



---

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR  
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA

# **A szűkös szénforrás okozta szennyvíztisztítási problémák áthidalása a beoldódó oxigén kizárásával és a N- és P-hiányos élelmiszeripari szennyvizek felhasználásával**

*Tézisfüzet*

Szerző: **Weinpel Tamás**, okleveles környezetmérnök  
Témavezető: **Dr. Jobbágy Andrea**, c. egyetemi tanár

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék  
Szennyvíztisztítás Biotechnológiák Kutatócsoport

**Budapest, 2020. november**



# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Magyarország fejlődésének az Európai Unió irányelveihez történő felzárkóztatása érdekében fontos teendői közé tartozik a környezet védelme és a természeti értékek megőrzése. Kiemelt figyelmet kap a vízbázis védelme, megőrzése és javítása, tehát a keletkező szennyvizek minél nagyobb hányadának a megtisztítása, és a meglévő szennyvíztisztító telepek korszerűsítése, optimalizálása is.

A korábbi, lakosegyenérték (LE) alapján történő tervezési szabályok sok esetben felülvizsgálandók, a társadalmi szokások nagyban megváltoztak, a felhasznált víz mennyisége is jelentősen eltér az egyes területeken. Egy adott szennyvíztisztító telep tervezésénél mindezek következtében feltétlenül szükséges a szennyvíz mennyiség és minőség lehetőségeihez képesti legpontosabb meghatározása. A már meglévő és működő szennyvíztisztító telepek felülvizsgálata, korszerűsítése is éppen ezen, esetenként igen jelentős eltérések, trendek megváltozása miatt feltétlenül szükséges.

A hatékonyság költségkímélő növeléséhez nagyban hozzájárul az, hogy a biotechnológia rohamos fejlődése új távlatokat nyitott a különböző mikroorganizmusok és biodegradációs folyamatok szelektív előnyének biztosításához. A hazai szennyvizekre sok esetben jellemző, szűkös szénforrás (alacsony C:N arány) mellett különösen fontos, hogy a denitrifikációra, és lehetőség szerint a biológiai többlet P-eltávolításra is minél több szerves szénforrás jusson. A helyzetet nehezíti a szennyvíztisztító telepeken keletkező biomassa (szennyvíziszap) anaerob rothasztása, sőt annak élelmiszeripari hulladékokkal történő együttes kezelése, ami tovább emeli a csurgalékvízzel visszaérkező N-terhelést, még kedvezőtlenebbül alakítva a C:N arányt.

A befolyó szennyvízben lévő szén, nitrogén és foszfor források mennyisége és aránya meghatározó a kialakuló mikroorganizmus összetétel és a szennyezőanyag eltávolítás hatékonyságának szempontjából.

Az alábbiaknak megfelelően célul tűztem ki:

- a szerves szénforrás hiány és az ún. 'low S - low DO' körülmények (alacsony szubsztrát és egyben a kimutathatóság szintjére emelkedett oldott oxigén koncentráció a nem levegőztetett üzemi reaktorban) elkerülését a biológiai P- és N-eltávolítás (denitrifikáció) hatékonyságának javítása érdekében
- új technológia kidolgozását és sikeres alkalmazását a biológiai foszfor és nitrogén eltávolítás (denitrifikáció) hatékonyságának javítása érdekében
- költséghatékony üzemeltetési alternatívák szimulációs számításokkal, majd nagyüzemi, helyszíni mérésekkel történő vizsgálatát és igazolását
- a nem levegőztetett reaktorok felszínén beoldódó oxigén biológiai foszfor és nitrogén eltávolítás (denitrifikáció) hatékonyságát kedvezőtlenül befolyásoló szerepének kizárását.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Világszinten bizonyított és elfogadott, hogy a nem levegőztetett (anaerob, anoxikus) tagolt bioreaktor elrendezés hatékonyan alkalmazható a megfelelő biológiai tápanyageltávolítást is megcélzó eleveniszapos rendszerekben (Chudoba et al., 1973a; Jobbágy et al., 1999). A kutatások azt is bizonyítják, hogy az anaerob/anoxikus szelektorok jelentősen hozzájárulnak az iszapüledési index (SVI – Sludge Volume Index) alacsony szinten való tartásához a foszforakkumuláló mikroorganizmusok (PAO – Phosphorus Accumulating Organisms) szaporodása számára biztosított oxigén és nitrát mentes környezet fenntartásával, aminek bizonyításában kutató csoportunk Európában az első három nagyüzemi igazolás egyikét végezte el (Parker et al., 2004). A denitrifikációs folyamatokhoz fontos anoxikus szelektorokban már alacsony oldott oxigén koncentráció is kinetikai gátlást okozhat (Plósz et al., 2003), és fonalas mikroorganizmusoknak kedvezhet. Továbbá, ezek a medencék könnyen felhígulhatnak, alacsony szubsztrát koncentrációjú környezetet eredményezve. Ez az állapot különösen magas nitrát-recirkulációs áram és eleve alacsony befolyó, könnyen biodegradálható szerves szénforrás (rbCOD – readily biodegradable Chemical Oxygen Demand) esetén még kedvezőtlenebb az iszapüledésre (Wanner & Jobbágy, 2014). A kinetikai gátlás és a metabolikus előny biztosításához szükséges a bejutó oldott oxigén minél nagyobb arányban történő kizárása (Jobbágy et al., 2000). Ugyanakkor a felmérések (Tardy et al., 2012) azt tükrözik, hogy hazánkban, hasonlóan a nemzetközi adatokhoz, a befolyó szennyvízben rendelkezésre álló, könnyen biodegradálható szénforrás mennyisége csökken, a befolyó  $\text{NH}_4\text{-N}$  koncentráció viszont sok esetben emelkedik.

Másrészről, a kommunális szennyvizek mellett az ipari szennyvizekre is szigorú – csatornarendelethez előírt – határértékek vonatkoznak. Ezáltal számos ipari üzemet kényszerítenek költséges előtisztító megépítésére. Elsősorban egyes élelmiszeripari üzemeknél a beruházási költségek mellett az üzemeltetési költségeket is magassá teszi az esetleges pót N- és P-forrás adagolása. Ugyanakkor a kommunális szennyvíztisztító telepeken gyakori a szénforrás hiány, így a hatékony denitrifikációhoz és a biológiai P-eltávolítás esetén az első lépésként előálló, anaerob P-visszanyomáshoz nem áll rendelkezésre elég szénforrás, így pót szénforrás adagolása válhat szükségessé. A költséges metanol kiváltása érdekében számos alternatív pót szénforrással kísérleteztek ezidáig, köztük magas szervesanyag tartalmú, akár hulladék anyagokkal is (Hu et al., 2018, Xiong et al., 2020). Nem vizsgálták azonban azt, hogy adott esetben az ipari és kommunális szennyvizek együttes tisztítása célravezetőbb lenne-e.

Chudoba J., Ottova V. and Madera V. 1973a. Control of activated sludge filamentous bulking-I. Effect of the hydraulic regime or degree of mixing in an aeration tank. *Water Research*, **7**(8), 1163-1182.

Hu X., Sobotka D., Czerwionka K., Zhou Q., Xie L. and Makinia J. 2018. Effects of different external carbon sources and electron acceptors on interactions between denitrification

and phosphorus removal in biological nutrient removal processes. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 19(4), 305-316.

Jobbágy A., Garai G., Farkas F., Sevelle B. and Oszoly T. 1999. Enhanced nitrogen removal at the Northpest wastewater treatment plant. *Proc. 8th IAWQ Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*, Budapest, Hungary, September 6-9, 255-262.

Jobbágy A., Simon J. and Plósz B. 2000. The impact of oxygen penetration on the estimation of denitrification rates in anoxic processes. *Water Research*, 34(9), 2606-2609.

Parker D. S., Appleton R., Bratby J. and Melcer, H. 2004. North American performance experience with anoxic and anaerobic selectors for activated sludge bulking control. *Water Science and Technology*, 50(7), 221-228.

Plósz B.Gy., Jobbágy A. and Grady C.P.L. Jr. 2003. Factors influencing deterioration of denitrification by oxygen entering an anoxic reactor through the surface. *Water Research*, 37(4), 853-863.

Tardy G.M., Bakos V. and Jobbágy A. 2012. Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary. *Water Science and Technology*, 65(9), 1676-1683.

Wanner J. and Jobbágy A. 2014. Activated sludge solids separation. In: *Activated Sludge – 100 Years and Counting* (D. Jenkins & J. Wanner, eds). IWA Publishing, Glasgow, UK, pp. 171-194.

Xiong R., Yu X., Zhang Y., Peng Z., Yu L., Cheng L. and Li T. 2020. Comparison of agricultural wastes and synthetic macromolecules as solid carbon source in treating low carbon nitrogen wastewater. *Science of The Total Environment*, 739, 139954.

### 3. A KUTATÁS SORÁN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A doktori munkám során azt tűztem ki célul, hogy a nemzetközi szinten is egyre szignifikánsabb problémát jelentő, a befolyó szennyvízben csupán marginálisan vagy kifejezetten hiányosan előforduló szénforrás kialakulási okait mélyrehatóbban tanulmányozzam, a lehetséges megoldásokat felkutassam. Szemben az általános kutatási gyakorlattal, ebben az esetben célt az volt, hogy a vizsgálatok során laboratóriumi mérések és szimulációs számítások mellett azok eredményeinek közvetlen felhasználását ténylegesen meglévő, nagyüzemi szennyvíztisztító telepeken igazoljam.

*A vizsgált esetekben a következő résztevékenységekből állt össze a kutatás:*

- Az Üzemeltető által rendelkezésre bocsátott adatok feldolgozása, statisztikai elemzése és értékelése.
- Az adott szennyvíztisztító telepen fellelhető problémák (pl. nitrifikáció és denitrifikációs hatékonyság időszakos visszaesése, elégtelen levegőztetés, iszapüledési problémák stb.) vizsgálata, okainak felderítése és a megoldási lehetőségek kidolgozása.

- Helyszíni profilmérések kivitelezése a bioreakciók jobb átláthatósága, valamint a matematikai szimulációs számításokhoz bemeneti paraméterek gyűjtése érdekében.
- A javasolt változtatások laboratóriumi (pl. szakaszos üzemű, ún. 'batch' kísérletek) és/vagy nagyüzemi (telepi) léptékben történő vizsgálata megfelelő mérési stratégia felállításával.

*A befolyó szennyvíz könnyen biodegradálható szénforrásának minél nagyobb mértékű, denitrifikációra és anaerob foszfor-visszanyomásra hasznosított aránya kiemelten fontos a korábban már említett okok következtében, így kiemelt figyelmet szenteltem az alábbi folyamatokra:*

- A N- és P-hiányos élelmiszeripari és a C-hiányos kommunális szennyvíz hatékony tisztítási lehetőségeinek feltárására.
- A jól biodegradálható szénforrás (rbCOD – readily biodegradable COD) denitrifikáció és a biológiai P-eltávolítás során történő hasznosulására.
- A recirkulációs áramokkal visszaérkező és a felszínről beoldódó oxigén (DO – Dissolved Oxygen) metabolikus és kinetikai gátlásának vizsgálatára, annak visszaszorítására.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. A Törökbálinti Szennyvíztisztító Telepen a tejipari és a kommunális szennyvíz együttes tisztításának vizsgálata során kapott eredmények

- A szennyvíztisztító telep ideiglenesen lecsökkent N-eltávolítási hatékonysága nem tulajdonítható közvetlenül az ipari szennyvíz esetlegesen toxikus hatásának, sőt bebizonyosodott, hogy a tejipari szennyvíz biológiailag könnyen lebontható C-forrást tartalmaz, és ez kedvezően befolyásolja a denitrifikációs hatékonyságot.
- A mért adatok és a szimulációs eredmények azt mutatták, hogy a kommunális szennyvíztisztító telepre befolyó 650-700 mg/l-nél alacsonyabb teljes KOI koncentráció és változatlan nitrogén terhelés esetén (befolyó BOD<sub>5</sub>/NH<sub>4</sub>-N arány <6) a denitrifikációs hatékonyság megőrzése érdekében pót szénforrás adagolás szükséges, továbbá a biológiai többlet P-eltávolításra nem nyílik lehetőség.
- Az általános trendekkel ellentétben – miszerint ipari előtisztító megépítése indokolt – a biztonságos és hatékony denitrifikáció elérése érdekében a tejipari szennyvíz kommunális szennyvízzel történő együttes kezelése az adott szennyvíztisztító telepen előnyös. Az adott esetben célravezetőbb a tejipari szennyvízzel való együttes tisztítás, hiszen bevezetésével az átlagos befolyó teljes KOI koncentráció 783 mg/l (BOD<sub>5</sub>/NH<sub>4</sub>-N arány: 6,47 és a COD/TKN arány 8,96), mely a pót szénforrás adagolást már nem teszi szükségessé.

#### 4.2. A Szegedi Szennyvíztisztító Telep nem levegőztetett reaktortereinek felszínéről beoldódó oxigén kizárására irányuló kutatás eredményei

- A fonalas/flokkulens mikroorganizmusok fajlagos szaporodási sebességének vizsgálata kimutatta, hogy amennyiben a befolyó szennyvízben kifejezetten alacsony a szervesanyag koncentráció, úgy a szelektoros rendszer esetén sem tud kialakulni megfelelően nagy szubsztrát koncentráció gradiens. Ennek következményeként a flokkulens mikroorganizmusok elveszíthetik elvárt növekedési előnyüket a fonalásokkal szemben.
- Az ún. 'low DO' körülmény a 0,04-0,2 mg/l oldott oxigén koncentráció tartományba esik. Ilyen alacsony oldott oxigén szint mellett magasabb szubsztrát koncentráció értékek esetén is a fonalas mikroorganizmusok juthatnak előnyhöz, ami az eleveniszap biomassza elfonalasodásához vezethet.
- A nem levegőztetett medencékben kimutatott 'low S - low DO' körülmények a denitrifikáció és a biológiai többlet-P eltávolítás hatékonyságát, és az eleveniszap pelyhek összetételét is jelentősen befolyásolja, az oldott oxigén koncentráció pedig az elérhető szénforrás mellett függ a tisztítási hőmérséklettől.
- A nem levegőztetett reaktorok (anaerob/anoxikus szelektorok) felszínén keresztül beoldódó oxigén kizárása érdekében a nem levegőztetett reaktorok speciális úszó fedlappal történő lefedése javasolt.

#### 4.3. Az Észak-Budapesti Szennyvíztisztító Telep két, eltérő technológiájú ágának összehasonlító tanulmányozása során kapott eredmények

- A levegőztetett medencék szakaszos levegőztetése jelentős elfolyó összes nitrogén (TN) javulást, és energia (levegőztetés) megtakarítást is eredményezhet az év egyes részeiben.
- A matematikai szimulációs számítások alapján a hőmérséklet csökkenésével a levegőztetett periódusok hosszának növelése szükséges az Új ágon a hatékony nitrifikációhoz. Ugyanakkor a levegőztetés növelése a denitrifikáció hatékonyságában visszaesést eredményezhet.
- A Régi ág matematikai modellezése is azt mutatta, hogy a telep jelenleg inkább alulterhelt, egy tisztítási ág kiiktatása és/vagy az iszapkoncentráció csökkentése sem okozna az elfolyóban romlást. Ennek alapján, és a szakaszos üzemű levegőztetés Új ág üzemeltetésében hozott pozitív eredménye folytán a szakaszos levegőztetés a Régi ágon is bevezetésre került.
- A levegőztetett és nem levegőztetett zónákban mért oldott oxigén és alacsony oldott KOI koncentrációk arra utalnak, hogy elsősorban a téli időszakban a szándék szerint anoxikus vagy anaerob medencékben előállhatnak ún. 'low S - low DO' körülmények, amikor a rendelkezésre álló, könnyen biodegradálható szénforrás nem az anaerob P-visszanyomásra vagy a denitrifikációra fordítódik, hanem a metabolikus előnyt élvező oxigénnel reagál el.

#### 4.4. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen az anaerob rothasztás során a biológiai rendszerre visszaérkező, jelentősen megemelkedett N-terhelés vizsgálatának eredményei

- A szimulációs számítások azt mutatták, hogy a visszatérő csurgalékvízzel a hatékony denitrifikációhoz sok esetben kevés a könnyen biodegradálható szénforrás, szükségessé válhat pótszénforrás adagolása az elfolyó összes nitrogén (TN) koncentráció változatlan értéken tartásához.
- Az elő-denitrifikációban a szennyvíz C-forrása teljesebben hasznosul, mivel az alternatívan levegőztetett medencékben egy része biztosan oxigénnel fogy el.
- A metanol-igény csökkenthető a befolyó szénforrás minél nagyobb arányú, elő-anoxikus zónában történő felhasználásával, tehát a nitrát-recirkuláció növelésével.

#### 4.5. Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen a speciális úszó fedlappal lefedett, nem levegőztetett anaerob/anoxikus reaktorok vizsgálata során kapott eredmények

- A nyitott, nem levegőztetett medencékben előfordulnak 'low DO' körülményekre jellemző oldott oxigén koncentráció szintek (0,04-0,2 mg/l).
- Az eredményekből megfigyelhető, hogy az oldott KOI-ban kifejezett könnyen biodegradálható szénforrás mennyisége már gyakorlatilag az anoxikus medencében lecsökkent (<50 mg/l) a rendszer többi egységében jellemző értékre, valamint már az osztóműben jelentős oldott KOI csökkenés volt tapasztalható.
- Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep Új ág *Kísérleti* rendszer nem levegőztetett anoxikus szelektorainak speciális úszó fedlappal történő lefedése sikeres volt.
- Az úszó fedlap alkalmazása és ezáltal a felszínről beoldódó oxigén kizárása kedvezett a PAOk-nak az oxigénnel el nem reagált szénforrás hasznosítása következtében. A *Kísérleti* rendszer előnyösebbnek mutatkozott a biológiai többlet P-eltávolítás első lépése, a P-visszanyomás által kísért tápanyagfelvétel szempontjából.
- A lefedést követően a *Kísérleti* rendszer anoxikus medencéjében szignifikánsan magas oldott ortofoszfát és oldott KOI koncentráció értékeket mértünk függetlenül a rendszerek levegőztetett vagy nem levegőztetett üzemmódjától. Ugyanakkor a P-visszanyomás eredményeit sok esetben árnyalta a (túlzott) – kémiai P-eltávolításhoz adagolt – vegyszeradagolás.
- A szakaszos üzemű laboratóriumi kísérletek is bizonyították, hogy a telepi *Referencia* és *Kísérleti* rendszerekből származó minták tartalmaztak foszforakkumuláló mikroorganizmusokat. A PAOk biokonverziós folyamatait az elérhető szerves szénforrás mennyisége ill. a reaktor kialakítása (fedett, nyitott) számottevően befolyásolták. Az eredmények, hasonlóan a telepi eredményekhez azt mutatták, hogy a vízfelszínen keresztüli oxigén beoldódás nem elhanyagolható a biológiai többlet P-eltávolítás hatékonyságának szempontjából.



## 5. TÉZISEK

1. Nagyüzemi körülmények között kimutattam, hogy a N és P tápanyag hiányos, ugyanakkor szénforrásban gazdag tejipari szennyvíz és az adott szénforrás hiányos kommunális szennyvíz együttes tisztítása jelentősen célravezetőbb és költséghatékonyabb, mint az elterjedten alkalmazott költséges külön tisztítás. Ezzel a megoldással, elkerülhetővé válhat a N és P költséges adagolása a tejipari szennyvíz tisztítása során és a pót szénforrás bejuttatása a szénhiányos rendszerbe. Meghatároztam azt a kommunális szennyvíztisztító telepre befolyó, megfelelően biodegradálható szervesanyag koncentrációt, amely a kommunális és tejipari szennyvíz különálló tisztítása esetén, a tejipari szennyvíz nélkül már nem lenne elégséges a hatékony denitrifikációhoz. [II. és VII. közlemény]
2. Megállapítottam, hogy a szennyvíztisztító telepek nagy részén előállhat az ún. 'low S - low DO' körülmény, ami akadályozza a biológiai P-eltávolítást, esetleg a denitrifikációt is különösen a befolyó szennyvíz felhígulása esetén (nagy esőzés, hóolvadás, erős infiltráció). Ez a mikroaerofil körülmény jelentősen ronthatja az iszap ülepedési jellemzőket, szükségessé teszi a fonalas mikroorganizmusok vegyszeres visszaszorítását. Rámutattam, hogy ezen tartományok elkerülése érdekében az oxigén kizárandó. [I., IV., VI., VIII. és X. közlemény]
3. Laboratóriumi és nagyüzemi kísérletben egyaránt kimutattam, hogy szűkös szerves szénforrás elérhetőség mellett a nem levegőztetett reaktorok felszínének speciális úszó fedlappal való lefedése nélkül minimális oxigén mennyiség is gátolhatja kinetikailag és metabolikusan egyaránt a denitrifikáció hatékonyságát és a biológiai többlet P-felvételt. Az úszó fedlappal lefedett kísérleti rendszerben kimutatott magas oldott ortofoszfát koncentráció és oldott KOI értékek azt bizonyították, hogy a felszínről beoldódó oldott oxigén koncentráció okozta mikroaerofil körülmény elkerülhető. Ennek nyomán megállapítottam, hogy a lefedett anoxikus medencékben nitrát-nitrogén már nem volt kimutatható, teljes egészében elfogyott, ugyanakkor a biológiai P-eltávolítás első lépéseként ismert P-visszanyomás dominánsabban jelentkezett. [I., V. és VIII. közlemény]
4. Megállapítottam, hogy a lefedés nyomán előálló oxigén kizárás következtében akár 60 mg/l értékű, könnyen biodegradálható szerves szénforrás tartalom többlet is előállhat, ami megfelelő formába hozva felhasználható a denitrifikáció ill. a biológiai P-eltávolítás hatékonyabbá tételére. [I., V. és VIII. közlemény]

## 6. MEGVALÓSULT ALKALMAZÁSOK ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK

- Új szemléletmód a magas, könnyen biodegradálható szénforrással rendelkező, ugyanakkor N- és P hiányos tejipari szennyvíz és a szűkös szénforrással, ugyanakkor magas tápanyag (N és P) tartalommal rendelkező kommunális szennyvíz együttes tisztítására. Ellentétben az ipari előtisztító megépítésével és költséges N- és P-forrás adagolásával egy olyan alkalmazás került kidolgozásra, ahol az adott tejipari és kommunális szennyvíz együttes tisztítása célravezetőbb és költséghatékonyabb.
- Az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep nem levegőztetett reaktorainak (anaerob/anoxikus szelektorok) viszonylag kis beruházási költséggel járó, nemzetközi viszonylatban is úttörőként kialakított, speciális úszó fedlappal történő lefedése 2013-ban megvalósult. Célja a biomassza szerkezet javítása mellett a rendelkezésre álló, könnyen biodegradálható szénforrás denitrifikációra és a biológiai P-eltávolítás első lépéseként ismert P-visszanyomásra történő teljesebb és jelentősen hatékonyabb felhasználása.
- A Karsai Műanyagtechnikai Holding Zrt. által, úttörőként készített, úszó fedlapok telepítése során felmerült problémák áthidalásához kiegészítésként a perem kismértékű megemelése történt meg, hogy a fedlap továbbra is a víz felszínén ússzon, ill. bukóélek kerültek kialakításra. Időközben bebizonyosodott, hogy a széleknél keretmerezítés szükséges, amit az elemek fix egymáshoz rögzítése követett az esetleges megbontások elkerülése végett. A továbbiakban az elemek egymáshoz való rögzítése stabil, az esetlegesen sérülő elem cseréje a helyszínen, a borítólappal megbontása nélkül is lehetséges.

## 7. KÖZLEMÉNYEK

### Az értekezés alapját képező közlemények

#### *Angol nyelvű, referált folyóiratcikkek*

- I. Jobbágy A., Weinpel T., Bakos V., Vánkos Zs. 2019. Use of floating seals to exclude oxygen penetration in non-aerated selectors. *Water Science and Technology*, **80**(2), 357-364. IF: 1.624 (2019), <https://doi.org/10.2166/wst.2019.280>
- II. Weinpel T., Bakos V., Jobbágy A. 2018. Co-treatment of a Carbon Deficient Domestic Wastewater with a Dairy Process Effluent for a Cost-effective Global Solution. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, **62**(4), 432-440. IF: 1.368 (5 year Impact Factor, 2019), <https://doi.org/10.3311/PPch.12856>

- III. Weinpel T., Bakos V., Jobbágy A. 2013. Effects of increased influent nitrogen load on a part-time aerated activated sludge system. *Water Practice and Technology*, **8**(1), 18-26., <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.003>
- IV. Jobbágy A., Palkó Gy., Weinpel T., Makó M. 2012. Comparative studies on the differently operated trains of the North-Budapest Wastewater Treatment Plant. *Water Science and Technology*, **65**(10), 1801-1808. IF: 1.102 (2012), <https://doi.org/10.2166/wst.2012.079>

***Angol nyelvű, konferencia kiadványban megjelent előadások***

- V. Jobbágy A., Weinpel T., Bakos V. 2017. Excluding oxygen penetration from non-aerated selectors: application of float-seal, a new technology. *IWA Conference on Sustainable Wastewater Treatment and Resource Recovery Research, Planning, Design and Operation*, Chongqing, China, 7-10 Nov. Proc. pp. 176.
- VI. Weinpel T., Jobbágy A. 2017. Low-S - low-DO conditions in the non-aerated reactors of Szeged Wastewater Treatment Plant. *IWA 9th Eastern European Young Water Professionals Conference*, Budapest, Hungary, 24-27 May. Proc. pp. 534-540.
- VII. Weinpel T., Bakos V., Jobbágy A. 2016. Utilization of dairy wastewater as carbon source in a domestic activated sludge treatment plant. *IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference*, Gdansk, Poland, 12-14 May, Book of full papers (Proc. pp. 780-787).
- VIII. Jobbágy A., Weinpel T., Bakos V., Vánkos Zs. 2015. Factors potentially converting non-aerated selectors into „low-S – low-DO basins”, effects of seal-covering. *IWA 12th Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*, Prague, Czech Republic, 6-9 Sept. Proc. pp. 149-155.
- IX. Weinpel T., Bakos V. 2012. Effects of increased influent load on a part-time aerated activated sludge system. *IWA 6th International Conference for Young Water Professionals Conference*, Budapest, Hungary, 10-13 July. Proc. CD, ID: IWA-9841 (ISBN: 978-963-87507-8-5).
- X. Palkó Gy., Weinpel T., Makó M., Jobbágy A. 2011. Comparative studies on the differently operated trains of the North-Budapest Wastewater Treatment Plant. *IWA 11th Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*, Budapest, Hungary, 4-8 September. Proc. pp. 281-288 (ISBN: 978-963-08-2207-7).

## **Az értekezés témájában tartott előadások**

Jobbágy A., Weinpel T., Bakos V. 2017. Excluding oxygen penetration from non-aerated selectors: application of float-seal, a new technology. *IWA Conference on Sustainable Wastewater Treatment and Resource Recovery Research, Planning, Design and Operation*, Chongqing, China, 7-10 Nov. Platform Presentation. Előadó: Jobbágy Andrea.

Weinpel T., Jobbágy A. 2017. Low-S - low-DO conditions in the non-aerated reactors of Szeged Wastewater Treatment Plant. *IWA 9th Eastern European Young Water Professionals Conference*, Budapest, Hungary, 24-27 May, Platform Presentation. Előadó: Weinpel Tamás

Weinpel T., Jobbágy A. 2017. Low-S - low-DO körülmények kialakulása magyarországi nagyüzemi szennyvíztisztító telepek nem levegőztetett reaktoraiban. *Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség, Dr. Dulovics Dezső Junior Szimpózium*, Budapest, 2017. március 22. Előadó: Weinpel Tamás.

Bakos V., Weinpel T., Vánkos Zs., Hári M. F., Nagy E., Makó M., Jobbágy A. 2016. Felszíni oxigén beoldódás kizárása úszó fedlappal nem levegőztetett eleveniszapos medencékből. *Magyar Hidrológiai Társaság XXXIV. Országos Vándorgyűlése*, Debrecen, 2016. július 6-8. (Csatornázás, szennyvízelvezetés és -tisztítás szekció). Előadó: Bakos Vince.

Weinpel T., Bakos V., Jobbágy A. 2016. Utilization of dairy wastewater as carbon source in a domestic activated sludge treatment plant. *IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference*, Gdansk, Poland, 12-14 May, Platform Presentation. Előadó: Weinpel Tamás.

Jobbágy A., Weinpel T., Bakos V., Vánkos Zs. 2015. Factors potentially converting non-aerated selectors into „low-S – low-DO basins”, effects of seal-covering. *IWA 12th Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*, Prague, Czech Republic, 6-9 September, Platform Presentation. Előadó: Jobbágy Andrea.

Weinpel T., Bakos V., Jobbágy A. 2014. Hatékony denitrifikálás lehetőségei szűkös C-forrás mellett. *Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség, III. MASZESZ Junior Szimpózium*, Budapest, 2014. február 6. Előadó: Weinpel Tamás.

Weinpel T., Bakos V. 2012. Effects of increased influent load on a part-time aerated activated sludge system. *IWA 6th International Conference for Young Water Professionals Conference*, Budapest, Hungary, 10-13 July, Platform Presentation. Előadó: Weinpel Tamás.

Weinpel T., Jobbágy A. 2012. A nitrogén-terhelés megnövekedésének hatása az időszakosan levegőztetett eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerre. *Az Oláh György Doktori Iskola IX. konferenciája és workshop a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0009 tehetséggondozó projekt keretében*, Budapest, 2012. május 17. Előadó: Weinpel Tamás.

Weinpel T. 2011. Az Észak-Budapesti Szennyvíztisztító Telep eltérő technológiájú tápanyageltávolítási fokozatainak összehasonlító tanulmányozása. *Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség, II. MASZESZ Junior Szimpózium*, Budapest, 2011. december 9. Előadó: Weinpel Tamás.

Weinpel T., Bakos V., Jobbágy A. 2011. Élelmiszeripari és kommunális szennyvíz együttes tisztításának lehetősége. *Magyar Kémikusok Egyesülete, Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia*, Sümeg, 2011. október 5-7. Előadó: Weinpel Tamás.

Palkó Gy., Weinpel T., Makó M., Jobbágy A. 2011. Comparative studies on the differently operated trains of the North-Budapest Wastewater Treatment Plant. *IWA 11th Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*, Budapest, Hungary, 4-8 September, Platform Presentation. Előadó: Jobbágy Andrea.

#### **Az értekezés témájához kapcsolódó poszter prezentációk**

Weinpel T., Simon J., Vánkos Zs., Jobbágy A. 2014. Low S-low-DO bulking in an activated sludge system with anaerobic-anoxic selectors. *IWA Activated Sludge – 100 Years and Counting Conference*, Essen, Germany, Poster Presentation, 12-14 June.

#### **Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó, társszerzős angol nyelvű előadások a szennyvíztisztítás területén**

Tóth I., Rieger L., Schraa O., Bolgár A., Vánkos Zs., Weinpel T. 2018. Which process control strategy is right for you? Extensive assessment using process modeling and pilot-scale experiments for a fixed bed activated sludge system. *91st Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference, WEFTEC 2018*, New Orleans LA, United States, 29 Sept.- 3Oct., Proc. pp. 2904-2918. Előadó: Tóth Imre.

#### **Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó magyar nyelvű előadások a szennyvíztisztítás területén**

Weinpel T. 2010. Nyers- és főlösiszap elvétel optimalizálása vegyipari szennyvíztisztító telepen. *Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség, I. Junior Szimpózium*, Budapest, 2010. március 25. Előadó: Weinpel Tamás.