

## Kavicsbányászat és vízbázisvédelem érdekeinek összehangolása megfelelő védőtöltés kialakításával

**Dr. Csoma Rózsa** egyetemi docens  
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
csoma.rozsa@emk.bme.hu

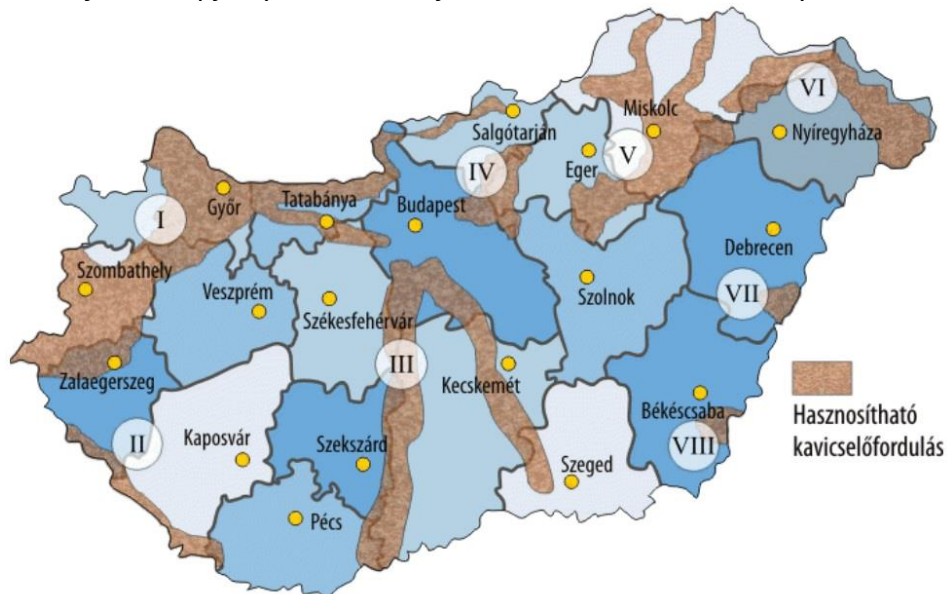
**Wagner Flóra** doktorandusz  
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
wagner.flora@emk.bme.hu

**Kivonat:** Kavicsbányatavak felszínének párolgása általában a talajvízből pótlódik, mely a tó környezetében lecsökkenő talajvízszintet és megnövekvő áramlást eredményez. Ez a hatás elérheti vízbázisok megállapított védőterületeit is. A védőidom határvonalait általában a termelő létesítményt elérő víz tartózkodási idejének segítségével jelöljük ki. Ha víztermelő létesítmény közelében a fedett felületről nyílt víz, azaz bányató lesz, ez a tartózkodási idő nyilván lecsökken. Ennek helyreállítására azonban megfelelően kialakított visszatöltés alkalmazható. Ehhez általában rendelkezésre is áll egyéb célokra fel nem használható meddő, mely a haszonanyagnál többnyire finomabb szemcséjű. Korábban bemutattunk egy egyszerű eljárást a visszatöltés jellemzőinek becslésére, mely azonban csak a termelő kutaktól távolabb, párhuzamosnak tekinthető áramlás esetén alkalmazható. Jelen munkában a talajvízhidraulikában ritkábban alkalmazott virtuális kutak módszerének segítségével mutatunk be eljárást, mellyel pontszerű vízkivételek környezetében is megfelelő és megbízható védőtöltés alakítható ki a bányászat miatt lecsökkent tartózkodási idő helyreállítására.

**Kulcsszavak:** kavicsbányászat, visszatöltés, vízbázis, tartózkodási vagy elérési idő, védőidom, virtuális kutak

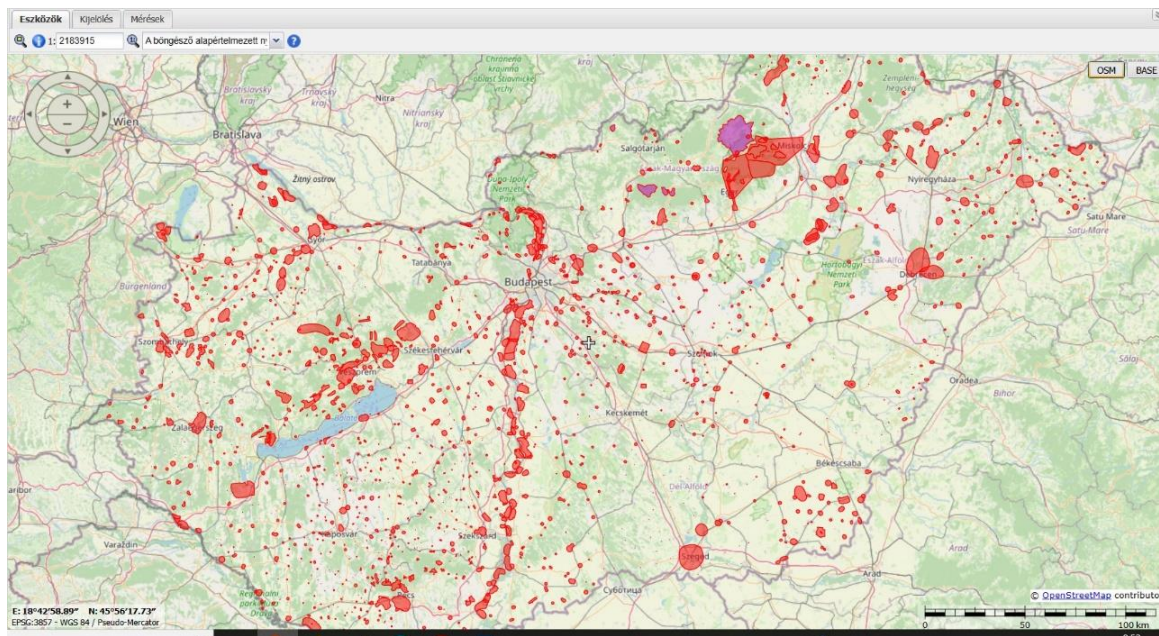
### BEVEZETÉS

Magyarországon a mintegy 100 éves múltra visszatekintő ipari léptékű kavicskitermelés igen gyakran kötődik vízfolyásokhoz vagy közvetlen környezetükhöz. Ezt szemlélteti *1. ábra*, mely az *Igrici-Kavics Kft.* honlapja nyomán mutatja a hazai főbb kavicslelőhelyeket.



*1. ábra: Magyarországi kavicslelőhelyek az Igrici-Kavics Kft. nyomán*

Ugyanakkor nagyobb vízfolyásaink mentén több helyen működnek (pl. Altnóder et al, 1998, Aujeszyk et al, 1990, Csiszár, 2020), vagy terveznek parti szűrésű vízbázisokat is. Ezt szemlélteti az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR) térképszervere nyomán a 2. ábra, mely az üzemelő és távlati vízbázisok megállapított védőterületeit mutatja. Bár az ábra külön nem jelöli, jól azonosíthatók a folyóparti hordaléklerakódást szűrőként használó parti szűrésű vízbázisok, melyek mennyisége kiemelkedő.



2. ábra: A hazai vízbázisok védőterületei az OKIR térképszervere nyomán

Összevetve a két ábrát, azaz a kavics előfordulások és a parti szűrésű vízbázisok védőidomai elhelyezkedését, egyértelmű, hogy a kétféle tevékenység célterületei igen jelentős mértékben átfedésben vannak, mely gyakran konfliktushelyzetet teremthet.

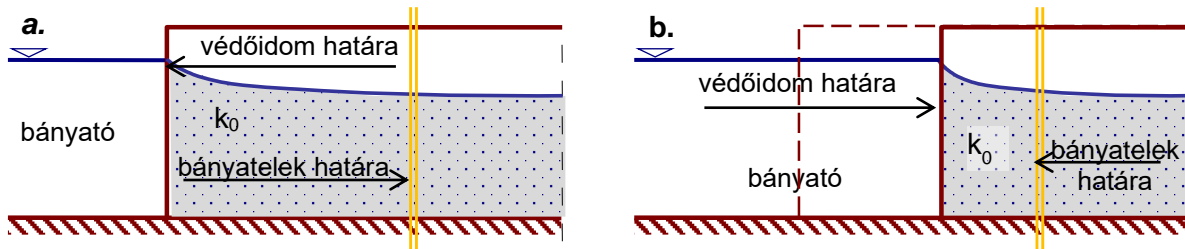
Vízbázisok megállapított védőidomai a 219/2004. Korm. rendelet alapján fokozottan érzékeny területnek minősülnek. A 123/1997. Korm. rendelet szerint a hidrogeológiai B jelű védőidomon belül már nem kizárt a bányászat, azonban a hatásai részletesen vizsgálandók. Így a rendelet 5. sz. melléklete szerint „Új vagy meglévő létesítménynél, tevékenységnél a környezeti hatásvizsgálat, illetve a környezetvédelmi felülvizsgálat, illetve az ezeknek megfelelő tartalmú egyedi kockázatértékelési vizsgálat eredményétől függően megengedhető”. Tehát a bánya és a vízbázis megfelelő együttműködése, együttélése érdekében fontos az érintett felek közötti kompromisszum. Jelen munka célja ezen kompromisszum megteremtéséhez egy lehetséges eszköz, segítség bemutatása.

## A VÉDŐIDOM ÉS A VISSZATÖLTÉS

A hidrogeológiai védőterületek vagy védőidomok meghatározása igen leegyszerűsítve azon alapul, hogy a felszíni víz a felszín alá kerülve milyen elérési vagy tartózkodási idővel jut el a víztermelő létesítményig. Jelen esetben a fenti jogszabály nyomán első sorban a hidrogeológiai B védőidommal foglalkozunk, mely esetén az elérési idő 50 év.

Abban az esetben, ha a bányatelek határa megállapított védőterületre esik, a bányászat miatt

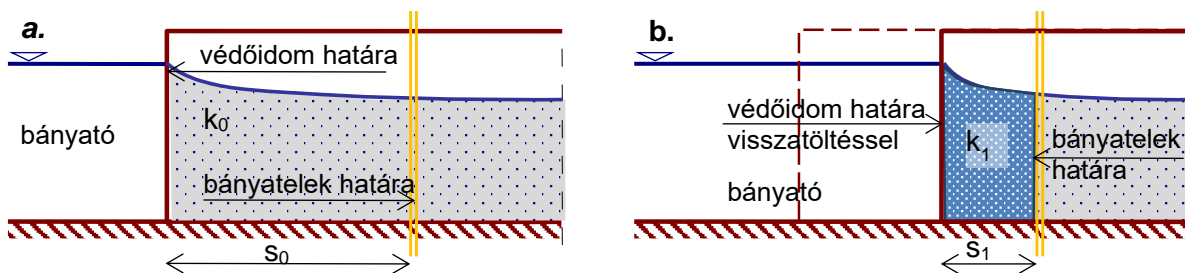
ezen a területen új szabad vízfelület alakulna ki. Ez viszont a védőidom méretét csökkenti, mivel tényleges határát az új tópart felé módosítja, megszüntetve a tórészen belüli védelmet. Ezzel valójában az elérési idő lecsökken. Ezt szemlélteti a 3. ábra, melynek a./ része a kitermelés előtti állapotot mutatja, az előírt elérési idővel, míg a b./ egy tórész kitermelésével a lecsökkent védelmet a lecsökkent elérési idővel. A bányató lehetséges határát a továbbiakban függőleges lezárással a bányatelek határával megegyezőnek tekintjük, a pillérben maradó anyagot, az esetleges sáncolás helyét jelen vizsgálatoknál figyelmen kívül hagyjuk.



3. ábra: Védőidom a bányatelken belül a./ kitermelés előtt b./ kitermeléssel.

Az elérési idő azonban a megfelelő helyen, a megfelelő méretekkkel kialakított visszatöltés segítségével visszaállítható. A kisebb vízvezető képességű visszatöltés valójában megnövekedő hidraulikai ellenállást jelent, mellyel adott vízfelszín esés mellett lecsökken a vízmozgás sebessége. A kisebb sebesség pedig nagyobb elérési időt eredményez, mellyel a vízbázis biztonsága helyreállítható, esetleg még növelhető is.

Ezen helyreállítás lehetőségét szemlélteti az 4. ábra, ahol az előzőekhez hasonlóan a./ rész jelzi azt az  $s_0$  szakaszt, ahol a vízmű védőterülete a bányatelket érinti. Amennyiben ezen rész kitermelésére sor kerül, olyan  $s_1$  szélességű, de kisebb vízvezető képességű visszatöltéssel lehet védeni a vízbázist, mellyel az eredeti biztonság megmarad, azaz az elérési idő helyreállítható. Ezt mutatja az 4. ábra b./ része.



4. ábra: Védőidom bányatelken belül a./ visszatöltés nélkül b./ visszatöltéssel.

A visszatöltés anyaga általában a fedőréteg nem humuszos része. Ez a meddő, mely haszonanyagként nem minden esetben értékesíthető. Vízvezető képessége a haszonanyagnál - de gyakran a homoknál is - csekélyebb, finomabb frakciójú, általában iszap - agyag. A visszatöltés anyagának és kialakításának részletesebb leírását korábbi munkánkban (Csoma-Wagner 2022.) megadtuk. Visszatöltés alkalmazása esetén a leggyakoribb kérdés a rendelkezésre álló anyag szivárgási tényezője alapján a mű méretének - jellemzően szélességének - becslése, mellyel valamely elfogadható állapot elérhető, így például a lecsökkent tartózkodási idő is helyreállítható.

A korábbiakban (Csoma-Wagner 2022.) többféle célú, többféle kialakítású visszatöltést elemeztünk, megadva a választ a fenti kérdésre is. Ezek közül az egyik módszer víztermelő létesítménytől távolabb jól alkalmazható. Az alkalmazás korlátja azonban az, hogy a módszer a kút hatását a múltól távolabb rövid szakaszon párhuzamos áramlással közelíti.

Ezzel a közelítő módszerrel a visszatöltés szükséges szélessége Darcy-törvény és az elérési idő definíciója segítségével viszonylag egyszerűen meghatározható. Adott talajnemek (eredeti:  $k_0$ , visszatöltött:  $k_1$ ) esetén a visszatöltés 4. ábra szerinti  $s_1$  mérete így:  $s_1 = s_0 \sqrt{\frac{k_1}{k_0}}$  lesz. A részletes levezetést mellőzzük, az korábbi munkánkban megtalálható (Csoma-Wagner 2022.).

## VISSZATÖLTÉS MÉRETE KUTAK KÖRNYEZETÉBEN

### A fejezet célja

A korábban részletesen bemutatott egyszerű összefüggés párhuzamos áramlás feltételezése mellett alkalmazható. Ez egy kúttól vagy kútcsoporttól távolabb még elfogadható közelítés lehet, kút környezetében azonban jellemzően sugár irányú áramlás alakul ki, mely figyelmen kívül hagyása komoly bizonytalanságokat okozhat.

A kutakkal kapcsolatos összefüggések ezen túl homogén talajt feltételeznek, azaz a szivárgási tényező állandó. Ezzel viszont nem lehet a kút vízgyűjtő területén egy eltérő szivárgási tényezőjű visszatöltést figyelembe venni. Az ellentmondások azonban feloldhatók a virtuális kutak módszerének segítségével, ahol bizonyos jelenségeket egy vagy több fiktív kúttal helyettesítünk. A módszer leggyakoribb alkalmazási módja nyílt vízfolyás helyettesítése megfelelő helyen elhelyezett, megfelelő hozamú virtuális vízbetápláló kúttal, vagy vízzáró határ hatásának leírása virtuális víztermelő kúttal.

A következőkben röviden bemutatjuk a hazánkban ritkábban használt virtuális kutak módszerének alapjait, megadva a két fenti alapeset legfőbb jellemzőit, majd a kút vízgyűjtőjét egyenes vonalban kettéosztó visszatöltés figyelembe vételét részletezzük. Az így kapott összefüggéseket egy bányatelek közelében működő magányos kút vizsgálatára alkalmazzuk, bemutatva az általánosítás lehetőségeit is.

### A virtuális kutak módszerének alapjai

Nehéz meghatározni, hogy a virtuális kutak módszere mikor alakult ki, illetve kinek a nevéhez kötődik. Nagyjából az 1960-as évek óta számos kúthidraulikával vagy azzal is foglalkozó szakkönyv említi, különösen az angol nyelvterületen. Angol elnevezése „method of images” (TNO, 1964), míg a német irodalom inkább a „Spiegelungsverfahren” (tükrözéses eljárás, Busch-Luckner, 1972) megnevezést alkalmazza. Jelen pontban a módszer két, fent is említett alapesetének rövid összefoglalását adjuk meg, mellőzve a részletes levezetéseket.

A kutakkal kapcsolatos alapösszefüggések a vízvezető réteget végtelen kiterjedésűnek tekintik. Ez a közelítés azonban számos esetben nem alkalmazható, mivel az áramképet a közelben húzódó valamely fizikai határ egyértelműen befolyásolja. Ezen fizikai határ alapesetben lehet vízvezető és vízzáró, melyek kezeléséhez a virtuális kutak módszere alkalmazható. Ennek lényege abban áll, hogy az egyenes határt, mely a vízvezető réteget ketté osztja, egyedi kút esetén egy kúttal, csoport esetén az eredetivel megegyező számú kútcsoporttal helyettesítjük.



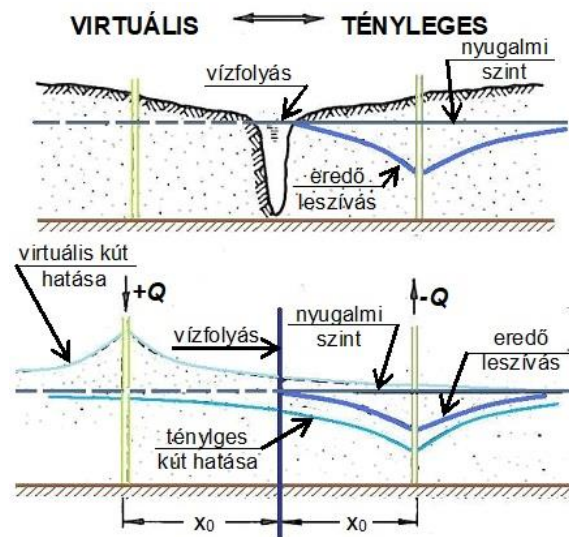
Ezek a virtuális kutak a határ átellenbe eső oldalán helyezkednek el, a határtól éppen olyan távolságra, mint maga a vizsgált kút (vagy kutak), mely valójában egyfajta tükrözés. Innen ered a módszer német elnevezése is. A virtuális kút hozamának nagysága megegyezik a tényleges kút hozamával. Azt azonban, hogy termelő vagy betápláló kút lesz, azaz az előjelét a határ jellege adja meg.

Amennyiben a határt ilyen módon egy vagy több virtuális kúttal helyettesítettük, a szuperpozíció elve azonos módon alkalmazható az összes - valós és képzetes - kútra. A módszer mind szabad felszínű, mind nyomás alatti vízvezető rétegekre alkalmazható időben állandó és változó vízmozgás esetére is. Mindezekhez a vizsgált rendszer az alábbiaknak kell eleget tegyen:

- a kutak üzembe lépését megelőzően a talajvíz felszíne vízszintes;
- a határ függőleges irányban a teljes vízvezető réteget harántolva a feket eléri;
- a kútsugár számottevően kisebb a kút és a határ közötti távolságnál;
- a kút távolhatása számottevően nagyobb a kút és a határ közötti távolságnál, azaz a határ a kút vízgyűjtőjére esik.

Ha a kút közelében vízfolyás húzódik (lásd az 5. ábra felső része), a kút a kiemelt víz egy részét a folyóból kapja. A folyó alkotta vízvezető határt helyettesítjük egy olyan feltételezett – virtuális – térrel, benne egy kúttal, melynek

- hozama a tényleges kút hozamával egyezik meg, előjele azonban ellentétes;
- távolhatása megegyezik a tényleges kút távolhatásával;
- a tényleges és a virtuális kutak a határ ellentétes oldalán, határtól azonos  $x_0$  távolságra helyezkednek el.

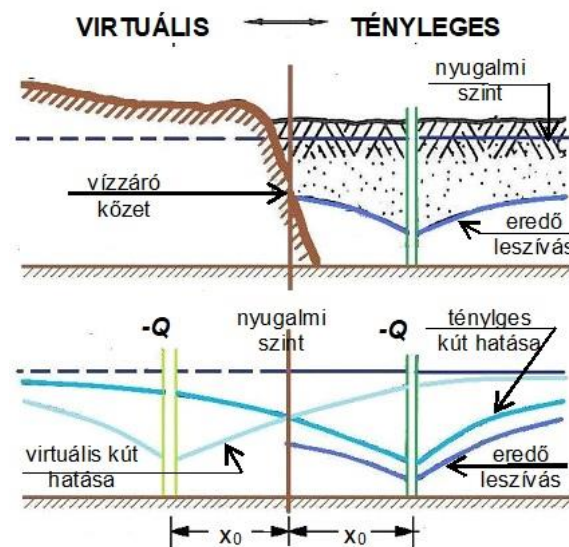


5. ábra: Nyílt határ közelítése

Maga a teljes áramkép a hidromechanika egyik ismert összetett áramképe, mely az azonos erősségű forrás (+Q) és nyelő (-Q) szuperpozíciójából adódik. A folyó maga ekvipotenciális vonal, a rá merőleges áramvonalak mutatják a vízmozgást a kút irányába. A tényleges kút leszívása összeadódik a virtuális kút szintemelkedésével, kialakítva az eredő leszívást. Ezt mutatja az 5. ábra alsó része.

Ha a kút közelében valamely vízzáró képződmény található (lásd 6. ábra felső része), a kút ebből az irányból utánpótlást nem kaphat. Ha a határ vízvezető képessége elhanyagolható, rajta keresztül áramlás nem lehetséges. Ezt helyettesíti egy olyan virtuális tér és kút, melynek

- hozama a tényleges kút hozamával előjelhelyesen megegyezik;



6. ábra: Vízzáró határ közelítése

- távolhatása megegyezik a tényleges kút távolhatásával;
- a tényleges és a virtuális kutak a határ ellentétes oldalán, határtól azonos  $x_0$  távolságra helyezkednek el.

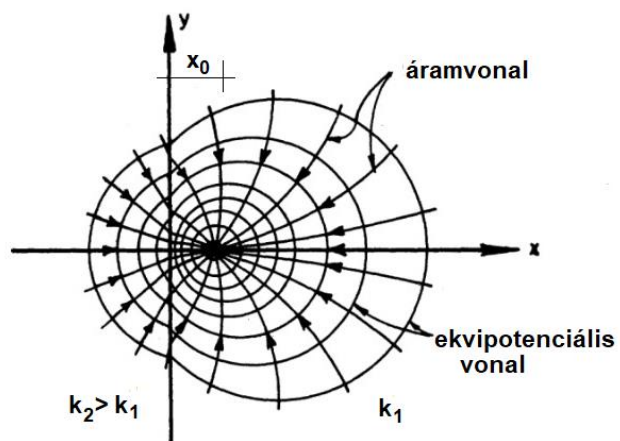
Maga az áramkép a hidromechanika egy másik jólismert összetett áramképe, mely az azonos erősségű nyelő (-Q) szuperpozíciójából adódik. A tényleges és virtuális kutak közötti felező egyenes itt áramvonal, melyen keresztül vízmozgás nem lehetséges. A tényleges és virtuális kutak leszívása összeadódik, melyet a 6. ábra alsó része mutat.

A két fenti alapeset részletes matematikai leírását nem adjuk meg, az bőségesen megtalálható a hidromechanikai (pl. *Németh, 1963, Bogárdi, 1979*) vagy talajvízhidraulikai (pl. *Bear, 1972* és *1979, Busch-Luckner, 1972*) szakirodalomban.

Szintén a szakirodalom tartalmazza a módszer alkalmazását nemcsak egyenes, hanem tört vonalú vagy egyéb határok esetére is. Így megfelelően elhelyezett virtuális kutak, kútcsoportok segítségével sarkok, két oldalán lehatárolt sáv, három vagy négy oldalán zárt téglalap, kör alakú szigeten excentrikusan elhelyezett kút, stb. is vizsgálható. Vizsgálható továbbá a szivárgási tényező értékének egyenes vonal menti megváltozása is, mely a kút vízgyűjtőjét kettéosztja. Ezen utóbbi esetet azonban részletesen bemutatjuk.

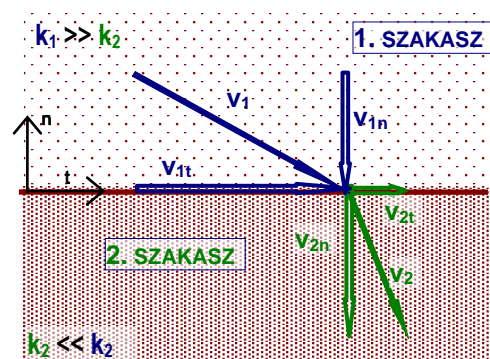
### A szivárgási tényező lokális megváltozásának leírása virtuális kúttal

Az előző pontban megadottak alapján szivárgási tényező lokális megváltozása is vizsgálható virtuális kúttal, melyre Jacob Bear ad megoldást. (*Bear, 1979*). Ezt mutatja a 7. ábra, ahol az  $y$  tengely bal oldalán nagyobb, míg a jobb oldalon, a kút környezetében kisebb a  $k$  szivárgási tényező. Ha a 7. ábra  $y$  tengelyét a bányatelek határára helyezzük, és a jobb oldali rész lesz a vízvezetőbb, a bal pedig vízáróbb, ezen bal oldali rész lehet az a visszatöltés, mely a víz-bázis védelmét megadja.



7. ábra: Kút áramképe változó szivárgási tényezőjű környezetben Bear (1979) szerint

Az áramkép jellemzőinek, mint a sebességek vagy a talajvízszintek meghatározásához tekintsük először a két szakasz határát, mely jelen esetben az egyszerűség érdekében az  $y$  tengely. Egy ilyen szakaszhatárt mutat a 8. ábra, ahol a két, eltérő szivárgási tényezőjű térrész – továbbiakban szakasz -  $v$  sebességvektorait eltérő színek jelölik. Az ábra lokális, a határral párhuzamos (tangenciális,  $t$ ) és arra merőleges (normális,  $n$ ) koordinátarendszert alkalmaz, mellyel alsó indexben a kétoldali sebességvektorok komponenseit is jelöli. A határon a folytonosság biztosítandó, azaz



8. ábra: Sebesség szakaszhatáron

1. a talajvízszintek vagy nyomásszintek ( $h$ ), illetve

azok megváltozása, azaz az  $s$  leszívás a határ két oldalán azonos kell legyen,  $h_1 = h_2$  illetve  $s_1 = s_2$ ;

2. mivel az 1. jelű szakaszból kilépő víz maradéktalanul átlép a 2. jelű szakaszba, ezért egységni területre vonatkoztatva a folytonosság miatt a két normális irányú sebességkomponens meg kell egyezzen egymással,  $v_{1n} = v_{2n}$ ;

3. a nyomásmagasság szakaszhatárral párhuzamos  $\frac{\partial h}{\partial t}$  esése a szakaszhatár mindkét oldalán azonos kell legyen, melyből a Darcy-törvény segítségével

$$v_{1t} = -k_1 \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{és} \quad v_{2t} = -k_2 \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{melyből} \quad \frac{v_{1t}}{k_1} = \frac{v_{2t}}{k_2}$$

A sebesség irányának és nagyságának megváltozása tehát a két szakasz szivárgási együtthatóinak arányától függ. Figyelembe véve a  $k_1$  és  $k_2$  szivárgási együtthatók viszonyát, megállapítható, hogy például nagy vízvezető képességű szakaszból a határral közel párhuzamos sebességgel mozgó víz áramlási iránya kisebb vízvezető képességű szakaszba lépve inkább a merőlegeshez közelebb lesz.

Ezután tekintsük meg újra a 7. ábra szerinti elrendezést! A tényleges kút az  $x$  tengely mentén, az  $(x_0, y_0=0)$  helyen működik adott  $Q$  hozammal. Helyezzünk el egy virtuális kút az  $x$  tengelyen, az  $y$  tengelytől balra, szintén  $x_0$  távolságra,  $C \cdot Q$  hozammal. Ezen két kút okozza a jobb oldali ( $x > 0$ ) részen a talajvíz nyugalmi szinttől való eltérését –  $s$  leszívását – az alábbiak szerint:

$$s_1(x, y) = \frac{Q}{4\pi k_1 H} \ln \frac{R^2}{(x - x_0)^2 + y^2} + \frac{C \cdot Q}{4\pi k_1 H} \ln \frac{R^2}{(x + x_0)^2 + y^2}$$

ahol a korábbi jelöléseken túl

- $Q, \text{ m}^3/\text{d}$  : a vizsgált kút hozama,
- $H, \text{ m}$  : a vízvezető réteg vastagsága,
- $k, \text{ m/d}$  : a szivárgási tényező,
- $R, \text{ m}$  : a kút távolhatása,
- $x, y, \text{ m}$  : a két vízszintes koordináta.

Az összefüggés már figyelembe veszi azt, hogy a kút az  $x$  tengelyen van, azaz  $y_0 = 0$ , első tagja a tényleges, a második a virtuális kút hatását adja meg. Ugyanitt a két sebességkomponens következő lesz:

$$v_{1x}(x, y) = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + y^2} + \frac{C \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{x + x_0}{(x + x_0)^2 + y^2}$$

$$v_{1y}(x, y) = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{y}{(x - x_0)^2 + y^2} + \frac{C \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{y}{(x + x_0)^2 + y^2}$$

A bal oldalon ( $x < 0$ ) megjelenő hatás olyan, mintha a más szivárgási tényező miatt más hozamú valós kút működne. Ez valójában a védőidom bányatelekre eső része, ahol az  $s$  leszívás a következő:

$$s_2(x, y) = \frac{B \cdot Q}{4\pi k_2 H} \ln \frac{R^2}{(x - x_0)^2 + y^2}$$

A bal oldali sebességkomponensek az alábbiak lesznek:

$$v_{2x}(x, y) = \frac{B \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{x - x_0}{(x - x_0)^2 + y^2}$$

$$v_{2y}(x, y) = \frac{B \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{y}{(x - x_0)^2 + y^2}$$

A  $B$  és  $C$  állandó értékeit a határvonal menti, előzőekben megadott folytonosság alapján lehet meghatározni. Mivel csak két paraméter ( $B$  és  $C$ ) ismeretlen, a határ mentén - mely jelen esetben az  $x = 0$  helyen a teljes  $y$  tengely - a korábban megadott három feltétel közül elegendő kettő figyelembe vétele, például:

1.  $s_1(x=0, y) = s_2(x=0, y)$ ,
2.  $v_{1x}(x=0, y) = v_{2x}(x=0, y)$ ,

Fenti feltételek segítségével megkapható a két állandó, melyek a következők:

$$B = \frac{2N}{1 + N} \quad \text{és} \quad C = \frac{1 - N}{1 + N} \quad \text{ahol} \quad N = \frac{k_2}{k_1}$$

Az így kapott két paraméterrel meghatározott, a határral párhuzamos sebességkomponensek eleget tesznek a harmadik a feltételnek mely szerint a határvonalon (itt az  $x = 0$  helyen)

$$\frac{v_{1y}(x = 0, y)}{k_1} = \frac{v_{2y}(x = 0, y)}{k_2}$$

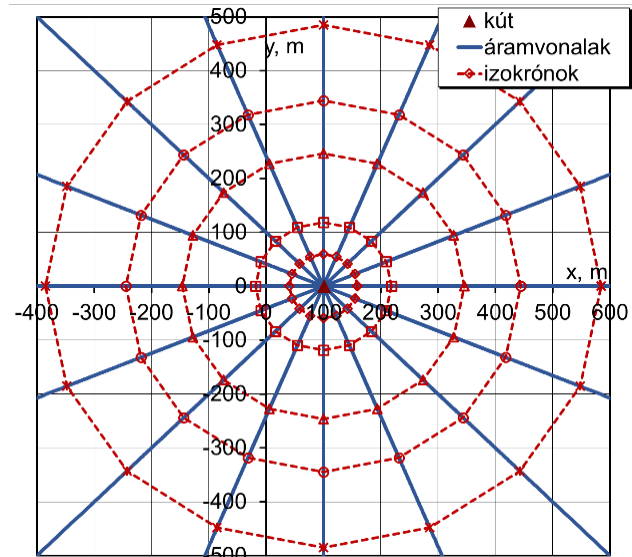
A fentiek alapján a 7. ábra szerinti – tényleges és virtuális kutak által alkotott - áramkép alkalmas lehet az elérési idő helyreállítására létesítendő visszatöltés vizsgálatára.

## VISSZATÖLTÉS KIALAKÍTÁSA KUTAK KÖZELÉBEN

### Áramkép, izokrón visszatöltés nélkül

Amennyiben az  $y$  tengelytől jobbra, az  $x_0$  helyen elhelyezett, adott hozamú kút áramképét megszerkesztjük, a 9. ábra szerinti képet kapjuk.

Ez esetben nem a hidromechanikából jól ismert módon, az áramfüggvény általános egyenlete alapján készítettük el a kék színű áramvonalakat, hanem közelítő módon, a kút palástjáról áramlásiránnyal ellentétesen elindított vízrészecskék nyomkövetésével. Bár itt a hagyományos áramképszerkesztés még alkalmazható lett volna, azonban a következő pontban, visszatöltéssel már lényegesen nehezebb. Ezért alkalmaztuk a közelítő, nyomkövetéses módszert. További előnye az időlépésenként elmozdulásokat számító módszernek az, hogy az időlépések összegzésével az adott áramvonal mentén az elérési vagy tartózkodási idő is rendelkezésünkre áll.



9. ábra: Kút áramképe homogén környezetben

A 9. ábra kék folytonos vonalai a sebességvektorral párhuzamos áramvonalak, a bordó szaggatottak azonban nem a szintvonalak (ekvipotenciális vonalak), hanem az izokrónok. Ezek azon



pontok összességét jelentik, melyből a víz egy adott időtartam alatt eléri a kút, azaz az azonos tartózkodási vagy elérési idejű görbék. Magányos kút esetén az izokrónok ugyanúgy koncentrikus köröket alkotnak, mint a szintvonalak, a kúttól mért  $r$  távolságuk a kútképlet és a tartózkodási idő definíciója alapján elméleti úton is meghatározható:

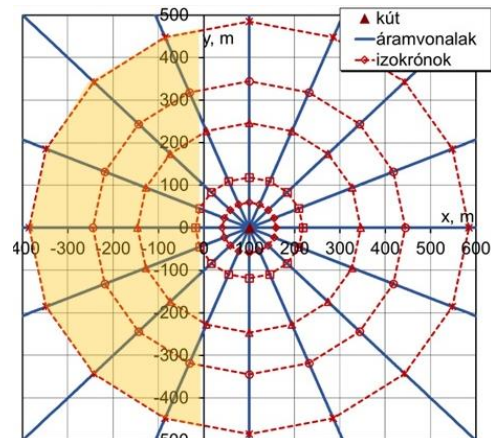
$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot T}{\pi \cdot n \cdot H}}$$

ahol a korábbiakon túl

$T, d$  : a tartózkodási vagy elérési idő,  
 $n, -$  : a porozitás.

Egy víztermelő létesítmény adott szintű védőterületét éppen az itt megadott izokrónok alapján határozzák meg, így a hidrológiai B védőidomot az 50 éves elérési időhöz jelölik ki.

Ha a 9. ábra szerint a bányatelek határa az  $y$  tengely, a legszélső izokrón pedig a kút védőidomának vonala, látható, hogy a bányászat egy tekintélyes méretű, kör-szeletnyi területen kerülhet konfliktusba a vízbázisvédelem érdekeivel. Ezt szemlélteti a 10. ábra színezett területe.

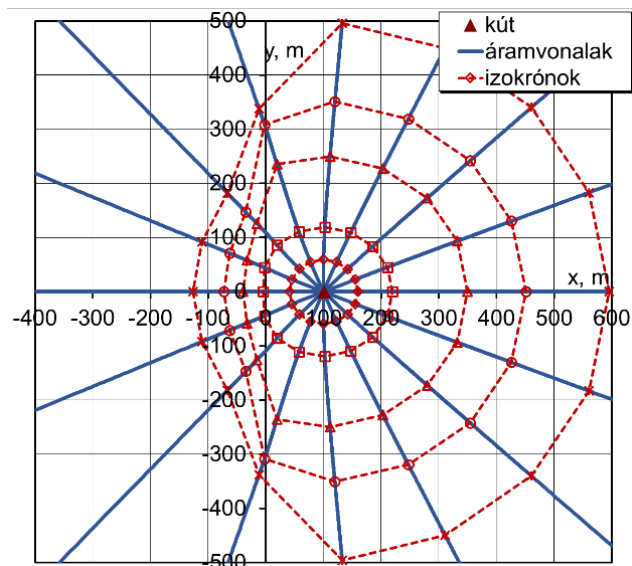


10. ábra: Védőidom a bányatelken

A konfliktushelyzet feloldására alkalmazható a kitermelés utáni azonnali visszatöltés, melyet a következő pont taglal.

### Áramkép, izokrón visszatöltéssel

Ha a bányatelek vízbázis felé eső részén ( $x < 0$ ) az eredeti  $k_1$  vízvezető képességű réteget vízzáróbb ( $k_2 < k_1$ ) meddővel helyettesítjük, a fenti, Bear-féle módszer nyomán az áramkép változatlan kúthozam esetén is jelentősen megváltozik. Ezt mutatja  $k_2/k_1 = 0,1$  arányra a 11. ábra, mely továbbra is a fent megadott nyomkövetéssel készült.

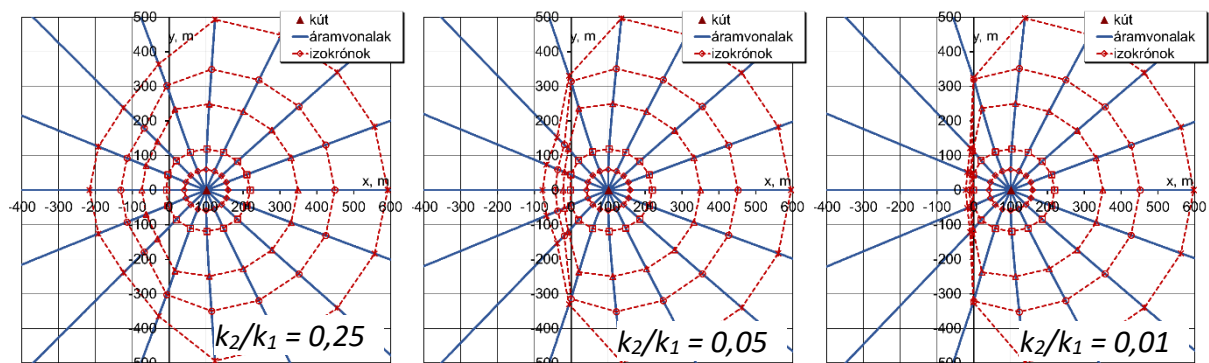


11. ábra: Áramvonalak és izokrónok,  $k_2/k_1 = 0,1$

A kisebb vízvezető képességű bal oldali rész – a korábbi, közelítő esethez hasonlóan – megnövekedő hidraulikai ellenállást jelent, mellyel lecsökken a vízmozgás sebessége és megnövekszik, azaz helyreáll a tartózkodási idő. Tehát az ugyanazon tartózkodási időt jelző izokrón vonalak közelebb kerülnek a kúthoz, az áramkép torzul.

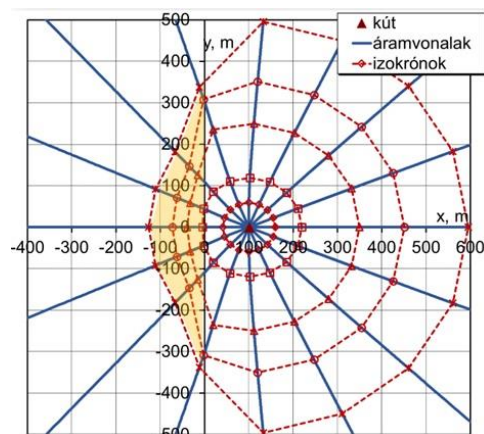
Főként az  $x < 0$  oldalon látványos a változás, melyet a kisebb szivárgási tényező, azaz a visszatöltés okoz. A jellemzően sugár irányú vízmozgás megmarad, a korábban egyenes áramvonalak azonban gömbülnek, bár a változás az izokrónokhoz képest lényegesen kisebb mértékű.

Adott elrendezés és hozam esetén az izokrónok torzulását a szivárgási tényezők aránya határozza meg. Megtartva a korábbi méreteket, a 11. ábra  $k_2/k_1 = 0,1$  aránya mellett tájékoztatásul megszerkesztettük az adott elrendezésre a  $k_2/k_1 = 0,25$ ,  $k_2/k_1 = 0,05$  és  $k_2/k_1 = 0,01$  arányokhoz az áramképet, melyet a 12. ábra mutat. Az ábrán jól látható, hogy a torzulás mértéke igen érzékeny a szivárgási tényezőre.



12. ábra: Áramvonalak és izokrónok,  $k_2/k_1 = 0,25$ ,  $k_2/k_1 = 0,05$  és  $k_2/k_1 = 0,01$

Ha a 11. ábra szerint a bányatelek határa továbbra is az  $y$  tengely, a legszélső izokrón pedig a kút védőidomának visszatöltéssel módosított vonala, a bányatelek területére eső védőidom-rész a 10. ábra körszeletének töredéke lesz. Ezt szemlélteti a 13. ábra, az előzőekhez hasonlóan színezett területtel.



13. ábra: A védőidom torzulása

A színezett terület a bányatelek határa mentén tehát kijelöli a visszatöltés területét is. Ilyen esetben azonban célszerű a határ teljes hossza mentén a legnagyobb igényelt szélességű visszatöltés kialakítása. Ezen maximális méret jelen esetben az  $x$  tengelyen metsződik ki.

### A módszer általánosítása

Az elméleti háttér tisztázása után célszerű a probléma általánosítása. Ehhez tekintsük a 14. ábra vázlatát, ahol a kút a bányatelektől  $x_0$  távolságra van, védőidoma pedig  $x_T$  távolságra érinti a bányatelket. Ezen utóbbi távolságon szeretnénk csökkenteni úgy, hogy a vízbázis védelme közben ne sérüljön.

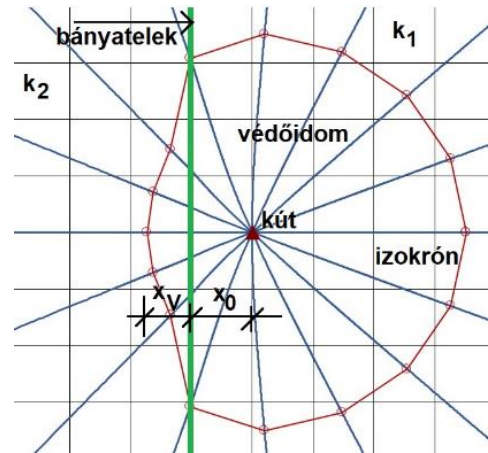


14. ábra: Távolságok visszatöltés nélkül

A védőidom méretének csökkentéséhez a tartózkodási idő fenntartása mellett a 11. ábra szerinti számítást kell elvégezzük a visszatöltés többféle  $k_2$  szivárgási tényezőjével, a kút eltérő  $Q$  hozamaival és  $x_0$  elhelyezkedésével, és igény esetén eltérő tartózkodási idővel is.

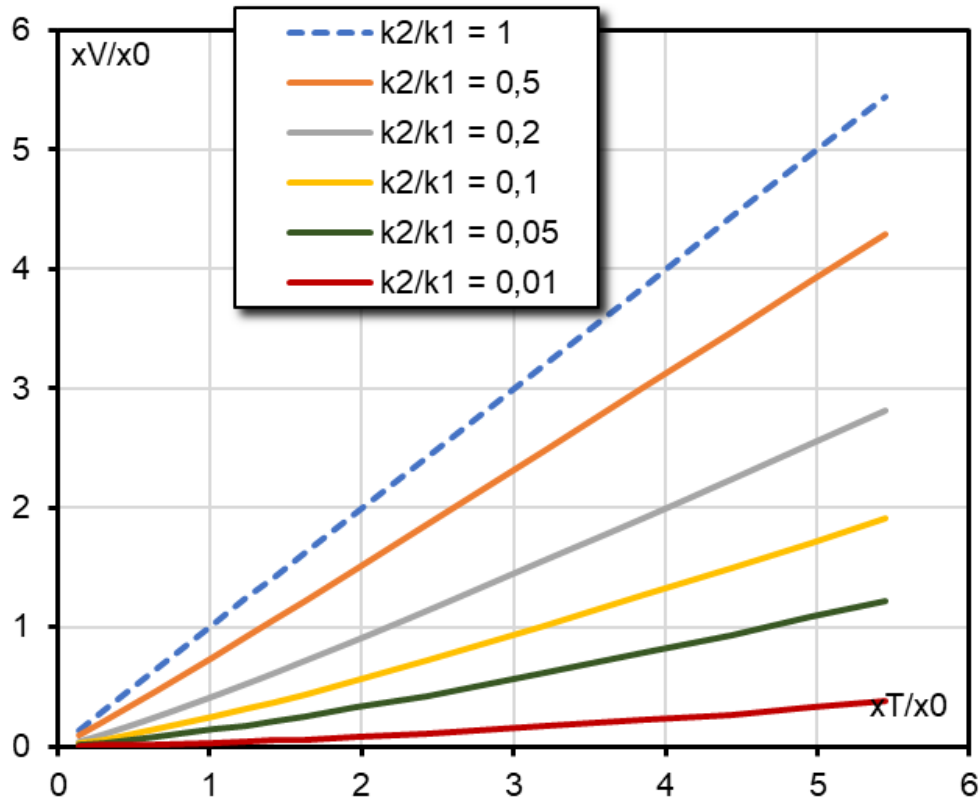
Eredményül minden egyes esetben megkaphatjuk a visszatöltés igényelt  $x_V$  szélességét ahhoz, hogy a megadott tartózkodási idő fenntartható legyen. Ennek egy lehetséges esetét mutatja a 15. ábra.

Fentiekhez egy adott tartózkodási idő (pl. 50 év) esetén is viszonylag nagy tömegű, de valójában egyszerű számítás elvégzése szükséges. Az általánosítás viszont fajlagos mennyiségek figyelembe vételével könnyen megoldható: minden hosszúságot az  $x_0$  kút – bányatelek távolsághoz viszonyítjuk. Esetünkben a közel 100 számítás nyomán kapott grafikont a 16. ábra mutatja. Ehhez egy adott vízvezető réteget és tartózkodási időt, változó hozamot és visszatöltés-anyagot valamint a bányatelek határának változó  $x_0$  elhelyezkedését vizsgáltuk.



15. ábra: Távolságok visszatöltéssel

Az ábra vízszintes tengelyén az  $x_T/x_0$  arány, a függőleges tengelyen az  $x_V/x_0$  arány szerepel, míg a görbesereg paramétere a szivárgási tényezők  $k_2/k_1$  aránya. Valójában a grafikon azt adja meg, hogy a vízmű védőidomának bányatelekre eső  $x_T$  mérete (vízszintes tengely) illetve visszatöltéssel  $x_V$  mérete (függőleges tengely) hogyan viszonyul a kút és bányatelek közötti  $x_0$  távolsághoz. A grafikon a visszatöltés nélküli esetet is feltünteti, ezt jelöli a kék szaggatott vonal és a  $k_2/k_1 = 1$  arány.



16. ábra: Grafikon visszatöltés méretének becsléséhez

A grafikon viszonylag egyszerűen alkalmazható. Például a vízszintes tengelyen  $x_T/x_0 = 3$  esetén a teljes védőidom  $\frac{3}{4}$  része a bányatelekre esik, míg  $\frac{1}{4}$  része a kút – bányatelekhatár távolság. Ha például ez esetben a visszatöltés anyaga ötödannyira vízvezető, mint az eredeti talaj ( $k_2/k_1 = 0,2$ ), az  $x_T$  méret az eredeti  $x_T$  táv kb. fele, ha  $k_2/k_1 = 0,05$ , akkor már csak az egyhatoda lesz. Mindezekkel jelentős területek szabadulhatnak fel a kitermelésre úgy, hogy közben a szomszédos vízbázis biztonságos üzeme is fenntartható.

Összegezve, megállapítható, hogy egy 16. ábra szerinti grafikon hatékony eszköze lehet kavicsbányák visszatöltéseinek vizsgálatához abban az esetben, ha a bányászat ivóvízbázist érint. Bár a grafikon nagy tömegű számítást igényel, ha egy megfelelő modell kialakítása megtörtént, a számítások elvégzése már csekély idő- és erőforrás-igényű, hiszen akár *excel* táblázattal is elvégezhető.

### **Továbbfejlesztési lehetőségek**

Fenti számítási eljárást és a végeredményül szolgáló grafikon (16. ábra) magányos kútra adtuk meg, végtelen kiterjedésű vízvezető réteg esetén. Azonban a számítás többféle módon is továbbfejleszhető.

Amennyiben a vizsgált területre valamely háttéráramlás is jellemző, úgy annak nagysága a megfelelő sebességvektorokhoz adódik, azaz a szuperpozíció elve továbbra is változatlanul alkalmazható.

Amennyiben kútcsoportok vizsgálata szükséges, melyet a fentiekhez hasonló visszatöltés véd, minden olyan kút, melynek távolhatása nagyobb, mint az adott kút és a bányatelek határ közötti távolság ( $x_0$ ), külön – külön, a 11. ábra szerinti módon a valós mellett virtuális kúttal is ellátandó, melynek főbb paramétereit korábban részleteztük. Az így kialakuló – részben valós, részben virtuális kutak alkotta – bővített kútcsoport a fentiekhez hasonlóan a szuperpozíció elve alapján vizsgálható. Ha egy kút távolhatása számottevően kisebb, mint a bányatelek – kút távolság, arra a visszatöltés már nem hat, tehát egyedi, a 9. ábra szerinti kútként veendő figyelembe, virtuális kút nélkül. Hatása azonban a többi kút hatásához adandó.

Amennyiben a vizsgált kút egyben parti szűrésű is, a vízfolyás az 5. ábra szerinti nyílt határnak tekinthető. Ha egyben bányatóval is szomszédos, melynek visszatöltését a 11. ábra szerint vizsgáljuk, akkor nemcsak a tényleges kutat kell a folyóra tükrözni, hanem a visszatöltés miatti virtuális kutat is. Természetesen ebben az esetben mindkettő előjelet vált.

Valójában bármely összetettebb rendszerre egyedileg is kialakítható modell valós és virtuális kutak segítségével, a kutak számának csak az áttekinthetőség szab határt. Amennyiben egy ilyen rendszert – nyilván már nem feltétlenül egy egyszerű *excel* táblázattal - sikerül felépíteni, a 16. ábra szerinti, vagy hozzá hasonló grafikon kialakítása már könnyen megoldható.

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Mind ivóvízbázisaink, mind kavicslelőhelyeink jelentős része kötődik nagyobb vízfolyásaink környezetéhez. Az ivóvízkincs védelme érdekében kialakított védőövezeteken az egyes tevékenységek - így a bányászat is - szigorúan korlátozottak. Azonban a hidrogeológiai B jelű védőidomon a bányászat már nem kizárt. Ezen területeken gyakran igen jó minőségű kavicsvagyon

– ásványkincs – található.

Jelen munka során ivóvízbázisok közelében elhelyezkedő kavicsbányatavak talajvízjárását módosító hatásának ellensúlyozására mutattunk be két eljárást. Mindkettő lényege a megfelelő helyen, megfelelő mérettel kialakított visszatöltés, mellyel víztermelő létesítmények védőtávolsága – illetve az ahhoz kötődő tartózkodási idő - biztosítható.

Mindkét esetben elméletileg megalapozott, de egyszerűen alkalmazható eljárást mutattunk be a visszatöltés méretének – jellemzően szélességének - meghatározására.

Az első módszer, melyet már korábban is ismertettünk (*Csoma-Wagner, 2022*) inkább a kutaktól távolabb alkalmazható, mivel alapfeltevése a párhuzamos áramlás. Az egyszerű összefüggés a *Darcy-törvény* alapján, a szivárgási tényező függvényében tesz javaslatot a visszatöltés méretére.

A második módszer kúthidraulikai alapokon vizsgálja a vízbázisok védőterületét meghatározó elérési vagy tartózkodási időt. A bányatelek határa mentén kialakítandó visszatöltést a virtuális kutak módszerével közelíti. Végeredménye egy viszonylag egyszerűen előállítható, áttekinthető grafikon, mellyel a visszatöltés mérete a kutak közelében jellemző áramlási viszonyok mellett is megbízhatóan becsülhető.

Mindezek egyértelműen igazolják, hogy kavicsbányatavak talajvízszintet csökkentő hatásai mérsékelhetők, mely nagyban hozzájárulhat ahhoz, hogy mind a bányászat, mind a vízbázisvédelem szempontjából elfogadható megoldások alakuljanak ki.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Altnöder András - Aujeszky Géza - Scheuer Gyula (1989):* Dunaföldvár-déli országhatár közötti Duna-jobbparti partiszűrészű vízszerezés lehetőségei. *Hidrológiai Közöny* 69. évf. 3. szám 159 – 167. o.
- Aujeszky Géza - Petz Rudolf - Sajgó Zsolt - Scheuer Gyula (1990):* Új partiszűrészű vízbázis a Duna bal partján Tassnál. *Hidrológiai Közöny* 70. évf. 3. szám 162 – 172. o.
- Bear, Jacob (1972):* Dynamics of Fluids in Porous Media. American Elsevier Publishing Company Inc. New York
- Bear, Jacob (1979):* Hydraulics of Groundwater. McGraw-Hill Inc. New-York
- Bogárdi, János (1979):* Hidromechanika. Egyetemi jegyzet, J9-945. Tankönyvkiadó, Budapest
- Busch, Karl-Franz - Luckner, Ludwig (1972):* Geohydraulik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig
- Csiszár Endre (2020):* Kihívások a Tass, Gudmon-foki parti szűrészű regionális vízbázis üzemeltetésében. *Hidrológiai Közöny* 100. évf. 1. szám 70 – 79. o.
- Csoma Rózsa - Wagner Flóra (2022):* Visszatöltési megoldások kavicsbányatavak kedvezőtlen hatásainak csökkentésére *Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlés dolgozatai Paper: 0503 , 21 p*
- Igrici-Kavics Kft.* <https://igrickavics.hu/hazai-kavicslelohelyek>
- Németh Endre (1963):* Hidromechanika. Egyetemi segédkönyv. Tankönyvkiadó, Budapest
- Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR)* <http://webgis.okir.hu/base/>
- TNO Hydrologisch Colloquium (1964):* Steady Flow of Ground Water Towards Wells. The Hague
- 123/1997. (VII. 18.) Kormányrendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízelétesítmények védelméről
- 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet a felszín alatti vizek védelméről