



Pannon Egyetem

University of Pannonia

Pannon Egyetem
Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola

**Az eleveniszapos szennyvíztisztítás
adaptációs képességének vizsgálata ipari
szennyvizek tisztítása során**

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

Pitás Viktória

okleveles környezetmérnök

Témavezető:

Dr. Somogyi Viola, PhD

egyetemi docens

Pannon Egyetem

Mérnöki Kar

Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

2026

Bevezetés

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás több mint százéves története alatt a legszélesebb körben elterjedt technológiává vált a települési szennyvizek kezelése terén, továbbá ipari szennyvizek tisztítására is számos helyen alkalmazzák. Ez alatt az idő alatt többször megkérdőjelezték az eljárás hatékonyságát, illetve vetették össze más, újabb technológiákkal, azonban a rendszer robusztussága és relatív egyszerű üzemeltetése miatt máig megőrizte pozícióját.

Az elsöre biológiai úton bonthatatlanak tűnő ipari szennyvizek is nagy hatékonysággal válnak biológiailag tisztíthatóvá abban az esetben, ha az eleveniszapot alkotó életközösségnek biztosítjuk az adaptáció lehetőségét; megfelelő módját és idejét. Ugyanakkor az ipari szennyvizek tisztítása mindig egyedi és komplex feladat, melynek tervezése, megvalósítása, megfelelő üzemeltetése rendkívül szerteágazó ismereteket igényel.

Doktori cselekményem fő mozgatórugója gyakorlati problémák megoldása volt a tiszta víz biztosítása érdekében, miközben szerettem volna felhívni a figyelmet arra, hogy az eleveniszapos szennyvíztisztítás és annak adaptációs képessége milyen csodákat rejt. Az általam elvégzett kísérletek, megfigyelések eredményei egyrésről mutatják a biológiai szennyvíztisztításban rejlő óriási potenciált, azt, hogy szinte nincs lehetetlen, amennyiben megfelelő körülményeket és időt biztosítunk a lebontást végző mikroorganizmusok számára. Másrésről rávilágítanak annak korlátaira is, hiszen hiába az adott technológia üzemeltetési szintű, teljeskörű optimalizációja, ha a technológiai terhelés lehetetlenné teszi a tisztítási hatékonyság további növelését a kívánt cél eléréséig.

Céлом volt tervezési értékeket javasolni olyan szennyvízáramok esetén, melyekhez kapcsolódóan a szakirodalomban egyáltalán nem, vagy csak elvétve voltak javasolt értékek fellelhetők. Szeretném hinni, hogy a szakmában ezen a téren gyűjtött tapasztataim publikálásának köszönhetően a későbbi szakemberek már nem ott kell kezdjék, mint ahol én kezdtem, hanem jobban tudnak a jövőt érintő lényeges kérdésekre fókuszálni.

Szintén szerettem volna bemutatni azt is, hogy amennyiben az eleveniszapos szennyvíztisztítás önmagában mégsem képes egy elvárt tisztítási hatékonyságra vagy célérték elérésére a tisztított vízben, úgy nem szükséges kizárólag a legmodernebb és legnagyobb beruházási és/vagy üzemeltetési költséggel bíró eljárások közül válogatni, mint kiegészítő technológiai eljárás, hiszen egy viszonylag egyszerű fizikai-kémiai kezelés is hozhat olyan rendkívüli eredményt, melyet membrántechnológiai eljárások például adott szennyvíz esetében megközelíteni sem képesek.

Alkalmazott módszerek

Vizsgáltam egy olyan, gáztisztítási eljárások során használt vegyi anyag (aMDEA) biológiai bontásának lehetőségét, mely a gyors biológiai bonthatósági vizsgálatok eredményei alapján (mint biokémiai oxigénigény (BOI₅) mérés, oxigénfelvételi

sebesség mérés) bonthatatlannak bizonyult. A hosszú távú vizsgálatot laboratóriumi méretű, szakaszos üzemű eleveniszapos reaktorban végeztem, megfelelő adaptációs időszak biztosításával.

Teljes üzemi méretű, kokszolói szennyvizek tisztítását végző eleveniszapos technológiában vizsgáltam a tisztított szennyvíz KOI csökkentésének lehetőségeit és korlátait. A cél az iparági ajánlás szerinti 220 mg/l-es érték alá történő csökkentés volt az átlagosan 350 mg/l körüli értékről.

Ugyanezen kokszolói szennyvíztisztító technológiára vonatkozóan hat évnyi üzemeltetési és mérési adat tükrében kerestem meg, mi az a terhelés érték, mely felett nem, alatta viszont teljesíthető a 220 mg KOI/l a biológiáról elfolyó tisztított vízben további utókezelés nélkül.

Tézisek

Gyors bonthatósági vizsgálatok alapján bonthatatlan szerves anyaghoz történő adaptáció

I.1. Megállapítottam, hogy az 500 ppm aMDEA tartalmú szennyvíz a gyors bonthatósági vizsgálatok alapján bonthatatlannak minősül. Megfelelő adaptációs stratégiát alkalmazva, a szennyezőanyaghoz adaptálódott eleveniszap képes jól bontani az 500 ppm aMDEA tartalmú szennyvíz szerves anyag tartalmát önmagában is (KOI eltávolítás ~ 95%, tisztított szennyvíz $KOI_{hom} < 50$ mg/l, $KOI_{sz} < 20$ mg/l, $TOC < 10$ mg/l), egyéb szennyvízáramok nélkül, foszfor tápanyagpótlás biztosítása esetén, 0,2 kg KOI/kg MLVSS·d és 0,53 kg KOI/m³·d terhelés mellett.

I.2. Megállapítottam, hogy az 500 ppm aMDEA tartalmú szennyvízáram a nitrifikációra nincsen gátló hatással (0,2 kg KOI/kg MLVSS·d és 0,02 kg N/kg MLVSS·d terhelés mellett), mivel a nitrifikáció hatékonysága átmenetileg sem romlott a vizsgált szennyvíz reaktorra történő első feladását követően.

A biológiai bonthatóság határai kokszolói szennyvíz eleveniszapos tisztítása esetén

II. Bizonyítottam, hogy az eleveniszapos kokszolói szennyvíztisztítás felső terhelési küszöbértéke 0,3 kg KOI/m³·d térfogati és 0,05 kg KOI/kg MLVSS·d fajlagos iszapterhelés érték. Efeletti tartományban az elérhető maximális tisztítási hatékonysággal üzemelő eleveniszapos technológia 90-92% KOI és 93-94% TKN eltávolítási hatásfok mellett 323-327 mg KOI/l átlagos elfolyó tisztított szennyvíz minőséget képes elérni kokszolói szennyvíz tisztítása esetén.

III. Eleveniszapos kokszolói szennyvíztisztítás tervezési értékeként 0,2 kg KOI/m³·d térfogati terhelés és 0,04 kg KOI/kg MLVSS·d fajlagos terhelés értéket javaslok, melyek mellett a maximális tisztítási hatékonysággal üzemelő eleveniszapos technológia stabilan képes 220 mg/l alá csökkenteni a KOI-t a tisztított vízben 94% KOI és 96% TKN eltávolítási hatékonyság mellett átlagosan 149 mg KOI/l elfolyó tisztított szennyvíz minőségre.

A biológiai úton tisztított kokszolói szennyvíz kémiai oxigénigényének további csökkentési korlátai

IV.1. Megállapítottam, hogy kokszolói szennyvíz biológiai tisztítását követően a tisztított szennyvízben maradó KOI sem mikroszűréssel, sem ultraszűréssel nem csökkenthető 352 ± 18 mg KOI/l értékről 220 mg KOI/l érték alá, mivel mikroszűréssel ($0,45 \mu\text{m}$) mindössze 6-22% csökkenés, ultraszűréssel ($0,025 \mu\text{m}$) mindössze 2-27% csökkenés volt elérhető a tisztított víz kémiai oxigénigényében. Az elvégzett mikro- és ultraszűrési kísérletek alapján a tisztított szennyvízben maradó KOI főként oldott (nem lebegő) anyagokból adódik.

IV.2. Megállapítottam, hogy kokszolói szennyvíz biológiai tisztítását követően a tisztított szennyvízben maradó KOI biológiai úton, a HRT növelésével sem bontható tovább, mivel az inert KOI mérések 4 hetes időtartamát követően a kiindulási oldott KOI 82-96%-a megmaradt.

A biológiai úton tisztított kokszolói szennyvíz kémiai oxigénigényének további csökkentési lehetőségei

V. Megállapítottam, hogy kokszolói szennyvíz biológiai tisztítását követően a tisztított szennyvízben maradó KOI fizikai-kémiai utókezeléssel további 39-56%-kal, azaz biztonsággal 220 mg/l alá csökkenthető 0,5 ml/l FeCl_3 , 0,4 ml/l $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ vegyszerdózissal:

- 354 ± 35 mg KOI/l értékről 171 ± 16 mg/l értékre, valamint
- 181 ± 7 mg/l értékről 110 ± 4 mg/l értékre.

Ezáltal megnyílik a lehetőség a tisztított kokszolói szennyvíz kokszyártás során történő újrafelhasználása előtt.

PUBLIKÁCIÓK

Publikációk, amelyekre a disszertáció épül

1. Pitás V., Varga B., Trájer A. J., Somogyi V.: Adaptation of Activated Sludge to Varying Hydraulic and Nutrient Load in a Coke Oven Wastewater Treatment Plant, Cleaner Engineering and Technology 29, p. 101093 (2025) - **D1, IF: 6,5**
2. Pitás, V.; Somogyi, V.; Kárpáti, Á.; Thury, P. Fráter, T.: Reduction of chemical oxygen demand in a conventional activated sludge system treating coke oven wastewater JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 273 Paper: 122482 (2020)-**Q1, IF: 9,449**
3. Viktória Pitás, Bence Fazekas, Zsuzsanna Bányai, Károly Reich, Krisztián Varga, Viola Somogyi: Studies on The Biological Treatment of Industrial Wastewater Streams. Environmental Engineering and Management Journal February 2012, Vol.11, No.2, 435-438-**Q3, IF: 1,435**

Egyéb publikációk

Külföldi folyóiratban megjelent publikációk:

1. Somogyi, Viola; Pitás, Viktória; Berta, Kinga M.; Kurdi, Róbert: Red Mud as Adsorbent to Recover Phosphorous from Wastewater Streams SUSTAINABILITY 14: 20 Paper: 13202, 15 p. (2022)-**Q2, IF: 3,889**
2. Gulyás, Gábor; Pitás, Viktória; Kárpáti, Árpád; Domokos, Endre; Rádi, József Consequences of application of municipal sewage sludge with risk elements content on the agricultural utilization WASTE FORUM 2020: 1 pp. 5-15., 11 p. (2020)-**Q4, IF: 0,218**
3. Gábor Gulyás, Viktória Pitás, Árpád Kárpáti, Bence Fazekas, Endre Domokos, Ákos Rédey-Heavy metal balance in a Hungarian municipal sewage treatment plant, Environmental Engineering and Management Journal, 2014 13 (8) pp. 2039-2044.-**Q3, IF: 1,258**
4. V. Somogyi, V. Pitás, E. Domokos, B. Fazekas (2009) On-site wastewater treatment systems and legal regulations in the European Union and Hungary, Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment, Vol 1, pp. 61-69.

Hazai folyóiratban megjelent publikációk:

1. Dr. Somogyi, Viola; Harasztiné, Hargitai Réka; Pitás, Viktória; Dr. Kárpáti, Árpád, Horváth, Dániel: Vágóhídi szennyvizek optimálistápanyag arányának megközelítése az előkezelés során. MASZESZ HÍRCSATORNA 2022. 3. lapszám pp. 56-67., 14 p. (2022)
2. Pitás, V.; Thury, P.; Kárpáti, Á.: Az N-eltávolítás és a szerves anyag energia-visszanyerésének ütközése a szennyvíztisztítás fejlesztésének egyik hajtóereje. VÍZMŰ PANORÁMA 2019: 2 pp. 28-31., 4 p. (2019)
3. Pitás, V.; Thury, P.; Kárpáti, Á.: Granulált iszap kialakítása és működése az aerob szennyvíztisztításnál. VÍZMŰ PANORÁMA 2018: 5, pp. 24-26., 3 p. (2018)
4. Gulyás, G., Fazekas, B., Kárpáti, Á., Pitás, V., Thury, P. (2016) Szennyvíztisztítás, mezőgazdasági biogáz gyártás és hulladéklerakók metántermelésénél jelentkező humifikáció és következményei. MASZESZ Hírcsatorna 2016 (1-2) 3-8.
5. Gábor Gulyás, Viktória Pitás, Bence Fazekas, Árpád Kárpáti,-Heavy metal balance in a communal wastewater treatment plant, Hungarian Journal of Industry and Chemistry, 2015 Vol. 43 (1) pp. 1-5.

6. Gulyás, G., Pitás, V., Kárpáti Á., Fazekas, B., Domokos E., Rédey, Á.-Lakossági szennyvíztisztító telep nehézfém mérlege, Vízmű Panoráma, 2013. XXI. évf., 5. szám, pp. 26-32.
7. Gulyás, G., Pitás, V., Kárpáti, Á.-Rothasztott, víztelenített szennyvíziszap nehézfém-tartalmának meghatározása mikrohullámú feltárás segítségével, Maszesz Hírcsatorna, 2013. március-április, pp. 3-11.
8. P. Thury, L. Bartha, G. Gulyás, V. Pitás, B. Fazekas, A. Kárpáti: Improvement of biofilm carriers for the treatment of automotive industry wastewater. Hungarian Journal of Industrial Chemistry Vol. 40(1) pp. 1–4 (2012)
9. Gulyás, G., Thury P., Pitás, V., Bartha, L.: Biofilm hordozók és kifejlesztésük járműipari szennyvizek tisztítási hatékonyságának növelése céljából. MASZESZ Hírcsatorna 2012 május-június, 8-14. oldal
10. dr. Kárpáti Á., Pitás V., Reich K., Energiahasznosítás szennyvíztisztítással, Magyar ipari és környezetvédelmi magazin. X. évf. 2011. III-IV. szám, 14-16. o.
11. Pitás V., Fazekas, B., Kárpáti, Á.: Iszaphozam csökkentés az eleveniszapos szennyvíztisztításban, MASZESZ Hírcsatorna, 2010. január-február, 3-14
12. Pitás V., Reich K., Kárpáti Á.: A szennyvíziszap hasznosítási lehetőségei, Magyar Ipari és Környezetvédelmi Magazin, IX. évf. 2010. III-IV. szám, 24-26. o.
13. Kárpáti Á., Pitás V., Reich K.: Energiahasznosítás az intenzív anaerob szennyvíztisztításban MASZESZ Hírcsatorna 2010 július-augusztus 3-10. o.
14. Pitás V., Reich K., dr. Kárpáti Á.: Energiahasznosítás élelmiszeripari szennyvizekből Élelmiszer tudomány technológia LXIV. évfolyam 2010. 4. szám 7-13.o.
15. Németh G., Reich K., Fazekas B., Pitás V., dr. Kárpáti Á.: A rothasztott szennyvíziszap nehézfém-tartalmának csökkentési lehetősége, MASZESZ Hírcsatorna 2009. május-június, 11-14. o.
16. Pitás, Viktória; Németh, Gergely; Reich, Károly; Fazekas, Bence; Kárpáti, Árpád: Biofilm hordozó hatása biofilmes/hibrid reaktorok működésére. MŰSZAKI INFORMÁCIÓ KÖRNYEZETVÉDELME 6 pp. 63-74., 12 p. (2009)
17. P. Thury, B. Fazekas, I. Pasztor, V. Pitás, L. Balasko, A. Karpáti (2009) Novel N removal with some industrial realisation in Hungary, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Veszprém Vol 37(1). pp. 5-9, ISSN: 2450-5102
18. B. Fazekas, V. Pitás, P. Thury, A. Karpáti (2009) Examination of the use of support materials of natural origin in wastewater treatment, Hungarian Journal of Industrial Chemistry, Veszprém Vol 37(1). pp. 1-4, ISSN: 2450-5102
19. Pitás V., Thury P., Kárpáti Á.: Hazai szennyvíztisztító telep denitrifikációs problémái a 10 mg ÖN/l határérték kielégítése során, MaSzeSz Hírcsatorna, 2007 november. 11-16.o.

Konferencia részvétel, csak kivonatos megjelenéssel:

1. Microplastics in wastewater treatment plants: fate and removal (Viktória Pitás, University of Pannonia). Conference on Microplastics in drinking water-from source to tap (Organizer-EU Strategy for the Danube Region Water Quality Priority Area), 3 October 2024 European Youth Center Budapest, előadás
2. Viktória PITÁS, Viola SOMOGYI, Balázs VOLF, Attila RADÁCS, Gábor BORDÓS, Bence PRIKLER, István SZABÓ, Sándor SZOBOSZLAY, Adrienn MICSINAI: The behaviour of microplastics in the municipal wastewater treatment plant of Veszprém. Poszter szekció, 14th IWA Specialized Conference on the Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, 08-12 September 2024, Budapest

3. Pitás Viktória: Hazai szennyvíztisztító telepek anyagmérlege mikroműanyagok vonatkozásában, MTA Vízgazdálkodás-tudományi Bizottság, Vízellátási és Csatornázási Bizottsága előadó ülés, 2024, előadás
4. Pitás Viktória, Harasztiné Hargitai Réka, Bodor Mónika, Volf Balázs, Prikler Bence, Bordós Gábor, Szabó István, Fekete-Nyirő Brigitta, Somogyi Viola, Radács Attila, Somogyi Rita, Micsinai Adrienn: Mikroműanyag anyagmérleg felállítása a Veszprémi Szennyvíztisztító Telepre, XXIX. Országos Laboratóriumi Értekezlet MaVíz, 2024. 05.08-09. Debrecen, előadás
5. Gábor Bordós, Bence Prikler, Viktória Pitás, Réka Harasztiné Hargitai, István Szabó, Adrienn Micsinai, Sándor Szoboszlai: Lab scale versus plant scale: microplastics in sewage sludge as potential soil contaminants and its analytical challenges, International Conference 2024 (Micro-Nano) Plastics in Soil, Konferencia helye, ideje: Utrecht, Hollandia 2024.03.13.-2024.03.14., poszter
6. Szabó István, Pitás Viktória, Bordós Gábor, Prikler Bence, Harasztiné Hargitai Réka, Micsinai Adrienn, Szoboszlai Sándor: Modellrendszer alkalmazása szennyvíztisztító telepek mikroműanyag forgalmának in vitro elemzésére, Víz- és Szennyvízkezelés az Iparban Konferencia (VSZI), Konferencia helye, ideje: Zalakaros, Magyarország 2023.10.19.-2023.10.20., előadás
7. Pitás, V.; Somogyi, V.; Kárpáti, Á.; Thury, P. Koksizolói szennyvíztisztítás iszaphozama (2019). MaSzeSz Junior Szimpózium 2019.03.06. előadás.
8. V. Pitas, B. Fazekas, Zs. Banyai, A. Karpati: Energy Efficiency of the Municipal Wastewater Treatment. 14th International Biotechnology Symposium and Exhibition konferencia, poszter szekció, 2010. szeptember 14-18. Rimini. Pitás, Viktória; Fazekas, Bence; Banyai, Zsuzsanna; Kárpáti, Árpád Energy efficiency of the municipal wastewater treatment. JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY 150: Supplement pp. 163-164. Paper: P-B.71, 2 p. (2010)
9. Pitás V., Fazekas B.: Zeolit és alginát alkalmazási lehetőségei a szennyvíztisztításban, XIV. Nemzetközi Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési Diákkonferencia, 2008. július 2-4. Mezőtúr, Előadás
10. B. Fazekas, V. Pitás, P. Thury, Zs. Kovács: Examination of the use of support materials of natural origin in wastewater treatment, Nato 2008.07.01-2008.07.10. Bulgária, Sofia

Konferencia részvétel, teljes szövegű (legalább 4 oldal) megjelenéssel:

1. Kárpáti, Á.; Pitás, V.; Thury, P. Aerob iszapgranuláció és tapasztalata a hazai ipari szennyvíztisztításban. VI. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia: Víz- és szennyvízkezelés az iparban 2019. Nagykanizsa, Magyarország: Pannon Egyetem (2019) pp. 23-30., 8 p.
2. Pitás, V.; Somogyi, V.; Kárpáti, Á.; Thury, P. A KOI csökkentés kihívásai koksizolói szennyvíz biológiai tisztítása során. VI. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia: Víz- és szennyvízkezelés az iparban 2019. Nagykanizsa, Magyarország: Pannon Egyetem (2019) p. 19
3. Pitás Viktória, Reich Károly, Kárpáti Árpád: Különleges reaktorkialakítás, jobb energia visszanyerés az intenzív anaerob szennyvíztisztításnál. XVI. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia Kiadványa, 335-341. oldal (2012)
4. Fazekas Bence, Pitás Viktória, Kárpáti Árpád: Műszaki fejlesztés a kiépítésben és üzemeltetésben a lakossági szennyvizek tisztításánál. XVI. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia Kiadványa, 117-124. oldal (2012)
5. V., Pitas, B., Fazekas, K., Reich, A., Karpati: Some Solutions for the Problem of Denitrification. Case Studies from Hungary. 6th IWA International Conference for Young Water Professionals 10-13 July 2012 Budapest, Hungary CD kiadvány (előadás)

6. Reich K.-Pitász V.-Thury P.-Kalocsai E.: Szennyvíziszapok szerves anyag tartalmának hasznosítási lehetőségei üzemi példákkal. 2011.09.20-22. Siófok, Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás. Előadás
7. Pitász V., Kárpáti Á., Thury P., Fazekas B.: Ipari szennyvizek biológiai tisztításának tapasztalatai. VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, 2011. március 24-27. Előadás, pp. 365-369.
8. Pitász V.-Reich K.-Kárpáti Á.: Hagyományos eleveniszapos rendszerek szabályozása. 2011.09.20-22. Siófok, Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás. Előadás
9. Fazekas, B., Pitász V., Kárpáti, Á.: Energiahatékonyság javítása a szennyvíztisztításnál műszaki fejlesztéssel és a megújuló energia hasznosításával, Erdélyi Magyar Műszaki tudományos Társaság, Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, 2009. június 11-14, Csíkszereda, Románia
10. Pitász V., Fazekas B.: Természetes eredetű adalékanyagok alkalmazási lehetőségei a szennyvíztisztításban. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, Siófok, 2008. szeptember 16-18. előadás, pp 36-41
11. Szentgyörgyi E., Pitász V., Kárpáti Á.: A biofilmes szennyvíztisztítási technológiák létjogosultsága a modern szennyvíztisztításban, Nemzetközi Konferencia, Sopron, 2008. június 4-5. CD kiadvány, 5-12. old.
12. Pitász V., Fazekas B., Kárpáti Á.: Természetes eredetű adalékanyagok alkalmazási lehetőségei a szennyvíztisztításban, Nemzetközi Konferencia, Sopron, 2008. június 4-5. CD kiadvány, 86-91. old.
13. Pitász V., Thury, P., Fazekas, B.: Koncentrált lakossági szennyvizek denitrifikációs problémái a kibocsátási határértékek teljesítésében, Nemzetközi Konferencia, Sopron, 2008. június 4-5. CD kiadvány, 13-20 old.
14. Fazekas B., Pitász V., Kneifel F., Virányi I.: Két iszapkörös szennyvíztisztító üzemeltetési tapasztalatai Gyulán, Nemzetközi Konferencia, Sopron, 2008. június 4-5. CD kiadvány, 58-64 old.
15. Pitász V., Thury P., Kárpáti Á.: 100 ezer LE feletti kapacitású hazai szennyvíztelep problémái az EU határértékek kielégítésében, Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, 2007. október 15-17. Balatonfüred. Pp. 90-9.