



Szent István Egyetem
Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola

**AZ URBANIZÁCIÓ, A VÍZSZENNYEZÉS ÉS VÍZTISZTÍTÁS
TECHNOLÓGIAI ÉS TÁRSADALMI KÉRDÉSEI**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Czikkely Márton

Gödöllő
2018

A doktori iskola

megnevezése: Szent István Egyetem
Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola

tudományága: gazdálkodás és szervezéstudományok

vezetője: Prof. Dr. habil Lehota József DSc
Egyetemi tanár, Doktori Iskola vezető, MTA doktora
SZIE Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
Üzleti Tudományok Intézete

Témavezető: Dr. habil Fogarassy Csaba PhD
Egyetemi docens, Kutatóközpont igazgató
SZIE Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
RGVI, Klímagazdaságtani Elemző és Kutatóközpont

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK.....	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	7
2.1 A nehézfém adszorpciós vizsgálatok módszertani háttere	7
2.2 A települési szennyvízkezelés és az üzemi technológiai kialakítás vizsgálata	8
2.3 Menedzsmenti vizsgálatok, a környezeti kockázat becslése.....	9
2.4 Gazdasági vizsgálatok, a Körkörös Gazdasági Érték (CEV) kalkulációja.....	9
3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	11
3.1 A kidolgozott új technológia optimális rázatási időtartamának meghatározása .	11
3.2 A vizsgált nehézfémek adszorpcióinak eredményei.....	11
3.3 A kidolgozott víztisztítási technológia alkalmazhatósága településfejlesztési kérdésekben	14
3.4 A Környezeti kockázat-menedzsmenti vizsgálatok eredménye	14
3.5 A Körkörös Gazdasági Érték (CEV) kalkulációja, a kidolgozott technika körkörös gazdasági jellegének meghatározása	17
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	21
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	24
6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	27

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITÚZÓTT CÉLOK

A környezetvédelem egyik fontos területi szegmense, munkám fő témája a szennyvíztisztítás. Európai Unió összehasonlításban nézve, hazánk folyamatosan igyekszik követni a szennyvíztisztítási technológiák nemzetközi fejlődését. Ugyanakkor nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy Magyarország versenyképessége nagyban függ e szakterület támogatottságától is. Rendelkezésre állnak hazai és Európai Unió pályázatok, amelyek az igények szakszerű feltárásával, ésszerű szakmai indoklással elnyerhetők. A szennyvíztisztítás folyamatát általánosan vizsgálva megállapítható, hogy az alapvetőnek tekinthető technológiai sor fejlődése hosszú folyamat volt. Eleinte egyszerű ülepítőkkal próbálták a szennyvizek lebegőanyag tartalmát eltávolítani. Ez tekinthető a mechanikai tisztítási fokozat előfutárának. Később bevezetésre kerültek olyan technológiai fejlesztések, melyek már mikroorganizmusok alkalmazásával, biológiailag is tisztították a telepekre beérkező szennyvizeket. Megjelent az eleveniszapos tisztítási technológia is. A korszerűsítéseknek köszönhetően a kémiai tisztítási fokozat technológiai háttere is megújult. Manapság már olyan korszerű elven működő módszerek is rendelkezésre állnak, mint a membrántechnológiás tisztítás, és a biodegradálható, nem mérgező anyagok lebontására vonatkozó Monod-kinetika, illetve a toxikus anyagoknál szerepet játszó Andrews-kinetika.

A szennyvizek nehézfém tartalma fontos tényező, mind ökológiai, mind humán egészségkockázati szempontból. A tisztított szennyvízben, a befogadóba vezetés előtt bármennyire is szennyezettségi határérték alatti a nehézfémek koncentrációja, a környezetben, felszíni vizekben lévő terhelések - pl. fém-komplex vegyületek - következtében ezek feldúsulhatnak. A tisztított szennyvíz és a befogadó (felszíni vízfolyás) nehézfém tartalma összeadódik, átlépve a szennyezettségi határértékeket. Emiatt olyan tisztítási (eltávolítási) technika kidolgozása volt a célom, amivel a nehézfém tartalmat annyira le lehet csökkenteni, hogy a befogadóba vezetést követően már nehezen tud határérték feletti koncentrációt mutatni. Fontos szempont, hogy az új fejlesztésű környezettechnikai eljárások hatékonyságát kockázati-menedzsmenti vizsgálatokkal is alátámasszák. Ennek eredményeként, bizonyíthatóvá válik a technológiafejlesztés során várt hatékonyság környezeti és humán egészségügyi vonatkozása is.

Az általánosan alkalmazott nehézfém csökkentési technológiák (például mesterséges, vagyis fizikai-kémiai kialakítású adszorpciós töltetek) lineáris gazdasági jellege egyértelműen kimutatható, hiszen ismert a technológiára vonatkoztatott teljes anyag- és energiamérleg. Azonban az új fejlesztésű környezettechnikai eljárások szempontjából a gazdasági kérdések is előtérbe kerülnek. Fontos, hogy minden újonnan kidolgozott és bevezetett környezettechnológiai eljárás, egyben körkörös gazdasági jellegű is legyen. Emiatt, nem csupán az új és hatékony technológiai fejlesztésre kell fókuszálni, hanem az anyag- és energiaáramok tekintetében elvégzett Körkörös Gazdasági Érték (CEV) kalkulációkra is. Hangsúlyos szempont a CEV vizsgálati módszerek fejlesztése, hiszen minden új környezettechnológiai eljárás más és más műszaki és működési feltételrendszerrel takar, így eltérő ezek körkörös gazdasági értéke. Egyes esetekben, az energiamérleg ismeretének hiányában, az anyagáramokra vonatkoztatva is megadható a módosított fenntarthatósági (CEV) érték eredménye.

Disszertáció célkitűzései

- C1. Alapvető célként fogalmaztam meg az urbanizáció, a vízszennyezés és víztisztítás kapcsolatának feltárását, különös tekintettel a települési szennyvizek nehézfém tartalmának kérdésére. A naponta keletkező lakossági (kommunális) szennyvizek nehézfém tartalma, különböző mértékben ugyan, de jellemzően magas, ezért szükségzerű a nehézfém eltávolítási módszerek folyamatos fejlesztése. Azért tekintettem a nehézfém tartalmat kiemelten fontos kérdésnek, mert mind a környezetben, mind az emberi szervezetben, nagy mennyiségben szennyezést / egészségügyi problémát okozhatnak.
- C2. Fontos technológiai célként fogalmaztam meg egy alternatív nehézfém eltávolítási módszer kidolgozását, melynek köszönhetően magas hatásfokkal csökkenthető a szennyvizek nehézfém tartalma, ezáltal – véleményem szerint – jelentősen mérsékelhetővé válik a nehézfémek okozta környezeti és humán kockázat. A kidolgozni kívánt módszerem célja a nehézfém adszorpció fizikai módon történő elősegítése volt, speciális csiperkegomba komposztok nagy fajlagos felületének kihasználásával. Vizsgálatom eredményeit, így a nehézfém adszorpciós

módszerem sikerességét, ICP-MS műszeres analitikai mérésekkel kívántam bizonyítani.

- C3. Urbanizációs, településfejlesztési szempontból kívántam megvizsgálni a kidolgozandó új nehézfém koncentráció csökkentési módszer, azaz a rázatással történő adszorbeálás települési szennyvíztisztítási sorba illeszthetőségét, és ezáltal a lakossági szennyvizek tisztítása során történő alkalmazhatóságot.
- C4. Menedzsmenti és társadalmi szempontból célom volt azt is bizonyítani, hogy az új módszerrel történő adszorbeálással a tisztított vizek nehézfém koncentrációja olyan alacsony szinten tartható, ami már nem okoz humán egészségügyi és környezeti kockázatot.
- C5. Fontos célként fogalmaztam meg a kifejleszteni kívánt rázatásos nehézfém adszorpciós technika gazdasági vizsgálatát, vagyis a technika körkörösíthetőségének elemzését, valamint a Körkörös Gazdasági Érték (CEV) kalkulációját.

Disszertációm hipotézisei

- H1. A rázatásos nehézfém adszorbeálásnak köszönhetően, magas hatásfokkal csökkenthető a kommunális szennyvizek nehézfém koncentrációja.
- H2. Az általam kifejlesztett módszer beilleszthető az urbanizációs tendenciákkal párhuzamosan fejlődő szennyvíztisztítási eljárások sorába.
- H3. Kutatásom eredményeként egy olyan alkalmazható módszer kidolgozása várható, mellyel a nehézfém koncentráció csökkentésének köszönhetően, a tisztított vizek környezeti és humán egészségügyi kockázata jelentősen mérsékelhető.
- H4. Meghatározható egy olyan üzemi technológiai kialakítás, mely a gyakorlatban történő alkalmazhatóságot elősegíti.
- H5. Meghatározható a technika körkörös gazdasági jellege, megadható a körkörös gazdasági érték (CEV), valamint definiálható a CEV érték számolás képletének további módosítási iránya.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 A nehézfém adszorpciós vizsgálatok módszertani háttere

A vizsgálatokhoz csiperkegomba komposztokat használtam fel. A csiperkegomba komposzt mintavételek, egy kimondottan erre a célra szakosodott hazai kisüzem telepén történtek, több ciklusban (a telepen a csiperkegomba komposzt előállítására nyitott prizmás komposztálási módszert alkalmaznak). A csiperkegomba komposztminták szemcseméret eloszlását az erre a célra szolgáló (talajok szemcseméret eloszlásának meghatározását is segítő) szitasorozat segítségével végeztem. 0,02 mm, 0,2 mm valamint 2 mm lyukátmérőjű szitán keresztül történt a komposztminta átszitálása, így a kapott három frakcióval vált lehetséges az adszorpciós vizsgálatok elvégzése. A 2 mm szemcseméret esetében sikerült a rázatást elvégezni, ezt követően pedig a mintákat szűrni. Ez a szemcseméret vált alkalmassá arra, hogy a nehézfém adszorpciós vizsgálatokat elvégezzem.

A vizsgálatokkal a csiperkegomba komposztok nehézfém adszorpciós tulajdonságainak megállapítása volt a szándékom, így ehhez elsősorban ismert nehézfém tartalmú és ismert koncentrációjú törzsoldatok előállítása volt szükséges. Céлом az volt, hogy a törzsoldatok ne csupán egyes szimpla nehézfém tartalommal rendelkezzenek, hanem lehetőleg a nehézfémek különböző kombinációit is tartalmazzák (kettes illetve hármas nehézfém kombinációkban). Ezt azért végeztem, mert vizsgálataim során arra is kíváncsi voltam, hogy a kombinált nehézfém tartalom során miként változik az egyes nehézfémek adszorpciója az önálló szimpla törzsoldatokéhoz képest. Az elkészített törzsoldatok koncentrációi az alábbiak voltak: 250 mg/dm³; 500 mg/dm³; 750 mg/dm³ valamint 1000 mg/dm³. Minden egyes szimpla és kombinált nehézfém tartalmú törzsoldatot ebben a fenti négy koncentrációban készítettem el. A nehézfémek szimpla, dupla illetve tripla kombinációi az alábbiak szerint alakultak: Cu; Mn; Cd; Cu+Mn; Cd+Mn; Mn+Cd+Cu; Mn+Cd+Zn. A nehézfém adszorpció elősegítése érdekében, olyan technikát fejlesztettem ki, mely módszer adszorpciós időtartama viszonylag rövid, és néhány lépésben kivitelezhető. Doktori munkám egyik sarokpontja, hogy az adszorpció elősegítésére a rázatásos technikát dolgoztam ki, mely egy síkrázógép segítségével, meghatározott időtartamban és fordulatszámokon történő rázatással segíti elő a nehézfémek

adszorpcióját. A kidolgozandó módszer elsődleges feladata az adszorpció időtartam csökkentése volt, a lehető legrövidebb időre (de természetesen az időtartamnak nem szabad az adszorpció hatásfok rovására csökkennie). A kidolgozott módszer lényege, hogy a síkrázógép vízszintes síkban történő mozgással, a komposzt és törzsoldat kombináció folyamatos keverését idézi elő, így megakadályozza a leülepedést. A technikához műanyag 40 cm³-es centrifuga csöveket használtam, melyek a centrifugálás során fellépő fizikai erőkhöz alkalmazkodva lettek kialakítva. A módszerfejlesztési vizsgálatok során, különböző komposzt – nehézfém szennyezett víz arányokkal dolgoztam, de a legmagasabb adszorpció hatásfok a 10 g csiperkegomba komposzt és 30 cm³ nehézfém tartalmú törzsoldat arányában (vagyis 1:3) jelentkezett. Vizsgálataim során megállapítottam, hogy az 50 min rázatási időtartam és a 480/min fordulatszám során lehet elérni a legmagasabb hatásfokot. A rázatást követően, a mintákat leszűrtem és leroncsoltam, hogy a szervesanyag tartalom ne legyen zavaró hatással a nehézfém tartalom mérésére. A roncsolást Milestone 1200M Mikrohullámú roncsoló segítségével végeztem. 5 cm³ oldatmintával dolgoztam, melyhez 5 cm³ HNO₃ és 1 cm³ H₂O₂ reagenset adtam. A roncsolási program ideje 24 min volt, ezt vízfürdő követte, 30 min időtartamban. A roncsolt, majd leszűrt minták nehézfém tartalmát ICP-MS segítségével mértem meg. Erre a műszeres analitikai mérésre a Bécsi Egyetem Analitikai Kémiai Intézetében volt lehetőségem (Universität Wien, Institut für Analytische Chemie). A méréshez használt ICP-MS típusa Agilent 7500CE (Agilent Technologies, Waldbronn, Germany) volt, automatikus mintaadagolóval kombinálva.

2.2 A települési szennyvízkezelés és az üzemi technológiai kialakítás vizsgálata

A kidolgozott nehézfém adszorpció technológia laboratóriumi körülmények között kimagasló hatásfokot mutatott. Annak érdekében, hogy üzemi kialakítás esetén a nehézfém eltávolítási hatásfok ne mutasson szignifikáns különbséget, mindenképpen hangsúlyt kell fektetni a technika szennyvíztisztítási technológiai sorba való illeszthetőségére. Arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a szennyvíztechnológiai sor melyik pontján lenne a legcélszerűbb bevezetni a technikát. Mindezt körültekintő üzemi megvalósítással, tehát az alábbi fontos szempontok hangsúlyos kezelésével:

- Ne okozzon ingadozó szennyvízmennyiséget a technológiai sorban
- A technika ne terhelje a rendszert szerves anyagokkal
- Az üzemi kialakítás során el kell dönteni, hogy szakaszos vagy folyamatos szennyvízterheléssel számolunk-e, hiszen ennek alapján a csiperkegomba komposzt felületén megkötött nehézfém egy része vízdoldható formában lemosódik és továbbítódik a rendszerben
- Energetikai szempontból se okozzon túlterhelést a szennyvízüzemben.

2.3 Menedzsmenti vizsgálatok, a környezeti kockázat becslése

A mérési eredményeket „Past3” programcsomag segítségével statisztikailag is értékeltem. A kapott eredményeket (nehézfém koncentrációkat) összevetettem a rendelkezésre álló, jogszabályban meghatározott (10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet) „B” szennyezettségi koncentráció határértékekkel, így mérés-technikai szempontból is értékelhetővé vált a kidolgozott adszorpciós technika hatásfoka. A környezeti elemekre vonatkozó határértékek közül a felszíni vizekre vonatkozó adatsorokat választottam, mivel a kidolgozott új szennyvíztisztítási (nehézfém adszorpciós) technika az élő vizekre, a felszíni vizekre van kedvező közvetett hatással. A felszíni vizekre vonatkozó határérték koncentrációkat a fent említett VM rendelet 2. és 3. számú melléklete tartalmazza.

A kockázat modellezése során a „Bajor Egyszerűsített Kockázatbecslési Modellt” (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (Forrás: Bajor E.K.M.) alkalmaztam, mely a szennyezőanyagok potenciális kockázatát három szinten vizsgálja:

1. Emissziós szakasz (*a szennyezőanyag potenciális veszélyességének jellemzése*)
2. Transzmissziós szakasz (*környezetbe történő bejutás és mobilitás jellemzése*)
3. Imissziós szakasz (*a hatásviselő érzékenységének minősítése és a hatás mértéke*)

2.4 Gazdasági vizsgálatok, a Körkörös Gazdasági Érték (CEV) kalkulációja

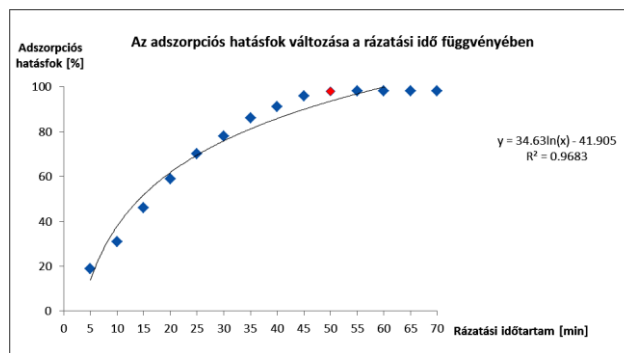
Doktori munkám része volt a kidolgozott nehézfém eltávolítási módszer gazdasági elemzése is, mégpedig a körkörös gazdasági értékek (CEV) számítása. Az adszorpciós kutatásomban kifejlesztett új nehézfém eltávolítási technológiát (CEV_{Scen}) hasonlítottam össze a jelenleg általánosan alkalmazott vegyszeres kémiai nehézfém

eltávolítási módszerrel (ez utóbbit tekinthetjük CEV_{BAU} -nak). A szakirodalomban rendelkezésre álló $CEV\%$ értékeket módosítottam mind a BAU, mind az új módszer esetében is, melyeket $CEV\%_{Scen(mod)}$ és $CEV\%_{BAU(mod)}$ -ként jelöltem. Erre azért volt szükség, mert a kutatás jelen fázisát követően fog a gyakorlatban történő pontos műszaki technológiai kialakításra sor kerülni (üzemi körülmények között). A módosított $CEV\%$ értékek a nyersanyagáramokra vonatkoztatva kerültek meghatározásra, és már ezzel az eredménnyel is összehasonlíthatóvá válik a BAU és a Scen technológia körkörös gazdasági értéke.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1 A kidolgozott új technológia optimális rázatási időtartamának meghatározása

Az ideális rázatási időtartam megállapításához több lépcsőben (5 min különbségekkel) emeltem az időtartamot, majd ezt követően a hatásfok megállapítása érdekében a csiperkegomba komposzt által adszorbeált nehézfém mennyiségét mértem. A rázatási időtartam induló értéke 5 min volt, ezt egészen 70 min időtartamig emeltem. A rázatásos adszorpciót követő mérések alapján az 50 min rázatási időtartam volt a legideálisabb a technika hatásfokának szempontjából (1. ábra). Az 50 min időtartamú rázatás során a hatásfok 98% volt, ezt követően nem emelkedett.



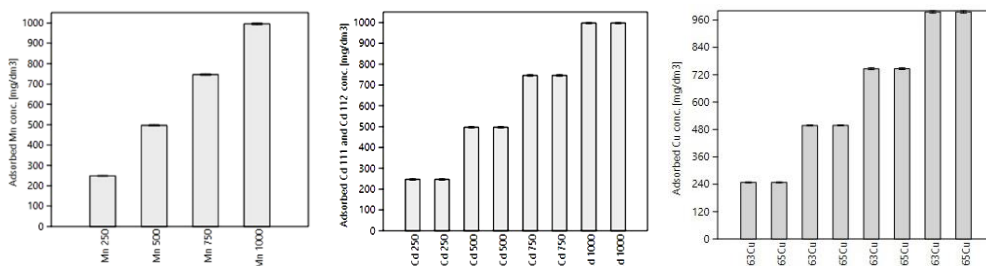
1. ábra. Az adszorpciós hatásfok változása a rázatási idő függvényében

3.2 A vizsgált nehézfémek adszorpcióinak eredményei

Mn; Cd és Cu szimpla adszorpciója

Az Mn esetében az 500 mg/dm³; 750 mg/dm³ és 1000 mg/dm³ koncentrációjú törzsoldatokból történő adszorpciót követő visszamérések eredményei az adszorpció maximumát nem mutatták meg, így vizsgálati eredményeim alapján elmondható, hogy a mért koncentráció tartományban 98-99% hatásfokkal működött az adszorpció. A Cd esetében figyelembe kell venni, hogy az izotóp interferencia ebben az esetben a ¹¹¹Cd és ¹¹²Cd között oszlik meg. A 250 mg/dm³ eredeti törzsoldat koncentrációhoz tartozó adszorpciós hatásfok 97% volt, ami a magasabb koncentrációs értékhez tartozó hatásfokokkal szemben alacsonyabb. A Cu két izotópja, a ⁶³Cu és a ⁶⁵Cu aránya a kadmiumhoz hasonlóan közel 50-50%, így várható volt, hogy az adszorpció hatásfoka is

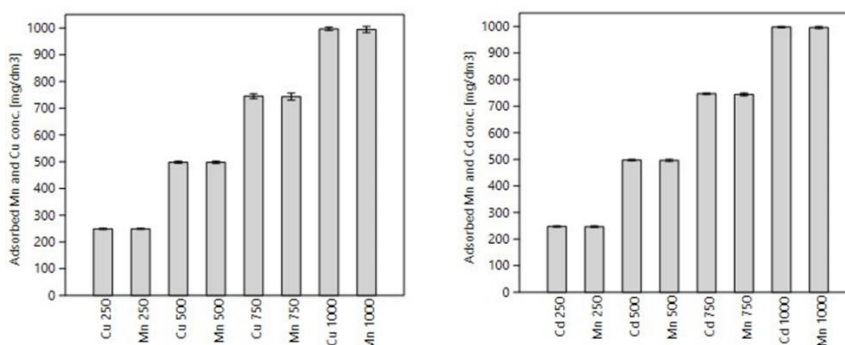
hasonló lesz. A koncentráció növekedésével, a hatások ugyanúgy 98-99% maradt. Ez azt jelenti, hogy a vizsgálatokkal nem értem el az adszorpció maximumát. Az Mn; Cd és Cu adszorpcióinak eredményeit a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. Az Mn; Cd és Cu adszorpciójának eredményei

Cu+Mn és Cd+Mn adszorpciója

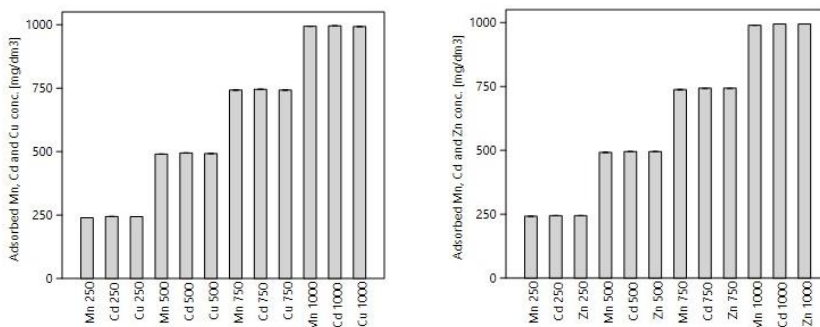
A Cu és Mn kombinált nehézfém tartalmú oldatok esetében az adszorpció hatások 98-99% volt. Az adatok alapján elmondható, hogy a két nehézfém nem gátolta egymás adszorpcióját, a kombinálás ellenére sem. Tehát, ha a Cu és Mn, mint nehézfém szennyezés egyszerre tartózkodik a szennyvizekben, akkor mind a kettő 98-99% hatásokkal tud adszorbeálódni. A Cd és Mn kombinálása esetén végzett mérések eredményei alapján elmondható, hogy a Cd adszorpció hatások még az 1000mg/dm³ koncentráció értéknél is több mint 99% volt, szemben az Mn adszorpcióval, mely az összes koncentráció értéknél 98% volt. A két adszorpció hatások között nincs szignifikáns különbség, ugyanakkor a többi kombinálás eredményei alapján elmondható, hogy a Cd+Mn kombinálás esetén a Cd valamelyest csökkenti az Mn adszorpciót. A 3. ábrán látható a dupla kombinációs nehézfém tartalmú törzsoldatok adszorpciója.



3. ábra. Cu+Mn és Cd+Mn adszorpciója

Mn+Cd+Cu és Mn+Cd+Zn adszorpciója

A hármas nehézfém kombináció adszorpciójának vizsgálatára azért került sor, mert a szennyvizekben egyszerre több nehézfém is jelen van (eltérő koncentrációban), és az adszorpció sikerességét a minél nagyobb számú nehézfém kombináció jelenti. A Cd mind a kétféle hármas kombinációban jelen volt, mivel sem a szimpla sem a dupla nehézfém tartalommal elvégzett vizsgálatoknál nem mutatott szignifikáns eltérést az adszorbeálódott koncentrációkban. Azonban a Cd adszorpciójának hatásfoka eltért az előzetesen várttól. A csiperkegomba felületén adszorbeálódott Cd koncentráció értékek mind a Mn, mind a Cu értékeihez képest alacsonyabbak voltak (az értékek között nem volt szignifikáns eltérés). Összehasonlítva a kettős kombinációban vizsgált Cd adszorpció hatásfokával, az ugyanazon eredeti nehézfém koncentráció értékekből számított adszorbeálódott koncentráció alacsonyabb volt a hármas kombináció esetében. Ennek oka, hogy a Cd több másik nehézfém egyidejű jelenléte mellett már eltérő adszorpció tulajdonságokkal rendelkezik, illetve ebben a hármas kombinációban két olyan nehézfémrel volt kombinálva, melyek adszorpciója sem a szimpla sem a dupla kombinációknál nem érte el az adszorpció maximumot. A Mn és a Cd egy második hármas kombinációban is szerepelt, melyben a harmadik nehézfém a Zn volt. Kíváncsi voltam, hogy mind a Mn, mind a Cd milyen adszorpció hajlandóságot és hatásfokot mutat, ha egy addig még nem vizsgált nehézfémrel kombináljuk. Előzetes ismeretek szerint, a ⁶⁴Zn hasonló adszorpció tulajdonságokkal rendelkezik, mint a ^{63,65}Cu. A hármas kombinációk adszorpció eredményeit a 4. ábra mutatja be.



4. ábra. Mn+Cd+Cu és Mn+Cd+Zn adszorpció eredményei

Az adszorpciós eredményeket nézve, összességében elmondható, hogy mind a szimpla, a dupla és a hármas kombináció adszorpciója esetében is sikeres volt a kifejlesztett rázatásos technika. Az adszorpciós maximum meghatározása a vizsgált nehézfém koncentrációk esetében nem valósult meg, viszont azt bizonyítottam, hogy (bár az ipari szennyvizek esetében lehetséges kiugróan magas nehézfém koncentráció) a környezetben ritka esetben elforduló 1000 mg/dm^3 nehézfém koncentrációnál magasabb tartományban is képes a csiperkegomba komposzt nehézfémeket adszorbeálni. A hatásfok értékek 97-98-99% körül mozogtak, és az egyes nehézfémek esetében mutatott hatásfok csökkenés sem jelentett szignifikáns különbséget.

3.3 A kidolgozott víztisztítási technológia alkalmazhatósága településfejlesztési kérdésekben

Eredményeim összességében igazolták, hogy módszerem a városok egyik fontos problémájára, az ivóvíz bázisokat és felszíni víztesteket érintő nehézfém szennyezések csökkentésére alkalmas. Az egyik lehetséges gyakorlati (üzemi) alkalmazási mód, hogy a már meglévő szennyvíztisztítási technológiai sorhoz egy alternatív utat kapcsolunk, mely napi összefüggésben áll a fő tisztítási sorral, és nem helyettesíti annak egyetlen szegmensét sem. A csiperkegomba komposzttal történő adszorpció során, a tovább folyó szennyvízben magas szerves anyag tartalom jelentkezhet, mely jellemzően vízdoldható, vagy vízben elegyedni képes komplex vegyületek formájában mutatkozik meg. Annak elkerülése érdekében, hogy a tisztított és befogadóba engedett víz ne okozzon az élővizekben eutrofizációt, szerves anyag feldúsulást, és ne okozza az élővíz oxigénháztartásának felborulását, mindenképpen szükséges a szerves anyag tartalom csökkentése is.

3.4 A Környezeti kockázat-menedzsmenti vizsgálatok eredménye

A felszíni vizek szennyezettségi határértékeit és azok alkalmazását a 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet szabályozza. Az általam kifejlesztett nehézfém eltávolítási technikának is meg kell felelnie annak a követelménynek, ami a felszíni vizek nehézfém terhelésére és a nehézfémek humán egészségügyi kockázatára vonatkozik. Ebből a

szempontból, az eredményeimmel bemutatott, majd az analitikai méréseimmel igazolt határfokok (97-99%) kimagaslónak tekinthetők. Az 'Anyag és Módszertan' fejezetben említett Bajor Egyszerűsített Kockázatbecslési Modell három alappillére határozza meg egy adott szennyezőanyag kockázati minősítését, besorolását, illetve a kockázat becslését követő környezeti kármentesítési technikák alkalmazását. Ebből kifolyólag, fontos a modell finomítása és kisebb részleteiben történő módosítása a kidolgozott technika sajátosságainak figyelembe vételével. Az 1. táblázat a Kockázatbecslési Modell módosításokkal felírt és kidolgozott elemzését mutatja be.

1. táblázat. A Bajor Egyszerűsített Kockázatbecslési Modell alkalmazása a kidolgozott technikára (Forrás: Bajor E.K.M. alapján, saját módosításokkal)

<i>Talajvíz / Felszíni víz (mint környezeti hatásviselő közeg)</i>		<i>Kockázati besorolási osztály</i>
Emissziós szakasz		
Fő tényezők	Az anyagok potenciális veszélyességének meghatározása (háttér szerinti besorolás): Közepes kockázati besorolás, a nehézfémek kettős jellege alapján (kis koncentrációban biogén elemek, magas koncentrációban szennyezőanyagok)	Kiindulási kockázati osztály: III.
Kockázat növelő tényezők	Nagy anyagmennyiség vagy helyi terhelés áll-e fent? Kockázat növekedés csak kiugróan magas (>1000 mg/dm ³) nehézfém koncentráció esetén jelentkezhet	II.
Kockázat csökkentő tényezők	Mobilitás mértéke: Nagyfokú mobilitás, jelentős szennyezőanyag transzport (oldott formában a talajvízzel, felszíni vizekkel). Kockázat csökkenése az oldódás, így a koncentráció mérséklődése miatt várható	III.
Transzmissziós szakasz		
Fő tényezők	Felszíni vízfolyások (mint befogadók) átlagos áramlási sebessége, az átlagos vízmélység, vízhőmérséklet, pH, elektromos vezetőképesség	III.
Kockázat növelő tényezők	Kedvezőtlen domborzati viszonyok (felszín erodáltságának mértéke, lefolyás gátoltsága) kérdése: Nem áll fent, mivel a szennyvíztisztító telepek sík területeken létesültek, így a kedvezőtlen domborzati viszonyok okozta problémák nem jelentkeznek a befogadóba vezetéskor	IV.
Kockázat csökkentő tényezők	A befogadó közeg szigeteltsége (amennyiben a talaj/talajvíz – felszíni víz rendszerétől elkülönítve tárolják az anyagot: A technika szempontjából nem releváns kérdés	IV.

Imissziós szakasz		
Fő tényezők	A vízszennyeződés mértéke, illetve a vizsgálati eredmények esetleges hiánya: A kidolgozott technika esetében nem beszélhetünk vízszennyeződésről, mivel a kimagasló hatásfok miatt nem jelentkezik környezeti akkumulálódás. A rendelkezésre álló vizsgálati eredményekkel a kockázat csökkenését bizonyítottam	V.
Kockázat növelő tényezők	A környezeti hatásviselő közeg (korábról) ismert károsodása: A szennyvíztisztító telepekről a befogadóba engedett tisztított víz számára olyan felszíni vízfolyást választanak, melynek károsodása nem ismert (hiszen előzetesen bevizsgált vízminőségi paraméterekkel rendelkezik)	IV.
Kockázat csökkentő tényezők	Az áramló vízben a káros anyag szállításának mértéke: Mivel a technika hatásfoka nem 100%, így minimális koncentrációban tartalmaz nehézfémeket a befogadóba engedett tisztított szennyvíz (3. táblázat). A nehézfémek mobilitása magas, az akkumulálódás kérdése más felszíni vízfolyásokkal történő keveredést követően válik csak kérdéssé	IV.

Ahogy az 1. táblázatban is olvasható, a Bajor Egyszerűsített Kockázatbecslési Modell alapvetően a környezeti hatásviselő közeg (talajvíz-felszíni víz) szempontjából vizsgálja a szennyezőanyagok környezeti kockázatának mértékét.

2. táblázat. A Bajor E.K.M. osztályozási rendszere alapján történt besorolás

Talaj-talajvíz expozíciós útvonal		
Modell osztályzata	Kockázat osztály	
>8	I.	Nagyon magas
5-7	II.	Magas
4-5	III.	Közepes
2-3	IV.	<i>Alacsony</i>
0-1	V.	Nagyon alacsony

A modell kockázatbecsléssel dolgozik, így mindenképpen szükségesnek látom a technika alkalmazását kontrollmérésekkel is összekötni, melyek a befogadó felszíni vízfolyás vízminőségi paramétereinek pont- és átlagmintákon keresztül történő

periodikus nyomon követését jelenti. A Modellhez tartozik egy osztályozási rendszer is, mely a modell egyes szakaszaihoz tartozó számszerű értékek alapján adja meg a talajvíz-felszíni víz expozíciós útvonal kockázati mértékét. A Bajor Osztályozási Rendszer alapján elkészített értékelést a 2. táblázat tartalmazza.

A 2. táblázat besorolása, valamint a kockázatbecslési modellel készített elemzés alapján kijelenthető, hogy a kidolgozott technika kockázati kérdése az 'IV. Alacsony' kockázati osztályba sorolható. Az alacsony kockázati osztályba sorolás előnyös lehet a technika félüzemi körülmények közötti megvalósíthatóságának elemzése során, hiszen a módszer elsődleges feladata a környezeti hatásviselő közegek kockázati kitettségének csökkentése.

3.5 A Körkörös Gazdasági Érték (CEV) kalkulációja, a kidolgozott technika körkörös gazdasági jellegének meghatározása

Az első lépés az alternate scenario (vagyis a kidolgozott alternatív nehézfém eltávolítási technika) CEV értékének meghatározása volt. A CEV egyenletet felírva, meghatározhatók az input és az output oldalon az egyes anyag- és energiamennyiségek.

$$CEV\% = 100 - \left(\frac{\left(\frac{Mp}{Mp + Ms} + \frac{Md}{Mr + Md} \right) + \left(\frac{Ef}{Ef + Es} + \frac{El}{Ec + El} \right)}{4} \right) \times 100$$

A tényleges anyagmennyiségekkel számolva, igazodva a nehézfém adszorpció vizsgálatok során meghatározott csiperkegomba komposzt – tisztítandó szennyvíz mennyiségének arányához, az alábbi számszerű értékeket határoztam meg (CEV_{scen}):

Az INPUT oldal anyagmennyiségei:

- a rendszerbe táplált csiperkegomba komposzt mennyisége: 1 kg
- a komposztra engedett tisztítandó (nehézfém terhelt) szennyvíz mennyisége: 3 m³
- nehézfém mennyisége (koncentrációja) a tisztítandó szennyvízben: 1000 mg/dm³

Az OUTPUT oldal anyagmennyiségei:

- a rendszerből elvezetett tisztított (nehézfém mentesített) szennyvíz mennyisége 3 m³

- az időszakosan eltávolításra kerülő, „kimerült” csiperkegomba komposzt mennyisége 1 kg
- az elvezetett tisztított szennyvíz nehézfém koncentrációja: 30 mg/dm³

A jelenleg alkalmazott nehézfém eltávolítási módszerek közül BAU-ként jelöltem meg a tölteten adszorbeáló nehézfém mentesítő rendszert. Választásom oka, hogy nem csak széles körben alkalmazott eljárás, hanem a rendelkezésre álló technikák közül a legmagasabb hatásokkal dolgozik, így összehasonlítható az általam kifejlesztett technika hatásfokával és adszorbeáló mechanizmusával. Az így kiválasztott BAU rendszer működésének lényege, hogy nagy hatásfokkal képes eltávolítani a szennyvizek oldott vagy oldatlan formában jelenlévő nehézfém tartalmát. A berendezés egy speciális katalitikus töltetet tartalmaz, mely elősegíti, illetve gyorsítja a nehézfém ionok reakciójához szükséges oxidációs folyamatokat és az így keletkező csapadékmennyiséget is növeli. A nehézfém mentesítés során telítődött adszorpciós közeget (szűrőanyagot) intenzív ellenáramú vizes mosással regenerálják. A Δ CEV számításhoz szükséges CEV_{BAU} meghatározás során, vizsgáltam a kiválasztott alapeljárás nyersanyag- és energiaigényét. Az input-output oldalakra vonatkoztatva, az alábbi adatok állnak rendelkezésre:

Mp: Elsődleges nyersanyag mennyisége, mely a termék előállításához szükséges: Vagyis a katalitikus töltet mennyisége: 5 kg

Ms: Másodlagos nyersanyag mennyisége, mely a termék előállításához kell: Vagyis a rendszerre engedhető tisztítandó szennyvíz mennyisége: 50 m³

Md: Nem újrahasznosítható anyagmennyiség a termék életciklus végén: Vagyis a katalitikus töltet mennyisége, melyet telítődés után a rendszerből el kell vezetni és regenerálni kell: 5 kg

Mr: Újrahasznosítható anyagmennyiség a termék életciklus végén: Vagyis a nehézfém mentesítést követően újrahasznosítható anyagok mennyisége: 0 kg

A kidolgozott technológia tekintetében meghatározzuk azokat a sarokpontokat, melyek alapján eldönthető, hogy az új fejlesztés gazdasági-technológiai szempontból kedvezőbb, mint az általánosan elfogadott és használt BAU technika. Mivel doktori munkám a technológiai elméleti és alapterminológiai kidolgozására fókuszált, így még nem került sor prototípus műszaki kidolgozására és a kivitelezés pontos meghatározására. Az

orientációs vizsgálatok és az anyagáramokra vonatkoztatott CEV értékek számítása segítséget nyújt a későbbi gyakorlati technológiai kialakítás megtervezésében és a további műszaki paraméterek meghatározásában. felírható a BAU anyagáramokra vonatkoztatott CEV értéke is. Ez azért fontos, mert így az általam kidolgozott új technológiai (alternate scenario) összehasonlíthatóvá válik a kiválasztott BAU technikával.

A BAU-ra vonatkoztatott teljes CEV% érték 47,75%. Ennek az értéknek része a BAU esetében rendelkezésre álló energiaáramok mérlegelése is. Amennyiben a $CEV\%_{BAU}$ -t az energiamérleg nélkül számítjuk ki, a módosított érték ($CEV\%_{BAU(mod)}$) a következő lesz:

$$CEV\%_{BAU(mod)} = 100 - \left(\frac{\frac{5}{5+50} + \frac{5}{0+5}}{2} \right) \times 100$$

A kiszámított érték: $CEV\%_{BAU(mod)} = 45,5\%$. Mivel a BAU lineáris voltát az energiaáramok tükrözik, a módosított CEV% képlet alapján kapott szám nem közvetíti a körkörösíthetőség teljes értékét. Ugyanakkor csak ez a módosított CEV% érték hasonlítható össze az általam kifejlesztett technológiával, mivel a $CEV\%_{Scen}$ esetében még nem kerültek meghatározásra a műszaki kialakításhoz kapcsolódó energiaforgalmi értékek.

A $CEV\%_{Scen}$ számolása a $CEV\%_{BAU}$ esetéhez igazodva, szintén módosított képlet alapján – az anyagáramokra vonatkoztatva – történik, hogy a kapott eredmények összehasonlíthatók legyenek.

$$CEV\%_{Scen(mod)} = 100 - \left(\frac{\frac{1}{1+3} + \frac{0}{1+0}}{2} \right) \times 100$$

A fenti módosított egyenlet kiszámolásával kapott érték: $CEV\%_{Scen(mod)} = 87,5\%$. Az értékek összehasonlításával fontos következtetéseket vonhatunk le. A $CEV\%_{BAU(mod)} = 45,5\%$ és a $CEV\%_{Scen(mod)} = 87,5\%$ közötti különbséget az adja, hogy a kifejlesztett technika (*Scen*) esetében a termék életciklusának végén újrahasznosítható anyagmennyiség megegyezik a primer nyersanyag anyagmennyiségével, mivel a csiperkegomba komposzt teljes egészében újrahasznosítható, természetes primer

nyersanyagának minősül. Az újrahasznosíthatóság kérdése fontos a körkörösség vizsgálatánál, és segítséget nyújt az energiamérleg (energiaáramok) későbbi meghatározásához is. A kapott két módosított $CEV\%_{mod}$ érték alapján, felírható a módosított ΔCEV_{mod} képlet is.

$$\Delta CEV_{mod} = CEV_{Scen(mod)} - CEV_{BAU(mod)}$$
$$\Delta CEV_{mod} = 87,5 - 45,5$$

Tehát a módosított ΔCEV számítással kapott érték: $\Delta CEV_{mod} = 42,0\%$.

Az eredmény alapján önmagában nem vizsgálható a teljes körkörös gazdasági érték (ΔCEV), ugyanakkor megállapítható, hogy már az anyagáramok tekintetében jelentős különbség mutatkozik a BAU módszer, és az általam kifejlesztett módszer között. A BAU esetében jelentkező eltérést az is adja, hogy a technikához használt adszorpciós közeg mesterséges kémiai anyag, mint ahogyan a keletkezett csapadék is, melyek összességében hulladékként jelentkeznek a rendszerben. Az új technika esetében viszont bármely komposztáló telepen előállítható természetes adszorpciós közegről beszélhetünk, mely regenerálható, és az életciklus végén nem hulladékként jelentkezik, hanem energetikailag hasznosítható termékként. Ez utóbbi pont az egyik lényeges eltéré a két technika között. A kidolgozott technika esetében az életciklus végére ért és kimerült csiperkegomba komposzt energetikai hasznosíthatóságának vizsgálata további kutatási program része lehet. Ugyanakkor megállapítható, hogy energetikai hasznosíthatósága más tudomány területeken kutatott már lehetőség, melynek eredményeit össze kell vetni az itt alkalmazott módszer speciális körülményeivel. Ezek a körülmények az alábbiak:

- Szakasos szennyvíz előtétis terhelés a rendszert, így a csiperkegomba komposztot is
- A szennyvíz előtétisnek köszönhetően, a rendszerből elvezetett, életciklusa végére ért komposzt minimális (kémiaiilag kötött) víztartalommal rendelkezik, melyet az energetikai hasznosítást során figyelembe kell venni
- A rendszerre vonatkoztatott energiaáramokat és a $CEV\%_{scen}$ értéket csak akkor tudjuk pontosan megadni, ha a vizsgálatokat a víztelenített komposztra vonatkoztatva végezzük

Miután a műszaki kialakítás pontos meghatározása, és így egy prototípus is rendelkezésre áll, meg lehet határozni az optimális működéshez szükséges

energiaáramokat, illetve ki lehet alakítani a megújuló energiával történő működtetés műszaki feltételeit is. Ennek következtében a kidolgozott új nehézfém adszorbeálási technika körkörös gazdasági értéke tovább javítható.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Kidolgozásra került egy új, gombakompoztra alapozott adszorpciós technika a szennyezett vizek nehézfém tartalmának csökkentésére. Erre egyedi új adszorpciós közeget, a csiperkegomba komposztot használtam, mely eljárás során, a rázatásos módszert alkalmazva, a szennyvízben lévő nehézfém tartalom kiemelkedően magas hatásfokkal adszorbeálható.

Bizonyítottam, hogy a csiperkegomba komposzt megfelelő adszorpciós kapacitással rendelkezik ahhoz, hogy a szennyezett vizek még 1000 mg/dm^3 koncentrációjú nehézfém tartalmát is jelentős hatásfokkal adszorbeálja. Megállapítottam, hogy a csiperkegomba komposzt adszorpciós közegnek kifejezetten alkalmas. Az volt a célom, hogy a szakirodalmi ismeretek birtokában, egy olyan új technikát dolgozzak ki, mely az adszorpció szempontjából kedvező, mivel növeli az adszorpcióban részt vevő felület százalékát, illetve csökkenti az adszorpció időtartamát. A technika végrehajtásához szükséges körülményeket vizsgálataim során megadtam: ez a rázatási időtartam, a rázatási fordulatszám, a rázatott csiperkegomba komposzt és nehézfém tartalmú törzsoldat aránya, valamint meghatároztam az adszorpció sikerességének ellenőrzése érdekében elvégzendő további feladatokat (roncsolás, műszeres analitikai mérés).

A rázatásos technikával történő adszorpció azért tekinthető új tudományos eredménynek, mert a pontos kidolgozásnak és beállításoknak köszönhetően, jelentős mértékben javítja az adszorpciós közeg kapacitását, és csökkenti az adszorpciós időt. Az adszorpciós kapacitás javítását azzal értem el, hogy a folyamatos rázatásnak köszönhetően, a folyadék minta nehézfém tartalma folyamatosan érintkezik az adszorpciós közeg (csiperkegomba komposzt) teljes felületével, így az adszorpció nem fog leszűkülni a felület bizonyos mértékére, hanem egyenletesen eloszlik az adszorpciós felületen.

2. Bizonyítottam a vizsgált egyes nehézfémek (Cd, Mn, Zn, Cu) kombinálása esetén jelentkező eltérő adszorpciós hajlandóságot, mely során egyértelműsítettem, hogy az általam alkalmazott új adszorpciós technológiai eljárás (gombakomposzttal történő adszorpció) során is jellemzőek azok a kombinációs előnyök, amelyek más adszorpciós eljárásoknál is növelik a megkötés határfokát.

Bizonyítottam azt a szakirodalmi megállapítást, hogy a különböző nehézfémek egyidejű együttes tartózkodás esetén befolyásolják egymás adszorpciós képességét (GERNER, GRÖBL, 2014; BAGHER et al., 2017). A kombinált nehézfém tartalmú törzsoldatok alkalmazásánál az egyes nehézfémek egymás melletti viselkedését (vagyis az adszorpció határfokát) befolyásolja a nehézfémek kombinációja. Az egyes nehézfémek adszorpciója eltérő a szimpla és a kombinált tartalom esetén. Ennek az lehet az oka, hogy a nagyobb méretű ionok kiszorítják a kisebbeket, így azok adszorpciója sok esetben jelentéktelen is lehet. Ugyanakkor a hármas nehézfém kombináció esetén, a szakirodalmi adatokkal (WANG et al., 2013) ellenkezőleg, a nehézfémek egymáshoz viszonyított adszorpciója nem mutatott szignifikáns különbséget. Ezzel meghatároztam, hogy az 1000 mg/dm³ nehézfém koncentrációjú oldatok esetén az adszorpciót nem befolyásolja, ha három nehézfém tartózkodik egyszerre az oldatban. Az adszorpció mértéke az adszorpciós közegen múlik.

3. Menedzsmenti és társadalmi szempontból kijelenthető, hogy a gombakomposzttal történő adszorpciós eljárás kiemelkedően magas határfoka miatt, hatékonyan mérsékelhetők (alacsony kockázati osztályba sorolhatók) a nehézfémek okozta humán egészségügyi valamint környezeti kockázatok. Eredményemet kockázatmenedzsment-elemzéssel is sikerült bizonyítanom.

A környezeti kockázatmenedzsmenti vizsgálataim során alkalmazott Bajor Egyszerűsített Kockázatbecslési Modellel bizonyítottam, hogy környezeti kockázati szempontból az alacsony kockázati osztályba sorolható a kidolgozott nehézfém adszorpciós technika. Ezzel azt is bizonyítottam, hogy a hipotézisnek megfelelően, a technika alkalmazásával elért adszorpciós határfok eredményeként nem jelentkezik

releváns környezeti kockázat. A nehézfémek humán egészségügyi kockázata ismert tény, ugyanakkor a kockázat mértéke nagyban függ a nehézfém környezeti koncentrációjától. Kidolgozott módszeremmel sikerült 97-99%-os adszorpciós hatásfokot elérnem, így ezzel párhuzamosan bizonyítottam módszerem alkalmasságát a nehézfémek humán egészségügyi kockázatának csökkentésére. Módszerem nem csupán a szennyvíztisztítási technológiai sorban (egy alternatív tisztítási sor kialakításával) alkalmazható sikerrel, hanem ebből kifolyólag a tisztított szennyvíz nehézfém koncentrációja is alacsonyabb lesz, mint a jogszabályilag előírt határérték. Mivel az alacsony nehézfém koncentráció esetén csökken a tisztított szennyvíz nehézfém tartalmának környezeti eredetű feldúsulása, a humán egészségügyi kockázat is várhatóan kisebb lesz.

4. Meghatároztam a kifejlesztett technológiai eljárás Körkörös Gazdasági Értékét (CEV), valamint kidolgoztam egy új (módosított) gazdasági érték kalkulációt, melynek eredménye alapján bizonyítható, hogy az új eljárás kiemelkedően kedvező hatással van az anyagkörforgás fenntartásának növelésére.

A vizsgálataimmal kifejlesztett és analitikailag bizonyítottan működő új nehézfém eltávolítási technikát összehasonlítottam az általánosan alkalmazott (és elfogadott) – vagyis BAU – technika körkörös gazdasági jellemzőivel. Ennek során meghatároztam, hogy az új technika milyen körkörös gazdasági értékkel rendelkezik. Az anyagáramok tekintetében meghatároztam a technika működésének alapfeltételeit, valamint bizonyítottam a technika cirkuláris gazdasági jellegét.

Javaslatokat fogalmaztam meg az új technika körkörös gazdasági vizsgálatának további lépéseire, melynek fontos része az energiaáramok meghatározása is, mintegy alátámasztva az új technika gazdaságfejlesztési újszerűségét. Továbbá javaslatokat fogalmaztam meg az eddig alkalmazott CEV (körkörös gazdasági érték) képlet továbbfejlesztésére is, melyben az energiaáramok módosításai is megjelennek.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Vizsgálati eredményeimmel bizonyítottam, hogy a csiperkegomba komposztok felületén történő nehézfém adszorpció működőképes módszer a nehézfém tartalom csökkentésére. Ugyanakkor az általam eddig vizsgált nehézfém koncentrációkban még nem lehetett meghatározni az adszorpció maximumát. Ennek alapján arra következtetek, hogy az adszorpció maximuma 1000 mg/dm^3 -nél nagyobb koncentrációban fog jelentkezni. Nem csupán a nehézfém koncentráció számított az adszorpció során, hanem a nehézfémek szimpla oldata illetve kettes és hármas kombinációja is. A kombinált nehézfém tartalmú törzsoldatok esetében azért volt eltérő az adszorpció a szimpla tartalmú oldatokhoz képest, mert az egyes nehézfémek adszorpciós képessége annak is függvénye, hogy milyen más nehézfémek vannak még az oldatban. Vagyis több nehézfém egyidejű tartalma esetén az adszorpciót a nehézfémek egymáshoz viszonyított viselkedése határozza meg. A mérések számszerű eredményéből arra lehet következtetni, hogy egyes nehézfémek adszorpciója időben hamarabb következik be, így az oldatban lévő többi nehézfém adszorpciója már korlátozottá válik.

Az egyes nehézfémek eltérő adszorpciója tekintetében, érdemes összehasonlítást végezni eredményeim és WANG et al. (2013) kutatásai között. Míg a kutatási tapasztalatom szerint az egyes nehézfémek adszorpciója eltérő a szimpla és a kombinált törzsoldatok esetén, addig WANG et al. (2013) arra mutatott rá, hogy az egyes nehézfémek közötti megoszlás az adszorpció során jelentéktelen. Kutatásaim azt igazolták, hogy a nehézfémek adszorpciós mértékének megoszlása az adszorpciós közegen múlik. A munkám során alkalmazott csiperkegomba komposzt speciális anyag, így a nehézfémekre vonatkozó szelektivitása erősen befolyásolja az adszorpció mértékét. MOHEE és SOOBHANY (2014) munkájukban kitérnek a nehézfémek adszorpciós tulajdonságaira is. Megemlítik, hogy a nehézfémek általában jó adszorpciós tulajdonsággal rendelkeznek, különösen a Mn, Cu, Cd és Zn. Amennyiben ezt összehasonlítom kutatási eredményeimmel, elmondhatom, hogy a MOHEE és SOOBHANY (2014) által említett különösen jó adszorpciós tulajdonsággal rendelkező nehézfémek csoportját én is igazoltam, mivel az általam vizsgált koncentráció tartományban kimondottan jó hatásfokú adszorpciót tapasztaltam. Nehézfém választásomat támasztja alá QUAN et al. (2007) vizsgálata is, mely szintén az Mn, Cu,

Cd és Zn magas arányát és jó adszorpciós tulajdonságát bizonyította az általam vizsgált környezeti mintákban. Kutatásom ezen része, egy olyan új nehézfém eltávolítási technikát mutat be, mely sikeresen lehet alkalmazni a szennyvíztisztításban gyakorlati, üzemi körülmények között is. A kifejlesztett módszer a rázatásos technika, mely segíti a nehézfémek adszorpcióját a csiperkegomba komposztok felületén. Ugyanakkor, mint minden új módszer, ez is tovább fejleszthető.

Nehézfém adszorpcióval kapcsolatos további analitikai vizsgálati irányok, lehetőségek

- Mivel az 1000 mg/dm³ koncentráció értéknél az adszorpciós hatások 97-98% volt, így mindenképpen szükséges a további koncentráció értékeknél történő vizsgálat, vagyis a koncentráció emelését javaslom
- A koncentráció érték emelését egészen addig kell elvégezni, amíg el nem éri a maximális adszorpciós pontot, vagyis amíg az adszorpciós hatások csökkenni nem kezd
- Az adszorpciós vizsgálatokat a többi, eddig még nem vizsgált nehézfém esetében is szükséges elvégezni, mind az eddigi koncentráció értékeknél, mind a megnövelt tartományban
- Amennyiben az összes nehézfémre megtörténtek az adszorpciós vizsgálatok, javaslom egy olyan adatbázis létrehozását, mely az egyes nehézfémekre és azok kombinációira ad adszorpciós adatokat minden egyes koncentráció értéknél.

Az technológia üzemi körülmények közötti műszaki megvalósíthatóságára vonatkozó javaslatok

Nehézfém adszorpciós módszerem a szennyvíztisztításban jelent segítséget. Ennek érdekében a továbbiakban az üzemi körülmények közötti megvalósítás következik, melyre a 4.4 fejezetben vázoltam egy lehetséges megoldást. A nehézfém adszorpció helyének pontos meghatározása azért is fontos, mert a csiperkegomba komposztokból az állandó szennyvíz előtérés hatására szerves anyagok kerülnek a rendszerbe. Javaslom, hogy a továbbiakban a szennyvíztisztítási folyamatban történő elhelyezés meghatározása érdekében üzemi vizsgálatok is történjenek. Ez választ adna

arra a kérdésre, hogy a laboratóriumban kialakított módszert miként érdemes tovább fejleszteni annak érdekében, hogy üzemi körülmények között is kimagasló hatásfokkal működjön.

Gazdasági és kapcsolt energetikai vizsgálati javaslatok

Javaslom, hogy az eddig számolt körkörös gazdasági érték további módosításával, meghatározásra kerüljön a teljes rendszerre vonatkoztatott CEV érték is, melynek alapfeltétele, hogy a pontos műszaki kialakítást követően a teljes technológiai rendszerre meghatározásra kerüljön a folyamat energiamérlege (input-output oldalra vonatkoztatva). A későbbiekben tervezem, hogy vizsgálatokat végzek a technológiai rendszer megújuló energiaforrásokkal való üzemeltetésére is, hogy teljes egészében függetleníthető legyen a villamos áram hálózattól (ellátástól). Jelen állapotban kézenfekvő megoldásnak látszik a biogázzal történő működtetés is, hiszen a hazai szennyvíztisztító telepek többségén van biogáz termelés, amivel a szennyvíztelepek saját áramellátását oldják meg (vagy legalábbis annak nagyobbik hányadát fedezik vele). Távlati energiaellátási megoldásként kínálkozik egy olyan lehetőség is, mely az adszorpciós közegként alkalmazott csiperkegomba komposztok előállítására alapul. A komposztálási folyamat során, az érési fázis lejátszódásához szükséges hőenergiát a komposztálási rendszer saját maga termeli meg, mikroorganizmusok segítségével. Amennyiben a csiperkegomba komposzt előállítása az adott szennyvíztisztító telepen történik, lehetőség mutatkozik a komposztálás során termelődött hőenergia rendszerbe történő visszaforgatására, mellyel a nehézfém eltávolítási technika energiaellátását lehetne biztosítani. Ezzel párhuzamosan - gazdasági értelemben vizsgálva a lehetőséget - tovább növelhető a kidolgozott technológia körkörös gazdasági (CEV) értéke is. További vizsgálati javaslatként fogalmazom meg a CEV érték számításának módosítását is. Szükségesnek tartom a CEV képlet olyan irányú kiegészítését, mellyel az energiaáram oldalon nem csupán a hagyományos és megújuló energiaforrások aránya mutatkozik meg, hanem az állandó működtetésből adódó, esetlegesen jelentkező energiapazarlás tekintetében, vizsgálhatóvá válik annak hagyományos/megújuló részaránya is. A nehézfém-tisztítás protokollja így például a biogáztermeléssel összehangolt energiaellátásra alapozva működtethető.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelven megjelent folyóiratcikkek

MARTON CZIKKELY, Eva Neubauer, Ilona Fekete and Csaba Fogarassy
Review of heavy metal adsorption processes by several organic matters from wastewaters.
WATER (MDPI-Q1, IF 2,069) 2018, 10 (10), Article ID: 1377; (*Special Issue on "Water Pollution and Treatment: Challenges and Opportunities"*)
<https://doi.org/10.3390/w10101377>

MARTON CZIKKELY, Judit Oláh, Zoltán Lakner, Csaba Fogarassy and József Popp
Wastewater treatment with adsorptions by mushroom compost - The circular economic valuation concept for material cycles. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING BUSINESS MANAGEMENT (SAGE-Q3) 2018, Volume 10
<https://doi.org/10.1177%2F1847979018809863>

M. CZIKKELY, Zs. Tóth, Cs. Fogarassy
Alternative utilization options in multi-function composting techniques.
HUNGARIAN AGRICULTURAL ENGINEERING 2018:(33) pp. 8-16. (2018)
<https://doi.org/10.17676/HAE.2018.32.11>

M. CZIKKELY, Csaba Fogarassy
Urban wastewater management in focus of heavy metal contamination
YBL JOURNAL OF BUILT ENVIRONMENT (De Gruyter) 6 (1) pp. 1-13. (2018)
<https://doi.org/10.2478/jbe-2018-0007>

L. Csapó, M. CZIKKELY, P. Földi
The role of information management in the corporate development and controlling of the smart cities
ROMANIAN ECONOMIC JOURNAL XXI. (69): pp. 1-16. (2018)
<http://www.rejournal.eu/issue/issue-69-year-xxi-september-2018>

M. CZIKKELY, Á. Bálint
Heavy metal treatment by a new adsorption method from polluted drinking waters.
INTERNATIONAL JOURNAL FOR INNOVATIVE RESEARCH IN MULTIDISCIPLINARY FIELD 3:(7) pp. 341-346. (2017)

M. CZIKKELY, Á. Bálint
Study of the degradation patterns of thermophilic fungi from special digested wastewater sludge samples.
COLUMELLA: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES 3:(2) pp. 47-51. (2016)
<https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2016.3.2.47>

M. CZIKKELY, S. Meier, Á. Bálint
The Study of Heavy Metal Adsorption on the Surface of Fungi Compost.
ECONOMICA (SZOLNOK) VIII.:(3) pp. 28-34. (2015)

M. CZIKKELY, M. I. Ibrahim, J. S. Zsarnóczai
Sustainable water management and water supply.
JOURNAL OF LANDSCAPE ECOLOGY (*Tájökológiai Lapok*) 10:(2) pp. 413-418. (2012)

Magyar nyelven megjelent folyóiratcikkek

CZIKKELY M.

Urbanizáció és környezeti fenntarthatóság, különös tekintettel a vízgazdálkodásra.
STUDIA MUNDI – ECONOMICA 4 (5), pp. 21-30. (2017)
<https://doi.org/10.18531/Studia.Mundi.2017.04.05.21-30>

CZIKKELY M.

Nehézfém szennyezések környezeti mobilitása és humán egészségügyi kockázata.
ACTA CAROLUS ROBERTUS: Károly Róbert Főiskola Gazdaság- és Társadalomtudományi
Kar Tudományos Közleményei 8 (1), pp. 53-63. (2018)

CZIKKELY M.

Urbanizációs tendenciák és problémák, valamint a városok népességváltozásából eredő környezeti hatások. PRO SCIENTIA RURALIS 2: pp. 86-98. (2018)

CZIKKELY M., Dobolyi Cs.

Biogázüzemi fermentlevek termofil gombaközösségeinek ökofiziológiai vizsgálata.
BIOHULLADÉK 6:(2) pp. 20-24.

Klemencz B, CZIKKELY M.

Csiperkegomba komposztok, mesterségesen szennyezett vizekből történő Cu²⁺ megkötő képességének vizsgálata, rázatásos módszerrel.
BIOHULLADÉK 8:(1) pp. 22-25.

Idegen nyelvű konferenciaközlemények

M. Czikkely, S. Meier, Á. Bálint

Study of heavy metal adsorption on surface of fungi compost
In: A Szabó (szerk.): 21st International Student Conference on Environmental Protection and Rural Development. Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2015.05.29-2015.05.30.
Szolnok: Szolnoki Főiskola

Á. Bálint, Zs. Lengyel, M. Czikkely, B. Törő, A. Szaniszló

Monitoring of different heavy metals in soil samples derived from Valley Sajó and near Lake Veresmart
5th ICEEE-2014 International Conference: Global Environmental Change and Population Health: Progress and Challenges. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014.11.19-2014.11.21. Budapest: Óbudai Egyetem Rejtő Sándor Könyvüipari és Környezetmérnöki Kar, pp. 71-80.

M. Czikkely, B. Klemencz, Cs. Mészáros, Á. Bálint

Testing Cu and Zn adsorption capacity of compost by shaking method using polluted waters
In: Farkas István (szerk.): 19th Workshop on Energy and Environment: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2013.10.24-2013.10.25. Gödöllő: Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar

M. Czikkely

Environmental safety and sustainability in water management
In: Farkas István (szerk.): 19th Workshop on Energy and Environment: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2013.10.24-2013.10.25. Gödöllő: Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar

M. Czikkely, Á. Bálint, Cs. Dobolyi

Properties of thermophilic fungi in sewage sludge on biogas production

In: Farkas I (szerk.): 17th Workshop on Energy and Environment: Book of Abstracts. 23 p.
Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2011.12.01-2011.12.02. Gödöllő: Szent István University

Magyar nyelvű konferenciaközlemények

Czikkely Márton

Nehézfém eltávolítási rendszerek körkörös gazdasági elemzése

In: Káposzta József (szerk.)

Közgazdász Doktoranduszok és Kutatók IV. Téli Konferenciája: Absztraktkötet. 119 p.

Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2018.02.02-2018.02.03. Gödöllő: Szent István Egyetem, 2018. p. 70. 1 p. (ISBN:978-963-269-714-7)

Czikkely Márton

Alternatív víztisztítási és nehézfém eltávolítási módszer kockázatmenedzsmenti értékelése

In: Keresztes G (szerk.) Tavaszi Szél Konferencia: Absztraktkötet. 521 p.

Konferencia helye, ideje: Győr, Magyarország, 2018.05.04-2018.05.06. (Széchenyi István Egyetem) Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2018. p. 237. (ISBN:978-615-5586-26-2)

Czikkely M., S. Meier, Bálint Á.

Szennyezett vizekből történő nehézfém adszorpció vizsgálata egy speciális gombakompozttal

In: Berkesné Rodek Nóra (szerk.): Víz- és szennyvízkezelés az iparban: II. Soós Ernő Tudományos Konferencia. Konferencia helye, ideje: Nagykanizsa, Magyarország, 2015.10.28
Nagykanizsa: Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ, pp. 57-63.

Czikkely M., Ligetvári F.

Hogyan lehetünk a régió vezető országa a vízgazdálkodás - vízfelhasználás területén? Fejlesztési lehetőségek, versenyképesség a környezeti adottságaink kihasználásával

In: Rajnai Zoltán, Fregan Beatrix, Marosné Kuna Zsuzsanna, Ozsváth Judit (szerk.): Tanulmánykötet a 6. Báthory-Brassai nemzetközi konferencia előadásaiból. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.05.27-2015.05.28. Budapest: Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, pp. 336-344.

Czikkely M., Ligetvári F.

Szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének hatásvizsgálata 1985-ben, az Alsónémedi térségi kísérleti területen

In: Szlávik Lajos, Kling Zoltán, Szigeti Edit (szerk.): XXXI. Országos Vándorgyűlés: Magyar Hidrológiai Társaság. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2013.07.03-2013.07.05. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT)

Czikkely M., Bálint Á.

Mesterségesen szennyezett vizek Cu és Zn tartalmának megkötése csiperkegomba komposztok segítségével

In: Szlávik Lajos, Kling Zoltán, Szigeti Edit (szerk.): XXXI. Országos Vándorgyűlés: Magyar Hidrológiai Társaság. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2013.07.03-2013.07.05. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT)

Czikkely M.

Kémiai foszforeltávolítási lehetőségek a szennyvíztisztítás folyamatában
In: Szlávik Lajos, Szigeti Edit (szerk.): Magyar Hidrológiai Társaság, XX. Ifjúsági Napok. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2013.09.19-2013.09.20.

Czikkely M., Fülek Gy, Ligetvári F.

A szennyvízöntözés hatása a talaj tulajdonságaira
In: Szlávik Lajos, Kling Zoltán, Szigeti Edit (szerk.): Magyar Hidrológiai Társaság, XXX. Országos Vándorgyűlés. Konferencia helye, ideje: Kaposvár, Magyarország, 2012.07.04-2012.07.06. Budapest: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT)

Czikkely M.

Szennyvizek szerves és szerves szennyezőanyagainak vizsgálata a szennyvízöntözés tükrében Magyar Hidrológiai Társaság, XIX. Ifjúsági Napok: Poszter szekció. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2012.09.20-2012.09.21.

Czikkely M., Dobolyi Cs.

Biogázüzemi maradékanyagok termofil gombaközösségeinek ökofiziológiai vizsgálata
In: Szarka László (szerk.): XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia, Konferencia-kötet (Program és előadás összefoglalók). Konferencia helye, ideje: Sopron, 2010.04.06-2010.04.07. Sopron: Nyugat-Magyarországi Egyetem (NYME), p. 145.

Felsőoktatási tananyagok

Czikkely M., Prespa Ymeri, Nguyen, H.H., Herczeg B., Horváth B., Neubauer É. (szerk.) (2018): Actual Issues of Environmental Economics (*english version for international students*). Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2018. p. 133. ISBN 9789632697703

Neubauer Éva, Herczeg Boglárka, Horváth Bálint, Czikkely Márton (szerk.) (2018): Környezetgazdaságtani szöveggyűjtemény: Szemelvények az elmúlt 5 év környezetgazdasági vonatkozású híreiből. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2018. p. 106. ISBN 9789632697697

Egyéb (nem besorolt) közlemények

Czikkely M.

Településfejlesztési- és fenntartható környezetgazdálkodási tervek Balatonalmádiban Szent István Egyetem, Vidékfejlesztési Szakkollégium, Szakkollégiumi előadás (2017)

Czikkely M., Kurecskó M.

Az Almádinak nevezett helyen: Balatonalmádi környezettani és településszerkezeti elemzése Online közlemény a Magyar Nemzeti Levéltár honlapján: „A Hét Dokumentuma” (2015)