

Szivárgási tényező meghatározása különféle módszerekkel

Hajnal Géza

BME, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, hajnal@vit.bme.hu

Görög Péter

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék gorog.peter@gmail.com

Jobbágy Réka

BME, Építőmérnöki Kar, j.reka@freemail.hu

Kőszely Ágnes

BME, Építőmérnöki Kar, hugi1986@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS: Az építőmérnöki gyakorlatban egyre gyakoribb feladat a talajvízfelszín alatti rétegek szivárgási tényezőjének meghatározása. A mélyépítési munkák költségbecslésekor a munkagödör víztelenítési módját kívánja előre meghatározni a beruházó, a másik gyakori cél pedig a kitermelhető vízkészlet megállapítása a tervezett épület hűtéséhez-fűtéséhez. A geotechnikusok és a hidrogeológusok a szivárgási tényezőt a talajmintán végzett laboratóriumi mérésekkel, illetve helyszíni vizsgálatokkal tudják meghatározni (Ubell 1954, 1958, Kovács 1972, Bear 1979). Utóbbiaknál két fő csoport különíthető el: a nyeletéses és a leszívásos eljárások. Az adatok feldolgozásához többféle szoftver is forgalomban van. Az alábbiakban egy konkrét területen végzett vizsgálat, többféle eljárás alapján kiértékelt eredményeit vetjük össze.

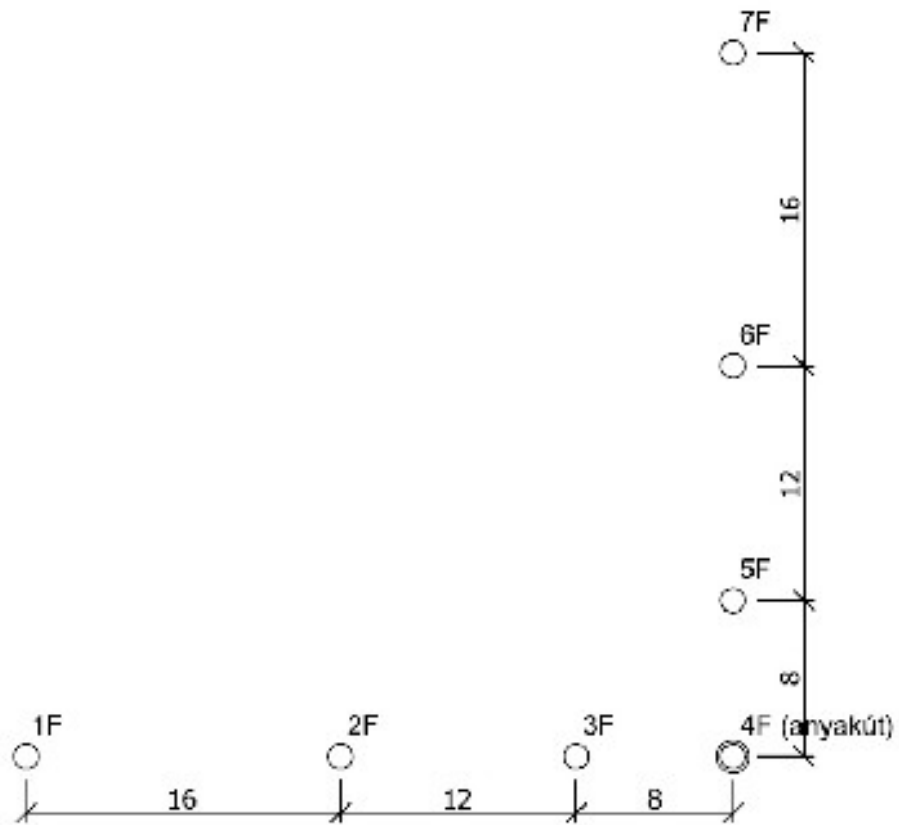
Kulcsszavak: szivárgási tényező, próbaszivattyúzás, kútképlet, nyeletés, Dupuit, Porchet, Cooper-Jacob

1. BEVEZETÉS

Megbízást kaptunk, hogy egy Buda környéki területen történő beruházásnál a víztelenítési mód meghatározása céljából helyszíni mérésekkel állapítsuk meg a talajréteg(ek) szivárgási tényezőjét. Mivel a területen még addig nem készült talajmechanikai szakvélemény, és nem ismertük a földtani rétegződést, klasszikus próbaszivattyúzást irányoztunk elő, szűrőzött anyagút és 3-3 észlelőkút telepítésével. A kutak kiképzését és a próbaszivattyúzást alvállalkozó végezte. A határidő szorítása miatt, csak nagyon rövid idejű vizsgálatokra volt lehetőség, és igen ellentmondásos eredményeket kaptunk. Ezek tapasztalati kiértékelésével leadtuk szakvéleményünket, de a probléma nem hagyott nyugodni bennünket. Bár a területen megindultak a kivitelezési munkálatok, szerencsére a talajvízszint észlelő kutak megmaradtak, így megbízónk engedélyével saját kedvtelésünkre kísérletezhettünk, több szivattyúval felszerelve újból nekiláttunk a terepi vizsgálatoknak. Közben a talajmechanikai vizsgálatok is elkészültek (részben mi is laboráltattunk talajmintákat), így sokféle eredmény összevetésére nyílt lehetőségünk.

2. KUTAK ELRENDEZÉSE

A kutak elrendezése az 1-3. ábrán látható. A 4F jelű anyagút 125 mm átmérőjű, 12 méter mély, alján iszapzsákkal, felette 2 m szűrőzött résszel. Rá merőlegesen helyezkedik el a 3-3 észlelőkút. a várható depressziós tölcser észlelésére alkalmas arányos távolságokra (8 – 12 – 16 méter). Az észlelőkutak 6 méter mélyek és 110 mm átmérőjűek.



1. ábra. A kutak elrendezésének vázlata



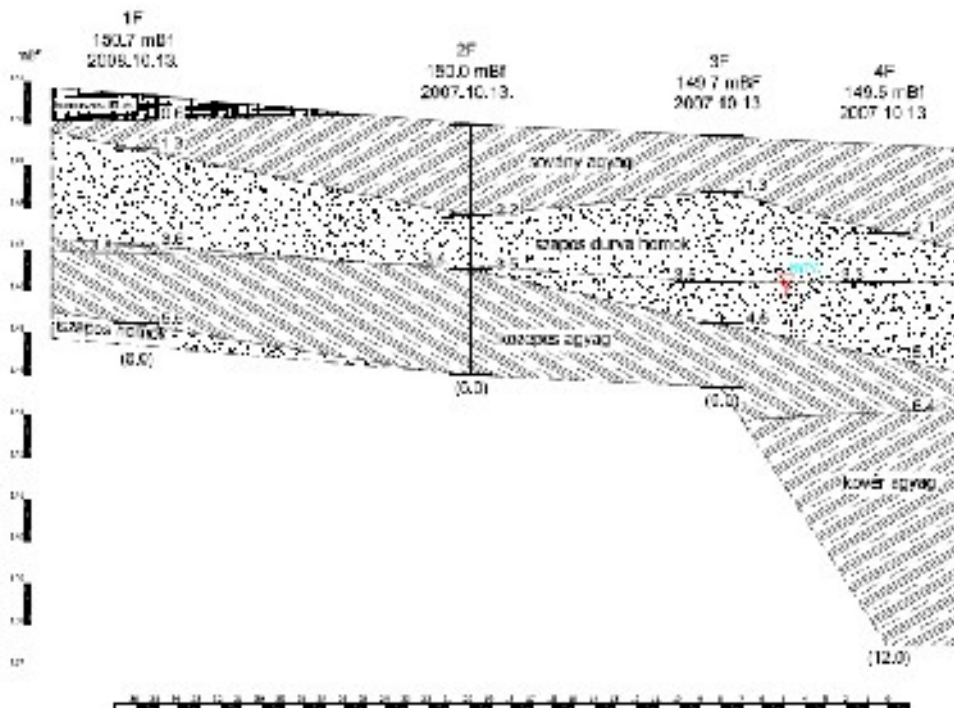
2. ábra. A narancssárga 4F jelű anyagút és az 5F, 6F és 7F jelű észlelőkutak elrendezése



3. ábra. Az 1F, 2F és 3F észlelőkutak elhelyezkedése

3. TALAJRÉTEGZŐDÉS, LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

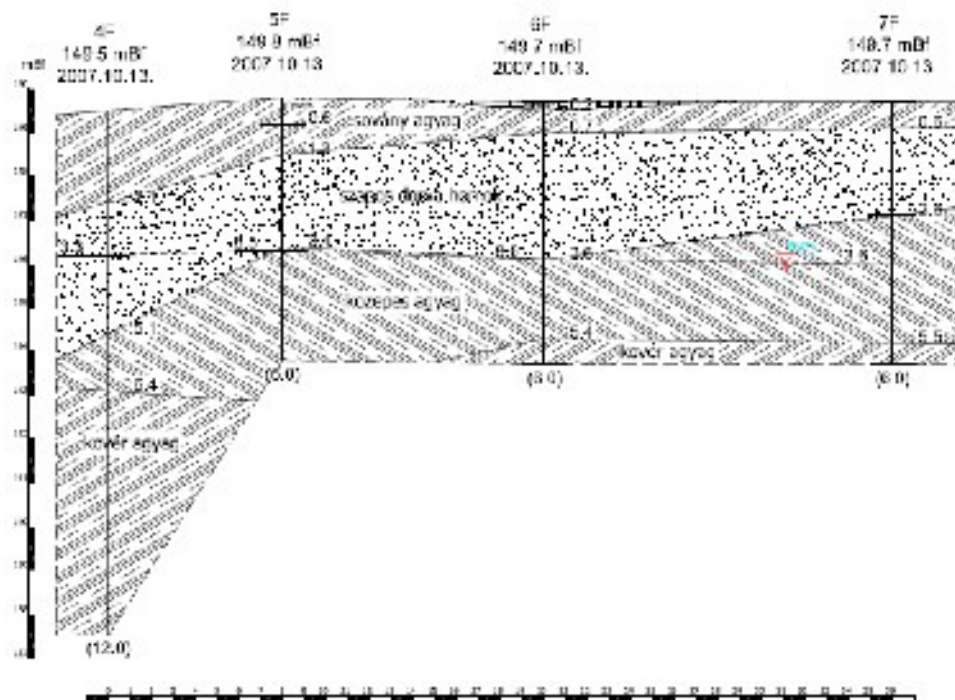
A talajmechanikai azonosító laborvizsgálatok (plasztikus index meghatározására) csak az anyakút rétegsorán készültek. A munkagödör kiemelésekor a helyszínen két rétegből mi is vettünk mintát, amin laboratóriumi azonosító és vízáteresztőképességi vizsgálatokat végeztünk. A rétegsort a laborvizsgálatok és a fúrásnaplók alapján készítettük el, ami szerint egy felső sovány agyag réteg alatt iszapos durva homok réteg található 15 % iszaptartalommal, majd egy viszonylag vékony homokos közepes agyag réteg és végül a szürke kiscelli agyag (4-5. ábra).



4. ábra. Az 1F – 4F fúrások menti rétegszelvény

A terület alpközetének a szürke kiscelli agyag tekinthető, a helyszíni mintavételkor ez volt az egyik réteg, amit vizsgáltunk. A másik az iszapos homok réteg volt, amelyből szemeloszlási és

áteresztőképességi vizsgálat készült. Az áteresztőképességet mind a kiscelli agyagon, mind az iszapos durva homokon triaxiális cellában állandó nyomáson vizsgáltattuk. Meg kell jegyezni, hogy a szemcséesebb rétegből zavartalan mintát nem sikerült venni, így az áteresztőképesség laboratóriumi meghatározása tömörített mintán történt. A tömöríthetőség szempontjából kedvező szemeloszlása, illetve természetes víztartalma miatt elképzelhető, hogy a vizsgálat előtti tömörítésnél nagyobb tömörséget értünk el, mint természetes állapotban. Ezek alapján az iszapos durva homok vízáteresztő képessége 10^{-6} m/s, a kövér agyagé 10^{-9} m/s.



5. ábra. A 4F – 7F fúrások menti rétegszelvény

A laborvizsgálatok alapján a szűrőzött anyagút 2,1 m-ig sovány agyagban mélyült, alatta 5,1 méterig iszapos durva homok, majd 6,4 méterig közepes agyag található, alatta a szürke kövér agyag települt. Az észlelőkutak általában nem érték el a kövér agyagot. Az észlelőkutak csövezése 110 mm átmérőjű PVC csővel készült, a furat ennél nagyobb átmérőjű volt, a kettő közötti rés eltömése nem készült el megbízhatóan, így az egyes rétegekben lévő talajvíz keveredhetett az észlelőkutakban, azaz a próbaszivattyúzás és nyeletés eredményei az összlet legnagyobb vízáteresztőképességű rétegre vonatkoznak.

A iszapos durva homokra a szemeloszlási görbe segítségével többféle közelítő számítást is alkalmaztunk (Richter-Varga 2008):

Jáky szerint:

$$k = 100 \cdot D_m^2 \text{ cm/s}, \quad (1)$$

ahol D_m a mértékadó szemcseátmérő, cm.

Terzaghi szerint:

$$k = 200 D_e^2 e^2 \text{ cm/s}, \quad (2)$$

ahol D_e a hatékony szemcsenagyság, amely szemeloszlási görbén a $S = 10\%$ -hoz tartozó szemcseátmérő, az „e” a talaj hézagtenyezője.

Alhazen szerint:

$$k = 116 D_{10}^2, \quad (3)$$

ahol D_{10} cm, k cm/s.

Az eredmények rendre a $1,9 \times 10^{-3}$, $1,1 \times 10^{-4}$, $2,0 \times 10^{-4}$ m/s-ra adódtak.

(Ezek az értékek csak a 4-es kút kivételével elfogadhatók, mivel az a kövér agyagban van szűrőzve!)

4. HELYSZÍNI VIZSGÁLATOK

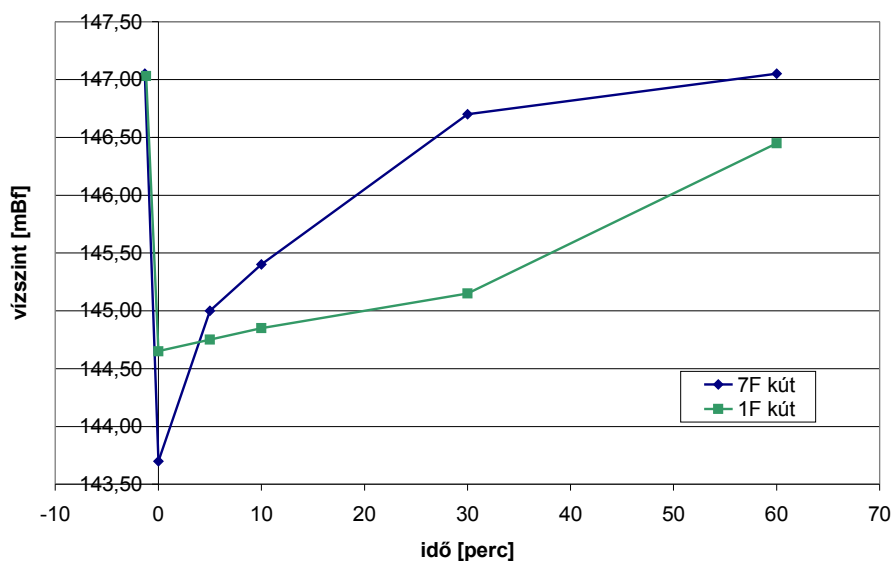
A bevezetőben említett megbízásra történő vizsgálat 2008.09.18-án készült. Ekkor az anyakutat szivattyúzták 16 l/p hozammal, majd fojtva a szivattyú teljesítményét 5 l/p hozammal a visszatöltődés után ismét leürítették. Mivel az észlelőkutakban nem alakult ki depresszió, kérésünkre a két legtávolabbi észlelőkutat is kiszivattyúzták.

Az általunk készített második vizsgálat 2008. október 13-án történt meg. Szivattyúztuk az 1F, 4F és 7F kutakat 12 l/p hozammal, és nyeletési kísérletet végeztünk a 2F, 4F és a 6F kutakban.

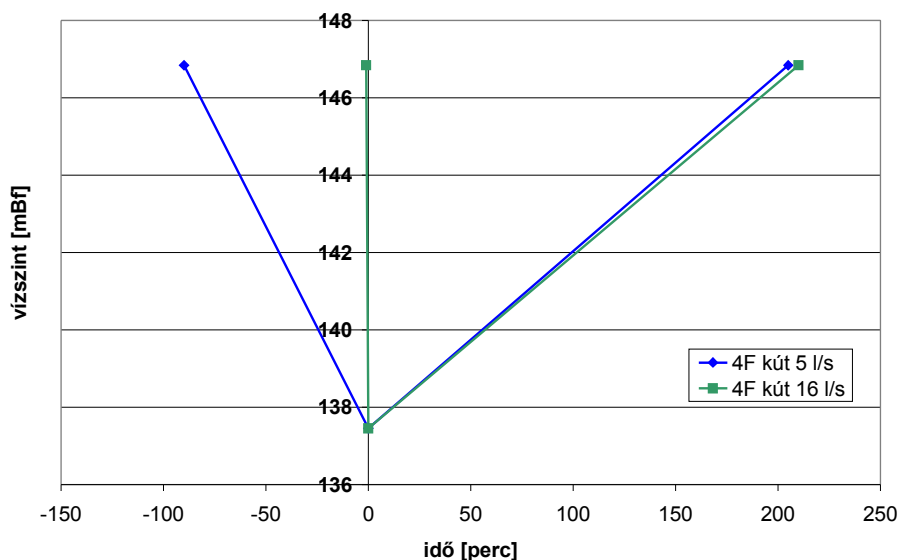
5. EREDMÉNYEK

0.1 Első mérésorozat

Az első vizsgálat sorozat leszívási és visszatöltődési görbéit a 6. és 7. ábrán mutatjuk be.



6. ábra. Az 1F és 7F kút leszívási és visszatöltődési görbéje 16 l/p hozam mellett



7. ábra. A 4F leszívási és visszatöltődési görbéi 16 l/p és 5 l/p hozam mellett

Mivel az észlelőkutakban nem alakult ki depresszió, a Porchet módszerrel (ennek lényege, hogy a leszívás és a visszatöltődés jelleggörbéinek időbeli ábrázolásakor kapott háromszögek metszeteinek hányadosaként számítható a kutak hozama), és Dupuit alábbi

$$k = \frac{Q}{\pi} \frac{\ln \frac{R}{r}}{H_1^2 - H_2^2}, \quad (4)$$

képletével számoltunk, ahol

Q a szivattyúzott vízhozam (m³/s),

R a leszívás hatástávolsága (m),

r a kút sugara (m),

H vízszlop magassága (m).

16 l/p hozamú szívás esetén három, 5 l/p hozamú szívásnál öt nagyságrendnyi eltérés mutatkozott a két módszer eredményei között. A teljes vizsgálatosor eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

A szakvélemény készítésekor a 10⁻⁷ és a 10⁻⁸ m/s nagyságrendű eredményeket fogadtuk el, utólag kiderült, hogy nem tévedtünk, mert az anyagút a kötött agyagból táplálkozik talajvízzel.

0.2 Második mérésorozat

A 8.-16. ábrákon mutatjuk be a második mérésorozat leszívási és visszatöltődési görbéit kutanként, valamint a Cooper-Jacob vizsgálat eredményeit, szétválasztva a leszívást és a visszatöltődést (Vasvári 2004). Mindegyik kútnál meghatároztuk a szivárgási tényezőt, vagy a transzmisszivitást, a fent ismertetett Porchet és Dupuit, illetve a Cooper-Jacob módszerrel.

A transzmisszivitást a

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \cdot \Delta s} \text{ m}^2/\text{s}, \quad (5)$$

a tározási tényezőt

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}, \text{ valamint az} \quad (6)$$

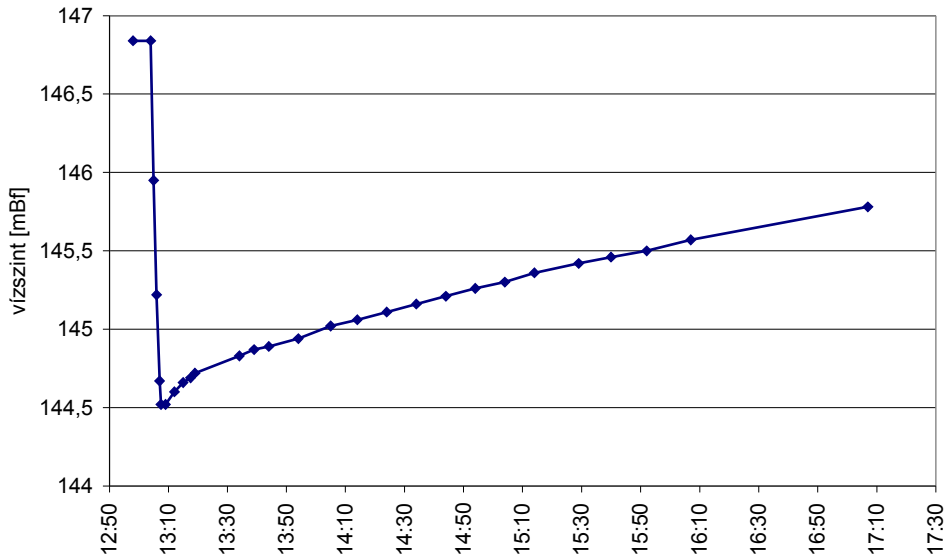
$$S_r = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi T} \cdot \lg\left(\frac{t}{t'}\right), \quad (7)$$

képlettel számítottuk, melyekben

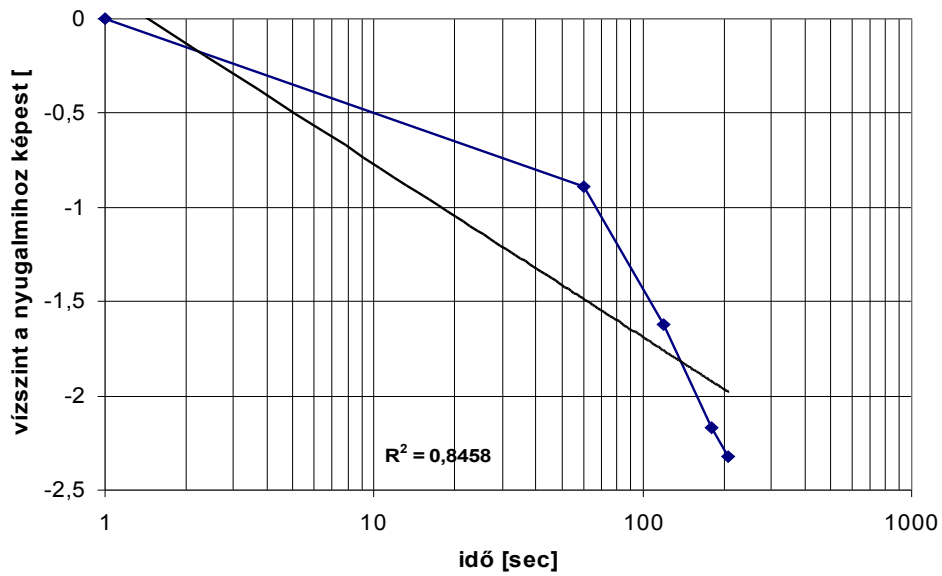
Δs a kiegyenlítő egyenesen az egy nagyságrendnyi időváltozáshoz tartozó vízszintváltozás,

t_0 és t/t' a kiegyenlítő egyenes 0 leszíváshoz illetve visszatöltődéshez tartozó értéke.

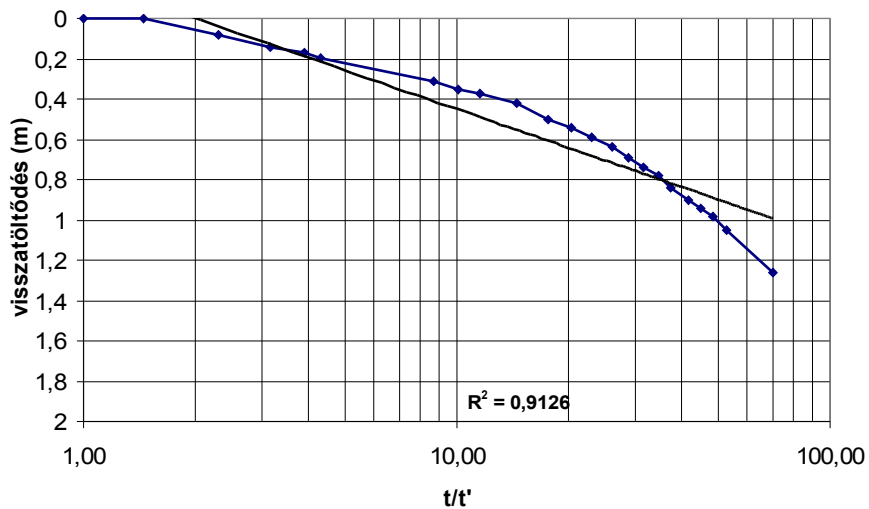
Az azonos rétegek vizsgálata (1-es és 7-es kút) közel azonos eredményeket szolgáltat ezzel a módszerrel. A visszatöltődések jobb korrelációt mutatnak mint a leszívások.



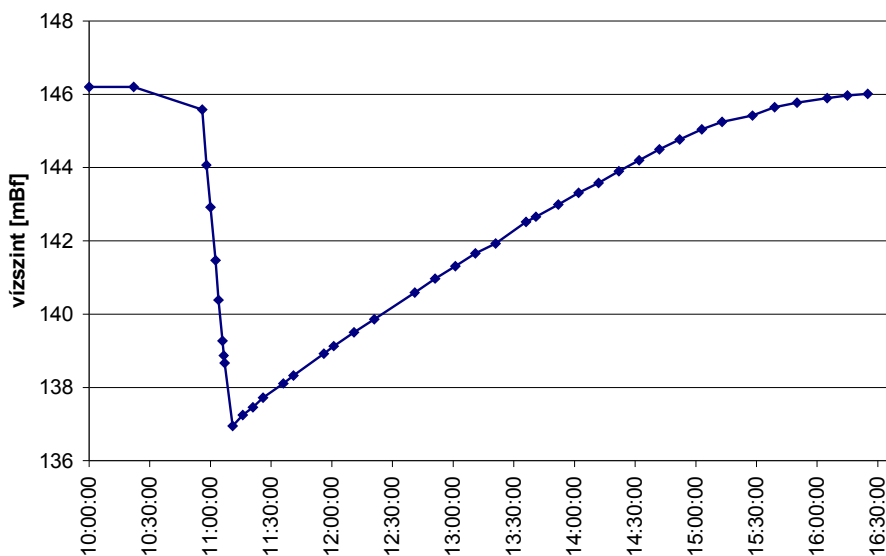
8. ábra. Az 1F leszívási és visszatöltési görbéje 12 l/p hozam mellett



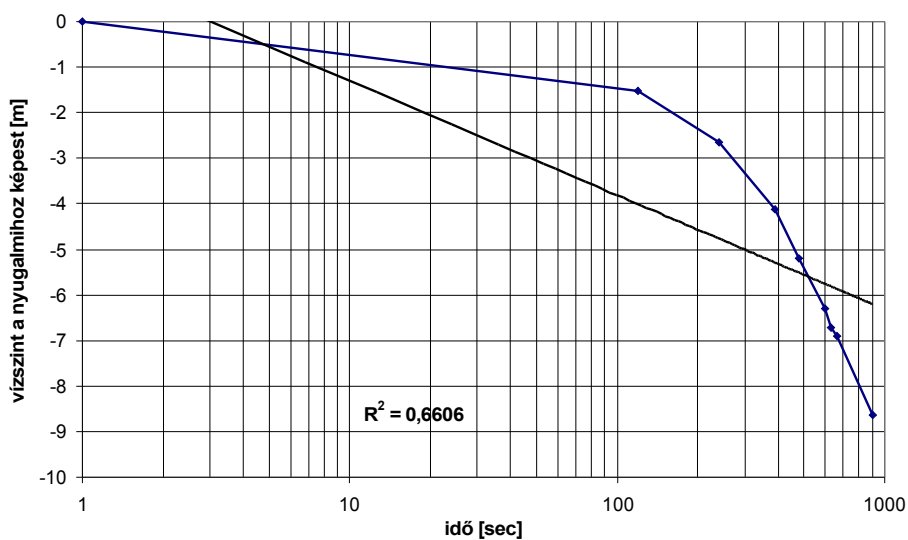
9. ábra. Az 1F kút leszívásának vizsgálata Cooper-Jacob módszerrel



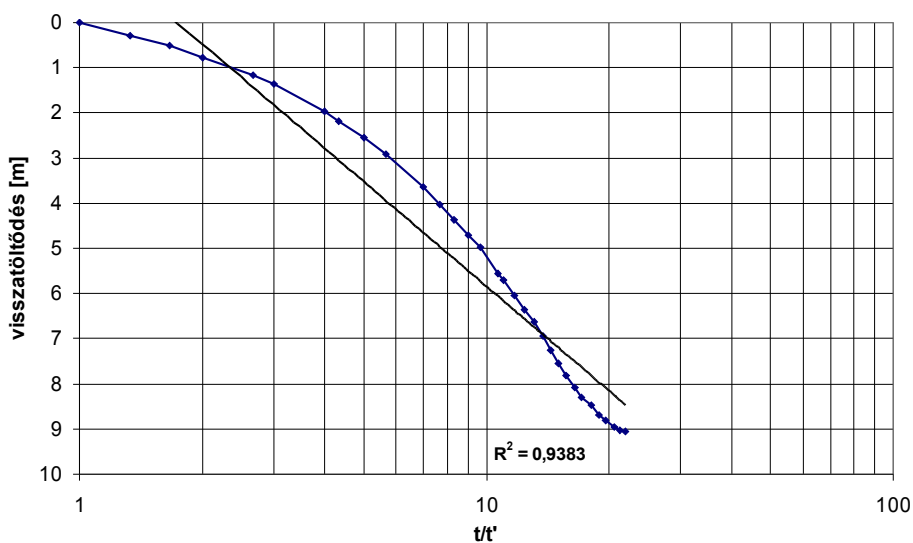
10. ábra. Az 1F kút visszatöltődésének vizsgálata Cooper-Jacob módszerrel



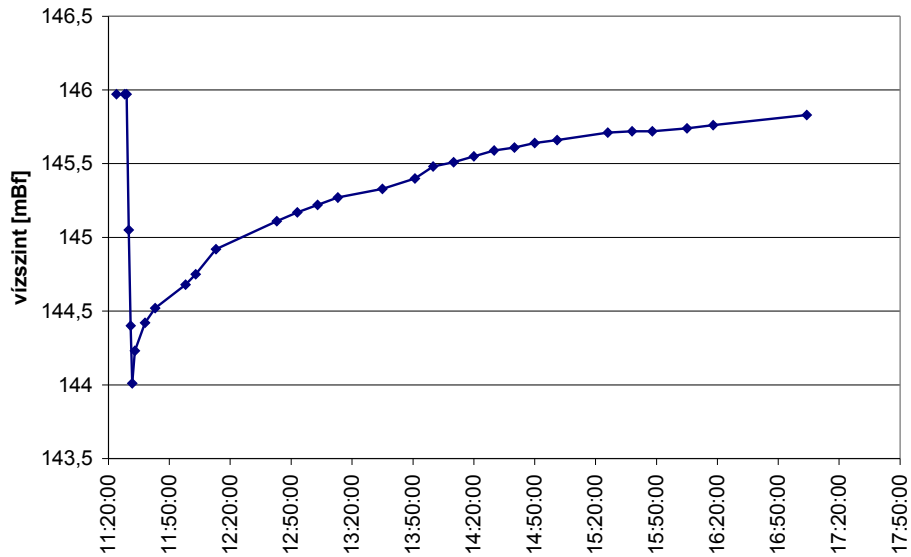
11. ábra. A 4F leszívási és visszatöltési görbéje 12 l/p hozam mellett



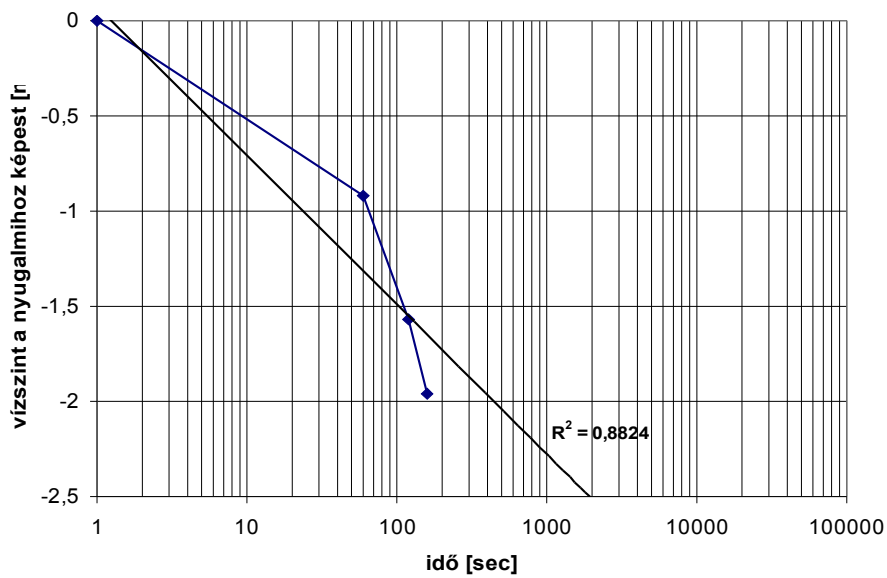
12. ábra. A 4F kút leszívásának vizsgálata Cooper-Jacob módszerrel



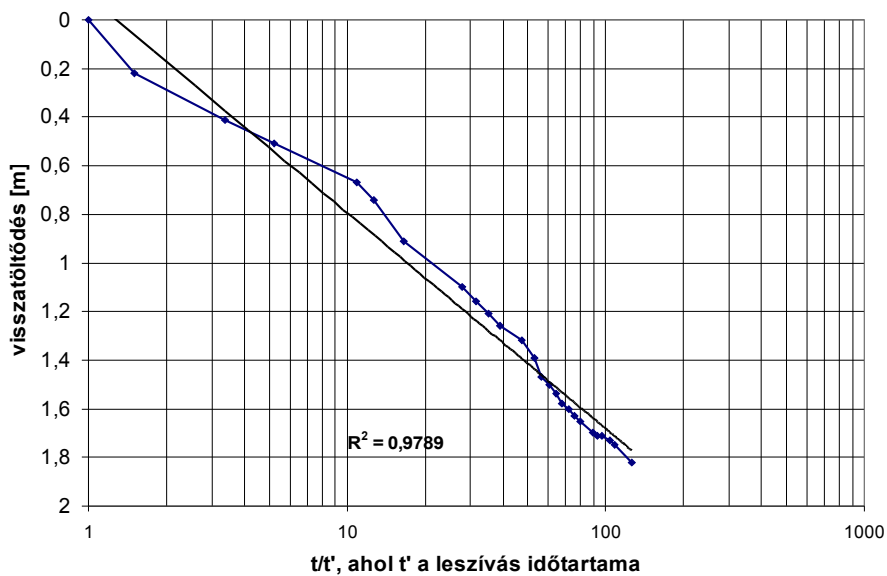
13. ábra. A 4F kút visszatöltésének vizsgálata Cooper-Jacob módszerrel



14. ábra. A 7F leszívási és visszatöltési görbéje 12 l/p hozam mellett

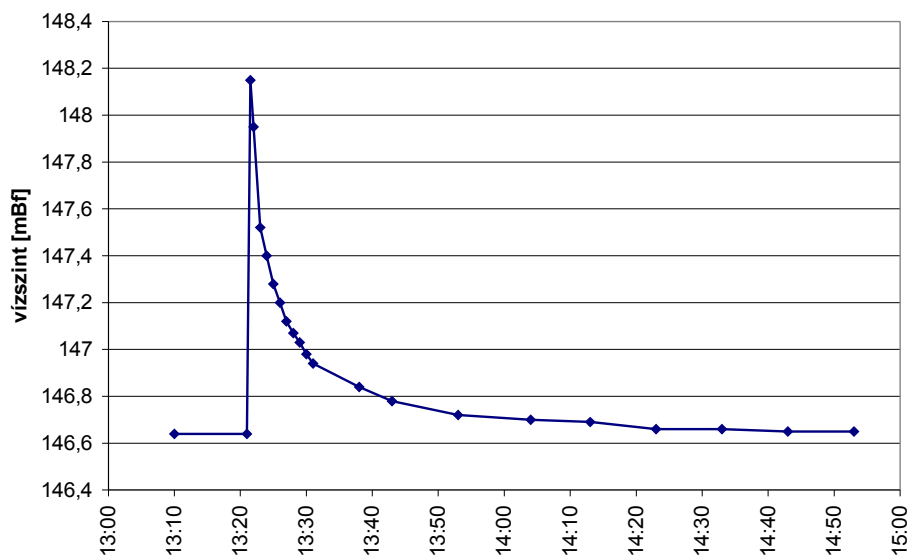


15. ábra. A 7F kút leszívásának vizsgálata Cooper-Jacob módszerrel

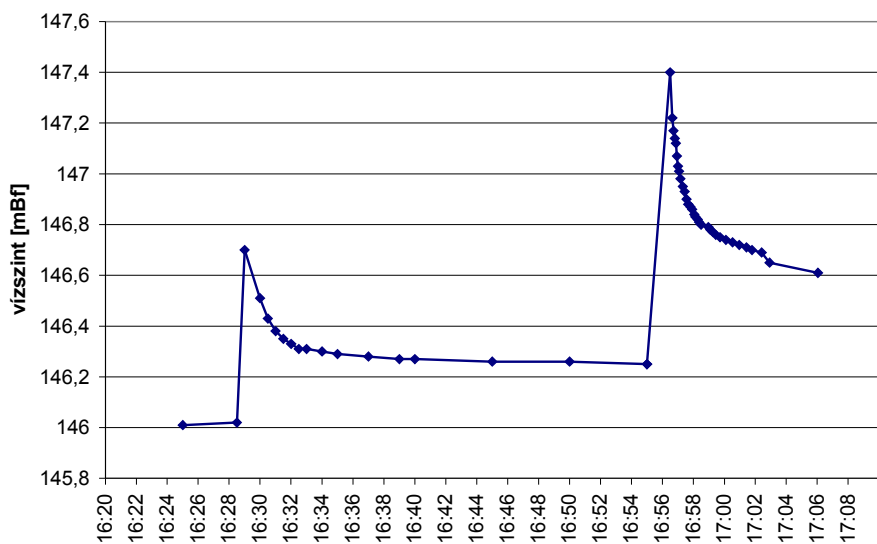


16. ábra. A 7F kút visszatöltődésének vizsgálata Cooper-Jacob módszerrel

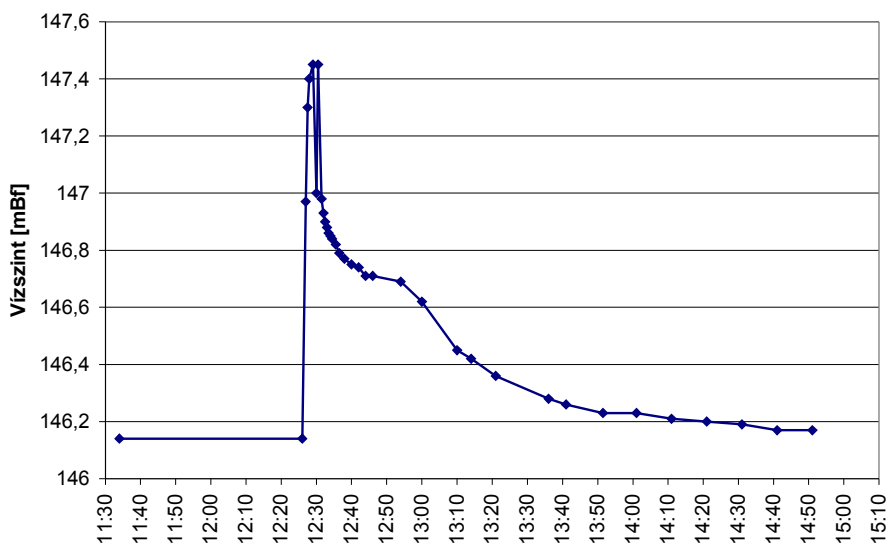
A 17.-19. ábrán a nyeletési vizsgálatok lefolyását ábrázoltuk. Teljesen zavartalan mérést csak a 2-es kútban tudunk végezni, de a 7-es kútban mért eredmények is megfelelőek.



17. ábra. A 2F kút nyeletési vizsgálata



18. ábra. A 4F kút nyeletési vizsgálata



19. ábra. A 6F kút nyeletési vizsgálata

Szivárgási tényező

A különféle eljárások összehasonlításakor a következő megállapításokat tehetjük. A Porchet, a három közelítő talajmechanikai és a nyeletéses vizsgálatok azonos nagyságrendű eredményeket adtak, függetlenül a vizsgálatok idejétől és a szivattyúzás hozamától, egyöntetűen 10^{-4} m/s-re adódott a szivárgási tényező.

A Cooper-Jacob vizsgálat is hasonló eredményeket hozott a transzmisszivitásra, 10^{-5} m²/s értékkel, ami szintén elfogadható.

A Dupuit képlet alkalmazása szintén azonos nagyságrendű (10^{-7} m/s) eredményeket adott, ám ez az érték csak a 4-es kútnál tűnik helyesnek a kövér agyag jelenléte miatt.

Az eredmények értékelésekor meg kell jegyeznünk, hogy a 4-es kút vizsgálata segített az ellentmondások észlelésében: sokkal gyorsabb volt például a visszatöltődés, mint amit a 10^{-7} m/s-os vízáteresztés indokolna. A kút rosszul lett kiképezve anyakúttá, a talajmechanikai ismeretek hiánya miatt.

A leszívás hatótávolságának (R) meghatározására többféle képlet ismert:

Sichard

$$R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}, \text{ ahol} \quad (8)$$

s – leszívás a kútban (m),
 k – szivárgási együttható (m/s).

Kusakin

$$R = 575 \cdot s \cdot \sqrt{T}. \quad (9)$$

Weber

$$R = c \cdot \sqrt{\frac{T \cdot t}{S}}, \text{ ahol} \quad (10)$$

t – szivattyúzás ideje (s),
 c – dimenzió nélküli konstans ($2,82 < c < 3,46$).

Utóbbi kettőbe az 1-es kútnál kapott eredményeket helyettesítve $R=3,3$ és $R=0,76$ m-t kapunk, ami igazolja, hogy nem jött létre depresszió a szomszédos kútban. A Sichard képlet alkalmazásával viszont újabb ellentmondásba ütközünk, mivel 10^{-4} m/s esetén $R=55$ m távolhatásnak kellene létrejönnie. (A Dupuit képlet viszont egyáltalán nem érzékeny a távolhatásra az $\ln R - \ln r$ kifejezéssel!)

1. táblázat. A vizsgálatok kiértékelésének eredményei

Kút jele	Dátum	2008.09.18.	2008.09.18.	2008.10.13.	2008.10.13.
	Számítás	16 (l/p)	5 (l/p)	12 (l/p)	nyeletés
k (m/s), (T (m ² /s))					
1F	Dupuit	$7,4 \times 10^{-7}$		$3,8 \times 10^{-7}$	
1F	Porchet	$4,8 \times 10^{-4}$		$1,5 \times 10^{-3}$	
1F	Cooper-Jacob			$(4,0 \times 10^{-5})$ $(5,8 \times 10^{-5})$ $4,4 \times 10^{-5}$	
2F					$2,8 \times 10^{-4}$
4F	Dupuit	$1,5 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-8}$	$8,4 \times 10^{-8}$	
4F	Porchet	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-4}$
4F	Cooper-Jacob			$(1,7 \times 10^{-6})$ $(2,8 \times 10^{-4})$	
4F	Jáky Terzaghi Alhazan			$1,9 \times 10^{-3}$ $1,1 \times 10^{-4}$ $2,0 \times 10^{-4}$	
6F					$3,7 \times 10^{-4}$
7F	Dupuit	$5,2 \times 10^{-7}$		$4,0 \times 10^{-7}$	
7F	Porchet	$5,9 \times 10^{-4}$		$4,6 \times 10^{-3}$, $7,9 \times 10^{-4}$	
7F	Cooper-Jacob			$(4,7 \times 10^{-5})$ $(4,1 \times 10^{-5})$	

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Egyre sűrűbben felmerülő igény, hogy határozzuk meg a talajok k szivárgási tényezőjét. Véleményünk szerint csak többféle módszer összehasonlításával tudjuk nagyságrendileg pontosan meghatározni a vízáteresztőképességet. Fontos tapasztalat, hogy csak részletes talajmechanikai adatszolgáltatás birtokában szabad vizsgálati tervet készíteni, és kiválasztani az alkalmazandó módszereket. Kevésbé kötött talajoknál továbbra is a többkutas próbaszivattyúzást tartjuk a legalkalmasabb eljárásnak, de ekkor is pontos talajmechanikai elővizsgálatok szükségesek a kútmélységek, és a távolságok meghatározásához. Kötött talajok esetén kevesebb kútra van szükség, és nagy gonddal kell eljárni a szűrőzött réteg meghatározásánál.

A későbbiekben tervezzük adataink kiértékelését többféle hidrogeológiai szoftver felhasználásával.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk a Petik és Társai Mérnöki Szolgáltató Kft. szakembereinek és a Módosék Kft. ügyvezetőjének a szakmai támogatásért és a mérőeszközök rendelkezésre bocsátásáért.

Hajnal Géza kutatómunkájához anyagi támogatást nyújt a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (BO00063/08/6).

IRODALOMJEGYZÉK

Bear J. 1979: *Hidraulics of Groundwater*.

Kovács Gy. 1972: *A szivárgás hidraulikája*, Akadémiai Kiadó, Budapest

Ubell K. 1954: A víztartó rétegek vízádóképességének meghatározására szolgáló módszerek összehasonlítása, *Vízügyi Közlemények*, 1954. 2.

Ubell K. 1958: Az elméleti kúthidraulika módszereinek gyakorlati alkalmazása, *Vízügyi Közlemények*, 1958. 3.

Richter L. – Varga Gy. 2008: A talajok „k” szivárgási tényezője meghatározásának problémái és egyszerűbb módjai a vízgazdálkodási létesítményekhez, *XXVI. Országos Vándorgyűlés, Miskolc*

Vasvári V. 2004: Próbaszivattyúzások kiértékelése, *Kézirat*