

A virtuális kutak módszerének alkalmazása vízbázist védő visszatöltés kialakítására kavicsbányák környezetében

Csoma Rózsa¹, Wagner Flóra¹

¹ BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: csoma.rozsa@emk.bme.hu)

DOI: 10.59258/hk.15661



Kivonat

Kavicsbányatavak felszínének párolgása általában a talajvízből pótlódik, mely a tó környezetében lecsökkenő talajvízszintet és megnövekvő áramlást eredményez. Ez a hatás elérheti a vízbázisok megállapított védőterületeit is. A védőidom határvonalait általában a termelő létesítményt elérő víz tartózkodási idejének segítségével jelöljük ki. Ha víztermelő létesítmény közelében a fedett felületből nyílt víz, azaz bányató lesz, 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 megoldást 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.

The method of images applied to determine the size of backfills to protect drinking water base in the neighbourhood of gravel pits

Abstract

The evaporation of gravel pits is recharged from the groundwater, which causes increasing flow and a drawdown in the neighbourhood of the pits. This effect can reach the protection zone of drinking water wells established earlier. The borders of the protection zone are usually determined based on the travel or residence time of the water to reach the well. If a new water surface, e.g. a gravel pit appears near the well, this travel time will of course reduce. To restore it, a properly placed and sized backfill can be applied. For the backfill usually a certain amount of dredging waste is provided. This waste is usually of finer grains than the gravel and not suitable as building material. In an earlier paper we introduced a simple solution to determine the main parameters of the backfill, but it may be applied only in case of parallel flow, further to the well. In this work we introduce a method based on the theory of image wells that is suitable to estimate the size of the backfill even in the close vicinity of the wells to restore the residence time.

Keywords

Gravel dredging, backfill, drinking water base, travel or residence time, protection zone, image wells.

BEVEZETÉS

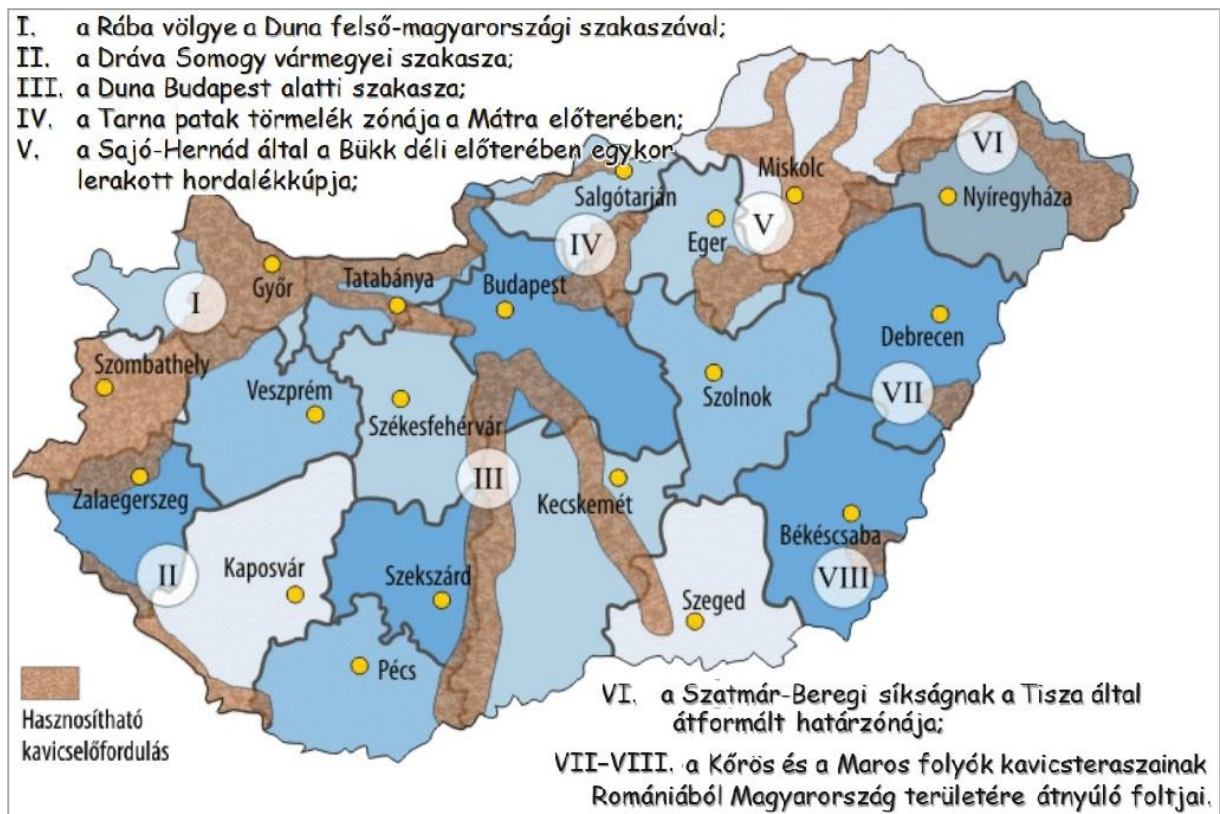
Magyarországon a mintegy 100 éves múlta visszatekintő ipari léptékű kavicskitermelés igen gyakran kötődik vízfolyásokhoz vagy közvetlen környezetükhöz. Ezt szemlélteti az 1. ábra, mely az Igrici-Kavics Kft. honlapja nyomán mutatja a hazai főbb kavicslelőhelyeket.

Nagyobb vízfolyásaink mentén ugyanakkor több helyen működnek (Altnóder és társai 1998, Aujeszy és társai 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 hordaléklerakódás hatását kihasználó parti szűrésű vízbázisok, melyek mennyisége kiemelkedő.

Összevetve a két ábrát, azaz a kavics előfordulások és a parti szűrésű vízbázisok védőidomainak elhelyezkedését egyértelmű, hogy a kétféle tevékenység célterületei több

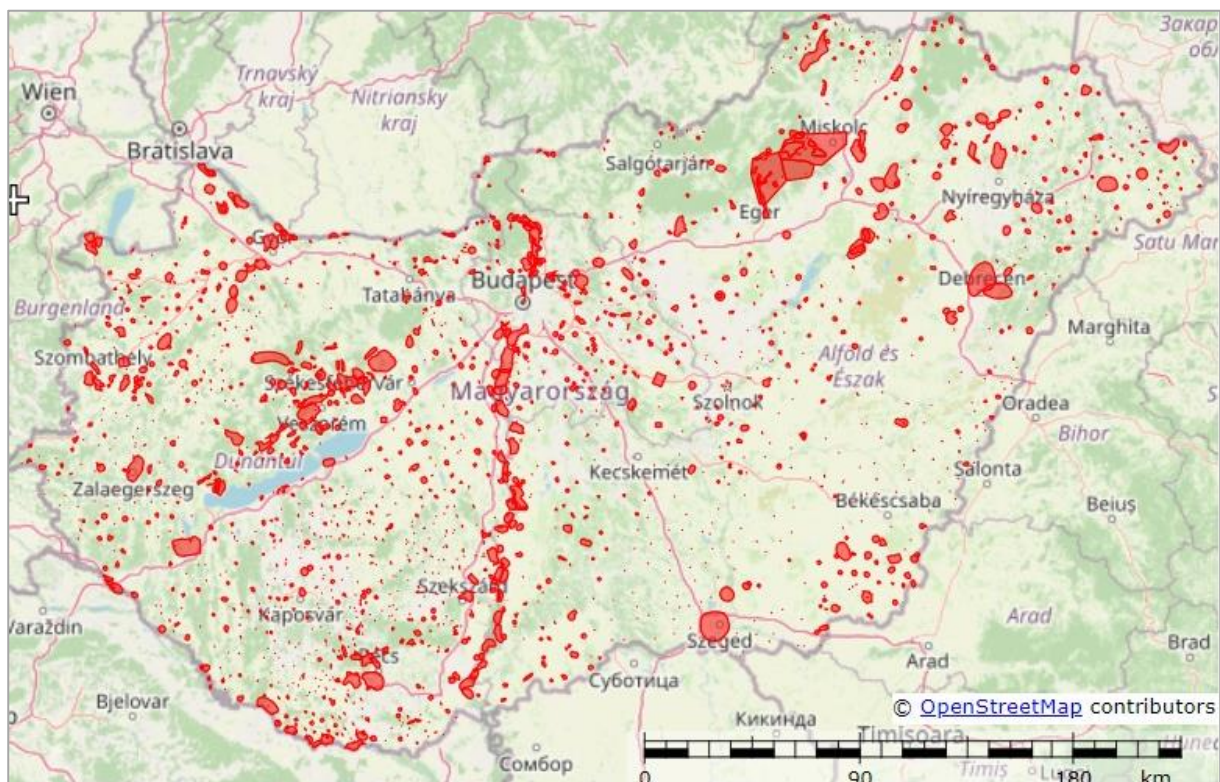
folyóknál közelében jelentős mértékben átfedésben vannak. Ez viszont gyakran olyan konfliktushelyzetet teremthet, melyre már egy korábbi munkánkban is utaltunk (Csoma és Wagner 2021).

Vízbázisok megállapított védőidomai a 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet alapján fokozottan érzékeny területnek minősülnek. A 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet szerint a hidrogeológiai védőövezet B zónáján belül azonban már nem kizárt a bányászat, de a hatásai részletesen vizsgálандók. A rendelet 5. sz. melléklete így fogalmaz: „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.



1. ábra. Magyarországi kavicselőhelyek (Igrici-Kavics Kft. nyomán 2024)

Figure 1. Gravel deposits in Hungary (based on the web of Igrici-Kavics Kft. 2024)



2. ábra. A hazai vízbázisok védőterületei (OKIR térképszervere nyomán)

Figure 2. Protection zones drinking water wells in Hungary (based on the map server of OKIR)

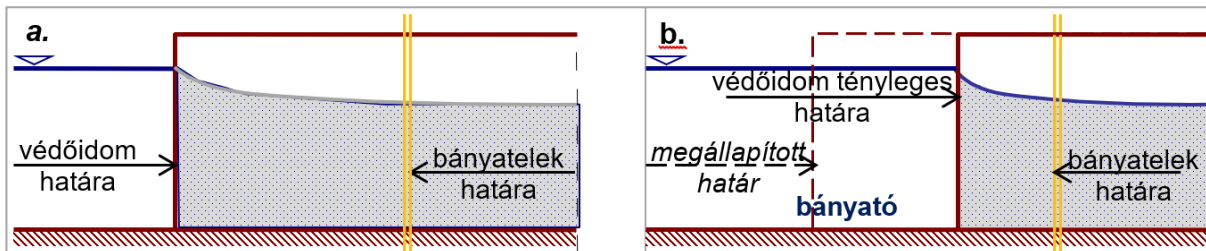
A VÉDŐIDOM ÉS A VISSZATÖLTÉS

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 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet nyomán első sorban a hidrogeológiai védőövezet B zónájával foglalkozunk, mely esetén az elérési idő 50 év.

Gyakori az az eset, amikor egy újonnan megállapított védőidom korábban lefektetett bányatelek területét is érinti, de előfordulhat olyan helyzet is, hogy egy bányatelek határa már meglévő védőterületre esik. Ezen esetekben a bányászat miatt a két határ közötti terület egészen, vagy egy részén új szabad vízfelület alakulhat ki. Az új tó vagy tórész viszont a védőidom méretét csökkenti, mivel annak tényleges határát az új tópart felé módosítja. Ezzel megszünteti a tórész területén a

védelmet, így valójában az elérési idő lecsökken. Ezt szemlélteti a 3. ábra, melynek a./ része a kitermelés előtti állapotot mutatja, az előírt védőidommal, azaz elérési idővel, míg a b./ egy tórész kitermelésével a lecsökkent védelmet a védőidom eltolódott határával és az így lecsökkent elérési idővel. Jelen és a további hasonló vázlatokon a bányatelek határát kettős sárga vonal, míg a védőidom eredetileg megállapított határát szaggatott barna vonal jelöli.



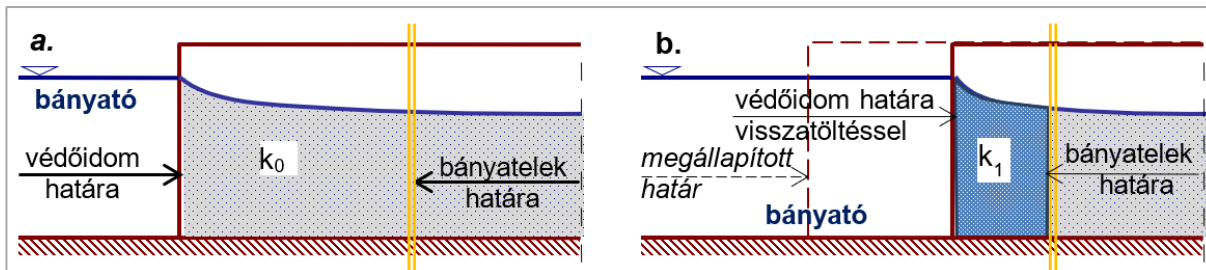
3. ábra. Védőidom a bányatelken belül a./ kitermelés előtt. b./ kitermeléssel
Figure 3. Protection zone within the mining lot before (a./) and after (b./) dredging

A bányató lehetséges határát a továbbiakban függőleges lezárással a bányatelek határával megegyezőnek tekintjük, a tó rézsűjét, a pillérben maradó anyagot és az esetleges sáncolás helyét jelen vizsgálatoknál figyelmen kívül hagyjuk, melyet már a 3. ábra is így jelöl.

A fentiek szerint lecsökkent elérési idő azonban a megfelelő helyen, a megfelelő méretekkel kialakított visszatöltés segítségével visszaállítható. A kisebb vízvezető képességű visszatöltés valójában megnövekedő hidraulikai ellenállást jelent, mellyel adott vízfelszín esetén 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 a 4. ábra, ahol az előzőekhez hasonlóan a./ rész jelzi azt a szakaszt, ahol a vízmű védőterülete és a bányatelek átfedésben van. Az ábrarészben k_0 jelöli a terület szivárgási tényezőjét. Amennyiben ezen rész kitermelésére sor kerül, olyan kisebb szélességű és kisebb, k_1 vízvezető képességű visszatöltéssel lehet védeni a vízbázist, mellyel az eredeti biztonság megmarad, azaz az elérési idő helyreállítható. Ezt mutatja a 4. ábra b./ része.



4. ábra. Védőidom bányatelken belül a./ visszatöltés nélkül, b./ visszatöltéssel – jelölések az (1) egyenletnél
Figure 4. Protection zone within the mining lot without (a./) and with (b./) backfill – for the notation see eq. (1)

A visszatöltés anyaga általában a fedőréteg szerves anyagot nem tartalmazó – nem humuszos – része. Ez a meddő, mely haszonanyagként nem minden esetben értékesíthető. Vízvezető képessége a homokos kavicsnál – de gyakran még a finom homoknál is – csekélyebb, finomabb frakciójú, általában iszap-agyag. A visszatöltés anyagának és kialakításának részletesebb leírását korábbi munkáinkban (Csoma és Wagner 2022, 2023) 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 többféle célú, többféle kialakítású visszatöltést elemeztünk (Csoma és Wagner 2022), részben megadva a választ a fenti kérdésre is. Ezek közül az

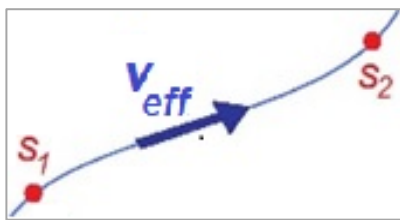
egyik módszer a víztermelő létesítménytől távolabb jól alkalmazható és későbbiekben bemutatandó eljárással azonos alapokon nyugszik, így először ezt ismertetjük.

A módszer alapja a Darcy-törvény következő formája:

$$v = -k \frac{dh}{ds} \quad (1)$$

ahol:

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



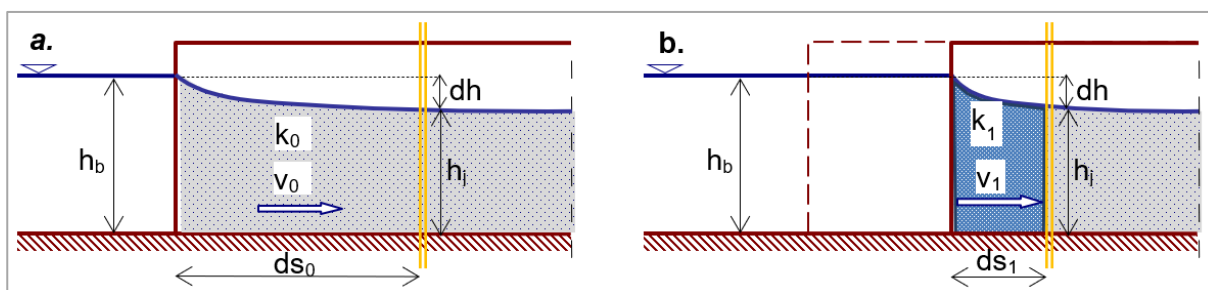
5. ábra. Tartózkodási idő az áramvonal két pontja között – jelölések a (3) egyenletnél

Figure 5. Travel time between two points of a streamline – for notation see eq. (3)

Egy adott áramvonal mentén, az 5. ábra feltüntetett két pontja között a tartózkodási vagy elérési idő a szivárgás tényleges v_{eff} sebességének figyelembevételével, a sebesség általános definíciója alapján a következő módon kapható meg:

$$v_{eff} = \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

melyből az időtartam:



6. ábra. Hidraulikai és geometriai jellemzők a./ a kitermelés előtt és b./ a visszatöltés után – jelölések az (1) egyenletnél
Figure 6. Hydraulic and geometric parameters a./ before exploitation and b./ after exploitation with backfill – for notation see eq. (1)

A sebességek a két esetben az (1) egyenlet alapján:

$$v_0 = -k_0 \frac{dh_0}{ds_0} \quad \text{illetve} \quad v_1 = -k_1 \frac{dh_1}{ds_1} \quad (4)$$

A ds_0 illetve ds_1 hosszak a tópart és a bányatelek határa közötti távolságot jelzik, a telekhatár menti határpillér figyelembe vételétől továbbra is eltekintünk. Ezen szakaszok mentén a viszonylag kis távolság miatt a sebesség hossz menti megváltozását is elhanyagoljuk, így állandó, átlagos sebességgel a tartózkodási idő (3) összefüggése is egyszerűsödik, az integrál helyett a következő lesz:

$$T_0 = \frac{ds_0 \cdot n_0}{v_0} \quad \text{illetve} \quad T_1 = \frac{ds_1 \cdot n_1}{v_1} \quad (5)$$

A (1) Darcy-törvény szerinti sebességek figyelembe vételével az (5) időtartam így az alábbi:

$$T_0 = \frac{ds_0^2 \cdot n_0}{k_0 \cdot dh_0} \quad \text{illetve} \quad T_1 = \frac{ds_1^2 \cdot n_1}{k_1 \cdot dh_1} \quad (6)$$

Az (6) összefüggésben szereplő hosszúságok jelölését a 6. ábra mutatja. Az ábrán megadott h_b a bányató szintje, míg h_i a talajvízszint a bányatelek határán, mely utóbbit a környező területek vízjárása határozza meg. A $dh = h_b - h_i$, szintkülönbséget a bányászat hatására változatlanul tekinthetjük, így $dh_0 = dh_1 = dh$, melyet a 6. ábra is már így jelöl. A terület k_0 és a visszatöltés k_1 szivárgási tényezőjének értékére korábbi munkáink (Csoma és Wagner 2022, Csoma 2023) támpontot adnak. Az n porozitás viszont az eltérő talajnemek esetén a szivárgási

$$T = \int_{S_1}^{S_2} \frac{1}{v_{eff}} ds = \int_{S_1}^{S_2} \frac{n}{v} ds \quad (3)$$

ahol az előbbieken túl:

v_{eff} , (m/d) : a szivárgás tényleges sebessége (lásd 5. ábra) mely a Darcy-féle sebesség segítségével $v_{eff} = v/n$,
 n , (-) : az effektív porozitás,
 T , (d) : a tartózkodási vagy elérési idő.

Míndezekeket a 4. ábra szerinti bányatelekre is alkalmazhatjuk. A terület részletes jellemzőit a 6. ábra mutatja a kitermelés megkezdése előtt és annak befejeztével. Az a./ rész kiindulási állapotában az ott jelzett ds_0 szakasz kitermelése, majd ds_1 védősáv visszatöltése után alakul ki a b./ rész végállapota. A továbbiakban minden esetben 0 alsó indexszel jelöljük a 6. ábra a./ részére vonatkozó kitermelés előtti, és 1 alsó indexszel az ábra b./ részére vonatkozó, végső állapotban elvárt mennyiségeket. Alsó index nélkül az adott mennyiség a két állapot, azaz a két ábrarész esetén megegyezik, melynek további magyarázatára később még kitérünk.

tényező nagyságrendi változásai mellett olyan kis mértékben – néhány %-kal – módosul, hogy a változástól eltekinthetünk, így $n_0 = n_1 = n$.

Míndezekekkel célunk a tartózkodási idő helyreállítása, tehát az, hogy a kitermelés felhagyása utáni helyzet ne legyen kedvezőtlenebb, mint annak megkezdése előtt. Számszerűsítve $T_0 \leq T_1$, mely – figyelembe véve a változatlanul maradó mennyiségeket is – a következő lesz:

$$\frac{ds_0^2 \cdot n}{k_0 \cdot dh} \leq \frac{ds_1^2 \cdot n}{k_1 \cdot dh} \quad (7)$$

Így a visszatöltés szükséges ds_1 mérete az alábbi:

$$ds_1 \geq ds_0 \sqrt{\frac{k_1}{k_0}} \quad (8)$$

A fent ismertetett módszer – bár számos közelítést tartalmaz – az igen egyszerű (8) összefüggéssel megbízhatóan tudja becsülni az igényelt méretet. Alkalmazásának korlátja azonban az, hogy a kút hatását párhuzamos áramlással közelíti, mely csak a víztermelő műtől távolabb, rövid szakaszon elfogadható.

VISSZATÖLTÉS MÉRETE KUTAK KÖRNYEZETÉBEN

A fejezet célja

A fent részletezett egyszerű összefüggés párhuzamos áramlás feltételezése mellett alkalmazható. Ez egy kúttól vagy kútcsoporttól távolabb még elfogadható közelítés le-

het, a kút környezetében azonban jellemzően sugár irányú áramlás alakul ki, melynek figyelmen kívül hagyása komoly bizonytalanságokat okozhat.

A kutakkal kapcsolatos összefüggések ezen túl homogén talajt feltételeznek, azaz a k szivárgási tényező állandó. Ezzel viszont nem lehet a kút vízgyűjtő területén az alapértéktől 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

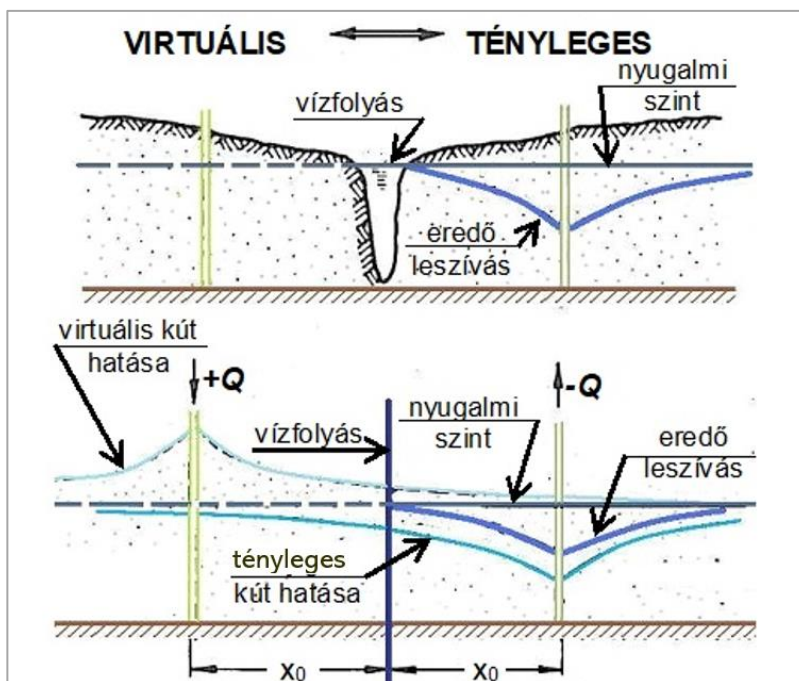
Nehéz meghatározni, hogy a virtuális kutak módszere mikor alakult ki, illetve kinek a nevéhez kötődik. Nagyjából az 1960-as évek óta számos kúthidraulikával, vagy azzal is foglalkozó szakkönyv említi, különösen az angol nyelvterületen. Angol elnevezése „method of images” (TNO 1964), míg a német irodalom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

A kutakat leíró 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 jól alkalmazható. Ennek lényege abban áll, hogy az egyenes határt, mely a vízvezető réteget kettéosztja, egyedi kút esetén egy kúttal, csoport esetén az eredetivel megegyező számú kútcsoporttal helyettesítjük. Ezek a virtuális kutak a határ áttellenbe 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 esetében is. Mindezekhez a vizsgált rendszer az alábbiaknak kell hogy eleget tegyen:

- a kutak üzembe lépését megelőzően a talajvíz felszíne vízszintes;
- a határ függőleges irányban a teljes vízvezető réteget harántolva a vízzáró fekvést 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.

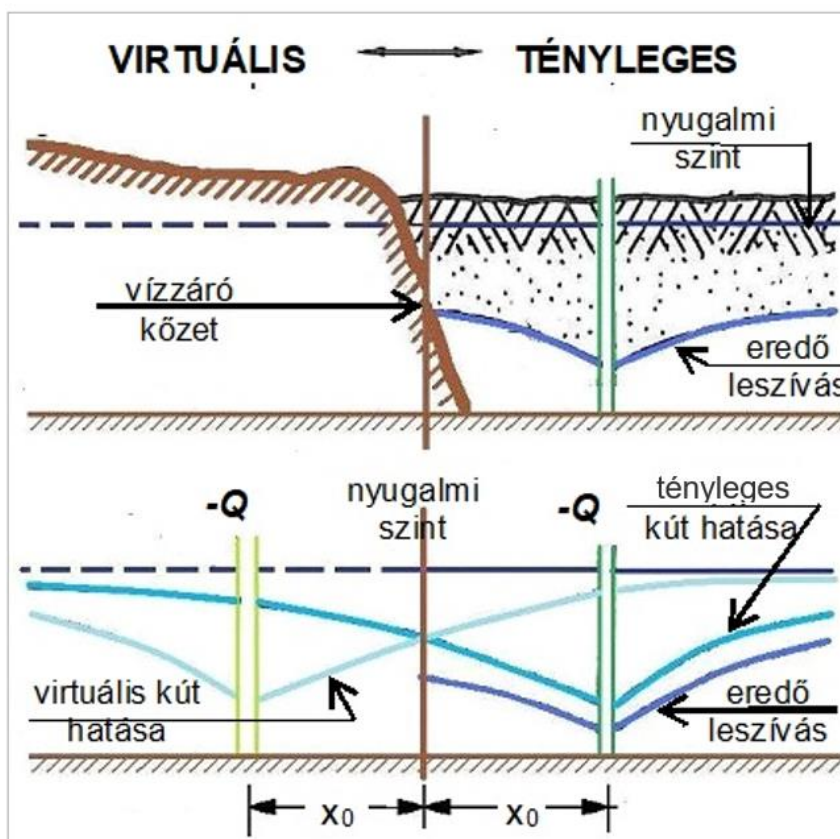


7. ábra. Kút nyílt határ közelében
Figure 7. Well near a recharge boundary

Ha a kút közelében vízfolyás húzódik (7. 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 és átmérője megegyezik a tényleges kút értékeivel;
- a tényleges és a virtuális kutak a határ ellentétes oldalán, határtól azonos x_0 távolságra helyezkednek el.

Maga a teljes áramkép a hidromechanika egyik ismert összetett áramképe, mely az azonos erősségű forrás (+ Q) és nyelő (- Q) szuperpozíciójából adódik, köríveket alkotó áramvonalakkal. A folyó maga ekvipotenciális vonal, a rá merőleges áramvonalak jelzik a vízmozgást a kút irányába. A tényleges kút leszívása összeadódik a virtuális kút szintemelkedésével, kialakítva a tényleges oldalon az eredő leszívást. Ezt mutatja a 7. ábra alsó része.



8. ábra. Kút vízzáró határ közelében
Figure 8. Well near an impervious boundary

Ha a kút közelében valamely vízzáró képződmény található (8. ábra felső része), akkor 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

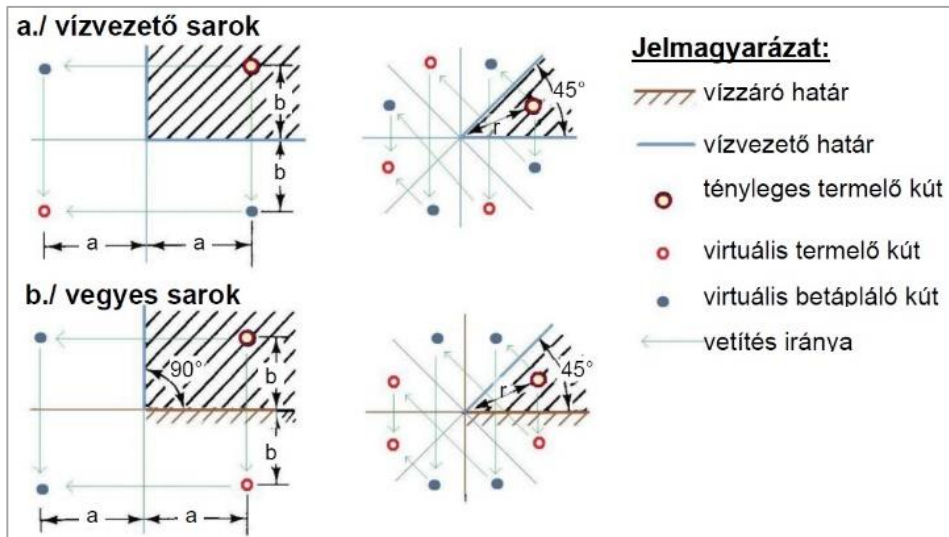
- hozama a tényleges kút hozamával azonos előjellel megegyezik;
- távolhatása és átmérője megegyezik a tényleges kút értékeivel;
- a tényleges és a virtuális kutak a határ ellentétes oldalán, határtól azonos x_0 távolságra helyezkednek el.

Maga az áramkép a hidromechanika egy másik jólismert összetett áramképe, mely az azonos erősségű nyelők (- Q) szuperpozíciójából adódik. A tényleges és virtuális kutak közötti felező egyenes itt áramvonal, melyen kereszt-

tül vízmozgás nem lehetséges. A tényleges és virtuális kutak leszívása összeadódik, melyet a 8. ábra alsó része mutat.

A két fenti alapeset részletes matematikai leírását nem adjuk meg, az bőségesen megtalálható a hidromechanikai (Németh 1963, Bogárdi 1979) vagy talajvíz-hidraulikai (Bear 1972, 1979, Busch és 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. Ezek közül ad meg néhány példát a 9. ábra, mely 90°-os és 45°-os sarkokat mutat.



9. ábra. Valós és virtuális kutak összetett határok közelében
Figure 9. Real and image wells near compound boundaries

A 9. ábra a./ része két vízfolyással határolt területet mutat, mely lehet például egy mellékág torkolatvidéke. A bal oldali, egymással 90° -ot bezáró vízvezető határok – főág, mellékág – esetén a termelő kutat először például a vízszintes határra tükrözzük. Ezt jelöli a vékony halvány-szürke nyíl. Ezután mindkettő – a valós és a képzetes – kutat a függőleges határra, illetve a virtuális térben annak meghosszabbítására tükrözve alakul ki az összesen három virtuális és egy tényleges kút alkotta rendszer, melyből az előjelváltások miatt kettő termelő és kettő betápláló. Azaz valamennyi valós és virtuális kutat minden határra vagy annak meghosszabbítására tükrözni kell. A tükrözés sorrendje felcserélhető, ugyanarra jutunk, ha előbb függőlegesen, majd vízszintesen tükrözzük. Az eredő áramkép a négy egyedi áramkép szuperpozíciójából alakul ki. A 45° -os sarok esetén a valós és az összes virtuális kút minden egyes határra történő tükrözése nyomán, melyet az ábra is mutat, a kutak váltakozó előjellel egy r sugarú kör nyolc pontjába kerülnek.

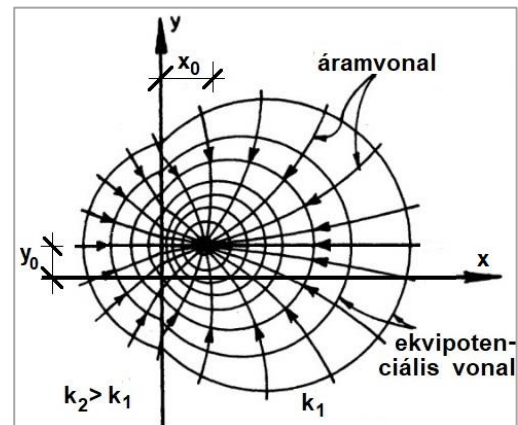
A 9. ábra b./ része vízfolyás és vízzáró határ alkotta sarkokat mutat. Itt a vízvezető határra történő tükrözés továbbra is előjelváltó, míg vízzáró határ esetén az előjel nem változik. A tükrözés további jellemzői a fent megadottakkal egyeznek meg. Mindkét – és valamennyi további – esetben azonban közös, hogy a határok egymással 180° -nál kisebb szöget zárnak be.

Virtuális kutakkal vizsgálható továbbá a szivárgási tényező értékének egyenes vonal menti megváltozása is, mely a kút vízgyűjtő területét kettéosztja. Ezen utóbbi esetet az alábbiakban részletesen bemutatjuk.

A szivárgási tényező lokális megváltozásának leírása virtuális kúttal

Az előző pontban megadottak alapján szivárgási tényező lokális megváltozása is leírható virtuális kúttal, melyre Jacob Bear ad megoldást (Bear 1972, 1979). Ezt mutatja a 10. ábra, ahol az y tengely bal oldalán nagyobb, míg a jobb oldalon, a kút környezetében kisebb a k szivárgási tényező. Ha a 10. ábra y tengelyét a bányatelek határára helyezzük, és a jobb oldali rész lesz a vízvezetőbb, a

bal pedig vízzáróbb, ezen bal oldali rész lehet az a visszatöltés, mely a vízbázis védelmét megadja.



10. ábra. Kút áramképe változó szivárgási tényezőjú környezetben Bear (1979) nyomán

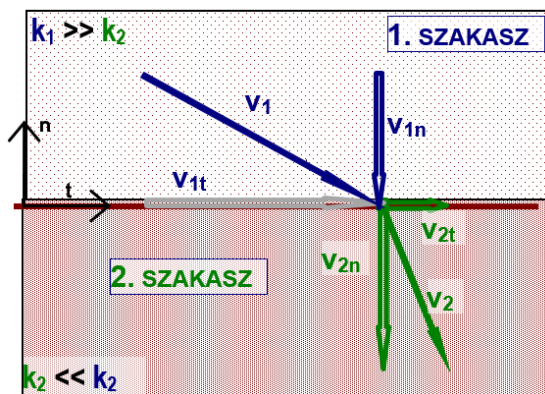
Figure 10. Well near a boundary of different permeabilities after Bear (1979)

Az áramkép főbb jellemzőinek, 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 11. ábra, ahol a két, eltérő szivárgási tényezőjú térrész – az ábrán szakasz – v sebesség vektorait is eltérő színek jelölik. Az ábra lokális koordinátarendszert alkalmaz a határral párhuzamos (tangenciális, t) és arra merőleges (normális, n) iránnyal, melyekkel alsó indexben a kétoldali sebességvektorok komponenseit is jelöli. A határon a folytonosság biztosítandó, azaz

1. a talajvízszintek vagy nyomásszintek (h), illetve azok megváltozása, 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 egységnyi 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, így az (1) Darcy-törvény segítségével

$$v_{1t} = -k_1 \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{és} \quad v_{2t} = -k_2 \frac{\partial h}{\partial t}, \quad \text{melyből} \quad \frac{v_{1t}}{k_1} = \frac{v_{2t}}{k_2} \quad (8)$$



11. ábra. Sebességkomponensek a vízvezető képesség változásának helyén

Figure 11. Velocity components at the border of different permeabilities

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 közeli lesz. A jelenség a fénytöréssel analóg.

Ezután tekintsük újra Bear (1979) ábráját, melyet a 10. ábra mutat. Itt a termelő kút az (x_0, y_0) működik, adott Q hozammal. Helyezzünk el egy virtuális kút szintén az y_0 helyen, de 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 –, mely nyomás alatti vízvezető rétegben, permanens áramlás esetén az alábbi:

$$s_1(x, y) = \frac{Q}{4\pi k_1 H} \ln \frac{R^2}{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} + \frac{C \cdot Q}{4\pi k_1 H} \ln \frac{R^2}{(x+x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (9)$$

ahol a korábbi jelöléseken túl

- Q , (m^3/d) : a vizsgált kút hozama,
- H , (m) : a vízvezető réteg vastagsága,
- R , (m) : a kút távolsága,
- x, y , (m) : a két vízszintes koordináta.

Az összefüggés első tagja a tényleges, a második a virtuális kút hatását adja meg. Ugyanitt, az $x > 0$ féltérben a két sebességkomponens következő lesz:

$$v_{1x}(x, y) = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{x-x_0}{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} + \frac{C \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{x+x_0}{(x+x_0)^2 + (y-y_0)^2}, \quad (10)$$

$$v_{1y}(x, y) = \frac{Q}{2\pi H} \cdot \frac{y-y_0}{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} + \frac{C \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{y-y_0}{(x+x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (11)$$

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

$$s_2(x, y) = \frac{B \cdot Q}{4\pi k_2 H} \ln \frac{R^2}{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (12)$$

A bal oldali sebességkomponensek az alábbiak lesznek:

$$v_{2x}(x, y) = \frac{B \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{x-x_0}{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (13)$$

$$v_{2y}(x, y) = \frac{B \cdot Q}{2\pi H} \cdot \frac{y-y_0}{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} \quad (14)$$

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. a (9) és (12) leszívások azonossága, $s_1(x=0, y) = s_2(x=0, y)$,
2. a határra merőleges (10) és (13) sebességek azonossága, $v_{1x}(x=0, y) = v_{2x}(x=0, y)$,

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

$$B = \frac{2N}{1+N} \quad \text{és} \quad C = \frac{1-N}{1+N} \quad \text{ahol} \quad N = \frac{k_2}{k_1} \quad (15)$$

A (15) két paraméterével meghatározott, a határral párhuzamos (11) és (14) sebességkomponensek eleget tesznek a harmadik feltételnek mely szerint a határvonalon (itt az $x = 0$ helyen)

$$\frac{v_{1y}(x=0, y)}{k_1} = \frac{v_{2y}(x=0, y)}{k_2} \quad (16)$$

Részletesebben vizsgálva a (15) két paraméterét, látható, hogy a visszatöltés k_2 szivárgási tényezőjének csökkentésével a B állandó a 0-hoz tart ($B \rightarrow 0$), a C pedig az 1-hez ($C \rightarrow 1$). Ezen eset viszont az előző pontban megadott vízáró határ, a valós és a határ túlsó oldalán vele azonos erősségű virtuális kúttal egyezik meg. Így a 8. ábra szerinti valós rész áramképe és jelen pont $x > 0$ féltérén kialakuló áramkép megegyezik. Hasonlóan, ha például a k_2 -t növeljük, $B \rightarrow 2$ mellett a virtuális kút C állandója előjelet váltva a -1-hez tart ($C \rightarrow -1$), azaz megkapjuk a korábbi vízvezető határt az előjelváltó virtuális kúttal. Így itt a 7. ábra szerinti valós rész áramképe egyezik meg jelen pont $x > 0$ féltérén kialakuló áramképpel.

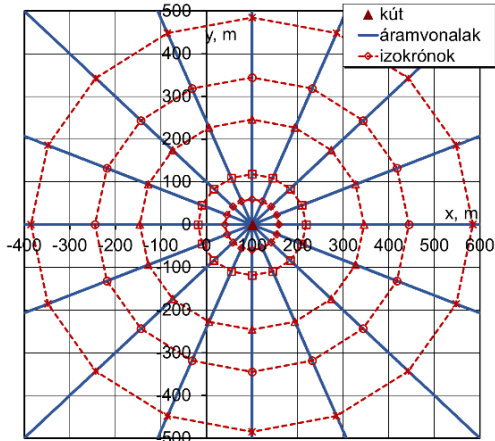
Így valójában a 10. ábra hidraulikai helyzete egyik szélső esetének tekinthető a 8. ábra, ahol $k_2 \rightarrow 0$, míg a másik szélső eset a 7. ábra, ahol $k_2 \rightarrow \infty$.

Mindezek alapján a 10. ábra, illetve a (9)-(12) összefüggések 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 $(x_0, y_0 = 0)$ helyen elhelyezett, adott hozamú kút áramképét megszerkesztjük, a 12. ábra szerinti képet kapjuk.



12. ábra. Kút áramképe homogén környezetben
Figure 12. Flow net of a well, constant permeability

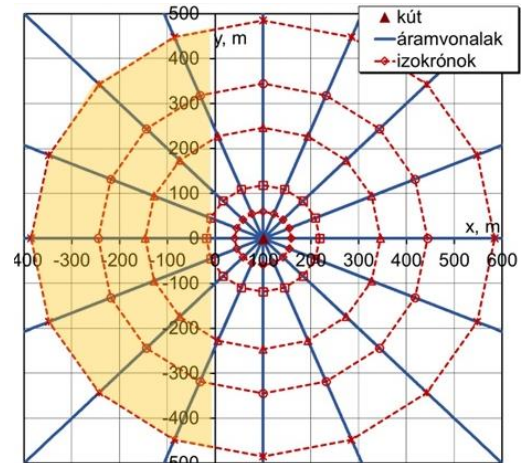
Ez esetben nem a hidromechanikából jól ismert módon, az áramfüggvény általános egyenlete alapján készítettük el a kék színű áramvonalakat, hanem közelítő módon, a kút palástjáról áramlásiránnyal ellentétesen elindított vízrézecskek nyomkövetésével. Bár itt a hagyományos áramképszerkesztés áram- és ekvipotenciális-vonalakkal 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.

A 12. ábra kék folytonos vonalai a sebességvektorral párhuzamos áramvonalak, a bordó szaggatottak azonban nem a szintvonalak (ekvipotenciális vonalak), hanem az izokrónok, melyeket az áttekinthetőség érdekében 1, 10, 50, 100 és 200 időlépésenként adunk meg. Ezen kialakítást minden további hasonló ábrán megtartjuk. Ezek azon pontok összességét jelentik, melyből a víz egy adott időtartam alatt eléri a kútát, 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:

$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot T}{\pi \cdot n \cdot H}} \quad (17)$$

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

Ha a 12. ábra szerinti elrendezésben a bányatelek határa az y tengely, az ábra legszélső izokrónja pedig a kút védőidomának vonala, látható, hogy a bányászat egy tekintélyes méretű, körszeletnyi területen kerülhet ellentétbe a vízbázisvédelem érdekeivel. Ezt szemlélteti a 13. ábra színezett területe.



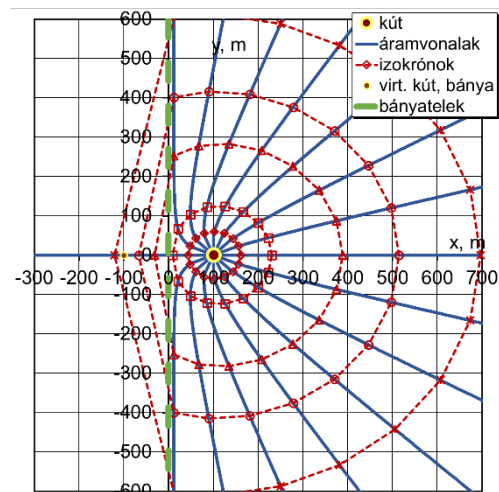
13. ábra. Védőidom a bányatelen

Figure 13. Protection zone reaching the mining lot
Megjegyzés: sárga terület-a bányatelek és a védőidom közös metszete
Note: yellow area-common cross-section of the mining pot and the protection zone

A konfliktushelyzet feloldására alkalmazható a kitermelés utáni azonnali visszatöltés, melyet a következő bekezdés részletez.

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, mivel az előző pontnak megfelelően a bányatelek bánya felőli oldalán megjelenik a virtuális kút. A kút hatását a (9), (10) és (11) összefüggések jobb oldali második tagja veszi figyelembe. Egy ilyen esetet mutat $k_2/k_1 = 0,1$ aránnyal a 14. ábra, mely továbbra is a fent megadott nyomkövetéssel készült. Az ábra az áramvonalak és az izokrónok mellett zöld szaggatottal feltünteteti a bányatelek határát és a valós kúthoz képest kisebb, de azonos színű jelölővel adja meg a visszatöltés miatti virtuális kútát. Ez a virtuális kút szintén termelő. Ezen jelölést minden további ábrán is így alkalmazzuk.

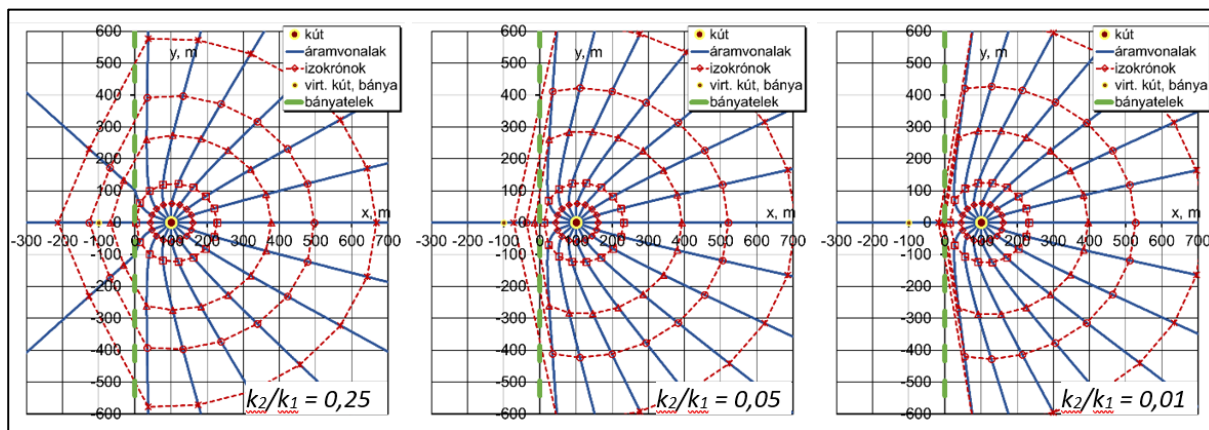


14. ábra. Áramvonalak és izokrónok, $k_2/k_1 = 0,1$
Figure 14. Streamlines and isochrones, $k_2/k_1 = 0,1$

A kisebb vízvezető képességű bal oldali rész – a korábbi, közelítő esethez hasonlóan – megnövekedő hidrau-

likai ellenállást jelent, mellyel lecsökken a vízmozgás sebessége és megnövekszik, azaz helyreáll a tartózkodási idő. Tehát az adott 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 továbbra is megmarad, a korábban egyenes áramvonalak azonban jelentősen módosulnak.

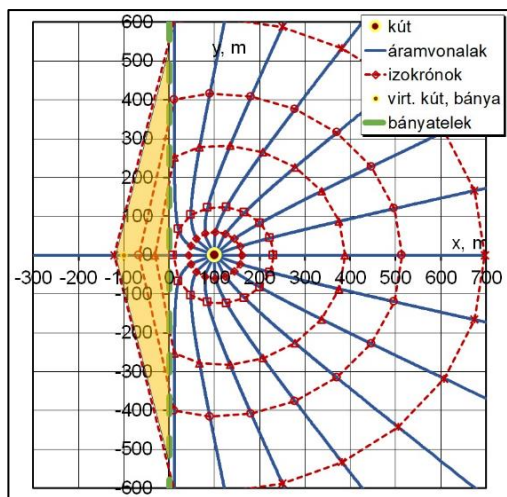
Adott geometriai viszonyok és hozam esetén az áramkép, és ezzel az izokrónok torzulását a szivárgási tényezők aránya határozza meg. Megtartva a korábbi méreteket, a 14. ábra $k_2/k_1 = 0,1$ aránya mellett tájékoztatásul megszerkesztettük az a $k_2/k_1 = 0,25$, $k_2/k_1 = 0,05$ és $k_2/k_1 = 0,01$ arányokhoz az áramképet, melyet a 15. ábra mutat. Az ábrán jól látható, hogy a torzulás mértéke igen érzékeny a szivárgási tényezőre.



15. ábra. Áramvonalak és izokrónok, $k_2/k_1 = 0,25$, $k_2/k_1 = 0,05$ és $k_2/k_1 = 0,01$
Figure 15. Streamlines and isochrones, $k_2/k_1 = 0,25$, $k_2/k_1 = 0,05$ and $k_2/k_1 = 0,01$

Ha a 14. 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 13. ábra körselektének töredéke lesz. Ezt szemlélteti a 16. ábra, az előzőekhez hasonlóan színezett területtel.

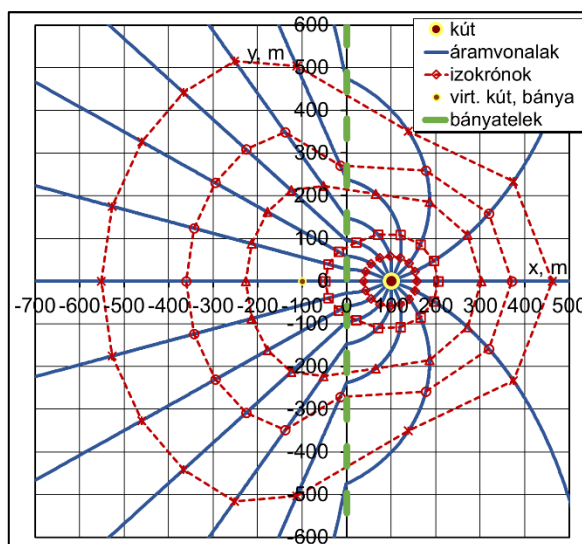
magasabb vízvezető képesség miatt megnő ebben az irányban a kút vízgyűjtő területe. Ezt jelzik a nagyobb vízvezető képességű rész felé eső sűrűbben megjelenő áramvonalak is. Összevetve a 17. ábra bányatelek-határt keresztező áramvonalait a 15. ábra első részén látható, hasonló helyzetű áramvonalakkal, jól látható, hogy az áramvonal irányváltozása mindkét esetben a 11. ábra alapján megfogalmazottakat követi: a nagyobb vízvezető képességű térrész határral közel párhuzamos áramlása a kisebb vízvezető képességű részben a határral számottevően nagyobb szöget zár be. A továbbiakban a $k_2/k_1 > 1$ esettel részleteiben nem foglalkozunk.



16. ábra: A védőidom torzulása
Figure 16. The deformation of the protection zone

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 vizsgált, bányatelekkel szomszédos vízbázis esetén nem, de másutt előfordulhat a 10. ábra szerinti eset is, amikor a bal oldali rész vízvezető képessége a nagyobb, azaz $k_2/k_1 > 1$. Ilyen esetet szemléltet az előbbi paraméterekkel, de $k_2/k_1 = 10$ aránnyal szerkesztett 17. ábra. Itt a bal oldali



17. ábra. Áramvonalak és izokrónok, $k_2/k_1 = 10$
Figure 17. Streamlines and isochrones, $k_2/k_1 = 10$

A módszer általánosítása

Az elméleti háttér tisztázása után célszerű a probléma általánosítása. Ehhez tekintsük a 18. ábra vázlatát, ahol a

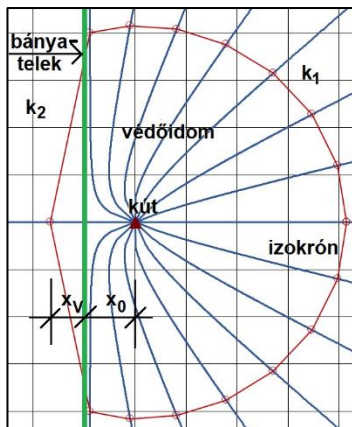
kút a bányatelektől x_0 távolságra, az x tengely mentén helyezkedik el, védőidoma pedig x_T távolságra érinti a bányateleket. Ezen utóbbi távolságon szeretnénk csökkenteni úgy, hogy a vízbázis védelme közben ne sérüljön.



18. ábra. Távolságok visszatöltés nélkül
Figure 18. Distances without backfill

A védőidom méretének csökkentéséhez a tartózkodási idő fenntartása mellett az előzőekben bemutatott számítást kell elvégezzük a visszatöltés többféle k_2 szivárgási tényezőjével, a kút eltérő Q hozamaival és x_0 elhelyezkedésével, valamint 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 19. ábra.



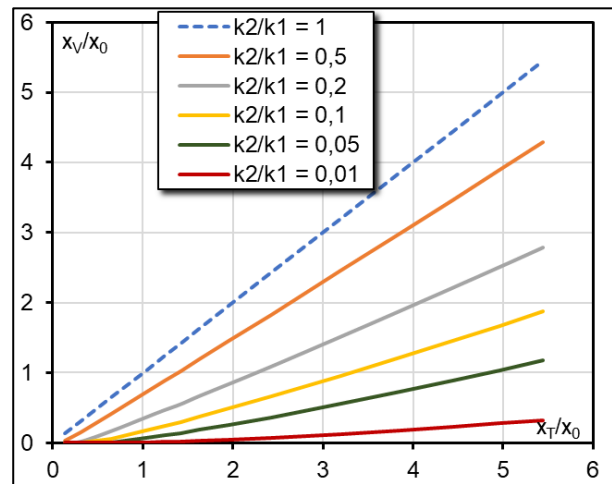
19. ábra. Távolságok visszatöltéssel
Figure 19. Distances with backfill

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: például minden hosszúságot az x_0 -lal jelölt kút-bányatelek távolsághoz viszonyítjuk. Esetünkben a közel 100 számítás nyomán kapott grafikont a 20. ábra mutatja. Ehhez egy adott vízvezető réteget és tartózkodási időt, de változó hozamot és visszatöltés-anyagot, valamint a kútnak a bányatelek határához viszonyított változó x_0 elhelyezkedését vizsgáltuk.

A 20. ábra vízszintes tengelyén az x_T/x_0 arány, a függőleges tengelyen az x_V/x_0 arány szerepel, míg a görbésereg 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, mely valójában a 45° -os egyenes, azaz a felező vonal.

A felező vonal fölötti részen a szivárgási tényezők aránya megfordul, az $x < 0$ térrész lesz a vízvezetőbb, melyet a 17. ábra is mutat. Ez bányatelek környezetében nyilván nem fordulhat elő, azonban egyéb, változatos településű vízparti területeken nem kizárt. Mivel a vizsgált probléma megoldása egyértelműen a kék szaggatott vonal alatti tartomány, a 17. ábra szerinti, felező vonal fölötti résszel a továbbiakban sem foglalkozunk.



20. ábra. Grafikon visszatöltés méretének becsléséhez
Figure 20. Graph to estimate the size of the backfill

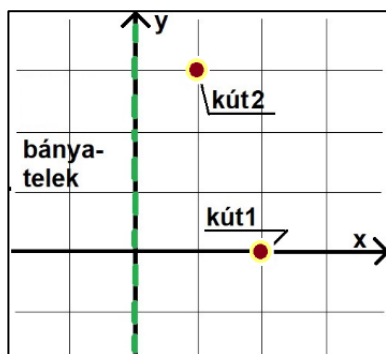
A grafikon viszonylag egyszerűen alkalmazható. Például a vízszintes tengelyen $x_T/x_0 = 3$ esetén a teljes védőidom háromnegyed része a bányatelekre esik, míg egynegyed része a kút – bányatelekhatár távolság. Ha például ez esetben a visszatöltés anyaga ötödannyira vízvezető, mint az eredeti talaj ($k_2/k_1 = 0,2$), az x_V 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 20. ábra szerinti grafikon hatékony eszköze lehet kavicsbányák visszatöltéseinek vizsgálatához abban az esetben, ha a bányászat ivóvízbázist érint. Bár a grafikon nagy tömegű számítás igényel, ha egy megfelelő modell kialakítása megtörtént, a számítások elvégzése már csekély idő- és erőforrás-igényű.

Továbbfejlesztési lehetőségek

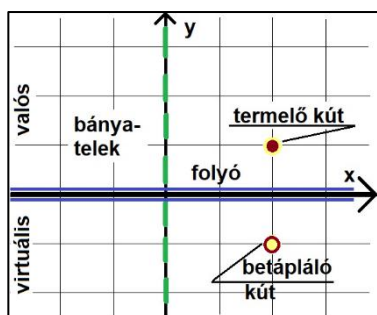
A fenti számítási eljárást és a végeredményül szolgáló grafikont (20. ábra) magányos kútra adtuk meg, végtelen kiterjedésű vízvezető réteg esetén. Azonban a számítás többféle módon is továbbfejleszhető.

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



21. ábra. Kútcsoport vizsgálata
Figure 21. The examination of well fields

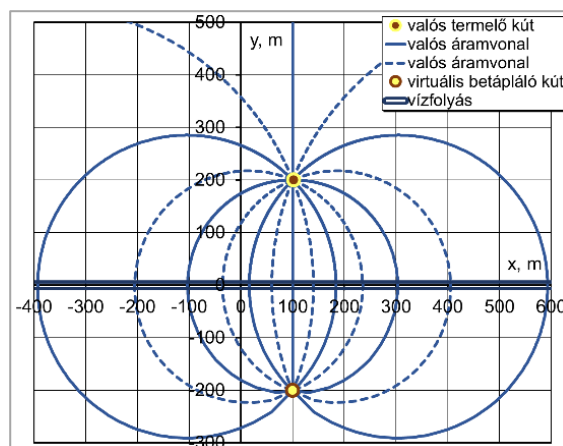
Amennyiben a 21. ábra szerinti kútcsoportok vizsgálata szükséges, melyet a fentiekhez hasonló visszatöltés véd, minden olyan kút esetén, melynek távolhatása nagyobb, mint az adott kút és a bányatelek határ közötti távolság (x_0), külön – külön, a 14. ábra szerinti módon a valós mellett virtuális kúttal 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 12. ábra szerinti kútként veendő figyelembe, virtuális kút nélkül. Hatása azonban a többi kút hatásához adandó.



22. ábra. Magányos parti szűrészű kút vizsgálata
Figure 22. The examination of a single bank infiltration well

Parti szűrészű kút esetén is, melyet a 22. ábra mutat, a vízfolyás a 7. ábra szerinti nyílt határnak tekinthető, mely egy, a folyó túlsó partján elhelyezett betápláló kúttal vehető figyelembe. Azonban a korábban értékeltek szerint (lásd 1. ábra és 2. ábra összevetése) itt is lehetséges bányatelek kialakítása. Ezért ezt az esetet gyakorisága miatt kissé részletesebben adjuk meg.

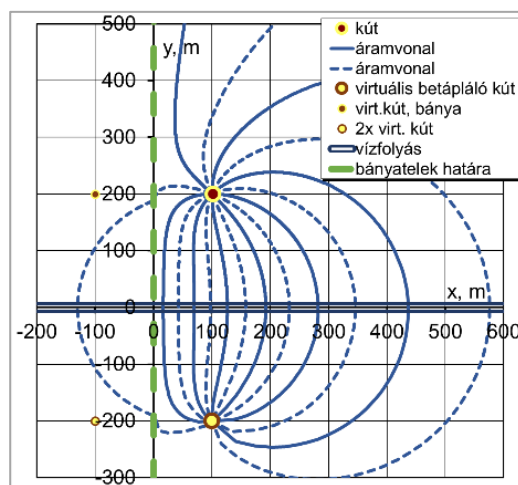
Visszatöltés nélkül a 7. ábra alapesetének - két eltérő előjelű, de azonos erősségű kút - megfelelően alakulnak a korábban is említett kör alakú áramvonalak, melyet a 23. ábra szemléltet. Az ábra az áttekinthetőség kedvéért csak az áramvonalakat mutatja, két folytonos, illetve a későbbi összehasonlíthatóság érdekében minden második vonal esetén szaggatott vonalakkal. A valós térrész a 22. ábra szerint az y tengely pozitív szakasza, míg a virtuális a negatív oldal. A valós és virtuális kutak előjelváltását a megfordított színezés mutatja. A 16 megszerkesztett áramvonal alapján jól látható, hogy a kút jelentős részben a folyó táplálja.



23. ábra. Magányos parti szűrészű kút áramvonalai
Figure 23. Streamlines of a single bank infiltration well

Ha egy ilyen területen a 22. ábra szerint $x = 0$ határvonallal bánya is üzemel, az esetleges visszatöltését továbbra is a 14. ábra szerint vizsgálhatjuk. Ekkor azonban nemcsak a tényleges kutat kell a folyóra tükrözni, hanem a visszatöltés miatti virtuális kutat is. Természetesen ebben az esetben mindkettő előjelet vált. Ezt mutatja az előzőhöz hasonló kialakítással a 24. ábra, ahol a valós térrész az $y > 0$, a virtuális pedig az $y < 0$ tartomány, a bányatelek határa a visszatöltéssel pedig az y tengely. Az ábrán az egy valós, termelő kút mellett megjelenik egyrészt a folyó miatt az előző virtuális betápláló kút, valamint a 14. ábra virtuális termelő kútja, mely a visszatöltés figyelembe vételéhez szükséges, és ezen kút tükörképe, fordított előjellel a vízfolyás miatt. Ezen utóbbit jelöli a jelmagyarázat kétszer virtuális kútnak. A kutak jelölőinek színezése a vízkivételnek, illetve betáplálásnak megfelelő. A visszatöltés anyagának szivárgási tényezője az eredeti tizedrésze ($k_2/k_1 = 0,1$), ugyanúgy, mint a 14. ábra esetén.

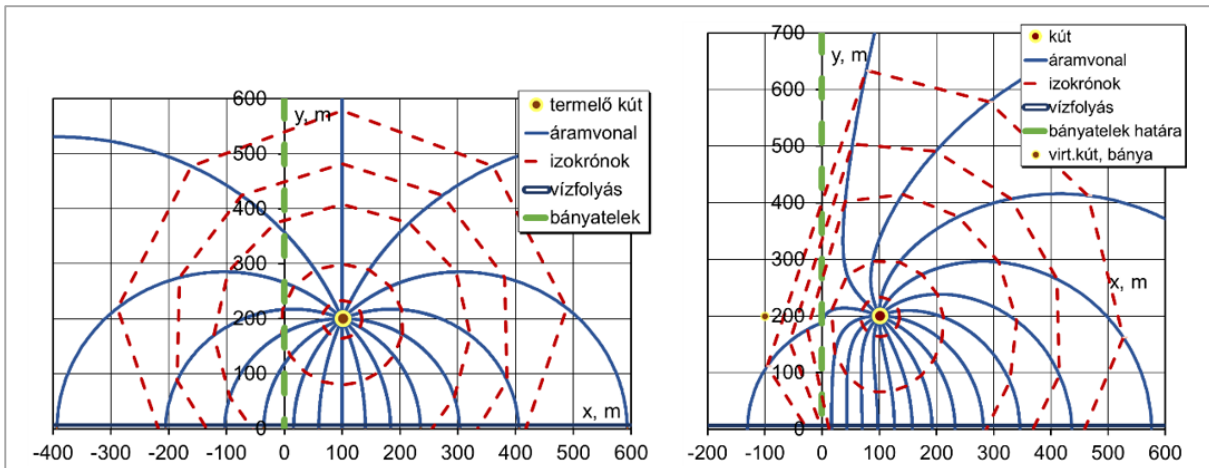
A 24. ábra hasonló jelleget mutat, mint a 23. ábra, de némileg torzult. A torzulás mértékét a szivárgási tényezők aránya befolyásolja, hasonlóan, mint ahogyan azt a 15. ábra sorozata is mutatja. A bányatelek határán megtört szaggatott áramvonal a korábbiakhoz hasonlóan a 11. ábra alapján megadott jelenséget mutatja.



24. ábra. Parti szűrészű kút áramvonalai visszatöltéssel
Figure 24. Streamlines of a single bank infiltration well with backfill

A 23. és a 24. ábra áramvonalainak összevetéséből jól látszik, hogy visszatöltés nélkül a kút a vízfolyás hosszabb

szakaszából kap vizet, míg visszatöltéssel ez lerövidül, és némileg megnő a háttérterület szerepe.



25. ábra. Áramvonalak és izokrónok folyóparton visszatöltés nélkül (bal) és $k_2/k_1 = 0,1$ arányú visszatöltéssel (jobb)
Figure 25. Streamlines and isochrones at a river without backfill (left) and with backfill of $k_2/k_1 = 0,1$ (right)

A 25. ábra a 22. ábra parti szűrészű vízbázisának áramvonalait és izokrónjait mutatja. A bal oldali a 12. ábra, a jobb pedig a $k_2/k_1 = 0,1$ aránnyal megszerkesztett 14. ábra parti szűrésre átdolgozott módosulata. Ebben az esetben is markánsan megmutatkozik a visszatöltés hatása: ha például a legszélső izokrónokot tekintjük mértékadónak, a visszatöltés miatt a védőterület bányatelek felé eső része jelentősen lecsökken. A korábban bevezetett paraméterek segítségével a 20. ábra szerinti általánosítás itt is ugyanúgy elvégezhető, a grafikon kialakítható. Ehhez azonban már lényegesen összetettebb számításokat kell nagyobb tömegben elvégezni.

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 20. ábra szerinti, vagy hozzá hasonló grafikon kialakítása már ugyanúgy 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 védőövezet B zónáján a kavicsbányászat már nem kizárt. Ezen területeken gyakran igen jó minőségű kavicsvagyon – ásványkincs – található.

Jelen munka során ivóvízbázisok közelében elhelyezkedő kavicsbányatavak talajvízjárást 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.

A korábban már ismertetett (Csoma és Wagner 2022, 2023) mindkét esetben elméletileg megalapozott, de egyszerűen alkalmazható eljárást mutattunk be a visszatöltés méretének – jellemzően szélességének – meghatározására.

Az első módszer 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 kúhidraulikai 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. A grafikon nemcsak egyedi kutak, de kútcsoportok, illetve parti szűrészű kutak esetén is megszerkeszthető, azonban ahhoz már inkább egy megfelelően felépített hidrodinamikai modell szükséges.

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

IRODALOMJEGYZÉK

Altmöder A., Aujeszky G., Scheuer Gy. (1989). Duna-földvár-déli országhatár közötti Duna-jobbparti partiszűrészű vízszerezés lehetőségei. Hidrológiai Közlöny 69. évf. 3. szám, pp. 159-167.

Aujeszky G., Petz R., Sajgó Zs., Scheuer Gy. (1990). Új partiszűrészű vízbázis a Duna bal partján Tassnál. Hidrológiai Közlöny 70. évf. 3. szám., pp. 162-172.

Bear, J. (1972). Dynamics of Fluids in Porous Media. American Elsevier Publishing Company Inc. New York

Bear, J. (1979). Hydraulics of Groundwater. McGraw-Hill Inc. New-York.

Bogárdi J. (1979). Hidromechanika. Egyetemi jegyzet, J9-945. Tankönyvkiadó, Budapest.

Busch, K.F., Luckner, L. (1972). Geohydraulik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

Csiszár E. (2020). Kihívások a Tass, Gudmon-foki parti szűrészű regionális vízbázis üzemeltetésében. Hidrológiai Közöny 100. évf. 1. szám, pp. 70–79.

Csoma R. (2023). A szivárgási tényező jelentősége kavicsbányatavak hatásvizsgálata esetén. Hidrológiai Közöny 103. évf. 4. szám, pp. 52–62. <https://doi.org/10.59258/hk.13174>

Csoma R., Wagner F. (2021). A talajvízmozgás modellezése külműveléses kavicsbányák esetén. Magyar Hidrológiai Társaság XXXVIII. Országos Online Vándorgyűlés, p. 20.

Csoma R., Wagner F. (2022). Visszatöltési megoldások kavicsbányatavak kedvezőtlen hatásainak csökkentésére. Magyar Hidrológiai Társaság XXXIX. Országos Vándorgyűlés, p. 21.

Csoma R., Wagner F. (2023). Kavicsbányászat és víz-

bázisvédelem érdekeinek összehangolása megfelelő védőtöltés kialakításával Magyar Hidrológiai Társaság XL. Országos Vándorgyűlés, p. 13.

Igrici-Kavics Kft. <https://igrickavics.hu/hazai-kavicslelohelyek> (Letöltés: 2023.)

Németh E. (1963). Hidromechanika. Egyetemi segéd-könyv. Tankönyvkiadó, Budapest.

Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR). <http://webgis.okir.hu/base/> (Letöltés: 2023)

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 vízellétesítmények védelméről.

219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet a felszín alatti vizek védelméről.

A SZERZŐK



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



WAGNER FLÓRA okleveles infrastruktúra-építőmérnök (2020), tervezőmérnök, doktorandusz a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén. PhD kutatási témája a Vízfolyás-talajvíz kölcsönhatás vizsgálata belterületen. Az építőmérnöki képzésben a Hidrológia, Vízépítés, vízgazdálkodás, Felszín alatti vizek és Közlekedési földművek és víztelenítése tárgyak oktatásában vesz részt. 2017 óta az Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a BME Zielinski Szilárd Építőmérnöki Szakkollégium Vízépítő Tagozatának senior tagja.