

# VESZ kiértékelési eredmények és a rétegsor hidrogeológiai jellemzőinek regressziós vizsgálata a Szigetközben és Békésben<sup>1</sup>

OCSENÁS PÉTER<sup>2</sup>

A vertikális elektromos szondázás (VESZ) a hidrológiai célzatú geofizikai kutatások hatékony módszere.

A tanulmányban a VESZ során meghatározott fajlagos elektromos ellenállás és egyes hidrogeológiai paraméterek (hatékony szemcseátmérő, szivárgási tényező, porozitás és víztelítettség) összefüggéseinek statisztikai analízise szerepel. A statisztikai elemzésekkel megállapítható, hogyan befolyásolják a hidrogeológiai jellemzők az elektromos ellenállás alakulását és mennyiben alkalmazható a mért paraméter a hidrogeológiai paraméterek (kategóriák) becslésére.

A statisztikai módszerek alkalmazásának lényeges eredménye, a két különböző területre érvényes függvénykapcsolatok meghatározása mellett, a hidrogeológiai kategória becslések megbízhatóságának számítása.

**P. OCSENÁS: Results of VES interpretation and regression analysis of the layers' hydrogeological parameters in Békés county and the Szigetköz**

*The vertical electrical sounding is an effective method for hydrogeophysical survey.*

*The relationship between the measured resistivity and hydrogeological parameters (effective grain size, filtration coefficient, porosity and water content) are analysed by statistical methods. Statistical analysis may help in determining whether the measured geophysical parameter can be applied for estimation of hydrogeological parameters (categories).*

*An important result of application of statistical methods is the determination of applicable function for two different area and the calculation of reliability of estimated hydrogeological categories.*

## Bevezetés

Laza üledékes kőzetek hidrológiai, hidrogeológiai célzatú geofizikai kutatásaira jól alkalmazhatók a felszíni geoelektromos módszerek, és ezen belül kiemelkedő a vertikális geoelektromos szondázások (VESZ) szerepe. A szondázások eredményeinek ismeretében a rétegek alapszerkezete meghatározható. A felszínközeli térrészre (felső 20–30 m) vonatkozó VESZ adatok értelmezésében problémát jelenthet a háromfázisú zóna megjelenése. A két- és háromfázisú zóna határának környezetében végzett mérések során a szemcseösszetétel és a pórusfolyadék ionkoncentráció mellett a víztelítettség is a mérési eredményeket befolyásoló paraméterként jelentkezhet.

A tanulmány tárgya a víztelítettség és a szemcseösszetétel VESZ eredményekre gyakorolt együttes hatásának statisztikai elemzése, valamint annak vizsgálata, hogy alkalmasak-e a VESZ adatok egyes hidrogeológiai paraméterek meghatározására.

A statisztikai elemzésekhez kontroll anyagként rendelkezésre álltak a kismélységű vízbázisok veszélyeztetettségének felmérése során alkalmazott geofizikai-földtani módszerek adatai: az elektromos szondázásokkal azonos helyen végzett mérnökgeofizikai szondázások (MGSZ) paraméterei és a szemcseeloszlási vizsgálatok eredményei.

## 1. Hidrogeológiai paraméterek számítása mérnökgeofizikai szondázási és anyagvizsgálati adatok felhasználásával

A paraméterek számításához a kismélységű vízbázisok veszélyeztetettségének meghatározását célzó geofizikai

kutatások adatait [CSALAGOVITS et al. 1993; OCSENÁS 1994] és a mérnökgeofizikai szondázások statisztikai elemzésének eredményeit [OCSENÁS 1996] használtam fel.

### 1.1. Az alapadatok és a származtatott paraméterek ismertetése

A kismélységű vízbázisok veszélyeztetettségének felmérésére alkalmazott geofizikai-földtani módszeregyüttes, valamint az egyes módszerek alapadatai és a hidrogeológiai értelmezéshez szükséges származtatott paraméterek az 1. táblázatban láthatók.

Módszerek	Alapadatok	Származtatott paraméterek
VESZ	szondázási görbe	fajlagos ellenállás ( $R$ ), rétegvastagság ( $h$ )
MGSZ	term. gamma csúcseellenállás gamma-gamma neutron-neutron	víztelítettség ( $s_w$ ) porozitás ( $\Phi$ ) hatékony szemcseátmérő ( $d_h$ )
szemcseeloszlási vizsgálatok	szemcseeloszlási görbe	hatékony szemcseátmérő ( $d_h$ ), szivárgási tényező ( $k$ )

1. táblázat. Az alkalmazott módszerek, mért és számított paraméterek

Table 1. The applied methods, the measured and calculated parameters

A vertikális elektromos szondázások (VESZ) során az árambevezető elektródák különböző távolságaihoz tartozó ellenállás adatokból inverziós eljárással számítjuk a rétegellenállás és a rétegvastagság adatokat. A méréseket 250–300 méteres maximális elektródatávolságokkal, a

<sup>1</sup> Beérkezett: 1998. május 7-én

<sup>2</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23.

szelvény mentén 50–100 méteres ponttávolságokkal végezve, a felső 40–60 m vastagságú összlet fajlagos elektromos ellenállás adatokkal jellemzett alapszerkezete meghatározható. Ennek ismeretében a jellegzetes szakaszokon, illetve változási zónákban jelölhető ki a mérnökgeofizikai szondázások (MGSZ) helyei.

A mérnökgeofizikai szondázás a talajmechanikai vizsgálatokban alkalmazott CPT (*Cone Penetration Test*) és egyes radioaktív karotázs módszerek együttes alkalmazása. 1993-ban öt paraméter detektálására volt lehetőség. Ezek: a rudazat lenyomásához szükséges teljes hidraulikus nyomás, a képződmények törési szilárdságával arányos csúcselellállás (*cp*), természetes gamma aktivitás (*TG*) valamint a rudazatban lejtuttatott gamma-, illetve neutronforrás hatására megjelenő  $\gamma$ - $\gamma$ , illetve *n-n* aktivitás.

A 10 cm-enként elvégzett mérésekből állnak össze a paraméterszelvények. Ahol az előzetesen szűrt mélységszelvényekben egyszerre, ill. közülük az egyikben, meghatározott szakaszon, definiált nagyságrendű változás következik be, ott lesz a mérnökgeofizikai réteghatár. A rétegpáráméter adatok az egyes réteghatárok közötti paraméter értékek átlagaként adódnak. A szondázási adatok alapján meghatározható a (spirálfúróval történő) talajmintavételek mélységei.

A felszínre hozott talajmintákon szemcseeloszlási vizsgálatokat végeztünk.

A kőzet víztelítettsége ( $s_w$ ) és porozitása ( $\Phi$ ) a  $\gamma$ - $\gamma$  és az *n-n* módszerek adataiból becsülhetők [OCSENÁS 1996]. A szemcseeloszlási adatokból a Zamarin-féle hatékony szemcseátmérőt ( $d_h$ ) és a Zamarin–Horváth-összefüggéssel [JUHÁSZ 1987] a

$$k \text{ [cm/s]} = 3500 \frac{\Phi^3}{1-\Phi} (1,275 - 1,5\Phi)^2 d_h^2 \text{ [cm]} \quad (1)$$

szivárgási tényezőt számíthatjuk.

A hatékony szemcseátmérő egyes mérnökgeofizikai szondázási paraméterekkel történő becslésére regressziós vizsgálatok végezhetők a szemcseeloszlási görbe adataiból számított  $d_h$  és az MGSZ adatok felhasználásával [OCSENÁS 1996]. Az elemzéssel a regressziós együtthatók meghatározása mellett meghatározható, hogy mely MGSZ paraméterek alkalmazhatók a  $d_h$  becslésére, valamint a paraméterbecslés hibája is számítható.

### 1.2. A mérési adatok elemzésének eredményei

A szemcseeloszlási és MGSZ adatok regressziós elemzése során a Szigetközben 46, a békési területen 60 szemcseeloszlási görbét és a mintavétel helyén mért MGSZ paramétert vizsgáltam [OCSENÁS 1996].

A Szigetközben  $d_h$  regressziós becslését a csúcselellállás, porozitás és természetes  $\gamma$  aktivitás adatok felhasználásával végeztem. A meghatározott regressziós modell:

$$\lg \hat{d}_h = aTG + bcp + c\Phi + d, \quad (2)$$

ahol

$$\begin{aligned} a &= -8,4797 \cdot 10^{-4} \\ b &= 0,0086 \\ c &= -0,7672 \\ d &= -2,4486 \end{aligned}$$

$\hat{d}_h$  – becsült hatékony szemcseátmérő.

A békési területen  $d_h$  becslésére a szűk határok között változó porozitás és a csúcnyomás adatok nem voltak felhasználhatók, így itt egyváltozós regressziós modellt alkalmaztam:

$$\lg \hat{d}_h = aTG + b \quad (3)$$

ahol

$$\begin{aligned} a &= 7,2958 \cdot 10^{-4} \\ b &= -3,1215. \end{aligned}$$

A regressziós becslések eredményeinek felhasználásával mindkét területen kiszámíthatók az egyes MGSZ mérési pontokhoz tartozó hatékony szemcseátmérő, víztelítettség és porozitás paraméter-mélység szelvények.

## 2. A hidrogeológiai paraméterek és a fajlagos elektromos ellenállás kapcsolata

### 2.1. Laza üledékes kőzetek elektromos vezetésének és szivárgási viszonyainak áttekintése

A vizsgált területeken édesvízzel telített, illetve részben telített agyag- és homoktartalmú rétegek fordulnak elő, így csak az ilyen típusú kőzetek elektromos vezetésének kérdéseire térek ki a továbbiakban.

Az említett kőzetekben a kőzetváz gyakorlatilag szigetelőnek tekinthető, az elektromos vezetést ezért elsődlegesen a pórustér szerkezete és a pórustartalom ellenállása határozzák meg. A pórustartalom ellenállását azonban befolyásolhatja a kőzetmátrix ásványos összetétele: a kvarc-, illetve agyagszemcsék felületén kötött vízburokban eltérőek az ellenállásviszonyok.

Az agyagásványok felülete a kapcsolódó atomok hiánya és az ioncsere folyamatok ( $\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$ ) következtében negatív töltésű, ezért felületükhöz kompenzáló kationok kötődnek. Ezen kationok nem részei a kristálynak, vizes oldatba kerülve leszakadnak az ásvány felületéről, helyükre néhány molekula vastagságú, polarizált vízmolekulából álló réteg kerül (Helmholtz-réteg). A kompenzáló kationok, a Helmholtz-rétegtől távolodva csökkenő koncentrációval, a Gouy-féle diffúz zónában helyezkednek el és hozzáadódva a pórusfolyadék ionjaihoz, csökkentik a kőzet fajlagos ellenállását [CLAVIER et. al. 1984].

Az agyagásványok nagy fajlagos felülete következtében a diffúz zóna a pórustér jelentős hányadát (akár a teljes pórusteret is) elfoglalhatja. A diffúz zóna aránya növekszik a kőzet fajlagos felületének növekedésével.

A vezetési többletet jelentő kompenzáló kationok elektromos vezetést befolyásoló szerepe pórusvízzel telített homokrétegek esetében elhanyagolható. Itt a fázishatáron a kőzetalkotók dielektromos tulajdonságai határozzák meg a potenciálviszonyokat: a vízmolekulák a kvarc- és agyagszemcsék körül jégkristály szerkezetű „klaszter” réteget alakítanak ki [DANKHÁZI 1995]. A klaszter zónában a kötött szerkezet miatt megnő a viszkozitás, ennek következtében csökken az ionmozgékonyosság, nő az elektromos ellenállás. A klaszter zóna aránya a fajlagos felület növekedésével (a porozitás csökkenésével) nő. Felszínközeli, laza homokrétegek azonban többnyire nem olyan kis porozitásúak, hogy a zóna arányának növekedése észrevehetően befolyásolná az ellenállás alakulását.

A vizsgált területeken, az esetek döntő többségében, a kőzet homok- és agyagszemcsék különböző arányú keveré-

kéből épül fel. Az előbbieik alapján a diffúz réteg ellenállást csökkentő szerepe elsődleges, a klaszter zóna ellenállást növelő hatása elhanyagolható.

A Helmholtz-réteg és a diffúz zóna teljes hézagterefogathoz viszonyított aránya a szivárgási viszonyokat is befolyásolja. Az említett térrészben olyan mértékben nő a viszkozitás, hogy a zóna nem vesz részt a pórufolyadék áramlásában, szivárgáshidraulikai szempontból erősen kötött víznek tekinthető. A kötött vízréteg megjelenése csökkenti a pórufolyadék áramlására alkalmas térrész nagyságát, ennek hatására csökken a szivárgási tényező [KOVÁCS 1972].

A szivárgási tényező ( $k$  tényező) fajlagos elektromos ellenállás adatokkal történő becslésének alapja az eddigiek alapján az, hogy a kötött vízréteg aránya mind a szivárgáshidraulikai, mind az elektromos ellenállásviszonyokat befolyásolja [GÁLFI, LIEBE 1981]. (A kötött vízréteg arányát a kőzet fajlagos felülete határozza meg. A fajlagos felületet a szemcseeloszlási görbétől számított hatékony szemcseátmérővel becsülhetjük. Ez, definíció szerint, annak a gömbnek az átmérője, amelyből felépített halmaz fajlagos felülete megegyezik az eredeti halmaz fajlagos felületével.)

Karotázs elektromos mérésekből történő  $k$  tényező becsléseknél figyelembe kell venni, hogy a pórufolyadék ellenállása széles tartományban változhat, és ez jelentősen befolyásolhatja a kőzetellenállást. Ezért itt a kőzetellenállás adatok helyett a formációtényezőt (a kőzetellenállás és a pórufolyadék ellenállás hányadosát) használják a  $k$  tényező becslésére [CSÓKÁS 1994].

Felszínközeli méréseknél feltételezzük, hogy a pórufolyadék ellenállás nem változik a vizsgált területen belül a kőzetellenállás adatokat lényegesen befolyásoló mértékben.

A felszínközeli elektromos adatokat jelentős mértékben befolyásolhatja a háromfázisú zóna megjelenése. Vízzint felett a pórusterben található levegő elektromos szempontból szigetelőnek tekinthető, így arányának növekedése (a víztelítettség csökkenése) növeli a kőzet elektromos ellenállását [GÁLFI 1989].

Összegezve: a két- és háromfázisú zóna határának környezetében az elektromos ellenállást várhatóan a kőzet fajlagos felülete, víztelítettsége, valamint porozitása befolyásolja.

## 2.2. A mérési eredmények statisztikai elemzése

Az elemzést két eltérő felépítésű területen végeztem: a Szigetközben kőzetliszt, homok és kavics, a békési területen agyag, kőzetliszt, homok különböző arányú keverékei fordulnak elő.

A statisztikai elemzések célja, annak eldöntése, hogy egyes területeken mely hatók befolyásolják az ellenállás adatokat. Az elemzéshez rendelkezésre álltak a mérnökgeofizikai szondázásokból számított hatékony szemcseátmérő, a víztelítettség és porozitás paraméter mélységsvérvények, valamint a VESZ rétegegenállás adatai. A statisztikai elemzéshez kiszámítottam az egyes VESZ rétegekhez tartozó átlagos hatékony szemcseátmérő, víztelítettség és porozitás adatokat és ezeket vetettem össze az ellenállás adatokkal.

A regresszió elemzéshez az ellenállás és a hatékony szemcseátmérő adatokat logaritmikus skálán vettem figyelembe (ezen skálán mindkét sűrűségfüggvény hozzávetőleg a normális eloszlást követi).

Vizsgáljuk elsőként a szigetközi ellenállás ( $R$ ), porozitás ( $\Phi$ ), víztelítettség ( $s_w$ ) és hatékony szemcseátmérő ( $d_h$ ) adatok korrelációs mátrixát (2. táblázat).

	$\lg R$	$\Phi$	$s_w$	$\lg d_h$
$\lg R$	1,000	-,221	-,082	,509
$\Phi$	-,221	1,000	-,592	-,854
$s_w$	-,082	-,592	1,000	,585
$\lg d_h$	,509	-,854	,585	1,000

2. táblázat. A szigetközi  $\lg R$ ,  $\Phi$ ,  $s_w$  és  $\lg d_h$  adatok korrelációs mátrixa

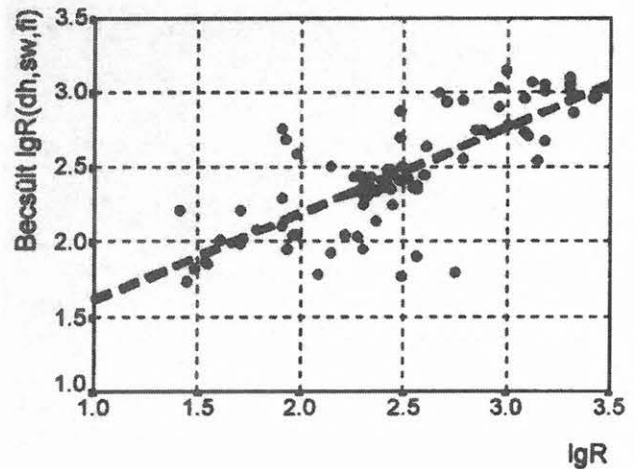
Table 2. Correlation matrix of  $\lg R$ ,  $\Phi$ ,  $s_w$  and  $\lg d_h$  data from area of Szigetköz

A korrelációs együtthatók alapján  $\lg R$ - $\Phi$  és  $\lg R$ - $s_w$  párok korrelálatlannak tekinthetők. Gyenge pozitív korreláció van  $\lg d_h$  és  $\lg R$ , valamint  $s_w$  és  $\lg d_h$  között. A hatékony szemcseátmérő növekedésével emelkedő víztelítettség magyarázata, hogy a területen a vízzint felett (kis víztelítettségű) homok és kőzetliszt (kis hatékony szemcseátmérőjük), vízzint alatt elsősorban kavicsos homok (nagy szemcseátmérőjük) rétegek fordulnak elő.

Gyenge negatív korreláció van  $s_w$  és  $\Phi$ , erős negatív korreláció  $\lg d_h$  és  $\Phi$  között. A szemcseátmérő növekedésével csökkenő porozitás a kavics megjelenésének porozitást csökkentő hatásával magyarázható, az erős korrelációs kapcsolat pedig azzal, hogy a hatékony szemcseátmérő számításához a porozitás adatokat is felhasználtam.

A kőzetparamétereknek az ellenállás adatokra gyakorolt együttes hatását háromváltozós regressziós modellel vizsgálhatjuk (1. ábra):

$$\lg R = a \lg d_h + b s_w + c \Phi + d$$



1. ábra. A hidrogeológiai paraméterekből becsült fajlagos ellenállás és a fajlagos ellenállás összefüggése, a determinációs együttható  $r^2 = 0,5778$  (Szigetközi terület)

Fig. 1. Connection between estimated resistivity (from hydrogeological parameters) and resistivity, the coefficient of determination  $r^2 = 0.5778$  (area of Szigetköz)

A meghatározott korrelációs együttható:  $r = 0,76$ . A szigetközi területen tehát a három kőzetparaméter együttesen jól meghatározza az ellenállás adatokat, további paraméterek (pl. a pórufolyadék ellenállás) hatása nem számottevő.

A békési területen mért kőzetparaméterek közül a porozitás szűk határok között váltakozik, ami a meghatározott

hibahatáron belüli érték [OCSENÁS 1996], így ezen adatok nem szerepelnek a vizsgálatokban.

Az  $lgR$ ,  $s_w$ ,  $lgd_h$  adatok korrelációs mátrixa (3. táblázat) a szigetközitől eltérő képet mutat: igen erős negatív korreláció mutatható ki az ellenállás és a víztelítettség között, gyenge negatív korreláció az ellenállás és a hatékony szemcseátmérő között, míg a hatékony szemcseátmérő és a víztelítettség között nincs korrelációs kapcsolat.

	$lgR$	$s_w$	$lgd_h$
$lgR$	1,000	-,794	,482
$s_w$	-,794	1,000	-,158
$lgd_h$	,482	-,158	1,000

3. táblázat. A békési  $lgR$ ,  $s_w$  és  $lgd_h$  adatok korrelációs mátrixa

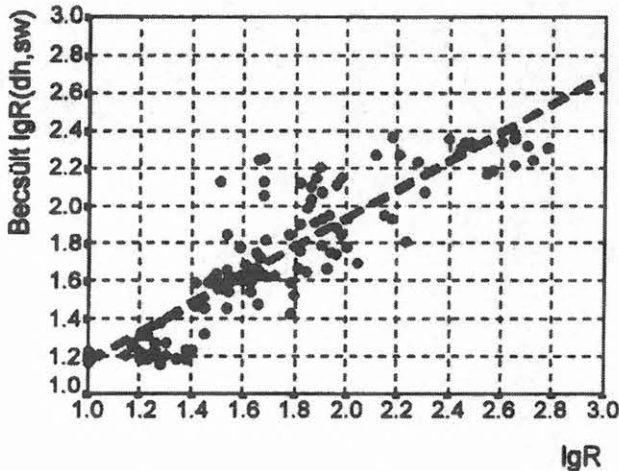
Table 3. Correlation matrix of  $lgR$ ,  $s_w$  and  $lgd_h$  data from Békés county

A két területen eltérő korrelációs kapcsolatok magyarázata, hogy az ellenállás és a hatékony szemcseátmérő adatok más (a békési területen valamivel szűkebb) értéktartományt fednek le. Például Békésben, az előzetes információkat igazolva, erős negatív korreláció van az ellenállás és a víztelítettség között, a Szigetközben a nagy ellenállású, vízzel telített kavicsos homok megjelenésének következtében a két adatsor korrelálatlan.

A víztelítettség és a hatékony szemcseátmérő adatok együttes hatását leíró regressziós modell (2. ábra):

$$lgR = algd_h + bs_w + c$$

A meghatározott korrelációs együttható  $r = 0,87$ , azaz Békésben a két közetparaméter már jól meghatározza az ellenállás adatokat, továbbiak hatása elhanyagolható.



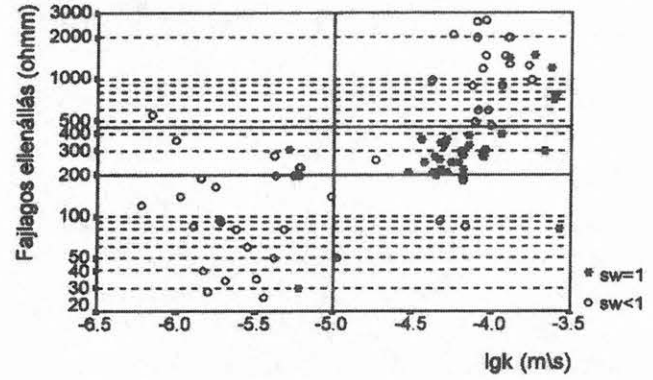
2. ábra. A hidrogeológiai paraméterekből becsült fajlagos ellenállás és a fajlagos ellenállás összefüggése, a determinációs együttható  $r^2 = 0,7612$  (Békési terület)

Fig. 2. Connection between estimated resistivity (from hydrogeological parameters) and resistivity, the coefficient of determination  $r^2 = 0.7612$  (from Békés county)

### 3. A VESZ rétegek hidrogeológiai minősítése

A hidrogeológiai minősítés első lépése a VESZ réteget jellemző átlagos szivárgási tényező számítása, az (1) egyenlet felhasználásával. Ezt követően ábrázolhatjuk az

összetartozó átlagos  $lgk$ ,  $s_w$  és  $R$  adatokat a  $lgR$ - $lgk$  síkon, a vízszint alatti és feletti adatokat elkülönítve (3. és 4. ábra).

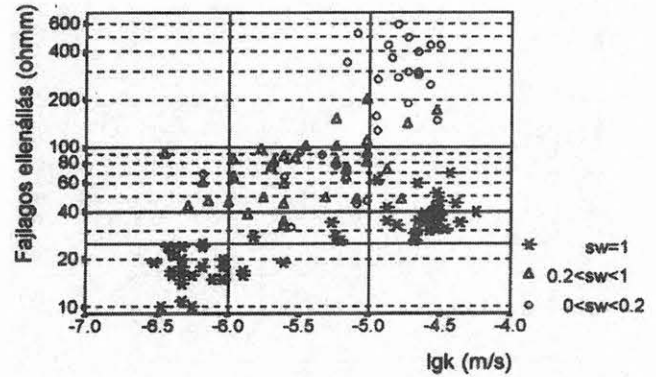


3. ábra. A fajlagos ellenállás adatok a szivárgási tényező függvényében, a víztelítettség feltüntetésével (Szigetköz)

Fig. 3. The resistivity data vs. filtration coefficient, with water content (area of Szigetköz)

A 3. ábra alapján a szigetközi területen három hidrogeológiai kategória különíthető el:

1. telítetlen (vízszint feletti) rossz vízvezető, gyengén vízzáró;
2. telített (vízszint alatti) vízvezető;
3. telítetlen vízvezető.



4. ábra. A fajlagos ellenállás adatok a szivárgási tényező függvényében, a víztelítettség feltüntetésével (Békési terület)

Fig. 4. The resistivity data vs. filtration coefficient, with water content (from Békés county)

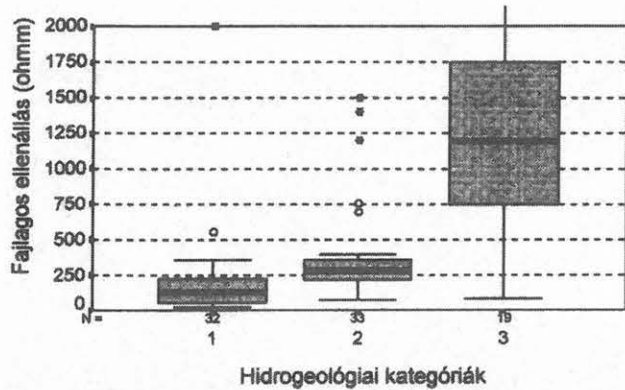
A békési területen négy kategória különíthető el (4. ábra):

1. telített gyengén vízzáró, vízzáró;
2. telített vízvezető;
3. telítetlen (közepes víztelítettségű) rossz vízvezető;
4. telítetlen (kis víztelítettségű) vízvezető.

Vizsgáljuk ezután, hogy a meghatározott kategóriákon belül milyen lesz az ellenállás adatok eloszlása. A hidrogeológiai kategóriákhoz tartozó  $R$  eloszlásokat boxplotokkal szemléltethetjük (5. és 6. ábra).

Az egy sűrűségfüggvényt jellemző téglalap alsó éle a 25%-os, a felső éle a 75%-os percentilist jelöli. A téglalapon belül vastag vonallal a mediánt, kívül pedig folyamatosan vonallal az alsó, ill. felső éltől mért másfélszeres téglalapmagasságot jelöltük. Az ezen kívül eső kiugró adatokat körrel (o), ill. a háromszoros téglalapmagasságon túli szélsőséges adatokat csillaggal (\*) jelöltük.

A következő feladat az ellenállás adatok intervallumokra történő felosztása oly módon, hogy az egyes hidrogeológiai kategóriákhoz tartozó ellenállás eloszlások a lehető legkisebb mértékben fedjék át egymást.

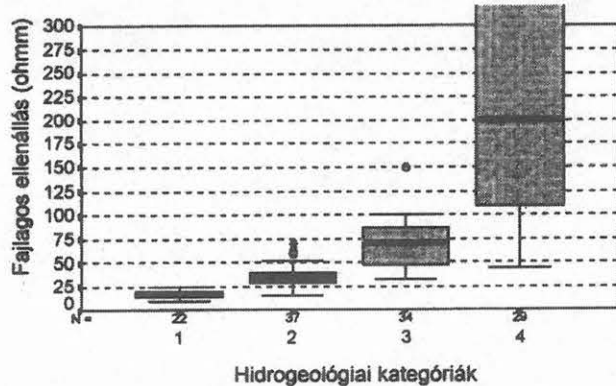


5. ábra. Fajlagos ellenállás „boxplot”-ok a hidrogeológiai kategóriák függvényében (Szigetköz)

Fig. 5. The boxplots of resistivity data vs. hydrogeological categories (area of Szigetköz)

Az 5. ábráról leolvashatók a szigetközi hidrogeológiai kategóriákhoz tartozó ellenállás kategóriák:

1. (telítetlen rossz vízvezető, gyengén vízzáró) — ( $R < 200$ );
2. (telített vízvezető) — ( $200 < R < 450$ );
3. (telítetlen vízvezető) — ( $450 < R$ ).



6. ábra. Fajlagos ellenállás „boxplot”-ok a hidrogeológiai kategóriák függvényében (Békési terület)

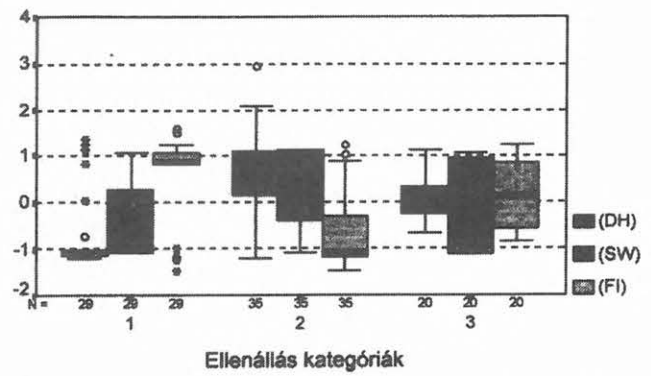
Fig. 6. The boxplots of resistivity data vs. hydrogeological categories (from Békés county)

A 6. ábrán a békési terület összetartozó kategóriái láthatók:

1. (telített gyengén vízzáró, vízzáró) — ( $R < 25$ );
2. (telített vízvezető) — ( $25 < R < 40$ );
3. (telítetlen rossz vízvezető) — ( $40 < R < 100$ );
4. (telítetlen vízvezető) — ( $100 < R$ ).

#### 4. Az ellenállás kategóriák földtani és hidrogeológiai értelmezése

Az ellenállás adatok értelmezéséhez elsőként vizsgáljuk a meghatározott ellenállás kategóriák földtani tartalmát. A 7. és 8. ábrán az egyes ellenállás kategóriákhoz tartozó standardizált  $d_h$ ,  $s_w$  és  $\Phi$  boxplotok szerepelnek.

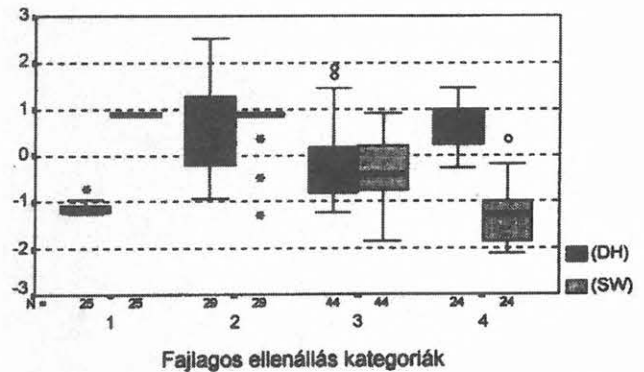


7. ábra. Hatékony szemcseátmérő, víztelítettség és porozitás „boxplot”-ok a fajlagos ellenállás kategóriák függvényében (Szigetköz)

Fig. 7. The boxplots of effective grain size, water content and porosity data vs. resistivity categories (area of Szigetköz)

A szigetközi terület ellenállás kategóriáinak földtani értelmezése (7. ábra):

1. ( $R < 200$ ): telítetlen kőzetliszt (kis  $d_h$ , közepes  $s_w$ , nagy  $\Phi$ );
2. ( $200 < R < 450$ ): telített homokos kavics (nagy  $d_h$ , nagy  $s_w$ , kis  $\Phi$ );
3. ( $450 < R$ ): telítetlen kavicsos homok (közepes, nagy  $d_h$ , kis  $s_w$ , közepes  $\Phi$ ).



8. ábra. Hatékony szemcseátmérő, víztelítettség és porozitás „boxplot”-ok a fajlagos ellenállás kategóriák függvényében (Békési terület)

Fig. 8. The boxplots of effective grain size, water content and porosity data vs. resistivity categories (from Békés county)

A békési terület ellenállás kategóriáinak földtani értelmezése (8. ábra):

1. ( $R < 25$ ): telített agyagos kőzetliszt (kis  $d_h$ , nagy  $s_w$ );
2. ( $25 < R < 40$ ): telített homok, kőzetliszt (nagy, közepes  $d_h$ , nagy  $s_w$ );
3. ( $40 < R < 100$ ): telítetlen kőzetliszt (közepes  $d_h$ , közepes  $s_w$ );
4. ( $100 < R$ ): telítetlen homok (nagy  $d_h$ , kis  $s_w$ ).

A telítetlen homokban megfigyelt kis, illetve a telítetlen kőzetlisztben lévő közepes átlagos víztelítettség a szemcseméret csökkenésével növekvő kapilláris emelkedés következménye [KOVÁCS 1972].

Az ellenállás kategóriákból történő hidrogeológiai kategória becslések megbízhatósága a 4. és az 5. táblázatban követhető nyomon. A táblázatokban található cellák első sora a cellába tartozó elemek száma, a második sor az aktuális cellaelemszám és az aktuális sor összes elemszámának hányadosa, a harmadik sor pedig a cellaelemszám és az

aktuális oszlop összes elemeinek hányadosa. Ezek jelentése: pl. a 4. táblázat ( $R < 200$ ; rossz vízvezető) cellájában 23 adat szerepel, rossz vízvezető réteg az esetek 71,9%-ában  $R < 200$  ellenállású, a  $R < 200$  ellenállású adatok 79,3%-a rossz vízvezető.

Mindezek alapján a szigetközi ellenállás kategóriákkal 65–80%-os pontossággal becsülhetők a hidrogeológiai kategóriák.

Hidrogeológiai kategóriák	R kategóriák		
	$R < 200$	$200 < R < 450$	$450 < R$
rossz vízvezető (gyengén vízzáró) vízszint alatt	23 71,9%	8 25,0%	1 3,1%
vízvezető vízszint alatt	5 15,2%	23 69,7%	5 15,2%
vízvezető vízszint felett	1 5,3%	4 21,1%	14 73,7%
	3,4%	11,4%	70,0%

4. táblázat. A fajlagos ellenállás kategóriák és a hidrogeológiai kategóriák keresztábrázata (Szigetközi adatok)

Table 4. The crosstab of resistivity categories and hydrogeological categories (data of area of Szigetköz)

Hidrogeológiai kategóriák	R kategóriák			
	$R < 25$	$25 < R < 40$	$40 < R < 100$	$100 < R$
(gyengén) vízzáró, vízszint alatt	22 100,0			
	88,0			
vízvezető, vízszint alatt	3 13,0	14 60,9	4 17,4	2 8,7
	12,0	66,7	17,4	3,8
rossz vízvezető, vízszint felett		4 28,6	8 57,1	2 14,3
		19,0	34,8	3,8
vízvezető, vízszint felett		3 4,8	11 17,5	49 77,8
		14,3	47,8	92,5

5. táblázat. Fajlagos ellenállás kategóriák és a hidrogeológiai kategóriák keresztábrázata (Békési adatok)

Table 5. The crosstab of resistivity categories and hydrogeological categories (data of Békés county)

A békési adatoknál (5. táblázat) a  $R < 25$  és a  $100 < R$  kategóriákba tartozó adatokkal durván 90%-os biztonsággal becsülhetők a hidrogeológiai kategóriák. A  $25 < R < 40$  közötti  $R$  adatokkal még elfogadható a becslés, a  $40 < R < 100$  kategória adatai azonban nem alkalmasak a telítetlen rossz vízvezető, ill. vízvezető kategóriák elkülönítésére, ehhez további információk szükségesek.

A hidrogeológiai és földtani minősítés statisztikai bizonytalanságai a geoelektromos rétegszelvények szerkesztése és értelmezése során többnyire kiszűrhetők, mivel ennek alkalmával további, a bemutatott statisztikai elemzésnél figyelmen kívül hagyott információk is rendelkezésre állnak. Ilyen információk lehetnek a réteggörvények, a két- és háromfázisú zónák elhelyezkedésére vonatkozó feltételezések és egyéb földtani, hidrológiai adatok.

## Összefoglalás

A kontrollált VESZ adatok statisztikai elemzésének fontos eredménye, hogy a vizsgált területeken a VESZ adatok földtani, hidrogeológiai értelmezése pontosabbá, megbízhatóbbá tehető. Meghatározható, milyen földtani képződmények, ill. hidrogeológiai kategóriák különíthetők el, és az értelmezés megbízhatósága is számítható.

Az elemzés másik lényeges eredménye a két- és háromfázisú zóna határának környezetében végzett VESZ mérések paraméterérzékenységének meghatározása a két típus-területen.

## HIVATKOZÁSOK

- CLAVIER C., COATES G., DUMANOIR J. 1984: Theoretical and experimental bases for the dual-water model for interpretation of shaly sands. Soc. of Petroleum Engineers Journal, April, 153–168
- CSALAGOVITS I., DRASKOVITS P., OCSÉNÁS P. 1993: Kismélységű vízbázisok veszélyeztetettségének értékelése az Újkígyósi Vízmű körzetében komplex módszerekkel végzett kutatások során. Budapest, ELGI jelentés
- CSÓKÁS J. 1994: Vízadó rétegek jellemző hozamának és a vízminőségének meghatározása geofizikai fúróluk szelvények alapján. Magyar Geofizika **35**, 4, 176–203
- DANKHÁZI Gy. 1995: A gerjesztett polarizáció elvi alapjairól, különös tekintettel a porózus képződményekre. Magyar Geofizika **36**, 2, 107–120
- GÁLFI J. 1989: Törmelékes kőzetek elektromos paramétereinek függése a víztartalmuktól. Vízügyi Közlemények **LXXI**, 4, 599–612
- GÁLFI J., LIEBE P. 1981: Az elektromos fajlagos ellenállás és a szivárgási tényező kapcsolata törmelékes vízadó kőzetekben. Vízügyi Közlemények **LXIII**, 3, 438–445
- JUHÁSZ J. 1987: Hidrogeológia. Budapest, Akadémiai Kiadó
- KOVÁCS Gy. 1972: A szivárgás hidraulikája. Budapest, Akadémiai Kiadó
- OCSÉNÁS P. 1994: Tanulmány a Cikola-sziget és Ásványráló környezetében végzett geofizikai mérésekről. Budapest, ELGI jelentés
- OCSÉNÁS P. 1996: Mérnökgeofizikai adatok elemzése statisztikai módszerekkel. Magyar Geofizika **37**, 4, 247–272)