

# VISSZATÖLTÉSI MEGOLDÁSOK KAVICSBÁNYATAVAK KEDVEZŐTLEN HATÁSAINAK CSÖKKENTÉSÉRE

**Dr. Csoma Rózsa**  
egyetemi docens

**Wagner Flóra**  
doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

## KIVONAT

Kavicsbányatavak felszínének párolgása általában a talajvízből pótlódik, mely a tó környezetében lecsökkenő talajvízszintet eredményez. Ez a magas vízszintű, csapadékos időszakban csekélyebb, míg száraz időszakban általában erőteljesebb. A vízszintsüllyedés egyik ellensúlyozási lehetősége a kitermelt, de egyéb célokra fel nem használható anyag – meddő – visszatöltése. Ez általában a haszonanyagnál finomabb, jellemzően iszap, agyag. Így kevésbé vízvezető, mint az a kitermelt kavics - homok, melynek helyére kerülve a tó okozta kedvezőtlen hatások szétterülését gátolja. Jelen munka célja néhány olyan visszatöltési lehetőség bemutatása és talajvízhidraulikai elemzése, mellyel a bányató környezetében a kedvezőtlen hatások ellensúlyozhatók, egy korábbi elfogadható állapot helyreállítható. Így a bányaterületek környezete védelmet kap, és a megoldás alapja lehet egy hatékony meddőgazdálkodásnak is.

**KULCSSZAVAK:** kavicsbányató, térségi hatások csökkentése, meddő visszatöltése, hidraulikai modellezés

## BEVEZETÉS

A kavics, homokos kavics, homok az egyik leginkább alkalmazott alapanyag - építőanyag. Bányászatának fejlődését a beton széles körű elterjedése is gyorsította. Hazánkban ez az erőteljes fejlődés az I. világháborút követően indult (*Tompa, 1982*), és kisebb-nagyobb hullámokkal a mai napig tart. Az ország medence-jellege a nagyobb mennyiségű folyami kotrások mellett a fedett kavicsvagon kiaknázását hozta előtérbe. A folyami hordalék- és törmelékűkúpok esetén a haszonanyag jelentős része a talajvízszint alatt helyezkedik el, azaz a kitermelés nyomán kavicsbányató alakul ki. Nagyobb folyóink környezetében több ilyen terület található, mind a Duna mind a Tisza, valamint mellékfolyóik mentén.

A kavics kitermelésével kialakuló bányatavak vízfelszínének párolgása első sorban a talajvízből pótlódik, módosítva a környék talajvízjárását és vízszintjeit. Maga a kitermelés a talajvízszint fölötti szárazon, vagy a vízszint alatti lehet (*Böhm et al, 1999*). Figyelembe véve azonban a hazai viszonyokat, a száraz kitermelés mélysége igen korlátozott.

A kavicskitermelés környezeti hatásai régóta közismertek. Ellensúlyozásuk valamennyi érdekelt fél alapvető feladata (*Barati et al, 2008*). A környezet egyes elemei közül számottevő hatás a felszín alatti környezetet, főként az első vízadó rétegben található talajvizet éri, hiszen mind maga a bányászati tevékenység, mind a már felhagyott tavak az eredeti állapothoz képest talajvízvesztést okoznak. Ezen vízvesztés hatása eltérő hosszabb idejű, magasabb hőmérsékletű, erőteljesebb párolgású, csapadékszegény, száraz, illetve csapadékosabb, alacsonyabb hőmérsékletű, csekélyebb párolgással jellemezhető nedves időszakokban. Megjegyzendő ugyanakkor az, hogy ez a vízvesztés a légkör szempontjából nyereséget jelent.

Jelen munka célja olyan lehetséges beavatkozási mód több változatának bemutatása, mely viszonylagos egyszerűsége mellett alkalmas lehet a fenti, kedvezőtlen hatások mérséklésére, mellyel az alapvető építőanyagot adó kavicsbányák és környezetük közötti konfliktusok csökkenthetők.

## A KEDVEZŐTLEN HATÁSOK, CSÖKKENTÉSÜK MÓDJA ÉS LEHETŐSÉGEI

Hazai bányatavaink jelentős része síkvidéki, mely esetben a tó vízforgalmát a párolgás határozza meg. Párolgás esetén különbséget kell tenni a fedett felületen a növényzet és a talajvíz együttes párolgása, az evapotranszpiráció és tisztán a nyílt vízfelület párolgása, az evaporáció között, mely általában jelentősebb az előbbinél. A párolgás által dominált bányatavaknak létesítése során olyan új szabad vízfelület alakul ki, melyek esetén a fedett felületekhez viszonyított többletpárolgás nagyrészt a talajvízből pótlódik. Ez a felszín alatti vízmérleg szempontjából veszteség, mely részben módosuló áramlási viszonyokat, részben - különösen a létesítendő mű környezetében - lecsökkenő talajvízszintet eredményez. Az évszakonként és hidrometeorológiai helyzettől függően változó erősségű hatás a kitermelés során erőteljesebb, de a felhagyott tavak esetén sem szűnik meg (*Csoma-Wagner, 2021*).

Megjegyzendő ugyanakkor, hogy kisebb, erőteljesen erdősült területen kialakított, bőségesen leárnyékolta tavak esetén ritkán előfordulhat olyan eset, amikor az evaporáció a csekélyebb. Ezesetben a fenti vízveszteség a kedvezőtlen hatásaival együtt elhanyagolható (*Lfu, 2004*). Hasonlóan ritka eset az, amikor egy kisebb tavat egy közeli vízfolyás vízkészlete oly mértékben táplál, hogy a tó okozta leszívás nem, vagy alig mérhető (*Green et al, 2005*).

A fenti, ritka kivételektől eltekintve, általában kialakulhatnak az olyan, kedvezőtlen hatások, mint a felszín alatti vízkészletek csökkenése, a talajvízszint süllyedése, melyek többféle módon is ellensúlyozhatók.

Talán a legkedvezőbb megoldás a tó felszámolása, azaz visszatöltése lenne. Bár ez meglehetősen ritka eset, de a hazai gyakorlatban van rá példa (*Innotéka, 2021*). Ugyanakkor egy-egy tó vagy tórész visszatöltése esetén is szem előtt tartandók az alábbiak:

- lehetőleg a visszatöltéshez a saját meddőt alkalmazzuk, vagy esetleg a környékről származó, tehát a környezetéhez minden tekintetben igazodó anyagot;
- külső forrásból származó anyag csak részletes ellenőrzés után tölthető vissza (*Lfu, 2004*),
- a kitermeltnél számottevően vízzáróbb anyag visszatöltése a tó teljes kerülete mentén nem, csak szakaszosan esetleg egy-egy különös védelmet igénylő részen javasolható, hogy a tó vízforgalma – ha csökkent mértékben is – megmaradjon (*Böhm et al, 1999*).

Egy másik lehetőség a kedvezőtlen hatások ellensúlyozására a szabad vízfelület párolgásának csökkentése. Különösen melegebb égőveken tározók és egyéb nagyobb vízfelületek párolgási veszteségének csökkentésére, az édesvízkészlet védelmére igen széles körű kutatások folynak. Ezek eltérő körülmények között, eltérő alapelveken, többféle lehetséges megoldást is vizsgáltak, melyek összefoglalását adja *Waheeb Youssef - Khodzinskaya (2019)* munkája. A párolgáscsökkentést fizikai, kémiai és biológiai módszerekbe sorolják és a szakirodalom alapján részletesen értékelik. A bemutatott legfontosabb módszerek alapelveit, valamint a velük elérhető becsült legnagyobb párolgáscsökkenést a fenti munka nyomán az *1. táblázatban* foglaltunk össze.

módszer	alapelv	max. párolgáscsök, %
<b>Fizikai</b>		
<i>felszínen úszó</i>		
folytonos lefedés	viasz, hab vagy egyéb felszínen úszó anyag, mely a felszínt teljesen lefedi	95%
úszó gömbök vagy korong alakú elemek	az elemek vízfelszín alakjuktól függő mértékben lefedik, emellett kialakításukkal, méretükkel és színükkel elősegítik a visszaverődést is	45 - 80 %
<i>felszín fölé függesztett</i>		
árnyékoló szövet	kisebb (pl. <10 ha) tavak fölé kifeszített árnyékoló ponyva	80 - 90 %
napelemek	párolgó felület csökkentése pontonra helyezett napelemparkkal	90%
<i>egyéb</i>		
buborékoltatás	hőmérsékleti rétegződés befolyásolása, alacsonyabb felszíni hőmérséklettel a párolgás mérséklése	15%
<b>Kémiai</b>		
védő filmréteg	olyan monomolekuláris film létrehozása, mely a csapadékot átengedi, a párolgást azonban gátolja	30%
<b>Biológiai</b>		
úszó növényzet	tó lefedése úszólappal, vízi liliummal vagy egyéb növényvel	25 - 50 %
árnyékolás	magas fák alkotta sűrű erdősáv a part közelében, mely a déli - délutáni napsütés okozta felmelegedést korlátozza	tóalaktól függő
szél mérséklése	a párolgást növelő légmozgás hatásának csökkentése növényzettel vagy egyéb szélárnyékot kialakító létesítménnyel	25%

1. táblázat: A párolgáscsökkentés módjai Waheeb Youssef - Khodzinskaya (2019) nyomán

Néhány megjegyzés a fenti módszerek alkalmazásával – alkalmazhatóságával kapcsolatban:

- az alkalmazandó párolgáscsökkentő módszereket minden esetben összhangba kell hozni az utóhasznosítás módjával és igényeivel;
- itt jegyzendő meg, hogy a sport és jóléti célú hasznosítás igen gyakran a párolgást növeli, mivel a számos tevékenység esetén (pl. labdázás, csúszda, evezés, vízisí, stb.) a felfröccsenő víz a cseppek nagyobb felületével bőségesebb lehetőséget ad a párolgásra;
- fenti esetekben azonban a túlzott párolgás miatti korlátozás bevezetésére éppen akkor kerülne sor, amikor az adott vízfelület jóléti használatára legnagyobb az igény;
- bármely, a vízbe kerülő idegen anyag – hab, műanyag, fém vagy egyéb anyagból készült elemek, filmréteg, stb. – a víz kémiai összetételének változását nem okozhatja, vízminőség-romlást nem idézhet elő;
- lefedés mértékének megválasztása során szem előtt kell tartani a vízi élőlények fény-, oxigén- és egyéb tápanyagigényét, mely a lefedéssel korlátozódhat (Aminzadeh et al, 2018, Rezazadeh et al, 2020);
- a vízfelszín fölé telepített napelemek jelentős előnye az, hogy teljesítményük a tó természetes hűtő hatása miatt akár 10 %-kal is magasabb lehet, mint szárazföldi elemek esetén (Elshafei et al, 2021);
- hazai viszonyok között akár olyan időszakos – nyári – lefedés is kedvező lehet, mint például az egyre több helyen megjelenő vízi színpad vagy nyári fesztiválok helyszínéül szolgáló felület, illetve bármely egyéb célú nagyobb felületű ponton;

- gyakran fenti módszerek kombinációja is kedvező megoldást adhat, így az árnyékolás akár szél akár napsütés ellen ott, ahol ez megoldható, kiegészítve részleges lefedéssel.

A számtalan lehetőség közül egy hazai példa olyan úszó szigetek kialakítása, mely vízi madarak számára megfelelő fészkelési lehetőséget biztosít (*Innotéka, 2021*).

A következőkben az itt megadott párolgáscsökkentő módok közül a legelsőként említett módszerrel, a visszatöltéssel foglalkozunk. Azonban nem a tó területének teljes helyreállítását tűzzük ki célul, hanem csak a rendelkezésre álló meddő megfelelő elhelyezésével kívánunk az érdekelt felek számára elfogadható állapotot elérni. Olyan, viszonylag egyszerűen kialakítható, de hatékony megoldást, illetve annak több változatát mutatjuk be, mellyel a bányató okozta talajvízszint-süllyedés mérsékelhető, víztermelő létesítmények védőtávolsága biztosítható, illetve a kedvezőtlenebb, erőteljesebb párolgású időszakok vízvesztése csökkenthető, ugyanakkor a bánya működése és felhagyás utáni utóhasznosítása is biztosított.

## **A VISSZATÖLTENDŐ ANYAG**

A kavicsvagyon kitermelése a talajvízszint fölötti szárazon, vagy a vízszint alatti lehet. Bár a száraz termelés a vízháztartás szempontjából kedvezőbb, a gyakran viszonylag magas vízszint miatt csak korlátozottan lehetséges. A talajvízszint alatti kitermeléssel jön létre a bányató (*Böhm et al, 1999*).

Maga a munka a letakarítással kezdődik, mely a fedőréteg eltávolítása. Ez egyrészt a humuszos fedő, mely deponálandó, értékesíthető, vagy az utóhasznosítás során felhasználható. A fedő másik része lehet olyan meddő, mely haszonanyagként nem értékesíthető, a homoknál finomabb frakciójú, általában iszap – agyag. Vastagabb vízvezető rétegek esetén nemcsak fedőként jelenhet meg, hanem mélyebben, agyanlencseként is. Ezen utóbbi, nem értékesíthető részek használhatók fel visszatöltéshez.

Kavicsbányák létesítése során az egyik első tevékenység a terület feltárása, a kitermelhető anyag mennyiségének becslése. Ennek során általában igen sűrű hálózatban mélyülnek feltáró fúrások. A fúrási naplók segítségével, illetve a fúrásokból készült rétegszelvények alapján így nemcsak a haszonanyag mennyisége határozható meg, hanem a feltöltéshez felhasználható meddő mennyisége is. Ugyanakkor, amíg a homok- és kavicsrétegekben gyakran több mélységben is készül szemeloszlás-vizsgálat, addig a meddő esetén ez nyilván nem szükséges. A szemeloszlás alapján viszont a vízvezető réteg számos szivárgás- és talajvízhidraulikai jellemzője becsülhető, mint a szivárgási tényező vagy a porozitás. Ugyanilyen értékelés azonban a meddő esetén nagyon ritkán áll rendelkezésre, így a szivárgáshidraulikai jellemzők csak a talajnem alapján kézikönyvek segítségével becsülhetők. Amennyiben a vizsgálandó bánya esetén a meddő visszatöltésére számítani lehet, célszerű lenne – ha nem is minden fúrás esetén – ebben a rétegben is szemeloszlás-vizsgálatok készítése.

Amennyiben az adott bányatelen kavicsmosó telep is működik, annak maradéka, mely igen finom szemcse, szintén felhasználható a visszatöltéshez. Ennek mennyiségét bányászati szakemberek a haszonanyag mintegy 5 %-ára becsülik.

Az alábbiakban visszatöltendő anyagként fenti, iszapos – agyagos meddőt tekintjük, melybe esetlegesen belekeverhető a kavicsmosó maradéka is. Tekintettel azonban arra, hogy a visszatöltött anyag bolygatott, esetleg kevert is lehet, az eredeti, termett talaj jellemzőinél minden esetben kedvezőtlenebb szivárgási tényező figyelembe vétele célszerű. Például agyagos iszap visszatöltése során a *Mézőkői kézikönyv* (1981) ajánlását (lásd 2. táblázat) is figyelembe véve inkább a homoklisztre jellemző  $k = 0,1$  m/d körüli értéket célszerű alkalmazni.

talajnem	m/s		m/d	
	max.	min.	max.	min.
Agyagos homok	1,0E-04	1,0E-05	8,64	0,86
Homokliszt	1,0E-05	1,0E-06	0,8640	0,0864
Iszap	1,0E-06	1,0E-08	0,086400	0,000864
Agyag	1,0E-08	1,0E-10	0,0008640	0,0000086

2. táblázat: Szivárgási tényezők a Mérnöki kézikönyv (1981) alapján

## A

### TALAJVÍZSZINTET STABILIZÁLÓ VISSZATÖLTÉS ALKALMAZÁSA

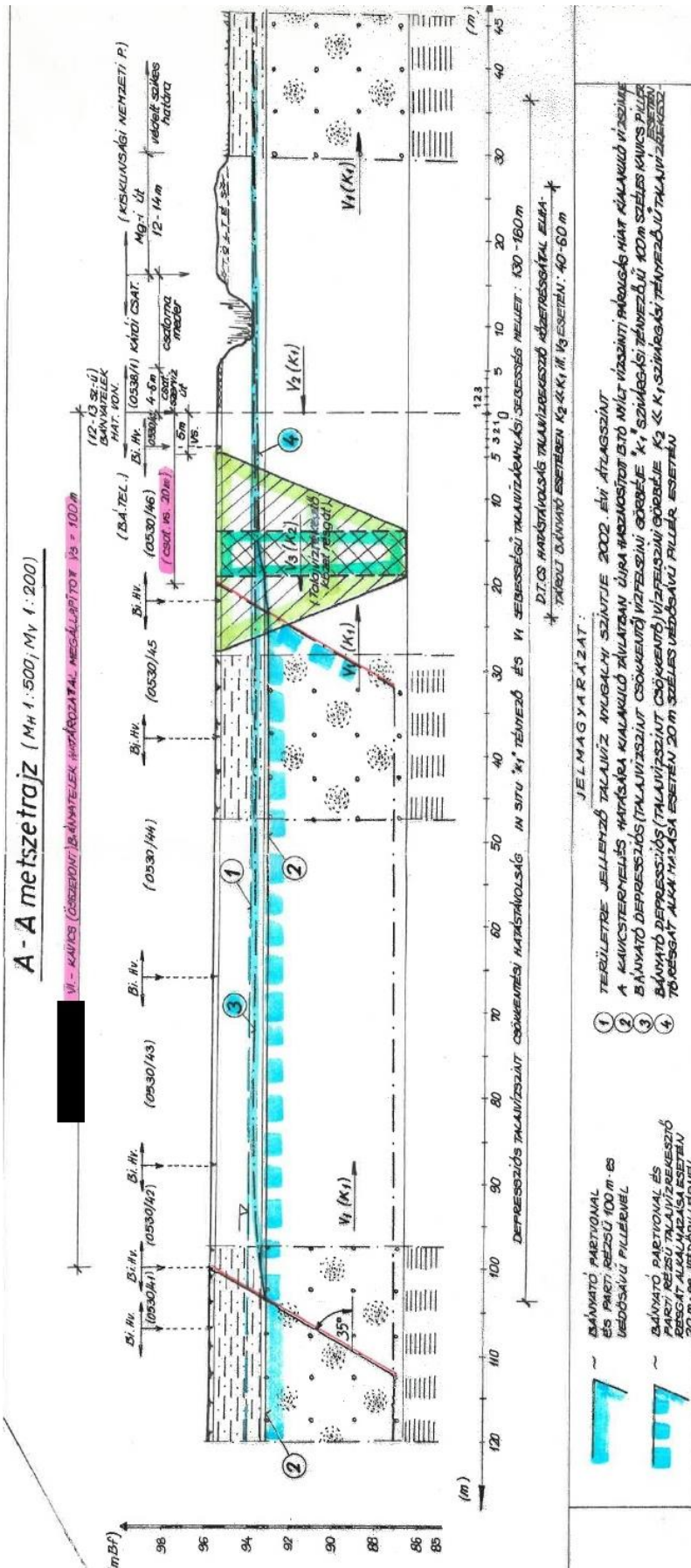
#### A visszatöltés kialakítása

A kavicsbányászat kedvezőtlen hatásai régóta közismertek. Ennek megfelelően mintegy 20 évvel ezelőtt, egy nemzeti part védelme érdekében az engedélyező hatóság az egyébként szintén ott húzódó belvízcsatorna védelme miatt szükséges 20 m-es védőpillér helyett 100 m-es pillért írt elő a bányatelek egyik határvonalán közel 600 m hosszban. Ez olyan jelentős veszteséget okozott volna, hogy a bányaüzem felelős műszaki vezetője az érintett felekkel folytatott számos egyeztetés nyomán olyan alternatív megoldást dolgozott ki, mellyel a nemzeti park megfelelő védelmet élvez, ugyanakkor a kavicsvagyron jelentős része hasznosítható (*Oplaznik, 2003*).

A megoldás lényege a vízzáró fekvő talajcsere, mellyel a létesítendő tó környezetére jellemző vízvezető talaj a tópart egy szakaszán vízzáróbb talajjal helyettesítendő. Ezzel az adott szakaszon egy szivárgáscsökkentő, esetleg kismértékben gátló visszatöltés alakul ki. Ebben az irányban megnövekszik az ellenállás, így lecsökken a vízmozgás, megnő a vízfelszín esése, hidraulikus gradiense. Ez a megemelkedő esés kisebb részben a tószint csökkenéséből, nagyobb részben a tó felszín alatti vízgyűjtőjén a talajvízszint visszatöltés nélküli esethez viszonyított megemelkedéséből alakul ki. Bár a tó nélküli állapot szintjei nem minden esetben állíthatók teljesen vissza, azonban olyan mértékben megközelíthetők, hogy az valamennyi, a tó létesítésében bármely okból érintett fél számára elfogadhatók.

A tényleges megoldás az érintett határvonal mentén a belvízcsatorna miatti 20 m-es védőpillérrel belül egy sáv kitermelése és azonnali visszatöltése az előző pontban ismertetett, kisebb vízvezető képességű meddővel. A további, 20 m és 100 m közötti terület kitermelése csak ezután kezdhető el. A kis vízvezető képességű meddő a létesülő bányató védett terület felőli vízutánpótlódását jelentősen lecsökkenti, így védendő területen a talajvízszintje stabilizálható. A tó felszín alatti vízforgalma azonban a további irányokban fenntartható.

Maga a visszatöltés egy trapéz szelvényű árokban helyezkedik el. Az árok fenékszélessége 2 – 5 m, rézsűhajlása 1:1, anyaga a rendelkezésre álló agyagos homok, mely szükség esetén belül agyagosabb maggal látható el. Fenti elrendezést *Oplaznik (2003)* munkája nyomán az *1. ábra* mutatja, mely az idézett mű *1. melléklete (Telepítési és kiviteli terv)* egyik metszetének kivágata. Itt a mértékadó vízszinteket sokéves átlagos talajvíz- és tószintek alapján rögzítették, míg a szivárgási tényezőket és a tó távolhatását kézikönyvek és egyéb források alapján becsülték.



1. ábra. A tervezett visszatöltés metszete Oplaznik (2003) nyomán

## A visszatöltés szivárgáshidraulikai ellenőrzése

### A vizsgálatok célja és eszközei

Az előbbieken kialakított visszatöltés becsült, illetve bizonytalan jellemzőinek ellenőrzésére függőleges síkú szivárgáshidraulikai modell alkalmazható, melynek segítségével részletes érzékenység-vizsgálatok is végezhetőek. Így a vizsgálatok az alábbiakra terjedtek ki:

- a hatástávolság ellenőrzése
- a szivárgási tényező meghatározása a fúrások és egyéb források alapján mind a vízvezető rétegre, mind a visszatöltésként felhasználható fedőre, majd érzékenység-vizsgálat
- a visszatöltés árokszélességének ellenőrzése
- a visszatöltés anyagának ellenőrzése, beleértve a homogén, illetve agyammaggal ellátott változatot.

Összegezve, a számítások célja az 1. ábrán megadott visszatöltés széles körű szivárgáshidraulikai ellenőrzése. Ehhez a szivárgáshidraulika alapegyenlete alkalmazható, függőleges síkáramlás esetére, mely az alábbi (Kovács, 1972):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 0$$

ahol:

$x, z, m$  : vízszintes és függőleges koordináták;

$k_x, k_z, m/s$  : a Darcy-féle szivárgási együttható vízszintes és függőleges komponense;

$\varphi, m$  : a piezometrikus nyomásszint magassága valamely viszonyító sík felett.

Matematikailag az egyenlet másodrendű lineáris, elliptikus parciális differenciálegyenlet, melyhez a vizsgált tér határain többféle határfeltétel adható meg (Varga - Csoma, 1995.):

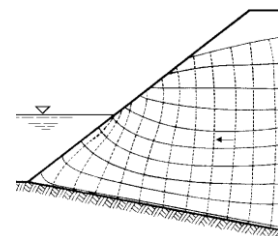
**Adott nyomásszintű határ:** Ilyenek a szabad vízfelszínnel határolt részek, így a bányató részsúje is. A határszakasz helye ismert. Ha nyomásszint a határszakasz mentén állandó, az áramlás a határra merőleges.

**Határ adott áramlási sebességgel:** A határszakaszon a vízmozgás sebességének a nagysága és az iránya ismert. Egy eset kivételével ilyen határszakaszt kijelölése ritka és nehézkes. Ez a kivétel a vízzáró határ, melyet fontossága miatt külön tárgyalunk.

**Vízzáró határ:** A határ mentén az áramlás iránya adott: párhuzamos a határral. Ilyenek a vízzáró elemekkel határolt részek. A határszakasz helye ismert. Esetünkben ilyen határ a fekü felső síkja.

**Szabad felszínű határ:** A határ a szabad felszín, ahol a nyomás a  $p_0$  légköri nyomással azonos. A határ helye változó, rajta keresztül áramlás nincs. Ilyen határ a szivárgó víz szabad felszíne, esetünkben a tótól a védett terület felé.

**Szabad kilépési felület:** A határ mentén a nyomás a  $p_0$  légköri. Ilyen határszakasz alakul ki akkor, ha a szivárgó víz rézsúre lép ki, esetünkben a tóba. Ezt mutatja a 2. ábra vázlata.



2. ábra. Szabad kilépés

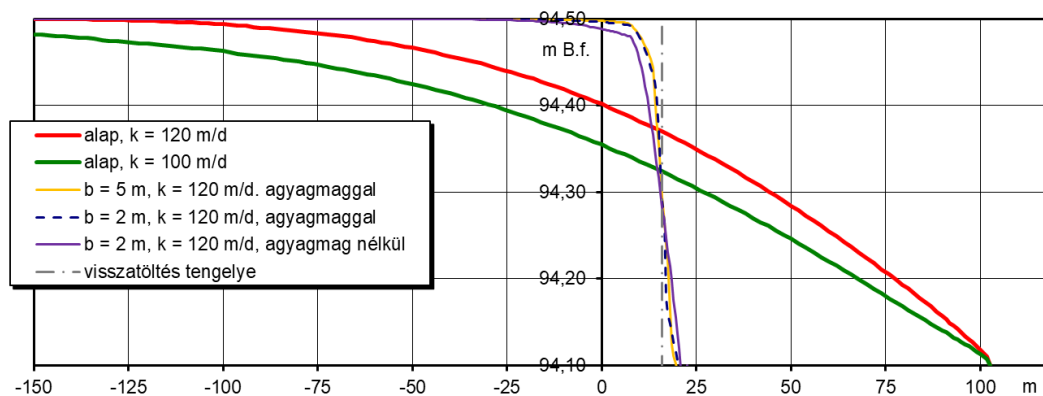
Az alapegyenlet megoldásával a fenti határfeltételek mellett, azaz a  $\varphi$  nyomásszintek meghatározásával a teljes szivárgási térre bármely további hidraulikai jellemző (hozam, a szabad fel-

szín helyzete stb.) meghatározható. Az egyenlet numerikus megoldására számos módszer alkalmazható. Mi ezek közül a *véges differenciák* módszerének váltakozó irányú implicit iteratív megoldását választottuk (Wang - Anderson, 1982), mely a vizsgált szivárgási térre illesztett derékszögű négyzögháló csomópontjaiban adja meg a piezometrikus nyomásszinteket.

### Adatok és eredmények

A számításokhoz az 1. ábrán megadott szelvényre illesztettünk négyzöghálót kétféle módon: egyrészt egy durvábbat, de hosszabb szakaszra a becsült hatástávolság ötszörösével, másrészt egy finomabbat, kétszeres távolhatással. Mindkét esetben visszatöltés nélkül, de kétféle szivárgási tényezővel, a szemeloszlások alapján meghatározott 100 m/d és 120 m/d értékkel alakítottuk ki a modellt, a fenti határfeltételek figyelembevételével. Mivel a kétféle változat minden esetben igen jó egyezést mutatott, a továbbiakban csak az utóbbi, részletesebb hálózattal kialakított, de rövidebb szakaszt vizsgáló modellt használtuk.

A részletesebb változatban a hálózat a tópart, illetve a visszatöltés közelében 50x50 cm-es volt, melyet távolabb 50x200 cm-re lehetett ritkítani. Ezzel minden rézsús felület jól követhető volt. A visszatöltést kétféle talpszélességgel, kétféle szivárgási tényezővel, illetve agyaggaggal és anélkül vizsgáltuk, a terület mindkét, korábban is alkalmazott szivárgási együtthatója mellett. Az eredmények összefoglalását adja a 3. ábra. Itt a visszatöltés nélküli, 100 m-es védőpillérrel számított talajvízfelszíneket hasonlítjuk össze néhány visszatöltés-változattal.



3. ábra. Visszatöltés nélküli és visszatöltéssel számított talajvízszintek

A számítások eredményeinek részletes elemzése (Csoma, 2003) alapján a legfontosabb eredmények az alábbiakban foglalhatók össze:

- a 100 m széles védőpillérrel számított talajvízfelszín jól megközelíti az elméleti – parabola – felszínt, a modell megfelelően mutatja a szivárgási tényező hatását;
- a védőpillér kiváltása a visszatöltéssel kialakítástól és egyéb jellemzőktől függetlenül kedvezőbb helyzetet teremt, mint a 100 m-es védőpillér, így minden esetben megadja az igényelt védelmet;
- visszatöltés esetén a térség szivárgási tényezőjének 3. ábrán is megmutatkozó hatása lecsökken, ahogy az sem döntő, hogy a visszatöltést a realitás határain belül mekkora  $k$ -val vesszük figyelembe, egyedül a térségi és visszatöltésen belüli szivárgási tényezők aránya ( $k/k_t$ ) a döntő;
- a visszatöltés javasolt 2 - 5 m talpszélessége megfelelő, még a keskenyebb változat is megfelelően stabilizálja a talajvízszintet;



- a visszatöltés belső, kisebb vízvezető képességű magjának kialakítása csak akkor szükséges, ha az átszivárgó víz mennyiségét csökkenteni kívánjuk, egyéb esetben szükségtelen;
- a visszatöltés az átszivárgó hozamot az eredeti, 100 m-es védőpillér mellett átszivárgó hozam 10 - 50 %-ára csökkenti.

Mindezek alapján megállapítható, hogy visszatöltés alkalmazásával lecsökkentett védőpillér az eredeti, nagyobb védőpilléres megoldásnál kedvezőbb helyzetet teremt még a legkisebb vizsgált talpszélesség esetén belső mag nélkül is.

## A visszatöltés térségi hatásainak ellenőrzése

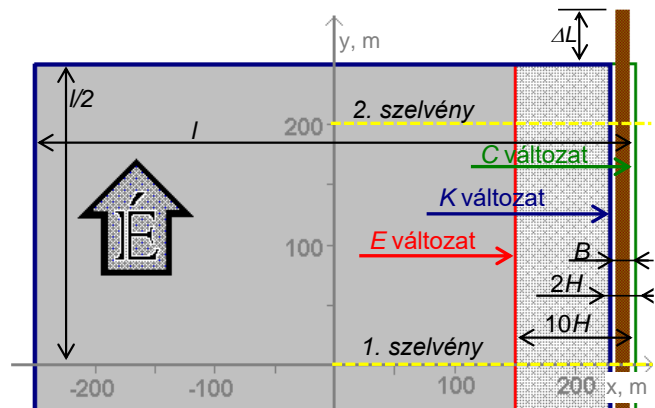
### A számítások célja és eszközei

Bár a fenti megoldás egy konkrét esetre született, a pozitív szivárgáshidraulikai ellenőrzések nyomán merült fel az általánosítás igénye. Ennek megfelelően nem egy konkrét esetet vizsgálunk, hanem egy valós nagyságrendű, egyszerű, de feltételezett esetet: magányos, négyszög alakú tó egyetlen oldala mentén kialakítandó visszatöltést. Célunk a visszatöltés három jellemzőjének, a szivárgási együtthatónak, a visszatöltés szélességének és hosszának vizsgálata. Bár a feladat fiktív, törekedtünk a hazai viszonyokat tükröző adatok alkalmazására. Azonban a cél továbbra sem az adott tó vizsgálata, hanem a műszaki megoldás részletesebb elemzése, megismerése és az általánosítás, így az eredményeket általánosítható formában, a vízvezető réteg valamely jellemzőjéhez viszonyítva, relatív értékekkel adjuk meg.

A vizsgált jelenség vízszintes síkú, kétdimenziós talajvízmozgásként vehető figyelembe. Az elvégzendő nagytömegű számításokhoz a szuperpozíció elvén nyugvó *analitikus elemek módszerét* választottuk, melyet korábban több esetben is bemutattunk (Csoma 1995 és 2007, Csoma-Wagner 2021, stb.). Ez a ritkábban alkalmazott modellezési mód különösen alkalmas ilyen jellegű feladatokhoz. Az alábbiakban ezen vizsgálatok rövid összegzését adjuk meg, részletesebb értékelés a következő munkákban megtalálható: Csoma 2005, 2007, 2009.

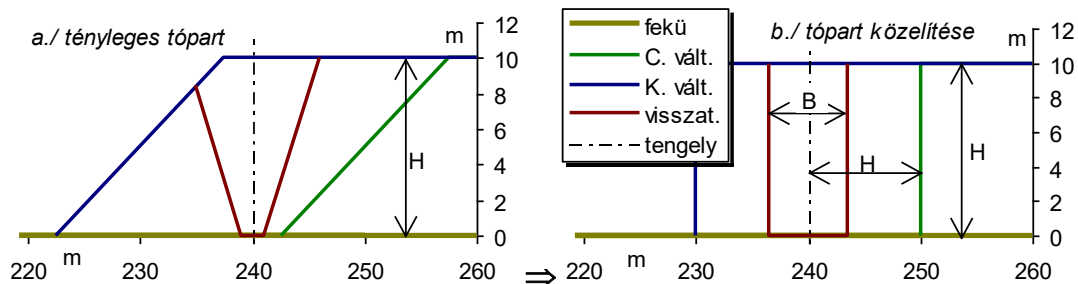
### A vizsgált visszatöltés

Egyetlen magányos, négyszögletes tavat vizsgálunk, melyet *célállapotként C*-vel, illetve a 4. ábra vázlatán zölddel jelöljük. A terület szimmetriája miatt az ábra – és más, hasonló ábra is - csak a tó északi felét mutatja. A tó a keleti oldala mentén egy védendő terület miatt az előző pont szerinti adott szélességű védősávval termelhető ki. A védősáv valójában azt adja meg, hogy mekkora lehet a legnagyobb leszívás a *C* változatnak megfelelő tó keleti partjától keletre. A védősávval kialakított tavat, mint *elfogadható állapot*, *E*-vel, illetve a 4. ábrán pirossal jelöl. Ezután tófelület - és ezzel a kitermelés - ilyen mértékű csökkentése helyett kisebb szélességű, de visszatöltést is tartalmazó védősávot feltételeztünk, mely a tó céljával inkább összhangba hozható. Ezen, *kompromisszumos megoldást K* illetve az ábrán kék szín jelöli, a visszatöltés pedig barna. A további ábrákon is a fent megadott színeket alkalmazzuk.



4. ábra. Helyszínrajzi vázlat

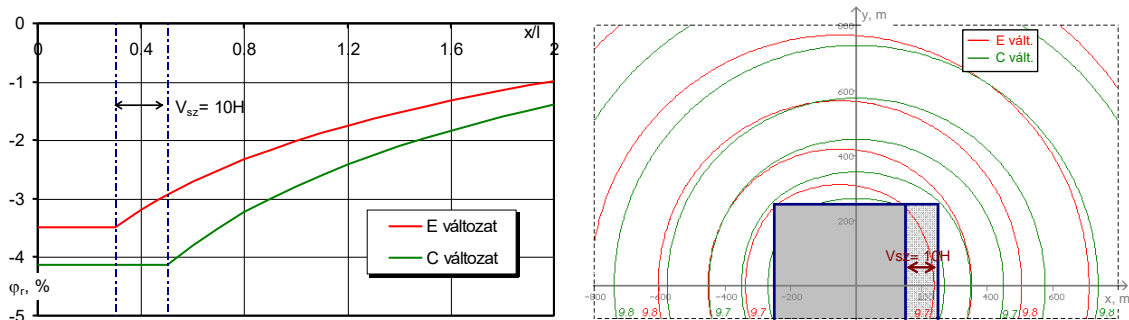
Maga a tópart rézsús kialakítású, melyet az 5. ábra a./része mutat. Ezt a vízszintes síkú modell közelítően, a part függőlegesét a rézsú középpontjába helyezve veszi figyelembe, melyet a 5. ábra b./része mutat.



5. ábra. A tópart metszete és közelítése

Jelen esetben egyoldali visszatöltést vizsgálunk, a 4. ábra szerint a tó keleti oldalával párhuzamosan. Kialakítása rézsús, melyet a partvonallal azonos módon kezelünk. Így a kétoldali rézsúk középvonala közötti távolság tekinthető a továbbiakban a visszatöltés  $B$  közepes szélességének, melyet az 5. ábra mutat. A visszatöltés az előzőek szerint a tó mélységével megegyezően a feküig leér, a teljes vízvezető réteget harántolja. A fekü vízszintes, vastagsága  $H$ , szivárgási együtthatója  $k$ . Ez a két jellemző az, amely viszonyítási alapul szolgál a visszatöltés további paramétereire. A réteg szabad felszínű, tó nélküli, kezdeti állapotban a talajvíz felszíne vízszintes, melyet  $\varphi_0$  jelöl.

Az első lépésben visszatöltés nélkül kapott relatív szintek a 4. ábra 1. szelvénye mentén a 6. ábra bal oldalán, míg a tényleges szintek 10 cm-es lépcsőkkel ugyanezen ábra jobb oldalán láthatók, a korábbi színkód szerint. A relatív szintnek tekintjük a tó nélküli állapothoz viszonyított eltérést százalékosan kifejezve, mely nemcsak a talajvízszintre, hanem a tószintre is alkalmazható az alábbiak szerint:  $\varphi_r = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_0} * 100$  [%]. A vizsgált szelvény nyugat - keleti irányú, origója az  $y$  tengelyen van. A 6. ábra relatív hossza a szelvény menti távolság a  $C$  változat szerinti négyzet alakú tó  $l$  oldalhosszúságára vonatkoztatva, azaz  $x/l$ .



6. ábra. Relatív és tényleges szintek az 1. szelvényben C és E változat

A vizsgálatok céljának megfelelően az így kialakuló szintek a keleti oldalon nem fogadhatók el, ezért védősáv került kijelölésre  $V_{sz} = 10H$  szélességgel. Ez az elfogadható  $E$  változat (3. ábra), mely a tófelület 20 %-os csökkenését is okozza. A módosított partvonal hatására a talajvízszint változása a tó környezetében mintegy háromnegyedére csökken, mely adott esetben már elfogadható. A  $C$  és  $E$  változatok által kialakított talajvízszintek a 6. ábrán vethetők össze. A szintvonalak mindkét esetben koncentrikus jellegűek, azonban míg a  $C$  változat esetén a középpont az origóban van, addig az  $E$  változnál a súlyponttal együtt nyugatabbra tolódik.

A  $K$  változat szerint a védősáv kisebb, szélessége a vízvezető réteg vastagságának kétszerese ( $V_{sz} = 2H$ ), de visszatöltéssel. Így az eredeti szélességnek csupán az ötöde lesz, azaz a tófelület

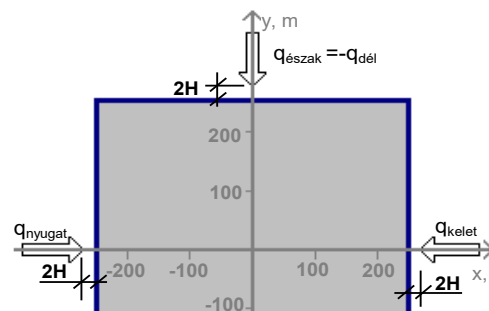
is mindössze 4 %-kal változik, mely az eredeti célokkal is inkább összhangban van. A visszatöltés tengelye az eredeti, **C** változat szerinti tóparttól rétegvastagságyra, a védősáv közepén van. A cél a **K** változat szerinti visszatöltés  $L$  hosszának illetve a tóhosszon túli  $\Delta L$  túlnyújtásának (4. ábra),  $B$  szélességének és  $k_t$  szivárgási együtthatójának vizsgálata. A számításokhoz először egy **KO**-lal jelölt alapváltozatot vettünk,  $B_0 = H$  szélességgel,  $k_{t,0} = k/20$  szivárgási együtthatóval és  $\Delta L_0 = 0$  túlnyújtással, majd az egyes paramétereket ehhez viszonyítva változtattuk. A további változatok az alábbi tartományokra terjednek ki:  $B/H = 0 \dots 1.6$ , melyek jele: **KB**;  $\Delta L/H = 0 \dots 5$ , melyek jele: **KL** és  $k/k_t = 1 \dots 200$ , melyek jele: **KK**. Az egyedi változatokat a csoportok jelén túl a vizsgált jellemző relatív értékével különböztetjük meg. Például a **KK\_100** jelű változat az alapváltozat százszorosát kitevő vízvezető képességet vizsgálja.

Az értékelés során továbbra is törekedtünk arra, hogy a vízvezető réteg valamely jellemzőjére vonatkoztatott relatív értéket alkalmazzunk. Így a korábbi *relatív szinten* túl további két paramétert vezettünk be:

1. A **relatív szinteltérést**, mely az adott változat által kialakított  $\varphi_K$  talajvízszint az elfogadható **E** változat  $\varphi_E$  szintjéhez viszonyítva, ezrelékben megadva:  $\Delta\varphi_r = \frac{\varphi_K - \varphi_E}{\varphi_E} * 1000$  [‰]. Ha  $\Delta\varphi_r$  értéke pozitív, az **E** változatnál kedvezőbb a helyzet..

2. A **relatív hozam** az adott helyen, adott irányból a tóba lépő fajlagos hozam (pl.  $q_x$ ) az egységnyi parthosszra vonatkoztatott  $q_K$  hozamhoz viszonyítva, százalékban:  $\Delta q_r = \frac{q_x - q_K}{q_K} * 100$  [%]. Ehhez

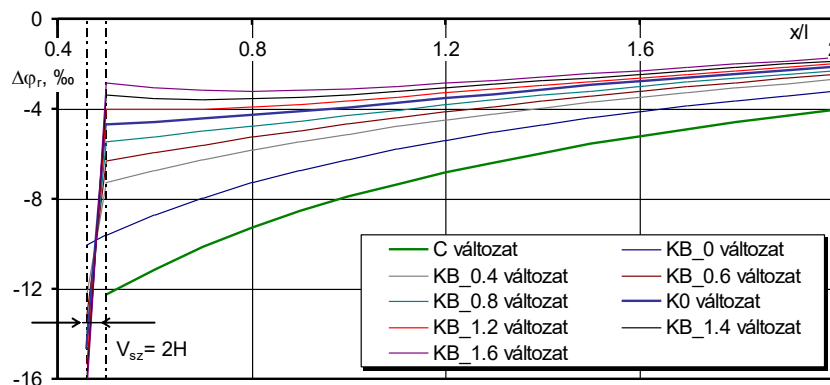
a tóba lépő hozamot a parttól  $2H$  távolságra, a tópart felező egyenesében, a partra merőleges sebesség- illetve fajlagos vízhozam komponenssel definiáljuk a 7. ábra szerint, a tónak mind a négy oldalán. A szimmetria miatt az északi és déli oldali hozamok nagysága azonos.



7. ábra. A tóba lépő hozamok

### A vizsgálatok és eredményeik

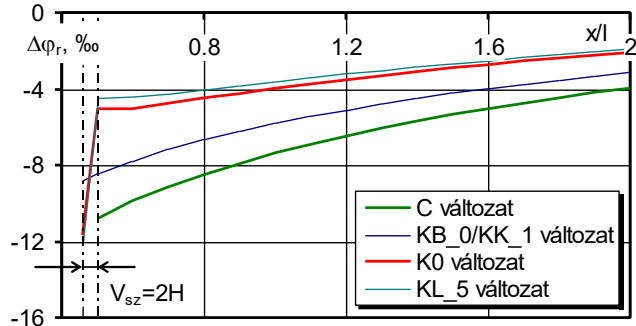
A visszatöltés szélességét elemző **KB** sorozat által az 1. szelvényben kialakított relatív szinteltérések a 8. ábrán láthatók. Az ábra, melyen a **C** változatot és az **KO** jelű alapváltozatot vastagabb vonal jelöli, csak a tó határán kívüli szinteket mutatja. Összehasonlítva a visszatöltés nélküli **KB\_0** változatot akár a **KO** akár a **KB\_1.6**-os változattal, jól látható, hogy a visszatöltés léte vagy nem léte alapvető fontosságú. A **KO** és a **KB\_1.6** összevetéséből viszont az látható, hogy a szélesség hatása kevésbé jelentős. Még legnagyobb szélesség mellett sem lehet az alapváltozatnál számottevően jobban megközelíteni az **E** változatot.



8. ábra. Relatív szinteltérés az 1. szelvényben a szélesség hatására

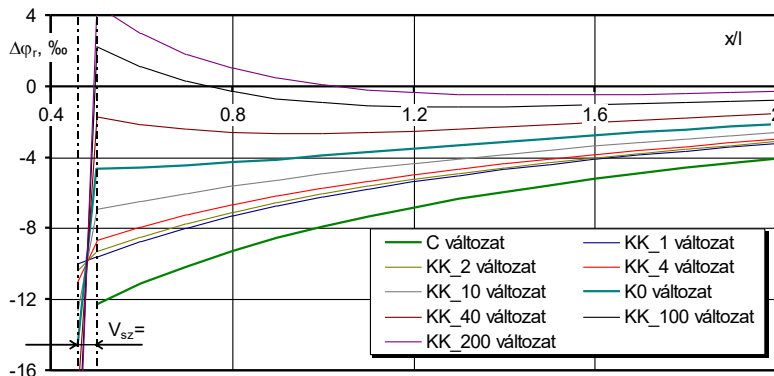
Az eredetileg koncentrikus szintvonalak a tó keleti oldalán kissé deformálódtak és a **C** változatnál 4 %-kal alacsonyabb tószint alakult ki. A visszatöltés szélességének növekedésével a keleti irányú hozam az eredeti mintegy 80 %-ra csökkent, melyet a három másik irányból belépő hozamok pótolnak. Azonban valamennyi eset azt mutatja, hogy a szélesség hatása csekély.

A visszatöltés túlnyújtásának hatását, a **KL** sorozat fontosabb eredményeit a túlnyújtáshoz közelebb fekvő 2. szelvény segítségével a 9. ábrán foglaljuk össze. Az ábrán a **C** változat, a túlnyújtás nélküli **K0** alapváltozat és a leghosszabb, **KL\_5** változat tavon kívüli relatív szinteltérései szerepelnek. A két szélső eset közötti csekély eltérés miatt a további változatok feltüntetése szükségtelen. Összehasonlítva a két változatot megállapítható, hogy túlnyújtással nem lehet számottevő térségi hatást elérni. A szintvonalak a túlnyújtás miatt a tópart környékén azonban jelentősebben deformálódtak. Így túlnyújtást legfeljebb akkor érdemes alkalmazni, ha az lokálisan indokolható. A túlnyújtás sem a tószintet, sem a tóba lépő hozamok nagyságát nem vagy alig befolyásolja.



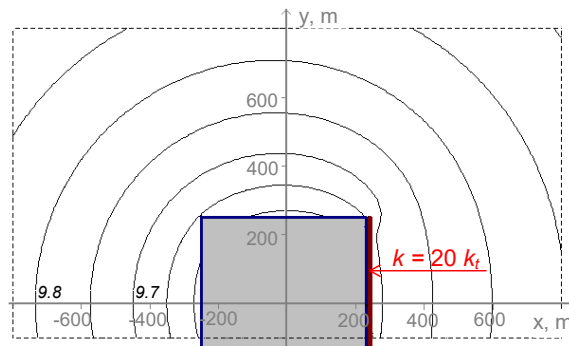
9. ábra. Szinteltérés a 2. szelvényben

Végül a visszatöltés vízvezető képességét vizsgáló **KK** sorozat által az 1. szelvényben a tavon kívül kialakított relatív szinteltérések a 10. ábrán láthatók. A korábbiakhoz hasonlóan a **C** és a **K0** alapváltozatot vastagabb vonal jelöli.



10. ábra. Relatív szinteltérés az 1. szelvényben a vízvezető képesség hatására

Az ábra alapján egyértelmű, hogy a vízvezető képesség hatása a legjelentősebb. Már az alapváltozatnál csupán kétszer víz-záróbb visszatöltéssel kialakított **KK\_40** változat is az elfogadható **E**-hez igen közeli relatív szinteltéréseket ad. A leginkább víz-záró változatok esetén a görbe a tó közelében pozitív, mely az elfogadható **E** változatnál kedvezőbb. A visszatöltés a talajvíz szintvonalakat erőteljesebben deformálja, mely a 6. ábra jobb oldala és a 11. ábra összevetéséből jól követhető. Ezen utóbbi ábra a **K0** alapváltozatot mutatja, mely a 10. ábra szerint nem is a legkedvezőbb. A tószint ezesetben alacsonyabb lesz, a csökkenés az 5 %-ot is meghaladhatja, és a visszatöltés oldali hozam is tetemesen lecsökken,  $k/k_t > 100$  esetén akár az eredeti hozam 20 %-ára is, mellyel az egyéb oldalak hozama emelkedik jelentősen.



11. ábra. Az alapváltozat szintjei

### Javasolható visszatöltés-jellemzők

Az előzőekben vizsgált tó egy oldalán tervezett visszatöltés méreteinek és vízvezető képességének röviden bemutatott érzékenység-vizsgálata alapján az alábbiak állapíthatók meg:

- a visszatöltés valójában egy lokálisan megnövekedett hidraulikai ellenállás,
- a visszatöltés két oldala között a vízfelszín esése (hidraulikus gradiens) megnő a töltés nélküli állapothoz képest,
- a visszatöltés csökkenti a vízmozgást, így a rá merőleges irányú sebességek illetve fajlagos hozamok lecsökkennek, a hiányzó vízmennyiség pótlására azonban a másik három oldalról az áramlás erősödik,
- mindezek ellenére a térség áramlási viszonyai gyökeresen nem változnak meg,
- a visszatöltés szélessége mind a kialakuló szinteket, mind az áramlási viszonyokat csekély mértékben befolyásolja,
- a visszatöltés túlnyújtása a térségben sem a szinteket, sem a hozamokat nem befolyásolja, a hatás lokális,
- a leginkább meghatározó hatása a visszatöltés vízvezető képességének van.

A fentiek alapján egy megfelelően működő feküig leérő visszatöltés főbb jellemzőire az alábbiak javasolhatók:

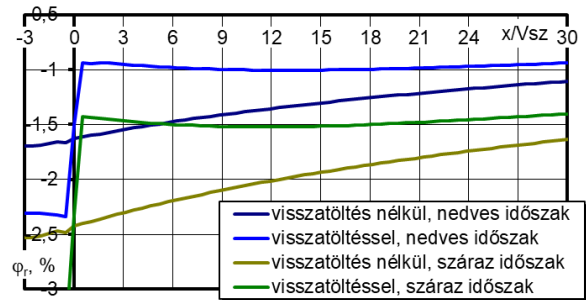
- a közepes szélesség (5. ábra) a vízvezető réteg vastagságával közel azonos,
- a hosszúság a védelmet igénylő szakasznak (pl. tópart hossza) megfelelő, túlnyújtásra csak lokális igények esetén lehet szükség,
- a vízvezető képesség a környező vízvezető réteg legalább huszad - ötvened része.

Ezekkel kellő védelmet nyújtható az adott tó környezetének, illetve alapot nyújthat további talajvízszint-stabilizáló beavatkozásokhoz is.

## A visszatöltés alkalmazása

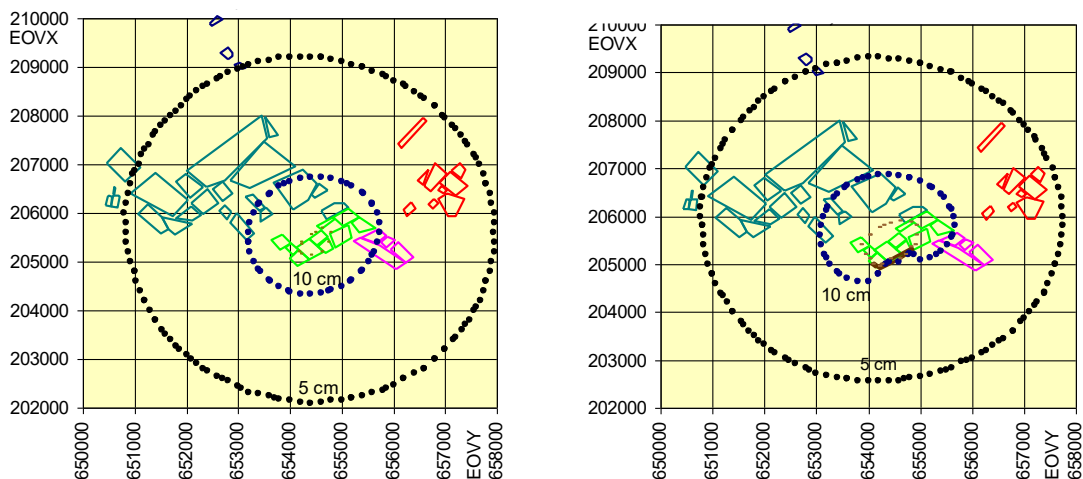
A fent bemutatott elemzések igazolták, hogy a visszatöltés a fent megadott jellemzők mellett hatékony eszköze lehet a térségi talajvízszint-csökkenés mérséklésére. A következőkben már valós környezetbe illesztett tavak vizsgálatára mutatunk be néhány esetet. Mindegyik egy nagyobb tórendszer déli – délkeleti részén található tó, mely védett területtel határos.

Az első tervezett visszatöltés esetén  $k/k_t = 70$ ,  $B/H \approx 2$  arányokkal jellemezhető védősáv kialakítására nyílt lehetőség, a tervezett tó teljes délkeleti oldala mentén. A talajvíz-áramlás jellemző iránya éppen a visszatöltésre merőleges. A visszatöltés hatásait a 12. ábra szemlélteti, mely egy közepén felvett szelvény relatív szintjeit mutatja. A szelvény a visszatöltésre merőleges, origója a védősáv tengelyében van. A relatív távolság a szelvény menti hossz a védősáv szélességére vonatkoztatva, míg a relatív leszíváshoz a tó nélküli állapot szintjét alkalmaztuk. Maga az ábra a védősáv nélküli, illetve annak alkalmazásával számított relatív szinteket mutatja hosszan tartó csapadékosabb, illetve szárazabb időszakra.



12. ábra. A visszatöltés hatása

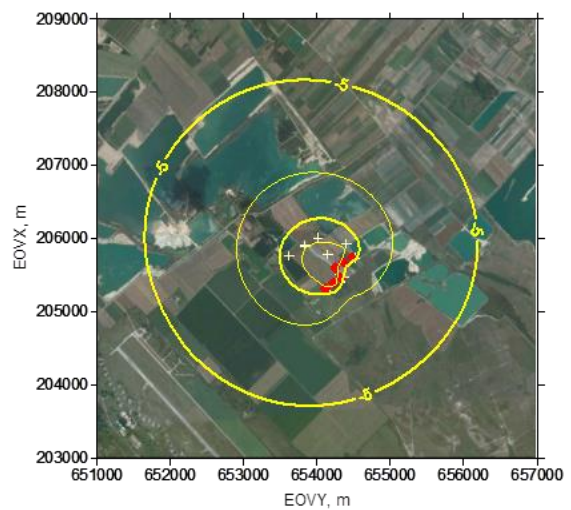
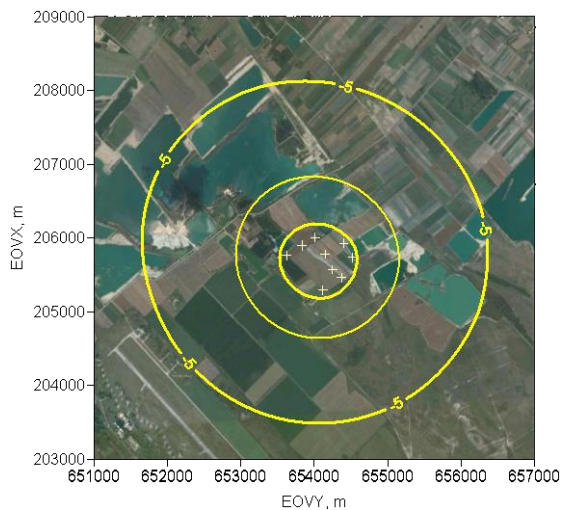
A 13. ábra ezen eset egy változata során kialakult talajvízszint-süllyedéseket mutatja a visszatöltéssel kialakított védősáv nélkül, illetve visszatöltéssel. A szintvonalakat 5 cm-es lépcsővel adjuk meg, a visszatöltést a világoszölddel jelölt tervezett bánya délkeleti oldalán sötétbarna vonal mutatja. További színekkel a szomszédos bányatavakat jelöltük.



13. ábra. Szintcsökkenések visszatöltés nélkül és visszatöltéssel, I.

Mindkét ábra egyértelműen jelzi a visszatöltés kedvező hatásait. Hasonló esetet mutat 14. ábra, mely egy összetett határvonalú bányatelek délkeleti határán feltételez a rendelkezésre álló meddő alapján  $k/k_t = 200$ ,  $B/H \approx 1$  értékekkel jellemezhető visszatöltést. A GOOGLE EARTH műholdképébe illesztett szintvonalak lépcsője itt 2,5 cm, a bányatelek sarokpontjait apró sárga keresztjek, a visszatöltést vörös jelöli.



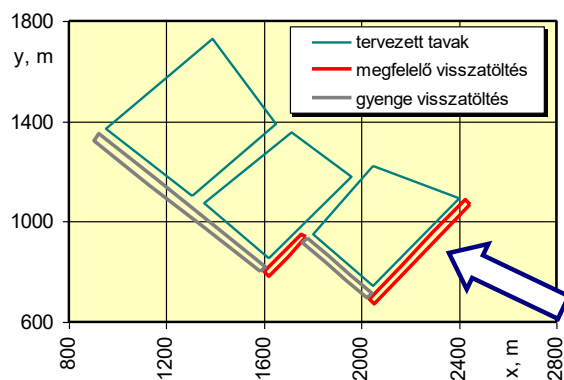


14. ábra. Szintcsökkenések visszatöltés nélkül és visszatöltéssel, II.

Az ábrákon jól látható a tószintek korábban is említett csökkenése, melyet a délkeleti irányban korlátozott áramlás okoz. Így a tó utánpótlást csak a többi irányból kaphat. Viszont északról már meglévő tavak határolják a területet, így az utánpótlódás onnan nehezebb. Egyedül délnyugati irányból növekedhet a vízutánpótlódás, mely azonban a visszatöltés hatását egyedül ellensúlyozni nem tudja. A tóból így "hiányzó" víz a védett területen marad, stabilizálva a talajvízszintet.

Külön kiemelendő előnye az így kialakított visszatöltésnek az, hogy a kedvezőtlenebb, száraz, vízhiányos időszakban nagyobb a hatása, melyet a 12. ábra is mutat.

A harmadik eset elrendezését a 15. ábra mutatja, mely esetben a rendelkezésre álló anyaggal szintén  $k/k_t = 70$  relatív vízvezető képességű,  $B/H = 1,5$  relatív szélességű visszatöltés alakítható ki. Itt is a bányától délre eső terület igényli a védelmet, így lehetséges nyomvonalként a teljes terület délnyugati és délkeleti határvonalai jöhetnek szóba. Az egyes szakaszokat a 15. ábra mutatja. A visszatöltés összhossza mintegy 2 km. A talajvízáramlás jellemző iránya délkeleti, melyet az ábrán nyíl mutat.



15. ábra. Nem megfelelően működő visszatöltés

Ezen visszatöltés egyes szakaszait külön-külön és összegezve is vizsgáltuk. Ezek során egyértelművé vált, hogy a két pirossal jelölt megfelelő, a szürkével megadott szakaszok hatása azonban mind önmagában, mind a rövidebb, jól működő részekkel párosulva csekély, itt a visszatöltés az elvártaknak nem tesz eleget. Mindez azzal indokolható, hogy a tervezett nyomvonal mentén a térségi áramlás délkelet - északnyugati irányú. Ez az irány közel párhuzamos a visszatöltés csekély hatást mutató szakaszaival, így ebből az irányból az új tavakba jutó vízmenyiség a teljes mennyiség töredéke. A visszatöltés kedvező hatása viszont a rá merőleges áramlás esetén biztosított.

## A tartózkodási idő helyreállítása

### A vizsgálatok célja

A hazai kavicskitermelés a bevezetésben megfogalmazottak szerint gyakran kötődik vízfolyásokhoz vagy közvetlen környezetükhöz. Másrészt viszont nagyobb vízfolyásaink mentén több helyen működik, vagy terveznek parti szűrésű vízbázisokat (Aujeszky et al, 1990). Bár az ilyen vízbázisok megállapított védőterületei közül a hidrogeológiai védőidomon belül nem kizárt a bányászat, a megfelelő együttműködés érdekében fontos az érintett felek összhangja. Az alábbiakban ezen összhang megteremtéséhez igyekszünk segítséget adni.

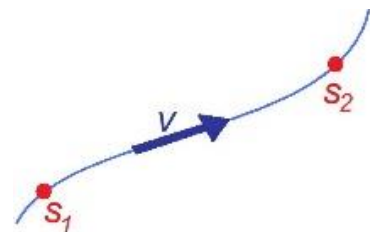
A hidrogeológiai védőterületek meghatározása egyszerűsítve azon alapul, hogy a felszíni víz a felszín alá kerülve milyen elérési vagy tartózkodási idővel jut el a víztermelő létesítménybe. Abban az esetben, ha a bányászat miatt a védőterületen új szabad vízfelület alakul ki, akkor ez a tartózkodási idő nyilván lecsökken. Ugyanakkor a megfelelő helyen, a megfelelő méretekkel kialakított visszatöltés alkalmas lehet a lecsökkent tartózkodási idő helyreállítására. A kisebb vízvezető képességű visszatöltés valójában megnövekedő hidraulikai ellenállást jelent, mellyel adott vízfelszín esés mellett lecsökken vízmozgás sebessége. A kisebb sebesség pedig nagyobb elérési időt jelent, mellyel a vízbázis biztonsága helyreállítható, esetleg még növelhető is. Ilyen esetekben a cél a rendelkezésre álló anyag szivárgási tényezője alapján a visszatöltés méretének – szélességének – becslése, mellyel lecsökkent a tartózkodási idő helyreállítható. Az alábbiakban ismertetendő módszer – bár számos közelítést tartalmaz - megbízhatóan tudja becsülni az igényelt méretet.

### A számítások alapja

Fent megfogalmazott cél érdekében induljunk ki a Darcy-törvény alábbi alakjából:  $v = -k \frac{dh}{ds}$

ahol:

- $v$ , m/d : a Darcy-féle szivárgási sebesség,
- $k$ , m/d : a szivárgási tényező,
- $dh$ , m : a nyomásmagasság (talajvízszint) megváltozása,
- $ds$ , m : a víz által megtett úthossz,
- $S = dh/ds$  : a hidraulikus gradiens.



16. ábra. A tartózkodási idő

A 16. ábra nyomán, az ott feltüntetett két pont között a tartózkodási idő a sebesség definíciójának segítségével a következő:  $v_{eff} = \frac{ds}{dt}$ , melyből a tartózkodási idő  $T = \int_{S_1}^{S_2} \frac{1}{v_{eff}} ds =$

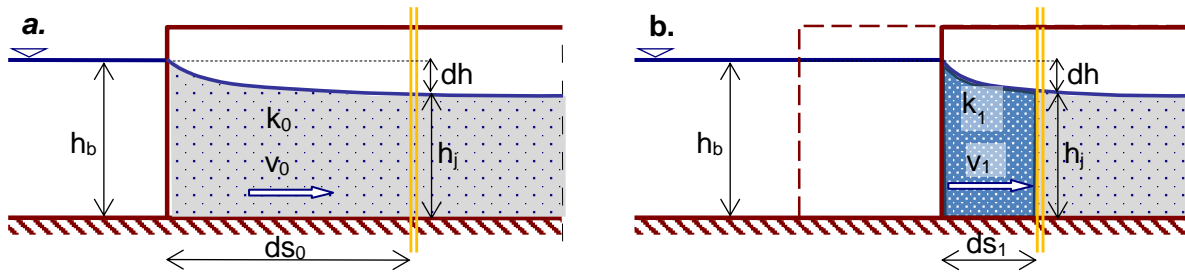
$$\int_{S_1}^{S_2} \frac{n}{v} ds$$

ahol az előbbieken túl:

- $v_{eff}$ , m/d : a szivárgás tényleges sebessége,  $v_{eff} = v/n$ ,
- $n$ , - : a porozitás.

Mindezeket egy védőidomon belül fejlesztendő bányára is alkalmazhatjuk. A terület metszetét a 17. ábra mutatja a kitermelés megkezdése előtt, valamint a kitermelés és a visszatöltés után. A bányatelek határát kettős sárga vonal jelzi. Az a./ rész kiindulási állapotában az ott jelzett  $ds_0$  szakasz kitermelése, majd  $ds_1$  védősáv visszatöltése után alakul ki a b./ rész végállapota, ahol a szaggatott barna vonal az eredeti állapotot jelzi.





17. ábra. Védőidomon belüli bányaterület a./ a kitermelés előtt és b./ a visszatöltés után

Sebességek a két esetben:  $v_0 = -k_0 \frac{dh_0}{ds_0}$  illetve  $v_1 = -k_1 \frac{dh_1}{ds_1}$ . A  $ds_0$  illetve  $ds_1$  hosszak a tópart és a bányatelek határa közötti távolságot jelzik, a telekhatár menti határpillértől a biztonság javára eltekintünk. Ezen szakaszok mentén a kis távolság miatt a sebesség megváltozásától is eltekinthetünk, így állandó sebességgel a tartózkodási idő is egyszerűsödik:  $T_0 = \frac{ds_0 \cdot n_0}{v_0}$  illetve  $T_1 = \frac{ds_1 \cdot n_1}{v_1}$  alakra. A sebességek figyelembe vételével az időtartam  $T_0 = \frac{ds_0^2 \cdot n_0}{k_0 \cdot dh_0}$  és  $T_1 = \frac{ds_1^2 \cdot n_1}{k_1 \cdot dh_1}$  lesz. A hosszúságok jelölését lásd a 17. ábrán.

Az ábrán szereplő  $h_b$  a bányató szintje, míg  $h_j$  a talajvízszint a bányatelek határán, mely utóbbit a környező területek vízjárása határoz meg. A  $dh = h_b - h_j$ , szintkülönbséget a bányabővítés hatására változatlanoknak tekinthetjük, így  $dh_0 = dh_1 = dh$ . A terület  $k_0$ , és a visszatöltés  $k_1$  szivárgási tényezőjére az előző fejezetek támpontot adnak. Az  $n$  porozitás viszont az eltérő talajnevek esetén a szivárgási tényező nagyságrendi változásai mellett olyan kis mértékben – néhány %-kal – tér el, hogy a változástól eltekinthetünk,  $n_0 = n_1 = n$ .

Mindezekkel célunk a tartózkodási idő helyreállítása, így a felhagyás utáni helyzet ne legyen kedvezőtlenebb, mint a kitermelés megkezdése előtt. Számszerűsítve  $T_0 \leq T_1$ , mely - figyelembe véve a változatlanul maradó mennyiségeket is -  $\frac{ds_0^2 \cdot n}{k_0 \cdot dh} = \frac{ds_1^2 \cdot n}{k_1 \cdot dh}$  lesz. Ebből a visszatöltés

szükséges  $ds_1$  mérete  $ds_1 = ds_0 \sqrt{\frac{k_1}{k_0}}$ .

### Becsült visszatöltés-szélességek

Fenti összefüggés segítségével két jellemző  $k_0/k_1$  arányra becsültük a visszatöltés méretét, melyet a 3. táblázatban foglaltunk össze. Jelen figyelembe vett szivárgási tényező arányok hasonlóak a korábbi vizsgálatok értékeihez, és összhangban vannak az előző fejezetben tett ajánlással is. Bár jelen esetben a visszatöltés számszerűsíthető célja a korábbiaktól eltérő, maga a visszatöltés kialakítása és kivitelezése a korábban megadottak szerint történhet.

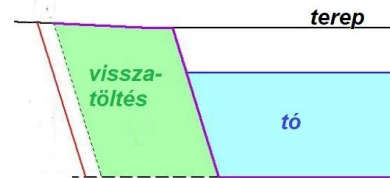
eredeti táv, m	visszatöltés szélessége, m	
	$k_0/k_1=50$	$k_0/k_1=200$
100	14	7
200	28	14
300	42	21
400	57	28
500	71	35
600	85	42
700	99	49
800	113	57
900	127	64
1000	141	71

3.táblázat: Becsült szélességek

### Részleges visszatöltés alkalmazása

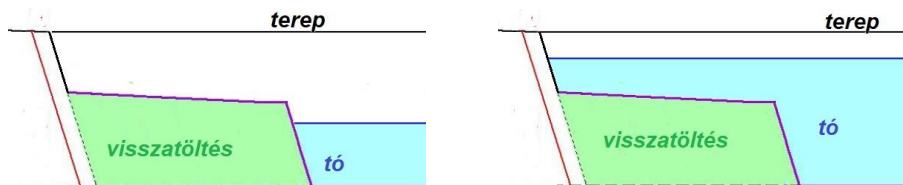
A párolgás az évszakoknak megfelelően változik, de az éven belüli periodicitás mellett a szárazabb és nedvesebb időszakok is előfordulnak, azaz a

bányatavak vízvesztése is változó. Így előfordulhat olyan eset, amikor egy tó vagy tórendszer párolgása általában elfogadható, azonban hosszan tartó szárazabb időszakokban már nem. Így a száraz időszaki hatások miatt lehet szükséges a kitermelés korlátozása. Mindezek mellett a visszatöltéshez felhasználható meddő mennyisége is korlátos, külső forrásból megfelelő anyag beszerzése azonban a korábban is említettek szerint bizonytalan.



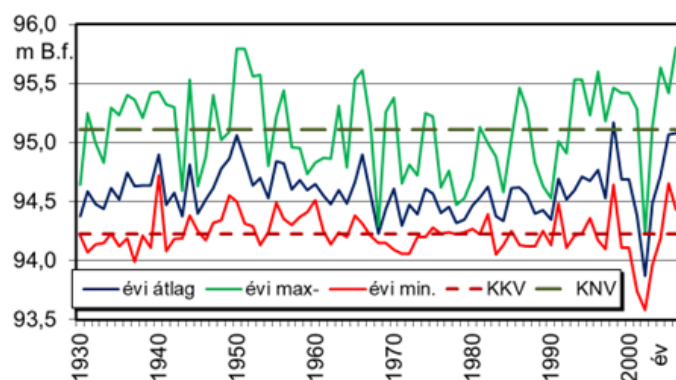
18. ábra. Teljes visszatöltés

Ilyen esetekre alkalmazható a részleges visszatöltés, mely valójában az eredeti terepszintet el nem érő visszatöltés. A továbbiakban teljes visszatöltésnek nevezzük az eredeti terepszintet megközelítő, vagy elérő esetet, melyet a 18. ábra is mutat. Ezzel szemben részleges visszatöltésnek tekintjük azt az esetet, amikor a visszatöltés szintje ennél alacsonyabb, olyan mértékben, hogy szárazabb időszakokban a párolgó tóterület kisebb, mint csapadékosabb időszakban. Mindezek láthatók a 19. ábra két részén. A módszer sekélyebb tavak esetén alkalmazható, ahol az alacsonyabb, részleges visszatöltés miatt kimaradó anyaggal számottevő további terület tölthető fel.



19. ábra. Részleges visszatöltés száraz és csapadékos időszakban

Ezzel a megoldással adott mennyiségű meddő jobban hasznosul a lényegesen kitettebb száraz időszakban, mint teljes feltöltés esetén. Komolyabb megfontolást igényel azonban a részleges visszatöltés szintjének meghatározása. Ha túlzottan magas, adott anyagmennyiséggel kisebb terület tölthető fel, ha túlzottan alacsony, akkor viszont a csökkentett tófelület nehezen és ritkán, túlzottan alacsony talajvízszintnél alakul ki. Egy létesítendő tó szintjét legfeljebb becsülni lehet, a talajvízszintek rendszeres észlelésével viszont lassan akár 100 éves adatsorok is rendelkezésünkre állnak, mely segíthet a feltöltés szintjének meghatározásában. Egy ilyen, egyszerűen meghatározható, könnyen indokolható és elfogadható érték a területre jellemző talajvíz közepes kisvizének (KKV) szintje, mely a vizsgált időszak évi legalacsonyabb talajvízszintjeinek közepes értéke. Erre ad példát a 1137. Dömsöd kút segítségével a 20. ábra, melyen az évi közép-, nagy-, és kisvizek időszora mellett feltüntettük a KKV-t és a közepes nagyvizet (KNV) is.

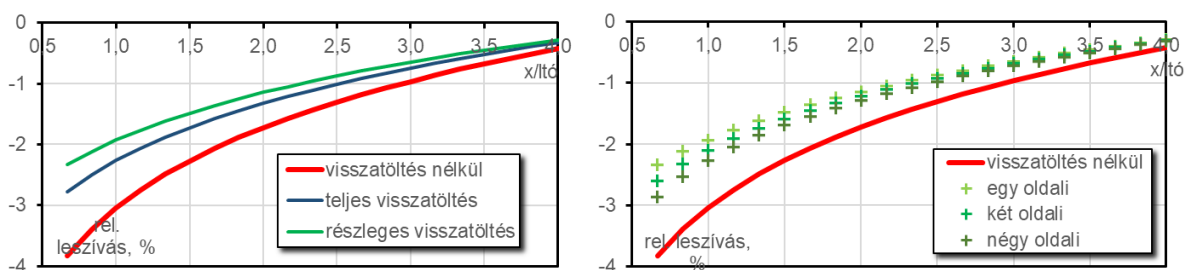


20. ábra. 1137. Dömsöd kút

Jelen pontban egy ilyen, részleges visszatöltés vizsgálatát mutatjuk be. Célunk annak igazolása, hogy részleges visszatöltés esetén a tó környezetében kialakuló talajvízszintek

- száraz időszakban kedvezőbbek a teljes visszatöltés esetén kialakuló szinteknél;
- nedves időszakban nem kedvezőtlenebbek, mint a visszatöltés nélküli helyzet.

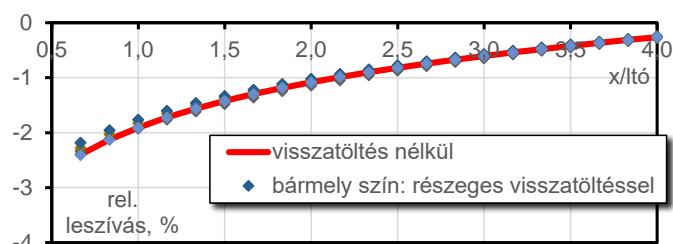
A vizsgálatokhoz a korábbi teszt-tavat alkalmaztuk, de eltérő méretekkel, száraz, és nedves időszakok figyelembe vételével. A rendelkezésre álló meddővel teljes visszatöltés esetén a tó 1/6 része, míg részleges visszatöltéssel az 1/4 része tölthető fel. A visszatöltést a tó egy, kettő és négy oldalán feltételeztük, adott mennyiségű meddővel, mely így változattól függő szélességű feltöltést jelent. Vizsgáltuk a visszatöltést a környező területtel megegyező szivárgási tényezővel, és annál vízáróbb talajjal is. A számított eseteket egyrészt a visszatöltés nélküli, másrészt a teljes visszatöltéshez hasonlítottuk. A részletes vizsgálatok kezdeti fázisában is már előremutató eredmények születtek, melyeket az alábbiakban foglalunk össze. Maguk a vizsgálatok a részleges visszatöltés térségi hatásait elemzik, melyek legfontosabb eredményeit a 21. ábra mutatja. A bal oldali ábra az egy oldali teljes és részleges visszatöltést mutatja, míg a jobb oldali az egy, kettő és négy oldali visszatöltéseket, száraz időszak feltételezésével. Az ábrákon vizsgált szelvények a tópartra merőlegesek a tó középvonalán, a tengelyeken megadott relatív értékek a megegyeznek a korábbi elemzések értékeivel.



21. ábra. Teljes és részleges (bal), és egy- vagy több oldali (jobb) visszatöltés hatása

A bal oldali ábra alapján jól látható, hogy bármely – részleges vagy teljes – visszatöltés egyértelműen kedvező, de jelen vizsgált részleges visszatöltés a teljesnél még jóval kedvezőbb. Ugyanakkor jobb oldali ábra szerint a visszatöltött anyagot célszerű egy oldalra koncentrálni, valamely olyan kitüntetett irányban, amely különös védelmet igényelhet. Ez összhangban áll a korábbi fejezetben tett megállapítással is, mely hangsúlyozza, hogy a visszatöltés nem akadályozhatja a tó vízforgalmát, legfeljebb korlátozhatja.

Ugyanezen teszt-sorozat nedves időszaki vizsgálata igazolta, hogy a részleges visszatöltés esetén, még a vizsgált legmagasabb szivárgási tényezővel sem alakul ki a visszatöltés nélkülinél kedvezőtlenebb helyzet. Ezt igazolja a 22. ábra.



22. ábra. Részleges visszatöltés, nedves időszak

Összességében megállapítható, hogy száraz – akár aszályos - időszakban a talajvízszintek bányató okozta csökkenése jelentősebb, mint nedves – belvizes - időszakban mind abszolút, mind relatív értelemben. Ezen száraz időszak erőteljesebb problémáját a részleges visszatöltés jól kezeli. Bármely visszatöltés egyértelműen csökkenti a talajvíz szintváltozásait, de a részleges visszatöltés hatása az érzékenyebb száraz időszakban lényegesen kedvezőbb, míg a kevésbé érzékeny nedves időszakokban sem kedvezőtlen. Azonban további vizsgálatok szükségesek különösen a lokális hatások feltárására, mint a tóba belépő hozamok, a tószint megváltozása a visszatöltés miatt, a tópart térségének függőleges síkú kétdimenziós modellezése, vagy a részleges visszatöltés elöntésének tartóssága területén.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kavicsbányatavak környezetében a tó hatása lecsökkenő talajvízszintekben mutatkozik meg. Jelen munka a hatás ellensúlyozására alkalmazható módszerekkel foglalkozik. A párolgáscsökkentés számos módszere mellett egy olyan, viszonylag egyszerűen kialakítható, de hatékony megoldást, illetve annak több változatát mutatja be, mellyel a bányató okozta talajvízszint-süllyedés mérsékelhető, víztermelő létesítmények védőtávolsága biztosítható, illetve a kedvezőtlenebb, erőteljesebb párolgású időszakok vízvesztése csökkenthető. Ez a tavak megfelelő részén elhelyezett, megfelelő méretű és kialakítású visszatöltés több tekintetben is képes a tó kedvezőtlen környezeti hatásait csökkenteni.

Bemutattuk a talajvízszintet stabilizáló visszatöltés kialakításának főbb lépéseit. Igazoltuk hatékonyságát mind lokális, mind térségi tekintetben. Víztermelő létesítmények közelében alkalmazva javaslatot tettünk arra, hogy a bányászat által érintett védőidom miként állítható helyre. A kritikussabb, száraz időszakban várható kedvezőtlen hatások mérséklésére kidolgoztuk a részleges visszatöltést, mely éppen ezen időszakban a leghatékonyabb.

Ezen széles alkalmazási lehetőségek mellett is igen nehéz általános ajánlásokat tenni, hiszen minden kavicsbánya és minden környezet, azaz minden probléma eltérő. Ugyanakkor a visszatöltés sem az egyetlen lehetséges megoldás, gyakran egyebekkel kombinálva, mint például egy részleges lefedés, az árnyékolás akár a szél, akár a napsugárzás ellen, vagy megfelelő növényzet telepítése, esetleg dús növényzetű vizes élőhely kialakítása is szóba jöhet. Mindezek szem előtt tartásával kavicsbányatavak talajvízszintet csökkentő hatásai mérsékelhetők, mely nagyban hozzájárulhat ahhoz, hogy mind a bányászat, mind a természet szempontjából elfogadható megoldások alakuljanak ki.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Aminzadeh, Milad - Lehmann, Peter - Or, Dani (2018) Evaporation suppression and energy balance of water reservoirs covered with self-assembling floating elements. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 22, 4015–4032 o.
- Aujeszky Géza - Petz Rudolf - Sajgó Zsolt - Scheuer Gyula (1990): Új partiszűrész vízbazis a Duna bal partján Tassnál. *Hidrológiai Közöny* 70. évf. 3. szám 162 – 172. o.
- Barati Sándor - Béres István - Hoitsy György - Horváth Benő - Szlabóczky Pál - Nagy Katalin - Zámbari Zoltán (2008): A kavicsbányászat és a kavicsbányatavak környezet- és természetvédelmi problémái. *CEEWEB Közép-és Kelet Európai Munkacsoport a Biodiverzitás Megőrzéséért*, Miskolc
- Böhm József – Buócz Zoltán – Csőke Barnabás (1999): A kavicsbányászat környezeti hatásai. *Publ. Univ. of Miskolc Series A Mining* Vol.53. No.1. 103 – 121. o.
- Csoma Rózsa (1995): Talajvíz-áramlási modellek összehasonlító értékelése. Egyetemi doktori értekezés. Budapest
- Csoma Rózsa (2003): Talajvízrekesztő résgát szivárgáshidraulikai vizsgálata. Kézirat. Budapest.
- Csoma Rózsa (2005): Az AEM alkalmazása a talajvízszintet stabilizáló visszatöltés vizsgálatára. *Hidrológiai Közöny* 85.évf. 4. szám. 41 – 48 o.
- Csoma Rózsa (2007): Szabályos és szabálytalan alakú analitikus elemek a talajvízmozgás modellezésére. Ph.D. doktori értekezés, Budapest
- Csoma Rózsa (2009): The Impacts of Gravel Dredging on The Groundwater Levels over a Natural Protection Area Near Budapest. *Proc. of the 33rd IAHR Congress*, Vancouver. 4646 – 4653 o.
- Csoma Rózsa – Wagner Flóra (2021): A talajvízmozgás modellezése külműveléses kavicsbányák esetén. *MHT 2021. évi XXXVIII. (online) Országos Vándorgyűlés*
- Elszafei, Moustafa - Ibrahim, Abdelrahman - Helmy, Amr - Abdallah, Mostafa - Eldeib, Amgad - Badawy, Moustafa – AbdelRazek, Sayed (2021) Study of Massive Floating Solar Panels over Lake Nasser. *Hindawi Journal of Energy*. Vol. 2021, Art. ID 6674091, 17oldal. <https://doi.org/10.1155/2021/6674091>
- Green, J.A. – Pavlish, J.A. – Merrit, R.G. – Leete, J.R. (2005): Hydraulic Impacts of Quarries and Gravel Pits. Minnesota Division of Natural Resources, Division of Water.
- Innotéka. tudomány, innováció. zöldkörnyezet. [www.innoteka.hu](http://www.innoteka.hu)
- Bányató visszatöltéssel a fenntarthatóságért és szokatlan madárvédelem. 2021. december.

([https://www.innoteka.hu/cikk/banyato\\_visszatoltessel\\_a\\_fenntarthatosagert\\_es\\_szokatlan\\_madarvedelem.2423.html](https://www.innoteka.hu/cikk/banyato_visszatoltessel_a_fenntarthatosagert_es_szokatlan_madarvedelem.2423.html))

*Kovács György* (1972): A szivárgás hidraulikája. Akadémiai Kiadó, Budapest

*Landesamt für Umweltschutz (LfU) Baden Württemberg* (2004): Kiesgewinnung und Landschaft. Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaues von Kies und Sand. Karlsruhe

*Mérnöki kézikönyv 1. kötet* (1981) szerk: Palotás L. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

*Oplaznik, Gusztáv* (2003): Kiskunlacháza VI. - kavics összevont bányatelek 12 -13 bányatelek határvonal szakasz É-i oldalán tervezett talajvízrekesztő kőzet résgát kivitelezésének műszaki terve. MÉRING Kft. Budapest

*Rezazadeh, Amir – Akbarzadeh, Pooria – Aminzadeh, Milad* (2020): The effect of floating balls density on evaporation suppression of water reservoirs in the presence of surface flows. *Journal of Hydrology*, Vol. 591, 11 oldal

*Tompa László* (1982): A kavicsbányászat története Magyarországon. *Földtani Kutatás* XXV. évf. 2. sz. 69 - 76. o.

*Varga István - Csoma Rózsa* (1995): Környezeti áramlástan I. Felszíni és felszín alatti vízterek. Tanszéki sokszorosítású előadási jegyzet. Budapesti Műszaki Egyetem Vízépítési Tanszék

*Waheeh Youssef, Yara – Khodzinskaya, Anna* (2019): A Review of Evaporation Reduction Methods from Water Surfaces. *E3S Web of Conferences* Vol. 97, No.05044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705044>

*Wang, Herbert F. - Anderson, Mary. P* (1982): Introduction to Groundwater Flow Modelling. Finite Difference and Finite Element Methods. W.H.Freeman and Company, San Francisco, 1982.