

Lignitalapú PRB fejlesztése és félüzemi kísérlete savas bányavíz kezelésénél

Development of lignite-based PRB and its semi-operational experiment in the treatment of acid mine water

SZÉKELY ISTVÁN

okl. hidrogeológus mérnök, PhD, tudományos segédmunkatárs

MADARÁSZ TAMÁS

okl. geológusmérnök, PhD, intézetigazgató egyetemi docens

KOLENCSIKNÉ TÓTH ANDREA

okl. környezetmérnök, PhD, egyetemi docens

Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Víz és Környezetgazdálkodási Intézet



A szennyezett vizek kezelése és tisztítása magas költségekkel jár, mivel a tisztítási technológia kialakítása, működtetése jelentős anyagi és emberi erőforrásokat igényel. Ennek következményeként egyre nagyobb igény merül fel olyan innovatív, passzív vízkezelő rendszerek iránt, amelyek alacsony kivitelezési és üzemelési költségek és minimális felügyelet mellett működtethetőek.

Jelen tanulmányban egy olyan passzív vízkezelő rendszer tervezésének, kivitelezésének és monitoring eredményeinek a bemutatására kerül sor, amely egy felhagyott bányászati területen, már lezárt bányában összegyűlt és kivezetésre került savas bányavíz kezelését tűzte ki célul. A technológia egyben félüzemi kísérlete is annak a korábbi projektnek, amely egy új fejlesztésű reaktív gát töltetanyagának fejlesztésével és méretezési protokolljának kidolgozásával foglalkozott.

A passzív vízkezelő rendszer tervezése során számos laboratóriumi vizsgálatra került sor, amelyek a töltet hidraulikai környezetbe illeszthetőségét modellezték. A laboratóriumi vizsgálatokat követően, a kiépítés során a kísérleti árokban is számos változtatást kellett eszközölni, a töltet betölthetősége és a vízkormányzás érdekében.

A kísérleti árokban elhelyezett, többfunkciós kombinált töltetanyag tesztfázisát, folyamatos vízmintavételekkel, illetve passzív vízmintavevők kihelyezésével követtük figyelemmel, ezek eredményei igazolták a technológia létjogosultságát, illetve rávilágítottak azokra a problémákra, amelyek további fejlesztéseket igényelnek a technológia optimalizálása érdekében.

Kulcsszavak: passzív vízkezelés, reaktív gát, savas bányavíz, lignit, méretezési protokoll

The treatment and purification of contaminated water is an expensive business, as the design and operation of the treatment technologies usually require high up-front investment and continuous operational and human resources. As a consequence, there is a growing demand for innovative passive water treatment systems that can be operated with low construction and operating costs and minimal supervision.

The present study presents the design, construction and monitoring results of a pilot passive water treatment system for the treatment of acid mine drainage water collected and discharged from a closed mine in an abandoned mining area.

During the design of the passive water treatment system, a number of laboratory tests were carried out to model the suitability of the reactive material in the real hydraulic environment. Following the laboratory tests, a number of modifications were made to the pilot trench during construction to improve the reactive material's condition and hydraulic behavior.

The cascade-like pilot trench was monitored by continuous water sampling and the deployment of passive water samplers, the results of which demonstrated the viability of the technology and highlighted issues that require further improvements to optimize the technology.

Keywords: passive water treatment, permeable reactive barrier, acid mine drainage, lignite, design protocol

Bevezetés

A felszín alatti vízszennyezések kárelhárítása napjainkban egyre fontosabb feladattá vált az ivóvízkészleteink védelme érdekében. A hatékony kárelhárításhoz egyre több és újabb technológiát dolgoznak ki a jobb hatásfok és gazdaságosság eléréshez.

Az ipari beruházások miatt az ivóvízbázisok védelme mellett egyre nagyobb szerepet kap a szennyezett területek revitalizációja. Ez a kérdéskör komplexitásából adódóan környezeti, gazdasági és ingatlanfejlesztési, munkahelyteremtési, valamint egyéb társadalmi és műszaki kihívásokat is jelent.

A Miskolci Egyetem Műszaki Föld- és Környezet-tudományi Karán több évtizede indult az első reaktív gát tervezési projektje, amelyet több hasonló követett. Ennek eredményeként a reaktív gátak tervezési lépéseit határoztuk meg, valamint új típusú, lignitbázisú töltetanyag alkalmazásának a lehetőségét vizsgáltuk és teszteltük terepi körülmények között.

Az új fejlesztésű reaktív gát

Az új fejlesztésű reaktív gát a műszaki beavatkozásnak egy olyan módja, amely lényegesen alacsonyabb költség szinten és rövidebb idő alatt biztosíthatja a korábban elszennyezett területek használatbavételét, és megfelelő méretezés esetén, költséghatékony üzemelés mellett egyszerre teljesíti a humán hatásviselő, az ökológiai rendszerek és a környezeti elemek megfelelő védelmét [1].

A hagyományos PRB (*Passive Reactive Barrier*) alkalmazásoknál elterjedten használnak a töltet anyagoként aktív szenet, amelynek köztudottan jó a szennyezőanyag-megkötő képessége, és a legtöbb esetben jól regenerálható, viszont beszerzése és regenerálása nagyon költséges lehet [2].

A kutatás során alkalmazni kívánt természetes anyagú töltetek (lignit vagy tőzeg) bekerülési költsége legalább egy nagyságrenddel kisebb az aktív szén töltetétől. Szennyezés-visszatartó képessége (CRC) laboratóriumi kísérletek által igazolva, körülbelül 30%-át éri el az aktív széneknek [3]. Ezek az anyagok megfelelő előkészítés és adalékok hozzáadása után – reaktív permeábilis gátként – felhasználhatók. Előzetes becslések alapján a kármentesítést végző számára ez a technológia 40–50%-kal olcsóbb, mint a gyakran alkalmazott „pump-and-treat” eljárás. A költségeket tovább csökkenti, hogy az aktív szén esetében alkalmazott „köl” regenerálás helyett a töltetanyag energetikai célra vagy más technológiában (pl. cementipar) újrafelhasználható. Ezen előnyök birtokában az új típusú reaktív gát jól alkalmazható eljárás barnamezős rehabilitációs projekteknél, ahol például a talajvízbe került nehézfémek eltávolítása válik szükségessé [4].

A PRB méretezési protokollja

A töltet fejlesztésén túl célunk volt egy méretezési protokoll kidolgozása, amely a gáttervezés négy részből felépülő munkafázisait mutatja be. Az egyes részek időrendi sorrendben haladva veszik figyelembe a gát tervezéséhez szükséges és rendelkezésre álló adatokat, valamint ezek egymásra hatását. A területi korlátok miatt nincs lehetőség a teljes protokoll bemutatására, csak a nagyobb munkafázisok feladatait említjük meg.

A gáttervezés folyamatának első két fázisa egy előzetes ellenőrző lista alapján az alkalmazhatóság gyors értékelése és egy anyagmérleg-alapú ellenőrzés. Ennek keretében a gát elvi megvalósíthatóságát vizsgáljuk, míg a méretezés következő két szakasza a méretezés és a félüzemi kísérlet a gát tervezéséhez szükséges paraméterek meghatározását írja elő (pl. töltet szemcsemérete, a gát vastagsága, szivárgási tényezője stb.).

A reaktív gát tervezése összetett munkafolyamat, nem lehet felállítani egy általános standard eljárást, amely bármilyen helyzetben alkalmazható, a helyi körülmények és adottságok, valamint az alkalmazandó reaktív anyagok tulajdonságainak ismeretében kell kialakítani egyedi megoldásokat. Célszerű tehát iterációs folyamatként tekinteni a gáttervezésre.

A méretezési protokoll segítségével ezek az iterációs folyamatok jól nyomon követhetők, és a tervező biztos lehet abban, hogy a tervezői munka során minden, a gáttest működését befolyásoló tényezőt figyelembe vett.

A félüzemi kísérlet bemutatása

A laboratóriumi vizsgálatok mellett lehetőség adódott a „félüzemi” kísérlet megvalósítására, melynek során terepi körülmények között is tesztelhetjük az új fejlesztésű reaktív gát töltetanyagát, illetve a méretezési protokoll alkalmazhatóságát.

A felhagyott ércbányában összegyűlő savas bányavizet egy cső vezeti ki a bányából a környezetbe. A kifolyó víz legjellegzetesebb tulajdonsága az alacsony (2-3) pH és a magas fémtartalom, melyek közül több is meghaladja a szennyezettségi határértéket, ami indokoltá teszi a vízkezelést. Legmagasabb koncentrációban a vas(II) fordul elő (589–914 mg/l), de a többi fém, illetve ezek szulfátjai is magas koncentrációban vannak jelen (pl. Cu 111–975 µg/l). A kifolyó bányavíz hozama nem számottevő (1,5–2,5 m³/nap), de a magas oldottanyag-tartalom miatt mégis jelentős és folyamatos környezeti terhelést jelent a reaktív töltet tesztelésére kifejezetten alkalmas terület. A kis hozam és a terület adottságai miatt egy aktív vízkezelő rendszer kiépítése magas költségekkel járna, ezért célszerűnek látszik a passzív vízkezelő rendszer kiépítése.



1. ábra. A kísérleti árok kialakítása

Annak érdekében, hogy a passzív vízkezelő rendszer töltetanyagaként tervezett lignit megfelelő hatékonysággal működjön, első lépésként egy pufferhatást biztosító töltetet is alkalmazni kellett a semleges pH beállítására, melynek anyaga mészkőzúzalék volt.

Az előzetes laboratóriumi vizsgálatokat követően – melyeknek a hidraulikai és kémiai kompatibilitás meghatározása volt a célja – egy 56 m hosszúságú kísérleti árkot alakítottunk ki (1. ábra).

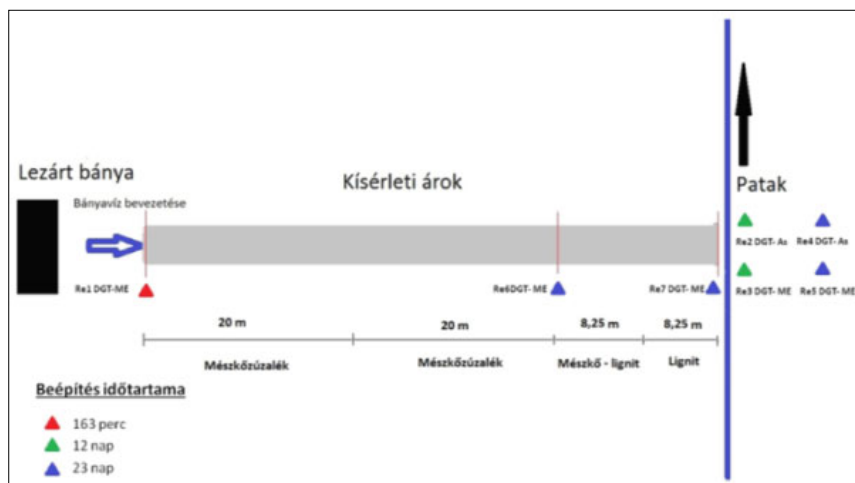
A kiépítés során a kísérleti csatornát három részre osztottuk. Az első 40 méteres szakaszba 11/22 mm szemcseátmérőjű mészkőzúzalék, a második 8 méteres szakaszába mészkő–lignit 1:1 arányú keveréke, míg az utolsó szakaszába ugyancsak 11/22 mm szemcsefrakciójú lignit került fél méter vastagságban. Annak érdekében, hogy a töltetanyag hatékonyságát és kimerülését nyomon tudjuk követni, folyamatos monitoringra volt szükség. Ezt folyamatos vízmintavéte-

lekkel, valamint passzív mintavevők kihelyezésével (2. ábra) valósítottuk meg.

A vett vízmintákat számos komponensre vizsgáltuk (Al, Fe, Cu, Ca, Mg, Zn, Ni, Pb, As, Cd), de a továbbiakban csak azoknak az elemeknek (Fe(II), Cu) a koncentrációváltozását mutatja be az 1. táblázat, amelyek legnagyobb mennyiségben voltak jelen.

A kapott eredmények mindkét mintavételi időpontban a tesztcsatorna hossz-szelvénye mentén a vizsgált komponensek csökkenő tendenciáját mutatják. Az viszont jól elkülöníthető, hogy a Fe(II) koncentrációja (3. ábra) mindkét alkalommal már a kísérleti mészkőzúzalékkal töltött szakaszon csökkenni kezd (0+000 – 0+048) a kiindulási értékhez képest, és ez a folyamat egészen az árok végéig tart.

A réz koncentrációja (4. ábra) ezzel szemben csak az utolsó, lignittel töltött (0+048 – 0+056,5) szakaszon változik. Ennek magyarázata, hogy a mészkőzúzalék hatására az erősen savas bányavíz pH-ja semleges



2. ábra. A passzív mintavevők elhelyezésének helyszínrajza

1. táblázat. A mintavételek eredményei

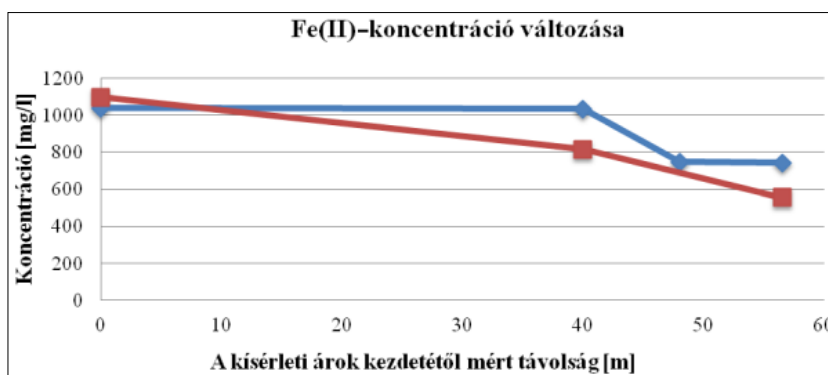
Mintavétel szelvénye [m]	Mintavétel időpontja			
	$t = 0$		$t = 1$ hó	
	Cu-koncentráció [mg/l]	Fe(II)-koncentráció [mg/l]	Cu-koncentráció [mg/l]	Fe(II)-koncentráció [mg/l]
0+000	21,65	1098,5	20,65	1039,5
0+040	20,55	816,5	21,50	1033,5
0+048	–	–	17,55	748,5
0+056,5	3,65	555,5	18,60	742,5

irányba tolódik el, ezért a Fe(II) egy része Fe(III)-má alakul, és már az utolsó töltetegy előtt kiválik, ahol a lignit felületén történő adszorpció tovább csökkenti a komponensek koncentrációját. A réz esetében a mészkőzúzalékkal elért mértékű pH-növekedés nem indította el a kiválásának folyamatát, azonban a lignit jelentős mennyiségét képes volt megkötni.

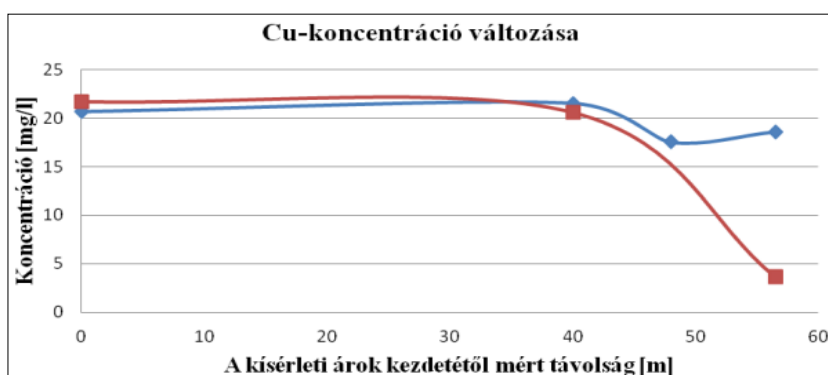
A mintavételek időpontja közötti koncentrációváltozás a töltetanyag kimerülésének tudható be. A töltetanyag kimerülését és aktivitását egyszerre több tényező is befolyásolja. A vas(III)-kiválások, továbbá a magas szulfáttartalom miatti gipszkiválások hatásá-

ra a mészkőzúzalék felülete passzíválódik, így akadályozva a további pufferhatást. Ennek következtében a lignitágy adszorpciós kapacitása is csökken, mivel korábbi laboratóriumi mérések bizonyították, hogy az semlegeshez közeli pH esetén működik optimálisan.

A fentebb említett töltetanyagot történő kiválások nemcsak a semlegesítési és adszorpciós folyamatokat befolyásolják negatívan, hanem problémát okoznak a passzív vízkezelő rendszer hidraulikailag megfelelő működésében is, mivel azok csökkentik a töltetanyag áteresztőképességét.



3. ábra. A kísérleti árokban vett vízminták Fe(II)-koncentráció-változása a technológiai árok mentén a kísérlet indításakor (kék) és egy hónappal a kísérlet indítása után (piros)



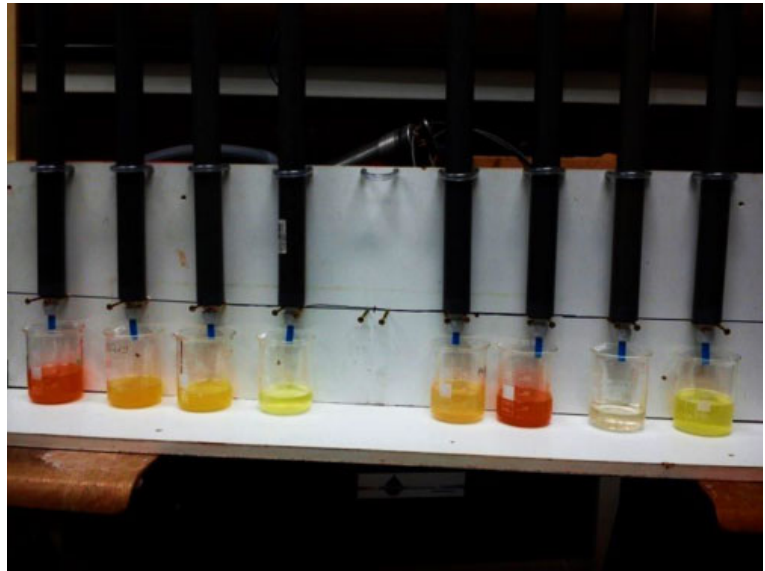
4. ábra. A kísérleti árokban vett vízminták Cu-koncentráció-változása a technológiai árok mentén a kísérlet indításakor (kék) és egy hónappal a kísérlet indítása után (piros)

A töltetfejlesztés laboratóriumi vizsgálatainak eredményei

A laboratóriumi vizsgálatok során négy darab 36 mm belső átmérőjű és 63 cm hosszúságú plexicsövet töltöttünk meg a különböző keverési arányú töltetanyaggal 55 cm hosszúságban, majd ezekre egy perisztaltikus pumpa segítségével adtuk fel a területen vett savas bányavízminztát (5. ábra). A pumpát 10 RPM-en működtettük, így az oszlopokra 3,3 ml/perc hozammal történt feladásra a bányavíz.

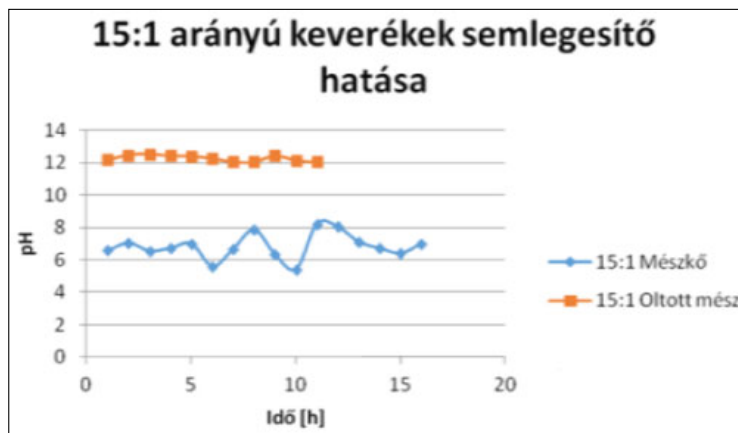
Az oszlopok végén kifolyt vízből meghatározott időnként mintát vettünk, amelyben mértük a pH-t (6. ábra), hőmérsékletet, vezetőképességet, és atomadszorpciós spektrométer segítségével meghatároztuk az oldott komponensek koncentrációját is (7. ábra).

A fentebb említett „félüzemi” kísérlet során a legnagyobb problémát a töltetanyag felületének passzi-



5. ábra. A mérési elrendezés

válódása és az átteresztőképességének csökkenése okozta. Annak érdekében, hogy ezt a problémát kiküszöböljük, igyekeztünk minél nagyobb porozitású



6. ábra. A különböző töltetanyagok semlegesítő hatása az idő függvényében



7. ábra. A Fe(II)-koncentráció változása a különböző töltetanyagokon

töltetanyagot előállítani, amit faforgács hozzákeverésével oldottuk meg. A porozitás növelésével párhuzamosan szeretnénk volna a töltet hatékonyságát is javítani, ezért a töltetanyag fajlagos felületét is növeltük a szemcseméret csökkentésével ($d < 0,25$ mm). Ezáltal olyan töltetkeveréket alakítottunk ki, amely nagy fajlagos felülettel, emellett megfelelő porozitással is rendelkezik.


A laboratóriumi mérések és a terepi kísérleti árokban történt savas bányavíz passzív kezelésére irányuló vizsgálatok értékei csak részben szolgáltattak új eredményeket számunkra. Bizonyos jelenségek előre ismertek voltak, mégis vizsgálataink bizonyították, hogy van létjogosultsága a technológiának, és alacsony bekerülési költség mellett is jó hatásfokú végkifejlet érhető el. A megfelelően előkészített lignit reaktív töltékként való alkalmazása egyszerűbb, kisebb volumenű adszorpciós feladatokra, fémek csapdázására alkalmasnak bizonyult.

A laboratóriumban végzett töltetfejlesztési vizsgálatok jól mutatták, hogy az *in situ* tesztfázis során felmerülő negatív tényezők hatása megfelelő szemcsefrakció választása esetén nagymértékben csökkenthető. Amennyiben a megfelelő áteresztőképesség így is elérhető, a technológia bevezethető.

Az alacsony beruházási és üzemelési költségek miatt a töltetanyag kimerülése esetén a töltet cseréje nem jelent jelentős költséget. A csapdázott nehézfém-tartalommal számolva bizonyos égetési technológiák az ártalmatlanítás eszközeként jöhetnek szóba.

IRODALOM

- [1] Filep Gy., Kovács B., Lakatos J., Madarász T., Szabó I. (2002): Szennyezett területek kármentesítése. Miskolci Egyetemi Kiadó.
- [2] Tóth R. (2008): Újszerű reaktív falak alkalmazása és komplex vizsgálata szennyezett talajvizek kármentesítésében. TDK-dolgozat.
- [3] Madarász T., Szűcs P., Lakatos J., Gombkötő I., Szántó J., Radeczky J., Trauer N., Zákányi B., Székely I. (2012): Újszerű reaktív gátak tervezése. Elektronikus Műszaki Füzetek, 9, 1–10. Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. ISBN 978-963-7064-25-8
- [4] Bóhm J., Debreczeni Á., Gombkötő I. (2003): PEREBAR – Innovative groundwater remediation – in the management of the water–soil system at river basin scale: Pollution and point sources. Bureau de Recherches Géologiques et Mines, 437–455. In: Water Cycle and Soil-related Aspects EU-Workshop, Orleans, France, ISBN: 3-937750-00-2



3B | **3B Hungária Kft.**
H-8900 Zalaegerszeg, Wlassics Gyula u. 13. • Tel.: +36 92/549-033
info@3bh.hu • www.3bh.hu

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI **metso** KÉPVISELET

