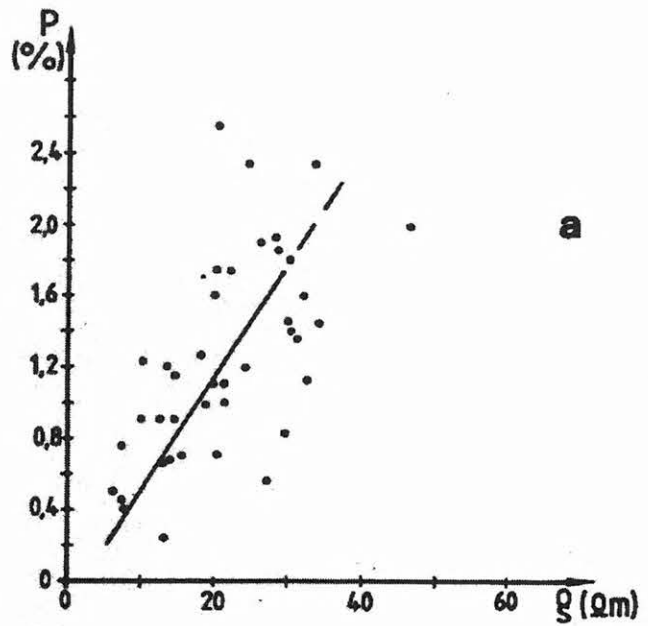


7. ábra. Sótartalom–vezetőképesség diagram

Fig. 7. Conductivity vs. salinity

A sókoncentráció-eloszlás alapján a területet — némiképp önkényesen, közelítőleg a 2000 mg/l izovonal mentén — két részre osztottuk: egy erősen és egy gyengébben szennyezett részterületre. Mindkét részterületre ellenállás–polarizálhatóság diagramokat készítettünk el (8/a. és 8/b. ábra). Bár a korreláció nem szoros, a tendencia azért elég egyértelműen látható. A 8/b. ábráról világosan leolvasható, hogy a nem szennyezett háttér felől a tározóhoz közeledve, vagyis a sókoncentráció növekedésével (az ellenállás csökkenésével) a polarizálhatóság kezdetben nő. A tározómedencéhez tovább közeledve előbb–utóbb átkerülünk az erősen szennyezett területre, amelyet jellemző 8/a. ábrára, amely viszont azt mutatja, hogy a sótartalom további növelése már a polarizálhatóság csökkenésére vezet [DRASKOVITS 1994]. Ez a tendencia kismértékben a 8/b. ábrán is megfigyelhető, feltehetőleg a két részterület határzónájába eső pontok következtében.

Két különböző terepi példában tehát azt a képet kaptuk, hogy az ellenállás a sókoncentráció monoton függvénye, a polarizálhatóság pedig nem az: a sókoncentráció (a szennyezettség) növelésével a polarizálhatóság előbb nő, majd egy maximum elérése után csökken. Ez nem várt eredmény, de véletlenül vagy mérési hibákra aligha gondolhatunk. Ezért szükségesnek tartottuk a jelenség alaposabb vizsgálatát.



8. ábra. Ellenállás–polarizálhatóság diagramok. a — erősen szennyezett körzetekre, b — kevésbé szennyezett körzetekre

Fig. 8. Polarizability vs. resistivity. a — for heavily contaminated areas, b — for moderately contaminated areas

3. Az 1997–98. évi kísérletsorozat ismertetése

Az ELGI, az ELGOSCAR Kft. és a VITUKI Rt. 1996-ban közös pályázatot adott be az OMFB-hez, majd ennek kedvező elbírálása után kutatási-fejlesztési szerződést kötöttünk. Ennek egyik pontja annak laboratóriumi vizsgálata volt, hogy a minták szemcsemérete és az azokat átitató elektrolit sótartalma milyen hatást gyakorol a mérhető polarizálhatóságra. A laboratóriumi mérések — akárcsak a korábbi terepi mérések — során az ELGI-ben kifejlesztett DIAPIR-18 típusú mérőműszert használtuk. A gerjesztő impulzusok és a szünetek hossza egyaránt 1,6 s volt. Minden eredményt 6–10 mérési ciklus (azaz 6–10-szer három gerjesztő impulzus) átlagából számítottunk. A polarizálhatóságot a gerjesztő áram kikapcsolása után t időben mért másodlagos és az áramfolyás alatt mért elsődleges potenciálkülönbségek hányadosaként képezzük és százalékban fejezzük ki: $P(t) = \Delta V_{sz}(t) / \Delta V_{pr} \cdot 100\%$, ahol $\Delta V_{sz}(t)$ a kikapcsolás után t idővel, ΔV_{pr} pedig a gerjesztés alatt mért feszültség.

3.1. A kísérlethez felhasznált homok

Egy Duna-menti homokbányából vett több mint két máza homokot szitáltunk át szabványos szitasoron. Ezzel 10 különböző szemcseméret-frakciójú mintához jutottunk, amelyekből a legdurvább 5 mm fölötti, a legfinomabb pedig 0,063 mm alatti volt. A homok szemcseeloszlása az 1. táblázatban látható. A száraz szitálási technológiából következően a durvább frakciók anyaga gyakorlatilag tiszta kvarchomok, agyagásványok a legfinomabb frakciókban fordulnak elő.

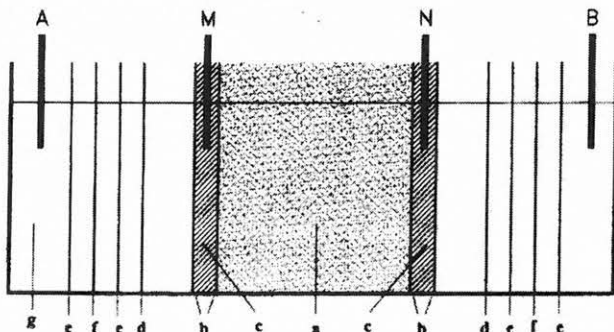
Szemcse- méret, mm	Mennyiség, kg	Mennyiség, %
>5,0	0,935	0,42
2,5 – 5,0	10,005	4,48
2,0 – 2,5	0,788	0,35
1,0 – 2,0	15,460	6,59
0,63 – 1,00	12,200	5,46
0,50 – 0,63	4,900	2,19
0,25 – 0,50	103,700	46,40
0,125 – 0,250	67,200	30,07
0,063 – 0,125	6,650	2,98
< 0,063	1,630	0,73
összesen	223,468	100,0

1. táblázat. A kísérletekhez használt homok szemeloszlása

Table 1. Grain size distribution of sand used in the experiments

3.2. A mintatartók

Viszonylag kisméretű mintatartókra volt szükségünk, hiszen bizonyos szemcseméret-frakciókból csak 1 kg alatti mennyiséget kaptunk. A 10 mm vastag plexiből készült, 350 mm hosszú és 50 x 50 mm keresztmetszetű mintatartó hosszmetsete a 9. ábrán látható.



9. ábra. A mintatartó hosszmetsete. a—minta; b—vattatartó lemezek; c—vatta; d, e, f—áramterelő lemezek; g—elektrolit; A, B—áramelektrodák; M, N—mérőelektrodák

Fig. 9. Section of the sample holder. a—sample; b—plates holding cotton wool; c—cotton wool; d, e, f—plates driving the current; g—electrolyte; A, B—current electrodes; M, N—measuring electrodes

A homokminta (a) két oldalán két-két, egész felületén sok apró furattal perforált plexilap (b) közé vattát (c) helyeztünk. A vatta egyrészt lehetővé teszi a minta átöblítését az adott elektrolittal, másrészt meggátolja a minta anyagának az a térrészen kívülről történő szétfolyását, harmadrészt pedig biztosítja a megfelelő érintkezést a nem polarizálódó elektrodák számára. A vattától a mintatartó végei felé talál-

ható 4–4 plexilemez (e, f, e, d) az áram „terelése” révén azt segíti elő, hogy az A és B áramelektrodák minél „távolabb” kerüljenek a mintától, illetve a mérőelektrodáktól és ezzel megközelítsük a terepi mérések során leggyakrabban használt gradiens elrendezést. A d jelű lemezekon középen van egy 1 cm² területű lyuk. Az e jelű lemezek szélén, köröskörül egymáshoz közel 4 mm átmérőjű furatok vannak, az f jelű lemezek közepén pedig 1 mm átmérőjű vékony furat található. A mérések gyorsítása, illetve a külső körülmények minél kisebb változtatása érdekében négy azonos mintatartót készítettünk, ezért párhuzamosan négy mintát tudunk vizsgálni. Mérőelektrodaként telített káliumklorid oldatba merülő ezüstklorid elektrodát, áramelektrodaként pedig platina lemezelektrodát használtunk.

3.3. A telítő elektrolitok

A tapasztalat szerint a talajvíz fajlagos ellenállását döntő mértékben az oldott NaCl-tartalom határozza meg. A talajvizet tehát tekinthetjük híg elektrolitnak (amely erős szennyeződések esetén néha nem is olyan híg), ezért a mintákat összesen 11 különböző koncentrációjú konyhasó-oldattal itattuk át. Leghígabb elektrolitként tiszta ivóvizet használtunk, amelynek fajlagos ellenállása 20 °C hőmérsékleten 17,5 Ωm, oldott sótartalma pedig 300 mg/l volt. A tizenegyedik lépésben elért legtöményebb elektrolit fajlagos ellenállása 0,15 Ωm, sótartalma pedig 50 000 mg/l volt, azaz a tengervíznél mintegy másfélszer töményebb. Ez az igen nagy koncentráció nem a kontrollját vesztett fantázia eredménye: mindkét korábban említett terepi példában előfordultak ilyen, sőt néha még nagyobb koncentrációk is. Vizsgálatunk tehát több mint 2 nagyságrendnyi koncentrációtartományt fogott át.

3.4. A vizsgálat menete

Az egyes elektrolitokat úgy állítottuk elő, hogy 10 liter vízben (ez a minták átítatásához ténylegesen szükséges mennyiségnek mintegy 4–5-szöröse) ismert mennyiségű párolt finom konyhasót oldottunk fel. Tapasztalataink szerint a minták többszöri átöblítése során az elektrolit vezetőképessége kismértékben változott, ezért ellenőrzés gyanánt a következőképpen jártunk el: elkészítettük az adott elektrolitot és elektronikus vezetőképesség-mérővel meghatároztuk annak fajlagos ellenállását (mintegy 1% hibával). A mintákat átítattuk az elkészített elektrolittal és elvégeztük a méréseket. Ezután a kissé ferdére állított mintatartók alsó részéből leszívtuk és kiöntöttük az elektrolitot, majd a tartó felső részét feltöltöttük a következő, kissé töményebb elektrolittal, amely a mintán átszivárogva a tartó alsó részén összegyűlt. Megmértük a vezetőképességet és ha az megváltozott (eleinte természetesen mindig megváltozott), akkor kiöntöttük, majd a mintatartót az adott elektrolittal újra feltöltöttük és ezt addig ismételtük (általában háromszor-négyszer), amíg a bejövő és az átszivárgott elektrolit vezetőképessége (következésképp koncentrációja) már egymáshoz elég közeli lett. Ekkor úgy tekintettük, hogy a mintát gyakorlatilag már teljesen az új elektrolit itatta át. Ennek vezetőképességét megmértük, ebből a mélyfúrás-geofizikai mérések korrigálásához használatos ellenállás-hőmérséklet-sótartalom nomogram segítségével meghatároztuk a tényleges sótartalmat és elvégeztük a következő mérési sorozatot. A vázolt eljárással az elektrolitok ellen-

állását, következésképp sótartalmát mintegy 3–4% pontossággal tudtuk meghatározni, amit elegendő pontosságnak ítéltünk, figyelembe véve a koncentráció több mint két nagyságrendnyi változtatását.

4. Az eredmények bemutatása és értelmezése

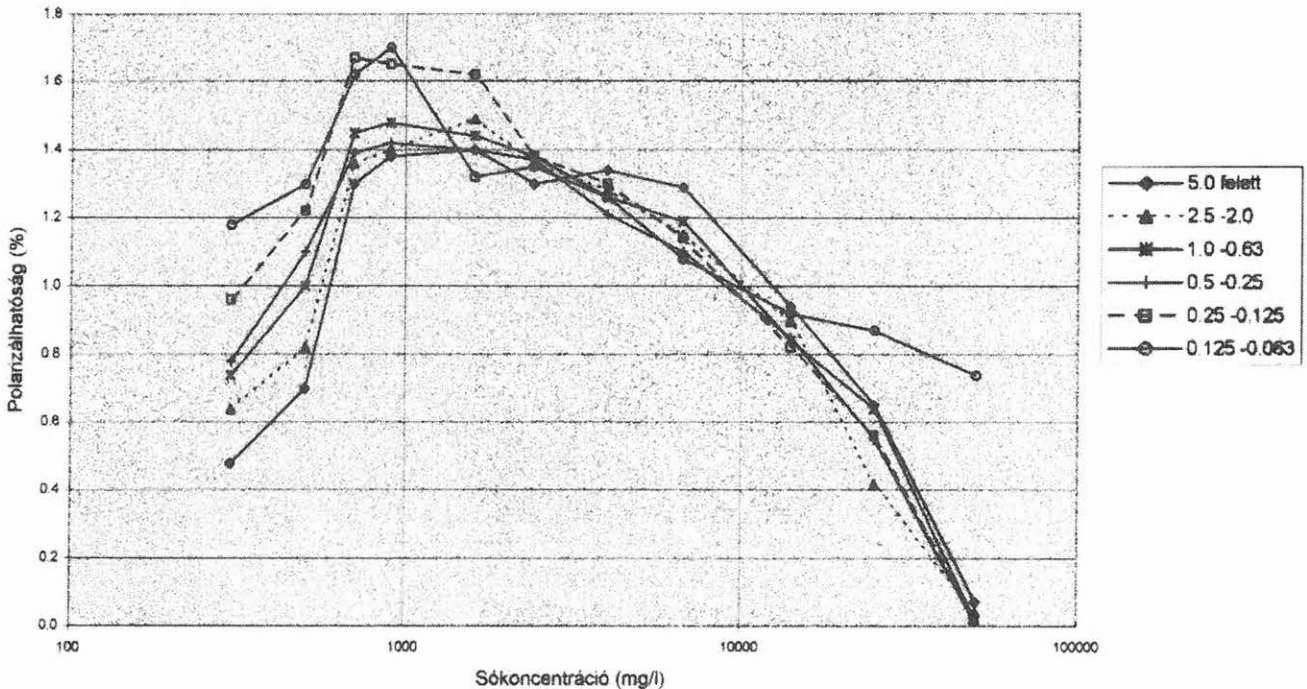
A GP elmélete szerint a polarizálhatóság a gerjesztő áram kikapcsolása után közel exponenciálisan cseng le, tehát minél korábbi időkből mérünk, annál nagyobb polarizálhatóság-értékeket — és feltehetőleg annál jellegzetesebb változásokat — kapunk. A mérések során, ahol csak lehetett, kiértékeljük a lecsengő GP görbét. Alacsony polarizálhatóság esetén ez persze csak 2–3 pontot jelentett, sőt voltak esetek, amikor a lecsengő jel 200 ms-ra vonatkozó második pontja

már gyakorlatilag nulla volt (pontosabban DANKHÁZI [1998] vizsgálatai szerint ilyen esetekben is létezik időben csökkenő jel, de az igen gyorsan lecseng). Ezért a DIAPIR-18 műszerrel végzett mérések eredményeinek taglalásakor végig a legkorábbi, 100 ms-ra vonatkozó látszólagos polarizálhatóság értékekkel foglalkozunk. E polarizálhatóság értékeket a telítő oldat koncentrációja és a szemcseméret függvényében a 2. táblázatban adjuk meg. A táblázatban feltüntettük néhány megismételt mérési sorozat eredményeit. Az ismétlések között nem tapasztaltunk 0,2%-nál nagyobb eltérést. Ennek alapján a grafikonokon a mérési pontok szórása legfeljebb 0,2% lehet, vagyis a pontok tulajdonképpen ilyen hosszúságú függőleges szakaszokként tekintendők.

A 10. ábrán a mért látszólagos polarizálhatóságot ábrázoltuk a telítő elektrolit koncentrációjának függvényében.

elektromos koncentráció, mg/l	szemcseméret, mm									
	> 5	5–2,5	2,5–2	2–1	1–0,63	0,63–0,5	0,5–0,25	0,25–0,125	0,125–0,063	< 0,063
300	0,48	0,60	0,64	0,66	0,74	0,72	0,78	0,96	1,18	1,95?
500	0,70	0,78	0,82	0,96	1,00	1,02	1,10	1,22	1,30	1,36
700	1,30	1,35	1,36	1,45	1,45	1,46	1,39	1,67	1,62	1,52
900	1,38	1,34	1,40	1,45	1,48	1,45	1,42	1,65	1,70	2,03
1600	1,40	1,39	1,49	1,40	1,44	1,45	1,40	1,62	1,32	1,53
2400	1,30	1,28	1,36	1,32	1,38	1,28	1,37	1,38	1,20	1,32
									1,35	1,20
4000	1,34	1,31	1,28	1,30	1,26	1,25	1,21	1,30	1,26	1,32
6700	1,29	1,18	1,15	1,14	1,19	1,15	1,10	1,14	1,08	1,35
									1,20	1,35
14000	0,94	1,00	0,90	0,84	0,84	0,85	0,85	0,82	0,92	0,85
25000	0,65	0,53	0,42	0,44	0,64	0,52	0,55	0,56	0,87	1,00
50000	0,07	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,74	0,80

2. táblázat. Homokmintákon mért polarizálhatóság értékek
Table 2. Polarizability values measured on sand samples



10. ábra. DIAPIR-18 műszerrel mért polarizálhatóság a sókoncentráció függvényében
Fig. 10. Polarizability vs. salinity, measured with DIAPIR-18 instrument

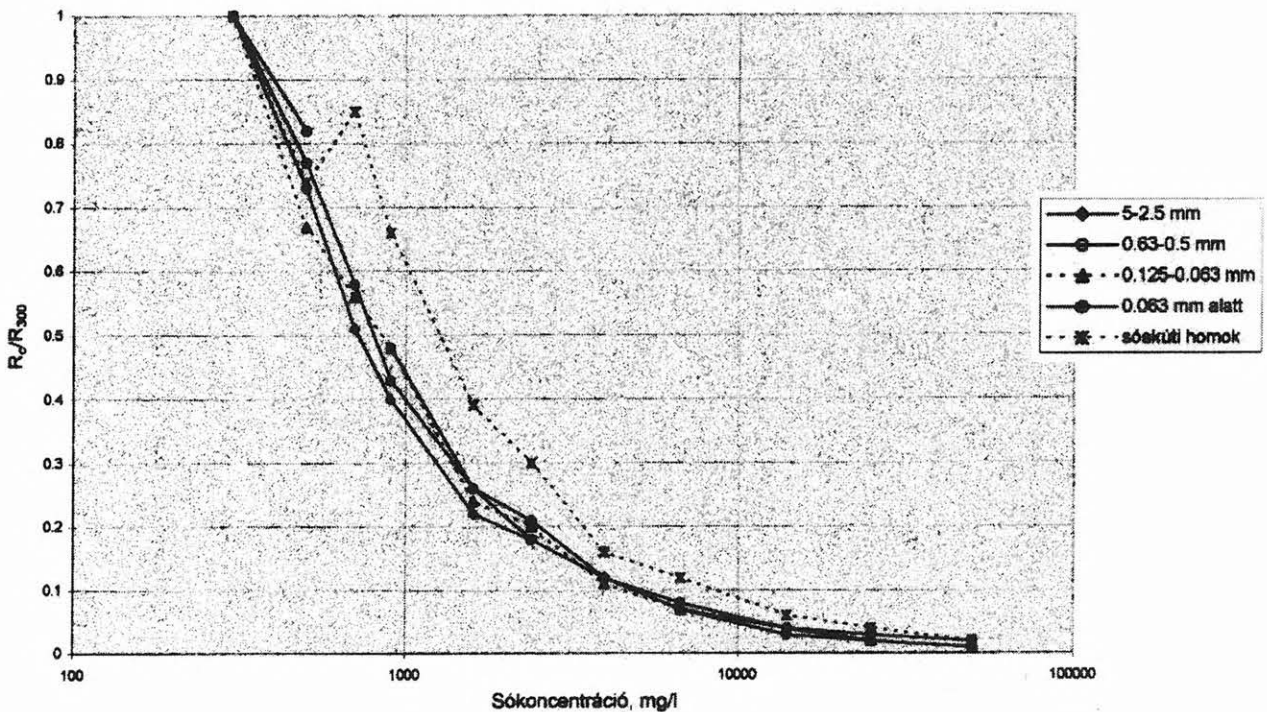
Ezzel azt a természetben elég gyakran előforduló esetet modelleztük, amikor a közeg eredeti földtani tulajdonságai nem vagy alig változnak, a paraméterek mért értékeiben mutatkozó különbségeket elsősorban a különböző mértékű szennyezettség (különböző koncentrációjú elektrolitokkal való átitatódás) magyarázza.

Az ábrán látható, hogy az összes szemcseméret-frakcióban létezik egy, a gerjesztett polarizációs jelenség kialakulása szempontjából optimális koncentrációtartomány. A tiszta vízzel átitatott minták polarizálhatósága alacsony. A sókoncentráció növelésével a polarizálhatóság kezdetben növekszik és közelítőleg a 900–2000 mg/l tartományban lapos maximumot ér el. A sótartalom további növelése a GP nagymértékű csökkenését eredményezi, 50 000 mg/l értéknél a legtöbb szemcseméret-frakcióban a polarizálhatóság nulla. A két legfinomabb szemcseméretű mintánál — hasonló csökkenő tendencia mellett — a polarizálhatóság nem esett le nullára: ezt a csak ezekben a frakciókban előforduló agyagok hatásának tulajdonítjuk.

Bár a kísérletek elsősorban a polarizálhatóság viselkedésének megismerésére irányultak, természetesen vizsgáltuk az ellenállás menetét is. A valódi ellenállásokat az alábbi

módon határoztuk meg. A mintatartóba nem homokmintát, hanem ismert ellenállású vizet, illetve oldatokat tettünk. Ezután a mérőműszeren beállított geometriai együttható addig változtattuk, míg a mért ellenállás meg nem egyezett az oldat ismert ellenállásával, így megkaptuk a mintatartó együtthatóját. A négy mintatartó együtthatója egymástól csak kismértékben különbözött.

A 11. ábrán feltüntettük néhány minta normált ellenállásának, vagyis a különböző koncentrációjú oldatokkal végzett mérésekből képzett R_c/R_{300} arányának a menetét, ahol R_c az adott koncentrációjú oldat esetén, R_{300} pedig a 300 mg/l koncentrációjú oldat esetén mért ellenállás. Az ilyen típusú hányados képzésével a fenti eljárás hibái jelentősen csökkenthetők. A normált ellenállás menetével nem szükséges túl sokat foglalkozni, mert az teljesen megfelel az elméletnek és a várakozásoknak: az elektrolittal teljesen telített minták ellenállás-változását az elektrolit sókoncentrációjának (vezetőképességének) változása határozza meg. Ugyanakkor ha az R_{300} mennyiség mérésénél valamilyen hibát úgy követtünk el, hogy azt akkor nem vettük észre, akkor a hányadosképzés miatt ez a hiba a normált ellenállás menetét végig egy irányban torzítja, mint az az ábrán a sóskúti homok ellenállásmenetén látható.



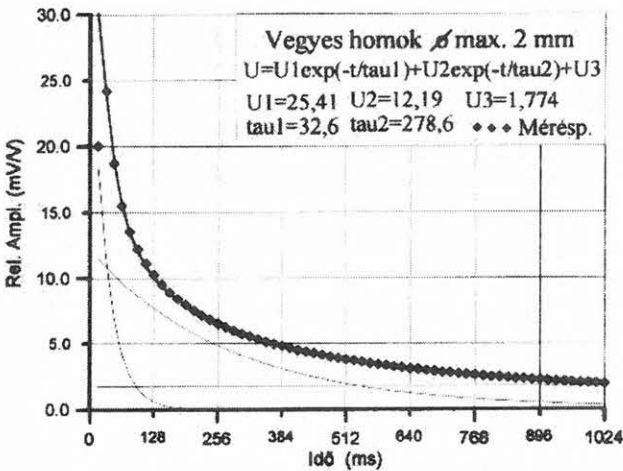
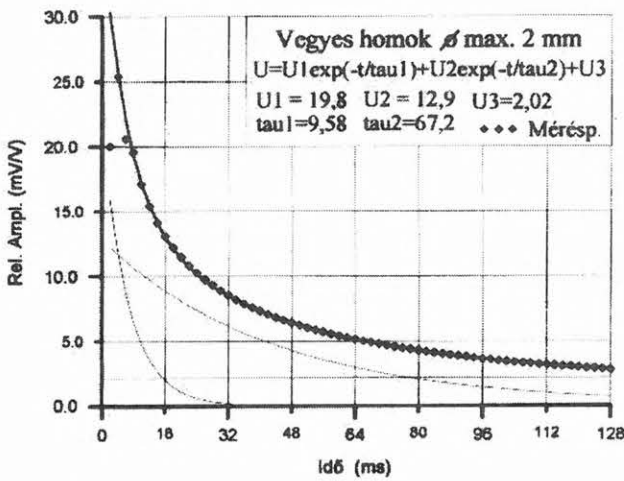
11. ábra. DIAPIR-18 műszerrel mért normált ellenállás a sókoncentráció függvényében

Fig. 11. Normalised resistivity vs. salinity, measured with DIAPIR-18 instrument

Végző soron a laboratóriumi ellenállás- és polarizálhatóság-mérésekkel teljes mértékben sikerült rekonstruálni korábbi, különböző földtani körülmények között kapott terepi tapasztalatainkat.

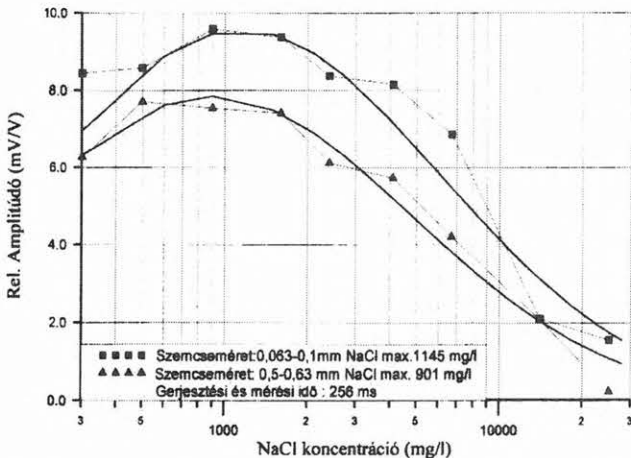
A fenti vizsgálatokkal párhuzamosan OTKA támogatással módunk nyílt egy másik, szintén időtartományban működő, számítógéppel vezérelt laboratóriumi kísérleti GP műszer megépítésére is. Az újabb műszerben az időparamétereket jóval rugalmasabban lehetett változtatni, mint a DIAPIR-18 esetében. Egyrészt sokkal rövidebb gerjesztési időket is tudtunk alkalmazni ($T = 64 \cdot 2^k$ ms, $k = 0-7$), másrészt pedig minden lecsengő jelből 64 egyenközű mintát véve lehetőse-

günk volt a másodlagos feszültséggel alakjának elfogadható időszükségletű részletes megmérésére. E műszerrel ugyanazokat a homokmintákat ugyanazokkal az elektrolitokkal átitatva ugyanazokban a mintatartókban vizsgáltuk. A kapott lecsengési görbéket minden esetben (minden mintánál, minden elektrolit és mindegyik gerjesztési idő esetében) igen jól tudtuk közelíteni két exponenciális és egy kis értékű konstans összegével (12. ábra). A gerjesztett polarizáció mértékül a két amplitúdó összegének és a primer jelnek a hányadosát tekintjük (ez tulajdonképpen a $t=0$ pillanatra extrapolált polarizálhatóság). U_1 és U_2 a két exponenciális amplitúdója, τ_1 és τ_2 a két időállandó, U_3 pedig a konstans.



12. ábra. A lecsengő GP jel felbontása 2 exponenciálisra és egy konstansra

Fig. 12. Decaying IP signal as the sum of two exponentials and one constant

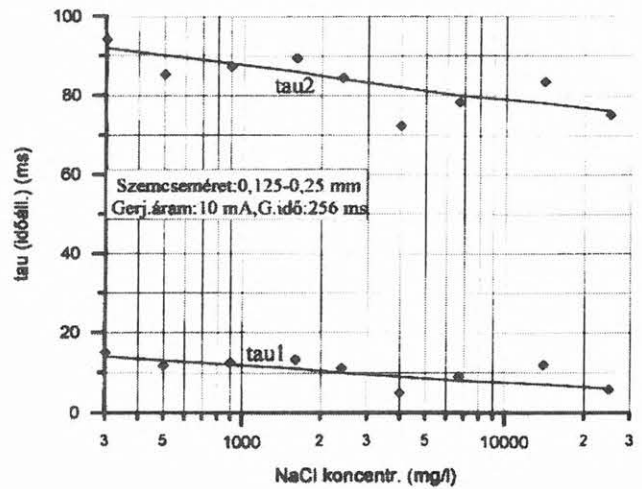


13. ábra. Az új műszerrel mért polarizálhatóság a sókoncentráció függvényében

Fig. 13. Polarizability vs. salinity, measured with the new instrument

Ennek a vizsgálatorozatnak cikkünk szempontjából legfontosabb eredménye, hogy a sótartalomra és a polarizálhatóságra a különböző mérési elv, valamint a lényegesen különböző gerjesztési és mérési idők dacára is teljesen ugyanolyan jellegű összefüggést kaptunk, mint a DIPAPIR-18 műszerrel. Kis sókoncentrációknál minden

mintára és minden gerjesztési időre kis, ill. közepes polarizálhatóságot kaptunk. 1000 mg/l körüli vagy azt kevéssel meghaladó koncentrációknál a polarizálhatóság maximumot ért el, majd a koncentráció további növelésével rohamosan csökkent (13. ábra). Az időállandók a koncentráció növekedésével csökkenő tendenciát mutatnak (14. ábra).



14. ábra. Időállandók a sókoncentráció függvényében

Fig. 14. Time constants vs. salinity

5. A gerjesztett polarizációs folyamatok időbeli lezajlása

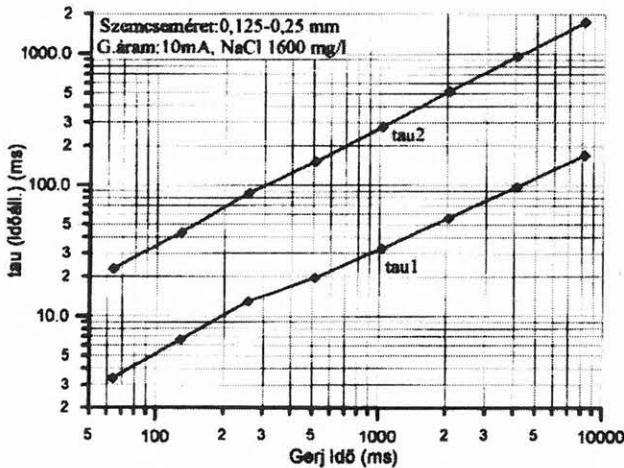
Bár a DIAPIR-18 műszerrel a teljes lecsengési görbe felvétele elég nehézkes és hosszadalmas, kisebb mennyiségben már 10–15 éve végzünk ilyen terepi vizsgálatokat ércmentes közegben, felszínen is és fúrólukban is. A lecsengő görbéből minden alkalommal tudunk venni legalább 5–6 mintát (fúrólukban, ahol a mérőeszköz sokkal közelebb van a vizsgálandó közeghez, tehát a jel/zaj viszony kedvezőbb, általában lehet). Ez részletes jelalakvizsgálatot ugyan nem tett lehetővé, de arra mindenesetre elegendő volt, hogy megállapíthassuk: a lecsengő jelet egyszer sem sikerült jól közelíteni egyetlen exponenciálissal, kettővel viszont már igen. Az exponenciálisokra való bontásból az időállandókra két következtetést tudunk levonni:

- 1,6 másodperces gerjesztések esetén a gyorsabban lecsengő tag időállandója 0,1 s körülinek, a lassabbé 1 s körülinek adódott, a két időállandó arányára pedig mindig 10 körüli értéket kaptunk: a hányados egyetlen esetben sem volt 7-nél kisebb, sem pedig 12-nél nagyobb. Úgy tűnik, ennek így is kell lennie. Nem várható ugyanis, hogy az exponenciálisokra bontás egymáshoz közeli időállandójú tagokra vezessen, hiszen ez esetben az elkülönítésük igen bizonytalan lenne. Ugyanakkor a legfeljebb 8–10, egymástól 100 ms időközben vett minta miatt az időállandók egymástól túl távol sem lehetnek;
- az időállandók aligha bírhatnak közvetlen fizikai jelentéssel és nem tekinthetők közegjellemzőknek, ugyanis nagyon erősen függtek a gerjesztési időtől, hosszabb gerjesztés esetén nagyobb időállandókat kaptunk.

A fentebb már említett, újonnan konstruált berendezéssel módunk nyílt a lecsengő jel alakjának részletesebb vizsgálatára. Mint már említettük, a GP jelalakot az összes

laboratóriumi modellmérésben igen jó közelítéssel (0,99 fölötti korrelációval) le tudtuk írni két exponenciális és egy kis értékű konstans összegével. A gerjesztés hatására kialakult első exponenciális az ionok és az ionok potenciálterét semlegesítő ion-atmoszféra polarizációjának tulajdonítjuk (ez a gyorsabb folyamat), a másodikat pedig a közetszemcsék felületén megkötött ionok polarizációjának. A konstans — vagy időben igen lassan változó harmadik exponenciális — feltehetőleg kémiai folyamatokkal és a mérőelektrodák polarizációjával magyarázható.

Az új műszerrel kapott eredmények teljes mértékben alátámasztották és jelentősen pontosították a DIAPIR-mérésekből régebben levont fent említett következtetéseket. Egyrészt az időállandók szinte a gerjesztési idővel arányosan változtak: a kétszer logaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolt gerjesztési idő–időállandó függvény mindkét exponenciálisra jól közelíthető egy egyenessel (15. ábra). Másrészt az időállandók hányadosa a rövid gerjesztési időknél tapasztalt 6,5-ről fokozatosan a hosszú gerjesztésekre jellemző 10 körüli értékre növekedett. Figyelemre méltó, hogy a gerjesztési idők több mint 2 nagyságrendnyi változtatása esetén a fenti hányados alig 50%-nyit változott és gyakorlatilag megegyezett a jóval kevésbé precíz felbontást lehetővé tevő DIAPIR-mérések esetében kapott aránnyal (3. táblázat).



15. ábra. Időállandók a gerjesztési idő függvényében

Fig. 15. Time constants vs. charging time

gerj. idő ms	U_1 mV/V	τ_1 ms	U_2 mV/V	τ_2 ms	U_3 mV/V
64	5,98	2,89	4,12	13,56	0,813
128	6,02	4,47	4,22	39,66	0,752
256	5,76	10,3	3,72	71,35	0,901
512	6,48	12,6	4,31	149,7	0,645
1024	6,56	25,4	4,48	291,3	0,582
2048	6,92	54,2	4,51	560,9	0,512
4096	7,22	114	4,53	1082	0,318
8192	7,34	209	4,61	1947	0,177

3. táblázat. Az amplitúdók (U) és időállandók (τ) a gerjesztési idő függvényében

Table 3. Amplitudes (U) and time constants (τ) as functions of charging time

A gerjesztési idő növelésével az időállandók jelentős mértékben, az amplitúdók enyhén növekednek, a konstans

pedig csökken. A 256 ms-nál kapott, az általános menetből kiütő értékek feltehetőleg mérési hibákkal magyarázhatók.

Bár joggal feltételezhető, hogy a kőzet szerkezete hatásal lehet a kialakuló exponenciálisok időállandóira, a kísérletek alapján úgy látjuk, hogy ezekre a gerjesztési idő hossza jóval nagyobb hatást gyakorol. Az időállandókból tehát nem lehet közvetlenül a kőzet szerkezetére következtetni; bizonyos egyszerűsített következtetések csak azonos mérési időparaméterek esetén vonhatók le. A kialakuló másodlagos jel nagysága mellett tehát találtunk egy másik olyan szempontot is, amely azt követeli meg, hogy egy projektet változatlan időparaméterekkel mérjünk végig, mert a különböző időparaméterekkel végzett mérések összehasonlítása aligha vezet jól értelmezhető eredményekre.

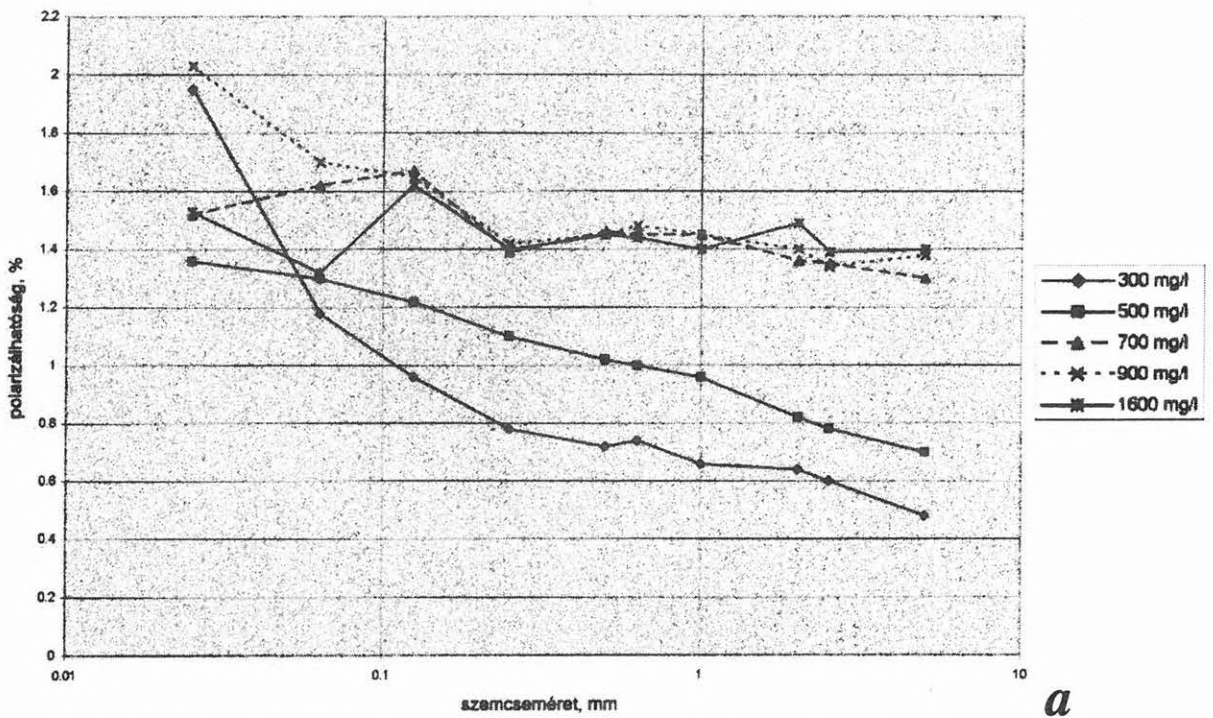
6. A polarizálhatóság függése a szemcsemérettől

A 2. táblázat adatait ábrázolhatjuk a minták szemcseméretének függvényében is, ekkor a görbék paramétere a telítő elektrolit sókoncentrációja. A 16/a. és 16/b. ábra azt mutatja, hogy a legkisebb koncentrációk tartományában a várakozásnak megfelelően a szemcseméret csökkenésével növekszik a polarizálhatóság és ezzel egyidejűleg a koncentráció növelésével a görbék egyre feljebb tolnak. Ugyanakkor a vizsgált szemcseméret-tartományban nem kaptuk meg a várt polarizálhatóság-maximumot (amelynek pedig léteznie kell, hiszen a legfinomabb szemcséjű tiszta agyagok polarizálhatósága ismét alacsony). A közepes sókoncentrációk mellett kapott diagramok elég jellegtelenekek, a szórást figyelembe véve közel vízszintesek. 4–5000 mg/l érték fölött a koncentráció növelésével a diagramok jelentős mértékben csökkennek, közel szintes jellegük megmarad. A grafikonoknál vonatkoztatási értéként az egyes szemcseméret-tartományok alsó határát vettük, a 0,063 mm alatti minta esetében pedig — némileg önkényesen, mivel itt nincs alsó határ — 0,025 mm-t.

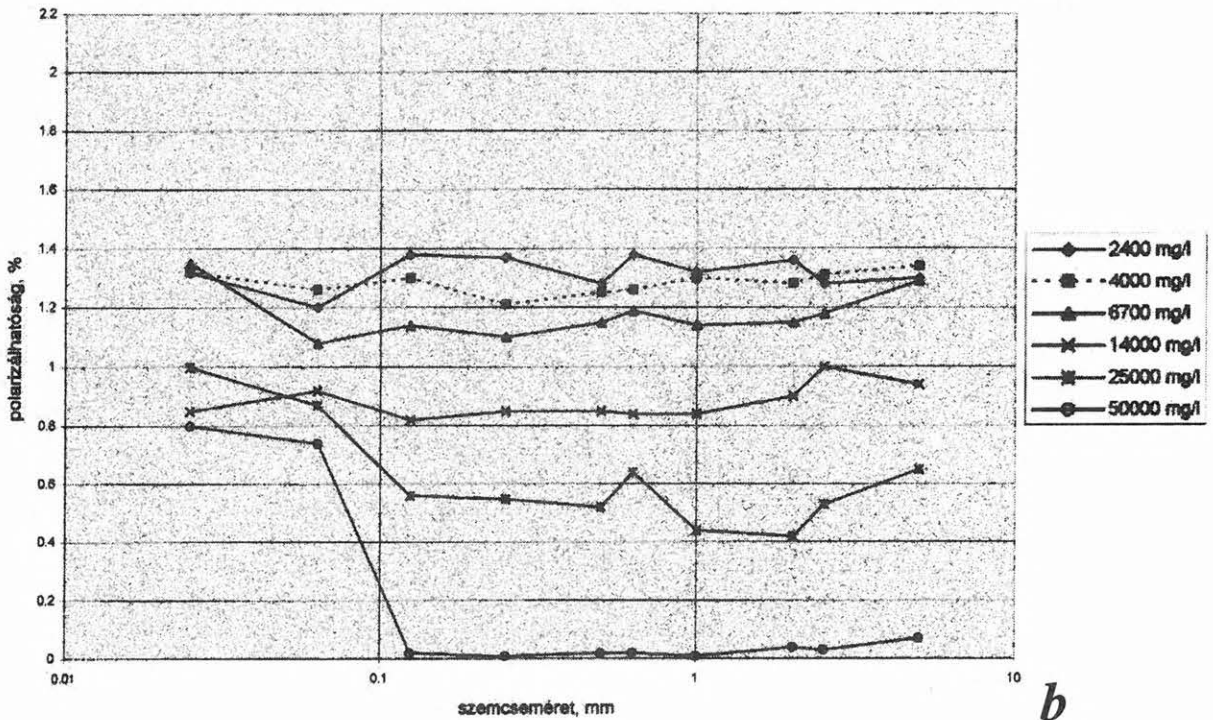
Bár a 0,063 mm alatti szemcseméret-tartomány részletesebb vizsgálatára ebben a projektben nem volt módunk, de az esetleges további vizsgálatok szem előtt tartásával a követendő utat már most is felvázolhatjuk. Az 1. táblázat ugyanis azt mutatja, hogy ebbe a legfinomabb mérettartományba az összes anyagnak csak kevesebb, mint egy százaléka jutott. Márpedig az adott mintatartókkal folytatott kísérletekhez egy-egy szemcseméret-frakcióból legalább 0,5–1 kg anyagra volt szükség. Így tehát az ilyen vizsgálathoz egyrészt sokkal — vagy inkább sokszorta — több anyagot kell előkészíteni Ennek reális módja az lehet, hogy előzetes szitálással már az anyaggyűjtési helyen növelni célszerű a finom frakció arányát. Másrészt az így begyűjtött, viszonylag nagyobb mennyiségű finomszemcsés anyagot nem száraz szitálással, hanem nedves ülepítési eljárással lehet 0,063 mm alatti szemcseméret-tartományokra tovább frakcionálni. Ezek a gondolatok azonban már egy — esetleges — következő tanulmányhoz kapcsolódnak.

7. A polarizálhatóság függése az agyagtartalomtól

Bár sem az OMFb, sem az OTKA szerződésben ilyen feladatunk nem volt, a kísérlet során kis volumenben méréseket végeztünk különböző homok-agyag keverékeken is.



a



b

16/a-b. ábra. Polarizálhatóság a szemcseméret függvényében

Fig. 16/a-b. Polarizability vs. grain size

A minta előkészítése során alkalmazott száraz szitálási eljárás révén ugyanis a homokban található természetes agyagtartalom jórészt a legfinomabb szemcseméret-frakciókba kerül, ezért ezeknél a mintáknál a finom szemcsézettség és az agyakok hatása együttesen érvényesül.

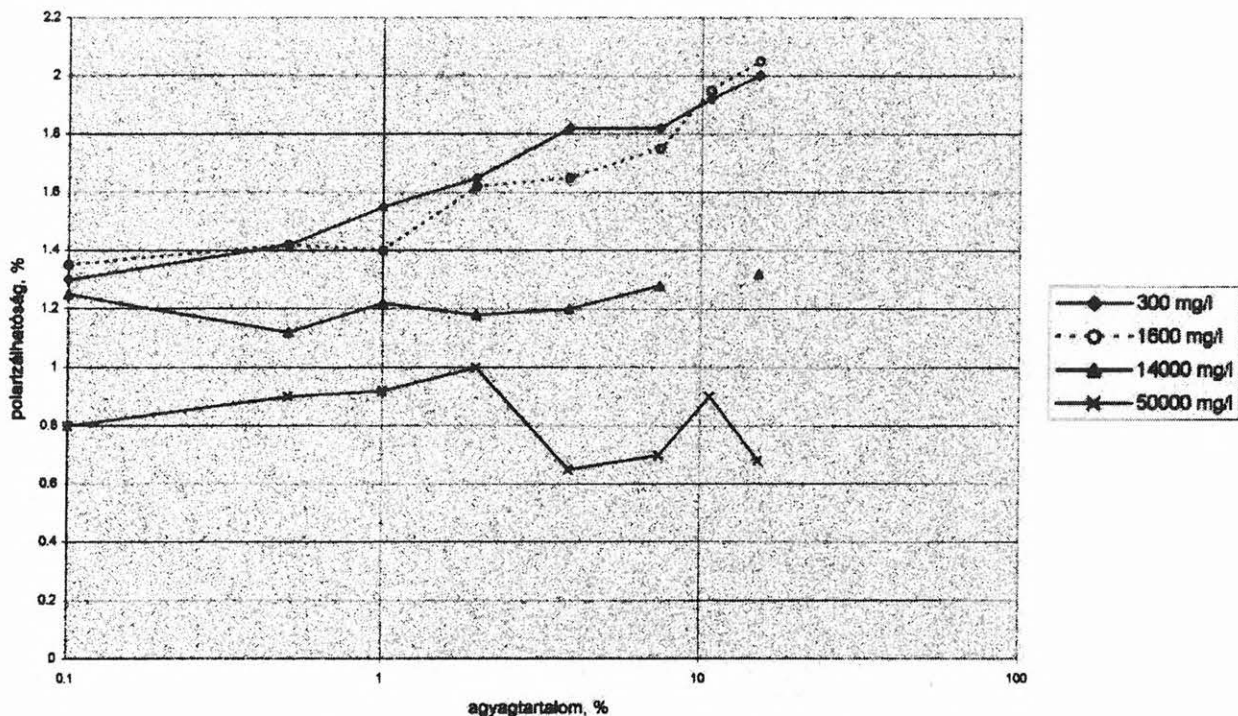
A GP szakirodalma eléggé egységes abban, hogy mind a tiszta agyakokra, mind pedig a tiszta homokokra kis, a homok-agyag keverékekre pedig az agyag fajtájától és százalékos mennyiségétől függően viszonylag nagy polarizálhatóság jellemző. A különböző szerzők viszont — nyilván a különböző felszereltség, műszerek, mérési eljárások,

mintaösszetétel, agyagfajták stb. következtében — meglehetősen különböző mértékű agyagfüggést publikáltak. Az általunk ismert két szélső érték: FRISCHKNECHT és KELLER [1970] montmorillonit esetén 1% alatti, illit esetén 2–3%, kaolinit esetén 5–10% agyagtartalom mellett, míg ROY és ELLIOTT [1980] 80%, közelebből meg nem nevezett fajtájú agyag mellett kapott maximális polarizálhatóságot.

A kísérleteink során üveghomok (amelyben a közetliszt és agyag frakció együttesen is kevesebb, mint 0,5%, vagyis gyakorlatilag agyagmentes kvarchomok), valamint illit és montmorillonitot közel azonos arányban tartalmazó szárított-

őrölt agyag felhasználásával 8 különböző, 0 és 15% közötti agyagtartalmú keveréket állítottunk elő. Ezeket a mintákat egyszerűsített sorozatot mértünk, már csak 4 koncentrációval (300 mg/l, 1600 mg/l, 14 000 mg/l és 50 000 mg/l). A mért polarizálhatóságot a minta agyagtartalmának függvényében a

17. ábrán mutatjuk be (az agyagmennyiség tengelyen logaritmikus skálát alkalmaztunk. 0% logaritmus nem értelmezhető, ezért az itt kapott polarizálhatóság értékeket 0,1%-ra vonatkoztatva ábráztuk).



17. ábra. Polarizálhatóság az agyagtartalom függvényében

Fig. 17. Polarizability vs. clay content

A kísérletekből az alábbi következtetéseket vontuk le:

- a kis sókoncentrációk tartományában a diagramok jellegzetesek, az agyagtartalom növelésével a polarizálhatóság — a várakozásnak megfelelően — növekszik;
- közepes és nagy sókoncentrációk esetén a görbék kevésbé jellegzetesek, közel vízszintesek;
- a 0–15% agyagtartományban nem kaptuk meg a várt maximumot.

Méréseinket itt befejeztük, egyrészt, mert ezek a vizsgálatok túlmentek lehetőségeinken és szerződéses kötelezettségeinken, másrészt pedig látható volt, hogy az agyag hatása igen összetett. Valószínű, hogy az agyag, illetve a különböző agyagfélések hatásának megfelelő vizsgálata csak elméleti kutatásokkal is kiegészített és nagyobb mérés mennyiséget felölölő önálló tanulmány keretében végezhető el. Ha ilyen munkára a jövőben sor kerülhet, annak során alacsony sókoncentrációk alkalmazását véljük célszerűnek: részint így jobban közelítjük a természetben előforduló esetek többségét, részint pedig ezek a diagramok várhatóan jellegzetesebbek lesznek, mint a nagy sókoncentrációjú oldatokkal történő átítatás esetén.

Bár az agyagoknak a polarizálhatóságra gyakorolt hatását laboratóriumban csak kevésbé tudtuk vizsgálni, mégis úgy véljük, hogy a terepi mérések során tapasztalt GP-tendenciák nem az agyagok hatásával magyarázhatók. Talajminták ezt igazoló vizsgálatára nem volt módunk, ezért csak közvetett megfontolásokra szorítkozhatunk. A 10. ábrán látható görbék kapcsán agyagtartalom csak a legfinomabb szemcseméret-frakciókban tételezhető fel, a durvább frakciók minden bizonnyal agyagmentesek. A finomabb és a durvább, tehát

föltehetőleg különböző agyagtartalmú frakciókra vonatkozó görbék viszont — számértékbeli kisebb különbségektől eltekintve — *tendenciájukban* teljesen azonosak. Ezért véljük úgy, hogy a koncentráció változásának hatása lényegesen felülmúlja az agyagok esetleges hatását. S mivel a terepi mérésekben kapott GP-tendencia teljesen megegyezik a laboratóriumi tapasztalatokkal, ezért gondoljuk, hogy a terepi anomáliák nem magyarázhatók agyagtartalommal.

8. Összefoglalás

Cikkünk alapvetően porózus minták szemcseméretének és az azokat telítő elektrolit oldott sótartalmának a polarizálhatóságra gyakorolt hatásával foglalkozik. A természetes földtani környezetben a közeg átlagos szemcsemérete olyan külső adottság, amely időben állandó, a szennyezettségtől független. A talajvíz oldott sótartalma viszont olyan mutató, amely egy szennyező forrás környezetében időben is változik, ezért a szennyeződések felszín alatti terjedésének indikátoraként alkalmazható.

Munkánk fő célja az volt, hogy a korábbi terepi méréseink során tapasztalt tendenciát — hogy ti. az ellenállás és a polarizálhatóság eltérő módon reagál a sótartalom változására — laboratóriumi körülmények között vizsgáljuk. Mivel különböző elven működő műszerekkel és különböző időparamétereket alkalmazva az összes vizsgált mintán ugyanazt a tendenciát kaptuk, mint két különböző földtani felépítésű körzetben végzett korábbi terepi vizsgálatainkban, bizvást kijelenthetjük, hogy a porusokat kitöltő sóoldat koncentrációváltozásainak hatása a következő:

- a fajlagos ellenállás a sótartalom növelésével a vizsgált teljes koncentrációtartományban fokozatosan csökken;
- kis sótartalmak esetén a polarizálhatóság alacsony szintről indulva a koncentráció növelésével növekszik;
- a közepes (ezer – néhány ezer mg/l) koncentrációk tartományában a polarizálhatóságnak lapos maximuma van;
- a tízezer – néhány száz tízezer mg/l sótartalmak mellett a koncentráció növelésével a polarizálhatóság igen nagy mértékben csökken.

A fentiek meggyőzően igazolják, hogy a két elektromos paraméter teljesen eltérő módon reagál a sókoncentráció változásaira, vagyis egymástól valóban függetlenek. Több évtizedes általános tapasztalat, amelyen a komplex geofizikai kutatás is alapul, hogy ha egy adott területen két (több) mért paraméter különböző eloszlást mutat, és ha erre a különbözősége elfogadható földtani magyarázatot tudunk adni, akkor sokkal többet tud(hat)unk meg az adott jelenség belső természetéről. A geofizika története azt mutatja, hogy éppen ezek azok a legérdekesebb esetek, amikor olyan lényeges új információkhoz juthatunk, amelyekre csak egyetlen paraméter vizsgálata esetén esélyünk sem lenne, hiszen ez az új információ nem valamelyik mért mennyiséghez, hanem a mért mennyiségek közötti kapcsolathoz kötődik. Részletes kifejtés nélkül, csak felsorolás szinten utalunk néhány példára:

- a Dél-Dunántúl néhány körzetében (legjellegzetesebben Magyarmecskénél) az „elektromos mélységnek” és a „szeizmikus mélységnek” a szokásos mérési-feldolgozási pontatlanságokkal nem magyarázható, igen jelentős eltérése jólvezető (tehát geoelektromos szempontból nem aljzat jellegű) és nagy szeizmikus sebességű (tehát szeizmikus szempontból aljzat jellegű) karbon képződmények elterjedését indikálta [KASSAI 1983];
- egyes mélymedencék (Békési-medence, Kisalföld) területén a gravitációs és tellurikus adatok antikorrrelációja (több 10 mGal amplitúdójú gravitációs maximum a medence központi, legmélyebb részén) a medencék valós mélységviszonyainak megismerése mellett a medencefejlődés modern elméletéhez szolgált bizonyítékul [NEMESI, STOMFAI 1992];
- a Maros hordalékkúpján az azonos ellenállással jellemezhető körzetek polarizálhatóság szerinti jelentős elkülönüléséből arra tudtunk következtetni, hogy az egyes körzetekben levő összes porózus anyag (homok) kevés vastag, vagy sok, egyenként vékony rétegben fordul elő [DRASKOVITS et al. 1990].

Esetünkben az általános megfontolások az alábbi konkrétumokra vezetnek: egyrészt az ellenállás és a polarizálhatóság egyidejű területi mérésével kapott, területileg általában nem egybeeső anomáliák elemzése révén jól elkülöníthetők a szennyező forrás körüli különböző szennyezettségű zónák. Bár a számértékek föltehetőleg helyről helyre változnak, mégis reálisan várható, hogy a szennyezettség mértékére elfogadható becslést lehessen adni. Másrészt időbeli, tehát monitoring jellegű mérések kapcsán egy adott megfigyelési ponton az ellenállás időben folyamatos csökkenése és egyidejűleg a polarizálhatóság kezdeti növekedése, majd tetőzése és megfordulása arra utal, hogy a szennyeződés térbeli terjedése során a megfigyelési ponton áthaladt egy nem túl erős szennyezettségi front. Mindkét esetben lényeges, hogy a polarizálhatóság vizsgálata során a közepes szennyezettség szélsőértékkel jelentkezik, tehát mérés szempontjából ez jóval kedvezőbb eset, mint a mo-

noton változású ellenállás. Ennek következtében mind a szennyezett talajvíz fő szivárgási iránya, mind pedig a szennyezettség mértéke kvalitatív, sőt félkvantitatív módon becsülhető. Ráadásul ezek a becslések a legjobban éppen a viszonylag nem nagy sókoncentrációk tartományában végezhetőek el, aminek eredményeként a tervezett megelőző vagy kárenyhítő intézkedések még a korai fázisban, a súlyosan szennyezett állapot bekövetkezése előtt megtehetőek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Karlsruhe Egyetemnek (Németország) és a MÉV-nek, ill. jogutódának, a Mecsekurán Kft.-nek a kutatási eredmények bemutatásának engedélyezéséért, valamint az OMFB-nek (szerződésszám: 96-97-45-1290) és az OTKÁ-nak (nyilvántartási szám: T 14848) a laboratóriumi kísérletek anyagi támogatásáért.

HIVATKOZÁSOK

- DANKHÁZI Gy. 1998: A kőzetek infrahang-frekvenciás elektromos tulajdonságainak vizsgálata. Magyar Geofizika **39**, OTKA külföldszám, 39–41
- DRASKOVITS P. 1994: Application of induced polarization methods in integrated studies of groundwater exploration and characterization of subsurface contamination. Tucson, Arizona, October 1994. The John S. Sumner Memorial International Workshop on Induced Polarization in Mining and the Environment
- DRASKOVITS P., FEJES I. 1994: Geophysical methods in drinkwater protection of near-surface reservoirs. Journal of Applied Geophysics **31**, 53–63
- DRASKOVITS P., UJSZÁSI J. 1997: Geoelectrical reconnaissance survey between the Rivers Danube and Tisza. Workshop on Groundwater depletion in basin areas: problems arising in the area between the Rivers Danube and Tisza. Budapest, October 1997. Proceedings, 79–80
- DRASKOVITS P., HOBOT J., SMITH B. D., VERŐ L. 1990: Induced polarization surveys applied to evaluation of groundwater resources, Pannonian Basin, Hungary. In: S. H. WARD (Ed), Induced Polarization: Application and case histories. Soc. Explor. Geophys., Tulsa, OK, 379–396
- DRASKOVITS P., HÜBNER K., LAZAR C., MERGELSBERG W., MERKLER G-P., MÜLLER I., STICKEL J. 1993: Geophysical survey in the area of a highly toxic industrial waste deposit. Lausanne, April 1993. International Congress on Environmental Geophysics. Proceedings, 29–30
- DUDÁS J., DRASKOVITS P., HOBOT J. 1994: Fialat üledékek geoelektromos kutatásának módszertani tapasztalatai és alkalmazásuk a Kisalföld kutatásában. Geofizikai Közlemények **39**, 2–3, 95–114
- FRISCHKNECHT F. C., KELLER G. V. 1970: Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon, Oxford, 436–486
- KASSAI M. 1983: A felső karbon elterjedése és nyersanyag-kutatási perspektívái a Dél-Dunántúlon. Földtani Kutatás **XXVI**, 2–3, 53–56
- NEMESI L., STOMFAI R. 1992: Néhány kiegészítés a Békési-medence aljzatának kutatásához. Magyar Geofizika **33**, 2–3, 70–79
- ROY K. K., ELLIOTT H. M. 1980: Model studies on some aspects of resistivity and membrane polarization behaviour over a layered Earth. Geophys. Prospect. **28**, 5, 759–77