

## A szivárgási tényező jelentősége kavicsbányatavak hatásvizsgálata esetén

Csoma Rózsa

BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék. 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: csoma.rozsa@emk.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.13174



### Kivonat

A bányatavak vízének párolgása a talajvízből pótlódik. Ez a fedett területhez viszonyított többlet a felszín alatti vízmérleg szempontjából veszteség, mely a létesítendő mű környezetében módosuló áramlási viszonyokat és lecsökkenő talajvízszintet eredményez. Ezen vízszintcsökkenés – leszívás – nagyságát a szivárgási tényező alapvetően befolyásolja. A szivárgási tényező a műszaki és a földtani gyakorlat egyik legbizonytalanabban becsülhető jellemzője, hiszen egy adott bányatelken pontról pontra, vagy rétegről rétegre akár nagyságrendi változások is előfordulhatnak. Eközben igazolható, hogy hatása a tó környékén kialakuló talajvízszintekre jelentős: egy adott talajon belüli szélsőségek a leszívásban akár tízszeres eltérést is okozhatnak. Jelen közlemény célja a szivárgási tényező meghatározására kidolgozott főbb módszerek összefoglalásával, a bányatelkek vizsgálata során leginkább alkalmazható módszerek összevetésével felhívni a figyelmet a paraméter fontosságára.

### Kulcsszavak

Kavicsbányászat, talajvízszint-süllyedés, szivárgási tényező, becslés a szemeloszlás alapján.

## The importance of the hydraulic conductivity in case of the impact assessment of gravel pits

### Abstract

The evaporation of gravel pits is recharged from the groundwater. This surplus of the open surface compared to the covered area is a loss of water from the point of view of the groundwater balance, that results in modified flow conditions and the sinking of the groundwater level around the gravel pit both in operation and abandoned. The magnitude of this water level sinking – drawdown – is essentially influenced by the hydraulic conductivity. The hydraulic conductivity is one of the most uncertain parameters to estimate in the engineering and geological practice, as even within a given mining lot it may vary rather sharp from point to point, from layer to layer. But at the same time, it may be proven, that the effect of the hydraulic conductivity on the groundwater levels is significant: in case of a given type of soil the possible extreme values of the conductivity may result even a tenfold difference in drawdown. Summarizing the main methods to determine the hydraulic conductivity and comparing them from the point of view of gravel dredging, the aim of this paper is to call the attention on the importance of this parameter.

### Keywords

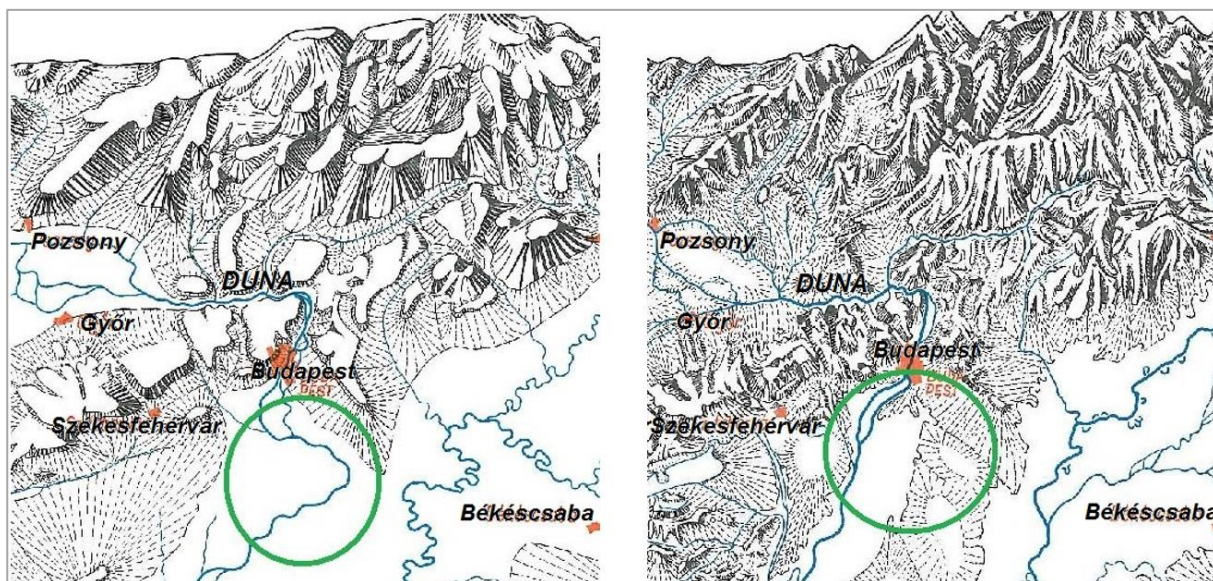
Gravel dredging, groundwater drawdown, hydraulic conductivity, estimation based on grain size distribution.

### BEVEZETÉS

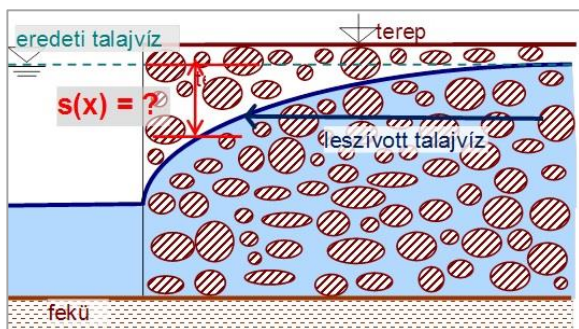
Hazánkban és világszerte is a kavicsbányászat erőteljes fejlődését a beton, mint nagy tömegben egyszerűen előállítható építőanyag megjelenése indította el. A kavicsbányászat akkoriban első sorban a folyami kavicskotrást jelentette. Az egyre növekvő igény a jó minőségű betonadalékanyagra új, fedett területek kavicskészletének feltárását, a korábbi geológiai korok felhagyott folyómedreinek és hordalékkúpjainak hasznosítását vonta maga után. Itt viszont a haszonanyag részben a talajvíz szintje fölött, de igen gyakran a talajvízszint alatt helyezkedik el, azaz a kitermelés nyomán kavicsbányató alakul ki (Tompa 1982). Hazánkban a nagyobb folyóink mentén több ilyen terület is található, mint például Budapeستől délkeletre, a Duna-Tisza közének északi részén. A térség részletes geológiai fejlődéstörténetének bemutatását mellőzve, a vízrajzi viszonyokat csak a rissz-würm interglaciálisban, illetve a jelenlegi állapotban adjuk meg, melyet a *Vízrajzi Atlasz* nyomán az 1.

ábra szemléltet. Itt a bal oldali kép a korábbi, a jobb oldali a jelenkori állapotot szemlélteti (*Vízrajzi Atlasz 1971*). Az ábrákon körrel jelölt, jelenleg is kitermelés alatt álló terület kavicskészlete a Duna korábbi medrében és környezetében halmozódott fel.

Ezen a területen az első világháborút követően indult a szélesebb körű kavicsbányászat. A tavak összterülete mára egyes becslések szerint meghaladja a 2000 hektárt. A bányatavaknak, mint új szabad vízfelületeknek a fedett felületekhez viszonyított többletpárolgása általában teljes egészében a talajvízből pótlódik. Ez a felszín alatti vízmérleg szempontjából veszteség, mely egyrészt módosuló áramlási viszonyokat, másrészt – különösen a létesítendő mű környezetében – lecsökkenő talajvízszintet eredményez. Ez utóbbit szemlélteti a 2. ábra. A hatás a kitermelés során erőteljesebb, de a felhagyott tavak esetén sem szűnik meg. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy ez a talajvízvesztés a légkör számára nyereséget jelent.



1. ábra. A vizsgált terület a Vízrajzi Atlasz (1971) nyomán, a rissz-würm interglaciálisban és jelenleg  
 Figure 1. The area examined based on the Hydrographic Atlas (1971) in the riss-würm and interglacial period and present



2. ábra. Bányató okozta talajvízszint-süllyedés  
 Figure 2. The drawdown of the gravel pit

Bányatelkek engedélyezési eljárásához készülő hatásvizsgálatok esetén ezen, a tó környezetében előforduló vízszintcsökkenés – a 2. ábra szerinti  $s(x)$  leszívás – körültekintő meghatározása döntő fontosságú lehet. A leszívás valójában a bányató okozta vízszint-változás valamely, a vizsgált tó létesítését megelőző referencia-időszaki szinthez, azaz az alapállapothoz viszonyítva. A leszívás mértékét a környező terület  $k$  szivárgási tényezője meghatározó módon befolyásolja, hiszen a Darcy-törvény értelmében magas vízvezető képességű talajokban a hatásterület nagy, a vízszintváltozás fokozatos, míg csekélyebb vízvezető képesség esetén kisebb hatásterületen erőteljesebb változások alakulnak ki. Így a  $k$  jelentősége kavicsbányák létesítése és működése során alapvető.

A szivárgási tényező azonban talán az egyik legnehezebben meghatározható paraméter, mely egy adott talajnem adott rétege esetén is gyakran pontról pontra, sőt akár irányonként is változó lehet. Egy adott talajnem belülről akár százszoros eltérés is előfordulhat.

Jelen munka célja a szivárgási tényező meghatározásában rejlő nehézségek és bizonytalanságok bemutatásával felhívni a figyelmet a paraméter jelentőségére kavicsbányaterületek környezeti hatásainak vizsgálatára.

## A $k$ SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ

Henry Darcy 1850-es években végzett kísérletei nyomán

definiálta a szivárgási sebességet, mint talajban az áramlás irányával megegyező irányú nyomásesés (valójában a nyomásvonal lejtése, hazai szóhasználatban hidraulikus gradiens,  $S$ ) és egy talajnemtől függő paraméter – azaz a  $k$  szivárgási tényező – szorzata:  $v = k \cdot S$ . Tekintettel arra, hogy az esés mértékegység nélküli, a  $k$  mértékegysége a sebességgel azonos. A Darcy-törvény lamináris vízmozgást feltételez, a nehézségi erő és a folyadék belső súrlódási erejének dominanciájával.

Kovács (1972) a  $k$  tényezőt – a talaj pórusait csővezetéknek tekintve – a csőhidraulika lamináris áramlásának segítségével definiálja. Juhász (2002) áteresztő képességnek felület dimenzióval önmagában csak a szilárd váz hatását tekinti. Ezen tovább lépve, szivárgási tényezőnek nevezi a vázszerkezet és a benne áramló folyadék együttes hatását figyelembe vevő mennyiséget, mely sebességgel megegyező dimenziójú.

A paraméter egyik legegyszerűbb definícióját talán egy korábbi szabványunk adja: „Szivárgási tényező (áteresztőképességi együttható,  $k$ -tényező) a talajokban az egységnyi hidraulikus gradiens mellett kialakuló, a talaj minőségétől, állapotától és szerkezetétől függő szivárgási sebesség. (Jele:  $k$ , mértékegysége:  $m/s$  vagy  $m/nap$ )” (MSZ 15221 1969). A szivárgási tényező elnevezés inkább a vízmérnöki, az áteresztőképességi együttható inkább a mélyépítési gyakorlatban honosodott meg. Megjegyzendő, hogy a fizika szabályai szerint az utóbbi helyes, mert a tényező dimenzió nélküli szám, az együtthatónak viszont van – itt éppen a sebességgel megegyező – dimenziója. A mértékegységek közül a  $m/s$  inkább a mérnöki, a  $m/d$  inkább a földtani gyakorlatban terjedt el. Látható tehát, hogy a széles körben alkalmazott jellemzőnek sem a megnevezése, sem a mértékegysége nem egységes.

A szivárgási tényező inhomogén talajban akár pontról pontra, sőt irányonként is változhat. Jelen vizsgált folyami üledékekben azonban – ha jelentősebb kéregmozgások nem fordultak elő – az anizotropia csupán az eltérő függőleges és vízszintes értékeket jelenti, gyakran azonban ezt is elhanyagoljuk.



A szivárgási tényező nagysága igen változatos, az agyagtól a kavicsig akár 10 000 000 000-szeres is lehet az eltérés. Számptalan kézikönyv ad meg tájékoztató értékeket, melyek gyakran az egyes szerzők személyes tapasztalatán alapulnak és több esetben egymásnak ellentmondóak. Jó példa erre a *Mérnöki Kézikönyv* két kiadása,

amelyet az 1. táblázat mutat. A táblázat bal oldali oszlopai az 1957-es kiadás 2. kötetének 12. táblázata (*Mérnöki Kézikönyv 1957*), míg a jobb oldali oszlop az 1981-es kiadás 1. kötetének 5-10. táblázata (*Mérnöki Kézikönyv 1981*) alapján készült. Látható, hogy a megadott talajokhoz több esetben is jelentősen eltérő szivárgási tényező tartozik.

1. táblázat. A szivárgási tényező értékei a *Mérnöki Kézikönyv* két kiadása szerint

Table 1. The values of hydraulic conductivity based on two editions of the *Engineering Handbook*

Kiadás éve	1957.				1981.			
	m/s		m/d		m/s		m/d	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
Közepes kavics	5,0E-02	1,0E-02	4 320	864	1,0E+00	1,0E-01	86 400	8 640
Finom kavics	1,0E-02	1,0E-04	864	8,64	1,0E-01	1,0E-02	8 640	864
Folyami homok	1,0E-02	5,0E-04	864	43,20	1,0E-02	1,0E-03	864	86,4
Duna-homok	-	-	-	-	1,0E-03	1,0E-04	86,4	8,64
Finom homok	1,0E-03	1,0E-04	86,4	8,64	-	-	-	-
Agyagos homok	-	-	-	-	1,0E-04	1,0E-05	8,64	0,86
Homokliszt	1,0E-05	1,0E-06	0,864 0	0,086 4	1,0E-05	1,0E-06	0,864 0	0,086 4
Iszap	1,0E-06	1,0E-08	0,086 400	0,000 864	1,0E-06	1,0E-08	0,086 400	0,000 864
Agyag	1,0E-08	1,0E-11	0,000 864 0	0,000 000 86	1,0E-08	1,0E-10	0,000 864 0	0,000 008 6

## A SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ HATÁSA TAVAK KÖRNYEZETÉBEN

### Bányatavak vízvesztése

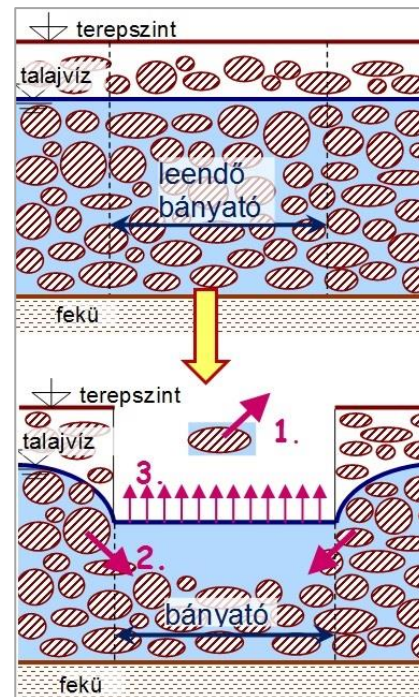
Külműveléses kavicsbányászat esetén egy korábban fedett területből nyílt felszínű tó lesz, mely a környező talajvíz szempontjából nyelőként működik. Ez a vízvesztés a kitermelés során erőteljesebb, de a felhagyott bányatavak esetén sem elhanyagolható. Fenti folyamatot szemlélteti a 3. ábra. Az eltávozó víz a környező területek talajvizéből pótlódik, lecsökkentve annak szintjét. Maga a vízvesztés a kitermelés során, annak ütemétől függően időben változó – általában növekvő – mennyiségű. Az üzemelés során több hatás is okoz vízvesztést, melyet az alábbi felsorolással összhangban a 3. ábra is mutat:

1. a kitermelt kavicsal együtt távozó víz mennyisége;
2. a kitermelt kavics helyét kitöltő víz mennyisége, mely a talajból (talajvízből) pótlódik;
3. a növekvő tófelületből származó, a fedett területhez viszonyított többletpárolgás,

míg a bányaművelés befejezése után a már állandósult szabad vízfelület 3. jelű többletpárolgása okoz veszteséget.

Bányatavak hatásvizsgálata esetén alapvető fontosságú az eltávozó víz okozta talajvízszint-csökkenés – a leszívás – nagyságának meghatározása. A leszívás mértékét viszont az előző pontban definiált szivárgási tényező alapvetően befolyásolja. A leszívás becslését egy egyszerű mintafeladaton mutatjuk be, részletes érzékenység-vizsgálattal szemléltetve a szivárgási tényező hatását.

Célunk ezzel nem egy konkrét térség adott bányatelkének vizsgálata, hanem az egyéb környezeti hatásoktól mentesített alapjelenség elemzése nyomán bemutatni a szivárgási tényező hatását és jelentőségét, mely a bányató környezetében kialakuló talajvízszinteket és leszívásokat befolyásolja. Az elemzések így első sorban a lokális hatásokra terjednek ki.



3. ábra. Eredeti állapot és a vízvesztések  
Figure 3. The original situation and the losses

### A mintafeladat

Az előző pontban megfogalmazott kérdéseket egy valós alapokon nyugvó, de fiktív mintafeladat segítségével igyekezzünk megválaszolni. Így, az egyszerűség érdekében egy kör alakú tavat vizsgálunk, melyet  $T_0 = 8$  év alatt termelnek ki. A felhagyott tó sugara  $R_{t0} = 250$  m (átmérője  $D_{t0} = 500$  m, területe közel 20 ha), a nyomás alatti vízvezető réteg vastagsága  $H = 12$  m, a talaj porozitása  $n = 32\%$ , tározási tényezője  $S = 0,28$ , a szabad vízfelszín fedett felülethez viszonyított többletpárolgása pedig  $P = 200$  mm/év. A területre jellemző szivárgási tényezőt  $k = 1, 2, 5, 10, 20, 50$  és  $100$  m/d értékekkel vizsgáljuk, a tó középpontjától  $r = D_{t0} = 500$  m,  $r = 2D_{t0} = 1000$  m és  $r = 3D_{t0} =$

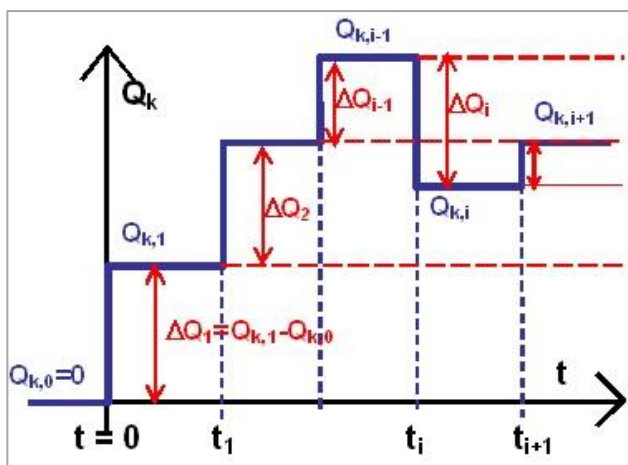
1500 m-es távolságban. A vizsgálatokat 1 éves időlépcsővel, 25 évre terjesztjük ki. Az itt megadott jellemzők nagyságrendje a bevezetésben röviden bemutatott Budapest-közeli térség adatait, azonban nem egy konkrét bányatelek értékeit tükrözi.

Jelen, kerek tó hatásának leírása szakaszonként állandó hozamú kútként kezelve viszonylag egyszerűen, a Theis-féle összefüggés időlépcsőnkénti összegzésével vizsgálható, melyet a 4. ábra is mutat. Az előző pont szerinti folytonosan változó vízvesztéssel

jellemezhető tavat lépcsősen közelítve a leszívás nagysága a  $t_{n-1}$  és  $t_n$  időpontok közötti időintervallumban az alábbi összeg segítségével határozható meg (Varga és Csoma 1995):

$$s(r, t_{n-1} < t \leq t_n) = \frac{1}{4\pi kH} \sum_{i=1}^n \left\{ \Delta Q_i \cdot W \left[ \frac{r^2 S}{4kH(t-t_{i-1})} \right] \right\} \quad (1)$$

az előző jelöléseken túl  $\Delta Q_i$  a 4. ábra szerinti időlépcsőnkénti vízvesztés-változás és  $W(u)$  a Theis-féle kútfüggvény, melyet korábban táblázatosan, manapság inkább sorba fejtve adunk meg.



4. ábra. A vízvesztés lépcsős közelítése  
Figure 4. The stepwise approximation of the water loss

Az (1) összefüggés hidraulikailag a fektet eléré teljes kútnak tekinthető kerek tavak környezetében adja meg a vízkivétel okozta leszívás hely- és időbeli változását. Végtelen kiterjedésű vízszintes síkú, nyomás alatti talajvízteret vizsgál, ahol a kezdeti állapotban vízmozgás nincsen, vízszintes a talajvízfelszín. A számítás kezdeti időpontjában az origóba helyezett kút kezd üzemelni, melynek hatása a számítás időtartama alatt a végtelen távoli határokon nem érzékelhető. A módszer egyéb hatásokat, mint például egy közeli vízfolyás vagy a távolabbi térségekből származó háttéráramlás nem tudja figyelembe venni, csak az egyedi bányató leszívását vizsgálja. Természetesen a pontszerűnek tekintett kút hatását csak a tó területén kívül értelmezzük.

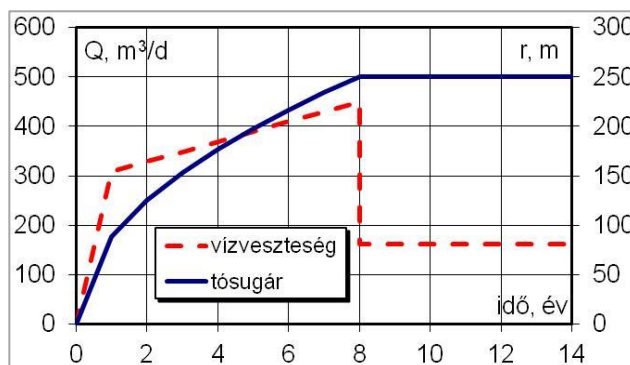
Hasonló peremfeltételekkel leírható a jelenség szabad felszínű változata is, mely azonban a kút okozta szintváltozás (s) tekintetében már nem lineáris. Igaz, hogy az összefüggés linearizálható, a végeredmény összetettebb, iterációs

megoldást igényel (Varga és Csoma 1995). Bár a fent említett térségben előfordulhat vízzárónak tekinthető fedő jelenléte vagy hiánya is, azonban szemléltetési céllal csak az (1) összefüggésnek megfelelő változatot mutatjuk be.

Az (1) összefüggés egyszerű számítási módja viszont nagytömegű, gyors számítást tesz lehetővé.

### Eredmények

Fenti számítások első eredménye a vízvesztés időbeli változása, melynek egy lehetséges változatát a tó sugár változásával együtt az 5. ábra mutatja. Jól látható, hogy a tervezett 8 éves üzemidő alatt a vízvesztés annak korábban definiált három tétele miatt a tó sugárral együtt folyamatosan növekszik, majd az üzemidő végén a párolgásnak megfelelően egy alacsonyabb szinten állandósul. Az 5. ábra a tervezett számítási időnél rövidebbet mutat, mert az üzemidő befejeztével változás már nincsen.



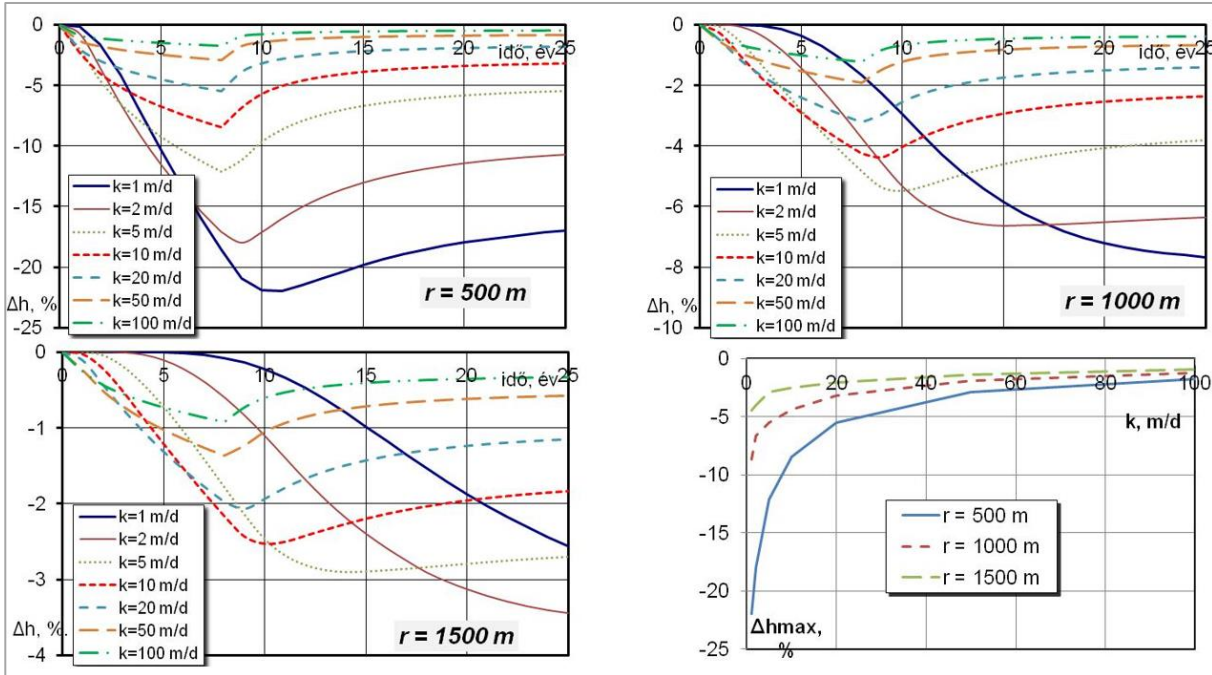
5. ábra. Tó sugár és vízvesztés időbeli változása  
Figure 5. The time variation of lake radius and water loss

A leszívások időben követik a vízvesztésüket. Ezt foglalja össze a 6. ábra első három grafikonja. A grafikonokon a leszívások időbeli változása látható a vizsgált 25 éves időtartamra, az előző pontban megadott hétféle szivárgási tényezővel számítva a tó középpontjától  $r = D_{t0} = 500$  m-re,  $r = 2D_{t0} = 1000$  m-re és  $r = 3D_{t0} = 1500$  m-re. Az ábrán a relatív leszívásokat tüntették fel, mely a leszívásnak a vízvezető réteg vastagságára vonatkoztatott előjeles mennyisége %-ban kifejezve, vagyis  $\Delta h = -s/H \cdot 100$  (%).

A 6. ábra negyedik grafikonja az előző három összegzése nyomán az egyes változatok legnagyobb leszívásait ( $\Delta h_{max}$ , %) foglalja össze a szivárgási tényező

függvényében, a fent megadott távolságokban.

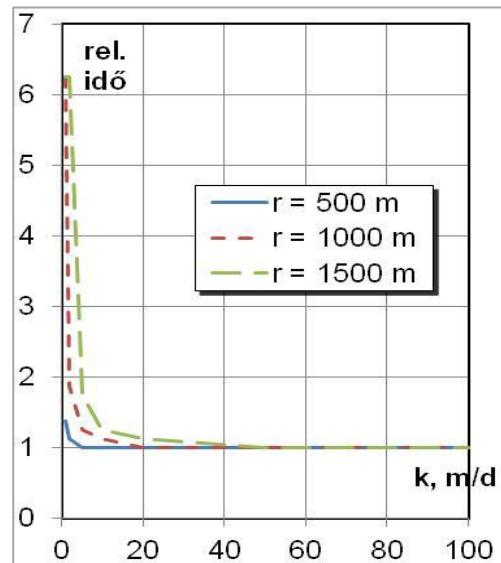
Az ábrák alapján látható, hogy a bányató közelében ( $r = D_{t0}$ ) a változások viszonylag intenzívek, különösen alacsonyabb szivárgási tényezők esetén. Itt a legnagyobb leszívások értéke a legalacsonyabb  $k$ -val több, mint tizenkétszeres a legmagasabb  $k$ -val kapott értékhez képest. Ez az arány a tótól távolodva csökken, így a legtávolabbi,  $r = 3D_{t0}$  helyen már csak ötszörös. Azaz, amennyiben a tóközeli területeken vizsgáljuk a bányató leszívó hatását, a szivárgási tényezőre különös figyelmet szükséges fordítani, mert igen érzékeny rá. Távolságban a  $k$  hatása csillapul.



6. ábra. Relatív leszívások 500, 1000 és 1500 m-re a tó középpontjától és a maximális leszívás  
Figure 6. Relative drawdown at the distances of 500, 1000 and 1500 m from the lake centre and the maximum drawdown

A jelenség időbeli lefolyását tekintve is számottevő eltérés tapasztalható a szivárgási tényező szélső értékei mellett: általában magasabb  $k$  esetén a maximális leszívások a hozam maximuma idején, a kitermelés végén alakulnak ki, míg alacsonyabb vízvezető képesség esetén kisebb-nagyobb késleltetéssel. A késleltetés mértékét a tótól mért távolság nagyban befolyásolja.

A bányató közelében ( $r = D_{t0}$ ) a  $k = 20$ -100 m/d tartományban nincsen késleltetés, míg távolabb ( $r = 3D_{t0}$ ) csak  $k = 50$  m/d felett. A jelenséget a 7. ábra foglalja össze, ahol a függőleges tengelyen megadott relatív idő a fenti késleltetésnek a kitermelés 8 éves időtartamára vonatkoztatott értéke. Ha ez 1, a legnagyobb leszívás a kitermelés végén alakul ki, ha nagyobb, az előzőekben bemutatott késleltetés jelenik meg. Megjegyzendő, hogy az  $r = 2D_{t0}$  helyen  $k = 1$  m/d esetén, valamint az  $r = 3D_{t0}$  helyen  $k = 1$  m/d és  $k = 2$  m/d esetén is, a számítását a megadott 25 év helyett tovább folytattuk, de a leszívás – bár már alig változott – még 40 év után sem érte el a maximumot.



7. ábra. A legnagyobb leszívás kialakulásának ideje  
Figure 7. The time when the maximum drawdown develops

Az érzékenység-vizsgálatok nyomán összefoglalásul megállapítható, hogy:

- a leszívások nagysága igen érzékeny a szivárgási tényezőre, különösen a bányatavak közelében,
- alacsonyabb szivárgási tényező esetén a maximumok késleltetve alakulnak ki, különösen a tótól kissé távolabb,
- ez a késleltetés akár igen jelentős is lehet.

Mindezek alapján belátható, hogy helytelenül megválasztott szivárgási tényezővel végzett számítások esetén például túlzottan nagy vagy túlzottan csekély szintváltozásokat és túlzottan elhúzódozó, vagy éppen túl gyorsan kialakuló hatást becsülhetünk a valójában létrejövőhöz képest.

Hangsúlyozandó azonban, hogy fenti számításokat az egyszerűség érdekében kör alakú tó feltételezésével végeztük. Körtől jelentősen eltérő tóalak (pl. keskeny hosszú vagy szabálytalan) esetén a tendenciák hasonlóak kell legyenek, de a fentiekhez képest számottevő eltérések alakulhatnak ki a hengersizmetrikustól eltérő áramlási viszonyok miatt, különösen a tó közelében. Azonban a bemutatott egyszerű számítás is jól érzékelteti a szivárgási tényező jelentőségét.

### A SZIVÁRGÁSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA

Az előző pontok egyértelműen megmutatták, hogy a szivárgási tényező a vizsgálatok szempontjából döntő fontosságú. Meghatározása azonban meglehetősen összetett feladat, mely a kutatókat a XIX. század közepétől napjainkig foglalkoztatja. Erre ad példát egyrészt *Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen* (1797-1884) porosz mérnök összefüggése 1869-ből, melyet *Kovács* említ munkájában (*Kovács* 1972), másrészt *Farkas és társai* (2019) legfrissebb kutatásai.

A szivárgási tényező a korábbiakban megadottak szerint talajnemtől függően széles határok között változhat. Nagyságát elsősorban a talaj szemszerkezete, a szemátmérő, a szemcsék alakja és elhelyezkedése, a szemcsék közötti pórusok mérete és eloszlása, a talaj telítettsége, szivárgó folyadék fizikai tulajdonságai és mozgásjellemzői, a szemcsék vízmozgás hatására történő elmozdulási lehetőségei stb. határozzák meg. A  $k$  nagysága közvetlenül nem mérhető, meghatározására az eltérő talajnemek eltérő igényeit is figyelembe véve sokféle lehetőség nyílik. A főbb eljárások a helyszíni mérésen alapuló meghatározás, a helyszínen vett minta laboratóriumi értékelése és a közvetett, gyakran tapasztalati módszerek.

A helyszíni vizsgálatok lehetnek pontszerűek, mint a szondázások (pl. *Khafagi*-szonda) vagy a beszívárgás-mérés. Ezek gyakran egy adott irányú vízvezető képességet adnak meg, mint például a beszívárgást mérő *Müntz – Laine*-féle készülék, mellyel a  $k$  függőleges értékét kapjuk. A nagyobb térséget átfogó helyszíni mérések a próbaszivattyúzások és a nyeletés. Ezen esetekben adott helyen vízszinteltérést hozunk létre a talajban, azaz vizet veszünk ki (próbaszivattyúzás) vagy többbetűt juttatunk be (nyeletés), majd az így létrehozott változás térségi hatásait megfigyelő kutakkal ellenőrizzük. A mérés során létrehozott határból, annak térbeli vagy időbeli terjedéséből lehet következtetni a szivárgási tényezőre.

A helyszínen vett minta laboratóriumi elemzéséhez például permeabiméterek (állandó vagy változó nyomással), vagy az ödométer alkalmazhatók, illetve triaxiális vizsgálat végezhető, melyek azonban kavicsos talajokra kevésbé megfelelőek.

A tapasztalati módszerek közül a legegyszerűbben a talajnem alapján kézikönyvekben (lásd *I. táblázat*) megadott értékekkel becsülhetjük a szivárgási tényezőt. Ennél megalapozottabbnak tűnik, ha valamely más vizsgálat eredményeiből következtetünk a szivárgási tényezőre. Ezek közül a szemeloszlás jellemzőiből a  $k$  becsülésére többféle összefüggés is a rendelkezésünkre áll, melyek általában elméletileg megalapozottak, de tapasztalati alapon születtek. Így alkalmazhatóságuk korlátozza maga az összefüggés kidolgozásának módja.

Bányatavak hatásvizsgálata esetén ezen utóbbi módszert igen gyakran alkalmazzuk a szivárgási tényező meghatározására. A hatásvizsgálatokat szinte minden esetben megelőzi a terület részletes feltárása számos kutatófúrással, néha évtizedekkel korábbról is. Ez esetben a haszonanyag minősítéséhez általában szemeloszlás-vizsgálat is készül. Ezen szemeloszlási görbék képezhetik a szivárgási tényező meghatározásának alapját, emiatt ezt a módszert kissé részletesebben ismertetjük.

Igen célszerű lenne frissebb, a jelen helyzetet jobban tükröző helyszíni vizsgálatok (pl. próbaszivattyúzás) alapján becsülni egy-egy tervezett bányató hatását, azonban erre igen ritkán nyílik lehetőség. A próbaszivattyúzás további, részletes elemzésétől így eltekintünk.

A szemeloszláson alapuló szivárgási tényező meghatározás során az alkalmazható összefüggések általában három mennyiség szorzatából állnak:

$$k = C \cdot f(n, e, C_u, \dots) \cdot d_k^n$$

ahol  $C$  az összefüggést kidolgozó által meghatározott állandó,  $f(n, e, C_u, \dots)$  a szemszerkezetet figyelembe vevő tag, mely gyakran az  $n$  porozitástól, az  $e$  hézag-tényezőtől, a  $C_u$  egyenlőtlenégi mutatótól, vagy egyéb, hasonló jellemzőtől függ, míg  $d_k^n$  az adott kutató által jellemzőnek tekintett szemátmérő valamely hatványa.

Az első tag lehet egy állandó, de függhet például a hőmérséklettől vagy a viszkozitástól is. A középső tag egyes esetekben igen bonyolult lehet, azonban néhány egyszerűbb összefüggésben meg sem jelenik. Az utolsó tag a legtöbb összefüggés esetén négyzetes ( $n = 2$ ), de akadnak ettől eltérő kitevők is. Itt a leggyakoribb a 10%-os szemátmérő,  $d_k = d_{10}$ , de  $d_5$ -től  $d_{50}$ -ig több változat is előfordul. Az átlagos vagy annál kisebb szemátmérőt az indokolja, hogy a vázszerkezet átjárhatóságát a kisebb pórusok mérete – azaz a kisebb szemcsék mérete – szabja meg. Végül, több módszer is nem egy adott szemátmérőt, hanem valamely, a szemeloszlás alapján meghatározható jellemző értéket vesz figyelembe, mint például:

$$d_k = \frac{d_{60} + d_{10}}{2} \sqrt{\frac{d_{10}}{d_{60}}}$$

Tekintettel arra, hogy mindezek tapasztalati összefüggések, használatuk során a mértékegységekre és az alkalmazási körükre különös figyelmet kell fordítani.



Az előzőekben említett *Hagen*-féle összefüggés is egy ilyen tapasztalati képlet, ahol az állandó  $C = 36$ , a közepső tag  $l$  és  $d_k = d_{50}[\text{cm}]$ , így a szivárgási tényező:  $k[\text{cm/s}] = 36 \cdot (d_{50}[\text{cm}])^2$ . A szerző az összefüggést  $d = 0,28$  mm figyelembevételével,  $C_U < 1,5$  esetére dolgozta ki.

A legtöbb szakkönyv, pl. *Kovács (1972)*, vagy *Juhász (2002)* több ilyen összefüggést tartalmaz és számtalan szakcikk valamint egyéb munka sorol fel különböző összefüggéseket, illetve adja meg egy-egy összefüggés többféle változatát. Ilyen például *Beyer* módszere, mely grafikusán, táblázattal és képlettel is fellelhető. Gyakran az eredeti források is megtalálhatók, de sokszor a többszöri hivatkozás, a latin és cirill betűs nevek átírása, a brit és a metrikus mértékegységek átváltása, vagy akár csak egyszerű sajtóhibák (pl. *Beyer* neve egyik szerzőnél *Breyer*-re változott) nehezítik meg használatukat. Sajnos jellemző, hogy lánchivatkozások esetén éppen az alkalmazhatóság köre marad le.

A nemzetközi szakirodalomban két olyan összefoglaló mű lelhető fel, melyek készítésük idején a teljességet megközelítő igénnyel éltek, a közölt adataik a lehetőségekhez mérten ellenőrzöttek, így megbízhatónak vehetők: *Vukovic* és *Soro* műve (*Vukovic és Soro 1992*) és *Kasenow* munkája (*Kasenow 2002*).

Végül külön említést érdemel *Devlin* tanulmánya (*Devlin 2015*), mely 15 módszert mutat be, értékkel, valamint közleményéhez a számítások megkönnyítésére *HydrogeoSieveXL* néven Excel-ben készült eszközt is mellékel, melynek emblémáját a 8. ábra mutatja. A szerző a programot folyamatosan fejleszti, mely jól követhető

honlapján: [www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html](http://www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html). A legújabb változat már 16 módszert tartalmaz, valamint pótol, illetve helyesbít néhány korábban észlelt hiányosságot, hibát.

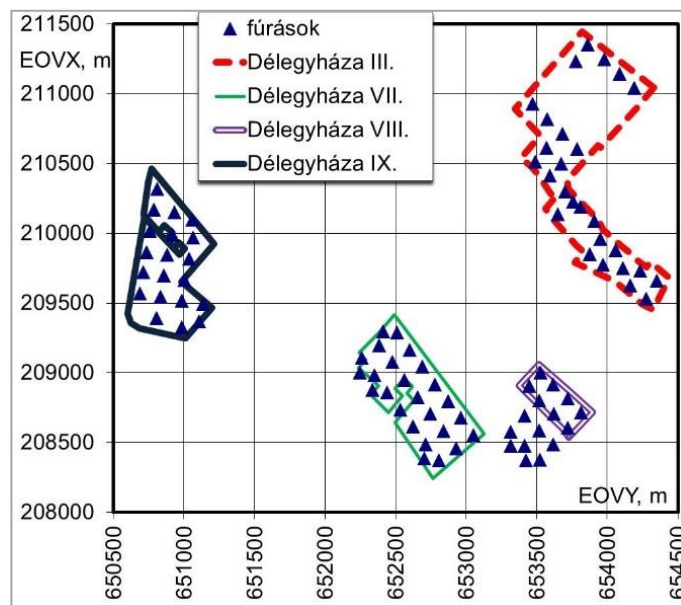


8. ábra. A *HydrogeoSieveXL* emblémája ([www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html](http://www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html))  
Figure 8. The logo of *HydrogeoSieveXL* ([www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html](http://www.people.ku.edu/~jfdevlin/Software.html))

## VIZSGÁLATOK DÉLEGYHÁZA – KISKUNLACHÁZA TÉRSÉGÉBEN

### A terület jellemzői

Az előzőekben leírt, a szemeloszláson alapuló  $k$  meghatározást egy Délegyháza környéki területen mutatjuk be. Itt négy bányatelken összesen 88 fúrást végeztek, melyet a 9. ábra mutat. A több, mint 10 km<sup>2</sup>-es területen egyes bányatelkek teljesen lefedik a megkutatót területet, míg másol a kutatás a bányatelken túlnyúlik. A 88 fúrásból néhol csak egy, de néhol több, akár három mintát is vettek, így összesen több, mint 150 szemeloszlási görbe állt a rendelkezésünkre. A görbék tartományát a két szélső görbével a 10. ábra szemlélteti. Látható, hogy a görbesereg jellemzően a finom homok-közepes kavics tartományt fedi le.

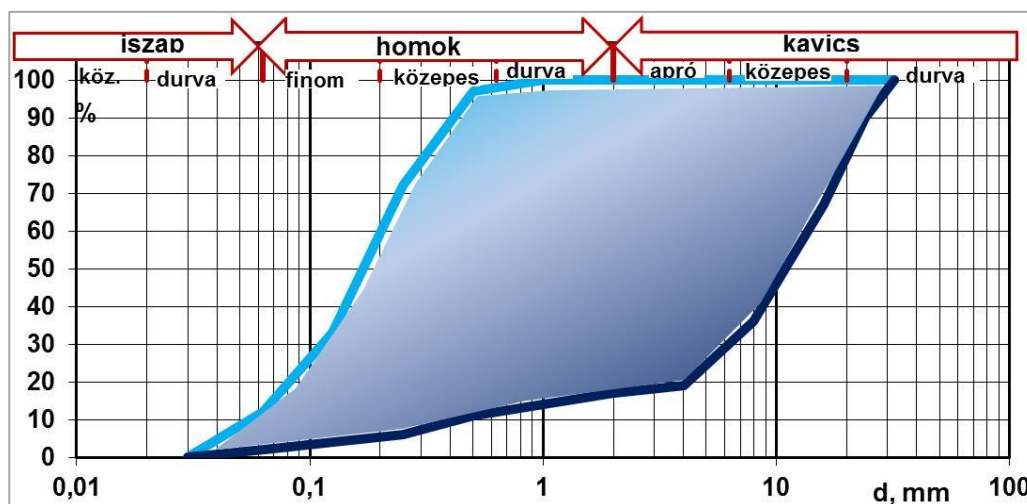


9. ábra. A vizsgált bányatelkek  
Figure 9. The investigated mining lots

Ha egy-egy fúrás esetén több minta is a rendelkezésünkre állt, általában a felszínhez közelebbi, vékonyabb réteg inkább a finomabb homokos frakciót mutatta, így a szemeloszlási görbéje a 10. ábra bal oldali, meredekebb görbéjéhez hasonlított alacsonyabb egyenlőtlenégi mutatóval, míg az alsó, vastagabb réteg a laposabb, jobban graduált, nagyobb

egyenlőtlenégi mutatójú görbét adta. Ha csak egy minta volt, az általában az alsó, kavicsosabb réteget mutatta.

A minták néhány jellemző szemátmérőjének, valamint az egyenlőtlenégi mutatónak az átlagos és a szélsőértékeit a 2. táblázat tartalmazza.



10. ábra. A vizsgált szemeloszlási görbék tartománya  
Figure 10. The region of the grain size distributions examined

2. táblázat. Jellemző szemátmérők (mm) és egyenlőtlenségi mutatók  
Table 2. Characteristic grain sizes (mm) and uniformity coefficients

	$d_{10}$	$d_{20}$	$d_{50}$	$d_{60}$	$C_U = d_{60}/d_{10}$
max.	0,438	4,182	11,613	14,194	57,2
átlag	0,136	0,318	2,195	3,647	22,9
min.	0,058	0,087	0,179	0,212	2,3

#### A számítások és értékelésük

A területre a fenti 88 fúrás több, mint 150 szemeloszlási görbéje alapján többféle módszerrel határoztuk meg a szivárgási tényezőt. A módszerek közül mintegy 30 változatot a bőségesen rendelkezésünkre álló irodalom alapján, mint a hazai szakkönyvek (pl. Kovács 1972, Kézdi és Markó 1974, Juhász 2002), vagy szakcikkek (pl. Nagy 2008a, Nagy 2008b, Odong 2007), egyetemi jegyzetek (pl. Kammerer és Loislaindl 2008), disszertációk (pl. Vienken 2010), valamint a két alapvető mű (Vukovic és Soro 1992, Kasenow 2002) segítségével állítottunk össze. Minden összefüggést több forrásból is ellenőriztünk. Emellett minden egyes esetet a *HydrogeoSieveXL* program (Devlin 2015) eredeti változatának mind a 15 módszerével is végigszámoltuk. Bár a kétféle forrás néhol átfedésbe került, törekedtünk arra, hogy ha a program egy adott módszer egyik változatát vizsgálta, az előbbi összeállításba ugyanazon szerző másik változata kerüljön. Így minden szemeloszlási görbéhez összesen 45 szivárgási tényezőt kaptunk.

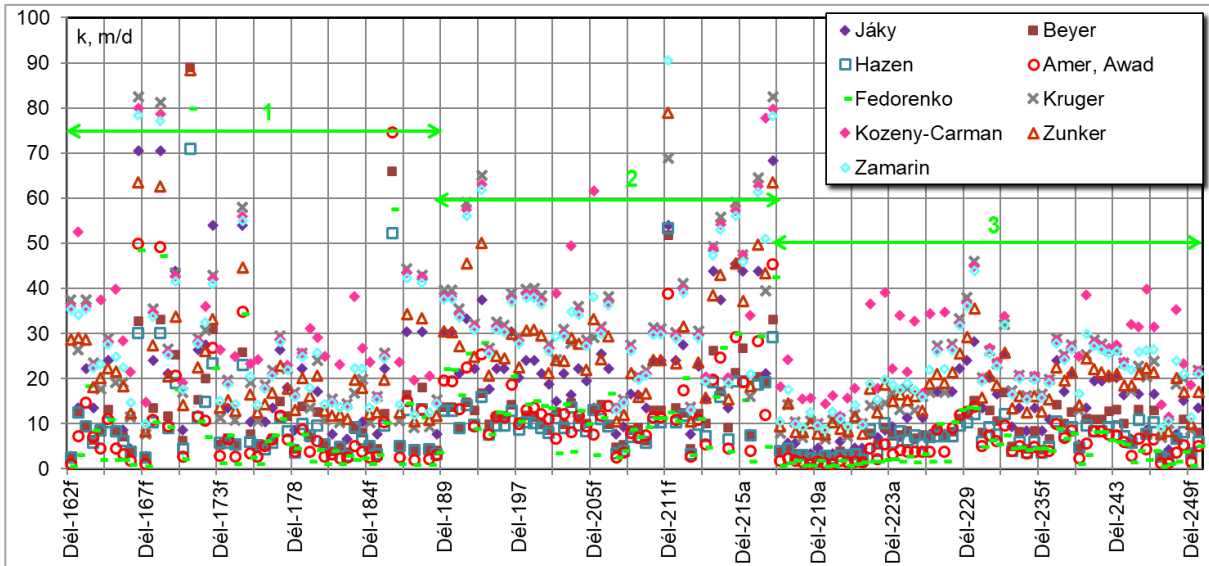
Ezen hatalmas adathalmaz első szűrője volt az, amikor a megadott alkalmazási feltételeknek az esetek zöme nem tett eleget. Ilyenek voltak általában a finomabb szemcsés, alacsony egyenlőtlenségi mutatójú talajokra kidolgozott,  $d_{50}$ -es szemátmérőt figyelembe vevő módszerek, mint a korábban is említett Hagen képlete. A következő szűrő az indokolatlanul magas (pl. 50 000 m/d), illetve alacsony (pl. 0,001 m/d) értékeket adó módszerek voltak. Ezek között akadt olyan, amely látszólag alkalmazható lett volna, de jónéhány olyan is, ahol az alkalmazhatósági kör bizonytalan volt. Volt azonban olyan módszer is, amely esetén még az alkalmazási körön kívül eső minták is elfogadható értékeket adtak. Végül addig tudtuk szűkíteni a módszerek számát, hogy összesen kilenc összefüggést tekintettünk alkalmazhatónak, ötöt a saját összeállítások, míg négyet a *HydrogeoSieveXL* program (Devlin 2015)

alapján. A végső kilenc változat szivárgási tényezőit mintákként a 11. ábra mutatja. Az ábra vízszintes tengelyén a fúrások jele és száma látható. Ha egy fúrásból több minta is rendelkezésünkre állt, a szám után az elhelyezkedését is megadtuk: f : felső, a : alsó.

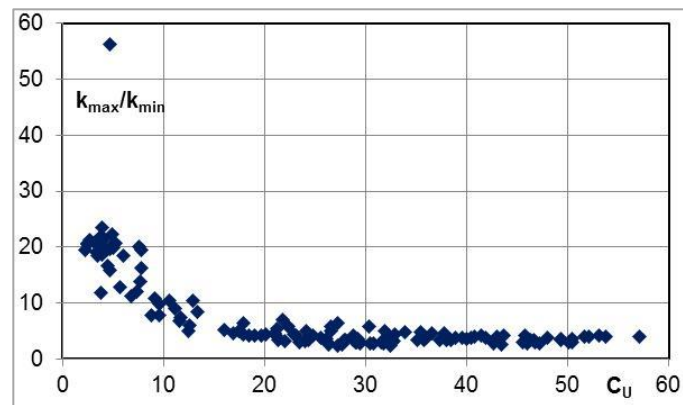
Az első ránézésre kaotikusnak tűnő ábrát részletesebben megvizsgálva látható, hogy a minták zöme 1-40 m/d közötti szivárgási tényezőt mutat. Fedorenko módszere inkább az alacsonyabb, míg Koženy-Carman vagy Zamarin módszere inkább magasabb értékeket ad. A Dél-162 ... Dél-189 fúrások értékei alacsonyabbak, de meglehetősen szórnak, melyet az ábrán a zölddel jelölt 1. szakasz mutat. A Dél-190 ... Dél-217 fúrások némileg magasabbak (zöld 2. szakasz), míg a többi (zöld 3. szakasz) kissé alacsonyabb és a módszerek között is kisebb az eltérés. A kapott értékek területi átlaga 10-28 m/d, módszertől függően. A négy bányatelek átlagos értékei a következők: Délegyháza III: 21 m/d, Délegyháza VII: 22 m/d, Délegyháza VIII: 17 m/d, Délegyháza IX: 15 m/d. Amennyiben a finomabb homokos felső réteget az átlagolásból kihagyjuk, a bányatelkek átlagos értékei általában magasabbak lesznek: Délegyháza III: 27 m/d, Délegyháza VIII: 20 m/d, Délegyháza IX: 17 m/d. Ez alól egy kivétel van, Délegyháza VII, ahol az érték 20 m/d-ra csökken.

Az egyes minták esetén a kilenc módszerrel kapott legnagyobb és legkisebb szivárgási tényezők arányát ( $k_{max}/k_{min}$ ) az egyenlőtlenségi mutató függvényében a 12. ábra mutatja. Látható, hogy az arány – egy mintától eltekintve – 25 alatti, azaz ha az 1. táblázat szélső értékeit is figyelembe vesszük, a kiválasztott módszerek adott talaj-nemen belüli értékeket adnak. Szembetűnő, hogy a szélső értékek aránya valamely hatványfüggvény-szerű kapcsolatot mutat.





11. ábra. Számított szivárgási tényezők fúrásoként  
Figure 11. Calculated hydraulic conductivities of each boreholes



12. ábra. A legnagyobb és legkisebb szivárgási tényezők aránya az egyenlőtlenségi mutató függvényében mintáinként  
Figure 12. The ratio of the highest and lowest permeabilities of each sample as a function of the uniformity coefficient

### A javasolható összefüggések

A következőkben a fenti vizsgálatok alapján a területre javasolható összefüggéseket értékeljük pár szóban.

1. Jáky (Kovács 1972):  $k[\text{cm/s}] = 100 \cdot (d_{10}[\text{cm}])^2$ . Az egyik legegyszerűbb összefüggés. Bár egyéb területeken több kritika is érte, itt megbízhatónak bizonyult.
2. Beyer (Vienken 2010):  
$$k[\text{m/s}] = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g}{v} \lg\left(\frac{500}{C_U}\right) (d_{10}[\text{m}])^2$$
ha  $1 < C_U < 20$  ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  a nehézségi gyorsulás,  $v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  a kinematikai viszkozitás). Bár a módszer javasolt alkalmazhatósága szűkebb,  $C_U > 20$ -as egyenlőtlenségi mutatóval is elfogadható értéket adott.
3. Hazen (Kammerer és Loislaindl 2008):  $k[\text{cm/s}] = 0,449 \cdot [1 + 10(n - 0,26)] \cdot (d_{10}[\text{mm}])^2$  ha  $T = 10^\circ\text{C}$ . Régi, jól bevált és viszonylag egyszerű összefüggés.
4. Amer és Awad (Nagy 2008a):  $k[\text{m/s}] = 3,5 \cdot 10^{-2} \cdot C_U^{0,6} \cdot \frac{e^3}{1+e} (d_{10}[\text{mm}])^{2,32}$  kohéziómentes talajokra. Az egyedüli módszer, ahol a szemátmérő a négyzetnél magasabb hatványra került. Néha, különösen magasabb

$d_{10}$  esetén kissé túlzó értéket ad.

5. Fedorenko (Nagy 2008a):  $k[\text{cm/s}] = A \frac{n^3}{(1+n)^2} \cdot (d_m[\text{mm}])^2$  ahol  $d_m = \frac{d_{60} + d_{10}}{2} \sqrt{\frac{d_{10}}{d_{60}}}$ ,  $A = 4$  finom homokra és  $A = 5,3$  durva homokra. Viszonylag alacsonyabb, de nem irreális értékeket ad.
6. Krüger (Devlin 2015):  $k[\text{cm/s}] = 4,35 \cdot 10^{-3} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (d_m[\text{cm}])^2$  ahol  $d_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta w_i}{d_i}}$  ( $\Delta w_i$  a minta  $i$ -edik frakciójának súlya) közepes homokra,  $C_U > 5$ . A  $d_m$  mértékadó szemátmérő meghatározása bonyolult.
7. Kozeny-Carman (Devlin 2015):  
 $k[\text{cm/s}] = 8,3 \cdot 10^{-3} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (d_{10}[\text{cm}])^2$  durva homokra. Viszonylag magas, de nem irreális értékeket ad.
8. Zunker (Devlin 2015):  $k[\text{cm/s}] = A \frac{n}{1-n} \cdot (d_m[\text{cm}])^2$ ,  $A = 0,7 \cdot 10^{-3} \dots 2,4 \cdot 10^{-3}$  talajnemtől függően, a mértékadó szemátmérő  $d_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \Delta g_i \frac{d_i^g - a_i^d}{d_i^g \cdot a_i^d \cdot \ln \frac{d_i}{a_i^d}}}$ . ( $\Delta g_i$  a minta  $i$ -edik frakciójának tömege,  $d_i^g$  és  $a_i^d$  a frakció

legnagyobb és legkisebb átmérője). A  $d_m$  meghatározása igen bonyolult.

9. *Zamarin (Devlin 2015)*:

$$k[\text{cm/s}] = 8,65 \cdot 10^{-3} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot (1,275 - 1,5n)^2 \cdot$$

$(d_m[\text{cm}])^2$  valamint a mértékadó szemátmérő  $d_m = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_i \frac{a_i^g}{a_i^d}}{a_i^g - a_i^d}}$ . Ennek meghatározása igen bonyolult.

A 6., a 8. és a 9. módszer összetett  $d_m$  mértékadó szemátmérője jelen minták esetén a számítások során komolyabb előnyökkel nem szolgált.

### A szivárgási tényező felhasználása modellkalibráláshoz

A fenti módon meghatározott szivárgási tényezők alkalmazhatók becslésekhez, egyszerűbb számításokhoz, de alapadatot szolgáltathatnak összetettebb numerikus modellekhez is.

Numerikus modellek esetén a szivárgási tényező igen gyakran a modell kalibrálási paramétere is. Kalibrálás során a kalibrálási paramétert (vagy paramétereket) addig változtatjuk, amíg egy előre ismert hidraulikai állapotot a modell elfogadható mértékben meg nem közelít. Ezekben az esetekben kétféle gondolatmenetet követhetünk.

Egyrészt elfogadhatjuk az előző pontok szerint kapott szivárgási tényezőket és a modell kalibrálását valamely más paraméterrel (pl. fekvőszint, háttéráramlás stb.) végezzük.

A másik lehetőség, ha a fent kapott értékeket a kalibráláshoz kezdő értéknek tekintjük és az előbb említett, kalibrálásra alkalmazható jellemzőkkel együtt addig módosítjuk az adatrendszer, míg a modell a kalibrálandó állapotnak tekintett értéket adott hibahatáron belül meg nem közelíti. Ezen utóbbi esetben is célszerű azonban szem előtt tartani azt, hogy a fent meghatározott értékektől jelentősen – nagyságrendekkel – ne térjünk el, hiszen azzal a vizsgált területre más talajféleségeket feltételezünk, esetleg más fizikai és hidraulikai tulajdonságokkal. Ugyanakkor a kalibrációval olyan hatásokat is figyelembe veszünk, melyet egyéb módon (pl. az alapegyenlettel) nem lehet.

Jó példa erre a számításokhoz vizsgált négy bányatelek, ahol eltérő években eltérő célokkal különböző vizsgálatokat végeztünk. Ennek megfelelően kellett az egyes célokhoz felállított modelleket kalibrálni. A különböző feladatokhoz azonban egységesen az előző fejezetben kapott értékek adták az alapot, és a kalibrálás során a fent említett második lehetőség szerint jártunk el, azaz kiindulási értékek tekintettük.

A munkánk során a kalibrált értékek szinte mindig kissé magasabbra adódtak a kiindulási értékeknél, a fenti bányatelek esetén  $k = 40\text{--}55$  m/d adta a leginkább megfelelő egyezést a kalibrálandó állapothoz képest. Az így kalibrált modellek szinte minden esetben a validáció során is elfogadható értékeket adtak.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kavicsbányatavak környezetében a tó hatása lecsökkenő talajvízszintekben mutatkozik meg. A hatás becslésére végzett egyszerűbb vagy összetettebb számítások alapvető paramétere a szivárgási tényező, mely a műszaki-földtani gyakorlat egyik legnehezebben meghatározható mennyisége.

Fentiekben bemutattuk a paraméter főbb jellemzőit, meghatározásának módját és részletes érzékenység-vizsgálattal igazoltuk jelentőségét. Bár a számításokat a Duna-Tisza köze északnyugati részén levő bányaterületek jellemzőivel végeztük el, nem egy konkrét bányateleket vizsgáltunk, hanem minden egyéb hatástól mentesítve csak a tó-talajvíz lokális kapcsolatot igyekeztünk feltárni. Így az egyszerű számítások során sem a Gödöllői-dombság felől érkező háttéráramlás, sem a Ráckevei (Soroksári)-Duna szabályozott vízszintjének a hatását, sem egyéb tényezőket nem vettünk figyelembe. Az így leegyszerűsített állapotban szépen megmutatkozik a szivárgási tényező hatása mind a talajvízszintekre, mind pedig a jelenség időbeli lefolyására.

Külműveléses kavicsbányák esetén a legkézenfekvőbb módszer a szivárgási tényező meghatározására a szemeloszlási görbék alapján tapasztalati összefüggések alkalmazása, mivel a hatásvizsgálatokat szinte minden esetben megelőzi a terület részletes feltárása. A tapasztalati összefüggések túlzottan széles tárháza azonban gyakran elbizonytalanítja a használóját. Sokéves tapasztalat nyomán jelen tanulmány ebben kíván segítséget nyújtani. Az előzőekben bemutatott számítások és a korábbi vizsgálatok nyomán összefoglalásként az alábbiak állapíthatók meg:

- Tapasztalati összefüggések esetén a mértékegységekkel és az alkalmazási körrel igen gondosan kell eljárni.
- A  $d_{10}$ -es szemátmérőnél nagyobb (pl.  $d_{50}$ ) szemcseméretet alapul vevő módszerek jelen vizsgálatok során a homok-kavics frakciók vizsgálatára nem bizonyultak alkalmasnak.
- A vizsgálatok során a 30 + 15 módszerből fennmaradt 9 összefüggés bármelyike jól alkalmazható jelen talajnemekre.
- A Jáky-féle összefüggés egyszerűségével akár fejszámolásra – becslésre –, akár kiterjedtebb számításra is jól használható.
- A Jáky-féle összefüggés kivételével minden módszer figyelembe veszi a szemszerkezetet az egyenlőtlenégi mutatóval, a porozitással vagy a hézag tényezővel.
- A  $d_{10}$ -es szemátmérőt használó módszerek megbízhatóak és viszonylag könnyen kezelhetőek.
- Az összetett mértékadó szemátmérő jelen talajok esetén a számítások során jelentősebb előnyöket nem ad, ugyanakkor a számítás lényegesen bonyolultabb.

Végezetül ismételtelen hangsúlyozzuk, hogy célszerű lenne a hatásvizsgálatokat néhány, jól megválasztott helyen helyszíni méréssel, például próbaszivattyúzással megalapozni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen munka a *XIII. Kő- és kavicsbányász Napok* programjában 2020. március 5-én Velencén elhangzott előadás szerkesztett változata. A szerző köszönetét fejezi ki a szervező Szilikátipari Tudományos Egyesület Kő- és Kavics Szakosztályának, valamint az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Bányászati Szakosztályának azért, hogy a közelgő járvány ellenére, bő egy héttel az országos zárás előtt a konferenciát még megtartották.

## IRODALOMJEGYZÉK

*Devlin, J.F.* (2015). HydroGeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis. *Hydrogeology Journal* vol. 23. Issue 4. pp. 837-844. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1255-0>

*Farkas D., Farkas-Karay Gy., Hegedűs N.* (2019). Szivárgási tényező laboratóriumi meghatározása szemeloszlási görbe és kisminta-modell felhasználásával. *Hidrológiai Közlemény*, 99. évf. 4. sz. pp. 42-51.

*J. F. Devlin Software*  
<http://www.people.ku.edu/~jfddevlin/Software.html>

*Juhász J.* (2002). *Hidrogeológia*. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 1176.

*Kammerer, G., Loiskaindl, W.* (2008). *Bodenphysik*. Universität für Bodenkultur Wien.

*Kasenow, M.* (2002). Determination of hydraulic conductivity from grain size analysis. *Water Resources Publications*, Highlands Ranch, CO, USA

*Kézdi Á., Markó I.* (1974). *Földművek. Víztelenítés*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p. 298.

*Kovács Gy.* (1972). *A szivárgás hidraulikája*. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 535.

*Mérnöki Kézikönyv* (1981). Mérnöki Kézikönyv 1.

kötet. szerk: Palotás L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p. 926.

*Mérnöki Kézikönyv* (1957). Mérnöki Kézikönyv 2. kötet, szerk: Palotás L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. p. 1042.

*MSZ 15221* (1969). *Vízépítés. Szivárgások vizsgálata építményeket határoló talajrétegekben*.

*Nagy L.* (2008a). Finomszemcsés talajok áteresztőképessége. *Közúti és Mélyépítési Szemle* 58. évf. 5-6. sz. pp. 33-40.

*Nagy L.* (2008b). Jól graduált talajok áteresztőképességi együtthatója. *Közúti és Mélyépítési Szemle* 58. évf. 8. sz. pp. 23-27.

*Odong, J.* (2007). Evaluation of empirical formulae for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *Journal of American Science*, 3(3). pp. 54-60.

*Tompa L.* (1982). *A kavicsbányászat története Magyarországon. Földtani Kutatás XXV. évf. 2. sz. pp. 69-76.*

*Varga I., Csoma R.* (1995). *Környezeti áramlástan. Felszíni és felszín alatti vizek. Tanszéki sokszorosítású előadási jegyzet*. Budapesti Műszaki Egyetem Vízépítési Tanszék

*Vienken, Th.* (2010). Critical evaluation of vertical high resolution methods for determining hydraulic conductivity. *Dissertation*. Eberhard Karls Universität Tübingen.

*Vízrajzi Atlasz 11. kötet* (1971). *Duna. Vízrajzi Atlasz 11. kötet. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet*. Budapest.

*Vukovic, M., Soro, A.* (1992). Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. *Water Resources Publications*, Littleton, Colorado, USA

## A SZERZŐ



**CSOMA RÓZSA** okleveles építőmérnök (1985). PhD (2007) értekezésének címe: „Szabályos és szabálytalan alakú analitikus elemek a talajvízmozgás modellezésére”. A BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. Oktatott tárgyai az alap-, mester-, doktori és szakmérnöki képzésben a Hidraulika, Vízépítés, Felszín alatti vizek, valamint ezek speciális fejezetei (legtöbb tárgy angol, az alaptárgyak német nyelven is). Több, mint 110 diplomatervező konzulense. Kutatási területe a szivárgás- és talajvízhidraulika, valamint a műtárgyhidraulika terén áramlási és transzportfolyamatok félanalitikus és numerikus modellezése. 1983 óta tagja a Magyar Hidrológia Társaságnak (MHT), mely 2021-ben Pro Aqua díjban részesítette. Diplomatervezői az MHT Lászlóffy Woldemár diplomamunka pályázatán mintegy 10 díjat nyertek.