

Vízadó rétegek jellemző hozamának és a víz minőségének meghatározása geofizikai fúróluk szelvények alapján¹

CSÓKÁS JÁNOS²

Laza törmelékes édesvíztárolók fúrásaiban mért természetes gammasugárzás, SP- és fajlagos ellenállásslavények adataiból a hőmérséklet és az iszapparaméterek ismeretében meghatározható a rétegvíz fajlagos ellenállása és a formációtényező. Ezekből kiszámítható a hézagterfogat, a Hazen-féle mértékadó és a Koženy-féle hatékony szemcséátmérő. Az említett mennyiségek függvénykapcsolatba hozhatók a szemcsék egyenlőtlenségi tényezőjével, a szivárgási tényezővel, a kőzet áteresztőképességével, valamint a víz kritikus szivárgási sebességével. A szűrő sugarának és a réteg szűrődött vastagságának ismeretében kiszámítható a maximális homokmentes vízhozam. Hét termelő kút esetében van bemutatva a módszer, valamint a mért és a számított hozamok összehasonlítása.

J. CSÓKÁS: Determination of the characteristic yield and pore-water quality in water-bearing layers based on geophysical well logs

Resistivity of the pore-water and the formation factor can be determined from data of natural gamma, SP and resistivity logs measured in wells penetrating loose unconsolidated fresh water aquifers if parameters of the mud and temperature are known. From these the porosity, the standard Hazen and the effective Koženy grain sizes can be calculated. The quantities mentioned can be related to the inequality factor of grains, to the hydraulic conductivity and permeability of the rock, and to the critical filtration velocity. Knowing the radius of the filter and the thickness of the filtered section of the layer the highest sand-free yield can be calculated. The method is presented for seven producing wells, and the measured and calculated yields are compared.

Bevezetés

Civilizált országok kormányai gondot fordítanak országuk vízkészletének és az utánpótló vizeknek a megóvására és a szennyezésektől való megvédésére. A szennyezés elleni védelmet ki kell terjeszteni a vízkivételi helyek távolabbi környezetére, továbbá a vízzáró rétegekre is, mivel teljesen át nem eresztő agyagos üledékek nem léteznek.

Könnyen belátható, hogy a vízfúrások geofizikai szelvényválasztékát úgy célszerű összeállítani, hogy azokból a vízadó és a záró rétegek hidrológiai paraméterein kívül a rétegek textúráját és a formációvizek minőségét is meg lehessen határozni. A vízadó formációk lehetnek telepszerű, laza szerkezetű, törmelékes, vagy szilárd kötőanyagú, szemcsés szerkezetű kőzetek. Lehetnek repedezett kemény, szálaban álló, szilárd, karsztosodott kőzetek is.

Az édesvíztároló, törmelékes kőzetek általában nem konszolidáltak. Ilyenek a homokok, a laza homokkővek és a kavicsos-homokos formációk. Ezekből a víztermelés akkor gazdaságos, ha elég nagy a vastagságuk, horizontális kiterjedésük, hézagterfogatuk és áteresztőképességük, továbbá ha a tárolt és az utánpótló víz minősége olyan, hogy felhasználásra alkalmas. Ez azt jelenti, hogy a víz oldott só-, klorid- és gáztartalma, vagy más szennyezettsége az egész-

ségileg, illetve a felhasználási célra megengedett értéknél nem nagyobb.

I. A fúrólukszelvények kiértékelésének alapjai

1. Az édesvízadó törmelékes üledékek néhány tulajdonsága

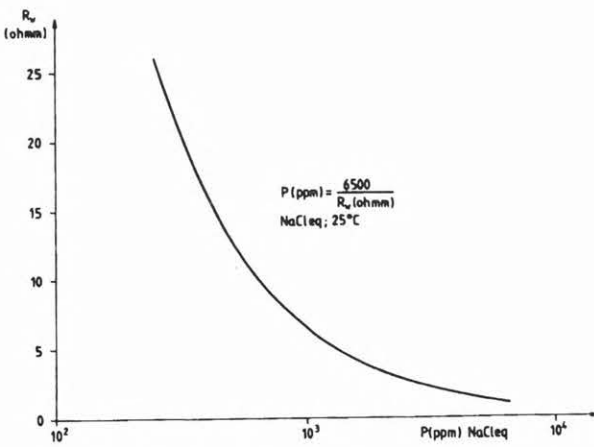
Az édesvízadó törmelékes üledékek általában nagy porozitásúak, viszonylag nagy területen nem változnak [ALGER 1971]. A hézagokban elhelyezkedő rétegvíz sókoncentrációja sokkal kisebb, mint a szénhidrogén-tárolókban levő fosszilis tengervízé, azaz 2000 mg/l-nél kevesebb összes oldott só-tartalmazhat, ha ivóvíz minőségű. Az édesvizek és a tároló kőzetek szilárd fázisa között fellépő kölcsönhatás különbözik a sós vizekétől, ezért az édesvizek kutatófúrásaiban mért fúróluk szelvényezések értelmezési módszerei, főleg a természetes potenciál és a fajlagos ellenállás vonatkozásában, lényegesen eltérnek a szénhidrogénfúrások szelvényei értelmezésétől.

2. A formációvizek sótartalmának meghatározása

Az édesvizek oldott só-tartalma főleg bikarbonátok, kloridok, nátrium- és káliumsók, továbbá kalcium-, magnézium- és vasvegyületek, valamint kis mennyiségű szilikátok. Nem konszolidált homokok és homokkővek hézagaiban levő vizek oldott só-tartalma és ionkoncentrációja között, amint az 1. ábrán látható, viszonylag általánosítható összefüggést találtak, ha a só-tartalom kisebb 3000 ppm NaCl-ekvivalensnél [DESBRANDES 1985]. Az édesvíztárolók

¹ Beérkezett: 1995. január 23-án

² A Nehézipari Műszaki Egyetem (Miskolc) Geofizikai Tanszékének nyugalmazott tanszékvezető egyetemi tanára



1. ábra. Édes formációvizek oldott NaCl-tartalma [DESBRANDES 1985]
Fig. 1. Dissolved NaCl content of fresh pore-waters [DESBRANDES 1985]

pórusaiba és hézagaiba bezárt, vagy esetleg lassan szivárgó vizekben főleg két vegyértékű kationok vannak disszociálva. Ilyenek a Ca^{++} és Mg^{++} , tehát ezek elektrokémiai hatása érvényesül, míg a legtöbb szénhidrogén-tárolóban egy vegyértékű Na^+ -kation fordul elő. Számos vízáadó réteg vizében bikarbonátok az uralkodó anionok, azaz HCO_3^- . Bár a $NaHCO_3$ -oldatok ionaktivitása, egyenlő Na^+ -kation-koncentráció esetén, megegyezik a $NaCl$ -oldatok ionaktivitásával, azonban a két oldat fajlagos ellenállása lényegesen különbözik egymástól. Ugyanis, ha a formációvíz R_w fajlagos ellenállású $NaCl$ -oldat és R_{we} az ugyanakkora Na^+ -kationkoncentrációjú $NaHCO_3$ hidrokarbonát oldaté, akkor [ALGER 1971]

$$R_w(NaCl) = 1,75 \cdot R_{we}(NaHCO_3) \quad (1)$$

A számos vízkutató fúrás szelvényéből számított R_w fajlagos ellenállás és vízanalízis alapján felállított tapasztalati összefüggés a formációvizek teljes oldott szilárd anyag tartalma ($TDS = \text{Total Dissolved Solids}$) és R_w fajlagos ellenállása között $25^\circ C$ -on a 2. ábrán látható [ALGER 1971]. Tehát R_w ismeretében a TDS meghatározható [MCNEILL 1987]. Közelítőleg

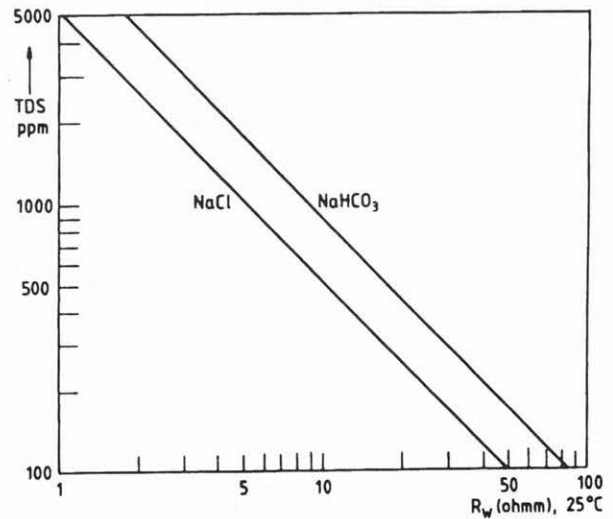
$$\sigma_a \text{ (mS/m)} = 0,04 \cdot TDS \text{ (ppm)} \quad (2)$$

ahol σ_a a talaj vezetőképessége.

Az édes formációvizek oldott szilárd anyag tartalma $NaHCO_3$ só esetén [ALGER 1971]:

$$\log TDS \text{ (ppm)} = -1,0621 \cdot \log R_w \text{ (\Omega m)} + 3,9824 \quad (3)$$

Az egyenlet állandóit azonban célszerű helyi vízanalízis útján finomítani. A kloridion koncentrációra kapott egyenlet szerint:



2. ábra. Formációvizek fajlagos ellenállása és teljes oldott só tartalma (TDS) [ALGER 1971]
Fig. 2. Resistivity and total dissolved solid content (TDS) of pore-waters [ALGER 1971]

$$Cl(\text{ppm}) = 0,6 (TDS \text{ ppm} - 400), \quad (4)$$

ahol $Cl(\text{ppm})$ a kloridion koncentráció. Az állandók helyileg módosulhatnak.

A hidrológusok a vizek oldott só tartalma és azok elektrolites fajlagos vezetőképessége közötti összefüggést szokták meghatározni. A fajlagos vezetőképesség és a fajlagos ellenállás átszámítása a következő:

$$s_w \text{ (mikro-mho/cm)} = 10^4 / R_w \text{ (\Omega m)} \quad (5)$$

Az ivóvíz só tartalmának kisebbnek kell lennie $0,5 \text{ g NaCl/liternél}$, ezért azokat az édesvíztároló formációkat célszerű kimutatni, amelyekben a víz $NaCl$ -ekvivalens sókoncentrációja kisebb $3 \text{ g NaCl/liternél}$ (3000 ppm). Ilyen esetekben a sókoncentráció és a fajlagos ellenállás között jó közelítéssel a

$$P = k / R_w \quad (6)$$

összefüggés érvényes, amelyben $R_w \text{ (\Omega m)}$ a víz fajlagos ellenállása $25^\circ C$ -on és $P \text{ (ppm)}$ az ekvivalens $NaCl$ -sótartalma, $k=6500$ az édesvíz sóssági állandója [DESBRANDES 1985].

A legtöbb édesvíz két vegyértékű kationokat tartalmaz (Ca^{++} , Mg^{++}), melyekre a $NaCl$ -ra vonatkozó SP-értelmezési képlet nem használható. Vízanalízisből az SP-t meg lehet határozni, de fordítva nem lehetséges, ha a pórusvíz nem $NaCl$ -oldat.

3. A formációvizek fajlagos ellenállásának meghatározása

Ha a formációvíz $NaCl$ -oldat és ha a kőzet agyag(shale-)mentes és permeábilis, akkor a víz fajlagos ellenállása:

$$R_w(\Omega m) = R_{mf}(\Omega m) \left[10^{\frac{SSP(mV)}{K}} \right]^{-1}, \quad (7)$$

ahol SSP a sztatikus SP , melyet a mért SP -ből lehet meghatározni. A mért SP :

$$SP (mV) = -K \log \frac{R_{mfe}}{R_{we}} \quad (8)$$

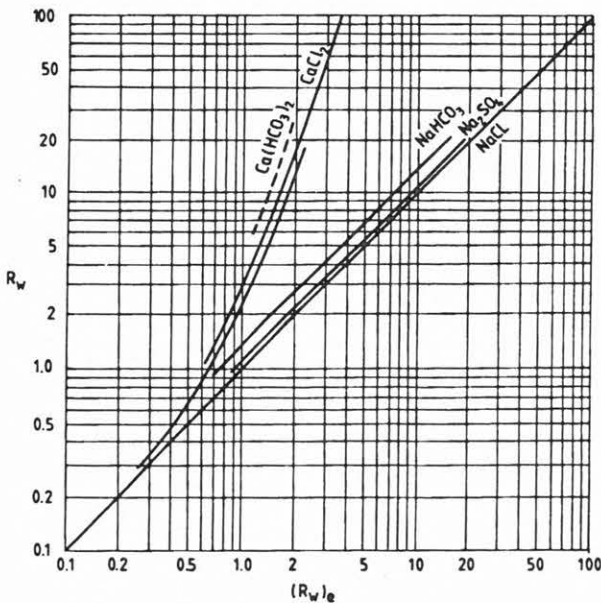
Agyagos homokoknál a mért SP -t pszeudo-sztatikus SP -nek, PSP -nek nevezik, melyből

$SSP = \frac{PSP}{1 - V_{cl}} \cdot K = 65 + 0,24 \cdot T_f(^\circ C)$, ahol T_f a mért réteg hőfoka. A rétegvíz fajlagos ellenállásának meghatározása [SCHLUMBERGER 1987] a (7) és (8) egyenlet alapján az alábbi:

- ha iszappréssel nyert filtrátum fajlagos ellenállása $R_{mf} > 0,1 \Omega m$ $25^\circ C$ -on, akkor $R_{mfe} = 0,85 R_{mf}$, NaCl iszapra,
- a (8) egyenlet átalakításával és R_{mfe} behelyettesítésével lesz:

$$R_{we} = 0,85 R_{mf} \left[10^{\frac{SSP}{K}} \right]^{-1} \quad (9)$$

- A rétegvíz R_w fajlagos ellenállása R_{we} függvényében a 3. ábráról olvasható le [SCHLUMBERGER 1987] különböző sók esetére $25^\circ C$ -ra vonatkoztatva. Ha az édes formációvíz és az iszapfiltrátum ($NaHCO_3$) nátriumbikarbonát oldat, akkor $25^\circ C$ -on a (8) egyenletben $K=45$ helyettesítendő. Mészbázisú iszapok, mivel a Ca-tartalom elhanyagolható, NaCl-oldatnak tekinthetők.



3. ábra. R_w az R_{we} függvényében néhány só esetében [Schlumberger Ltd. 1974]
Fig. 3. R_w as a function of R_{we} for some salts [Schlumberger Ltd. 1974]

- A fúrásnál azonban általában a fúrófolyadék R_m fajlagos ellenállását, T_m $^\circ C$ hőmérsékletét és ρ_m (g/l) vagy (g/cm³) fajsúlyát mérik meg és tüntetik fel a szelvények fejlécén. Ezekből az iszapadatokból lehet kiszámítani a filtrátum R_{mf} fajlagos ellenállását a réteghőfokra. A legjobb iszapmintát úgy lehet nyerni, hogy a szonda felhúzása alatt a felszínre kerülő kábel felületére tapadt iszapból gyűjtenek össze jól mérhető mennyiséget. Ha a begyűjtött iszapminta fajlagos ellenállása T_m $^\circ C$ hőfokon R_m (T_m $^\circ C$), akkor a filtrátum fajlagos ellenállása T_f $^\circ C$ réteghőfokon, ha $0,1 \leq R_m \leq 10$ ohmm $24^\circ C$ -on [SCHLUMBERGER 1979]:

$$R_{mf} T_f(^\circ C) = K_m \left[R_m T_m(^\circ C) \frac{T_m(^\circ C) + 21,5}{T_f(^\circ C) + 21,5} \right]^{1,07} \quad (10)$$

K_m az iszap fajsúlyától függ az 1. táblázatban látható módon [SCHLUMBERGER 1979].

| K_m | ρ_m (g/l) |
|-------|----------------|
| 1,100 | 1,000 |
| 0,976 | 1,110 |
| 0,847 | 1,200 |
| 0,708 | 1,320 |
| 0,584 | 1,440 |
| 0,488 | 1,560 |

1. táblázat. Az R_{mf} -számítás
Table 1. Calculation of R_{mf}

Az édesvíztárolók porusvíze fajlagos ellenállásának meghatározása egy másik módszerrel a víztároló fajlagos ellenállásából a formációtényező útján történő számításból áll. A látszólagos vagy terepi formációtényező, ha $R_w > 0,1 \Omega m$:

$$F_a = \frac{R_0}{R_w} \quad (11)$$

ahol F_a nemcsak a porozitástól és a konszolidációtól, hanem a porusvíz R_w fajlagos ellenállásától és a kőzetmatrix jellemző vezetőképességétől (többlet vezetőképeség), azaz $1/R_{ma}$ -tól is függ. Ez a hatás közelítőleg a párhuzamos vezetőképességek általános modelljével írható le a legkönnyebben [PATNODE, WYLLIE 1950]:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_{ma}} + \frac{1}{FR_w} \quad (12)$$

vagy

$$\frac{1}{F_a} = \frac{R_w}{R_{ma}} + \frac{1}{F}$$

ahol $F = R_0/R_w$ és $F \cdot R_w$: a formáció fajlagos ellenállása a vízeloszlásnak megfelelően, R_{ma} a vezető szilárd anyagok fajlagos ellenállása a formációban eloszlásuk szerint. Látható, hogy a víztároló R_0 fajlagos ellenállása, tekintettel az F_a terepi formációtényezőre, a víztároló szilárd anyaga és folyadékfázisa vezetőképességének a kombinált hatásait tükrözi [REPSOLD 1989].

A mátrix fajlagos ellenállása kiszámítható a párhuzamos vezetőképességek modellje alapján, ha a valódi és a látszólagos formációtényező és a víz fajlagos ellenállása ismert:

$$R_{ma} = R_w \frac{F \cdot R_0}{F \cdot R_w - R_0} \quad \text{vagy} \quad R_{ma} = \frac{F \cdot F_a}{F - F_a} \quad (14)$$

$$R_w = \frac{1}{F} \frac{R_{ma} \cdot R_0}{R_{ma} - R_0} \quad (15)$$

ha R_{ma} ismert.

Másrészt a mátrix fajlagos ellenállása függvénykapcsolatban van a belső felület útján a hidraulikus vezetőképességgel (permeabilitás), amit kedvező körülmények között közelítőleg ki lehet számítani a Kozeny-Carman összefüggés útján (ld. 10. fejezet).

A párhuzamos vezetőképességek modellje alkalmazható a formációvíz fajlagos ellenállásának a kiszámítására. Egyedi esetekben F és R_{ma} rendszerint nem határozható meg. Ezért nincs más választás, mint elfogadni ezen paraméterek nem ismeréséből eredő bizonytalanságot és R_0 és R_w meglévő értékeiből egy tapasztalati összefüggést meghatározni ezen bizonytalanságoknak legalább „statistikailag” történő összegyűjtése céljából. Egy ilyen összefüggés látható a 4. ábrán egy kutatási területről (Gorleben). Látható, hogy F és R_{ma} változása közelítőleg bizonyos határok közé esik: $F=7$ és $R_{ma}=500 \Omega\text{m}$, illetve

$F=4$ és $R_{ma}=50 \Omega\text{m}$ tekinthető a ponthalmaz felső, ill. alsó lehatárolásának.

A porozításokat sűrűségi-szelvényből a Humble-formulával számítva, a vízázó homokra 0,3-0,4 közötti értékek adódtak, amelyek megfelelnek 8-tól 4-ig terjedő értékű maximális (valódi) formációtényezőknél, jó egyezéssel az elektromos értékekből meghatározottakkal.

Figyelembe veendő, hogy egyrészt nagyobb formációtényezők kisebb porozításokat és ezzel együtt általában rosszabb szemcse-osztályozottságot jelentenek, másrészt R_{ma} nagyobb értékei nagyobb szemcseátmérőknek (a mátrix alacsonyabb felületi vezetőképességének) felelnek meg és fordítva. Így a 4. ábra görbéi útján a pórúsvíz fajlagos ellenállását a víztároló közet fajlagos ellenállásából közelítőleg viszonylag könnyen meg lehet határozni. A pontosság mértékének megfelelően ezzel a módszerrel általában egyszerű módon különbséget lehet tenni a „finomabb” és a „durvább” anyag között (a diagram jobb fele), illetve a „jobb” és a „rosszabbul” osztályozott anyag között (a diagram bal fele).

A diagram használatához a következő egyszerű szabályok alkalmazhatók. Ha $R_0 < 10 \Omega\text{m}$, a porozitást (ill. a szemcsék osztályozottságát) kell figyelembe venni: minél nagyobb a porozitás (minél jobb az osztályozottság), jobbra kell menni a diagramon a pórúsvíz fajlagos ellenállásának meghatározása céljából egy meghatározott víztároló fajlagos ellenállás esetében és fordítva.

Ha $R_0 > 10 \Omega\text{m}$, az anyagot közepes szemcseméretűnek kell leírni ($1/R_{ma} \gg 1/F \cdot R_w$ a (12) egyenletben): ha durvább az anyag, balra kell továbbmenni a diagramon és fordítva.

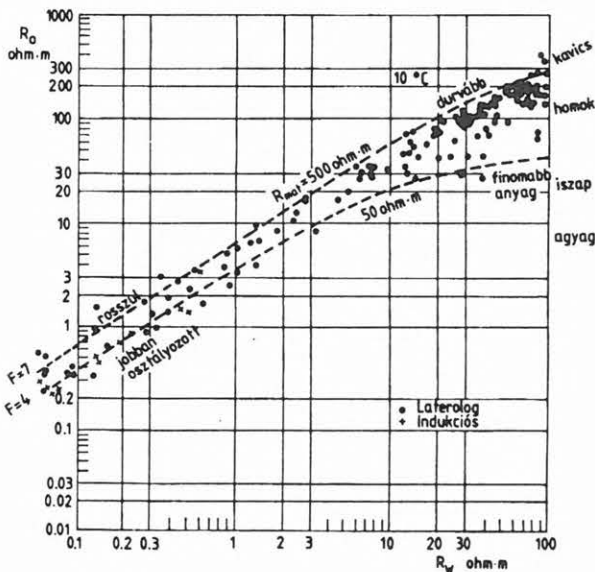
A diagram középső részén (durván 5 és 20 Ωm között) mind a két paramétert elméletileg kell megfontolni.

Az ezen az úton kapott érték, nem nézve azt, hogy a valódi formáció fajlagos ellenállás meghatározása a látszólagos fajlagos ellenállás-szelvényből bizonytalan lehet, sok esetben mégis pontosabb, mint egy víz fajlagos ellenállás, amit *SP*-görbéből határoztak meg (ha az *SP* értelmezés egyáltalán lehetséges), főképp ha laza közet van betelepülve. Ettől eltekintve, gyakrabban áll rendelkezésre értelmezhető fajlagos ellenállás-görbe. Az eljárás kiterjesztésének bemutatása végett más kutatási területek adatai láthatók az 5. ábrán. A határvonalak: $F=15$, ($\varphi=0,25$), $R_{ma}=1500 \Omega\text{m}$ és $F=3$, ($\varphi=0,50$) és $R_{ma}=10 \Omega\text{m}$.

4. A Hazen-féle mértékadó (effektív) és a Kozeny-féle hatékony szemcseátmérő meghatározása

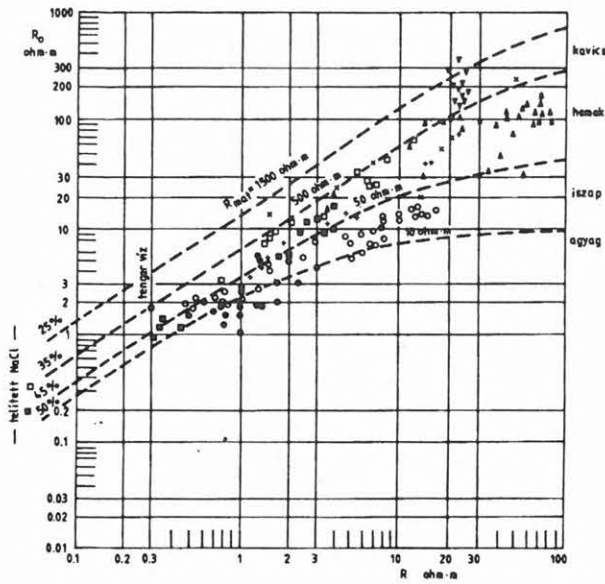
A Hazen-féle mértékadó vagy effektív szemcseátmérőt D_{10} -zel vagy D_e -vel jelölik és azt a szemcseátmérőt jelenti, mely szitaanalízissel meghatározva a 90% - 10%-os ponthoz tartozik a szemcse-eloszlási görbén. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált homokszemcsék súlyának 10%-a kisebb átmérőjű, 90%-a nagyobb átmérőjű D_{10} (mm)-nél. Ez olyan átmérő, hogy ha az összes szemcse ilyen átmérőjű lenne, a homok ugyanolyan mennyiségű vizet eresztene át, mint a tényleges homok. Látható, hogy a legfinomabb szemcsék befolyásolják D_{10} -et és így az átteresztőképességet is.

A D_{10} mértékadó szemcseátmérő és a közet



4. ábra. Összefüggés a pórúsvíz fajlagos ellenállás és a formáció fajlagos ellenállása között Gorleben területén [REPSOLD 1989]

Fig. 4. Relationship between the pore-water and formation resistivity in the area Gorleben [REPSOLD 1989]

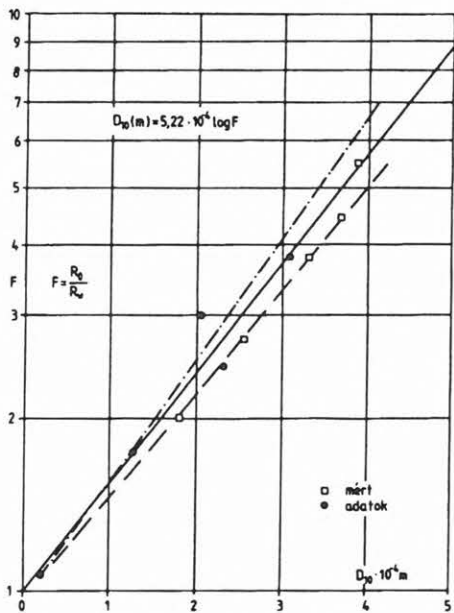


5. ábra. A pórusvíz és a formáció fajlagos ellenállás kapcsolata [REPSOLD 1989]
 Fig. 5. Connection between the pore-water and formation resistivity [REPSOLD 1989]

$$F = R_0/R_w \quad (16)$$

fajlagos ellenállás formációtényezője között laza és nem nagyon rosszul osztályozott homokok és homokkövek esetén, ha $F \leq 10$, a 6. ábrán grafikusán ábrázolt alábbi összefüggés írható fel [ALGER 1971]:

$$D_{10} (m) = 5,22 \cdot 10^{-4} \cdot \log F \quad (17)$$



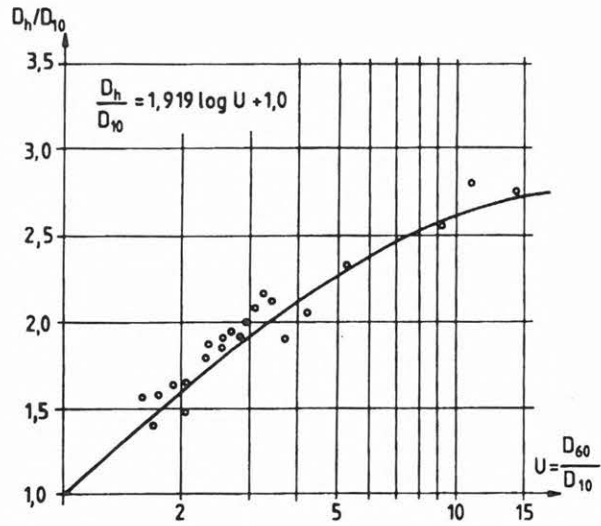
6. ábra. A formációtényező és a mértékadó szemcseátmérő kapcsolata [ALGER 1971]
 Fig. 6. Connection between the formation factor and the standard grain size [ALGER 1971]

Egy másik összefüggés szerint, ha $F \leq 5$, akkor [ALGER 1971]

$$D_{10}(m) = 0,13 \cdot 10^{-4} \cdot F^{2,5} \quad (18)$$

Az F és D_{10} közötti összefüggést, ha mód van rá, célszerű helyileg is meghatározni [Schlumberger Ltd. 1974].

A homokok szemcseeloszlásának $U = D_{60}/D_{10}$ egyenlőtlenégi tényezője és D_h Kozeny-féle hatékony szemcseátmérője között jó közelítéssel fennáll a 7. ábrán látható alábbi összefüggés [KOVÁCS 1972]:



7. ábra. A jellemző szemcseátmérők és az egyenlőtlenégi együttható kapcsolata [KOVÁCS 1972]
 Fig. 7. Connection between the effective grain size and the inequality factor [KOVÁCS 1972]

$$D_h/D_{10} = 1,919 \cdot \log U + 1 \quad (19)$$

Nem rosszul osztályozott homokokra $2,0 \leq U \leq 2,5$, tehát $\log U$ középértékével számolva írható:

$$D_h = 1,671 \cdot D_{10} \quad (20)$$

A (17)-et behelyettesítve (20)-ba

$$D_h (m) = 8,723 \cdot 10^{-4} \cdot \log \frac{R_0}{R_w} \quad (21)$$

A szivárgási számításokban a vegyes szemű halmazok jellemzésére a szemcseméret és az eloszlást egyaránt kifejezésre juttató Kozeny-féle hatékony szemcseátmérő alkalmazása javasolható [KOVÁCS 1972]. A hatékony szemcseátmérő olyan homodiszperz gömbhalmaz szemcseátmérőjét jelenti, amelyen átmérőjű gömbökből felépített azonos tömörségű

szemcsék felülete egyenlő a tényleges eloszlású gömbhalmaz felületével.

5. A legjobb vízáadó rétegszakaszok kijelölése

Agyag (shale) mentes homokok R_0 fajlagos ellenállása azonos porozitás esetén a szemcsemérettől is függ, ugyanis a kvarcsemmek felületén ion kettős-réteg halmozódik fel, ami részt vesz az elektrolites vezetásban. Minél kisebbek a szemcsék, annál nagyobb a kőzet térfogati fajlagos felülete és ezért a kőzetréteg iontartalma is. A szemcseméret csökkenésével tehát növekszik a pórusvíz $C_w = 1/R_w$ fajlagos vezetőképessége és csökken a kőzet fajlagos ellenállása.

A még gazdaságosan termelhető rétegre megszokták adni a legkisebb effektív szemcseátmérőt. Például nem érdemes termeltetni az alacsony átteresztőképesség miatt az olyan réteget, amelyben az effektív szemcseátmérő $D_{10} < 0,25$ mm, mely a szemeloszlási görbén a 90%-10%-os ponthoz tartozó átmérőt jelenti. Van olyan megállapítás, amely szerint a homokok porozitása független a szemcseátmérettől, ha az egyenlőtlenségi együttható, $U = D_{60}/D_{10} \leq 2,5$. A termelésbe állítandó rétegszakaszokat tehát a legjobb azon az alapon kijelölni, miszerint a vízáadóképeség az effektív szemcseátmérettől függ, vagyis egy jól megválasztott minimális ($F \cdot R_0$) min. értékkel lehet definiálni, ahol F a (16) egyenlet szerint számítható fajlagos ellenállás formációtényező. Ugyanis R_0 annál nagyobb, minél nagyobb R_w , azaz annál kisebb a TDS (teljes oldott szilárd anyagtartalom), vagyis minél kevesebb oldott sót tartalmaz a víz. Van egy minimális $R_w(\text{min})$ érték is, amely alatt a víz a magas sótartalom miatt emberi fogyasztásra már nem alkalmas. De van egy $F(\text{min})$ érték is, amely alatt az effektív szemcseátmérő és ezért a kőzet átteresztőképessége nem elég nagy. Például, ha $R_w = 5-15 \Omega\text{m}$, akkor $F(\text{min}) = 3,0$ lehet. Meghatározhatók tehát azok a rétegek vagy rétegszakaszok, amelyekre

$$F \cdot R_w \geq F(\text{min}) \cdot R_w(\text{min}) \quad (22)$$

Ezeket a szakaszokat összeadva megkapható a gazdaságosan termelhető rétegszakaszok összesített vastagsága.

Ha a D_h hatékony szemcseátmérő növekszik, akkor az F formációtényező is növekszik. Ugyanis a hézagterefogat (porozitás): $n = V_w/V_{ma}$, a kőzetben levő víz V_w térfogata per a kőzet szilárd anyagának (mátrix) V_{ma} térfogata. Ha tehát $R_w = \text{konstans}$ és D_h nő, akkor V_{ma} növekszik és V_w csökken, ezért $n = \varphi$ is csökken. Mivel

$$F = 1/n^2 \quad (23)$$

ezért n csökkenésével F növekszik és fordítva.

Ugyanis R_w növekedésével csökken az oldott só-tartalom, tehát csökken a felületi vezetés, vagyis csökken az R_0 kőzet fajlagos ellenállás és F is.

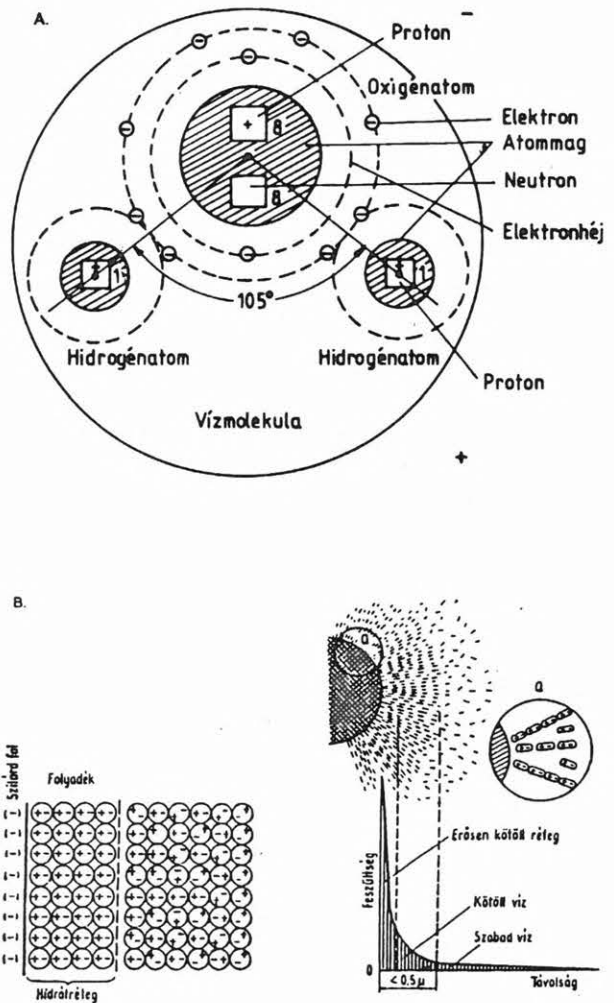
Ha egy homok hézagterefogata $n \geq 0,22$, akkor nem konszolidált (laza); ha $n < 0,22$, akkor cementálódott.

A homokok és homokkövek hézagterefogatának tartománya $0,05 \leq n \leq 0,40$, mely a szemcseeloszlás és nem az abszolút szemcseátmérő függvénye.

6. A felületi vezetés és az ioncsere-kapacitás

A kőzetszemcsék és a pórusvíz közötti tapadóerő előidézője a vízmolekulák elektromos dipólus jellege (8a. ábra), illetve a szilárd fázis elektrosztatikus töltése és a vízmolekulák polarizálódásával kialakuló diffúz kettős réteg. A vízmolekuláknak a pórusfalal ellentétes töltésű része a falhoz tapad, az azonos töltésű rész pedig elfordul attól. A folyadéktérben az így kialakuló elektromos kettős rétegen belül is érvényesül a fal polarizáló hatása, a vízmolekulák egy része a távolsággal fordított arányban polarizálódik, amint a 8b. ábrán látható.

A folyadék és a kőzetszemcse közötti kölcsönhatást döntően a van der Waals—London-erők szabják meg, amelyek hatására létrejövő feszültség az ásványtani és kémiai jellegtől függetlenül a faltól mért



8. ábra. (a) Vízmolekula dipólus [KOVÁCS 1972], (b) Vízmolekulák polarizálódása szemcsék környezetében [KOVÁCS 1972]

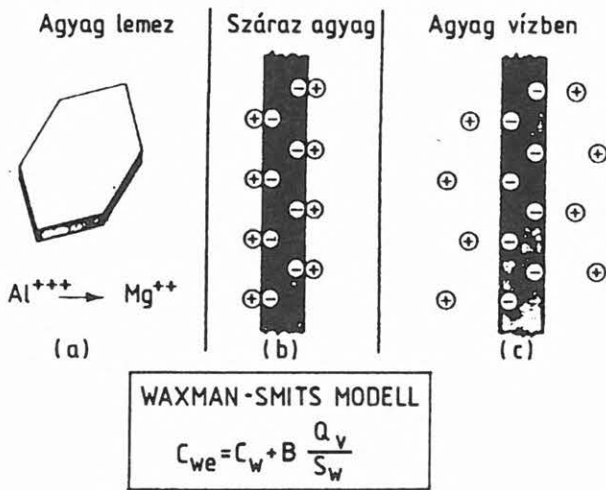
Fig. 8. (a) Dipole of a water molecule [KOVÁCS 1972], (b) Polarization of the molecule in the vicinity of grains [KOVÁCS 1972]

d távolság hatodik hatványával fordítottan arányos [KOVÁCS 1972], azaz

$$\psi = (A/d)^6 \quad (24)$$

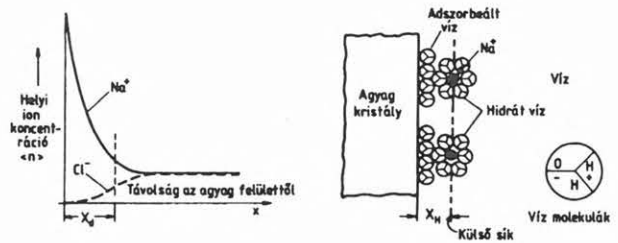
A tapadóerő a lamináris áramlásra elhanyagolható hatással van. Kivételek az olyan ásványok, amelyek szerkezeti adottságaik folytán a belsejükben is tudnak vizet inaktív módon megkötni, pl. aktivált Na-montmorillonit, halloysit, amorf kolloidok.

Minden kőzetnek van észlelhető ioncsere-kapacitása, ugyanis a kőzetalkotó ásványok kristályrácsaiból mechanikai ütközések, sűrűlódás, vagy kémiai hatások folytán pozitív töltésű ionok szakadnak le. Ezért a kőzetek elektromosan negatív töltésű felületén, vagy az ásványszerkezetekben közömbösítő pozitív töltésű ellenionok adszorbeálódnak. Ha vízzel érintkeznek, akkor ezek az ásványok elektrolyzálódnak, vagyis az adszorbeált ionjaik hozzáadódnak a pórusokban levő oldat ionjaihoz, bár csökkent mozgékonyssággal és pozitív felületi vezetés formájában csökkentik a formációvíz és ezáltal a kőzet fajlagos ellenállását, amint azt a 9. és 10. ábra illusztrálja.

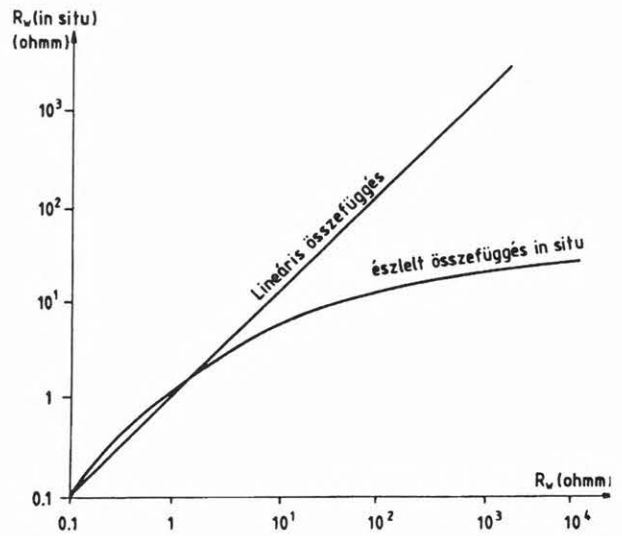


9. ábra. Az ioncsere [CLAVIER et al. 1984]
Fig. 9. The cation exchange [CLAVIER et al. 1984]

Az agyagásványoknak sokkal nagyobb a kationcsere-kapacitása ($CEC =$ Cation Exchange Capacity), mint a többi ásványé, mint pl. a kvarc ásványoké. Az ioncsere-kapacitás mértékét CEC (meq/g száraz kőzet), vagy Q_v (ellenion koncentráció/egységnyi pórustérfogat; meq/cm³) jelenti [DESBRANDES 1985]. Ezek az ionok a pórusok falához tapadó vízben nem mozognak a pórusokban lévő szabad vízzel együtt. Ha vízmintát vesznek a kőzetekből pl. kémiai analízis céljából, a vízminta sótartalma ezért kisebb, tehát fajlagos ellenállása nagyobb, mint in situ állapotban, amit a 11. ábra mutat. Ha a pórusvíz



10. ábra. A Gouy-féle diffúz réteg és a külső Helmholtz-sík [CLAVIER 1984]
Fig. 10. The Gouy diffuse layer and the outer Helmholtz plane [CLAVIER 1984]



11. ábra. A pórusvíz in situ és térfogati fajlagos ellenállása [STEWART 1982]
Fig. 11. In situ resistivity of the pore-water and resistivity of the water sample [STEWART 1982]

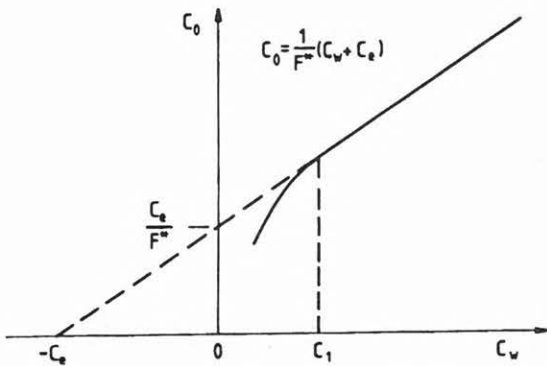
szabad sótartalma alacsony (édesvíz), akkor a pórusfalakon adszorbeált ionok jelentősen csökkentik a formációvíz fajlagos ellenállását. Ha viszont az eredeti sótartalom magas, akkor a járulékos sótartalom hatása a formációvíz és a kőzet fajlagos ellenállására elhanyagolható. Ebből következik, hogy az édesvízzel telített kőzetek nem olyan fajlagos ellenállásúak, mint ami az Archie-féle ellenállás porozitás összefüggésből, vagyis az

$$F = R_0/R_w = 1/\varphi^2 = 1/n^2 \quad (25)$$

egyenletből számítható, ha a víz R_w fajlagos ellenállását a kőzetből kivont vízmintákból határozzák meg.

6.1. Agyag(shale-)tartalmú kőzetek felületi vezetése

Vízzel telített agyagtartalmú kőzetek C_0 vezetőképessége és a víz C_w vezetőképessége észlelt kapcsolatát a 12. ábra mutatja. A Waxman-Smits modell alapján magyarázhatók ezek az adatok, amelyek a $C_0=1/R_0$ kőzetminta vezetőképességét fejezik ki a pórufolyadék C_w fajlagos vezetőképessége és a kicserélhető kationok C_e vezetőképessége függvényében [HEARST, NELSON 1985]. C_e az agyagrészecskék felülete közelében visszatartott, oldatban lévő mozgékony többletionok vezetőképességét jelenti. Először feltételezték, hogy a pórufolyadék és a kicserélhető kationok az F_1 és F_2 formációtényezőhöz tartozó két független kőzetrendszerben helyezkednek el, amelyek elektromosan párhuzamosak.



12. ábra. Agyagos homokok vezetőképessége [WAXMAN, SMITS 1968]

Fig. 12. Conductivity of shaly sands [WAXMAN, SMITS 1968]

$$C_0 = \frac{C_w}{F_1} + \frac{C_e}{F_2} \quad (26)$$

Ez a keverési szabály azt tételezi fel, hogy egy porózus kőzetben a tekervényes áramvezető pályák párhuzamosak és jobb vezetők, mint maguk az összetevő vezetőképességek. Ez a feltevés azonban könnyen figyelmen kívül hagyható, mivel azt egy másik feltevés, az, hogy $F_1=F_2=F^0$ elfedi, amely értelmileg azt tartalmazza, hogy a tekervényes áramvezető pályák statisztikailag hasonlóak mind a két vezető mód tekintetében, úgyhogy

$$C_0 = \frac{C_w + C_e}{F^0} \quad (27)$$

ahol F^0 tiszta homokkőben F -re csökken. Ezt az egyenletet a 12. ábrán az egyenes vonal ábrázolja, ha C_w nagyobb egy kísérletileg meghatározott C_1 értéknél. A C_1 alatti eltérést a csereionok mozgékonyasága elvesztésének tulajdonítják.

A C_e vezetőképesség a kicserélhető ionok koncentrációjával kifejezve ez lesz:

$$C_e = c_e \cdot J \cdot z_e \cdot v_e = J \cdot v_e \cdot Q_v \quad (28)$$

ahol $z_e \cdot c_e = Q_v$, a vegyérték és az ionkoncentráció szorzata (kémiai ekvivalens/liter), v_e az ionmozgékonyosság, $J=96\,500$ C/mol (Faraday-állandó).

WAXMAN és SMITS bevezettek egy B paramétert az alacsony értékű C_w -knál tapasztalt görbeeltéréshez illesztés céljából. Víztelített agyagtartalmú kőzetekre a végső kifejezés, melyet a 12. ábrán a vastag vonal ábrázol [HEARST, NELSON 1985]:

$$C_0 = \frac{C_w + B \cdot Q_v}{F^0} \quad (29)$$

illetve

$$R_0 = F^0 \cdot R_w / (1 + B \cdot Q_v \cdot R_w) \quad (30)$$

ahol

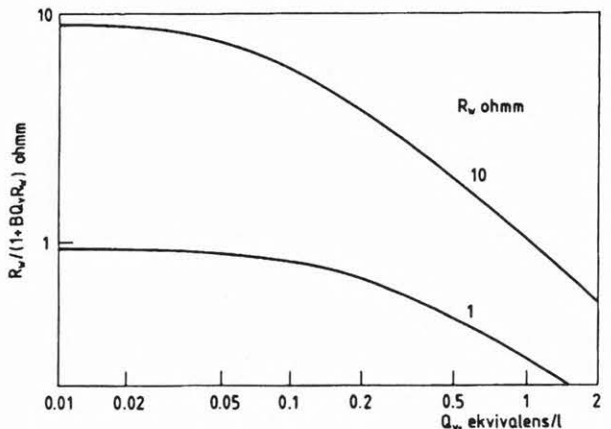
$$B = 3,83 [1 - 0,83 \cdot \exp(-0,5/R_w)] \quad (31)$$

Az $R_w / (1 + B \cdot Q_v \cdot R_w)$ tagot a víz effektív fajlagos ellenállásának lehet tekinteni, amely Q_v -tól függ a 13. ábrán látható görbék szerint. A CEC kationcserekapacitás fúrólýukszelvényekből nem határozható meg, csak porított kőzetmintákból kémiai úton. A Q_v vegyérték-ionkoncentráció szorzat a CEC ismeretében:

$$Q_v = \frac{(1-\varphi) \cdot \rho_{ma} \cdot CEC}{100 \cdot \varphi} \quad (32)$$

ahol ρ_{ma} a kőzetszemcsék sűrűsége.

WAXMAN és SMITS a modelljüket szénhidrogéntároló kőzetekre is kiterjesztették, azt feltételezve, hogy a csereionok elhelyezkedése víznedvesítő kőzetekben változatlan marad, ha a vizet részben olaj



13. ábra. Telített kőzetben a pórufolyadék effektív fajlagos ellenállása a felületi vezetéssel [HEARST, NELSON 1985]
Fig. 13. Effective resistivity of the pore fluid in saturated rock with surface conduction [HEARST, NELSON 1985]

helyettesíti. A többlet-ionok koncentráltabbá válnak a visszamaradó vízzel töltött porostérben, amihez viszont az szükséges, hogy Q_v -t Q_v/S_w helyettesítse.

Olajtároló agyagtartalmú kőzetek fajlagos vezetőképessége tehát:

$$C_t = \frac{S_w^{n^0}}{F^0} \left[C_w + \frac{B \cdot Q_v}{S_w} \right] \quad (33)$$

illetve

$$C_t = \frac{S_w^{n^0} \cdot C_w}{F^0} + \frac{S_w^{n^0-1} \cdot B \cdot Q_v}{F^0} \quad (34)$$

ahol $n^0 \approx 2,0$. Ha $n^0 \neq 2,0$, akkor grafikusán vagy iterációs eljárással határozható meg S_w . B -t mint R_w és a hőfok függvényét adták meg.

A Waxman—Smits-egyenlet felhasználásával JUHÁSZ [1981] levezetett egy „normalizált Q_{vn} ” paramétert abból a célból, hogy fűromag- adatok nélkül értékelje ki a agyagtartalmú homokokat. A víztelítettség szokásos Archie-féle egyenlete:

$$S_{wT} = \left[\frac{\varphi_T^{-m^0} \cdot R_{we}}{R_t} \right]^{1/n^0} \quad (35)$$

ahol

$$R_{we} = \frac{S_{wT} \cdot R_{wsh} \cdot T_w}{Q_{vn} \cdot R_w + (S_{wT} - Q_{vn}) \cdot R_{wsh}} \quad (36)$$

melyben

$$Q_{vn} = \frac{V_{sh} \cdot \varphi_{Tsh}}{\varphi_T} \quad \text{és} \quad R_{wsh} = \varphi_{Tsh}^{m^0} \cdot R_{sh} \quad (37), (38)$$

továbbá $\varphi_T = \varphi_D$ (szénhidrogén hatásokra korrigált sűrűség-porozitás); V_{sh} a szokásos agyagindikátor; φ_{Tsh} az agyag totális porozitása φ_{Dsh} -ból; R_{sh} az agyag réteg (szomszédos) fajlagos ellenállása; m^0 és n^0 a Waxman—Smits-modell szerinti cementációs tényező, illetve szaturációs kitevő; $R_{we} = R_0 \cdot \varphi_T^{m^0}$; $R_w = 1/C_w$. Tehát n^0 kivételével a kiértékeléshez szükséges adatok fűrólyuk szelvényekből megkaphatók.

7. Az agyagtartalom meghatározása

Az agyagos homokok és homokkövek agyag- és agyag-iszap térfogatarányának meghatározása porózus kőzetek esetén az effektív porozitás kiszámításához szükséges, mivel a porozitás-formulákból tiszta mátrixszal számítva nem az effektív porozitás adódik. A módosított Archie-képlettel, pl. a Humble-formulával, az

$$F = 0,62/n^{2,15} \quad (39)$$

egyenletből a formációtényező alapján nem az effektív, hanem a teljes (totális) porozitás kapható. Ha n a teljes hézagterfogát, mely diszperz eloszlású agyag esetén a rétegvíz mellett az agyagtartalmat is magában foglalja, akkor az effektív porozitás, mely csak a kitermelhető (mozgásképes) vizet tárolja:

$$n_e = n(1 - V_{cl}) \quad (40)$$

ahol V_{cl} a réteg agyagtérfogát arányát jelenti [JUHÁSZ 1981]. Az agyagtartalom a természetes gamma (TG) szelvényből, azonban megbízhatóbban a természetes gamma spektrum (TGS) szelvényekből számítható.

Ha az átfűrt összletben agyagmentes szintben TG(min) és tiszta agyag szintben TG(max) a TG-intenzitás, akkor az ún. gamma-index:

$$i_g = \frac{TG(\text{mért}) - TG(\text{min})}{TG(\text{max}) - TG(\text{min})} \quad (41)$$

Tercier és fiatalabb korú formációk agyag-térfogataránya [Dresser Atlas 1985]:

$$V_{cl} = 0,08336 [2^{3,7 \cdot i_g} - 1] \quad (42)$$

Terciernél idősebb kőzetekre:

$$V_{sh} = 0,33(2^{2 \cdot i_g} - 1) \quad (43)$$

Természetes gamma-spektrum szelvényekből az agyag térfogatarány kiszámítására legjobb indikátor az

$$i_g = \frac{Th(\text{mért}) - Th(\text{min})}{Th(\text{max}) - Th(\text{min})} \quad (44)$$

tórium-szelvényből meghatározott érték, ugyanis az agyaghoz véletlenszerűen társuló urán hatása ki van küszöbölve. Ezenkívül, ha csillámok és földpátok is vannak a kőzetben, azok urántartalma sincs hatással. A csillámok és földpátok mennyisége nincs korrelációban a kőzet agyagtartalmával.

8. A hézagterfogát (porozitás) meghatározása

Sósvíz-tároló agyagmentes kőzetekre a WINSAUER által javított Archie-féle összefüggést, az ún. Hubble-formulát a formációtényező és a hézagterfogát között a (39) egyenlet írja le. Gyengén cementált tercier korú édesvíz-tároló törmelékes összletre (homok, homokkő, meszes homok), ha a hézagterfogátuk $0,25 \leq n \leq 0,45$, a porozitásképlet:

$$F_f = R_0/R_w = 0,88 \cdot n^{-1,37} \quad (45)$$

Általában $1,7 \leq F_f \leq 5,5$, ahol F_f a „helyi formációtényező”, tehát $F_f \ll 0,62 \cdot n^{-2,15}$. A helyi formációtényező nemcsak a hézagterefogattól, hanem R_w -tól és a szemcsemérettől is függ.

Ha a homokszemcsék átmérője $D > 0,5$ mm, akkor a Winsauer-formula használható. Ha viszont a szemcseátmérő kisebb 0,5 mm-nél, akkor agyagmentes homokokra a porozitás formula:

$$F \approx 0,62/n^{2,15} - 3(0,5-D) \quad (46)$$

ahol D (mm) a szemcseátmérő [DESBRANDES 1985, SCHMÖLLER 1986]. Ha a kőzet és a formációvíz fajlagos ellenállása, valamint a szemcseátmérő ismert, akkor a vízkészlet számításához a hézagterefogatot a (46) egyenlet alapján az adott víztárolóra ki lehet számítani, azaz a totális hézagterefogat:

$$n = \left[\frac{0,62}{F + 3[0,5 - D_{10} \text{ (mm)}]} \right]^{1/2,15} \quad (47)$$

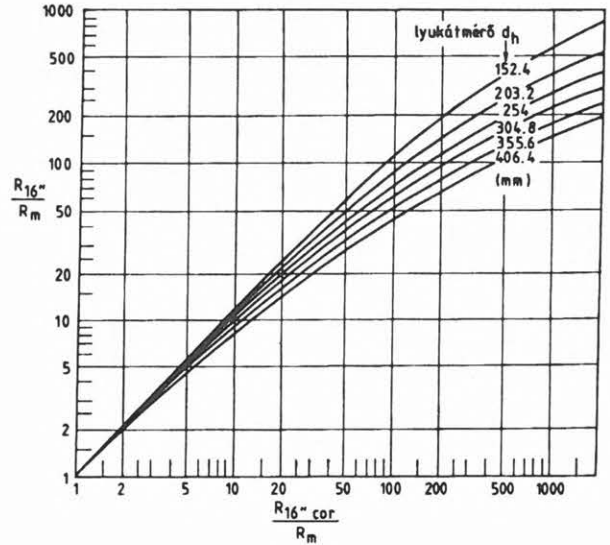
ahol D_{10} (mm) a Hazen-féle mértékadó szemcseátmérő. Shale-tartalmú homokok effektív hézagterefogata [ALGER, HARRISON 1989]:

$$n_e = n(1 - V_{cl}) \quad (48)$$

9. A fajlagos ellenállás formációtényező meghatározása

A nem mélyen fekvő, nem cementált, édesvíztároló homokok általában nagy hézagterefogatúak. Egy víztároló réteg mentén a hézagterefogat változása nem jelentős, ezért az $\overline{AM} = 0,4$ m-es rövid potenciálszondával mért látszólagos fajlagos ellenállás igen közel áll a réteg valódi fajlagos ellenállásához. A vízfúrások többségét édesvíz-bázisú iszappal mélyítik, ezért a rétegvíz és a fúróiszap fajlagos ellenállásának eltérése nem nagy. Az iszapfiltrátum-elárasztás rendszerint nem mély, részben a nagy porozitás, részben az iszaposzlop és a rétegfolyadék nyomása közötti kis különbség miatt. Ezenkívül, mivel az iszapfiltrátum fajlagos ellenállása hasonló a rétegvízéhez, ezért az elárasztott zóna fajlagos ellenállása a réteg valódi fajlagos ellenállásával majdnem megegyezik, azaz $R_{x0} \approx R_0$. Végül az édesvizet adó rétegek viszonylag vastagok, tehát az ágyazó rétegeknek kicsi a hatása a rövid potenciálszondával mért látszólagos fajlagos ellenállás értékekre. A rövid potenciálszondával felvett görbe tehát alkalmazható a réteg R_0 valódi fajlagos ellenállásának a meghatározására [ALGER 1971]. A fúrólyukátmérő, a réteghőfok és a fúróiszap fajlagos ellenállása hatását az R_a látszólagos fajlagos ellenállásra megfelelő görbesereg segítségével, vagy számítógépi programmal korrigálva, a réteg R_0 valódi fajlagos ellenállása meghatározható. Ilyen pl. a [SCHLUMBERGER 1979]-ben található Rcor-8 jelű görbesereg (14. ábra).

Ha a formációvíz fajlagos ellenállása növekszik, akkor az édesvíztároló homokok formációtényezője a felületi vezetés növekedése miatt csökken. A szem-



14. ábra. Schlumberger Rcor-8 görbesereg [SCHLUMBERGER 1979]

Fig. 14. The Rcor-8 curve set [SCHLUMBERGER 1979]

cseátmérő növekedésével azonban a formációtényező növekszik. A formációvíz R_w fajlagos ellenállását az R_{we} ekvivalens NaCl-oldatnak megfelelő fajlagos ellenállásból az SP-szelvény alapján a (9) egyenlet és a 3. ábra útján lehet meghatározni.

Mivel az édesvizek általában nem NaCl-oldatok, hanem két vegyértékű kationokat, legtöbbször Ca^{++} -t és Mg^{++} -t tartalmaznak, amelyek az SP-re úgy hatnak, mintha sokkal nagyobb lenne a víz sótartalma annál, mint amit a fajlagos ellenállásuk jelent [DESBRANDES 1985]. Sok édesvízben uralkodó az anion bikarbonát, HCO_3^- , amely az oldat vezetőképességéhez a vele egyenlő súlyú Cl-anionok vezetőképességének csak 27%-ával járul hozzá. Ez azt jelenti, hogy ha a formációtényező számításához a rétegvíz R_{we} ekvivalens fajlagos ellenállását az SP-ből határozzák meg a (8) egyenlet alapján, akkor a rétegvíz tényleges fajlagos ellenállása [ALGER 1971]:

$$R_w = 1,75 \cdot R_{we} \quad (49)$$

Az R_{we} ekvivalens fajlagos ellenállásának definíciószerűen azt az értéket nevezik, amely fordítva arányos az a_w kémiai aktivitással, pl. NaCl-oldatra 25 °C-on $R_{we} = 0,075/a_w$.

Vannak olyan tapasztalatok, amelyek szerint egy területen a különböző ionok aránya állandó marad, még ha az összes iontartalom változik is.

Az iszapfiltrátumot az ioncsere miatt NaCl-oldatnak lehet tekinteni, ha nem tartalmaz jelentős mennyiségben két vegyértékű kationokat. A (8) egyenletben a K tényező a rétegvízben és az iszapfiltrátumban levő ionok típusától és koncentrációjától függ. Ha olyan koncentrációjú sós iszappal történik a fúrás, amelynél $R_{mf} < R_w$, vagyis porozus-per-

meábilis homokoknál pozitív lesz az SP-görbe eltérése az agyagbázis vonalhoz viszonyítva, akkor csökken a két vegyértékű ionok hatása és a (8) egyenletben növekszik a K tényező értéke. A formációtényező tehát hidrokarbonátokat tartalmazó formációvizek esetén a következő egyenletből számítható:

$$F = (R_0/1,75 \cdot R_{mf}) \cdot \left[10^{\frac{SSP}{K}} \right]^{-1} \quad (50)$$

ahol SSP az SP -ből transzformált sztatikus SP .

Ha a rétegvastagság legalább 4,0 m és a réteg nagy porozitása, $n > 0,2$, továbbá agyagmentes, akkor az SP -korrekció elhanyagolható, kisebb, mint 0,5% [SCHLUMBERGER 1979]. Ugyanis az elárasztott zóna átmérője a nagy porozitás miatt $d_i \ll 0,5$ m, az elárasztott zóna fajlagos ellenállása per iszapellenállás $R_i / R_m < 20$, a vizes zónát kereső fúrások átmérője legtöbbször 0,47–0,76 m közötti érték, tehát a rétegvastagság per lyukátmérő $h/d > 5,0$ [SCHLUMBERGER 1972].

10. Az átteresztőképesség és a szivárgási tényező meghatározása

A víztároló rétegek vagy rétegszakaszok fúrólyuk körüli átteresztőképességét szivattyúzással, vagy helyi tapasztalati összefüggések alapján szokták meghatározni [ALGER, HARRISON 1989]. Elméleti alapon levezetett egyenletek is találhatóak a szakirodalomban, melyekben az átteresztőképességet a hézagterefogat, a hatékony szemcseátmérő, vagy az azoktól függő fajlagos ellenállás formációtényező függvényében fejezik ki [BEARD, WEYL 1973, CSÓKÁS 1986, ALGER, HARRISON 1989, SEN et al. 1990].

Az átteresztőképességet porózus törmelékes közelekre a Kozeny-féle egyenlet írja le, amely szerint

$$K(m^2) = \frac{1}{5} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot \left(\frac{1}{t \cdot S_v} \right)^2 \quad (51)$$

ahol t a kőzet hidraulikus tortuozitása, $S_v(m^2/m^3)$ a térfogati fajlagos felülete.

A szivárgási tényező a Darcy-féle egyenlettel írható le, azaz

$$k (ms^{-1}) = \frac{1}{5} \frac{g}{\nu} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot \left(\frac{D_h}{\bar{\alpha}} \right)^2 \quad (52)$$

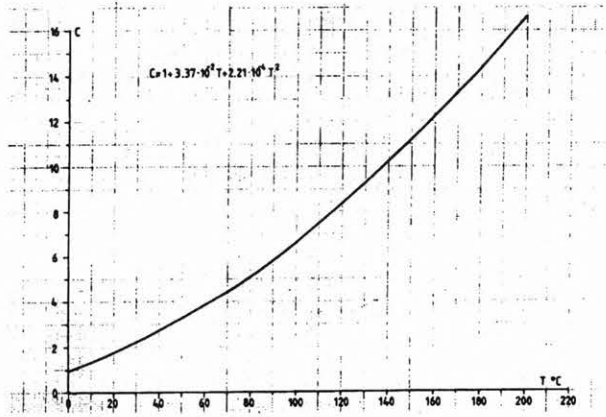
melyben $g=9,81 m s^{-2}$, $D_h(m)$ a Kozeny-féle hatékony szemcseátmérő, $\bar{\alpha}$ a szemcsék átlagos alakú tényezője, amely homokokra 7–11 közötti érték, átlagosan 10-nek vehető [KOVÁCS 1972], n a hézagterefogat. A víz kinematikai viszkozitása $T^\circ C$ -on:

$$\nu(m^2s^{-1}) = 1,778 \cdot 10^{-4} [1 + 3,37 \cdot 10^{-2} T + 2,21 \cdot 10^{-4} T^2]^{-1} \quad (53)$$

A formációvíz jellemzője tehát:

$$\frac{g}{\nu} (m^{-1}s^{-1}) = 5,517 \cdot 10^4 \cdot C \quad (54)$$

ahol C az (53) egyenlet zárójelében lévő hőmérsékleti tényező, amelynek értéke a hőfok függvényében a 15. ábráról kiolvasható.



15. ábra. A víz kinematikai viszkozitásának hőmérsékleti együtthatója [CSÓKÁS 1986]
Fig. 15. The temperature coefficient of the kinematic viscosity for water [Csókás 1986]

Az (52) egyenletből elhagyva (54)-et az átteresztőképesség (permeabilitás) adódik, azaz

$$K(m^2) = \frac{1}{5} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot \left(\frac{D_h}{\bar{\alpha}} \right)^2 \quad (55)$$

A permeabilitást a Kozeny-féle (51) egyenlet is leírja [PIRSON 1963], melyben $n^3/(1-n)^2$ a kőzet tömörségét jellemzi. Az (51) és (55) szerint

$$\left(\frac{D_h}{\bar{\alpha}} \right)^2 = \left(\frac{1}{t \cdot S_v} \right)^2 \quad (56)$$

A tapasztalatok szerint a kőzetek tortuozitását a formációtényező és a hézagterefogat függvényében az alábbi egyenlet írja le [OGBE, BASSIOUNI 1978]:

$$t = (F \cdot n)^{\frac{1}{1,67}} \quad (57)$$

tehát (16) figyelembevételével írható, hogy

$$t^2 = \left(\frac{R_0}{R_w} \cdot n \right)^{1,2} \quad (58)$$

Mivel gömbszemcsékből álló kőzet fajlagos felülete [GÁLFI, LIEBE 1981]

$$S_v (m^{-1}) = 6(1-n)/D_h(m) \quad (59)$$

ezért (59) és (21) alapján

$$S_v^2(m^{-2}) = \frac{36(1-n^2)}{D_h^2(m^2)} = \frac{36(1-n)^2}{\left(8,723 \cdot 10^{-4} \cdot \log \frac{R_0}{R_w}\right)^2} \quad (60)$$

Az (51)-be helyettesítve r^2 -et és S_v^2 -et az (58) és (60) alapján a víz-áteresztőképességre (permeabilitás) az alábbi egyenlet adódik, amelyben csak fűrőlyuk szelvényekből meghatározható adatok szerepelnek:

$$K(m^2) = 4,2273 \cdot 10^{-9} \frac{n^3}{(1-n)^4} \frac{\left(\log \frac{R_0}{R_w}\right)^2}{\left(\frac{R_0}{R_w} \cdot n\right)^{1,2}} \quad (61)$$

A szivárgási tényező pedig az (52), (54), (56), (58) és (60) egyenletek alapján adódik, azaz

$$k(ms^{-1}) = 23,32 \cdot 10^{-5} \cdot C \cdot \frac{n^3}{(1-n)^4} \frac{\left(\log \frac{R_0}{R_w}\right)^2}{\left(\frac{R_0}{R_w} \cdot n\right)^{1,2}} \quad (62)$$

Jó vízáradó a réteg, ha $k(ms^{-1}) > 10^{-6}$ és vízzáró, ha $k(ms^{-1}) < 3 \cdot 10^{-8}$.

11. A kritikus áramlási sebesség meghatározása

Víztároló törmelékes összetek pórusan keresztüláramló víz hatására a közetszemcsék felületén csúsztató feszültségek ébrednek, amelyek a pórusok átmérőjénél kisebb és a teherviselésben részt nem vevő részecskéket magukkal sodorhatják. Létezik tehát egy olyan v_{kr} kritikus szivárgási határsebesség, amelynél a D_{15} , vagy az ahhoz közelálló $D_{10}=D_e$ (mm) Hazen-féle mértékadó vagy más néven effektív átmérőjű szemcsék mozgása megindul. A meg nem támadott közetszemcsékre ható erőkből megadható a D_{10} átmérőjű szemcsék megindulásához tartozó kritikus sebesség, amely szerint [SCHMIEDER 1975]

$$v_{kr} (ms^{-1}) = 2\sqrt{D_{10}(mm)} \quad (63)$$

A kútvizsgálatok és a laboratóriumi mérések arra utalnak, hogy a D_{10} mértékadó átmérőjű szemcsék megindulásához tartozó kritikus vagy határsebesség lényegesen nagyobb, mint amekkora az irodalomból

ismert Sichardt-, vagy Abramov-féle alábbi képletekből adódik [KOVÁCS 1972]:

SICHARDT szerint

$$v_{kr} = \sqrt{k}/15 \quad (64)$$

ABRAMOV szerint

$$v_{kr} = \sqrt[3]{k}/30 \quad (65)$$

ahol $v_{kr} (ms^{-1})$ a kritikus szivárgási sebesség és $k (ms^{-1})$ a szivárgási tényező.

Az ismert kútegyenletekben nincs olyan tényező, amelyből a kút optimális igénybevitelét meg lehet állapítani. A szivattyú-teljesítmény fokozásával mindig elérhető olyan állapot, amikor a vízhozam tovább már nem növelhető, mert az adott szabad szelvényen keresztül a beáramlási sebesség csak a v_{kr} határig fokozható a rétegvíz tönkremenetelének és a kút elhomokosodásának veszélye nélkül. A termelő kútba áramló víz

$$F(m^2) = 2\pi \cdot r_0 \cdot h \quad (66)$$

nagyságú palástfelületen áramlik át, tehát a kút befogadóképessége:

$$Q_{max}(m^3s^{-1}) = 2\pi \cdot r_0 \cdot h \cdot v_{kr} \quad (67)$$

ahol r_0 (m) a belépési palást (szűrő) sugara, h (m) a szűrő hossza.

A tapasztalatok szerint a (64) vagy (65) által meghatározott hozamnál lényegesen nagyobb vízmenyiségek is termelhetők szuffúzió nélkül, vagyis a szivárgási tényezőtől számított v_{kr} sebességnél jóval nagyobbak is megengedhetők.

Több szerző arra a megállapításra jutott, hogy a kritikus szivárgási sebességet megbízhatóbban lehet a víztartó réteg szemcseösszetételéből meghatározni. A szemeloszlási görbéből a D_h Kozeny-féle hatékony szemcseátmérőt emelték ki. Az egyik összefüggés szerint, ha $0,08 \leq D_h \leq 1,0$ mm [KASSAI, JAMBRİK 1986], akkor

$$v_{kr} (ms^{-1}) = 10^{-3} \exp(0,5490 \ln_e D_h + 0,3010) \quad (68)$$

Ha $1,0 \leq D_h \leq 4,0$ mm, akkor

$$v_{kr}(ms^{-1}) = 10^{-3} \exp[0,8325 \ln_e D_h - 0,0662(\ln_e D_h)^2 + 0,3010] \quad (69)$$

Egy másik összefüggés szerint, ha $0,09 \leq D_h \leq 5,0$ mm, akkor a kritikus szivárgási sebesség egyenlete [KASSAI, JAMBRİK 1986]:

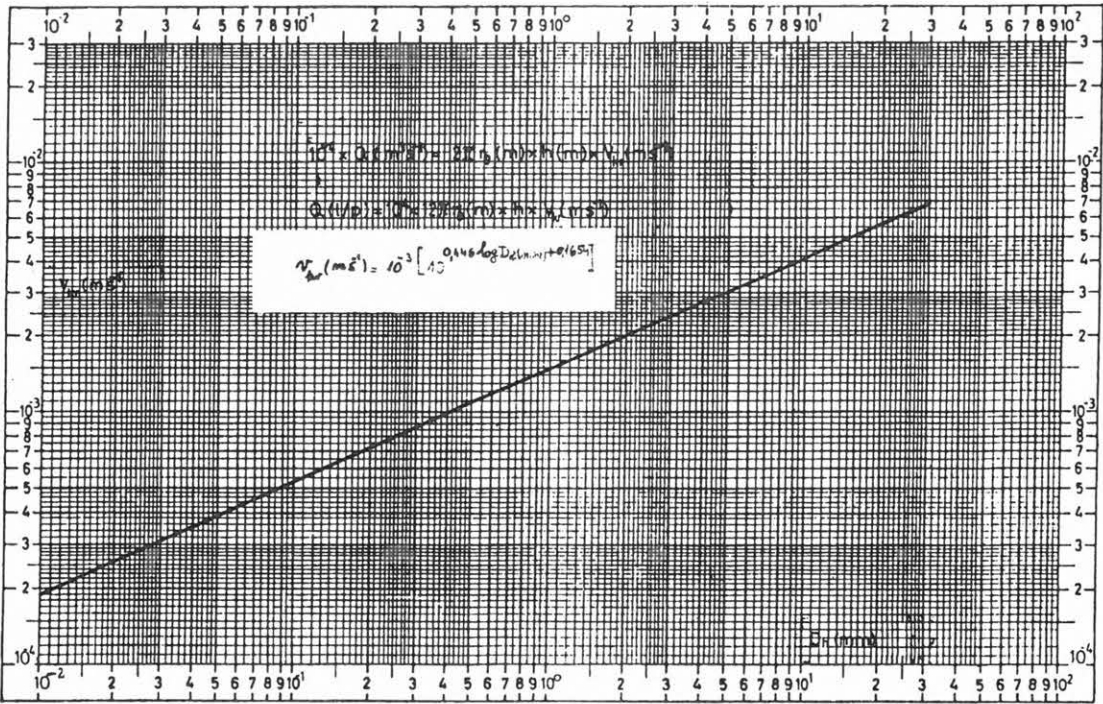
$$v_{kr} (ms^{-1}) = 10^{-3} \left[10^{[0,446 \log D_h + 0,1654]} \right] \quad (70)$$

A (68), (68) és (70) egyenletekbe D_h (mm) helyettesítendő.

A (70) egyenlet görbéje a 16. ábrán látható log-log léptékben. A (70) képletet jól megközelíti a (63) formula (mintegy $\pm 5\%$ -ra).

ahol r_0 (m) a tervezett szűrő sugara és h (m) a hosszúsága.

A közelítő összefüggés a (63) egyenlet alapján:



16. ábra. A kritikus szivárgási sebesség és a hatékony szemcseátmérő kapcsolata [KASSAI, JAMBRIK 1986]
Fig. 16. Connection between the critical filtration velocity and the effective grain size [KASSAI, JAMBRIK 1986]

12. Az optimális vízhozam számítása

A kis átmérőjű édesvízkutató, ún. keresőfúrások geofizikai szelvényeinek analízise főleg az optimális vízadó szakaszok mélységi kijelölésére, továbbá a vízadó képesség és a vízminőség meghatározására irányul. Eltérően a szénhidrogén- (sósvízes) tárolóktól, a fajlagos ellenállás formációfaktor három tényezőtől, a porozitástól, a formáció fajlagos ellenállásától és a mértékadó vagy effektív szemcseátmérőtől függ. Az optimális vízhozamot a szűrő paraméterein kívül a kritikus szivárgási sebesség határozza meg, mely a Koženy-féle hatékony szemcseátmérő függvénye (16. ábra). Fúróluk-szelvényekből meghatározható a formációtényező, a Hazen-féle mértékadó és a Koženy-féle hatékony szemcseátmérő az egyenlőtlenlenségi együttható ismeretében a (16), (17) és a (20) egyenletek szerint.

A (67) és (68) egyenletek alapján felírható az optimális vízhozam képlete, azaz

$$Q_{\max}(\text{m}^3\text{s}^{-1}) = 2 \cdot \pi \cdot 10^{-3} \cdot r_0 \cdot h \cdot \left[10^{0,446 \log D_h (\text{mm}) + 0,1654} \right] \quad (71)$$

Liter/percre átszámítva lesz:

$$Q_{\max}(\text{l/p}) = 6 \cdot 10^4 Q_{\max}(\text{m}^3\text{s}^{-1}) \quad (72)$$

$$Q_{\max}(\text{m}^3\text{s}^{-1}) = 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot r_0(m) \cdot h(m) \cdot \sqrt{D_{10}(\text{mm})} = 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot r_0(m) \cdot h(m) \cdot \sqrt{0,522 \log F} \quad (73)$$

II. A fúróluk-szelvények kiértékelésének gyakorlata

13. A helyszíni kiértékelés célja

A fúrési kutatás gyakorlatában kúttechnológiai és gazdasági okok miatt célszerű a fúróluk-szelvényezés befejezésekor a helyszínen megállapítani, hogy harántolt-e a fúrás gazdaságos víztermelésre kiképezhető rétegszakaszokat, milyen mélységközökben helyezkednek el azok, és mekkora lehet az optimális vízhozamuk. A kútkiképzéshez a döntés előkészítést a próbaszivattyúzást megelőzően sokkal megbízhatóbbá lehet tenni, ha a termelőszinteket és azok optimális hozamát már a fúróluk-szelvényekből is meghatározzák.

A korszerű digitális fúróluk-szelvényező berendezésekbe épített számítástechnikai eszközökkel a szelvényezés után a helyszínen rövid idő alatt meghatározhatók az R_0 és R_w fajlagos ellenállások, az F

formációtényező, a sűrűség- és a neutron-porozitás, az agyag térfogatszázalék, továbbá a réteghőmérséklet és a lyukbőség [CSÓKÁS, TÖRÖK 1992].

A kiértékelés programozható, kivéve a szelvények mélységegyeztetését és szögletesítését (zónásítás). A helyszínen a berendezés képernyőjén analóg szelvények formájában megjeleníthető a D_{10} (mm) és a $k(\text{ms}^{-1})$ szelvény, amelyekről eldönthető, hogy melyek a szűrőzésre érdemes mélységközök. Például azok a rétegszakaszok, amelyekben $D_{10}(\text{mm}) \geq 0,25$ a $D_{10}(\text{mm}) = 0,522 \log F$ egyenletekből, a szivárgási tényező pedig a (62) egyenletből számíthatók. Jó vízadó szakaszoknak minősíthetők azok, amelyekre $k(\text{ms}^{-1}) > 10^{-6}$ és vízzárónak, amelyre $k(\text{ms}^{-1}) < 3 \cdot 10^{-8}$.

A kútkiképzéshez felhasználandó szűrő r_0 (m) sugarának és a $D_{10}(\text{mm}) \geq 0,25$ szemcseméretű szakaszok h (m) vastagságának ismeretében megbecsülhető a jó vízadó szakaszok optimális hozama is, melyet a (71)–(74) egyenletekből lehet kiszámítani.

A felszíni és felszínközeli szennyeződések ellen védő vízzáró rétegek alatti jó vízadó szakaszok optimális hozama alapján gazdaságossági számítások végezhetőek annak becslésére, hogy gazdaságos lehet-e a kút termelésbe állítása.

A lakosság részére az ivóvizet a lehető legolcsóbban kell termelni, tehát a kutatás költségeit is ahhoz kell igazítani. Ez az oka annak, hogy a beruházó a fúrólukaszelvények készletéből csak az értelmezéshez feltétlenül szükségeseket szokta megrendelni, azért, hogy a szelvényezés folyóméter-ára és a fúrás állásköltsége minimális legyen.

14. A kiértékeléshez szükséges adatok

Vízkutató fúrások geológiai szelvényei kiértékelését a gyakorlatban hét olyan kút esetén van mód az alábbiakban bemutatni, amelyeket egy városi vízműhöz telepítettek (Jászberény).

A kis átmérőjű kereső fúrásokban $M=1:200$ -as léptékben felvett analóg szelvények a következők voltak:

- természetes gammasugárzás intenzitás; TG (imp/perc)
- természetes potenciál; SP (mV)
- látszólagos fajlagos ellenállás; $\overline{AM}=0,4$ m-es rövidpotenciál szondával; R_a (Ωm)
- látszólagos fajlagos ellenállás; $\overline{AO}=5,7$ m-es gradiens szondával; R_a (Ωm)
- talphőmérséklet maximum hőmérővel; T_t °C.

A szelvényeken és a fejleceken az alábbi adatok voltak feltüntetve:

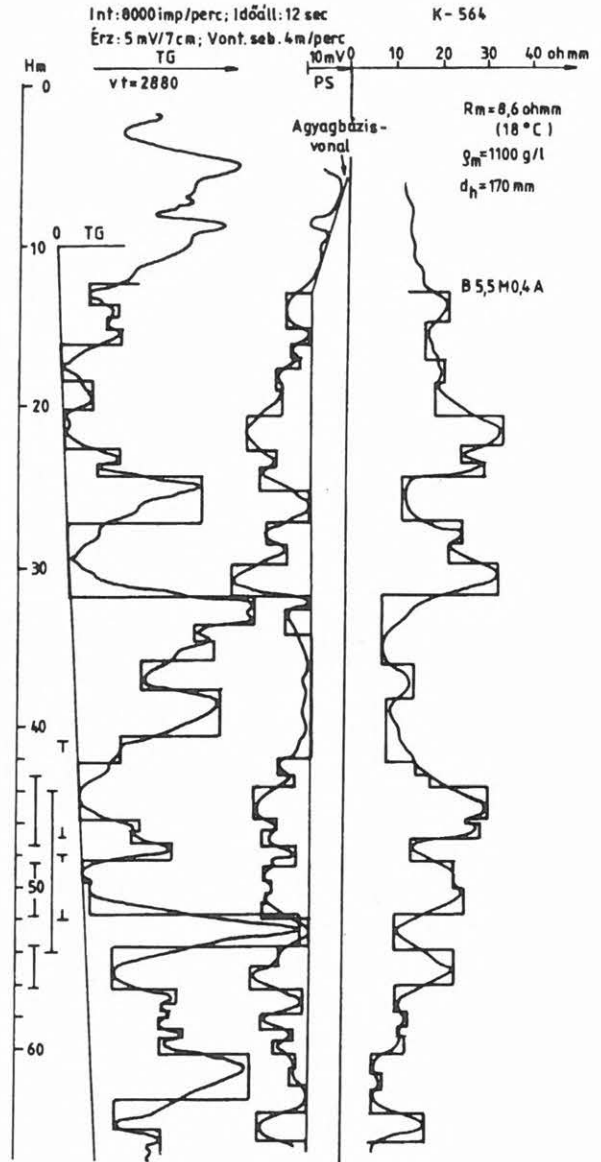
- iszapfajsúly; $\rho_m(\text{g/l})$ vagy $\rho_m(\text{g/cm}^3)$
- iszap fajlagos ellenállás és hőfok; R_m (Ωm), T_m °C
- vésőátmérő; d_h (mm)
- a TG-kör időállandója; T (s)
- a TG-kör érzékenysége; mV/cm
- a TG-szonda vontatási sebessége; v (m/perc)
- a TG-kör $v \cdot T$ (m/óra)-s értéke.

A szűrőzés adatait és a szivattyúzással meghatározott optimális vízhozamot a beruházó adta meg:

- a szűrő sugara; r_0 (m)
- a szűrőzött szakasz határainak mélysége; H (m) felső és H (m) alsó határ
- az optimális hozam; liter/perc.

15. Az analóg szelvények előkészítése az adatok kiolvasásához

- Megszerkesztendők a TG, SP és $R_a(0,4)$ szelvények a mélységvonallal egymás mellé $M=1:200$ léptékben, az SP-görbéhez mélységre illesztve, mm-háló beosztású papíron (17. ábra).



17. ábra. A K-564. sz. fúrás mért és szögletesített fúrólukaszelvényei [CSÓKÁS, TÖRÖK 1992]
Fig. 17. Measured and sectionalized logs of the well K-564 [CSÓKÁS, TÖRÖK 1992]

- Kihúzó az SP-görbe agyagbázis vonala, mely az SP-görbe jobb oldali legnagyobb amplitúdóit érintő egyenes.
- Kihúzó az SP-görbe homokvonala, amely az SP-görbe bal oldali legnagyobb amplitúdóit érintő egyenes. Az agyag- és homokvonal érték különbsége legtöbbször az SSP-vel (sztatikus SP) egyenlő.
- Kihúzó a TG-görbén a statisztikus ingadozásait kisimító (átlagoló) görbe.

- Kihúzandó a TG-szelvény minimális értékeit összekötő egyenes (homokvonal). Ez lehet a $TG(\min)$ érték, mely zérusnak vehető, ha ettől számítják a $TG(\text{mért})$ értékeket.
- Kihúzandó a TG-görbe maximális értékeit összekötő egyenes (márgavonal). Ez lehet a $TG(\max)$ érték, ha a $TG(\min)$ -től számítják.

mind a két réteg megjelenjen, amint a 17. ábrán például a 44—50 m-es szinttájon látható.

18. A szelvényadatok kiolvasása és korrigálása. Esettanulmány: K-564. sz. fúrás

Az SP, TG és R_a szögletesített szelvények vizuális szemlélete alapján is valószínűsíthetők a jó vízadó szintek az alábbi három kritérium alapján:

- SP-görbén: relatív nagy értékek, agyagmentes porózus-permeábilis réteg
- TG-görbén: $TG(\text{minimum})$ vagy igen kis érték, agyagmentes réteg
- $R_a(0,4) \geq 30$ ohmm: nagy hézagterefogat, $n > 0,3$.

A három szögletesített szelvényen az „elektorrétegek” gyakran azonos mélységközbe esnek, de ez közfizikai és litológiai okok miatt nem szükségszerű. Leggyakrabban az SP és TG „elektorrétegek” határai azonos szintűek, ugyanis ez a két szelvény az agyagosságra érzékeny.

A szögletesített szelvényekből az elektorrétegek TG, SP és R_a adatainak kiolvasása és jól szervezett táblázatba foglalása nagy figyelmet kíván és hosszadalmas művelet, ezért célszerű csak a fent említett három kritériumot kielégítő információkra elvégezni. Számolási hibák elkerülése és ellenőrzés végett célszerű a TG-értékeket mm-ben megadni a $TG(\min) = 0$ -tól számítva. Hasonlóan az SP-t is mm-ben érdemes kiírni, majd külön oszlopban a lépéstől függő konstanssal szorozva mV-ban lehet a táblázatba foglalni. Az R_a -t a fejlécen látható skála szerint ohmm-ben érdemes rögzíteni. Az elektorrétegek szelvényadatait mélységközönként azonosító számmal ellátva felülről lefelé ésszerű sorrendbe foglalni, amint az A. Függelékben látható. A látszólagos R_a fajlagos ellenállásból a réteghőfokra számított R_m fúróiszap fajlagos ellenállás és d_h fúrólyukátmérő ismeretében a Schlumberger Rcor-8 görbesereggel (13. ábra) lehet meghatározni az R_0 valódi fajlagos ellenállást. Az R_w -t pedig SP-ből lehet megkapni.

A K-564. sz. fúrás szögletesített szelvényadatai a 6. táblázatban láthatók. A szivárgási tényező és az áteresztőképesség számításához szükséges mennyiségek a 2. táblázatban szereplő adatokból származtathatók le az I. fejezetben és a B. Függelékben található egyenletek útján. A leszármaztatott értékek a 3. táblázatban láthatók.

Az optimális vízhozam számításához szükséges le-származtatott mennyiségek jelölése és a számított értékek a 4. táblázatban láthatók.

A K-564. sz. kutat a 41,0-47,5 és 48,0-52,0 m közötti szakaszon szűrőttek. A próbaszivattyúzással megállapított optimális hozam $Q(\text{mért}) = 550$ l/p-nek adódott. A fúrólyukszelvények adatai alapján számított érték $Q(\text{számított}) = 632$ l/p lett, tehát az egyezés nagyon jó, ugyanis $Q(\text{mért})/Q(\text{számított}) = 0,9$. A többi kút szűrőzött szakaszainak kiértékelése az A. Függelékben látható.

19. A hét termelő kút mért és számított hozamának összehasonlítása

Az 5. táblázatból látható, hogy a hét kút mért és számított optimális hozamának egyezése öt esetben jónak mondható. A K-576. sz. kút esetében a számí-

16. A szelvénygörbék „elektorrétegekre” bontása (17. ábra)

Elektorrétegek nevezhető az az elemi rétegszakasz, amelyet a mért közfizikai paraméter a szögletesített fúrólyukszelvényen litológiai homogen képződménynek mutat. Az elektorrétegek megszerkesztése az alábbi módon történhet [SERRA 1979] az egyes fúrólyukszelvényeken:

- a TG-szelvénygörbén: a kisímitott görbe inflexiós pontjain, vagy ha ez nem jelölhető ki, akkor az amplitúdók felezőpontjain keresztül a mélységjelző vonalakkal párhuzamos egyenes szakaszok szerkesztendők,
- az SP-szelvénygörbén: az inflexiós pontokon keresztül a mélységjelző vonalakkal párhuzamos egyenes szakaszok húzandók, mint az előbb. Agyagos vízzáró rétegeknél az SP- és a TG-görbe elektorrétege általában azonos mélységi közbe esik, SP-minimummal és TG-maximummal,
- az $R_a(AM=0,4)$ látszólagos fajlagos ellenállás görbén: az amplitúdók felezőpontján, vagyis a minimumok és a velük szomszédos maximumok közötti félértékponton keresztül a mélységjelző vonalakkal párhuzamos egyenes szakaszok húzandók, mint az előbb. A homok-agyag közötti réteghatárok az SP és az $R_a(0,4)$ görbéken sokszor $\pm 0,1$ m pontossággal azonos mélységi szintbe esnek. Egyébként az elektorréteg-határok egybeesése a görbékben nem szükségszerű.

17. A szelvénygörbék szögletesítése (17. ábra)

- A TG-görbén: a maximumokat és a minimumokat érintő egyenes szakaszokkal összekötendők az azokhoz tartozó elektorréteg-határok.
- Az SP-görbén: A TG-görbéhez hasonlóan történik a szögletesítés.
- Az $R_a(0,4)$ görbén: a relatív maximumokhoz és minimumokhoz húzott érintő egyenes szakaszokkal összekötendők az azokhoz tartozó elektorréteg-határok. Ha egy porózus-permeábilis homok, homokos kavics vagy kavics réteg vastagsága 2,0 m vagy vastagabb és agyag vagy agyagos rétegek közé van ágyazva, akkor az $AM=0,4$ m-es potenciálszondával felvett szelvénygörbe a rétegnél szabályos harang alakú, a szögletesítéssel pedig a valódi rétegvastagság adódik.

Előfordulhat, hogy egy agyagmentes homokréteg mellett egy kissé agyagos, vagy kisebb porozitású réteg helyezkedik el, akkor az agyagmentes rétegnél a fajlagos ellenállás görbe a haranggörbe alakhoz képest torzult és ezt úgy kell szögletesíteni, hogy

| Sz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_1 ohmm | R_1/R_m | R_2/R_m | R_0 ohmm | R_w | R_w |
|-----|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|-------|-------|
| 25 | 40,4-42,0 | 1,6 | 13,0 | | 3,0 | 17,1 | | | 15,8 | 9,32 | 16,30 |
| 26 | -42,9 | 0,9 | 0,0 | | 6,8 | 30,0 | | | 24,2 | 8,21 | 14,37 |
| 27 | -43,7 | 0,8 | 0,0 | | 4,6 | 36,4 | | | 32,6 | 8,83 | 15,45 |
| 28 | -45,8 | 2,1 | 0,0 | | 11,8 | 61,4 | | | 51,2 | 6,94 | 12,15 |
| 29 | -46,6 | 0,8 | 17,5 | | 7,9 | 53,6 | | | 46,6 | 7,91 | 13,84 |
| 30 | -47,4 | 0,8 | 14,5 | | 10,7 | 58,6 | | | 51,2 | 7,20 | 12,60 |
| 31 | -48,6 | 1,2 | 27,0 | | 3,6 | 28,6 | | | 24,2 | 9,14 | 16,00 |
| 32 | -49,6 | 1,0 | 0,0 | | 10,4 | 48,6 | | | 41,0 | 7,27 | 12,72 |
| 33 | -50,5 | 0,9 | 1,5 | | 8,9 | 48,6 | | | 41,0 | 7,65 | 13,39 |
| 34 | -51,8 | 1,3 | 1,5 | | 11,1 | 52,1 | | | 41,9 | 7,10 | 12,43 |

2. táblázat. A szelvényadatok és korrigálásuk
 $TG(\min)=0$; $TG(\max)=47,0$ mm; $C(15^\circ)=1,5$; K-564. sz. fúrás. $R_m(15^\circ C)=9,31$ Ω m; $d_h=320$ mm; $\rho_m=1,1$ gcm⁻³; $R_w=1,75R_m$.
 Szűrőzve: 41,0-47,5 és 48,0-52,0 m; $r_0=172,5$ mm; $R_{mf}(15^\circ C) = 10,31$ Ω m
 Table 2. Correction of log data

| Sorsz. | F | D_{10} m | n | V_d | n_s | $k \cdot 10^{-6}$ ms ⁻¹ | $K \cdot 10^{-12}$ m ² |
|--------|------|---------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 25 | 1,01 | 0,002 | 0,522 | 0,09 | 0,475 | 0,02 | 0,27 |
| 26 | 1,68 | 0,118 | 0,494 | 0,00 | 0,494 | 40,84 | 493,57 |
| 27 | 2,11 | 0,169 | 0,473 | 0,00 | 0,473 | 50,59 | 611,33 |
| 28 | 4,21 | 0,326 | 0,389 | 0,00 | 0,389 | 31,86 | 384,97 |
| 29 | 3,37 | 0,275 | 0,418 | 0,10 | 0,376 | 25,70 | 310,57 |
| 30 | 4,06 | 0,318 | 0,393 | 0,08 | 0,362 | 23,36 | 282,34 |
| 31 | 1,51 | 0,093 | 0,502 | 0,21 | 0,396 | 9,69 | 117,11 |
| 32 | 3,22 | 0,265 | 0,424 | 0,00 | 0,424 | 43,00 | 519,61 |
| 33 | 3,06 | 0,254 | 0,430 | 0,04 | 0,413 | 36,97 | 446,81 |
| 34 | 3,37 | 0,275 | 0,418 | 0,04 | 0,401 | 33,98 | 410,69 |

3. táblázat. A rétegparaméterek kiszámítása
 K-564. sz. fúrás. $n_s = n(1 - V_d)$
 Table 3. Calculation of layer parameters

tott hozam jóval nagyobb a mért adatnál. Az eltérés kútkiképzési hibával magyarázható, ugyanis azonos rétegből azonos szűrőhosszal termel, mint a K-575. sz. kút, amelynél viszont jó az egyezés. A K-580. sz. kút esetében valószínűleg hasonló a helyzet, ahol a kútépítés idején felvett visszatöltődés-mérés 0,75-ös hatékonyságot, azaz gáthatást mutatott.

Összefoglalás

Édesvíztároló homokok és homokkövek látszólagos fajlagos ellenállás, SP és természetes gamma-sugárzás fúrólúkszelvényéből meghatározható a formációtényező és az effektív szemcseátmérő, melyek az egyenlőtlenségi mutatóval és a hatékony szemcseátmérővel függvénykapcsolatba hozhatók. Ezekből a mennyiségekből a víztároló hézagterfoga, tortuozitása és a szemcsék hatékony fajlagos felülete meghatározható. Kijelölhetők a gazdaságos vízadó rétegszakaszok. Kiszámítható továbbá azok szivár-

| Sorsz. | D_s mm | v_{kr} mm·s ⁻¹ | h m | $Q_{max} \cdot 10^{-4}$ m ³ ·s ⁻¹ | $Q_{(max)}$ l/p |
|---------------------------------------|-------------|--------------------------------|--------|--|--------------------|
| 25 | 0,004 | 0,121 | 1,6 | 2,106 | 12,64 |
| 26 | 0,197 | 0,709 | 0,9 | 6,917 | 41,50 |
| 27 | 0,283 | 0,833 | 0,8 | 7,227 | 43,36 |
| 28 | 0,545 | 1,116 | 2,1 | 25,410 | 152,46 |
| 29 | 0,460 | 1,035 | 0,8 | 8,975 | 53,85 |
| 30 | 0,531 | 1,104 | 0,8 | 9,568 | 57,41 |
| 31 | 0,156 | 0,639 | 1,2 | 8,311 | 49,87 |
| 32 | 0,443 | 1,018 | 1,0 | 11,032 | 66,19 |
| 33 | 0,424 | 0,998 | 0,9 | 9,737 | 58,42 |
| 34 | 0,460 | 1,035 | 1,3 | 14,585 | 87,51 |
| $Q(\text{mért})/Q(\text{számított}):$ | | | | | 632,21 |
| $550/632,21 = 0,87 \approx 0,9$ | | | | | |

4. táblázat. Az optimális hozam számítása
K-564. sz. fúrás. $r_0=235$ mm
Table 4. Calculation of the optimum yield

| Kút | Mért hozam $Q_{(max)}$ l/p | Számított hozam $Q_{(max)}$ l/p | $Q(\text{mért})/Q(\text{számított})$ |
|-------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| K-564 | 550 | 632,21 | 0,9 |
| K-570 | 910 | 780,98 | 1,2 |
| K-575 | 1900 | 2156,94 | 0,9 |
| K-576 | 900 | 2195,67 | 0,4 |
| K-580 | 500 | 894,41 | 0,6 |
| K-583 | 640 | 797,26 | 0,8 |
| K-585 | 650 | 676,49 | 1,0 |

5. táblázat. A mért és a számított hozamok összehasonlítása
Table 5. Comparison between the measured and calculated yields

gási tényezője, áteresztőképessége és a kritikus szivárgási sebesség. Kiszámítható a szuffóziómentes vízhozam a próbaszivattyúzás megkezdése előtt.

Hét termelő kút esettanulmánya szerint öt esetben a számított és a mért optimális hozam egyezése jó. Egy esetben a visszatöltődés-mérés gáthatást mutatott, valószínűleg a másik esetben is hasonló a helyzet.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a kutatási lehetőségért a Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Víz- és Csatornaművek Igazgatóságát. Külön köszönet illeti TÖRÖK Ferenc igazgatóhelyettést, aki a szelvényanyagot rendelkezésre bocsátotta, azonkívül szakmai tanácsaival is közreműködött az eredmények elérésében. Köszönet illeti KOPCSA Józsefné előadót a kézirat szövegrendezéséért és gépeléséért, továbbá CSAPO Gábor mechanikust és KULCSÁR László műszaki ügyintézőt az ábrák gondos nyomdai előkészítéséért.

| Sz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_n ohmm | R_m ohmm | R_{m0} ohmm | R_m ohmm | F | D_{10} mm |
|-----|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|---------------|------------------|---------------|------|----------------|
| 1 | 12,3-12,8 | 0,5 | 9,5 | | - | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 13,6 | 0,8 | 9,5 | | 5,3 | 59,3 | 52,1 | 8,63 | 15,10 | 3,45 | 0,281 |
| 3 | 14,3 | 0,7 | 18,5 | | 5,3 | 59,3 | 52,1 | 8,63 | 15,10 | 3,45 | 0,281 |
| 4 | 15,2 | 0,9 | 15,0 | | 5,3 | 59,3 | 52,1 | 8,63 | 15,10 | 3,45 | 0,281 |
| 5 | 16,0 | 0,8 | 19,5 | | 0,0 | 34,3 | 29,8 | 10,31 | 18,04 | 1,65 | 0,114 |
| 6 | 17,0 | 1,0 | 0,0 | | 4,3 | 34,3 | 29,8 | 8,92 | 15,61 | 1,91 | 0,147 |
| 7 | 17,6 | 0,6 | 0,0 | | 3,2 | 40,7 | 35,4 | 9,26 | 16,21 | 2,18 | 0,177 |
| 8 | 18,8 | 1,2 | 0,0 | | 7,5 | 40,7 | 35,4 | 8,02 | 14,04 | 2,52 | 0,210 |
| 9 | 20,4 | 1,6 | 10,0 | | 6,4 | 37,9 | 32,6 | 8,32 | 14,56 | 2,24 | 0,183 |
| 10 | 22,6 | 2,2 | 1,0 | | 14,3 | 67,9 | 56,8 | 6,38 | 11,17 | 5,09 | 0,369 |
| 11 | 23,7 | 1,1 | 17,0 | | 7,9 | 49,3 | 41,9 | 7,91 | 13,84 | 3,03 | 0,251 |
| 12 | 24,2 | 0,5 | 11,0 | | 11,1 | 60,0 | 51,2 | 7,10 | 12,43 | 4,12 | 0,321 |
| 13 | 25,2 | 1,0 | 42,0 | | 11,1 | 24,3 | 21,4 | 7,10 | 12,43 | 1,72 | 0,123 |
| 14 | 27,1 | 1,9 | 42,0 | | 0,0 | 24,3 | 21,4 | 10,31 | 18,04 | 1,19 | 0,039 |
| 15 | 28,4 | 1,3 | 0,0 | | 9,6 | 50,0 | 41,9 | 7,47 | 13,07 | 3,21 | 0,264 |
| 16 | 29,6 | 1,2 | 0,0 | | 5,4 | 44,3 | 39,1 | 8,60 | 15,05 | 2,60 | 0,217 |
| 17 | 31,6 | 2,0 | 0,0 | | 17,1 | 65,7 | 56,8 | 5,81 | 10,17 | 5,59 | 0,390 |
| 18 | 32,4 | 0,8 | 55,0 | | 0,0 | 15,0 | 13,0 | 10,31 | 18,04 | 0,72 | - |
| 19 | 33,4 | 1,0 | 55,0 | | 5,4 | 15,0 | 13,0 | 8,60 | 15,05 | 0,86 | - |
| 20 | 34,4 | 1,0 | 37,0 | | 5,4 | 15,0 | 13,0 | 8,60 | 15,05 | 0,86 | - |
| 21 | 35,8 | 1,4 | 43,0 | | 0,0 | 15,0 | 13,0 | 10,31 | 18,04 | 0,72 | - |
| 22 | 37,4 | 1,6 | 19,5 | | 0,0 | 27,9 | 24,2 | 10,31 | 18,04 | 1,34 | 0,066 |
| 23 | 38,0 | 0,6 | 44,0 | | 0,0 | 27,9 | 24,2 | 10,31 | 18,04 | 1,34 | 0,066 |
| 24 | 40,4 | 2,4 | 44,0 | | 0,0 | 17,1 | 15,8 | 10,31 | 18,04 | 0,88 | - |
| 25 | 42,0 | 1,6 | 13,0 | | 3,0 | 17,1 | 15,8 | 9,32 | 16,31 | 0,97 | - |
| 26 | 42,9 | 0,9 | 0,0 | | 6,8 | 30,0 | 24,2 | 8,21 | 14,37 | 1,68 | 0,118 |
| 27 | 43,7 | 0,8 | 0,0 | | 4,6 | 36,4 | 32,6 | 8,83 | 15,45 | 2,11 | 0,169 |
| 28 | 45,8 | 2,1 | 0,0 | | 11,8 | 61,4 | 51,2 | 6,94 | 12,15 | 4,21 | 0,326 |
| 29 | 46,6 | 0,8 | 17,5 | | 7,9 | 53,6 | 46,6 | 7,91 | 13,84 | 3,37 | 0,275 |
| 30 | 47,4 | 0,8 | 14,5 | | 10,7 | 58,6 | 51,2 | 7,20 | 12,60 | 4,06 | 0,318 |
| 31 | 48,6 | 1,2 | 27,0 | | 3,6 | 28,6 | 24,2 | 9,14 | 16,00 | 1,51 | 0,093 |
| 32 | 49,6 | 1,0 | 0,0 | | 10,4 | 48,6 | 41,0 | 7,27 | 12,72 | 3,22 | 0,265 |
| 33 | 50,5 | 0,9 | 1,5 | | 8,9 | 48,6 | 41,0 | 7,65 | 13,39 | 3,06 | 0,254 |
| 34 | 51,8 | 1,3 | 1,5 | | 11,1 | 52,1 | 41,9 | 7,10 | 12,43 | 3,37 | 0,275 |
| 35 | 53,6 | 1,8 | 64,5 | | 0,0 | 22,1 | 21,4 | 10,31 | 18,04 | 1,19 | 0,039 |
| 36 | 55,0 | 1,4 | 7,5 | | 6,8 | 48,6 | 41,0 | 8,21 | 14,37 | 2,85 | 0,237 |
| 37 | 56,2 | 1,2 | 7,5 | | 13,2 | 48,6 | 41,0 | 6,62 | 11,59 | 3,54 | 0,287 |
| 38 | 57,2 | 1,0 | 26,5 | | 1,4 | 22,1 | 21,4 | 9,84 | 17,22 | 1,24 | 0,049 |
| 39 | 57,6 | 0,4 | 22,5 | | 1,4 | 22,1 | 21,4 | 9,84 | 17,22 | 1,24 | 0,049 |
| 40 | 57,8 | 0,2 | 24,0 | | 1,4 | 22,1 | 21,4 | 9,84 | 17,22 | 1,24 | 0,049 |
| 41 | 58,8 | 1,0 | 21,0 | | 10,7 | 27,9 | 25,1 | 7,20 | 12,60 | 1,99 | 0,156 |
| 42 | 59,5 | 0,7 | 28,0 | | 3,6 | 24,3 | 19,2 | 9,14 | 16,00 | 1,20 | 0,041 |
| 43 | 60,4 | 0,9 | 21,0 | | 7,1 | 26,4 | 24,2 | 8,12 | 14,21 | 1,70 | 0,120 |
| 44 | 61,3 | 0,9 | 47,0 | | 2,5 | 12,9 | 13,0 | 9,48 | 16,59 | 0,78 | - |
| 45 | 62,4 | 1,1 | 47,0 | | 3,6 | 17,1 | 15,8 | 9,14 | 16,00 | 0,99 | - |
| 46 | 63,2 | 0,8 | 47,0 | | 0,0 | 13,6 | 13,0 | 10,31 | 18,04 | 0,72 | - |
| 47 | 64,0 | 0,8 | 5,5 | | 0,0 | 13,6 | 13,0 | 10,31 | 18,04 | 0,72 | - |
| 48 | 65,0 | 1,0 | 5,5 | | 11,1 | 37,1 | 33,5 | 7,10 | 12,43 | 2,70 | 0,225 |
| 49 | 65,7 | 0,7 | 20,0 | | 11,1 | 37,1 | 33,5 | 7,10 | 12,43 | 2,70 | 0,225 |
| 50 | 67,0 | 1,3 | 20,0 | | - | - | - | - | - | - | - |

6. táblázat. A K-564. sz. fúrás szögletesített szelvényeinek adatai

Réteghőmérséklet: $T_f=15^\circ\text{C}$; $K(15^\circ\text{C})=68,6$; $R_n(18^\circ)=8,6 \Omega\text{m}$; Szűrőzve: 41,0-47,5 és 48,0-52,0 között. $R_m(15^\circ)=10,31 \Omega\text{m}$

Table 6. Data of the sectionalized logs of well K-564

- ALGER R. P. 1971: Interpretation of electric logs in fresh water wells in unconsolidated formation. SPE Reprint Series 1, 255
- ALGER R. P., HARRISON Ch. W. 1989: Improved fresh water assessment in sand aquifers utilizing geophysical well logs. The Log Analyst, January-February
- BEARD D. C., WEYL P. K. 1973: Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand. AAPG Bull. 57(2), 349-369
- 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
- CSÓKÁS J. 1986: Determination of filtration coefficient of water-bearing sand layers by well logging. Geophysical Transactions 32(1), 57-67
- CSÓKÁS J., TÖRÖK F. 1992: A maximális homokmentes kútvízhozam meghatározása geofizikai fűrőlyukszelvények alapján. Hidrológiai Közlemények 72, 2-3
- DESBRANDES R. 1985: Encyclopedia of well logging. Edit. Technip, Paris
- Dresser Atlas 1981. Metric log interpretation charts. USA
- Dresser Atlas 1985. Log interpretation charts. USA
- GÁLFI J., LIEBE P. 1981: Az elektromos fajlagos ellenállás és a szivárgási tényező kapcsolata törmelékeny vizadó kőzetekben. Vízügyi Közlemények, III. füzet, 437-448
- HEARST J. R., NELSON P. H. 1985: Well logging for physical properties. McGraw-Hill Book Co., New York
- JONES P. H., BUFORD T. B. 1951: Electric logging applied to ground-water exploration. Geophysics 16, No. 1
- JUHÁSZ I. 1981: Normalized Q_v - the key to shaly sand evaluation using the Waxman-Smiths equation in the absence of core data. SPWLA 22th Annual Logging Symposium, June, 23-26
- KASSAI F., JAMBRIK R. 1986: Vízbányászat II. Tankönyvkiadó
- KOVÁCS Gy. 1972: A szivárgás hidraulikája. Akadémiai Kiadó, Budapest
- MCNEILL J. D. 1987: Advances in electromagnetic methods for groundwater studies. Exploration '87 Proceedings Applications of Geophysics and Geochemistry
- OGBE D., BASSIOUNI Z. 1978: Estimation of aquifer permeabilities from electric well logs. The Log Analyst 19(5), 21-27
- PATNODE H. W., WYLLIE M. R. J. 1950: The presence of conductive solids in reservoir rocks as a factor in electric log interpretation. Trans. AIME, 189, 47-52
- PIRSON S. J. 1963: Handbook of well log analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.Y.
- REPSOLD H. 1989: Well logging in groundwater development, International Contributions to Hydrogeology, Vol. 9
- SEN P. N., STRALEY C., KENYON W. E., WHITTINGHAM M. S. 1990: Surface-to-volume ratio, charge density, nuclear magnetic relaxation and permeability in clay-bearing sandstones. Geophysics 55(1), 61-69
- SERRA O. 1979: Diagraphies Différees. Tome 1. Bull. Centr. Recherches Explor., Production Elf-Aquitaine, Pau
- STEWART M. T. 1982: Evaluation of electromagnetic methods for rapid mapping of salt-water interfaces in coastal aquifers. Ground Water, September-October, Ed. J. H. LEHR
- Schlumberger 1972: Log interpretation charts, 42, rue Saint Dominique, Paris
- Schlumberger Ltd. 1974: Log interpretation, Vol. II. Applications. New York
- Schlumberger 1979: Log interpretation charts. Schlumberger Ltd. English-Metric Edition
- Schlumberger 1987: Log interpretation principles/Applications. Schlumberger Educational Services
- SCHMIEDER A. 1975: Vízveszély és vízgazdálkodás a bányászatban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- SCHMÖLLER R. 1986: Einige Besonderheiten bei Interpretation geophysikalischer Bohrlochmessungen in oberflächen-nahen Lockersedimenten. L.H.A. Geoph. 1, 99-116
- THOMAS E. C. 1976: The determination of Q_v from membrane potential measurements on shaly sands. Jour. of Petroleum Techn., September
- WAXMAN M. H., SMITS L. J. M. 1968: Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. Soc. Petr. Eng. J., Trans. AIME, June, 243, 107-122. Reprinted in Well Logging, SPE, 1971

A. Függelék I.

| Ssz. | H m | h m | TG mm | SP mV | R_s ohmm | R_o ohmm | R_{wv} ohmm | R_w ohmm | F | D_{10} mm |
|------|-----------|--------|----------|----------|---------------|---------------|------------------|---------------|------|----------------|
| 19 | 44,2-46,4 | 2,2 | 0,0 | 10,7 | 79,3 | 62,8 | 6,44 | - | 9,75 | 0,516 |
| 20 | -47,5 | 1,1 | 11,5 | 10,0 | 58,6 | 46,7 | 6,60 | - | 7,08 | 0,444 |
| 21 | -48,2 | 0,7 | 11,5 | 9,6 | 64,3 | 51,8 | 6,69 | - | 7,74 | 0,464 |
| 22 | -48,9 | 0,7 | 11,5 | 9,6 | 50,7 | 40,8 | 6,69 | - | 6,10 | 0,410 |
| 23 | -50,7 | 1,8 | 11,0 | 9,3 | 56,4 | 45,0 | 6,75 | - | 6,67 | 0,430 |
| 24 | -52,6 | 1,9 | 23,0 | 2,5 | 20,7 | 16,1 | 8,51 | - | 1,89 | 0,144 |
| 25 | -53,6 | 1,0 | 19,5 | 2,1 | 24,3 | 19,5 | 8,62 | - | 2,26 | 0,185 |

K-570. sz. fúrás. $R_m(18^\circ\text{C})=7,2 \Omega\text{m}$; $d_s=160 \text{ mm}$; $\rho_m=1120 \text{ g/l}$; $R_w=R_{wv}$; $C(12^\circ)=1,5$
 $R_{mf}(12^\circ)=9,26 \Omega\text{m}$; $K(12^\circ)=67,88$; $TG(\text{min})=0$; $TG(\text{max})=23 \text{ mm}$; $r_o=191,5 \text{ mm}$; szűrőzve: 44,0-54,0 m

| Ssz. | n | V_d | n_s | $k \cdot 10^{-4}$ ms^{-1} | $K \cdot 10^{-12}$ m^2 | D_s mm | v_{kr} mms^{-1} | $Q_{\text{mért}} \cdot 10^{-4}$ m^3s^{-1} | $Q_{\text{szám}}$ l/p |
|----------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| 19 | 0,278 | 0,00 | 0,278 | 8,18 | 98,81 | 0,863 | 1,370 | 36,276 | 217,66 |
| 20 | 0,319 | 0,22 | 0,249 | 6,21 | 75,07 | 0,741 | 1,280 | 16,946 | 101,68 |
| 21 | 0,307 | 0,22 | 0,240 | 5,45 | 65,80 | 0,775 | 1,306 | 11,002 | 66,01 |
| 22 | 0,338 | 0,22 | 0,264 | 7,64 | 92,29 | 0,685 | 1,236 | 10,412 | 62,47 |
| 23 | 0,326 | 0,20 | 0,261 | 7,28 | 88,00 | 0,719 | 1,263 | 27,360 | 164,16 |
| 24 | 0,483 | 1,00 | 0,005 | 0,00 | 00,00 | 0,241 | 0,776 | 17,737 | 106,42 |
| 25 | 0,466 | 0,64 | 0,168 | 1,39 | 16,77 | 0,309 | 0,867 | 10,429 | 62,58 |
| Q(mért)/Q(számított): | | | | | | | | | 780,98 |
| $910/780,98 = 1,165 \approx 1,2$ | | | | | | | | | |

K-570. sz. fúrás

A. Függelék II.

| Ssz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_e ohmm | R_e/R_m | R_e/R_m | R_o ohmm | R_{we} ohmm | R_w ohmm | F |
|------|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|------------------|---------------|------|
| 18 | 29,3-31,1 | 1,8 | 10,0 | 4,0 | 2,9 | 32,9 | 8,2 | 7,0 | 28,0 | 3,40 | 5,95 | 4,70 |
| 19 | -31,6 | 0,5 | 10,0 | 4,0 | 2,9 | 13,6 | 3,4 | 3,2 | 12,8 | 3,40 | 5,95 | 2,15 |
| 22 | 34,8-35,9 | 1,1 | 14,5 | 4,5 | 3,2 | 13,6 | 3,4 | 3,4 | 12,8 | 3,37 | 5,89 | 2,17 |
| 23 | -36,8 | 0,9 | 2,0 | 4,5 | 3,2 | 53,6 | 13,4 | 13,4 | 44,0 | 3,37 | 5,89 | 7,47 |
| 24 | -37,8 | 1,0 | 10,0 | 3,0 | 2,1 | 53,6 | 13,4 | 13,4 | 44,0 | 3,49 | 6,11 | 7,20 |
| 25 | -38,5 | 0,7 | 5,0 | 3,0 | 2,1 | 51,4 | 12,9 | 12,9 | 44,0 | 3,49 | 6,11 | 7,20 |
| 26 | -39,6 | 1,1 | 8,0 | 2,5 | 1,8 | 51,4 | 12,9 | 12,9 | 44,0 | 3,53 | 6,18 | 7,12 |
| 27 | -42,6 | 3,0 | 4,0 | 6,0 | 4,3 | 60,0 | 15,0 | 15,0 | 48,0 | 3,25 | 5,68 | 8,45 |
| 28 | -43,6 | 1,0 | 24,0 | 1,5 | 1,1 | 16,4 | 4,1 | 4,0 | 14,0 | 3,61 | 6,32 | 2,21 |
| 29 | -44,6 | 1,0 | 16,5 | 1,5 | 1,1 | 16,4 | 4,1 | 4,1 | 14,0 | 3,61 | 6,32 | 2,21 |
| 30 | -45,2 | 0,6 | 11,0 | 1,5 | 1,1 | 16,4 | 4,1 | 4,1 | 14,0 | 3,61 | 6,32 | 2,21 |
| 31 | -45,9 | 0,7 | 15,0 | 8,0 | 5,7 | 16,4 | 4,1 | 4,1 | 14,0 | 3,09 | 5,42 | 2,58 |

K-575. sz. fúrás. $R_m(18^\circ\text{C})=3,6 \Omega\text{m}$; $d_h=200 \text{ mm}$; $\rho_m=1,2 \text{ g/cm}^3$; $R_w=1,75 R_{we}$; $C(14^\circ)=1,5$
 $R_{mf}(14)=3,75 \Omega\text{m}$; $TG(\text{max})=47,0 \text{ mm}$; $r_o=380 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $K(14^\circ)=-68,36$; szűrőzve: 29,0-32,0 m; 35,0-46,0 m

| Ssz. | D_{10} mm | n | V_d | n_s | $k \cdot 10^{-4}$ ms^{-1} | $K \cdot 10^{-12}$ m^2 | D_h mm | v_{tr} mm s^{-1} | $Q_{max} \cdot 10^{-4}$ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ | Q_{max} l/p |
|------|----------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|------------------------------------|-------------|--------------------------------|--|------------------|
| 18 | 0,351 | 0,374 | 0,06 | 0,351 | 21,12 | 255,26 | 0,586 | 1,153 | 49,557 | 297,34 |
| 19 | 0,174 | 0,471 | 0,06 | 0,443 | 37,02 | 447,36 | 0,290 | 0,843 | 10,059 | 60,35 |
| 22 | 0,176 | 0,470 | 0,10 | 0,423 | 29,97 | 362,14 | 0,293 | 0,846 | 22,232 | 133,39 |
| 23 | 0,456 | 0,312 | 0,01 | 0,309 | 12,65 | 152,91 | 0,762 | 1,296 | 27,858 | 167,15 |
| 24 | 0,448 | 0,316 | 0,06 | 0,297 | 11,08 | 133,87 | 0,748 | 1,286 | 30,698 | 184,19 |
| 25 | 0,448 | 0,316 | 0,03 | 0,307 | 12,45 | 150,48 | 0,748 | 1,286 | 21,489 | 128,93 |
| 26 | 0,445 | 0,318 | 0,05 | 0,302 | 11,77 | 142,25 | 0,744 | 1,283 | 33,687 | 202,12 |
| 27 | 0,484 | 0,296 | 0,02 | 0,290 | 9,84 | 118,89 | 0,808 | 1,331 | 95,319 | 571,91 |
| 28 | 0,180 | 0,468 | 0,22 | 0,365 | 16,06 | 194,06 | 0,300 | 0,855 | 20,424 | 122,55 |
| 29 | 0,180 | 0,468 | 0,12 | 0,412 | 27,16 | 328,25 | 0,300 | 0,855 | 20,424 | 122,55 |
| 30 | 0,180 | 0,468 | 0,07 | 0,435 | 35,13 | 424,60 | 0,300 | 0,855 | 12,255 | 73,53 |
| 31 | 0,215 | 0,451 | 0,11 | 0,401 | 28,50 | 344,40 | 0,359 | 0,927 | 15,489 | 92,93 |

$Q(\text{mért})/Q(\text{számított}):$ 2156,94
 $1900/2156,94 = 0,88 \approx 0,9$

K-575. sz. fúrás

A. Függelék III.

| Ssz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_s ohmm | R_s/R_m | R_s/R_m | R_o ohmm | R_{we} ohmm | R_w ohmm | F |
|------|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|------------------|---------------|-------|
| 13 | 27,1-29,1 | 2,0 | 4,0 | 21,0 | 7,5 | 74,3 | 23,9 | 17,5 | 54,4 | 2,42 | 4,24 | 12,83 |
| 14 | -30,0 | 0,9 | 8,0 | 21,0 | 7,5 | 74,3 | 23,9 | 17,5 | 54,4 | 2,42 | 4,24 | 12,83 |
| 15 | -30,6 | 0,6 | 10,0 | 1,0 | 0,4 | 28,6 | 9,2 | 7,5 | 23,3 | 3,07 | 5,37 | 4,34 |
| 23 | 40,3-41,0 | 0,7 | 13,5 | 10,0 | 3,6 | 18,6 | 6,0 | 5,2 | 16,2 | 2,75 | 4,81 | 3,37 |
| 24 | -43,0 | 2,0 | 5,0 | 31,0 | 11,1 | 58,6 | 18,8 | 15,0 | 46,7 | 2,14 | 3,75 | 12,45 |
| 25 | -44,4 | 1,4 | 0,0 | 31,0 | 11,1 | 54,3 | 17,5 | 14,9 | 46,3 | 2,14 | 3,75 | 12,35 |
| 26 | -46,6 | 2,2 | 14,0 | 31,0 | 11,1 | 64,3 | 20,7 | 16,0 | 49,8 | 2,14 | 3,75 | 13,28 |
| 27 | -47,2 | 0,6 | 14,0 | 0,0 | 0,0 | 17,1 | 5,5 | 4,6 | 14,3 | 3,11 | 5,44 | 2,63 |
| 28 | -48,4 | 1,2 | 27,0 | 0,0 | 0,0 | 17,1 | 5,5 | 4,6 | 14,3 | 3,11 | 5,44 | 2,63 |

K-576. sz. fúrás. $R_m(18^\circ\text{C})=2,7 \Omega\text{m}$; $d_h=160 \text{ mm}$; $\rho_m=1,1 \text{ g/cm}^3$; $R_w=1,75R_{we}$; $C(14^\circ)=1,5$
 $R_{mf}(14^\circ\text{C})=3,11 \Omega\text{m}$; $TG(\text{max})=33,0 \text{ mm}$; $r_0=80 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $K(14^\circ)=-68,36$; $TG(\text{min})=0$; szűrőzve: 27,0-31,0 m; 40,0-48,0 m

| Ssz. | D_{10} mm | n | V_{cl} | n_v | $k \cdot 10^6$ ms^{-1} | $K \cdot 10^{-12}$ m^2 | D_L mm | v_{kr} mms^{-1} | $Q_{m1} \cdot 10^{-4}$ m^3s^{-1} | Q_{m1} l/p |
|---------------------------------------|----------------|-------|----------|-------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------------------------|---|-----------------|
| 13 | 0,578 | 0,246 | 0,03 | 0,239 | 4,56 | 55,08 | 0,967 | 1,442 | 68,847 | 413,08 |
| 14 | 0,578 | 0,246 | 0,07 | 0,229 | 4,01 | 48,41 | 0,967 | 1,442 | 30,981 | 185,89 |
| 15 | 0,333 | 0,384 | 0,10 | 0,346 | 19,76 | 238,80 | 0,556 | 1,126 | 16,136 | 96,82 |
| 23 | 0,275 | 0,418 | 0,15 | 0,355 | 20,30 | 245,32 | 0,460 | 1,035 | 17,300 | 103,80 |
| 24 | 0,572 | 0,250 | 0,04 | 0,240 | 4,67 | 56,49 | 0,955 | 1,434 | 68,464 | 410,79 |
| 25 | 0,570 | 0,251 | 0,00 | 0,251 | 5,39 | 65,12 | 0,952 | 1,432 | 47,858 | 287,15 |
| 26 | 0,586 | 0,243 | 0,16 | 0,204 | 2,82 | 34,10 | 0,980 | 1,450 | 76,184 | 457,10 |
| 27 | 0,219 | 0,449 | 0,16 | 0,377 | 22,17 | 267,90 | 0,366 | 0,935 | 13,391 | 80,35 |
| 28 | 0,219 | 0,449 | 0,59 | 0,184 | 2,07 | 25,03 | 0,366 | 0,935 | 26,782 | 160,69 |
| $Q(\text{mért})/Q(\text{számított}):$ | | | | | | | | | 2195,67 | |
| $900/2195,67 = 0,410 \approx 0,4$ | | | | | | | | | | |

K-576. sz. fúrás

A. Függelék IV.

| Ssz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_e ohmm | R_e/R_m | R_e/R_m | R_o ohmm | R_w ohmm | F |
|------|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|---------------|------|
| 41 | 43,2-45,0 | 1,8 | 7,0 | 28,0 | 10,0 | 65,7 | 11,7 | 10,4 | 58,2 | 7,85 | 7,42 |
| 42 | -45,6 | 0,6 | 31,0 | 28,0 | 10,0 | 65,7 | 11,7 | 10,4 | 58,2 | 7,85 | 7,42 |
| 43 | -46,0 | 0,4 | 25,5 | 28,0 | 10,0 | 65,7 | 11,7 | 10,4 | 58,2 | 7,85 | 7,42 |
| 45 | 47,6-50,8 | 3,2 | 7,0 | 23,5 | 8,4 | 55,7 | 9,9 | 8,3 | 46,5 | 8,29 | 5,60 |
| 48 | 52,9-53,3 | 0,4 | 21,0 | 34,0 | 12,1 | 52,9 | 9,4 | 8,0 | 44,8 | 7,31 | 6,12 |
| 49 | -54,0 | 0,7 | 28,0 | 34,0 | 12,1 | 52,9 | 9,4 | 8,0 | 44,8 | 7,31 | 6,12 |
| 50 | -55,0 | 1,0 | 14,5 | 34,0 | 12,1 | 52,9 | 9,4 | 8,0 | 44,8 | 7,31 | 6,12 |

K-580. sz. fúrás. $R_m(18^\circ)=6,6 \Omega\text{m}$; $d_h=190 \text{ mm}$; $\rho_m=1,1 \text{ g/cm}^3$; $R_w=1,75R_{we}$; $C(12^\circ)=1,4$
 $R_{ny}(12^\circ)=5,6 \Omega\text{m}$; $TG(\text{max})=93,0 \text{ mm}$; $r_0=235 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $K(12^\circ)=-67,88$; $TG(\text{min})=0$; szűrőzve: 43,0-46,0 m; 47,5-51,0 m;
53,0-55,0 m

| Ssz. | D_{10} mm | n | V_d | n_e | $k \cdot 10^6$ ms^{-1} | $K \cdot 10^{-12}$ m^2 | D_h mm | v_w mms^{-1} | $Q_{\text{m}1} \cdot 10^4$ m^3s^{-1} | $Q_{\text{m}1}$ l/p |
|---------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------------|---|------------------------|
| 41 | 0,454 | 0,313 | 0,02 | 0,306 | 11,46 | 148,32 | 0,759 | 1,294 | 34,395 | 206,37 |
| 42 | 0,454 | 0,313 | 0,11 | 0,278 | 8,22 | 106,38 | 0,759 | 1,294 | 11,465 | 68,79 |
| 43 | 0,454 | 0,313 | 0,08 | 0,288 | 9,19 | 118,98 | 0,759 | 1,294 | 7,643 | 45,86 |
| 45 | 0,391 | 0,350 | 0,02 | 0,343 | 18,07 | 233,96 | 0,653 | 1,210 | 57,179 | 343,08 |
| 48 | 0,411 | 0,338 | 0,07 | 0,314 | 12,95 | 167,63 | 0,687 | 1,238 | 7,311 | 43,87 |
| 49 | 0,411 | 0,338 | 0,10 | 0,304 | 11,51 | 149,01 | 0,687 | 1,238 | 12,794 | 76,77 |
| 50 | 0,411 | 0,338 | 0,04 | 0,324 | 14,55 | 188,38 | 0,687 | 1,238 | 18,278 | 109,67 |
| $Q(\text{mért})/Q(\text{számított}):$ | | | | | | | | | | 894,41 |
| $500/894,41 = 0,56 \approx 0,6$ | | | | | | | | | | |

K-580. sz. fúrás

A. Függelék V.

| Sz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_e ohmm | R_e/R_m | R_e/R_m | R_e ohmm | R_w ohmm | R_w ohmm | F - |
|-----|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|--------|
| 14 | 28,0-30,4 | 2,4 | 0,0 | - | - | 75,0 | 4,4 | 3,7 | 63,4 | - | 21,1 | 3,00 |
| 15 | -32,0 | 1,6 | 6,0 | - | - | 75,0 | 4,4 | 3,7 | 63,4 | - | 21,1 | 3,00 |
| 25 | 46,0-46,8 | 0,8 | 14,0 | - | - | 26,4 | 1,5 | 1,4 | 24,0 | - | 21,1 | 1,14 |
| 26 | -50,0 | 3,2 | 16,0 | - | - | 58,6 | 3,4 | 3,0 | 51,4 | - | 21,1 | 2,42 |

K-583. sz. fúrás. $R_m(18^\circ\text{C})=15,4 \Omega\text{m}$; $d_h=230 \text{ mm}$; $\rho_m=1,1 \text{ g/cm}^3$; $R_w=R_{wc}$; $C(14^\circ)=1,5$
 $R_{mf}(14^\circ)=19,71 \Omega\text{m}$; $TG(\text{max})=55,0 \text{ mm}$; $r_0=235 \cdot 10^{-3} \text{ m}$; $TG(\text{min})=0$; szűrőzve: 28,0-32,0 m; 46,0-50,0 m

| Sz. | D_{10} mm | n | V_d | n_s | $k \cdot 10^4$ ms^{-1} | $K \cdot 10^{12}$ m^2 | D_k mm | v_w $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ | $Q_{\text{má.}} \cdot 10^4$ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ | $Q_{\text{má.}}$ l/p |
|----------------------------------|----------------|-------|-------|-------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--|---|-------------------------|
| 14 | 0,249 | 0,433 | 0,00 | 0,433 | 45,696 | 552,23 | 0,416 | 0,9897 | 35,072 | 210,43 |
| 15 | 0,249 | 0,433 | 0,03 | 0,420 | 39,507 | 477,43 | 0,416 | 0,9897 | 25,075 | 150,45 |
| 25 | 0,030 | 0,518 | 0,08 | 0,477 | 16,839 | 41,25 | 0,050 | 0,3847 | 4,544 | 27,26 |
| 26 | 0,200 | 0,458 | 0,09 | 0,417 | 31,993 | 386,63 | 0,335 | 0,8986 | 46,588 | 279,53 |
| Q(mért)/Q(számított): | | | | | | | | | | 667,67 |
| $640/667,26 = 0,959 \approx 1,0$ | | | | | | | | | | |

K-583. sz. fúrás

Megjegyzés: SP-szelvényt nem mérték. R_w -becslés a következő módon történt: Kitermelt víz vezetőképessége $473,90 \mu\text{S/cm}$ $14,0^\circ\text{C}$ -on, tehát $R_w(14^\circ)=21,1 \Omega\text{m}$

A. Függelék VI.

| Ssz. | H m | h m | TG mm | SP mm | SP mV | R_e ohmm | R_e/R_m | R_o/R_m | R_o ohmm | $R_{we}=R_w$ ohmm | F |
|------|-----------|--------|----------|----------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|----------------------|------|
| 14 | 44,0-46,4 | 2,4 | 3,0 | 13,0 | 9,3 | 33,6 | 2,35 | 2,30 | 32,8 | 12,01 | 2,73 |
| 15 | -47,7 | 1,3 | 9,5 | 13,0 | 9,3 | 30,7 | 2,10 | 2,10 | 30,0 | 12,01 | 2,50 |
| 16 | -52,0 | 4,3 | 9,5 | 13,0 | 9,3 | 37,1 | 2,40 | 2,40 | 34,2 | 12,01 | 2,85 |

K-585. sz. fúrás. $R_m(18^\circ)=12,1 \Omega\text{m}$; $d_h=320 \text{ mm}$; $\rho_m=1,1 \text{ g/cm}^3$; $TG(\text{min})=0$; $C(12^\circ)=1,4$
 Szűrőzve: 44,0-52,0 m; $R_w=R_{we}$; $R_0(\text{m})=235 \cdot 10^{-3}$; $R_{mf}(12^\circ)=16,46 \Omega\text{m}$; $K(12^\circ)=-67,88$; $TG(\text{max})=32,5 \text{ mm}$

| Ssz. | D_{10} mm | n | V_{cl} | n_e | $k \cdot 10^6$ ms^{-1} | $K \cdot 10^{12}$ m^2 | D_k mm | v_{kr} $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ | $Q_{\text{max}} \cdot 10^{-4}$ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ | Q_{max} l/p |
|--------------------------------|----------------|------|----------|-------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|--|-------------------------|
| 14 | 0,228 | 0,44 | 0,02 | 0,43 | 38,59 | 499,7 | 0,381 | 0,951 | 33,701 | 202,2 |
| 15 | 0,208 | 0,45 | 0,09 | 0,41 | 28,55 | 369,6 | 0,348 | 0,913 | 17,525 | 105,2 |
| 16 | 0,237 | 0,44 | 0,09 | 0,40 | 28,50 | 369,0 | 0,396 | 0,969 | 61,523 | 369,1 |
| Q(mért)/Q(számított): | | | | | | | | | | 676,5 |
| $650/676,5 = 0,96 \approx 1,0$ | | | | | | | | | | |

K-585. sz. fúrás

Megjegyzés: Az SP-ből számított $R_{we}=R_w$, mert az $1/R_0=n_e^2/aR_w(1-V_{sh})+V_{sh}/R_{sh}$ összefüggésből, mely a totális agyag térfogatarányra vonatkozik [SCHLUMBERGER 1987], a szűrőzött szakasz átlagparamétereiből számítva: $R_w=12,58 \Omega\text{m}$, tehát igen közel áll az SP-ből kapott $R_w=12,1 \Omega\text{m}$ -hez. Az átlagok: $R_0=33,33$; $V_{cl}=0,067$; $R_{sh}=(7,1+10,0)/2=8,55$; $n_e=0,41$. A szűrőzött szakaszt ágyazó agyag fedő $10,0 \Omega\text{m}$, a fekü $7,1 \Omega\text{m}$ fajlagos ellenállású

B. Függelék I.

$$B = 3,83[1 - 0,83 \exp(-0,5/R_w)], \text{ (Thomas, 1976)}$$

$$B = [-1,28 + 0,225t - 0,0004059 \cdot t^2] / [1 + R_w^{1,23}(0,045t - 0,2)], \text{ (Juhász, 1981)}$$

$$C_o = C_w/F_1 + C_e/F_2, \text{ (Waxman-Smits)}$$

$$C_o = (C_w + C_e)/F^o, \text{ (Waxman-Smits)}$$

$$C_o = (C_w + BQ_w)/F^o \text{ (Waxman-Smits)}$$

$$C_e = c_e \cdot J \cdot z_e \cdot \nu_e = J \cdot \nu_e \cdot Q_w$$

$$C_i = S_w^{n^*} / F^o (C_w + BQ_w / S_w)$$

$$C_i = S_w^{n^*} \cdot C_w / F^o + S_w^{n^*-1} \cdot BQ_w / F^o$$

$$Cl(ppm) = 0,6(TDSppm - 400)$$

$$D_{10}(m) = 5,22 \cdot 10^{-4} \log F$$

$$D_{10}(m) = 0,13 \cdot 10^{-4} F^{2,5}, F \leq 7,0$$

$$D_h = 1,671 \cdot D_{10}$$

$$D_h(m) = 8,723 \cdot 10^{-4} \log F$$

$$D_h/D_{10} = 1,919 \cdot \log U + 1$$

$$(D_h/\alpha)^2 = (1/t \cdot S_w)^2$$

$$F = R_o/R_w$$

$$F = R_o/1,75 \cdot R_{m\mu} \left[10^{\frac{SSP}{K}} \right]^{-1}$$

$$F = 1/n^2 = 1/\phi^2, n: \text{ hézagterfogat}, \phi: \text{ porozitás}$$

$$F = 0,62/n^{2,15}$$

$$F_f = 0,88/n^{1,37}, 0,25 \leq n \leq 0,45$$

$$F = 0,62/n^{2,15} - 3(0,5 - D_{10}), D_{10} \leq 0,5mm$$

$$F(m^2) = 2\pi r_o(m) \cdot h(m)$$

$$F \cdot R_w \geq F(\min) \cdot R_w(\min)$$

$$1/F_a = R_w/R_{ma} + 1/F, \text{ [Repsold, 1989]}$$

$$g/\nu(m^{-1}) = 5,517 \cdot 10^4 \cdot C, C = [1 + 3,37 \cdot 10^{-2} \cdot T + 2,21 \cdot 10^{-4} T^2], T^\circ C$$

$$i_g = [TG(\text{mért}) - TG(\min)] / [TG(\max) - TG(\min)]$$

$$i_g = [Th(\text{mért}) - Th(\min)] / [Th(\max) - Th(\min)], Th: \text{ tórium szelvényből}$$

$$K = 65 + 0,24 \cdot T_p, T_p(^\circ C): \text{ réteg hőfok}$$

$$k(ms^{-1}) = 1/5 \cdot g/\nu \cdot n^3 / (1-n)^2 \cdot (D_h/\alpha)^2, g = 9,81 ms^{-2}$$

$$k(ms^{-1}) = 23,32 \cdot 10^{-5} \cdot C \cdot n^3 / (1-n)^4 \cdot [\log(R_o/R_w)]^2 / [(R_o/R_w) \cdot n]^{1,2}$$

$$K(m^2) = 1/5 \cdot n^3 / (1-n)^2 \cdot (1/t \cdot S_w)^2$$

$$K(m^2) = 4,2273 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 / (1-n)^4 \cdot [\log(R_o/R_w)]^2 / [(R_o/R_w) \cdot n]^{1,2}$$

$$K(\text{darcy}) = 10^{F-1,9}$$

B. Függelék II.

$$n = [0,62/F + 3(0,5 - D_{10})]^{2,15}, D_{10}(mm)$$

$$n_e = n(1 - V_{cl})$$

$$P(ppm) = k/R_w (ohmm), k = 6500$$

$$Q_{max}(m^3s^{-1}) = 2\pi r_o(m) \cdot h(m) \cdot v_{kr}(ms^{-1})$$

$$Q_{max}(m^3s^{-1}) = 2\pi r_o(m) \cdot h(m) \cdot 10^{-3} [10^{0,446 \cdot \log D_{10}(mm) + 0,1654}]$$

$$Q(l/p) = 6 \cdot 10^{-4} Q(m^3s^{-1})$$

$$Q_{max}(m^3s^{-1}) = 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot r_o(m) \cdot h(m) \cdot [D_{10}(mm)]^2$$

$$Q_{max}(m^3s^{-1}) = 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot r_o(m) \cdot h(m) \cdot [0,522 \cdot \log F]^2$$

$$Q_v = [(1 - \phi) Q_{ma} \cdot CEC] / 100\phi$$

$$Q_{vn} = V_{sh} \cdot \phi_{Tsh} / \phi$$

$$R_{ma} = R_w [F \cdot R_o / (F \cdot R_w - R_o)]$$

$$R_{max} = F \cdot F_d / (F - F_d)$$

$$R_{mf} = 0,85 \cdot R_{mf}, \text{ NaCl fúróiszapra, ha } R_{mf}(25^\circ C) > 0,1 \text{ ohmm}$$

$$R_{mf}(T_f^\circ C) = K_m [R_m(T_m^\circ C) + (T_m^\circ C) + 21,5] / (T_f^\circ C + 21,5); K_m: \text{ táblázatból (Schlumberger, 1979)}$$

$$R_{mf} = K_m \cdot (R_m)^{1,07}, R_m(24^\circ C), 0,1 \leq R_m \leq 10 \text{ ohmm}$$

$$R_o = F \cdot R_w / (1 + BQ_v R_w)$$

$$R_w = A \cdot R_{we}, 1,0 \leq A \leq 1,75$$

$$R_w(NaCl) = 1,75 R_{we}(NaHCO_3)$$

$$R_w(ohmm) = R_{mf}(ohmm) \left[10^{\frac{SSP(mV)}{K}} \right]^{-1}$$

$$R_w = 1/F [R_{ma} \cdot R_o / (R_{ma} - R_o)] \text{ (Repsold, 1989)}$$

$$R_{we} = 0,85 R_{mf} \left[10^{\frac{SSP}{K}} \right]^{-1}$$

$$R_{we} = 0,075/a_w, a_w: \text{ kémiai aktivitás}$$

$$R_{we} = S_{wT} \cdot R_{wsh} / [Q_{vn} \cdot R_w + (S_{wT} - Q_{vn}) \cdot R_{wsh}]$$

$$R_{wsh} = \phi_{Tsh}^{m^*} \cdot R_{sh}$$

$$1/R_o = 1/R_{ma} + 1/F \cdot R_w, \text{ (Repsold, 1989)}$$

$$1/R_w = (1/R_o - V_{sh}/R_{sh}) \cdot 0,62(1 - V_{sh})/n_e^2, S_w = 1,0, \text{ (Schlumberger, 1987)}$$

$$SP(mV) = -K \cdot \log(R_{mf}/R_{we})$$

$$SSP = PSP/(1 - V_{cl}), PSP: \text{ agyagos homokkőnél mért pszeudosztatikus SP}$$

$$S_v(m^{-1}) = 6(1 - n)/D_h(m)$$

$$S_v^2(m^2) = 36(1 - n)^2 / [8,723 \cdot 10^{-4} \cdot \log(R_o/R_w)]^2$$

$$s_w(\text{mikromhocm}^{-1}) = 10^4/R_w(ohmm), \text{ víz fajlagos vezetőképesség}$$

$$S_{wT} = [\phi_T^{-m^*} \cdot R_{we}/R_i]^{1/n^*}, \text{ (Juhász, 1981)}$$

B. Függelék III.

$$t = (F \cdot n)^{1/1,67}$$

$$t^2 = [(R_o/R_w) \cdot n]^{1,2}$$

$$\log TDS(ppm) = -1,0621 \cdot \log R_w(ohmm) + 3,9824$$

$$U = D_{60}/D_{10}$$

$$v_{kr} = \sqrt{k} / 15$$

$$v_{kr} = \sqrt[3]{k} / 30$$

$$v_{kr}(mms^{-1}) = 2\sqrt{D_{10}(mm)}$$

$$v_{kr}(ms^{-1}) = 10^{-3} \cdot \exp(0,549 \ln D_h + 0,301), \quad 0,08 \leq D_h \leq 10 \text{ mm}$$

$$v_{kr}(ms^{-1}) = 10^{-3} \cdot \exp[0,8325 \ln D_h - 0,0662(\ln D_h)^2 + 0,3010], \quad 1,0 \leq D_h \leq 4,0 \text{ mm}$$

$$v_{kr}(ms^{-1}) = 10^{-3} [10^{0,446 \cdot \log D_h + 0,1654}], \quad 0,09 \leq D_h \leq 5,0 \text{ mm}$$

$$V_{cl} = 0,08336 [2^{3,7 \cdot i} - 1]$$

$$V_{sh} = 0,33 [2^{2 \cdot i} - 1]$$

$$\nu = 1,778 \cdot 10^{-4} [1 + 3,37 \cdot 10^{-2} T + 2,21 \cdot 10^{-4} T^2]^{-1}, \quad T^\circ C$$

$$\sigma_a(mS/m) = 0,04 \cdot TDS(ppm)$$

$$\psi = (A/d)^6; \text{ van der Waals-London-erő}$$

Jelölések

| | |
|------------|---|
| <i>A</i> | R_{we} tényezője, $R_w = A \cdot R_{we}$, pl. $A = 1,75$ |
| <i>C</i> | viszkózitás hőfoktényező |
| D_{10} | Hazen-féle mértékadó szemcseátmérő |
| D_h | Kožený-féle hatékony szemcseátmérő |
| <i>F</i> | fajlagos ellenállás formációtényező |
| $F(\min)$ | formációtényező minimum |
| <i>g</i> | $9,81 \text{ ms}^{-2}$ |
| <i>h</i> | rétegvastagság |
| <i>H</i> | mélység |
| i_g | radioaktivitás index |
| <i>k</i> | szivárgási tényező |
| $k=6500$ | édesvíz sóssági állandó |
| <i>K</i> | permeabilitás |
| $K(mV)$ | SP-tényező |
| K_m | iszapfiltrátum tényező |
| <i>n</i> | hézagterefogat |
| n_e | effektív hézagterefogat |
| $P(ppm)$ | sókoncentráció |
| <i>PSP</i> | pszeudosztatikus SP |
| Q_{max} | optimális vízhozam |
| r_0 | szűrő sugár |
| R_0 | vizzel telített közet fajlagos ellenállása |

| | |
|-------------|---|
| R_w | formációvíz fajlagos ellenállása |
| $R_w(\min)$ | formációvíz fajlagos ellenállás minimum |
| R_{we} | formációvíz ekvivalens fajlagos ellenállás |
| R_m | iszap fajlagos ellenállás |
| R_{mf} | iszapfiltrátum fajlagos ellenállás |
| R_{mfe} | iszapfiltrátum ekvivalens fajlagos ellenállás |
| <i>SP</i> | természetes potenciál |
| <i>SSP</i> | sztatikus SP |
| S_v | fajlagos felület |
| <i>t</i> | tortuozitás |
| <i>T</i> | hőfok, °C |
| T_f | formáció hőfok, °C |
| T_m° | iszap hőfok, °C |
| <i>TDS</i> | teljes oldott szilárd anyag |
| <i>TG</i> | természetes gamma intenzitás |
| <i>U</i> | szemcse egyenlőtlenségi együttható |
| V_{cl} | agyag térfogatarány |
| V_{sh} | iszap (shale) térfogatarány |
| V_{kr} | kritikus szivárgási sebesség |
| α | szemcse alaki tényező |
| ν | kinematikai viszkózitás |
| σ_a | talaj vezetőképeség |
| ψ | van der Waals-London erő |