



Pannon Egyetem
Vegyésmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

**Vörösiszap másodnyersanyagként történő hasznosítása ipari/lakossági
hulladékok segítségével**

DOKTORI (PH.D) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

Berta Kinga Manuéla
Okleveles környezetmérnök

Témavezető:

Dr. Kurdi Róbert
Egyetemi docens

Pannon Egyetem
Mérnöki Kar
Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

2024

Bevezetés

Az alumínium a harmadik leggyakoribb elem a litoszférában az oxigén és a szilícium után. Az alumínium felhasználása széles körben elterjedt a csomagolóiparban, a közlekedésben és az építőipar különböző területein. A bauxitból előállított timföld mellékterméke, az erősen lúgos (pH 12) vörösiszap (RM). Egy tonna timföld előállításánál, közel, másfél tonna RM jön létre. Egy tonna 99,5-99,9%-os tisztaságú alumínium előállításához körülbelül 1,9 tonna timföldre van szükség. A bauxitmaradványok hasznosítására irányuló erőfeszítések ellenére a tározókban tárolt RM mennyisége növekszik. A globális maradékanyag-nyilvántartás szerint, az RM mennyisége 2007-ben elérte a 2,7 milliárd tonnát, majd 2014-ben meghaladta a 3,5 milliárd tonnát, és értéke évente 100-120 millió tonnával növekszik. Érthető módon ekkora mennyiségű hulladék már felveti a kérdést, hogy nem lehetne-e ezt az óriási mennyiségű vörösiszapot valamilyen céllal újra felhasználni.

Napjaink egyik legfontosabb és egyre gyakrabban felszínre kerülő feladata az iparban és a lakosságnál keletkező hulladékok minél nagyobb arányú hasznosítása és lerakásuk mértékének csökkentése. Egyre inkább előtérbe kerülő körkörös gazdaság jegyében, az újrafelhasználást elősegítő technikákat / technológiákat részesítik előnyben, és a teljes, hulladékmentes hasznosítás lenne a legelőnyösebb. Ugyanakkor, mind ez idáig a régóta tartó kutatások, biztató kutatási eredmények ellenére sem született még gazdaságosan alkalmazható eljárás, mely során nagy mennyiségű vörösiszapot lehet viszonylag hulladékmentesen hasznosítani.

Jelen doktori értekezés célja a szennyvizek P tartalmával dúsított vörösiszap (RM) és egyéb más hulladékok talajhelyettesítő közegként történő felhasználása, rekultivált területen, energianövények termesztése vagy a terület zöldítése céljából. A létrehozott talajhelyettesítő közeget mikrokozmosz kísérlettel vizsgáltam, ahol a növények növekedési intenzitását és morfológiai jegyeit valamint a gyökérszóna mikrobiom összetételének változását követtem nyomon.

Eredményeim alapján elmondható, hogy a dolgozatban bemutatott RM hasznosítási technológia a vörösiszap hasznosításával szemben támasztott minden kritériumnak megfelel: nagymennyiségben, gazdaságosan, minimális hulladék képződése mellett hasznosítható, igazodva a körkörös gazdaság elvárásaihoz.

Alkalmazott módszerek

A kutatásom során, kihasználva az RM tixotróp reológiai tulajdonságát egy új „nedves” keverési eljárást fejlesztettem ki, melynek segítségével az RM nem csak tenyészedényes kísérletek során, hanem a szabadföldi kísérletek során, nagymennyiségben is alkalmazható. Háromféle, vörösiszapot (15-30 m/m%) tartalmazó, talajhelyettesítő közeget vizsgáltam meg mikrokozmosz kísérletben. A laboratóriumi eredményeim validálása érdekében a szennyvíziszapot és vörösiszapot tartalmazó közeget méretnövelt kísérletben, energianövényekkel is teszteltem. A gyökérszónavizsgálat során az RM 30%-ig nem bizonyult toxikusnak az általam létrehozott komposztot is tartalmazó talajhelyettesítő közeg természetesen élő mikrobiomjára nézve. Kimutattam olyan speciális baktériumokat, amelyek még a 30%-os RM-tartalmú talajban is hozzájárultak a *Sinapis. alba* tesztnövény fejlődéséhez. Az RM hatására elszaporodott

halotoleráns *R. cellulosilyticum* és *P. peli* baktériumok potenciálisan jelentős szerepet játszottak a növény növekedését elősegítő folyamatban a feltételezett foszfor (P)-mobilizáció, nitrogén (N₂)-fixálás, indolecetsav (IAA), exopoliszacharid-termelés (EPS) és aminociklopropán-1-karboxilát (ACC) deamináz-termelés révén.

A szennyvíziszapot tartalmazó közegben a növények föld feletti része kevésbé, míg a földalatti része jobban fejlődött, mint a kontroll talajban. A szennyvíziszapot tartalmazó talajmátrixok P tartalma nőtt, míg a Ca tartalma csökkent, a többi közeghez képest. Az Pb, a Ni, a Ti és a Si koncentrációja a magasabb RM-tartalommal párhuzamosan emelkedett a közegekben, de csak a Ni haladta meg a magyar jogszabályban (6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM) meghatározott határértéket. A Si és a Ti kedvezően hatott a növények növekedésére, kompenzálva az Pb és a Ni potenciálisan toxikus hatásait.

A méretnövelt szabadföldi kísérletek során az RM 15% és 30%-os adagolása mellett jó megeredést és növekedést tapasztaltam Pusztaszil, Nemesnyár, Fehér akác fajokkal és *Sida energianövény*nel.

Dolgozatomban megvizsgáltam az RM foszformegkötő képességét. Szintetikus P-oldat mellett, baromfifeldolgozó üzem szennyvizének, egy kommunális szennyvíztisztító telep dúsított szennyvizének és egy hulladéklerakó csurgalékvizének P visszanyerési lehetőségeit vizsgáltam. Az eredményeim azt mutatják, hogy az eltávolítási hatékonyság 0,41-1,24 mg P/mg RM a kibocsájtott szennyvizek esetében és 0,10-0,13 mg P/g RM a csurgalékvíz esetében. Annak ellenére, hogy a dózisok lényegesen magasabbak voltak a sztöchiometriai értéknél (103 mg P/g RM), a gazdaságos hasznosítás tekintetében a dózisznövelés nem eredményezett jelentős költségnövekedést.

Tézisek

A PhD kutatómunkám során elért új tudományos eredményeket az alábbi 5 pontban fogalmaztam meg:

- I. **Kifejlesztettem egy új nedves keverési eljárást, kihasználva a vörösiszap tixotróp tulajdonságait, melynek segítségével a vörösiszap és egyéb más hulladék homogén elegyét tudom létrehozni.** Az eljárás nem csak tenyészedényes kísérletek során, hanem szabadföldi kísérletek során is, nagymennyiségben alkalmazható talajhelyettesítő közeg létrehozására.
- II. **Bebizonyítottam, hogy 15 és 30 m/m% vörösiszap és egyéb más hulladékokat tartalmazó talajhelyettesítő közeg együttes hatása pozitívan hat a *Sinapis alba* lágyszárú tesztnövényre.**
 - a) **A kísérlet sorozat eredmények alapján megállapítottam, hogy a 15 és 30 m/m% vörösiszap tartalmú talajhelyettesítő közegek alkalmasak a növények termesztésére,** rekultivált területeken, ellenőrzött körülmények között. Csíragatást, valamint csírázás során a kifejlett tesztnövényben morfológiai elváltozást a 30 m/m% vörösiszap tartalom nem okozott. A leromlott, erősen erodált tulajdonságokat mutató talaj esetében, már a 15 m/m % vörösiszap tartalom javította a vizsgált közeg fizikai és vízháztartási paramétereit.

b) Az elemanalízis kimutatta, hogy a kísérletekhez kiválasztott tesztnövény, a *S.alba* a titán kivételével nem hajlamos a vizsgált elemek egyikének túlzott felhalmozására sem. **Ebből arra a következtetésre jutottam, hogy a vizsgált vörösiszapot és hulladék iszapot tartalmazó talajhelyettesítő közeg felhasználható olyan növények termesztésére (akár energia növények), amelyek nem hajlamosak a bioakkumulációra, rekultivált területeken, ellenőrzött körülmények között.**

III. Bebizonyítottam, hogy a vörösiszapot és szennyvíziszapot tartalmazó talajhelyettesítő közeg együttes hatása pozitívan hat méretnövelt kísérlet során fásszárú tesztnövények esetében is.

a) **A vörösiszapot és szennyvíziszapot tartalmazó talajhelyettesítő közeg a kísérleti eredmények alapján kiválóan alkalmazható méretnövelt kísérletek során, fásszárú tesztnövények esetében is.** Jó megeredést és növekedést eredményezett *Szil, Fehérnyár, Fehér akác* fafajok és a *Sida energianövény* vizsgálata során. A létrehozott talajhelyettesítő közeg leromlott, erősen erodált területeken kiválóan alkalmazható **rekultivációra, ellenőrzött körülmények között.**

IV. Bebizonyítottam, hogy a vörösiszap hatására elszaporodnak a savképző baktériumok, ennek köszönhetően a szervesanyag bontási folyamatai felgyorsulnak. Igazoltam, hogy a vörösiszap hatására a gyökérszónában felszaporodott savképző baktériumok hozzájárultak, a növények fejlődési szakaszhoz szükséges megfelelő mennyiségű foszfor felvételéhez.

a) Ez az első olyan vizsgálat, amely a *R. cellulosilyticum* és a *P. peli* feltételezett pozitív hatását mutatja a *S. alba* növekedésére 30% vörösiszap tartalmú talajkeverékben.

b) A vörösiszap még 30%-ban sem gyakorolt toxikus hatást a talajhelyettesítő közegben élő baktériumokra a 30 napos inkubáció alatt.

V. Igazoltam, hogy a vörösiszap por hatékonyan távolítja el a hulladékvizekből származó foszfort. A foszforban dús vörösiszap felhasználható a vörösiszapot és szennyvíziszapot tartalmazó talajhelyettesítő közegben, rekultivációra váró területen, ezzel visszaszorítva a magas nitrogén tartalmú műtrágyák használatát.

a) A vörösiszap 30 szoros dózisban távolítja el a hulladékvizek foszfortartalmát (10 mg/l P tartalomról 0,2 mg/l P tartalomig) 20 perces kevertetés mellett a kereskedelmi forgalomban kapható folyékony koagulánsokhoz képest.

b) A folyamat költségei 50%-kal emelkednének, de a kikerülő anyagot „nyersanyagként” tudjuk hasznosítani a korábban bemutatott növényi kísérletekben, a kísérletek során keletkezett hulladék depónián történő ártalmatlanítás helyett.

Publikációs lista

Az értekezés tézispontjait alátámasztó publikációk:

Idegen nyelvű referált nemzetközi folyóiratban első szerzős cikk

1. K. M. BERTA, R. KURDI, P. LUKÁCS, M. PENK, V. SOMOGYI, (2021): *Red mud with other waste materials as artificial soil substitute and its effect on Sinapis alba*. Journal of Environmental Management 287/112311. ISSN: 0301-4797. 2021.
2. K. M. BERTA, R. KURDI, P. KESSERŰ (2024): Rhizobiome analysis of Sinapis alba in red mud with green waste compost materials as artificial soil substitute. Science of The Total Environment (folyamatban lévő)

Idegen nyelvű referált nemzetközi folyóiratban cikk (társzsz.)

3. V. SOMOGYI, V. PITÁS, K. M. BERTA, R. KURDI, (2022): *Red Mud as Adsorbent to Recover Phosphorous from Wastewater Streams*. Sustainability 14(20), 13202. ISSN: 0301-4797. <https://doi.org/10.3390/su142013202>

Idegen nyelvű lektorált folyóiratban cikk (társzsz.)

4. B. HEIL, D. HEILIG, V. CSANÁDY, K.M. BERTA, R. KURDI, R. FEJES, G. KOVÁCS (2022): *Effects of Red Mud on Plant Growth in an Artificial Soil Mixture*. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica 18 (2), 151-166.

Előadás idegen nyelven, nemzetközi konferencián (társzsz.)

5. V. SOMOGYI, V. PITÁS, K. M. BERTA, R. KURDI, (2020): *Red Mud as Coagulant to Recover Phosphorous from Wastewater* 15th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Cologne. Germany. 2020. Book of abstracts page 336. ISSN: 1847-7178.
6. K. M. BERTA, R. KURDI, GY. KOVÁCS, V. SOMOGYI, (2020): *Effect of Secondary Raw Material from Red Mud and Other Waste on Test Plants* 15th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Cologne. Germany. 2020. Book of abstracts page 338. ISSN: 1847-7178.

Előadás magyar nyelven, konferencián (előadóként)

7. BERTA K. M., BUI P., KURDI R. 2018. *Vörösiszap, mint másodnyersanyag felhasználása helyettesítő talajközeg létrehozására*. PhD hallgatók anyagtudományi napja Veszprém, 2018.11.26.
8. BERTA K. M., 2019.: *The utilization of red mud as a secondary raw material by means of the addition of industrial / residential waste*. Green Solutions 2019 Conference. Veszprém. Magyarország.

Poszter idegen nyelven, nemzetközi konferencián

9. BERTA K. M., RÁCZ G., SOMOGYI V., KURDI R. (2019): *Secondary raw material from red mud and other sludge waste*. 14th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Dubrovnik. Croatia. 2019. Book of abstracts page 677. ISSN: 1847-7186.

Egyéb, az értekezés tézispontjaihoz nem kapcsolódó publikációk:

Magyar nyelvű lektorált folyóiratban első szerzős cikk

10. BERTA K. M., FÜLEKY GY., FUCHS M., FUTÓ Z., HOLES A., GULYÁS M., 2018. - *Pirolízis szilárd végtermékek és komposzt hatása néhány növényfejlődési-, és talaj paraméterre homokszövetű talajon tenyészedényes modellkísérletben*. Membrántechnika és ipari biotechnológia IX/4 2018. 62-69.p.

Könyv, könyvfejezet magyar nyelven

11. BERTA K. KURDI R.(2019): 9 CÉL – *Ipar, Innováció és infrastruktúra., Földünk állapota – A fenntartható fejlődési célok tükrében*. Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet munkaközössége. p: 93-101. ISBN:978 963 133 9

Előadás magyar nyelven, konferencián (előadóként)

12. BERTA K. M. *Új talajtípus azonosítása és területi lehatárolása archív talajadatok felhasználásával a Körös – Maros vidék területén*. Szent István Egyetem, Tudományos Diákköri Konferencia 159. p. 2010.
13. BERTA K. M.,2021.: *A papírhulladék helyzete a körkörös gazdaságban*. OOK PRESS Konferencia 2021. Veszprém. Magyarország

Poszter idegen nyelven, nemzetközi konferencián

14. J. BOBEK-NAGY, E. TÓTH, R. FEJES, K.M. BERTA, A. SARKADY, R. KURDI (2023): OFMSW as a potential secondary raw material for chemical recycling. Prague, Czech Republic. 2023. Book of abstracts page 1522.
15. KINGA M. BERTA, MÁTÉ KARLIK (2023): Identifying and remediating red mud contamination in soil. 30th Poster Day. Bratislava, Szlovákia 2023.11.08. - 2023.11.08. Book of abstracts page 43. ISBN: 978-80-89139-59-0.

Nem referált magyar nyelvű folyóirat

16. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: HÁZTARTÁSI HULLADÉKUNK OTTHONI KEZELÉSE – A KOMPOSZTÁLÁS 1. RÉSZ. FELSŐÖRSI HÍRMONDÓ. 17 (3), 7.
17. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: HÁZTARTÁSI HULLADÉKUNK OTTHONI KEZELÉSE – A KOMPOSZTÁLÁS 2. RÉSZ. FELSŐÖRSI HÍRMONDÓ. 17 (4), 9.
18. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: VÍZTAKARÉKOS MEGOLDÁSOK A KERTBEN. FELSŐÖRSI HÍRMONDÓ. 17 (5), 7.
19. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: KÖRNYEZETTUDATOS NYARALÁS. FELSŐÖRSI HÍRMONDÓ. 17 (6), 10.
20. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): KÖRNYEZETBARÁT NYARALÁS: AZ UTAZÁS ÚJ FEJEZETE. VESZPRÉMI 7 NAP. 28. (27). 15.
21. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ÖKOLÁBNYOMUNK – TÚLLÖVÉS NAPJA. VESZPRÉMI 7 NAP. 28. (30). 14.

22. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: A TÚLFOGYASZTÁS NAPJA: MEKKORA LÁBON ÉLÜNK? FELSŐÖRSI HÍRMONDÓ. 17 (7), 8.
23. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: ŐSZI FAÜLTETÉS: TUDNIVALÓK A SIKERES ÜLTETÉSRŐL. 17 (9), 7.
24. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2023): ZÖLD SAROK: FENNTARTHATÓ KARÁCSONY, TUDATOS ÜNNEPLÉS. 17 (10), 8.
25. TÓTH-NAGY G., BERTA K. M. (2024): ZÖLD SAROK: FENNTARTHATÓ KARÁCSONY, TUDATOS ÜNNEPLÉS. 18 (1), 10.