

REAKTÍV GÁTAK KOMPLEX TERVEZÉSE

**Madarász Tamás, Szűcs Péter, Lakatos János, Gombkötő Imre,
Szántó Judit, Radeczky János, Trauer Norbert,
Zákányi Balázs, Székely István**

Levelező szerző: Madarász Tamás, egyetemi docens; hgmt@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, 3515, Miskolc-Egyetemváros,

Összefoglalás

Reaktív gátakat (PRB-ket) a 90-es évektől kezdődően egyre elterjedtebben alkalmaznak a szennyezett területek felszín alatti vízszennyezéseinek felszámolására. A műszaki beavatkozás során a szennyező csóva útjában egy megfelelően méretezett, és a szennyezés mentesítésére alkalmas áteresztő gátat alakítunk ki. Miközben a felszín alatti víz a reaktív falon áthalad a szennyezőanyag a reagens felületén kicsapódik, adszorbeálódik vagy lebomlik, így a fal mentett oldalán már a tisztított talajvíz lép ki. Cikkünkben egy újszerű reaktív gát alkalmazás koncepcióját és méretezésének legfontosabb szempontjait és lépéseit mutatjuk be.

Kulcsszavak: reaktív gátak, huminsav tartalmú töltet kifejlesztése, környezetbeillesztés, méretezés

Abstract

Since the 90s there is a widespread technology for passive remediation alternatives that is called Permeable Reactive Barriers (PRBs). The remediation is based on a carefully designed permeable barrier installed in the path of the moving dissolved plume that is capable to treat the groundwater. While groundwater moves through the permeable wall the pollutants are precipitated, adsorbed or decomposed and water with acceptable quality leaves the safe side of the wall. The traditional reactive materials applied in such installations are iron and active carbon granulates. Our paper shows the concept and design protocol of a new generation of reactive barriers.

Keywords: Permeable reactive barriers, development of new reactive materials, hydraulic compliance; design protocol

1. A projekt bemutatás, célja

A felszín alatti víz szennyezések kezelésének legáltalánosabban alkalmazott technikája az ún. „pump-and-treat” eljárás, amelynél víztermelő és besajtoló műtárgyak segítségével a szennyezett talajvizet kiemeljük, a területen tisztítjuk és a tisztított vizet visszacsajtoljuk a vízádába. Az eljárás során minden esetben bizonytalanságot jelent, hogy a szennyezett terület teljes kiterjedéséről egyenletesen be tudjuk-e fogni a szennyezett vizet, és nem hagyunk-e hátra szennyezett elszigetelt „lesza-

kadt” csóvákat. A beavatkozás során egy hosszú távú, folyamatos üzemű, költséges és állandó felügyeletet igénylő aktív kármentő rendszert kell hónapokon/éveken át üzemeltetni [1]. Ezért egyre növekszik azoknak a műszaki megoldásoknak a jelentősége, amelyek a szennyező anyagokat nem „kitermelik” és tisztítják, hanem a talajvíz útjába helyezett reaktív közeg által, a szennyezőkkel reakciót előidézve, azokat kevésbé toxikus vagy veszélytelen formájúvá alakítják át, vagy kivonják a tovaáramló közegből [2]. A fenti elven működő permeábilis reaktív gátak (Permeable Reactive Barrier; PRB) kialakításának egyik alapfeltétele a szennyezővel kölcsönhatásba lépő reaktív gátkomponens kiválasztása. A műszaki beavatkozás során a szennyező csóva útjában egy megfelelően méretezett, és a szennyezés mentesítésére alkalmas áteresztő gátat alakítunk ki. Miközben a felszín alatti víz a reaktív falon áthalad a szennyezőanyag a reagens felületén kicsapódik, adszorbeálódik vagy lebomlik, így a fal mentett oldalán már a tisztított talajvíz lép ki [3].

A hagyományos reaktív gátanyagok a vas, és aktív szén granulátumok. A megfelelően megválasztott töltetű gátak alkalmasak szerves és szervetlen oldott szennyezők (pl. szénhidrogének, klórozott szénhidrogének, egyes peszticidek, króm és egyéb toxikus fémek, nitrát és szulfát tartalmú szennyezések, valamint savas bányavizek (AMD)) mentesítésére [4]. Kutatócsoportunk töltetanyagként huminsav tartalmú természetes anyagokat alkalmaz, amelyek bekerülési költsége legalább egy nagyságrenddel kisebb az aktív szén töltetétől és bár szennyezés visszatartó képessége (CRC) elmarad attól, de laboratóriumi kísérletek igazolják, hogy annak kb. 30%-át elérheti. Kimerülése esetén a költsége regenerálás helyett a töltet energetikai hasznosítására és új töltet behelyezésére van lehetőség. Amennyiben a reaktív falas eljárás gazdaságossá és így elérhetővé válik a kármentesítést végző számára, a pump-and-treat eljárást bizonyos esetben kb. 40-50%-kal olcsóbb technológia válthatja fel [5].

Az új generációs reaktív fal alkalmazásának másik innovatív sajátossága, hogy a fal műszaki kialakításakor a töltetet kiemelhető betétek formájában helyezük el a műtárgyban. A kimerült betétek szükség esetén új betétekre cserélhetők. A kimerült és kiemelt betétek energetikai hasznosítása - megfelelő előkészítés után – megoldható.

2. A lignit alapú töltet fejlesztése

A töltet kifejlesztése során elsősorban lignit mintákat vizsgáltunk. A lignitnek négy szemcsetartományával (0/5 mm frakciók, azon belül 0,125/0,25mm, 0,25/0,5 mm és 0,5/1mm) külön-külön végeztük el a vizsgálatokat, emellett meghatároztuk a minta jellemző fizikai tulajdonságait (sűrűség, szemeloszlás, nedvességtartalom).

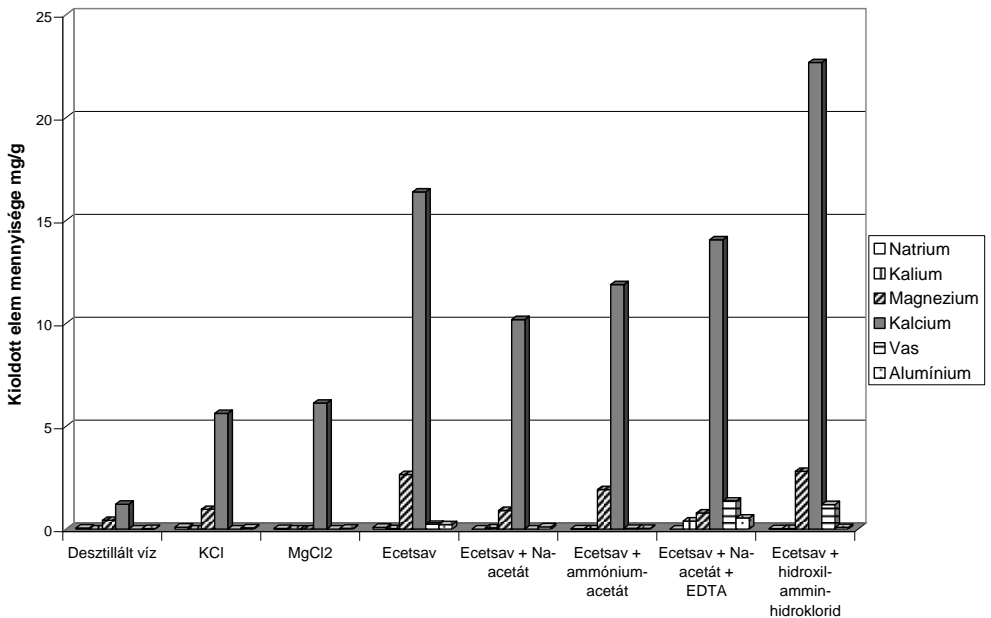
A töltékként használandó anyag esetében ismernünk kell, hogy az milyen fémiont tartalmaz a cserhelyeken, s a toxikus fémion megkötésekor milyen ionokat bocsáthat ki a környezetbe. Megvizsgáltuk a szén cserhelyeiről, valamint a kísérő szervetlen meddőből mobilizálható ionok összetételét (Ca, Mg, Na, K, Al,

Fe), mert mobilizálódásuk esetén gátból toxikus anyag juthat ki a környezetbe, illetve hatással lehetnek a gát hatékonyságára, mivel szeretlen alkotók oldódhatnak, s ez a versengés révén gátolhatja az eltávolítandó ion megkötődését [6].

A vas és átmeneti fémek erősen kötődnek a szén cserhelyein a versengés révén meggátolhatják a toxikus ionok megkötődését, vagy leszoríthatják a már megkötött toxikus ionokat. A komplex gát szerkezetben ezért indokolt lehet egy olyan modul beépítése, amelyik a fenti jelenséget megakadályozza. Megállapítható, hogy kalcium, magnézium és esetenként kevés vas található ioncserével mobilizálható formában. Nátrium, kálium gyakorlatilag nincs ilyen módon kötötten a szeneken (1. ábra).

A kioldódó ionok vizsgálata után a töltet legfontosabb tulajdonságát, a szorpciós kapacitását vizsgáltuk. A szorpció leírásának egyik lehetősége Langmuir izoterma alkalmazása:

$$c_{(s)} = q^* \cdot (c_{(l)} / (c_{(l)} + b)). \quad (1)$$



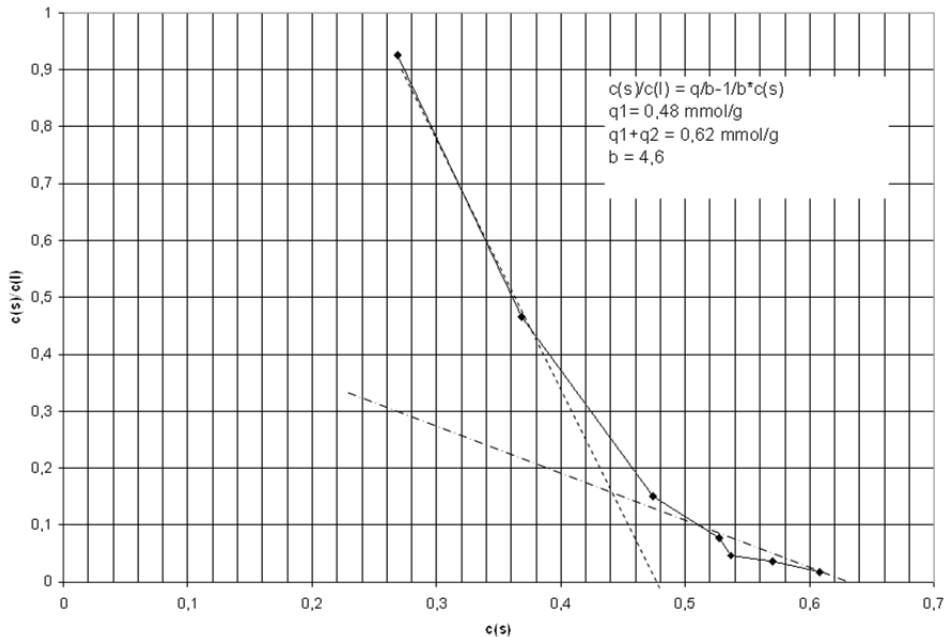
1. ábra. Kioldott elemek mennyisége a Bükkábrányi lignit (új) $0,5 < d < 1$ mm esetében, különböző kivonószerek hatására; (1:40 szilárd:folyadék arány, kontaktidő: 8 nap)

Az izoterma a szorpciót nem csak matematikailag jellemzi, hanem olyan paramétereket tesz meghatározhatóvá, mint a szorpciós kapacitás és a szorpció erőssége (q a

kapacitás, b a szorpció erősségére jellemző állandó). Az izoterma egyik jól használható linearizált formája:

$$c_{(s)}/c_{(l)} = q/b - 1/b * c_{(s)}. \quad (2)$$

Az ábrázolásból megítélhető az, hogy milyen tartományban teljesül a Langmuir hipotézis. A 2. ábrán látható, hogy a szorpcióis pontsor nem írható le az ún. „egy felületű” Langmuir egyenlettel. A „kétfelületű” Langmuir leírást alkalmazva az erős szorpcióra és a gyenge szorpcióra nyerhetünk adatokat. A gát tervezésekor erős kölcsönhatáshoz tartozó kapacitásra alapozunk. (Ilyenkor a gyenge kölcsönhatást elhanyagoljuk, ami a valóságban ha fellép kedvező irányba tolja a gát áttörését élettartamát, felfoghatjuk egyfajta biztonsági tartaléknak a rendszer szennyezés visszatartó képessége szempontjából.) [7]

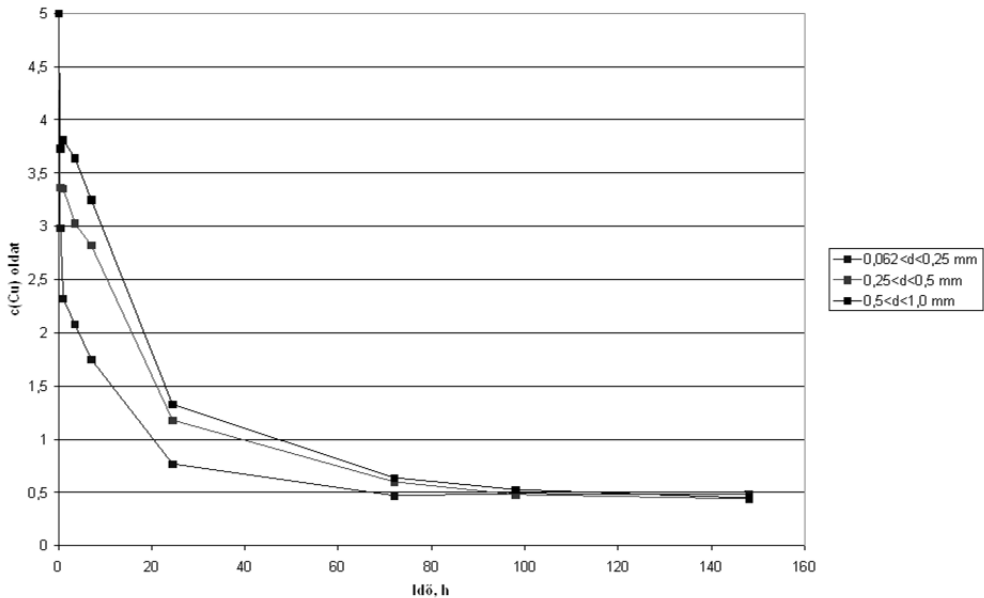


2. ábra. Linearizált Langmuir izoterma Cu(II) megkötődése bükkábrányi ligniten. A bükkábrányi lignit különböző szemnagyság tartományú örleményei, statikus körülmények között. Szilárd: folyadék arány: 1:40. Kontakt idő:) 95 h, Nem kevert rendszer (napi két összerázás).

Különböző eredetű szénmintákon végzett szorpció vizsgálatokkal azt is megállapítottuk, hogy az erős kölcsönhatásokhoz tartozó, azonos szénültségű szenek kapacitása nem mutat nagy különbséget, a származási helytől függő eltérés a kapacitásokban a gyenge kölcsönhatásokhoz rendelhető. A kapacitások értékét összevetve más lehetséges gátanyagokéval látható, hogy a lignit mintegy 0,1-0,01 résznyi ka-

pacitással rendelkeznek az ioncserélő gyantákhoz viszonyítva. Az aktív szenekkel összevetve a két szorbens kapacitása egy nagyságrenden belül van. Igazoltuk, hogy az ásványi szenek a kapacitásukat tekintve megfelelő gátanyagnak tekinthetők a toxikus átmeneti és nehéz fémek eltávolítására.

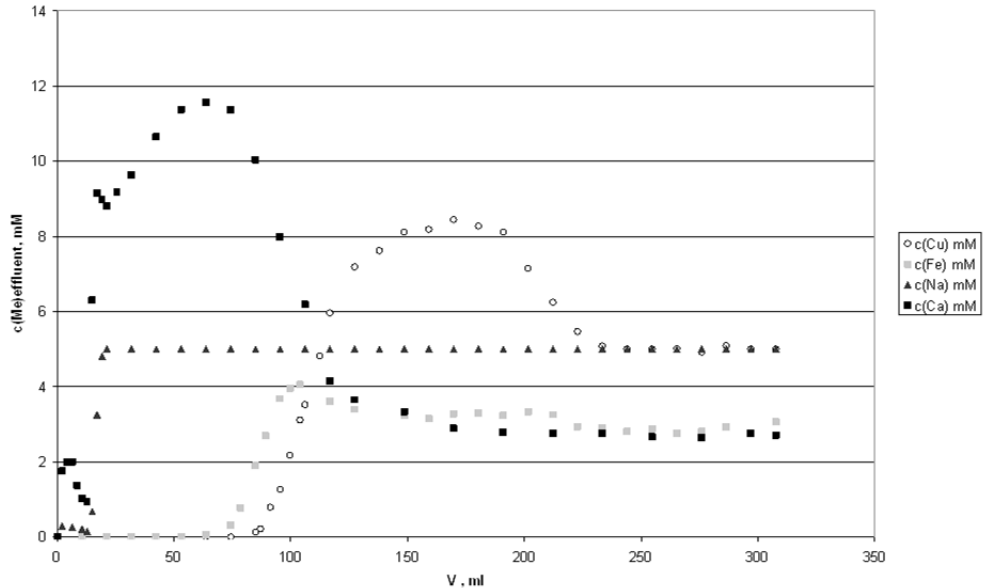
Az 3. ábrán bemutatott görbék alapján az is megállapítható, hogy a szorpció sebessége kicsi. Statikus rendszerben vizsgálva kb. 100 óra (4 nap) szükséges ahhoz, hogy az egyensúly beálljon. Ez az érték 0,01 póruster/h áramlási sebességnek felel meg, ami a gátra alkalmazva azt jelenti, hogy egy póruster/4 nap áthaladásakor beállhat az egyensúly és ez esetben, mint a szorpció izotermák is mutatták lásd 3. ábra nincs szorbens részecske méret függés. A kontaktidőt ettől az értéktől kisebbnek választva van értelme modellezni.



3. ábra. A szorpció sebessége, Cu(II) ionok megkötődése különböző méretfrakciójú bükkábrányi ligniteken.

A statikus vizsgálatok mellett dinamikus oszlopkísérleteket is végeztünk, ahol a modellgáton átjutó ionok áttörési görbéjét vettük fel. A modellgátról lejtő folyadék jellemző ion-koncentrációjának változását a 4. ábra mutatja a besajtott vagy átáramoltatott kezelendő folyadék térfogata függvényében. Látható, hogy a nem kötődő nátriumion egy póruster térfogatú folyadék besajtolásakor áttör. A szorpció helyeken, mint azt korábban megállapítottuk döntően kalcium ionok vannak ezért a réz(II) és a vas(II) ionok megkötődése miatt a kalcium ionok deszorpciója miatt ionkoncentrációja a nátriummal azonos áttörési görbén magasabbra növekszik, mint besajtott oldat koncentrációja. Az 5 mM fölötti görbe görbealatti területének azonosnak kell lenni a megkötött réz(II) és Vas(II) ion mennyiségé-

vel. A vas(II) áttörése hamarabb következik be, mint a réz, ennek ellenére a vas(II) a réz egy részét leszorította a cserehelyekről, ami nem biztos, hogy a vas(II)-nek tulajdonítható. A vas(II) ugyanis vas(III)-á könnyen átalakulhat és ez az ion biztosan erősebben kötődik, mint a Cu(II).



4. ábra. A különböző ionok áttörése visontai lignit -fehérvárcsúrgói homok tölteten több iont tartalmazó folyadék áramoltatásakor. ($m(\text{lignit})$ 2 g, $c(\text{Cu})$: 5 mM, $c(\text{Na})$: 5 mM, $c(\text{Ca})$: 5 mM, $c(\text{Fe(II)})$: 5 mM, Folyadék áramlási sebesség : v : 0,1 cm³min⁻¹ (0,5 pórustér/h)).

3. A töltet hidrodinamikai méretezése, környezetbe illesztése

A reaktív gát környezetbe illesztése rendkívül fontos a helyes működés biztosításához. A környezetétől jelentősen kisebb szivárgási tényezővel rendelkező gát a talajvizet visszaduzzasztja és a szennyező csóva megkerüli a gátat. A lignitből készített töltetanyag szivárgási tényezőjének vizsgálata fontos része a méretezésnek, ezért a töltetanyag tulajdonságait flexibilis falú permeabiméterben vizsgáltuk, majd eltérő geometriájú gátak hidrodinamikai viselkedését modelleztük [8].

A három kiválasztott szemcsetartomány esetében laboratóriumban mértük a lignit a szivárgási tényezőjét (1. táblázat), ezután a homok és lignit különböző arányú keverékeinek szivárgási tényezőjét vizsgáltuk, hogy meghatározzuk az egyes hidraulikai környezetben alkalmazható töltet-homok keverék arányokat. Négy lignit/homok keverési arányt alkalmaztunk: 90/10%; 50/50%; 30/70%; 10/90%. A homok arányának változtatásával a szorpciós kapacitás állandó értéken tartása mel-

lett beállítható a töltet szükséges hidraulikai paramétere, azaz a töltet a környezetébe illeszthető. A töltet variánsok szivárgási tényező értékeit mátrixokban foglaltuk össze és színekkel jelöltük a szivárgási tényező tartományokat (5. ábra).

1. táblázat.

Szemcsetartomány	k szivárgási tényező értéke
0,5-1 mm	$1,39 \cdot 10^{-4} \text{m/s}$
0,25-0,5 mm	$5,3 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$
0,063-0,25 mm	$5,86 \cdot 10^{-7} \text{m/s}$

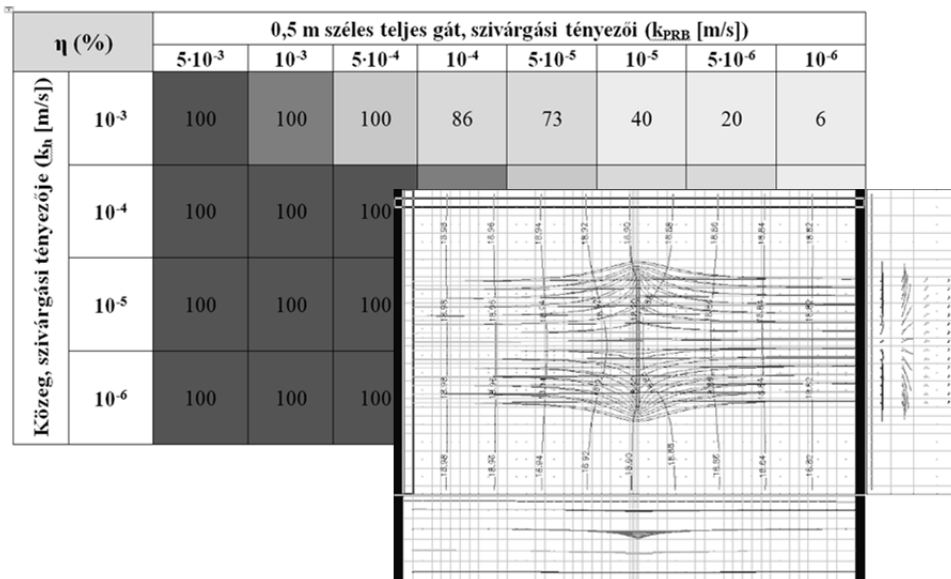
Szivárgási tényező (k) [m/s]		Lignit-0,1-es homok keverési arányok			
		90%:10%	50%:50%	30%:70%	10%:90%
Lignit minták szemcsemérete (d)	1-3 mm	2,11E-04	8,08E-05	6,25E-05	5,44E-05
	0,5-1 mm	1,40E-04	1,35E-04	1,27E-04	1,08E-04
	0,25-0,5 mm	4,79E-05	5,32E-05	5,54E-05	5,83E-05
	0-0,25 mm	3,60E-06	4,55E-06	7,71E-06	9,05E-06

5. ábra. A különböző homok-lignit keverési arányok esetében kapott szivárgási tényező eredményeket bemutató mintatáblázat.

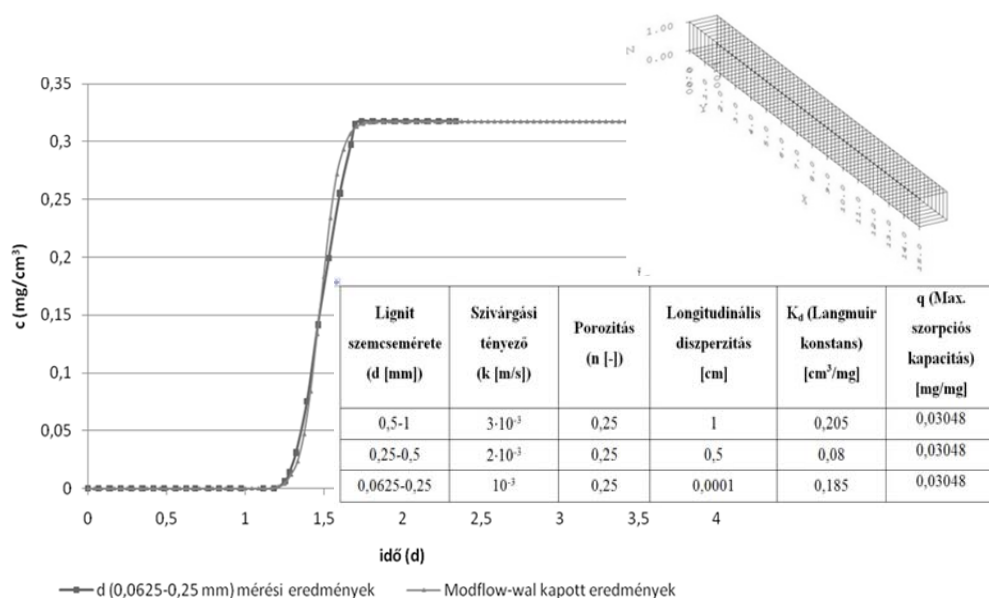
A tényleges gátialakítások modellezését a Processing Modflow programcsomag segítségével végeztük el. A gátakat a η - befogási hatásfokkal jellemezzük, amely megadja, hogy a gát keresztmetszetére érkező áramlási trajektóriák hány százalékban haladnak át a gáton, vagy kerülnek meg azt (6. ábra).

A dinamikus oszlopkísérletek során kapott áttörési görbéket a transzport modell segítségével „reprodukáltuk” úgy, hogy a transzport modellel kapott áttörési görbék a lehető legjobb fedésben legyenek a laborban kapottakkal. A legjobb illeszkedéshez tartozó transzport paramétereket rögzítettük, mivel ezek alkalmazásával modellezhető a valóságos gátak működése. Ily módon egy megbízható eszközt találtunk a gátak méretezéséhez, amivel a gát szükséges geometriáját és kimerülésének idejét, azaz csereperiódusát is meghatározhatjuk.

Az áttörési görbe transzport modellel illesztett változatát és a kapott transzport paraméterek összefoglaló táblázatát mutatja a 7. ábra.



6. ábra. A η - befogási hatások eredmények összefoglaló táblázata különböző föld-tani környezet/gát változatok esetében



7. ábra. Az áttörési görbe előállítás transzport modell segítségével és a kapcsolódó transzport paraméterek összefoglaló táblázata.

4. A gát tervezés folyamata

A fenti méretezési modulok nem értelmezhetők egymástól függetlenül, azok a gát méretezése során jelentős mértékben hatnak egymásra. A méretezési szempontok bizonyos esetekben egymással konkurálnak (pl. megkívánt szivárgási tényező és reaktív anyag mennyisége). Az egyes fejlesztési modulok egymásra hatásának meghatározása és a méretezés folyamat leírása az összes tervezési szempont egységes kezelését igényli. Ezért fontosnak tartottuk egy tervezési protokoll összeállítását, ami végigvezet a tervezés lépésein. A tervezés folyamatát négy részre osztottuk: 1, Ellenőrző lista; 2, Anyagmérleg alapú megközelítés; 3, Paraméteres méretezési protokoll; 4, Fél üzemi kísérlet.

5. Összefoglalás

Az újszerű reaktív gátak alkalmazása nehézfémekkel szennyezett talajvizek esetében lehetséges. A kutatásunk során a töltetfejlesztés és a gát környezetbeillesztésével kapcsolatos vizsgálatok mellett a gát műszaki kialakításával és a kimerült töltetanyag hasznosításával is foglalkoztunk.

Jelen cikkünkben a gátanyag fejlesztésével kapcsolatos eljárás technikai és kémiai vizsgálatokat legfontosabb lépéseit mutattuk be és igazoltuk, hogy bár a lignit alapú töltetek kation megkötő képessége elmarad egyes elterjedten használt gátanyagokétól, de gazdaságos alternatívát jelentenek megfelelő méretezés mellett, különösen, ha a töltetanyag cseréjének műszaki megoldása lehetséges. A gát környezetbeillesztését és hidraulikai méretezését laboratóriumi mérésekre alapozva és modellezési feladatok megoldásával oldottuk meg. A méretezési eljárás folyamatának legfontosabb, paraméteres méretezési lépését is bemutattuk.

6. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával jelent meg.

7. Irodalomjegyzék

- [1] J. Böhm, Á. Debreczeni, I. Gombkötő: PEREBAR – Innovative Groundwater remediation. In *The Functioning and Management of the Water – Soil – System at River Basin Scale: Diffuse Pollution and Point Sources*, BRGM – Bureau de Recherches Géologiques et Mines, 2003, p. 437-445: Water Cycle and Soil-related Aspects EU-Workshop, Orléans, France, 2003; ISBN: 3-937750-00-2

- [2] Madarász T.- Tóth R. (2010) *Új generációs reaktív falak alkalmazása talaj-víz szennyezések kármentesítésére*, Műszaki megvalósítási modul (II. Részletjelentés)
- [3] Filep Gy.- Kovács B.- Lakatos J.- Madrász T.- Szabó I. (2002) *Szennyezett területek kármentesítése* (Miskolci Egyetemi kiadó 2002)
- [4] J. Lakatos, I. Szabó, B. Csőke, C. E Snape: *Coals and biomass as active materials for permeable reactive barriers*. Anyagmérnöki Tudományok, Miskolc, 33 vol. 13-22 (2007).
- [5] Szucs P, Madarasz T: *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary.*; In: Brebbia CA, Antunes do Carmo JS(szerk.)Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management..Southampton ; Boston: WIT Press, 2006. pp. 177-184.
- [6] J. Lakatos, C. E. Snape, M. Ulmanu: *Transition and heavy metal sorption from multi component system*. Proc of the 4th Intern. Conf. on Carpatian Euroregion Ecology, Miskolc- Tapolca, 128-134 (2003).
- [7] J . Lakatos , S.D. Brown, C.E.Snape: *Coals as sorbent for the removal and reduction of hexavalent chromium for aqueous waste streams* .Fuel, 81, 691-698 (2002).
- [8] Szucs P, Civan F, Virag M: *Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling.*; HYDROGEOLOG J 14: (1-2)31-43 (2006), Springer.; Impact Factor: 1.288