

Parti szűrésű rendszerek kezdeti értékelésének módszerei

Nyíri Gábor¹, Szűcs Péter²

¹ tudományos munkatárs, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, 3515 Miskolc, Egyetemváros (e-mail: gabor.nyiri1@uni-miskolc.hu)

² egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, 3515 Miskolc, Egyetemváros, (e-mail: peter.szucs@uni-miskolc.hu)

DOI: 10.59258/hk.20607



Kivonat

Hazánkban és Európában a nagy számban alkalmazott parti szűrésű rendszerek üzemeltetésében több évtizedes tapasztalattal rendelkezünk, bár még mindig vannak nyitott kérdések ezen rendszerek működésével kapcsolatban. Ezen tapasztalatok felhasználhatóak olyan országok ivóvíztermelési terveinél, amelyek a parti szűrésű rendszereket csak az utóbbi időkben kezdték el alkalmazni, illetve még csak tervezik ezen rendszerek használatát. Ilyen országok pl: India, Malajzia, illetve az afrikai országok. Ha egy potenciális parti szűrésű vízbázissal állunk szemben hasznos ismernünk, hogy az a folyó-vízáadó rendszer milyen hatékonysággal fog működni. Ehhez célszerű egy olyan értékelő rendszer kialakítása, amely egyszerű, könnyen használható és tartalmazza azon tapasztalatokat, amelyekkel például az európai országok rendelkeznek. Munkánkban a parti szűrésű rendszerekkel kapcsolatos főbb korábbi eredményeket, valamint ezen rendszerek kezdeti értékelésében nagy segítséget nyújtó eszközöket mutatjuk be, továbbá az egyik értékelési módszer véges differencia módszerrel történő összehasonlítását is elvégeztük.

Kulcsszavak

Parti szűrés, hidrogeológiai módszerek, numerikus modellezés, véges differencia módszer.

Early-stage evaluation of riverbank filtration systems

Abstract

We have decades of experience in operating the large-scale riverbank filtration (RBF) systems used in our country and in Europe, although there are still open questions regarding the operation of these systems. This experience can be used in drinking water production plans of countries that have only recently started to use RBF systems or are still planning to use these systems. Such countries include India, Malaysia, and African countries. When faced with a potential RBF water base, it is useful to know how efficiently the river-aquifer system will operate. For this, it is useful to develop an evaluation system that is simple, easy to use, and includes the experiences that, for example, European countries have. In our work, we present the main previous results related to RBF systems, as well as tools that are of great help in the early-stage evaluation of these systems, and we also compared one evaluation method with finite difference method.

Keywords

Riverbank filtration (RBF), hydrogeological investigation methods, numerical modelling, finite difference method.

BEVEZETÉS

A folyó és talajvíz kapcsolata alapvetően kétféle módon történhet: a folyó táplálja a talajvizet, vagy a folyó megcsapolja a talajvizet (Juhász 1976). Ezt a kölcsönhatást a javunkra fordíthatjuk, ha egy termelőkút segítségével az áramlás irányát úgy alakítjuk, hogy a víz a folyótól a termelőkút felé szivárogon (Tolnai 2008). Parti szűrésű rendszereknek tekintjük azokat a vízbázisokat, amelyek folyók kavicssteraszából termelnek, és utánpótlódásukat több mint 50%-ban a folyóból kapják (123/1997 Korm. rendelet). A 123/1997 Korm. rendeletben meghatározott definíció nem foglalkozik azzal, hogy a folyóból beszivárgott víz mennyi időt tölt a vízáadóban, amíg a termelőkutat eléri. Ezzel kapcsolatban korábban már felmerültek bizonyos aggályok, véleményünk szerint joggal és javaslat is látott napvilágot a definíció módosítására (Völgyesi 2014). A tartózkodási idő figyelembevétele a parti szűrésű rendszerek értékelését is módosítaná. Ezen javaslatok a hazai törvényi szabályozás változását még nem hozták el. Mindenesetre elmondható, hogy hazánk ivóvízellátása nagymértékben támaszkodik ezen típusú vízbázisokra (Nagy-Kovács és társai

2019). A történelemben először a XIX. század elején alkalmazták ezt a típusú víztermelési módszert Glasgow-ban, az Egyesült Királyságban (Ray és társai 2003). Ezen rendszerek széleskörű alkalmazására viszont Németországban került sor az 1870-es években (Hiscock és Grischek 2002). Az ipari méretű víztermelés megindulásával a XIX. és XX. század fordulóján több európai országban is előtérbe kerültek a parti szűrésű rendszerek, mint például Svájc, Franciaország, Finnország, és természetesen Magyarország is (Umar és társai 2017). Érdekes lehet, hogy vannak olyan esetek is, amikor a parti szűrésű víztermelés nem folyóhoz, hanem állóvízhez, tóhoz köthető (Hoffman és Gunkel 2009). Mivel ebben az esetben nem történik víz-áramlás az utánpótlódást biztosító víztömegben így a parti szűrésű víztermelésre jellemző folyamatok (pl. kolmatáció) máshogy zajlanak le. Tanulmányunkban a tavakból történő parti szűrésű víztermelésre a továbbiakban nem térünk ki. Az említett országokban manapság is nagy arányban történik parti szűrésű víztermelés. Svájc helyzete különösképpen is figyelemre méltó, hiszen ott az ivóvíztermelés nagyjából 80%-ban támaszkodik ezen típusú

vízbeszerzési lehetőségre (Ray 2008). Ha a látószögünket kiterjesztjük, akkor azt látjuk, hogy a világ más tájain még nem ennyire elterjedt a parti szűrés alkalmazása, mint Európában, hiszen a világ más országaiban főként a folyóvízből történő direkt vízkivételt részesítik előnyben. A folyóvizek magas szennyezettsége viszont a tisztítási folyamatokat költségessé és nehezzé teszi. India, Dél-Korea, Egyiptom, Malajzia azon országok közé tartoznak, amelyek felismerték a parti szűrés folyamatának előnyeit és kezdik kiaknázni ezen rendszerekben rejlő lehetőségeket (Shamrukh és Abdel-Wahab 2008, Ojha 2011). A partiszűrés folyamata során a felszíni víz több természetes tisztítási folyamaton megy keresztül (mechanikai szűrés, adszorpció, biológiai szűrés stb.), így költséghatékonyra teszi a kitermelt nyersvíz további tisztítását (Hiscock és Grischek 2002). Azt is jól tudjuk, hogy a parti szűrés folyamata emberi tevékenység nélkül nem zajlódik le, hiszen a víztermelés hatására kialakuló hidraulikus gradiens irányának és nagyságának megváltozása indítja el ezt a folyamatot (Nyíri és társai 2022). Ezen folyamat megfelelőségének jellemzése nem magától értetődő, hiszen az alapvető hidraulikai, biokémiai és fizikai folyamatok erősen helyspecifikusak és időben változóak (Erdélyi és társai 2025). A szakirodalom ezen vízbázisokat több aspektusból is megközelítette annak érdekében, hogy a tisztítási és hidraulikai folyamatokat jobban megértsük. A kutatások között találhatunk geofizikai-, vízkémiai-, izotópos vizsgálatokat, numerikus modellezést és próbaszivattyúzási tesztek kiértékelését is (Kármán és

társai 2014, Székely és társai 2021, Czuppon és társai 2024, Erdélyi és társai 2025). Ezen vizsgálatok különböző irányból próbálják megvizsgálni és megérteni a rendszer sajátosságait és a szűrési folyamat hatékonyságát.

A parti szűrész rendszerek hatékonyságának és alkalmazhatóságának megítélése nem könnyű feladat főként a helyi sajátosságok miatt, azonban a parti szűrész rendszereket egyre inkább alkalmazni kívánó országok igénye növekedett egy ilyen értékelési rendszer iránt.

PARTI SZÜRÉSŰ RENDSZEREK ÉRTÉKELÉSE A SZAKIRODALOMBAN

A parti szűrész rendszerek értékelése többféle szempont szerint történhet. Ezen rendszerek esetében tudnunk kell, hogy mennyi vizet tudunk kitermelni, valamint azt, hogy a kitermelt nyers víz milyen minőségű lesz. A mennyiség ismerete azért fontos, hogy a területen felmerülő vízigényeket ki tudjuk-e elégíteni, a minőség pedig alapvetően befolyásolja azt, hogy a nyersvíz kitermelése után szükséges-e további vízkezelési technológia alkalmazása. Ezen időben változó paraméterek ismerete a már meglévő rendszereknél is fontos támpont, hiszen így tudjuk fenntartható módon biztosítani az ivóvizet a lakosság, vagy az ipar számára. A szakirodalomban alapvetően a vízkémiai-, hidraulikai modellezési-, próbaszivattyúzási vizsgálatokat, valamint ezek kombinációját találhatjuk. Ezen nemzetközi és hazai kutatási eredményekből mutat egy kis ízelítőt az 1. táblázat, a 2. táblázat és a 3. táblázat.

1. táblázat. Néhány parti szűréssel kapcsolatos korábbi vízkémiai vizsgálat és azok főbb megállapításai
Table 1. Some previous water chemistry studies related to RBF systems, and their main findings

Szerző	Célkitűzés	Fő megállapítás
Doussan és társai (1997)	A Szajna partján lévő parti szűrész rendszer vízkémiai modellezése a szűrési folyamat mentén.	A szűrés során végbemenő folyamatokat az oxigén, a nitrát és a szulfát koncentrációk változása jelzi. Az alacsony szivárgási sebesség a szerves szén nagy mennyiségű bevitelével együtt kedvező feltételeket teremt a redukációs folyamatok végbemeneteléhez a vízádóban. Ezzel együtt a folyómederben ammónium halmozódik fel.
Holzbecher (2006)	A parti szűrés természetes lebontó folyamatainak számszerűsítése a FEMLAB segítségével.	Az alkalmazott szoftver használható a kolmatált réteg, a galériák és termelőkutak hatásainak figyelembevételére.
Abdel-Fattah és társai (2008)	A szennyeződésterjedést gátló tényezők meghatározása egy Egyiptomi mintaterületen.	Az alga, baktérium és egyéb lebegőszennyezőanyag esetében az eltávolítási hatások rendkívül jók. A tisztítási hatásokot befolyásoló fő paraméterek közül az elérési idő, valamint a termelőkutak mélysége volt meghatározó.
De Vet és társai (2010)	A folyóból származó és a szűrt víz kémiai tulajdonságainak meghatározása Hollandiában.	A parti szűrész víz hozzávetőlegesen azonos mennyiségű mangánt tartalmaz a teljes nyersvízben mérhető koncentrációhoz viszonyítva. A parti szűrt víz kedvezőbb alternatívát kínál az ivóvíz előállításához, mint a közvetlenül a folyóból kitermelt víz.
Gorski (2011)	A parti szűrész víz minőségének vizsgálata egy lengyelországi mintaterületen	A parti szűrész víz plankton- és baktériumkoncentrációja jelentősen lecsökkent. A lassú csökkenés a TOC és az oxidálóképesség függvénye.
Derx és társai (2013)	Egy feltételezett folyó-vízádó rendszer kölcsönhatásainak vizsgálata történt. A rendszerben a különböző vírus koncentrációkat vizsgálták a folyó vízállásának függvényében.	A permanens áramlással szemben a folyó vízszintjének fluktuációja a vizsgált vírusokat messzebbre és nagyobb koncentrációban szállítja a vízádóban. A tanulmány azt javasolja, hogy a folyó vízszintjének változását és annak negatív hatását vegyék figyelembe a termelőkút folyótól való biztonságos távolságának meghatározásánál.

<i>Bradley és társai (2014)</i>	A parti szűrés hatékonyságának meghatározása gyógyszermaradványok eltávolítása kapcsán egy szennyvízzel terhelt folyó mellett. Helyszín: USA, Iowa állam.	A parti szűrés alkalmas a gyógyszermaradványok felszíni vízből történő eltávolítására, azonban meg kell jegyezni, hogy a szennyvízzel terhelt felszíni vizek a felszín alatti vizek elszennyeződését okozhatják a felszíni víztől számított több 10 méteres távolságban is.
<i>Kármán és társai (2014)</i>	Elérési idő meghatározása oxigén izotóp vizsgálatok felhasználásával magyarországi mintaterületen.	A tanulmányban alkalmazott modell széles alkalmazási tartománnyal rendelkezik és különösen alkalmazható a parti szűrős rendszerekben. A tanulmány azt mutatja, hogy a diszperziós modell alkalmazható változó hidrodinamikai körülmények között azon időtartamok kiválasztásával, amelyek alatt a folyó vízszintje állandó marad.
<i>Salamon és Goda (2019)</i>	Kombinált rendszer (parti szűrés + fordított ozmózis) vizsgálata. A rövid tartózkodási idő hatásának vizsgálata a fordított ozmózis optimális végbe- meneteléhez szükséges feltételekre.	Megállapították, hogy a parti szűrt víz megfelel a gyártó által meghatározott minőségi előírásoknak és a fordított ozmózis membrán áteresztőképessége hosszú ideig, akár 50–100 napig is fenntartható. Ilyen kombinált rendszer esetében fontos az, hogy a folyópart és a termelőkút között kis távolság legyen. Ez segít fenntartani az oxidatív körülményeket és minimalizálni a talajvíz áramlásából származó vas koncentrációt.
<i>Czuppon és társai (2024)</i>	Környezeti izotópok felhasználása a felszíni víz és a felszín alatti víz kapcsolatának meghatározására két Duna menti mintaterületen.	A környezeti izotópok vizsgálatával és a konvolúciós módszer alkalmazásával sikerült meghatározni az elérési idők mediánját, valamint a keveredési arányt a mintaterületeken. Az elérési idő eloszlások a parti szűrős víz vízádóba történő bekerülése és kitermelése között eltelt idő függvényében változnak.
<i>Erdélyi és társai (2025)</i>	Numerikus modellezés és vízkémiai vizsgálatok összekapcsolása a parti szűrős rendszer tisztítási hatásfokának meghatározásához, magyarországi mintaterületen.	A javasolt, numerikus transzportmodellezéssel számított tartózkodási idő eloszlásokon alapuló módszer pontosabb becsléseket ad a tisztítási hatásfokra, mint az általánosan használt módszerek. A folyóvíz és a parti szűrős kutak ugyanazon napi eredményeinek összehasonlítása vagy a fix időintervallumú eltolódások figyelmen kívül hagyják a víztartó réteg időben változó hidrogeológiai folyamatait, és a tényleges tisztítási hatásfok alul- vagy túlbecsléséhez vezethetnek.

2. táblázat. Néhány parti szűrőssel kapcsolatos korábbi modellezési vizsgálat és azok főbb megállapításai
Table 2. Some previous modeling studies related to RBF systems, and their findings

Szerző	Célkitűzés	Fő megállapítás
<i>Chen (2001)</i>	Vízáramlás nyomon követése szezonális vízkitermelés mellett hipotetikus rendszerekben.	A folyóvíz vízádóba történő szivárgása lassú folyamat és a vizsgált esetekben csak 90 nap alatt érik el a vízkivételi műveket. Olyan rétegekben, ahol a természetes hidraulikus gradiens iránya a folyó felé mutat, a víztermelés leállásakor a már vízádóba bejutott víz visszakerülhet a folyóba.
<i>Lautz és Siegel (2006)</i>	A felszíni és felszín alatti víz keveredésének meghatározása MODFLOW és MT3D segítségével. Helyszín: USA, Wyoming	A tanulmány fő eredménye, hogy a numerikus szimulációk és a hagyományos nyomjelző tesztek segítségével nyomon tudják követni a szennyezőanyagok bomlási sebességét a hiporeikus zónában.
<i>Ray és Prommer (2006)</i>	A kút kialakítás és a kitermelt hozam szennyezőanyag transzportra gyakorolt hatásának vizsgálata az USA-ban.	A kút kialakításától és a szivattyúzás mértékétől függően a nagy vízvezetőképességgel rendelkező területeken a szennyezőanyagok könnyen szétterülhetnek, amelyek végül a kútvízben jelennek meg.
<i>Constantz (2008)</i>	Hőmérséklet hatásának vizsgálata a parti szűrés kapacitására inverz modellezési megközelítéssel.	A hőmérséklet változását a víztermelő mű folyótól való távolságával hozták összefüggésbe. A felszín alatti víz szintjének és a folyó vízszintjének nem volt hatása a hőmérséklet változására.
<i>Shankar és társai (2009)</i>	Felszín alatti víz és parti szűrt víz arányának meghatározása véges elemes módszerrel egy németországi mintaterületen.	A felszín alatti víz és parti szűrős víz aránya a folyó vízállásának, a termelt hozamnak, a folyó-termelőkút távolságnak, valamint a vízádó tulajdonságainak függvénye. A vizsgálat alapján a kitermelt vízmennyiség 75%-a a folyóból származik.

<i>Mustafa és társai (2014)</i>	Analitikus modellezési módszerek áttekintése.	A legtöbb analitikai módszer inkább a folyóból víz-adóba történő áramlás mértékével foglalkozik, mintsem a szennyezőanyag transzporttal. A Laplace és Fourier módszerek népszerűek a parti szűrész rendszerek analitikus modellezésével foglalkozó szakemberek körében.
<i>Sandhu és társai (2011)</i>	A parti szűrész hatékonyságának felmérése a Gangesz partján.	Az eredmények alapján a parti szűrész hatékony víztisztítási technika a folyóvíz szennyeződéseinek, különösen a coliform baktériumoknak az eltávolítására. A területen található parti szűrész kutak fenntartható módon biztosítják az ivóvizet. A folyó és az alatta lévő vízadó közötti tökéletes hidraulikai összeköttetés a jövőben is fenntartható vízellátásra utal.
<i>Lee és társai (2012)</i>	A csápos kút kialakításának kitermelhető hozamra gyakorolt hatásának vizsgálata egy koreai mintaterületen.	A vízszintes csápokba belépő víz áramlási sebessége nem egyenletes a csáp mentén, hanem a központi akná-tól való távolsággal növekszik. Így a csápos kútnak a folyótól való távolsága befolyásolja a szűrt folyóvíz mennyiségét, ami a csáposkút elhelyezkedésének és szerkezeti kiképzésének a jelentőségét mutatja.
<i>Völgyesi (2014)</i>	A mederkapcsolati hatások, a tartózkodási idő jelentőségének ismertetése.	A parti szűrész víztermelés lehetőségei Magyarországon sokkal kisebbek, mint ahogy azt hivatalosan nyilvántartják. Több javaslatot tesz a szerző a hazai parti szűrész rendszerek minőségi és mennyiségi jellemzőinek jobb megismerésére.
<i>Székely és társai (2021)</i>	Csápos kutak hidraulikai modellezése numerikus eljárások segítségével.	A MODFLOW MNW2 modulját más fél-analitikai módszerek mellett sikeresen alkalmazták a szerzők csápos kutak hidraulikai modellezésére.
<i>Yadav és társai (2024)</i>	Parti szűrész rendszerek korai tervezésére szolgáló program kifejlesztése.	A tanulmány egy olyan eszközt (RBFsim) mutat be, amely könnyen alkalmazható parti szűrész rendszerek korai értékelésére (hely kiválasztás, kút helyzetének meghatározása, üzemeltetés).

3. táblázat. Néhány jelentősebb szakirodalom, ahol próbaszivattyúzási vizsgálatokat végeztek

Table 3. Some previous studies related to RBF systems where pumping tests were used

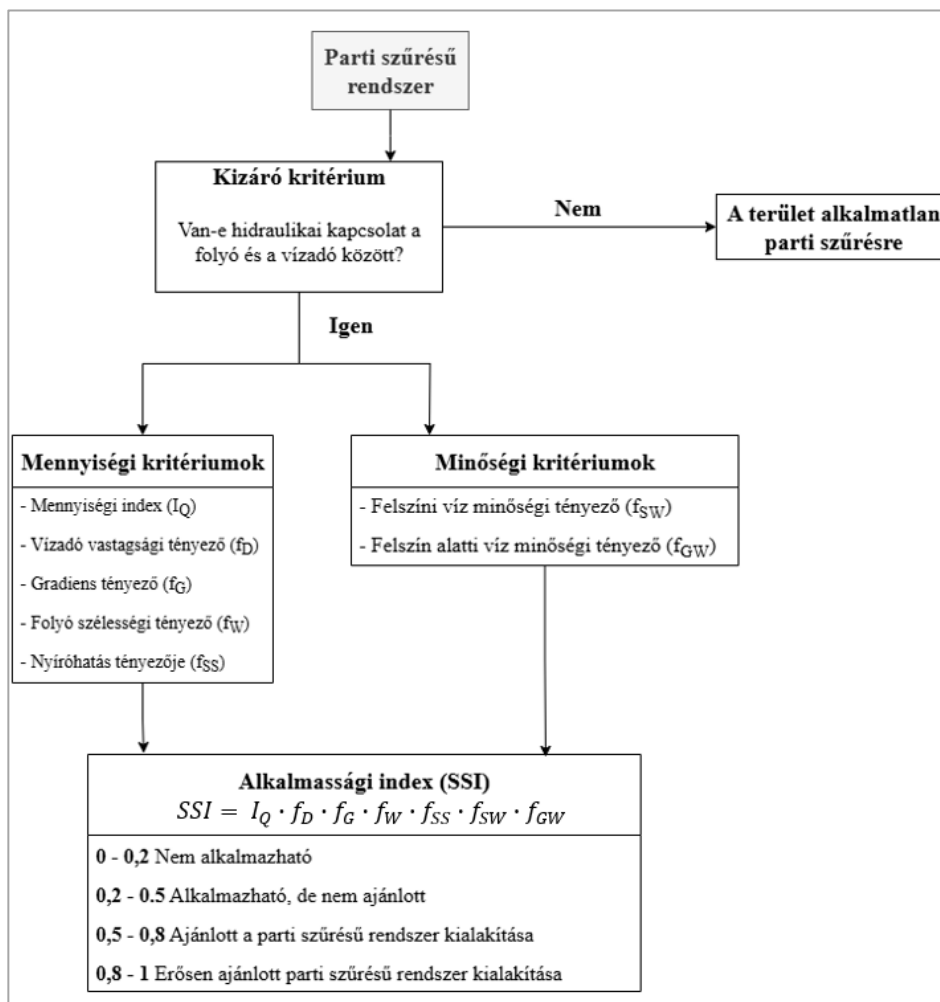
Szerző	Célkitűzés	Fő megállapítás
<i>Caldwell (2006)</i>	A hőmérséklet néhány hidraulikai tulajdonságra gyakorolt hatásának vizsgálata.	A parti szűrész rendszer hozamát nagymértékben befolyásolja a vízadó transzmisszivitása, a parti szűrész érintett folyószakasz hossza, valamint a vízadó és a folyó hőmérséklete. Erős összefüggés van a fajlagos kapacitás és a parti szűrészben részt vevő víz hőmérséklete között.
<i>Hubbs (2006)</i>	A kolmatáció és a hőmérséklet szivárgási tényezőre és fajlagos kapacitásra gyakorolt hatásának vizsgálata.	A szivárgási tényező és a fajlagos kapacitás változását a kolmatáció és a folyó és a vízadó között lejátszódó hőmérsékleti változás befolyásolja. Magasabb hőmérsékletű víz magasabb fajlagos kapacitást von maga után.
<i>Schubert (2006)</i>	A kolmatáció dinamikájának és hatásainak meghatározása a Rajna mentén.	A kolmatációs folyamatot általában a lefolyás dinamikája, a folyóvíz minősége és a kutak elhelyezkedése szabályozza. Az eltömődési folyamatok befolyásolják a parti szűrész kapacitását.
<i>Shamsuddin és társai (2014)</i>	A numerikus modellezés és a próbaszivattyúzás szerepének meghatározása a fajlagos hozam, valamint az elérési idő meghatározásában.	A folyótól való távolságnak nagyobb hatása van az elérési időre, mint a kitermelt hozamnak.
<i>Ghazali és társai (2015)</i>	Parti szűrész víz ivóvízként történő felhasználhatóságának vizsgálata Malajzia Selangor államában.	Az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a parti szűrész képes csökkenteni a zavarosságot. A vizsgált területen lévő vízadóból megfelelő minőségű és elegendő mennyiségű ivóvizet lehet előállítani Selangorban.

A PARTI SZŰRÉSŰ RENDSZEREK KIALAKÍTHATÓSÁGÁNAK FELTÉTELEI

A korábban említett szakirodalmak vizsgálatai alapján már kitűnhetnek olyan fontos megállapítások, amelyeket több szerző is megerősít és az üzemeltetésben is használható információt adnak. Ilyen általános megállapítás például, hogy a parti szűrés a lebegőanyag, a biológiai szervezetek eltávolításában rendkívül jó hatásokkal dolgozik, vagy, hogy a kolmatációs folyamat csökkenti ezen rendszerek kapacitását stb. Ahogy korábban említettük, hazánk vízművei nagy tapasztalattal rendelkeznek az ilyen rendszerek üzemeltetésében, így a hazai parti szűrésű rendszerek viszonylag jól ismertek és az alap értékelésükre nem feltétlen van szükség. A világ többi részén viszont ezen rendszerek kiaknázása csak az utóbbi időkben indult meg, így az Európában szerzett tapasztalatokat az ottani szakemberek jól tudják kamatoztatni. Egy folyó partján létesítendő új parti szűrésű rendszer kialakítása a hidraulikai és a vízföldtani értékeléssel kezdődik, amely-

nek fő eldöntendő kérdése az, hogy az adott terület alkalmas-e parti szűrésre, avagy sem. Egy a közelmúltban napvilágot látott tanulmány (Hoang és társai 2022) erre az értékelési feladatra jó alternatívát nyújt, amelyet az alábbiakban röviden ismertetünk.

A parti szűrés folyamatához elengedhetetlen az, hogy a hidraulikus gradiens irányát úgy alakítsuk, hogy az áramlás a folyó felől a termelőkút irányába történjen. Ez alapvetően viszont nem elégséges, csak abban az esetben, ha a folyó és a vízáadó réteg között van hidraulikai kapcsolat. Az említett értékelési módszer első lépése tehát, hogy megállapítsuk, hogy van-e hidraulikai kapcsolat a folyó és a vízáadó réteg között. Ha ez nem áll fenn, akkor az adott terület nem alkalmas parti szűrésű rendszer kiépítésére. Ha ez a kapcsolat rendelkezésre áll, akkor a továbbiakban a területnek mennyiségi és minőségi kritériumoknak kell megfelelnie (1. ábra). Az 1. ábrán szereplő minőségi és mennyiségi kritériumokat az alábbiakban mutatjuk be.



1. ábra. A Hoang és társai (2022) által kialakított értékelési rendszer folyamatábrája
Figure 1. Evaluation process of RBF systems made by Hoang et al (2022).

Mennyiségi kritériumok

A kitermelhető hozamot a terület hidrogeológiai adatai, valamint a folyó hidraulikai és geometriai adatai befolyásolják. A mennyiségi kritériumot a bemutatott értékelési rendszerben 5 tényező befolyásolja (Hoang és társai 2022):

- Mennyiségi index (I_Q): A vízáadó transzmisszivitásától, vastagságától, valamint szivárgási tényezőjétől függő tényező. Értéke 0-1 között változhat.
- Vízáadó vastagsági tényező (f_D): Kis vastagsággal (<10 m) jellemezhető területek korrekciójára használt tényező. Értéke 0-1 között változhat.

- Gradiens tényező (f_G): A folyó felé mutató alacsony hidraulikus gradiens érték segít abban, hogy nagyobb folyóhányadot érjünk el a víztermelés során. Minél kisebb ez a gradiens érték, annál nagyobb a gradiens tényező értéke, ami 0,8 – 1 között változhat.
- Folyó szélességi tényező (f_W): A kis folyószélesség csökkenti a folyóból beáramló víz mennyiségét és növeli a mederbe való beszivárgás mértékét és sebességét, ami növeli az eltömődés veszélyét. Minél nagyobb a folyó szélessége, annál nagyobb ez a tényező, amelynek értéke 0-1 között változhat.
- Nyíróhatás tényezője (f_{SS}): A folyó és medre között fellépő alacsony nyírófeszültség növeli a lebegőanyag, valamint a szerves anyag kiülepedésének lehetőségét a mederfenéken. Ez a nyíróhatás a folyó mélységének és esésének a függvénye. A nyíróhatás növekedésével ezen tényező nagysága nő, aminek értéke 0,8-1 között változhat.

Minőségi kritériumok

A parti szűrész rendszerek értékelése során nem csak a mennyiségi kérdések fontosak, hanem a minőségi kérdések is. Az említett értékelési rendszer a minőségi paramétereket az alábbi két tényezővel veszi figyelembe (Hoang és társai 2022):

- Felszíni víz minőségi tényező (f_{SW}): a biológiailag lebomló szerves szén és az ammónium felszíni vízben lévő nagy mértékű jelenléte a vízáadó tisztítóképeségét erősen befolyásolja, amely csökkenti a parti szűrész víz minőségét. Az említett szennyezőanyagok jelenléte tehát csökkenti ezen faktor értékét, amely 0,7-1 közötti intervallumban változhat.
- Felszín alatti víz minőségi tényező (f_{GW}): A parti szűrész víz szennyezett felszín alatti vízzel történő keveredése csökkenti a kitermelt víz minőségét. A vízáadó magas arzén, ammónium, vas, mangán, oldott szerves szén (DOC) stb. koncentrációja csökkenti ezen faktor értékét, amely 0,7-1 között változhat.

A minőségi és mennyiségi kritériumok meghatározása után a terület alkalmassági indexét meg lehet határozni az 1. egyenlet segítségével:

$$SSI = I_Q \cdot f_D \cdot f_G \cdot f_W \cdot f_{SS} \cdot f_{SW} \cdot f_{GW} \quad (1)$$

ahol SSI a terület alkalmassági index (site suitability index), a többi tag pedig a korábban említett minőségi és mennyiségi vonatkozó faktorok. A terület alkalmassági indexének kiszámítása után a vizsgált területet az alábbi kategóriákba tudjuk besorolni (1. ábra):

- alkalmatlan,
- alkalmas, de nem nagy méretű rendszerre,
- ajánlott nagy méretű rendszer kialakítása,

- erősen ajánlott a nagy méretű rendszer kialakítása (Hoang és társai 2022).

A fent említett módszer alkalmas arra, hogy azokat a vízföldtani és hidraulikai adottságokat értékeljük, amelyeken számottevő beavatkozást nem tudunk tenni, vagyis az adottságokat mérjük föl. Fontos azonban a termelőkút létesítéssel és víztermeléssel járó hatásokat is, amelyekkel mi is befolyásolhatjuk a parti szűrész rendszerek működését.

RBFSIM PROGRAM ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA

Amennyiben egy terület vizsgálata során arra az eredményre jutunk, hogy alkalmas lehet parti szűrész rendszer kialakítására, újabb kérdések vetődhetnek fel. Ilyen például, hogy

- milyen távolságba helyezzük a termelőkutat annak érdekében, hogy a folyóhányad mértékét növeljük?
- mekkora lesz az a folyószakasz, amelyre az adott kút hatással van?
- a különböző hozamok milyen depressziót okoznak a vízáadóban?
- stb.

Ezekre a kérdésekre előzetes választ tudunk adni egy egyszerű eszköz segítségével, amelyet németországi és amerikai kutatók fejlesztettek ki (Yadav és társai 2024). A parti szűrész rendszerek kezdeti értékelésénél fontos lehet az egyszerűség, a gyorsaság és a költséghatékonyság, minimális adatigény mellett. Ezen tulajdonságok jól jellemzik az RBFSim alkalmazást, amely könnyen használható alternatívát kínál a fenti kérdések eldöntésére. Az RBFSim alkalmazás egy szimulációs eszköz, amely a parti szűrész rendszerek korai értékelésénél kap szerepet. Használatával gyorsan és egyszerűen képet kaphatunk többek között a folyóhányad, az elérési idő, valamint a termelés során kialakuló depresszió mértékéről. Az eszköz analitikus elemek módszerét (AEM) használja a számításokhoz. Az alkalmazás a következő főbb koncepciókkal működik:

- a vízáadót egy 2D vízszintes sík tartomány definiálja,
- a vízáadó homogén és izotróp,
- az áramlási tér egyforma,
- a folyó a terület szélén, állandó nyomású határként helyezkedik el,
- a termelőkút egy vertikális csőkút (Yadav és társai 2024).

Az alkalmazás adatigénye minimális, így a parti szűrész rendszerek kezdeti értékelésekor jól használható. Az alkalmazás adatigényét a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: Az RBFsim alkalmazás adatigénye (Yadav és társai 2024)

Table 4. The data need of RBFsim application (Yadav et al 2024)

Kategória	Adat	Mértékegység
Vízadóra vonatkozó adatok	Vízadó vastagsága	m
	Effektív porozitás	[-]
	Hidraulikus gradiens	‰
	Szivárgási tényező	m/nap
Termelőkútra vonatkozó adatok	Kút azonosítója	[-]
	X és Y koordináták	m
	Termelt hozam	m ³ /nap
Folyóra vonatkozó adatok	Kolmatált réteg vastagsága	m
	Kolmatált réteg szivárgási tényezője	m/nap
	Folyó vízszintje	m

Az RBFsim alkalmazás előnye tehát, hogy minimális adatigénnyel dolgozik, gyors és megbízható eredményekkel szolgál a parti szűrésű rendszerek kezdeti értékelésénél, illetve a termelőkút víztermelése során bekövetkezett hatások vizsgálatánál. Az eszköz alkalmas továbbá olyan összefüggések meghatározására, amelyek a parti szűrésű rendszert jellemzik. Ilyen gyakorlati alkalmazások lehetnek például:

- depresszió mértékének meghatározása a kút folyótól való távolságának függvényében,
- átlagos elérési idő meghatározása a kút folyótól való távolságának függvényében,
- folyóhányad meghatározása a kút folyótól való távolságának függvényében,
- átlagos elérési idő meghatározása a termelt hozam függvényében,
- depresszió mértékének meghatározása a kolmatált réteg tulajdonságainak függvényében.

Az alkalmazásnak természetesen vannak olyan korlátai, amelyek nem teszik lehetővé, hogy komplex feladatokat el tudjunk végezni vele. Ilyen főbb alkalmazási korlátok az alábbiak:

- csak függőleges kúttal számolhatunk,
- a program nem tud több vízföldtani réteget kezelni,
- a modellezett terület 500 m x 500 m,
- csak permanens áramlást tudunk szimulálni.

Elmondható tehát, hogy az RBFsim alkalmazás az adott parti szűrésű rendszer nagyvonalú megismerésére szolgál (termelőkút folyótól való távolságának nagyságrendi meghatározása, adott hozam milyen folyószakaszt használ a parti szűrés során, nagyságrendileg mekkora depresszióra számíthatunk stb.). Részletesebb numerikus modellezést kell alkalmaznunk, ha más kúttípus (pl. csáposkút) telepítése a cél, vagy transziens folyamatokat szeretnénk vizsgálni. Az alkalmazási korlátok mellett viszont egy olyan vizsgálati lehetőséget biztosít, amely gyors és jó betekintést enged a parti szűrésű rendszerek működésébe (Yadav és társai 2024). Az alkalmazás az alábbi weboldalon található: <https://rbf-sim.streamlit.app/>. Az alkalmazás forráskódja pedig a következő weboldalról érhető el: <https://github.com/HTWDMAR/RBFsim>.

AZ RBFSIM ÉS A MODFLOW SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

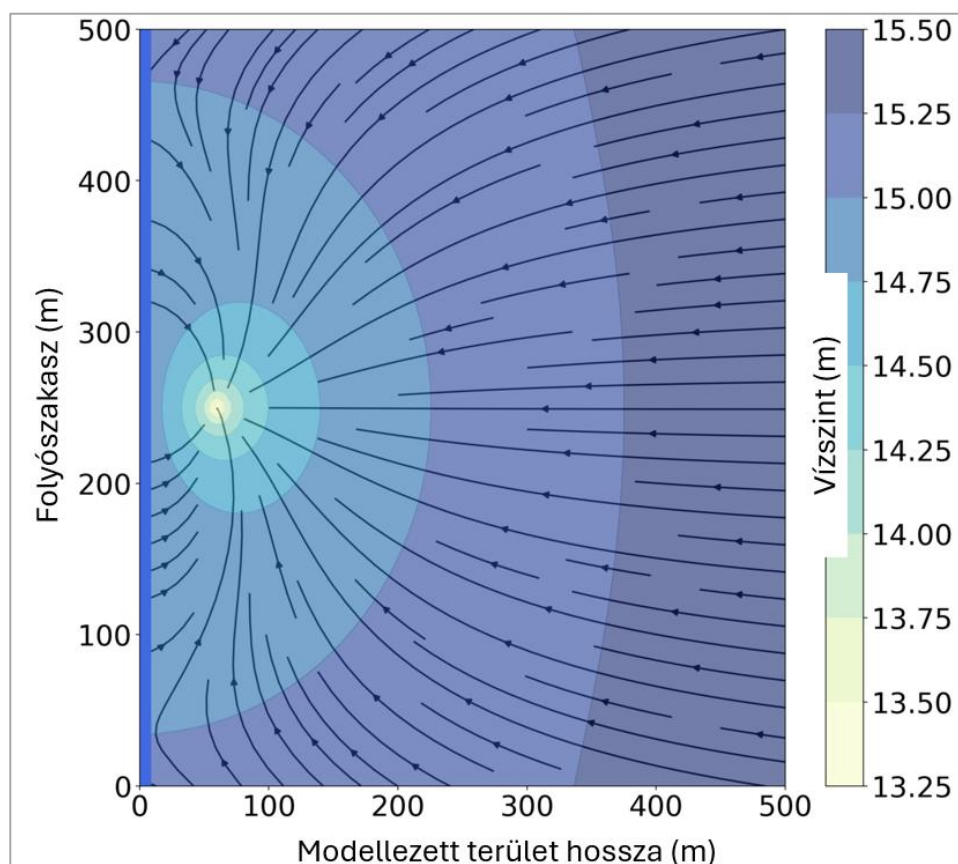
Munkánk során arra voltunk kíváncsiak, hogy az RBFsim applikáció által számított vízszint eloszlás mennyiben tér el egy más módszert alkalmazó szoftver által számított vízszinteloszlástól. A vizsgálat elvégzéséhez a MODFLOW programot használtuk, amely véges differencia módszert alkalmazó program (Kovács 2004). A két módszer összehasonlításához mindkét programban lefuttattunk egy egyszerű modellt, amelyek azonos paraméterekkel rendelkeztek. A modell steady state állapotot mutat, tehát egy permanens állapotot feltételez. A termelőkút a folyótól 60 m távolságban helyezkedik el. Az alkalmazott szivárgáshidraulikai paramétereket az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat, Az összehasonlítás során alkalmazott hidraulikai paraméterek
Table 5. Hydraulic parameters used during the comparison

Kategória	Adat	Mértékegység	Érték
Vízadóra vonatkozó adatok	Vízadó vastagsága	m	15
	Effektív porozitás	[-]	0,2
	Hidraulikus gradi- ens	‰	0,001
	Szivárgási tényező	m/nap	50
Termelőkútra vonatkozó adatok	Kút azonosítója	[-]	1
	Termelt hozam	m ³ /nap	2000
Folyóra vonatkozó adatok	Kolmatált réteg vas- tagsága	m	0,01
	Kolmatált réteg szí- várgási tényezője	m/nap	0,5
	Folyó vízszintje	m	15

Az összehasonlító vizsgálat abból állt, hogy az RBFsim alkalmazást lefuttattuk az 5. táblázatban szereplő paraméterekkel. Ez után a Groundwater Modeling System (GMS) program segítségével egy MODFLOW modellt építettünk fel, amely ugyanezekkel a paraméterekkel és az RBFsim által alkalmazott peremfeltételekkel dolgozik. Az RBFsim által számított eredmények több típusban elérhetőek. Az alkalmazás egy pdf dokumentumot generál,

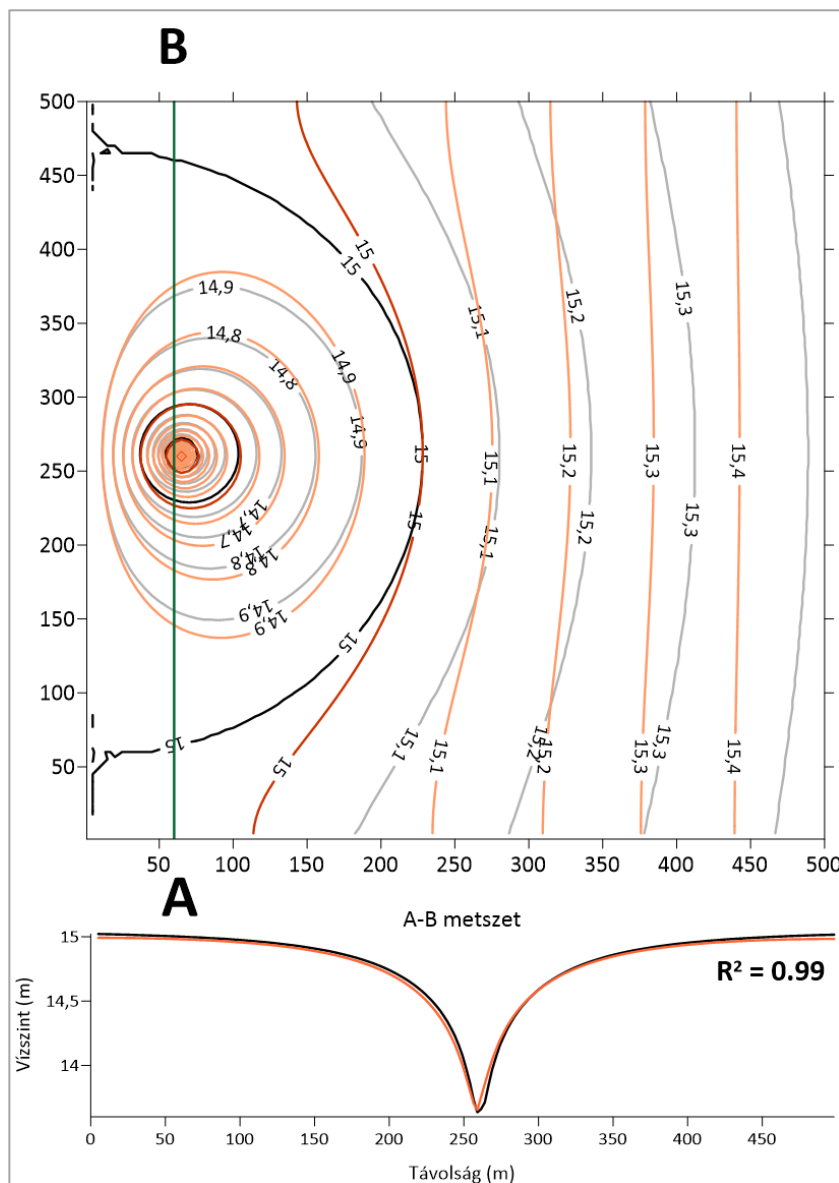
amelyben a bemeneti adatok és a számított eredmények is megtalálhatóak. Eredményként egy vízszint eloszlás térképét, egy elérési idő adatait ábrázoló térképet, valamint folyóhányadra és elérési időre vonatkozó adatokat kapunk. A kapott adatokat csv fájlban is le tudjuk tölteni, így jól összehasonlíthatóak más módszer eredményeivel is. Az RBFsim alkalmazás által számított vízszinteloszlás térképét a 2. ábra mutatja.



2. ábra. Az RBFsim alkalmazás által generált vízszinteloszlás térkép az áramlási pályákkal
Figure 2. Head distribution calculated by RBFsim application

Az összehasonlítás során a MODFLOW programban is ugyanazt a modellt építettük fel, mint amivel az RBFsim számolt. A modell 500 m x 500 m területet fed le. A cellák mérete 5 m x 5 m. A nyugati peremet a folyó adja, a keleti peremet pedig állandó nyomású cellákkal definiáltuk. A termelőkút folyótól való távolsága 60 m. A két módszer által számított vízszinteloszlás összehasonlítását a 3. ábra mutatja. Az összehasonlítás során azt

tapasztaltuk, hogy a két módszer által számított vízszintkülbségek elfogadható mértékűek, a 3. ábra A-B met-szetén például 7 cm a legnagyobb vízszintkülbség. A 3. ábraán látható az R^2 értéke is, amely 0,99-nek, míg az RMSE érték 0,031-nek adódott. Megállapítható tehát, hogy az RBFsim alkalmazása a mi számításaink szerint is nagy megbízhatósággal használható parti szűrészű rendszerek kezdeti értékelése során.



3. ábra. Az RBFsim (fekete vonalak) és a MODFLOW (sárga vonalak) által számított vízszinteloszlás, valamint az A-B metszetben számított vízszintek

Figure 3. Head distribution calculated by RBFsim (black lines) and MODFLOW (orange lines), and the calculated water level in the A-B cross section.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánkban a hazánkban is nagy jelentőséggel bíró parti szűrészű rendszerek értékelésével foglalkoztunk. A nyugati országokban már régóta alkalmazott rendszerekről nagy mennyiségű információ és üzemeltetési tapasztalat áll rendelkezésre, amelyet fel tudunk használni újonnan létesülő parti szűrészű rendszerek kezdeti értékelésénél is. Ezen vízbázisokat az afrikai és ázsiai országok is egyre nagyobb mértékben alkalmazzák, hiszen a vízkezelési folyamatok egy részét természetes szűrő mechanizmusok révén a parti

szűrész már elvégzi. Ez hozzájárul ahhoz, hogy a nagy költségigényű technológiák alkalmazását kiváltsuk és a kitermelt víz szennyezőanyag koncentrációját mindinkább lejjebb szorítsuk. Tanulmányunkban a főbb kutatási irányokat, valamint a korábbi üzemeltetési és kutatási tapasztalatok segítségével kifejlesztett értékelési rendszert mutattuk be. Ez a rendszer főként a hidrogeológiai adottságokat veszi figyelembe és egy terület alkalmassági indexbe (SSI) tömöríti ezen adottságokat. Bemutattunk egy olyan egyszerű alkalmazást is, amely egy parti szűrészű vízbázis

kezdeti értékeléséhez használható. Ez egy olyan gyors és könnyen alkalmazható eljárás, amellyel vizsgálni tudjuk azt, hogy egy tervezett parti szűrészű kút milyen hidraulikai változásokat idéz elő egy területen. Ezzel az alkalmazással egyszerűsítések révén számítani tudjuk a tartózkodási időt, a kialakuló depressziót, valamint a kút folyótól való távolságának hatását. Az alkalmazás az analitikus elemek módszerét (AEM) alkalmazza, amelynek eredményeit egy egyszerű példa segítségével összehasonlítottuk a véges differencia módszer által számított vízszinteloszlással. A modellezéshez a Groundwater Modeling System keretprogramot alkalmaztuk, amelyben a MODFLOW programcsomag használható. A két módszer összehasonlítása jó eredményt adott, amely igazolja az RBFsim alkalmazás létjogosultságát a parti szűrészű rendszerek korai szakaszának értékelésénél.

Habár a bemutatott eszközök alkalmazása főként az újonnan létesülő parti szűrészű rendszereknél lehet indokolt, hazánkban teret kaphatnak a távlati ivóvízbázisaink értékelésében is. Ezen eszközök segítségére lehetnek az oktatási intézményeknek is, hiszen a hallgatók ezáltal interaktív módon nyerhetnek betekintést a parti szűrészű rendszerek működésébe.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta. Köszönjük a Bírálók hasznos észrevételeit.

IRODALOMJEGYZÉK

123/1997. (VII. 18) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről.

Abdel-Fattah, A., Langford, R., Schulze-Makuch, D. (2008). Applications of particle tracking techniques to bank infiltration: a case study from El Paso, Texas, USA. *Environmental Geology* 55 (3), pp. 505-515. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0996-z>

Bradley, P.M., Larry, B.B., Joseph, W.D., William, T.F., Edward, T.F., Laura, E.H., Kasey, J.H., Steffanie, H.K., Dana, W.K. (2014). Riverbank filtration potential of pharmaceuticals in a wastewater-impacted stream. *Environmental Pollution* 193, pp. 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.028>

Caldwell, T.G. (2006). Presentation of Data for Factors Significant to Yield From Several Riverbank Filtration Systems in the US and Europe. *Riverbank Filtration Hydrology*. Springer, pp. 299-344. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2001.tb02362.x>

Chen, X. (2001). Migration of induced-infiltrated stream water into nearby aquifers due to seasonal ground water withdrawal. *Ground Water* 39 (5), pp. 721-729. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2001.tb02362.x>

Constantz, J. (2008). Heat as a tracer to determine streambed water exchanges. *Water Resources Research* 44 (4). <https://doi.org/10.1029/2008WR006996>

Czuppon Gy., Tóth A., Fekete E., Főrizs I., Engloner A., Kármán K., Dobosy P., Nyíri G., Madarász T., Szűcs P. (2024). Stable isotope and hydrogeological measurements: Implications for transit time and mixing ratio in a riparian System of the Danube River, *Journal of Hydrology*,

650(132412), <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132412>

De Vet, W., Van Genuchten, C.C.A. (2010). Water quality and treatment of river bank filtrate. *Drinking Water Engineering Science* 3 (1), pp. 79-90. <https://doi.org/10.5194/dwes-3-79-2010>

Derx, J., Blaschke, A.P., Farnleitner, A.H., Pang, L. (2013). Effects of fluctuations in river water level on virus removal by bank filtration and aquifer passage—a scenario analysis. *Journal of Contaminant Hydrology* 147, pp. 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2013.01.001>

Doussan, C., Poitevin, G., Ledoux, E., Detay, M. (1997). River bank filtration: modelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species. *J. Contam. Hydrol.* 25 (1), pp. 129-156. [https://doi.org/10.1016/S0169-7722\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0169-7722(96)00024-1)

Erdélyi N., Gere D., Fekete E., Nyíri G., Engloner A., Tóth A., Madarász T., Szűcs P., Nagy-Kovács Zs.Á., Pándics T., Vargha M. (2025). Transport model-based method for estimating micropollutant removal efficiency in riverbank filtration, *Water Research*, 275(123194), <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123194>

Ghazali, M.F., Adlan, M.N., Rashid, N.A.A. (2015). Riverbank filtration: evaluation of hydraulic properties and riverbank filtered water at Jenderam Hilir, Selangor. *Jurnal Teknologi* 74 (11). <https://doi.org/10.11113/jt.v74.4857>

Gorski, J. (2011). Quality of Riverbank Filtrated Water on the Base of Poznan City Poland: Water Work Experiences. *Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries*. Springer, pp. 269-279. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0026-0_16

Hoang, N.A.T., Covatti, G., Grischek, T. (2022). Methodology for evaluation of potential sites for large-scale riverbank filtration. *Hydrogeology Journal* 30, 1701–1716. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02522-4>

Holzbecher, E. (2006). Calculating the effect of natural attenuation during bank filtration. *Comput. Geosci.* 32 (9), Hoffman és Gunkel 2009:

Hoffmann A., Gunkel, G. (2009). Bank filtration in the sandy littoral zone of Lake Tegel (Berlin): Structure and dynamics of the biological active filter zone and clogging processes, *Limnologia*, 41(1), 10-19 <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.12.003> pp. 1451-1460. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.01.009>

Hiscock, K.M., Grischek, T. (2002). Attenuation of groundwater pollution by bank filtration *J. Hydrol.*, 266, pp. 139-144. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00158-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00158-0)

Hubbs, S.A. (2006). Changes in Riverbed Hydraulic Conductivity and Specific Capacity at Louisville. *Riverbank Filtration Hydrology. Impact on System Capacity and Water Quality Nato Science Series IV (60)*. Springer, pp. 199-220. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3938-6_9

Juhász J. (1976). Hidrogeológia, Akadémiai kiadó, Budapest, ISBN 963 05 0785 4

Kármán K., Maloszewski P., Deák J., Főrizs I., Szabó Cs. (2014). Transit time determination in riverbank

filtrated system by oxygen isotopic data using the lumped parameter model. *Hydrological Sciences Journal*, 59 (6), pp. 1109-1116. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.808345>

Kovács B. (2004). Hidrodinamikai és transzportmodellezés I. (Processing Modflow környezetben), Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék, GAMA-GEO Kft. ISBN 963 661 636 1

Lautz, L.K., Siegel, D.I. (2006). Modeling surface and ground water mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D. *Adv. Water Resour.* 29 (11), pp. 1618-1633. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.12.003>

Lee, E., Hyun, Y., Lee, K.K., Shin, J. (2012). Hydraulic analysis of a radial collector well for riverbank filtration near Nakdong River, South Korea. *Hydrogeology Journal* 20 (3), pp. 575-589. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0821-3>

Mustafa, S., Bahar, A., Aziz, Z.A., Suratman, S. (2014). Review of the role of analytical modelling methods in riverbank filtration system. *Jurnal Teknologi* 71 (1). <https://doi.org/10.11113/jt.v71.3055>

Nagy-Kovács Z., Davidesz J., Czihát-Mártonné K., Till G., Fleit E.; Grischek T. (2019). Water Quality Changes during Riverbank Filtration in Budapest, Hungary. *Water*, 11, 302. <https://doi.org/10.3390/w11020302>

Nyiri G., Kovács B., Zákányi B., Szűcs P. (2022). Tartózkodási idő vizsgálata csápos kutak esetében, *Hidrológiai Közlöny*, 102. évf. 4.szám, pp. 62-66.

Ojha, C.S.P. (2011). Simulating Turbidity Removal at a River Bank Filtration Site in India Using SCS-CN Approach, *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000498](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000498)

Ray, C. (2008). Worldwide potential of riverbank filtration. *Clean Techn Environ Policy* 10, 223-225. <https://doi.org/10.1007/s10098-008-0164-5>

Ray, C., Melin, G., Ronald B. Linsky R.B. (2003). *Riverbank Filtration, Improving Source-Water Quality* Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/0-306-48154-5>

Ray, C., Prommer, H. (2006). Clogging-Induced Flow and Chemical Transport Simulation in Riverbank Filtration Systems. *Riverbank Filtration Hydrology*. Springer, pp. 155-177. <https://doi.org/10.11113/jt.v71.3055>

Salamon, E., Goda, Z. (2019). Coupling Riverbank Filtration with Reverse Osmosis May Favor Short Distances between Wells and Riverbanks at RBF Sites on the

River Danube in Hungary. *Water*, 11, 113. <https://doi.org/10.3390/w11010113>

Sandhu, C., Grischek, T., Kumar, P., Ray, C. (2011). Potential for riverbank filtration in India. *Clean Technol. Environ. Policy* 13 (2), pp. 295-316. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0298-0>

Schubert J. (2006). Experience with riverbed clogging along the Rhine river. *Riverbank filtration hydrology. Impact on System Capacity and Water Quality* Nato science series IV (60), Springer, pp. 221-242. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3938-6_10

Shamrukh, M., Abdel-Wahab, A. (2008). Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River, *Clean Techn Environ Policy* 10, pp. 351-358., <https://doi.org/10.1007/s10098-007-0143-2>

Shamsuddin, M.K.N., Sulaiman, W.N.A., Suratman, S. (2014). Groundwater and surface-water utilisation using a bank infiltration technique in Malaysia. *Hydrogeology Journal* 22 (3), pp. 543-564. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1122-4>

Shankar, V., Eckert, P., Ojha, C., König, C.M. (2009). Transient three-dimensional modeling of riverbank filtration at Grind well field, Germany. *Hydrogeology Journal*, 17(2), pp. 321-326. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0356-4>

Székely F., Nyiri G., Szűcs P., Zákányi B. (2021). Analytically supported numerical modeling of horizontal and radial collector wells, *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002137)

Tolnai B. (szerk.) (2008). *Vízellátás, Mátyus Sándor nyomán, A Fővárosi Vízművek Zrt. üzemeltetői ismeretanyaga*, Budapest

Umar, D.A., Ramli, M.,F., Aris, A.,Z., Sulaiman, W.N.A., Kura, N.U., Tukur, A.I. (2017). An overview assessment of the effectiveness and global popularity of some methods used in measuring riverbank filtration, *Journal of Hydrology*, 550, pp. 497-515. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.021>

Völgyesi I. (2014). Parti szűrés? Biztos?, *Hidrológiai Közlöny*, 94(1), pp. 21-24.

Yadav, P.K., Batheja, V., Köhler, A., Cantarella, V., Tufail, M., Werth, C., Grischek, T. (2024). RBFsim – A tool for early planning stage of riverbank filtration Systems, *Sustainable Water Research Management* 10(167), <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01137-9>

A SZERZŐK



NYÍRI GÁBOR 2013-ban végzett a Miskolci Egyetemen környezetmérnök alapszakon, majd tanulmányait a Miskolci Egyetem hidrogeológus mérnöki mesterszakán folytatta, ahol 2015-ben szerzett okleveles hidrogeológus mérnök végzettséget. 2015-től 2016-ig az Északmagyarországi Regionális Vízművek ZRt. környezetvédelmi megbízottja. 2016-tól a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolájának PhD hallgatója. Fő kutatási területe a parti szűrőrendszerekhez, valamint a csápos kutakhoz kapcsolódik. Abszolutóriumot 2021. július 12-én szerzett, PhD értekezését 2022. júliusában sikeresen megvédte. Jelenleg a Miskolci Egyetem, Víz- és Környezetgazdálkodás Intézetének tudományos munkatársa.



SZŰCS PÉTER a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Karán szerzett kitüntetéses geofizikus-mérnöki oklevelet 1988-ban. Oktatói és kutatói pályájának elején először a Geofizikai Tanszéken, majd az MTA Bányászati Kémiai Kutatólaboratóriumában dolgozott. 1993-ban Dr. Univ. címet, majd 1996-ban PhD doktori oklevelet szerzett. 2009-ben megszerzi az MTA doktora tudományos címet, illetve sikeresen habilitált (Dr. habil.) a Miskolci Egyetemen. 1998 óta a Miskolci Egyetem Hidrogeológiai – Mérnökgeológiai Tanszékén dolgozik. 2010-től a tanszék vezetője. 2010-ben egyetemi tanári kinevezést kapott. Az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport vezetője 2012-től 2022-ig. Publikációinak száma több mint 640. 2022-ben az MTA levelező tagjává választották. 1998-tól a Magyar Hidrológiai Társaság tagja.



Egy csápos kút csápjának kihajtásához használt indítóelem (Nyíri Gábor felvétele)