

A FELSZÍNI GEOFIZIKAI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A VÍZBÁZISOK KUTATÁSÁBAN ÉS ÁLLAPOTVIZSGÁLATÁBAN

TURAI ENDRE^{1,2}

¹*Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet*

²*Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport*

1. BEVEZETÉS

A tiszta ivóvízkészlet már napjainkban is igen korlátozott mennyiségben található meg a Földön és ennek a megőrzése az emberiség egyik legfontosabb feladata. Hazánkban a felszín alatti vízkészlet kutatása, a vízbázisok védelme, a szennyezések megszüntetése egyre növekvő figyelmet és anyagi forrásokat igényel. A vízkutatást és a vízbázisok védelmét hatékonyan segítik a geofizikai módszerek. A geofizikai módszereknek két nagy csoportját a felszíni és a fúrású geofizikai módszerek jelentik. A felszíni geofizikai módszereknek (KEAREY et al. 2002) kiemelt jelentősége van, mivel ezeknek a módszereknek az alkalmazásával tudjuk költséghatékonyan felkutatni az új felszín alatti vízkészleteket és folyamatosan segíteni a már meglévő vízbázisok állapotvizsgálatát, kimutatni azok esetleges szennyezettségét. A felszíni geofizikai módszerek alkalmazásával tervezhetjük meg a sokkal költségesebb fúrásos feltárást, a termelést és a szennyezésmentesítési beavatkozást. A fúrásos kutatási, beavatkozási fázisokban természetesen a fúrású geofizikai (karotázs) módszerek veszik át a vezető szerepet, mivel a karotázs módszerekkel tudjuk pontosan kijelölni a víztároló rétegek határait és meghatározni azok vízföldtani paramétereit (porozitás, víztelítettség, szivárgási tényező, agyagtartalom stb.).

A felszíni geofizikai módszerek között a szeizmikus mérések (refrakciós, 2D és 3D reflexiós) a szénhidrogénkutatási projektekből megkerülhetetlenek, azonban a költségük a geofizikai módszerek között a legnagyobb (TURAI–VUROM 2013), sokszor 2-3 nagyságrenddel is nagyobb a potenciál módszerek (gravitációs, mágneses, elektromos, elektromágneses) költségénél. A vízkutatásban és a vízbázisvédelemben rendelkezésre álló források jelenleg még jelentősen elmaradnak a szénhidrogénkutatásban felhasználható forrásoktól, ezért a továbbiakban az olcsóbb potenciál módszerek alkalmazhatóságának a vizsgálatára helyezem a hangsúlyt.

2. A FELSZÍNI GEOFIZIKAI MÓDSZEREK VÍZKUTATÁSI ÉS VÍZBÁZIS VÉDELMI ALKALMAZHATÓSÁGA

A reflexiós szeizmikus módszerrel a mechanikai hullámok segítségével világítjuk át a felszín alatti rétegsort. A longitudinális polaritású nyomáshullámok ugyanabban az anyagban gyorsabban terjednek, ezért P (primer) hullámoknak nevezzük őket. A lassabban terjedő S (secunder) hullámok transzverzális – a terjedési irányra

merőleges – rezgések. Ezek az ún. nyíróhullámok azonban a fluid halmazállapotú anyagokban elnyelődnek, ezért a két hullámtípus regisztrálásával elkülöníthetők egymástól a szilárd és a fluid halmazállapotú anyagok. A porozitás és a víztelítettség növekedésével mindkét hullámtípus terjedési sebessége csökken és az S-hullámok elnyelődése (abszorpciója) nő. Az előzőek miatt a reflexiós szeizmikus módszerrel mért P- és S-hullám terjedési sebességek és ezek elnyelődésének a segítségével elkülöníthetők egymástól a különböző anyagú rétegek, meghatározhatóak a rétegek geometriai és anyagi jellemzői. Jól kijelölhetők így a porózus permeábilis víztároló rétegek. A nagy porozitású és nagy víztelítettségű (vízszaturációjú) térrészek a környezetüktől kisebb szeizmikus terjedési sebességgel és nagy abszorpciós tényezővel rendelkeznek, ezért a szeizmikus reflexiós módszer jól alkalmazható a vízkutatásban. Az alkalmazásnak azonban nem elhanyagolható korlátja a mérések magas költsége, ennek következtében a módszer alkalmazása általában csak az 500 méternél mélyebb termálvízvizsgálásban szokásos. Újabban azonban ebben a mélységtartományban is a lényegesen olcsóbb magnetotellurikus (MT) geofizikai módszert alkalmazzák a geotermikus kutatásokban, kombinálva a gravitációs és geomágneses módszerekkel.

A gravitációs és a mágneses módszerek a potenciál módszerek között is kisebb költségűek, mivel ún. passzív módszerek, ahol csak a mérőegységet (reciever) kell megépíteni, ugyanis a természetben meglévő nehézségi és mágneses erőteret mérik. Az izlandi geotermikus projektekben vezető szerepet játszó MT-módszer is passzív elektromágneses (EM) módszer, ahol a természetes EM-tér elektromos és mágneses térkomponenseit regisztráló vevőket (szenzorokat) kell csak megépíteni. A passzív módszerekkel szemben a szeizmikus módszerek ún. aktív módszerek, mivel a módszer alkalmazásához rezgéskeltő eszközöket (adókat) is működtetni kell. Az településeken belül és az épített létesítmények környezetében a rezgésvédelmi szabványok nem teszik lehetővé a robbantásos rezgéskeltést, ezért ezeken a helyeken vibrátoros rezgéskeltést alkalmaznak. Egyetlen vibrátor beszerzési ára több millió USD is lehet, s ezekből az eszközökből a 3D szeizmikus méréseknél több, 3-4 vibrátorból álló csoportot is alkalmaznak. A vibrátorok üzemanyagköltsége szintén igen nagy, 1–10 millió Ft/nap, egy nyolc vibrátort alkalmazó szeizmikus csoport esetében. Az adóoldal mellett hasonló nagyságrendű költsége van a mérőoldalnak (több tízezer csatorna egyidejű rögzítésére alkalmaz szeizmikus műszer, geofonok, összekötő kábelek, akkumulátorok, vonali erősítők, vonali csatlakozók stb.) is. Az előző költségek fedezetét a felszínközeli (<500 m) vízkutató projektek nem képesek finanszírozni, ezért a szeizmikus módszereket az olcsóbb potenciál módszerekkel helyettesítik.

A gravitációs módszerrel a karbonátos, a vulkáni és a metamorf aljzatok térbeli elhelyezkedése jól kimutatható, mivel ezen aljzatok mindegyike lényegesen nagyobb sűrűségű kőzetekből áll, mint a felettük elhelyezkedő üledék. A gravitációs-anómália-térképek főként a nagy mélységű (1000 m alatti) termálvízvizsgálás esetén igen hasznosak a tervezési fázisban, a regionális szerkezeti kép kialakításánál. A felszínközeli vízkutatások esetén ún. mikrogravitációs térképezés szükséges, viszont ezeknek a mérési költsége már lényegesen nagyobb, a sűrű (1-2 méteres)

mérési állomásköz miatt. A mikrogravitációs méréseket csak igen ritkán (kis területen és speciális esetekben) alkalmazzák a vízkutatásban.

A geomágneses (röviden mágneses) módszerek hasonló szerepet töltenek be, mint a gravitációs módszerek. A mágneses módszer is a nagy mélységű kutatások esetében alkalmazható a regionális szerkezeti kép megalkotása és a regionális aljzatkövetés céljából. A mágneses módszerek nagy előnye, hogy egyre nagyobb terület esetében rendelkezünk légi mágneses térképekkel, s ezek pontosítása földi mágneses mérésekkel lényegesen kisebb időigényű, mint a gravitációs térképezés esetén. A karbonátos aljzatok (mészkö, dolomit) nem mágnesezhetőek, míg a felettük elhelyezkedő üledék a vastartalom miatt nagyobb mágnesezhetőséget mutat, ezért a mágneses anomáliák az aljzatot fedő üledékvastagsággal jól korrelálnak. A vulkáni és a metamorf aljzatok esetében azonban maga az aljzat is mágnesezhető lehet a bázikus kőzeteket tartalmazó aljzatok esetében. Ilyen aljzatok felett a mágneses térképek a szerkezeti határok (vetők, képződményhatárok) kimutatást segíthetik.

A potenciál módszerek között a fajlagos ellenállásmérő (egyenáramú – DC, váltóáramú – AC, vagy EM) módszerek, az Indukált Polarizáció (IP) módszerek és a nukleáris mágneses rezonancia (NMR) módszerek kiemelt jelentőségűek a vízkutatásban és a vízbázisok védelmében. Az *1. táblázat* mutatja be ezeknek a módszereknek a rendszerét, a tér eredete (aktív – ekkor mi hozzuk létre a teret, nekünk kell az adóegységet is megvenni, vagy megépíteni; passzív – amikor csak a vevőegységet kell alkalmazni, mivel a teret nem mi hozzuk létre, azt vagy a természet vagy pedig valaki más megteszi helyettünk) és a tér frekvenciája szerint. A táblázatban látható, hogy igen sok módszerváltozat áll rendelkezésünkre, mind az idő-, mind pedig a frekvenciatartományban, ami lényegesen megkönnyíti a projektek tervezését.

Az NMR-módszerek az 1990-es évek végétől kezdődően egyre intenzívebben terjednek el a felszínközeli vízkutatásban, főleg a folyóteraszokon történő vízkutatások esetében. A legújabb NMR-műszerek már a porozitás és a víztelítettség számszerű kimutatására is képesek, nagy kár, hogy a kutatási mélységük csak néhányszor 10 méter.

Az NMR-módszernél az adó egy vertikális tengelyű tekercs vagy hurok, melybe a hidrogénatom rezonanciafrekvenciájára hangolt váltóáramot vezetnek, ami mágneses teret hoz létre. A gerjesztő mágneses tér a hidrogénatomokat rezonanciába hozza, s ezek másodlagos mágneses teret keltenek. A gerjesztés kikapcsolása után az adótekercsben a másodlagos mágneses tér elektromos teret indukál, s ez az indukált elektromos tér – melynek nagysága a víztartalommal arányos – a rezonanciafrekvenciára hangolt tekercsrel mérhető. Az újabb műszerek az adótekercset használják a gerjesztés kikapcsolása után vevőtekercsként is. A módszer fizikai alapja, hogy a víz hidrogénatomjai külső mágneses tér hatására karakterisztikus frekvenciájú mágneses teret hoznak létre, ami a vevőtekercsben elektromos teret indukál.

A fajlagos ellenállásmérő módszerek között elsőként az 1930-as években az egyenáramú módszerek (DC) terjedtek a földtani kutatások területén. Ezeknek a módszereknek a változatai a Vertikális Elektromos Szondázás (VESZ), a Horizontális Elektromos Szelvényezés (HESZ) és a kettő kombinációja, a multielektródás

műszerekkel mérhető bemerülő DC-tomográfia. A fajlagos ellenállásmérések kiválóan alkalmazhatóak mind a felszínközeli, mind a nagy mélységű vízkutatásban, mind pedig a vízbázisok szennyezettségének kimutatása esetén. A természetben ugyanis az elektromos vezetés ionos formája valósul meg a víztárolókban, amikor a pórufolyadék (pórúsvíz) disszociált iontartalma vezeti az elektromos áramot.

1. táblázat

Az elektromágneses módszerek rendszere a tér eredete és frekvenciája szerint

		Passzív gerjesztésű (Természetes áramterű)	Aktív gerjesztésű (Mesterséges áramterű)
Egyenáramú, $f = 0$ (DC, geoelektromos)		Természetes potenciál (SP)	ρ_a mérő módszerek (VESZ, HESZ), töltött test módszerek
Elektromágneses, $f \neq 0$ (AC, váltóáramú)	Időtartománybeli (TD)	–	Tranziens módszer (TDEM), időtartománybeli GP (TDIP)
	Frekvencia-tartománybeli (FD)	Tellurika (TT), Magnetotellurika (MT), VLF	Dipól frekvenciaszondázások (DFS): Maxi Probe, CSAMT, Melos, Melis; frekvencia-tartománybeli GP (FDIP); indukciós módszerek (EM31, EM34); audiomagnetotellurika (AMT), rádiófrekvenciás módszerek; [VLF], Nukleáris Mágneses Rezonancia módszer (NMR), georadar (földradar)

Minél nagyobb a vízszaturáció és az ionkoncentráció, annál kisebb a fajlagos ellenállása a víztároló kőzeteknek (üledékes homokos-kavicsos tárolók és repedezett karbonátos, vulkáni, vagy metamorf tárolók). A vizet nem tartalmazó kőzetek fajlagos ellenállása természetesen sokkal nagyobb, kivéve, ha ezek a kőzetek elektronosan vezető részeket (ércek és grafit) vagy nedves agyagos betelepüléseket tartalmaznak. A vízbázisok kémiai szennyeződése esetén jelentősen megnő a pórúsvíz ionkoncentrációja, ami a fajlagos ellenállás csökkenését eredményezi. A szennyezetlen karsztvizek fajlagos ellenállása 20–30 ohm közötti, míg az ettől kisebb fajlagos ellenállásértékek arányosak az ionos szennyezettség fokával. A diszperz agyagtartalom szintén rontja a vízminőséget, mivel az agyagásványok felülete negatív elektromos töltésű, ami megköti (abszorbeálja) a pozitív töltésű szennyező ioncsoportokat, s e mellett természetesen csökkenti az effektív porozitást is. A felszínközeli üledékes rétegsorokban történő vízkutatások estében a jó minőségű víztároló

rétegeket mindig a környezetüktől nagyobb fajlagos ellenállású térrészekben kell keresni (kijelölni). A DC-módszerek földtani korlátja, hogy az egyenáram nem képes behatolni a nagy fajlagos ellenállású (kvázi szigetelő) rétegek alá, így ezekkel a módszerekkel nem tudjuk kimutatni a nagy fajlagos ellenállású vékony rétegek (száraz homokkő, mészkő) alatti víztároló szerkezeteket.

Az előző problémát a váltóáramú (AC, EM) módszerek alkalmazásával azonban meg lehet oldani, mivel az elektromágneses terek az elektromosan szigetelő rétegeken energiacsökkenés (amplitúdó-csökkenés) nélkül haladnak át, így képesek kimutatni a szigetelő rétegek alatti víztároló térrészeket. A váltóáramú módszerek előnye még a kifejlesztett módszerek sokszínűsége és az, hogy a nagy kutatási mélységek (termálvíz kutatás) esetén nem kell több km hosszúságú tápkábeleket alkalmazni, mivel az EM-tér frekvenciájával szabályozhatjuk (a nagyobb hullámhosszú, kisebb frekvenciájú terek mélyebbre hatolnak) a kutatási mélységtartományt. Meg kell említeni azonban, hogy a váltóáramú geofizikai módszerek a jó elektromos vezető (kis fajlagos ellenállású) rétegek alá nem képesek belátni, mivel az EM-terek a jó vezetőkben elnyelődnek, ezért a fedőbeli kis fajlagos ellenállású rétegek (nedves agyagok) alatti rétegsort az egyenáramú módszerek alkalmazásával lehet kutatni. Az előzőekben leírtakból következik, hogy a vízkutatásban a DC és az AC EM geofizikai módszerek kölcsönösen kiegészítik egymást.

A vízbázisok állapotvizsgálatánál a szennyezettség kimutatását a fajlagos ellenállásmérő módszerek mellett főleg az IP idő- és frekvenciatartománybeli módszerek segítik, mivel az IP-módszer ionos és fémes szennyezésre való érzékenysége a felszíni geofizikai módszerek között a legnagyobb. A természetben mérhető IP-anomáliák a 2. táblázatban látható polarizációk miatt alakulnak ki.

2. táblázat

A polarizáció típusai és földtani okai

A polarizáció típusa	A polarizáció földtani okai
<i>filtrációs polarizáció</i>	Elektromosan vezető fluidumot tartalmazó porózus talajok és kőzetek.
<i>membrán polarizáció</i>	Vizet és diszperz agyagszemcséket tartalmazó porózus talajok és kőzetek.
<i>redox (elektrokémiai) polarizáció</i>	Oxidatív, vagy redukzív hatású kémiai szennyezések.
<i>fémes kontakt polarizáció</i>	Fémesen (elektronosan) vezető anyagok (fémek, fém sók, fémoldatok, szén és grafit, elektronosan vezető szerves anyagok) található ionosan vezető fluidumot tartalmazó kőzetekben.
<i>dielektromos kontakt polarizáció</i>	Elektromosan rossz vezető anyagok (finomszemcsés műanyagok, aromás diszperz szénhidrogén származékok, elektromosan szigetelő szerves anyagok) található ionosan vezető fluidumot tartalmazó kőzetekben.

A nedvesség és a diszperz agyagtartalom miatt fellépő filtrációs és membrán polarizáció időállandója sokkal kisebb (általában 1 s alatti), mint a veszélyes kémiai és fémes-fémsós, valamint olajszennyeződés hatására kialakuló redox, fémek kontakt, illetve dielektromos kontakt polarizáció időállandója, ezért a növekvő időállandójú IP-anomáliák a környezetre veszélyes szennyezéseket jeleznek.

A fajlagos ellenállásmérések és az IP-mérések együttes alkalmazásával eredményesen megoldhatók a kis és közepes mélységű (< 500 m) vízkutatási feladatok. Draskovits a Maros, a Körösök és a Dráva hordalékkúpjain végzett vízkutatásoknál (DRASKOVITS 2000) azokon a helyeken jelölte ki a víztermelő fúrásokat, ahol a fajlagos ellenállás értékek a környezetükhöz képest maximumot, az IP-tölthetőségek pedig minimumot mutattak. A kis fajlagos ellenállású és nagy IP-tölthetőségű helyeket viszont kizárta a víztermelésre alkalmas területekből.

A kutatási mélységintervallumban megjelenő vetők és repedések kimutatását a direkt vetőindikátornak számító vertikális mágneses térerősség komponens (H_z) mérését lehetővé tevő EM-módszerek (VLF, audiomagnetotellurika) alkalmazásával lehet megvalósítani. Ezek a vetők és repedések a felszín közelébe hozhatják a mélyebb rétegekben megtalálható vízkészletet.

A vízbázisok szennyezettsége szintén kimutatható a fajlagos ellenállásmérő és az IP-módszerek együttes alkalmazásával, mivel a szennyezettség mértéke a fajlagos ellenállás csökkenésével és az IP-jel növekedésével arányosan nő.

A szennyezettség fokának a becslésére vezettem be (TURAI 2011) a WAV (Weighted Amplitude Value) és korrigált látszólagos vezetőképesség paramétereit. A WAV paraméter a mért időtartománybeli (TDIP) lecsengési görbe TAU transzformációjával (TURAI 1985) kapható időállandó spektrum ($w(\tau)$) és az időállandó (τ) szorzata:

$$\text{WAV} = \tau \cdot w(\tau) .$$

A WAV-paraméter a környezetre veszélyes kémiai, fémes-fémsós és olajszennyezések hatását emeli ki, mivel ezek időállandója 1 másodpercnél nagyobb és csökkenti a vizesedéshez és diszperz agyagtartalomhoz kötődő – 1 s alatti időállandójú – polarizációk súlyát. A paramétert az 1990-es évektől több mint félszáz külföldi és hazai szennyezett terület vizsgálatánál alkalmaztuk. A terepi vizsgálatok alapján alakítottuk ki az alábbi gyakorlati skálát (TURAI 2004) a szennyezettség fokának a becslésére:

WAV < 0,02 (2%)	– a terület nem szennyezett,
0,02 (2%) < WAV < 0,05 (5%)	– a terület gyengén szennyezett,
0,05 (5%) < WAV < 0,1 (10%)	– a terület közepesen szennyezett,
0,1 (10%) < WAV < 0,2 (20%)	– a terület erősen szennyezett,
0,2 (20%) < WAV	– a terület igen erősen szennyezett.

A korrigált látszólagos vezetőképesség paraméter ($\sigma_{corr}(\tau)$) a mért látszólagos vezetőképesség (σ_a) és az időállandó spektrum ($w(\tau)$) szorzata. A paraméter az ionos szennyezettséggel arányosan növekszik és a terepi mérések azt mutatják, hogy az

50–100 milliSiemens/méter (mS/m) feletti értékek már az ionos szennyezettség megjelenését jelzik.

A felszíni geofizikai módszerek között a radiometriai (természetes gamma és spektrális gamma), valamint a termikus módszereknek nincs számottevő alkalmazási lehetősége a vízkutatás területén.

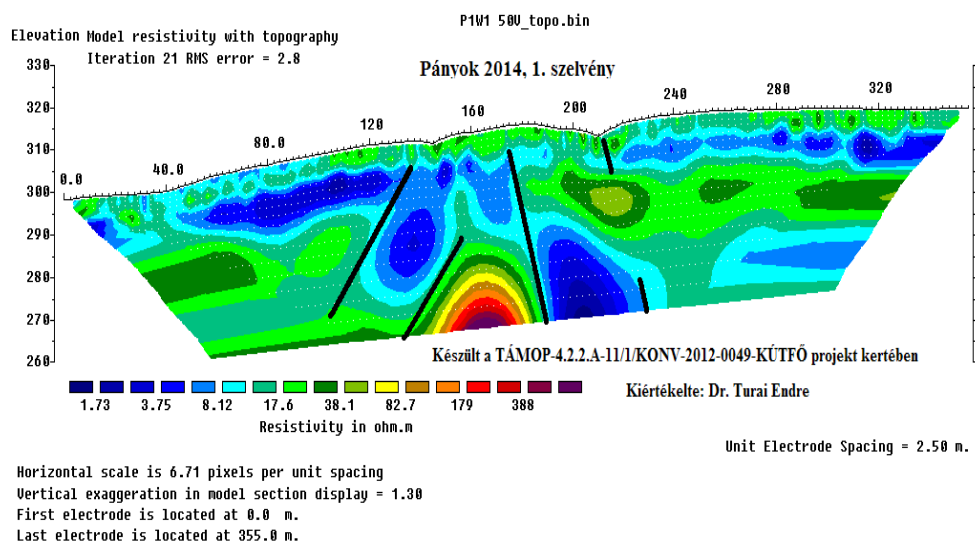
3. NÉHÁNY VÍZKUTATÁSI TEREPI PÉLDA

A fejezetben néhány az általam irányított eredményes vízkutatási projektből mutatok be szemelvényeket.

Az alsópáhoki Kolping Családi Hotel termálvízellátását biztosító fúrás kijelölését felszíni potenciál módszerek alkalmazásával oldottuk meg (TURAI 1999 és TURAI 2000). A kutatási koncepció keretében olyan, az 1000 m-től mélyebb víztároló rétegeket elmentsző és a felszín közelében is kimutatható mélyvetőket kerestünk, amely vetők mentén feljut a termálvíz a felszín közelébe. A kutatásokhoz mágneses, pole-pole elrendezésű DC és AC fajlagos ellenállás méréseket, IP-szondázásokat és VLF elektromágneses térképezést alkalmaztunk.

A 2010-es évek közepén a KÚTFŐ TÁMOP-projekt keretében a Hernád vonal mentén, több helyen (Pányok, Korlát, Abaújszántó, Szerencs) sikerült a felszíni geofizikai mérésekkel kimutatni azokat a mélytöréseket, amelyek a felszín közelébe hozzák a meleg vizet.

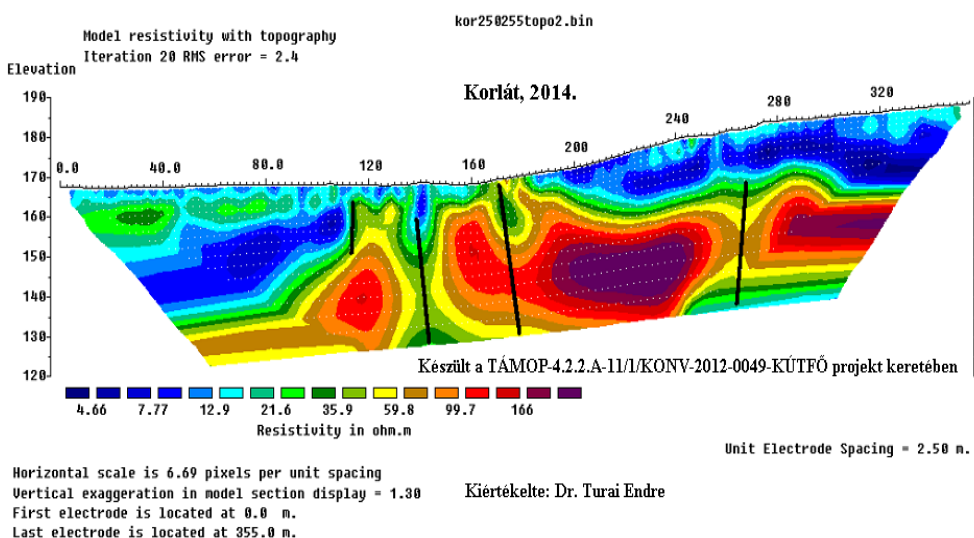
Pányokon fajlagos ellenállás és IP-tomográfiát alkalmaztunk a kutatás keretében. Az *1. ábra* az egyik vertikális fajlagos ellenállás szelvényt mutatja, amelyen bejelöltem a felszín közelében megjelenő vetőket. Ezek a vetők táplálják az egyik panzió kútjának 30 fok feletti hőmérsékletű vizét.



1. ábra: A fajlagos ellenállás vertikális eloszlásképe a Pányok 1. szelvény alatt a vetők (fekete vonal) bejelölésével

A Korlát község területén létesített vízmű pozitív kútjának a vizét szintén a mélytörések hozzák a felszín közelébe. Ezt, a területen 2014-ben elvégzett fajlagos ellenállás és IP-tomográfiával, valamint VLF-mérésekkel is igazoltuk. A 2. ábrán a kút közelében felvett vertikális fajlagos ellenállás szelvény látható, a vetőhelyek megjelölésével.

A KÚTFŐ projekt keretében Szerencsen végzett kutatás (GYULAI et al. 2017) célja az volt, hogy az önkormányzat részére kijelöljük egy melegvizet adó fúrás helyét. A kutatási területet a légi mágneses térképek alapján határoztuk le. A kutatás keretében földi mágneses, VLF- és VESZ-méréseket alkalmaztunk. A területen 22 ponton mértünk VESZ-görbét ($AB_{\min} = 3,2$ m, $AB_{\max} = 2000$ m). A VESZ-mérések 2,5 D területi inverziós kiértékelésével meghatároztuk a vulkáni aljzat mélységtérképét (3. ábra), az üledék vastagság térképét és ezen belül a víztartalmú réteg vastagságtérképét (3. ábra). Ezeket a térképeket felhasználva tettünk javaslatot a fúrás helyére.

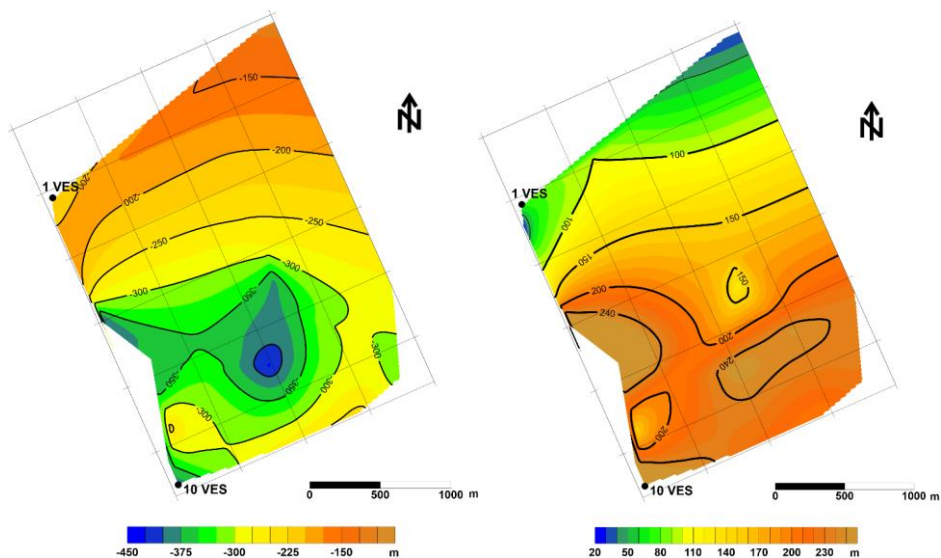


2. ábra: A fajlagos ellenállás vertikális eloszlásképe a Korlát 1. szelvény alatt a vetők (fekete vonal) bejelölésével

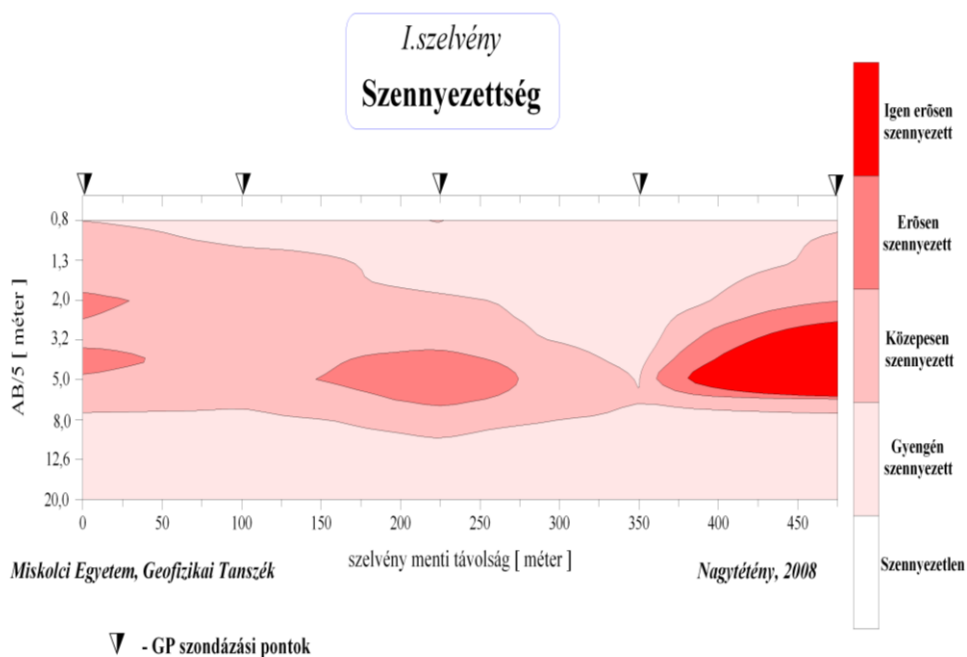
4. VÍZBÁZISOK SZENNYEZETTSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Ebben a fejezetben, a több mint félszáz eredményes terepi alkalmazás közül három hazai területről mutatok be néhány szennyezettséggel arányos szelvényt.

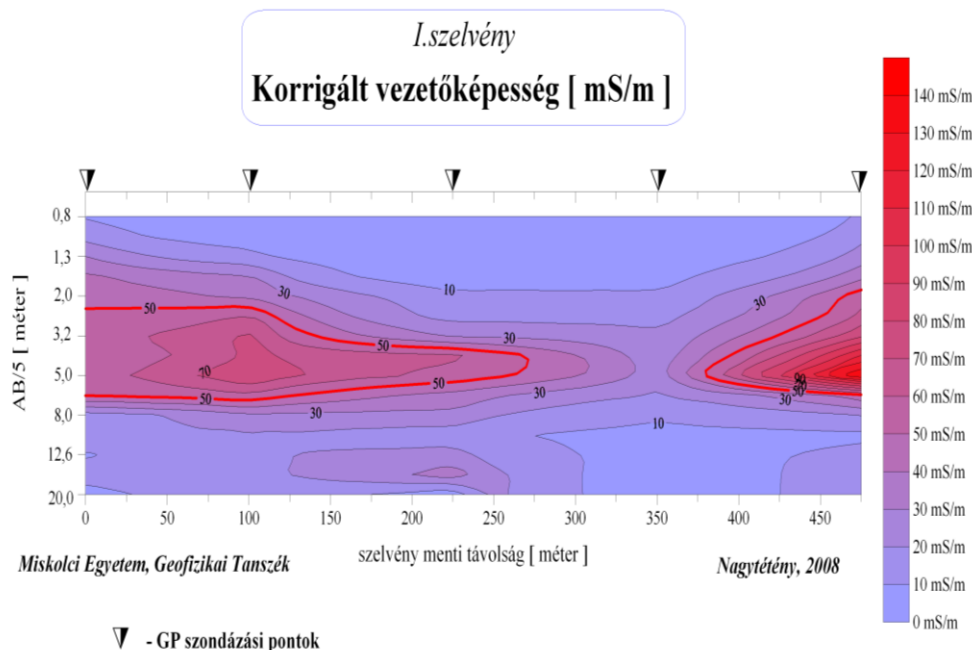
A nagytétényi kommunális hulladéklerakó a Duna vízbázisa felett helyezkedik el. A hulladéklerakó területén végzett VESZ- és IP-szondázások eredményeiből számítottuk ki (TURAI és társai 2010) a szennyezettséggel arányos paraméterek mélységi eloszlásait. A 4. ábra a WAV-paraméter, az 5. ábra pedig a korrigált látszólagos vezetőképesség vertikális metszetét mutatja. Mindkét ábra alapján megállapítható, hogy a hulladéklerakó erősen szennyezi a Duna vízbázisát.



3. ábra: A vulkáni aljzat mélységtérképe (balra) és a víztartalmú üledék vastagság térképe (jobbra) a szerencsi kutatási területen



4. ábra: Nagytétényi kommunális hulladéklerakó felett számított vertikális WAV-metszet (Forrás: TURAI és társai 2010)

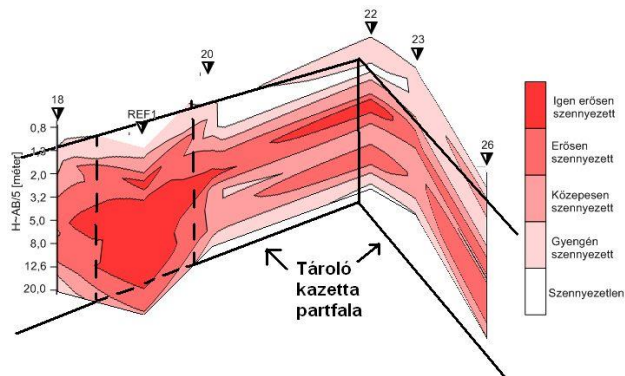


5. ábra: A korrigált fajlagos vezetőképesség vertikális metszete a nagytétényi kommunális hulladéklerakó felett
(Forrás: TURAI és társai 2010)

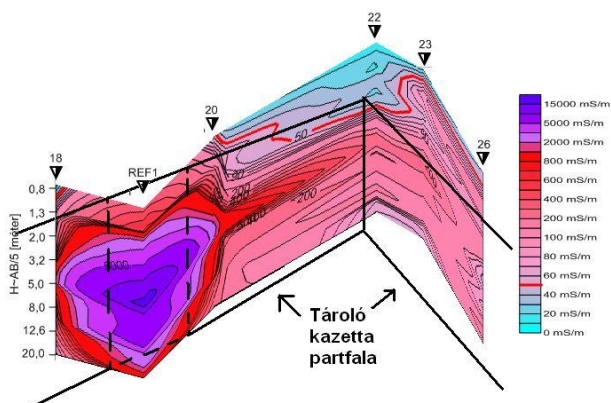
Az Almásfüzitő mellett található vörösiszap-tározók környezetében végeztünk – a VESZ- és az IP-mérések alkalmazásával – szennyezettség térképezést a KÚTFŐ projekt keretében (TURAI és társai 2016). A legnagyobb tározókazetta északi és keleti gátja mellett meghatározott WAV-paraméter eloszlása látható a 6. ábrán.

A 6. ábrán feltüntettük a tározókazetta partfalát, és a REF1 szondázási pont helyzetét. A REF1 ponton a VESZ- és az IP-referencia szondázásokat a megszilárdult vörösiszapon mértük, így az ábra egyértelműen jelzi, hogy a szennyezés a gáttest alatt kijut a tározókazettából. Ugyanezt a hatást állapíthattuk meg a korrigált látszólagos fajlagos ellenállás eloszlása (7. ábra) alapján is.

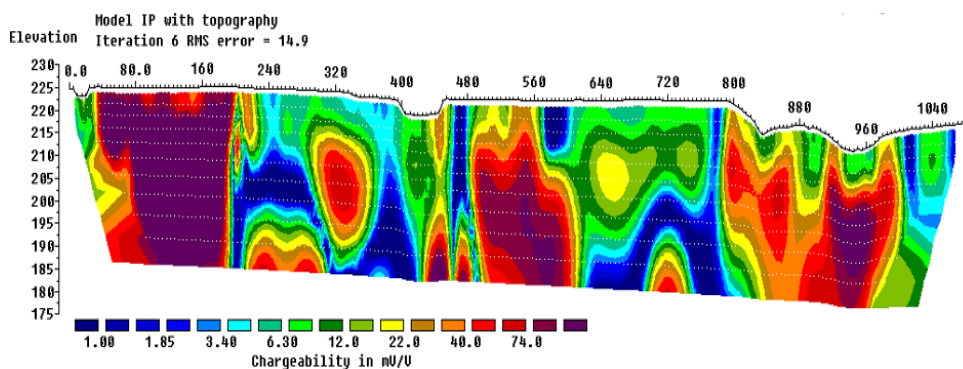
Az Abasár település északi részén lévő vízkutakban kimutatott klórozott szénhidrogén-szennyezést mágneses télerősség és mágneses gradiens térképezés, VESZ- és IP-szondázások, valamint fajlagos ellenállás és IP-tomográfia alkalmazásával térképeztük fel és kimutattuk a szennyezés területi elterjedését. A kutatás első fázisát 2013 őszén a KÚTFŐ projekt keretében kezdtük el, ezt követően pedig, a kutatás részletes fázisát a Miskolci Egyetem Geofizikai és Térinformatikai Intézete meghívásos pályázat keretében nyerte el és 2014 tavaszán fejezte be (TURAI 2014). A 8. ábrán bemutatott IP-tölthetőség mélységi eloszlásképen a vörös színárnyalatú (40 mV/V feletti) részek mutatják a szennyezés elterjedését.



6. ábra: A WAV-paraméter mélységi eloszlása a REF1 referenciapontot tartalmazó III. szelvény alatt (Forrás: TURAI és társai 2016)



7. ábra: A korrigált fajlagos vezetőképesség mélységi eloszlása a REF1 referencia pontot tartalmazó III. szelvény alatt (Forrás: TURAI és társai 2016)



8. ábra: Az IP tölthetőség vertikális eloszlása Abasáron, a 2.c szelvény alatt (Forrás: TURAI 2014)

5. JAVASLAT A VÍZKUTATÁSBAN ÉS A VÍZBÁZISVÉDELEMBEN ALKALMAZHATÓ GEOFIZIKAI MÓDSZER-EGYÜTTESEKRE

A felszínközeli vízkutatás esetében a fajlagos ellenállásmérő (DC, ha elektromosan jóvezető réteg található a kutatási mélységtartományban; AC EM, ha nagy fajlagos ellenállású réteg van a kutatási mélységintervallumban) módszerek és az IP-módszer együttes alkalmazása ajánlott, kiegészítve földi mágneses mérésekkel.

A nagyobb (>500 m) kutatási mélységek esetében a kutatást, a meglévő gravitációs és légi mágneses térképeket felhasználva, a fajlagos ellenállásmérő (DC és AC, kiemelten az MT) módszerek alkalmazásával lehet megoldani. Amennyiben pénzügyi forrás rendelkezésre áll, úgy a 2D-3D reflexiós szeizmikus kutatás felhasználása is célszerű.

Mindkét kutatási mélységtartomány esetében célszerű a H_z elektromágneses térkomponens mérését lehetővé tevő EM-módszerek (VLF, MT, audio MT) alkalmazása a vetők és a repedések kimutatására.

A kis és közepes mélységű (<500 m) vízbázisok szennyezettségének kimutatására és a szennyezettség fokának becslésére az IP- és a fajlagos ellenállásmérő módszerek együttes alkalmazása, valamint a szennyezettséggel arányos paraméterek számítása javasolt.

6. ÖSSZEGZÉS

A tanulmány a felszíni geofizikai módszerek alkalmazási lehetőségét elemezte a vízkutatás és a vízbázisok állapotvizsgálata területén. Kitért az egyes módszerekkel meghatározható földtani-vízföldtani paraméterekre. Röviden vizsgálta az egyes geofizikai módszerek felbontását és az általuk meghatározható vízföldtani paraméterek pontosságát. Néhány sikeres terepi kutatási példát mutatott be geoelektromos és az elektromágneses geofizikai módszerek alkalmazásaiból. A vízbázisok állapotvizsgálatával kapcsolatosan kitért a szennyezettség típusainak és a szennyezettség mértékének a geofizikai meghatározási lehetőségeire. A szennyezettség mértékének számszerű becslésére a geoelektromos módszerekkel (fajlagos ellenállás mérés és indukált polarizáció – IP) mérhető paramétereket vezetett be, alátámasztva eredményes kutatási példákkal. Az egyes módszerek alkalmazási költségeit is figyelembe véve, a dolgozat ajánlásokat tett a vízföldtani feladatok gyakorlati megoldásához költséghatékonyan alkalmazható geofizikai módszer-együttesekre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a GINOP-2.3.2-15-2016-00031 *INNOVÍZ – Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében* projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- DRASKOVITS P. (2000): *A gerjesztett polarizációs módszer nem ércutatási célú alkalmazásai*. PhD-értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- GYULAI, Á.–SZŰCS, P.–TURAI, E.–BARACZA, M. K.–FEJES, Z. (2017): Geoelectric Characterization of Thermal Water Aquifers Using 2.5D Inversion of VES Measurements. *Surveys in Geophysics*, 38 (2), 503–526.
- KEAREY, P.–BROOKS, M.–HILL, I. (2002): *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Publishing Company, Oxford.
- TURAI, E. (1985): TAU-Transformation of Time-Domain IP Curves. *Annales Univ. Scien. Budapestinensis de Rolando Eötvös Nom.* I–II. 182–189.
- TURAI E. (1999): *Alsópáhoki vetőkutatás geofizikai módszerekkel*. Kutatási jelentés, Miskolci Egyetem, megbízó: Kolping Családi Hotel Kft, 1–55.
- TURAI E. (2000): *Geofizikai módszerekkel végzett vetőkutatás Alsópáhokon*. Kutatási jelentés, Miskolci Egyetem, megbízó: Kolping Családi Hotel Kft, 1–64.
- TURAI, E. (2004): IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra. *Geophysical Transactions*, 44, 301–312.
- TURAI E.–DORÓKA M.–HERCZEG Á. (2010): Sorfejtéses inverzió III.: Gerjesztett polarizációs adatok inverziós feldolgozása. *Magyar Geofizika*, 51 (2), 88–98.
- TURAI, E. (2011): Data Processing Method Developments using TAU-transformation of time domain IP data. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 46 (4), 391–400.
- TURAI E.–VUROM B. (2013): Az IP módszer alkalmazási lehetőségei a vízbázis-védelem területén. *IX. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia*, Miskolc, 237–242.
- TURAI E. (2014): *Abasár környéki szennyezett talaj- és talajvíz tényfeltárásával kapcsolatos geofizikai munkák*. Kutatási jelentés, Miskolci Egyetem, Miskolc.
- TURAI E.–NÁDASI E.–SZILVÁSI M. (2016): A geoelektromos geofizikai módszerek terepi alkalmazásának új eredményei a környezetvizsgálatok területén. In: BODZÁS S. (szerk.): *Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016*. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 680–689.