



---

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

**A szénforrás és a tápanyag elérhetőség szerepe  
az eleveniszap szerkezet kialakulásában  
és a bioreaktor elrendezés optimalizálásában**

*Tézisfüzet*

Szerző: **Bakos Vince**, okleveles biomérnök

Témavezető: **Dr. Jobbágy Andrea**, egyetemi docens

BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszer-tudományi Tanszék  
Szennyvíztisztítási Biotechnológiák Kutatócsoport

**Budapest, 2016. augusztus**



## 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Hazánkban – mint ahogy a világ jelentős részén - a szennyvíztisztítási technológiák tervezésében még ma is sok esetben ökölszabályok alkalmazása az uralkodó. Márpedig az egységes szennyvízminőség fogalmának változatlan fenntartása (pl. ún. lakosegyenérték, LE), a szennyvíztisztító telep csatornahálózattól, ill. a befolyó szennyvizet érhető bármely egyedi hatásoktól, a vízgyűjtő terület lokális jellegzetességeitől, esetleges ipari kibocsátásoktól elszigetelt vizsgálatának gyakorlata tarthatatlan, és téves következtetésekhez, valamint költséges üzemeltetéshez és nem megfelelő elfolyó szennyvízminőséghez vezethet.

A befolyó szennyvíz minősége ugyanakkor alapvetően meghatározza a tervezési és hatékonyság növelési számítások eredményeinek kimenetelét. Ennek megfelelően, a doktori munkám keretében végzett sokirányú kutatás egyik kiemelt célja az volt, hogy széleskörű felmérés eredményeképpen átfogó képet adjak a hazai szennyvizek minőségéről, és a nemzetközi adatokkal összevetve felhívjam a figyelmet a külföldön, ill. más hazai helyszíneken bevált technológiák közvetlen alkalmazhatóságának határaitra. Kutatásaim egy része arra irányult, hogy a szennyvíz és biomassza mintavétel látens hibáit feltárjam, és új eljárások kidolgozásával korszerű és a gyakorlatban jól alkalmazható megoldásokat kínáljak.

A befolyó szennyvízben levő szén, nitrogén és foszfor források mennyisége és aránya meghatározó a kialakuló mikroorganizmus tenyészet és annak szennyezőanyag eltávolítási hatékonysága szempontjából.

Ennek megfelelően célul tűztem ki

- a szerves szénforrás hiány, az alacsony befolyó  $\text{BOI}_5/\text{NH}_4\text{N}$  arány, és a low S - low DO körülmények áthidalását a biológiai nitrogén eltávolítási hatékonyság és az eleveniszap ülepíthetőségének javítása érdekében.
- új eljárások kidolgozását és sikeres alkalmazását a biológiai nitrogén eltávolítási hatékonyság növelése és az eleveniszap szerkezet javítása érdekében, nagymértékben ingadozó befolyó  $\text{BOI}_5/\text{NH}_4\text{N}$  arány mellett.
- a szélsőségesen nagy befolyó  $\text{BOI}_5/\text{NH}_4\text{N}$  arány, azaz a tápanyaghiány eleveniszap pehely szerkezetének alakulására gyakorolt hatásának, és a pót nitrogén és foszfor forrás adagolás veszélyeinek kísérleti igazolását.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az élővizek eutrofizációjáért nagymértékben felelősek a nitrogén- és foszfortartalmú vegyületek (ún. tápanyagok, *nutrients*, Grady et al., 1999), így ezek megfelelő hatékonyságú eltávolítása kiemelt cél a szennyvíztisztításban. Mindemellett az eleveniszapos technológia hatékonyságát nagymértékben meghatározza az eleveniszap ülepíthetősége, ugyanis nem megfelelő eleveniszap pehely szerkezet esetén a tisztított szennyvíz szinte összes minőségi jellemzőjét határérték túllépés fenyegeti, valamint a rossz ülepíthetőség okozta nem megfelelő tömörödés és végső soron iszap elúszás a biodegradációs folyamatok jelentős csökkenését, ill. ellehetetlenülését eredményezhetik.

Az eleveniszap pehelyszerkezetének kialakulása számos tényezőtől függ (Wanner és Jobbágy, 2014), többek között a befolyó szennyvízminőség (jól

biodegradálható szervesanyag tartalom, F/M arány, C/N arány), az oldott oxigén koncentráció, a bioreaktor tagolás, és az iszapkor egyaránt komoly hatást gyakorolhatnak az iszap ülepedettségének alakulására. Az iszap tömöríthetőségének problémáját okozhatja a tagolatlan reaktorokban és/vagy a szűkös szénforrás elérhetőség révén kialakuló low S – low DO körülmények miatti fonalas növekedési előny, vagy tápanyag hiány esetén a viszkózus extracelluláris poliszacharidok túltermelése is (Jenkins et al., 2004; Wanner és Jobbágy, 2014).

A befolyó szennyvízminőség tervezési kulcsparaméter, ugyanakkor a mintavételi pontok kijelölése, a mintavétel módja (átlagminta/pontminta/minősített pontminta), a vett minták tárolása, tartósítása, előkészítése, a heterogén fázisú minták analízis előtti megfelelő homogenizálása nagy kihívást jelent, és rengeteg hibalehetőséget rejt magában (Rieger et al., 2010). A befolyó szennyvíz minőség alapvetően meghatározza a technológiában kialakított mikroorganizmus tenyésztés számára elérhető, valamint az anyagszere, és egyúttal a biodegradációs folyamatokban felhasználható szén, nitrogén és foszfor források minőségét és mennyiségét, ill. arányát. Amennyiben a kiindulási adataink tévesek, vagy nem egyértelműek, akkor az irányított biodegradáció tervezése súlyos hibákkal lehet terhelt.

A korszerű technológia tervezés nemzetközi gyakorlatában ma már a biokinetikai szimulációs szoftverek használata elengedhetetlen, a vizsgálatokhoz pedig rengeteg mérési és üzemeltetési adatra van szükség. Reprezentatív és jó minőségű adatok nélkül szimulációs számítások sem végezhetők felelősen, nemcsak a modell illesztés, hanem egyáltalán a vizsgálathoz alkalmazandó modell megfelelő kiválasztásának sikere is a befolyó szennyvíz minőségétől, valamint a technológiára vonatkozó helyszíni mérési adatoktól függ (Hauduc et al., 2013). A gyakorlatban azonban a mérési adatok megbízhatósága általában erősen megkérdőjelezhető, valamint az adatsorok mögött álló információk (pl. mintavétel módja és körülményei, minta előkészítés, mérési módszer) sok esetben nem transzparens, vagy nem is dokumentáltak.

A nitrogén biológiai eltávolításához az általánosan sikerrel alkalmazott technológiában hatékony nitrifikációt és denitrifikációt szükséges biztosítani. A nitrifikáció nagy iszapkor igényű, míg a denitrifikáció megfelelő lejátszódásához oxigénmentes (anoxikus) körülmények és elegendő szerves szénforrás szükséges. A biológiai foszfor eltávolításban szerepet játszó foszforakkumuláló mikroorganizmusok is heterotróf szervezetek, ennek megfelelően nem levegőztetett bioreaktorokban versengenek a denitrifikálókkal a szénforrásért (Barnard és Comeau, 2014).

Miután a szennyvíztisztítás során a hatékony szén, nitrogén és foszfor eltávolítás, valamint a jól ülepedhető iszap pehely szerkezet kialakítása egyaránt cél, a technológia megválasztásában kulcsfontosságú figyelembe venni a befolyó szennyvíz szén és tápanyag (N és P) forrásainak elérhetőségét.

Barnard, J. and Comeau, Y. (2014) Phosphorus removal in activated sludge. Chapter 10 in Activated sludge – 100 years and counting, Eds. Jenkins, D. and Wanner, J., 2014 IWA Publishing, Glasgow, ISBN 9781780404936, 93-115.

Grady, C.P.L. Jr., Daigger, G.T., Lim, H.C. (1999): Biological Wastewater Treatment. 2<sup>nd</sup> edition, Marcel Dekker, Inc., New York, Basel.

Hauduc, H., Rieger, L., Oehmen, A., van Loosdrecht, M.C.M., Comeau, Y., Héduit, A., Vanrollhegem, P.A., Gillot, S. (2013): Critical Review of Activated Sludge

- Modeling: State of Process Knowledge, Modeling Concepts, and Limitations. *Biotechnology and Bioengineering*, **110**(1), 24-46.
- Jenkins, D., Richard, M.G., Daigger, G.T. (2004): *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. 3rd edition., CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, US.
- Rieger, L., Takács, I., Villez, K., Hansruedi, S., Lessard, P., Vanrolleghem, P.A., Comeau, Y. (2010): Data reconciliation for wastewater treatment plant simulation studies – planning for high-quality data and typical sources of errors. *Water Environment Research*, **85**, 426-433.
- Wanner, J. and Jobbágy, A. (2014) Activated sludge solids separations. Chapter 10 in *Activated sludge – 100 years and counting*, Eds. Jenkins, D. and Wanner, J., 2014 IWA Publishing, Glasgow, ISBN 9781780404936, 171-193.

### **3. A KUTATÁS SORÁN ALKALMAZOTT MÓDSZEREK**

Hazánk befolyó szennyvizeinek átfogó feltérképezésére nagy körültekintéssel összeállított kérdőívet juttattam el az ország közel 80 szennyvíztisztító telepéhez. A kérdőívek kiértékelését 55 magyarországi szennyvíztisztító telepre végeztem el, amelyek között 500 m<sup>3</sup>/d alatti és 150 000 m<sup>3</sup>/d feletti kapacitású üzem is szerepelt, de a vizsgált telepek kétharmadának hidraulikai terhelése a 2 000 – 50 000 m<sup>3</sup>/d tartományba esett. A kapott eredményeket összevettem a nyugat- és észak-európai, valamint észak-amerikai adatokkal.

A szennyvíz és biomassza mintavétel és mérés területén végzett kutatások során helyszíni mintavételeket és laboratóriumi kísérleteket egyaránt végeztem, a mérési módszerek összehasonlítására vonatkozó vizsgálatokat több alkalommal, alkalmanként 5 ismétléssel végeztem el és a kapott eredményeket statisztikailag kiértékeltem (ANOVA, varianciaanalízis).

Nagyüzemi rendszerek esetében a befolyó szennyvíz minőségének, valamint a tisztítási hatékonyságnak reprezentatív meghatározására tisztító telepenként legalább három alkalommal, a telep és a vízgyűjtő terület egyedi sajátosságainak figyelembe vételével, körültekintően megtervezett mintavételi kampányokat hajtottam végre, helyszíni szennyezőanyag koncentráció profilmérések kivitelezésével. A többféle szoftverrel (SSSP, BioWin, WEST) kivitelezett ASM (Activated Sludge Model) alapú matematikai (biokinetikai) szimulációs vizsgálatokhoz az általánosan mért szennyvíz-analitikai paraméterek meghatározásán felül a befolyó KOI (kémiai oxigénigény) biodegradálhatóság alapú frakcionálásához szükséges kiegészítő méréseket is elvégeztem. A laboratóriumi vizsgálatok végrehajtásakor a vonatkozó szabványoknak megfelelően jártam el. Üzemeltetőktől kapott adatok kiértékelésével feltérképeztem nagyüzemi technológiák működésének határait és hiányosságait, valamint javaslatot tettem a költségkímélő hatékonyság növelésre.

A befolyó szükös szerves szénforrás elérhetőség melletti eleveniszapos és biofilm rendszerek kombinált alkalmazásának optimalizálására, valamint a tápanyaghiány mérsékelt nitrogén és foszfor adagolással való kompenzálására több hetes folytonos üzemű összehasonlító laboratóriumi modellkísérleteket végeztem. A kísérletek során az eredmények nagyüzemi adaptálhatósága érdekében a módszer fontos része volt a referencia rendszer alkalmazása, valamint a bioreaktorok szennyezőanyag koncentráció profiljának nagy körültekintéssel történő beállítása.

## 4. EREDMÉNYEK

4.1. Az 55 hazai kommunális szennyvíztisztító telep befolyó szennyvízminőségének, technológiájának és kapcsolódó üzemeltetési problémáinak felmérését magába foglaló kutatás eredményei

- A szennyvíztisztító telepek nagy része nagy befolyó KOI, döntő többsége pedig igen magas ammónia terheléssel működött összevetve a Nyugat- és Észak-Európára, valamint Észak-Amerikára jellemző adatokkal.
- A vizsgált tisztító telepek 26%-a esetében a befolyó szerves szénforrás szűkös elérhetőségűnek bizonyult, 16 %-uk pedig súlyos szervesanyag hiánnyal küzdött, ami denitrifikációs kapacitás szempontjából komoly problémát jelentett a szigorúbb elfolyó összes nitrogén határértékek teljesítésében.
- A szennyvízminőség tehát nagymértékben különbözhet kommunális szennyvíztisztító telepek esetében is, így az egységes lakossági szennyvízminőség fogalma és az azon alapuló tervezési gyakorlat hibásnak tekinthető, és nem megfelelő technológiákhoz vezethet.

4.2. A szennyvíz és a biomassza mintázási és mérési hibáinak feltárására, valamint új eljárások kidolgozására irányuló kutatások eredményei

- A szennyvíz mintavétel megfelelő tervezése és kivitelezése a gyakorlatban általánosan alkalmazottnál nagyobb körültekintést igényel, mivel a mikroorganizmusok jelenléte miatt a mintavételi, mintatárolási és –előkészítési hibák következtében a mérési eredmények nagymértékben torzulhatnak.
- A szennyvíz-analitikai gyakorlatban alkalmazott elektrokémiai (MSZ EN 1899-1,2:2000; Standard Methods No. 5210B., membrán elektróddal) és a manometrikus (MSZ E 21420-9:2004; Standard Methods No. 5210D.) elven működő öt napos biokémiai oxigénigény (BOI<sub>5</sub>) mérési módszerek eredményei befolyó (előülepitett) szennyvíz mintákra szignifikánsan különböznek (5%-os szignifikancia szint mellett).
- Előülepitett szennyvíz esetén nem szűrt mintákra átlagosan 23%-kal, szűrt mintákra pedig 15%-kal mérhető nagyobb BOI<sub>5</sub> koncentráció manometrikus módszerrel, mint elektrokémiai meghatározással. A különbség egyik fő okának az bizonyult, hogy míg a manometrikus mérésnél a minta folyamatos keverésben van, addig az elektrokémiai módszer esetében a keverés hiánya miatt a szuszpendált anyag kiülepedhet, és az aerob biokémiai folyamatok kevésbé intenzívek.
- Miután a BOI<sub>5</sub> a biodegradálhatóság alapú KOI frakcionálás fontos háttérparamétere, a gyakorlatban használt szabványos módszerekkel mért BOI<sub>5</sub> koncentrációk közötti különbség jelentős eltérést eredményez nagyüzemi szennyvíztisztító telepek denitrifikációs hatékonyságának matematikai szimulációs vizsgálatokkal történő meghatározásában. Az alkalmazott mérési módszertől függően a befolyó szennyvíz - látszólagos - BOI<sub>5</sub>/NH<sub>4</sub>N (C/N) aránya, azaz denitrifikációs kapacitása jelentősen eltolódhat. Így előfordulhat a denitrifikáló medencék térfogatának, a nitrát recirkuláció térfogatáramának, a levegőztetési beállításoknak, ill. a fűvőképesség méretezésének, valamint az esetlegesen szükséges pót szénforrás mennyiségének téves meghatározása.
- Az eleveniszap pehely szerkezete mellett, a hőmérséklet, a hígítás, az elektron

akceptor elérhetőség (ti. oldott oxigén és/vagy nitrát koncentráció), valamint a méréshez vett biomassa biokémiai állapota egyaránt és egymást erősítve nagymértékben befolyásolják az ülepedés mérés eredményét. A mért iszap ülepedési indexek egyértelműen kisebbek, ha a mérést alacsonyabb hőmérsékleten, hígítással, elő-levegőztetett mintával és alacsony nitrát koncentráció mellett végezzük.

- Különösen olyan szennyvíztisztító telepeken, ahol az iszap ülepedés mérésre az eleveniszap mintát váltakozó üzemen levegőztetett medencéből veszik meg, a mintavételt nagy körültekintéssel szükséges elvégezni. Javasolt a homogén mintát a levegőztetett fázisban, legalább 30 perc intenzív levegőztetést követően megvenni, hogy a biomassa a mérés kezdetekor aerob anyagcserére kapcsolt állapotban legyen, és így elkerülhetővé váljon a mérés ideje alatti denitrifikációs felfúvódás, valamint az iszap felúszás különösen a nyári időszakban.
- Új eljárást dolgoztam ki és alkalmaztam nagyüzemben sikerrel az eleveniszap flokkulum szerkezetében és ülepedhetőségében bekövetkező változások korai jelzésére. Az SVI (iszap ülepedési index, sludge volume index) és DSVI (hígított iszap ülepedési index, diluted sludge volume index) méréseket egyidejűleg felhasználó és eredményeit összehasonlító kombinált módszer a nagyüzemi gyakorlatban is viszonylag egyszerűen kivitelezhető.
- Az eredmények alapján a biomassa utóülepitőből való elvétele utáni hatékony elő-levegőztetésével a gravitációs fölősiszap sűrítőbeli iszapfelúszás veszélye minimalizálható volna.

#### 4.3. A szerves szénforrás hiány, az alacsony befolyó $BOI_5/NH_4N$ arány, és a low S - low DO körülmények áthidalására irányuló kutatás eredményei

- A váltakozó üzemi levegőztetés nagymértékben visszavetheti a denitrifikáció hatékonyságát, ezek a technológiák a szokásosnál magasabb (kb. >8) befolyó  $BOI_5/NH_4N$  arány esetében üzemeltethetők biztonságosan.
- A befolyó, jól biodegradálható szerves szénforrás szűkös elérhetősége esetén a biológiai többletfoszfor eltávolítás elnyomása szükséges lehet a hatékony denitrifikációhoz. Ilyen esetekben kifejezetten hátrányos lehet a biológiai többletfoszfor eltávolításnak kedvező bioreaktor elrendezést alkalmazni, ugyanis amennyiben nincs elegendő szénforrás, akkor se a N, se a P eltávolítása nem lesz megfelelő.
- Kis iszapkorú eleveniszapos, és azt követő nitrifikáló és denitrifikáló biofilm rendszerek esetében az eleveniszapos bioreaktorok nitrifikáló szűrőről történő visszaoltása, valamint a nitrát recirkulációjának növelése a nem levegőztetett eleveniszapos elődenitrifikáló reaktorokba nagymértékben csökkentette az adagolt pót szénforrás mennyiségét az eleveniszapos biológiai nitrogén eltávolítás serkentése révén.
- A nem levegőztetett reaktorok felszínének speciális úszó fedlappal való lefedése az eleveniszap ülepedhetőségét javítja, ugyanis elnyomja a low DO körülmények között növekedő mikroaerofil fonalasok szaporodását.

#### 4.4. A biológiai nitrogén eltávolítási hatékonyság növelésére és az eleveniszap szerkezet javítására irányuló kutatások során nagymértékben ingadozó befolyó C/N arány mellett elért eredmények

- Helyszíni szennyezőanyag koncentráció profil méréseken és szimulációs

számításokon alapuló, új kombinált eljárást dolgoztam ki és alkalmaztam sikerrel egy nagy szerves széntartalmú szörpüzemi hányadot szezonálisan fogadó, kiterjedt vízgyűjtő területtel rendelkező kommunális szennyvíztisztító telep befolyó szennyvízminőségének reprezentatív meghatározására.

- A nagymértékben ingadozó, befolyó C/N arányú szennyvizet fogadó, eredetileg párhuzamosan kapcsolt, kizárólag levegőztetett, ún. low DO körülmények között üzemelő bioreaktorokból felépülő technológia hatékonyság növelését sikerrel végeztem el. A biológiai nitrogén eltávolítás fokozására, és az iszap ülepedettségének javítására egyaránt szolgáló anoxikus reaktortereket és intenzíven levegőztetett aerob reaktorokat egyaránt biztosító tagolt rendszert hoztunk létre.

#### 4.5. A szélsőségesen nagy C/N arány, azaz a tápanyaghiány esetén alkalmazott mérsékelt nitrogén- és foszforadagolás veszélyeinek feltárására irányuló kutatás eredményei

- Kísérletileg igazolást nyert, hogy bizonyos jól biodegradálható szénforrások mellett a megszokottnál nagyobb biomassza hozam állhat elő, ami figyelembe veendő jól bontható, nagy C/N aránnyal jellemezhető élelmiszeripari (pl. boriparból, tejiparból, szörp- és üdítőgyártásból származó) szennyvizek tisztítása esetén.
- A kutatás igazolta, hogy a minimális vegyszer felhasználásra törekedő, elterjedten alkalmazott, szénforráshoz arányított N és P adagolási stratégia az adagolandó pót tápanyag forrás mennyiségének alulbecsléséhez vezethet.
- A mérsékelt N és P adagolás következtében előálló szűkös tápanyag elérhetőség súlyos biomassza elválasztási problémákat okozhat boripari szennyvíztisztító telepek esetében az eleveniszap szerkezet nagymértékű romlása miatt. A bioreaktor elrendezéstől függően az iszap szerkezet kedvezőtlen átalakulása lehet fonalas túlszaporodás és/vagy extracelluláris poliszacharid túltermelésből eredő, ún. viszkózus iszappuffadás.

## 5. TÉZISEK

1. Kimutattam, hogy a hazai szennyvizek általánosan nagy befolyó szervesanyag (összes KOI) és ammónia terhelésűek. Ugyanakkor biodegradálható szerves szénforrásra nézve az 55 vizsgált tisztító telep 26%-a szűkösnek, 16%-uk pedig súlyosan hiányosnak bizonyult. Igazoltam, hogy a szennyvízminőség még hazai kommunális szennyvíztisztító telepek esetében is helyről-helyre nagymértékben különbözik, így az ún. lakosegyenértéken alapuló tervezési gyakorlat nem tartható. (I. és VIII. közlemény)
2. Hiánypótló javaslatokat tettem a biokémiai oxigénigény és az iszap ülepedési index mérések eredményeinek reprezentatívvá és összehasonlíthatóvá tételére. Új eljárást dolgoztam ki, ami az SVI és a DSVI komparatív mérésével alkalmas az eleveniszap szerkezet változásának korai jelzésére. (VI. közlemény)
3. Kimutattam, hogy a váltakozó üzemű levegőztetés, valamint a low DO körülmények nagymértékben visszavethetik a denitrifikáció hatékonyságát. Szűkös szerves szénforrás elérhetőség mellett ( $4 < \text{BOI}_5/\text{NH}_4\text{N} < 6$ ) biztonságosabb megoldást jelent nagy iszapkorú rendszerek esetében a bioreaktorok tagolása (anoxikus terek leválasztása), kis iszapkorú eleveniszapos rendszer esetén pedig az



eleveniszapos technológia biofilm rendszerrel való optimalizált összekapcsolása. (I. és II. közlemény)

4. Nagyüzemi kísérletben kimutattam, hogy szűkös szerves szénforrás elérhetőség mellett a nem levegőztetett reaktorok felszínének speciális úszó fedlappal való lefedése az eleveniszap ülepedettségét javítja, ugyanis elnyomja a low DO körülmények között növekedő mikroaerofil fonalasok szaporodását. (V. közlemény)
5. Helyszíni szennyezőanyag koncentráció profil méréseken és szimulációs számításokon alapuló, új kombinált eljárást dolgoztam ki egy nagy szerves széntartalmú szörpüzemi hányadot szezonálisan fogadó kommunális szennyvíztisztító telep befolyó szennyvízminőségének reprezentatív meghatározására. A módszer jól használható rejtett ipari kibocsátások feltárására is. (VII. közlemény)
6. Kifejlesztett, új eljárással igazoltam, hogy nagymértékben ingadozó C/N arányú befolyó szennyvíz esetén az elterjedt low DO körülmények fenntartásánál hatékonyabb technológia a tagolt anoxikus terek alkalmazása mind a biológiai nitrogén eltávolítás, mind pedig az eleveniszap hely szerkezetének javítására. (VII. közlemény)
7. Kísérletileg igazoltam, hogy bizonyos jól biodegradálható szénforrások esetén a megszokottnál nagyobb biomassza hozam (0,7 g biomassza KOI / g szubsztrát KOI) állhat elő, így tápanyaghiányos élelmiszeripari szennyvizek tisztításakor a minimális vegyszer felhasználásra törekedő N és P adagolási stratégia szűkös tápanyag elérhetőséghez, a biomassza nemkívánatos szerkezetéhez és súlyos elválasztási problémákhoz vezethet. A hagyományos vegyszer adagolásnál biztonságosabb és célszerűbb megoldás korszerű biotechnológiával GAOKat tenyésztetni (III. és IV. közlemény)

## **6. MEGVALÓSULT ALKALMAZÁSOK ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEK**

- Az 55 hazai szennyvíztisztító telep adatainak feldolgozásából származó eredmények hiánypótló, átfogó felmérésnek tekinthetők mind a befolyó szennyvízminőség, mind a nagyüzemben alkalmazott technológiák tekintetében, így ezek a tenderkiírási és tervezési folyamatokban jó kiegészítő adatbázisként használhatók. Egyértelműen rávilágítanak a korábbi gyakorlat tarthatatlanságára.
- A biokémiai oxigénigény mérésre vonatkozó eredmények és javaslatok fontos szempontként szolgálhatnak a tisztítótelepek tápanyag eltávolítási technológiájának tervezésében annak érdekében, hogy elkerülhető legyen a nem kellő körülményekkel végzett adatszolgáltatás, amely pl. a nem levegőztetett reaktortérfogat és/vagy az aerob medencék levegőztetésének hibás méretezését vonhatja maga után.
- Az SVI és a DSVI komparatív mérésén alapuló új eljárást sikeresen alkalmaztam nagyüzemben (Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep). Az iszap ülepedési indexre vonatkozó eredmények az eredeti alkalmazáson túlmenően nagyüzemi gravitációs fölősiszap sűrítők tervezéséhez és üzemeltetéséhez is jól alkalmazhatók: a biomassza utóülepedésként való elvétele utáni hatékony elő-levegőztetésével a gravitációs fölősiszap sűrítőbeli iszapfelúszás veszélye minimalizálható.

- Nem levegőztetett reaktorok viszonylag kis beruházási költséggel járó úszó fedlappal való lefedése 2013-tól kezdődően megvalósult az Észak-budapesti Szennyvíztisztító Telepen a biomassza szerkezet javítására, és jelenleg más helyszíneken is folyamatban van.
- A nagymértékben ingadozó C/N arányú befolyó szennyvízminőség reprezentatív meghatározására kidolgozott új eljárás alkalmasnak mutatkozott a Szobi Szennyvíztisztító Telep látens szörpüzemi terhelésének kimutatására. További alkalmazási lehetőség lehet főként nagy vízgyűjtő területtel rendelkező, regionális szennyvíztisztító telepek hatékonyság növelési projektjei során a tender kiírás megfelelő összeállításához (befolyó szennyvízminőség spektrum meghatározása), a tervezési folyamat sikeres végrehajtásához, valamint az üzemeltetés során pl. rejtett befolyó ipari terhelések felderítésére.
- Tápanyaghiányos (szélsőségesen magas C/N arányú) szennyvizek tisztítása során pót N és P forrás adagolás esetén érdemes a vegyszerfogyasztás minimalizálását célzó mérsékelt dózist biztonságosan megemelni, ez azonban előidézheti a nitrifikáció és denitrifikáció szükségességét, ami további plusz költségeket okoz. A vegyszer adagolás bizonytalan következményei és magas üzemeltetési költségei miatt sokkal célszerűbb, súlyos N- és/vagy P-hiány mellett korszerű biotechnológiával a GAOk növekedését serkenteni.

## 7. KÖZLEMÉNYEK

### Az értekezés alapját képező közlemények

#### *Angol nyelvű, referált folyóiratcikkek*

- I. Tardy, G.M., Bakos, V., Jobbágy, A. (2012): Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary, *Water Science and Technology*, **65**(9), pp. 1676-1683. IF: 1.102 (2012)
- II. Bakos, V., Tardy, G., Palkó, Gy., Jobbágy, A (2013): Pilot-Scale verification of efficient nitrifier backseeding in a combined activated sludge – biofilm system, *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, **57**(1-2), 93-99. IF: 0.130 (2013)
- III. Bakos, V., Kiss, B. and Jobbágy, A. (2016): Problems and causes of marginal nutrient availability in winery wastewater treatment, *Acta Alimentaria, közlésre elfogadva 2016.07.15-én* IF: 0.333 (2015)
- IV. Kiss, B., Bakos, V., Liu, W.T., Jobbágy, A. (2011): Full-scale use of glycogen-accumulating organisms for excess biological carbon removal, *Water Environment Research*, **83**(9), 855-864. IF: 0.883 (2011)

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

- V. 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, *12<sup>th</sup> IWA Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants*, 6-9 September, 2015, Prague, Czech Republic. Proc. pp. 149-155.
- VI. Bakos, V. and Deák, A. (2015): Wastewater sampling and analysis: bottlenecks in design and modelling practice, *IWA 7<sup>th</sup> Eastern European Young Water*

Professionals Conference, Belgrade, Serbia, 17-19 September 2015, Proc. pp. 405-414.

- VII. Bakos, V. and Jobbágy, A. (2016): Upgrading biological nitrogen removal and sculpturing activated sludge flocs in industrial wastewater treatment, *IWA 8<sup>th</sup> Eastern European Young Water Professionals Conference*, Gdansk, Poland, 12-14 May 2016, Book of full papers (Proc. pp.), 735-742.

### **Magyar nyelvű folyóiratcikk**

- VIII. Jobbágy, A., Bakos, V. (2006): A szennyvízminőség szerepe a tisztítási technológia kiválasztásában, *Hírcsatorna*, 2006. május-június, pp. 5-14.

### **Egyéb, az értekezés témájában megjelent társszerzős, angol nyelvű folyóiratcikk**

Jobbágy, A., Kiss, B., Bakos, V., Tardy, G. (2009): Activated sludge nuisances in a vegetable processing wastewater pretreatment plant, *Acta Alimentaria*, **38**, 393-404. IF: 0.505 (2009)

### **Az értekezés témájában tartott előadások**

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)

Bakos V. (2016): Mintázás és mérés a szennyvíztisztításban: a technológia tervezés, modellezés és üzemeltetés rejtett hibái és kihívásai. III. Környezetvédelmi mérés és mintavétel aktuális kérdései c. konferencia, Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, Budapest, 2016. május 24.

Bakos, V. (2016): Upgrading biological nitrogen removal and sculpturing activated sludge flocs in industrial wastewater treatment, *IWA 8<sup>th</sup> Eastern European Young Water Professionals Conference*, Gdansk, Poland, 12-14 May 2016, platform presentation.

Bakos, V. and Deák, A. (2015): Wastewater sampling and analysis: bottlenecks in design and modelling practice, *IWA 7<sup>th</sup> Eastern European Young Water Professionals Conference*, Belgrade, Serbia, 17-19 September 2015, platform presentation.

Bakos, V. (2015): Mintázás és mérés: a szennyvíztisztítási hatékonyság meghatározásának látens kihívásai. Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség – IV. Junior szimpózium, Budapest, 2015. január 26., előadói díj: I. helyezés, MASZESZ Junior Díj

Tardy, G.M., Bakos, V., Jobbágy, A. (2011): Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary. The 11<sup>th</sup> IWA Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, 4-8 September 2011, Budapest, Hungary. Proc. pp. 27-34. Előadó: Tardy Gábor Márk.

Bakos, V. (2010): Eleveniszapos tisztítás hatékonyság növelése a szennyvízminőség függvényében. Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség – 1. Junior szimpózium, Budapest, 2010. március 25.

Jobbágy, A., Bakos, V., Miklósfalvi, G., Pécsi, K. (2008): Eleveniszapos tisztítás hatékonyság növelése a szennyvízminőség függvényében. IX. Országos MASZESZ Konferencia „Klímaváltozás és a szennyvíztechnika”; Lajosmizse, 2008. május 26-27. Előadó: Jobbágy Andrea.

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

Bakos, V., Kiss, K., Patziger, M., Jobbágy, A. (2015): Hydraulic and biochemical profiles of primary settling, 12th IWA Specialized Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Prague, Czech Republic, 6-9 September 2015.

Bakos, V. (2015): Sampling and analysis: latent challenges of wastewater treatment efficiency simulations, European Water Association (EWA) Spring Days 2015, Budapest Water Conference, Budapest, 2015. március 4-6.

Bakos, V., Kiss, B., Jobbágy, A. (2007): A tápanyaghiány hatása az eleveniszapos szennyvíztisztításban, IV. Szennyvízágazati Konferencia (MAVÍZ, FCsM Zrt.), Budapest, 2007. november 29-30.

Kiss, B., Bakos, V., Tardy, G.M., Jobbágy, A. (2007): A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep kombinált biológiai tisztító rendszerének optimalizálása, VIII. Országos MASZESZ Konferencia, Lajosmizse, 2007. május 21-22.

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

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.

Hosseini, A., M., Tungler, A., Bakos, V. (2011): Wet oxidation properties of process waste waters of fine chemical and pharmaceutical origin, Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, **103**(2), pp. 251-260. IF: 1.104 (2011)

Hosseini, A., M., Bakos, V., Jobbágy, A., Tardy, G., Mizsey, P., Makó, M., Tungler, A. (2011): Co-treatment and utilisation of liquid pharmaceutical wastes. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, **55**(1), pp. 3-10. IF: 0.262 (2011)

#### **Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó, társszerzős magyar nyelvű folyóiratcikkek a szennyvíztisztítás területén**

Kassai, Zs., Kiss, K., Muhi, A., Bakos, V. (2014): Az idei IFAT fiatal szemmel: a YWPP magyar résztvevőinek beszámolója, Hírcsatorna, 2014. július-augusztus, pp. 12-21.

Bakos, V. és Jobbágy, A. (2016): Magyar sikerek az IWA kelet-európai fiatal szakemberek számára nyolcadik alkalommal megrendezett konferenciáján, Hírcsatorna, 2016/3., pp. 39-43.

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

Weinpel, T., Bakos, V. and Jobbágy, A. (2016): Utilization of dairy wastewater as carbon source in a domestic activated sludge plant, IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference, Gdansk, Poland, 12-14 May 2016, Book of full papers (Proc. pp.), 780-787. Előadó: Weinpel Tamás.

Wisniewski, C., Chrystelle, M-B., Bakos, V., Delalonde, M., Delarbre, J-L. (2015): Impact of tributyltin (TBT) on the bacterial activity in suspended-growth biological wastewater treatment systems (conventional activated sludge and membrane bioreactor), 10th European Congress of Chemical Engineering, 27th Sept. – 1st Oct., 2015, Nice, France (platform presentation) Előadó: Christelle Wisniewski.

Weinpel, T. and Bakos, V. (2012): Effects of increased influent nitrogen load on a part-time aerated activated sludge system, 6th IWA International Conference for Young Water Professionals, 10-13 July 2012, Budapest, Hungary. (Proc. CD, ID: IWA-9841). Előadó: Weinpel Tamás.

Tardy, G.M., Bakos, V., Jobbágy, A. (2011): Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary. The 11<sup>th</sup> IWA Specialised Conference on Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, 4-8 September 2011, Budapest, Hungary. Proc. pp. 27-34. Előadó: Tardy Gábor Márk.

Kiss, B., Bakos, V., Szabó, A., Jobbágy, A. (2007): Comparative experimental studies for upgrading the Northpest Wastewater Treatment Plant, 10th IWA Specialised Conference – Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Vienna (Austria), 9-13. September 2007. (2<sup>nd</sup> Prize awarded poster, oral presentation) Proc. posters pp 177-180. Előadó: Kiss Bernadett.

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

Kiss, K., Patziger, M., Bakos, V., Jobbágy, A. (2014): Könnyen és nehezen biodegradálható szervesanyagok eloszlásvizsgálata előülepítő medencékben és ülepedési kísérleteknél, XXXII. Országos Vándorgyűlés, Magyar Hidrológiai Társaság, Szeged, 2014. július 2-4., Csatornázás, szennyvízelvezetés és –tisztítás szekció, Konferencia kiadvány (CD), ISBN 978-963-8172-32-7. (Előadás nélkül csak a kiadványban jelent meg.)

Bakos, V. (2014): Nagy szervesanyag tartalmú hulladékok ártalmatlanítása hasznosítással. Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség – III. Junior szimpózium, Budapest, 2014. február 6., előadói díj: IV. helyezés

Deák, A., Szentgyörgyi, P. és Bakos, V. (2012): A mintavétel, az online mérések és a laboratóriumi analízis egymásra épülő rendszere a Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telepen, I. Környezetvédelmi mérés és mintavétel aktuális kérdései c. konferencia, Környezetvédelmi Szolgáltatók és Gyártók Szövetsége, Budapest, 2012. május 22. Előadó: Deák Attila.

Jobbágy, A., Bakos, V., Tardy, G. (2010): Tipikus problémák kis szennyvíztisztító telepeken. XI. Országos MASZESZ Konferencia, Lajosmizse, 2010. május 11-12. Előadó: Jobbágy Andrea.

Bakos, V. (2009): Kommunális és ipari szennyvizek biológiai nitrogén eltávolítása eleveniszapos és biofilm rendszerekben. Oláh György Doktori Iskola, VI. Doktoráns Konferencia; Budapest, 2009. február 4.

Jobbágy, A., Bakos, V. (2008): Eleveniszapos tisztítás hatékonyság növelése a szennyvízminőség függvényében. V. Szennyvízágazati Konferencia – A csatornázástól a környezetgazdálkodásig (MAVÍZ, FCsM Zrt.); Budapest, 2008. november 27-28. Előadó: Jobbágy Andrea.

Jobbágy, A., Bakos, V., Miklósfalvi, G., Pécsi, K. (2008): Eleveniszapos tisztítás hatékonyság növelése a szennyvízminőség függvényében. IX. Országos MASZESZ Konferencia „Klímaváltozás és a szennyvíztechnika”; Lajosmizse, 2008. május 26-27. Előadó: Jobbágy Andrea.

Bakos, V. (2007): Az Észak-budapesti Szennyvíztisztító Telep költségkímélő hatékonyságnövelésének kidolgozása folytonos üzemű, helyszíni modellkísérletben. XXVIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Kémiai és Vegyipari Szekció; Szeged, 2007. április 2-4.

Bakos, V. (2007): Vegyipari szennyvíz biológiai nitrogén-eltávolítása eleveniszapos-biofilm rendszerben, Oláh György Doktori Iskola - IV. Doktoráns Konferencia; Budapest, 2007. február 7.

#### **Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó poszter prezentációk a szennyvíztisztítás területén**

Tardy G.M., Bakos, V., Wisniewski C., Tungler A., Jobbágy A. (2015): Biological elimination of high organic content liquid wastes through utilization in suspended growth wastewater treatment systems, 10th European Congress of Chemical Engineering, 27th Sept. – 1st Oct., 2015, Nice, France.

Bakos, V., Jobbágy, A. (2008): Eleveniszapos szennyvíztisztító rendszer költségkímélő hatékonyságnövelése intenzifikált előülepítéssel, Oláh György Doktori Iskola, V. Doktoráns Konferencia; Budapest, 2008. február 8.

Kiss, B., Bakos, V., Szabó, A., Jobbágy, A. (2007): Comparative experimental studies for upgrading the Northpest Wastewater Treatment Plant, 10th IWA Specialised Conference – Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment Plants, Vienna (Austria), 9-13. September 2007. Proceedings. (2<sup>nd</sup> Prize awarded and oral presentation by B. Kiss), Proc. posters pp 177-180.

Bakos, V., Jobbágy, A. (2007): Az eleveniszapos nitrogén-eltávolítás hatékonyság növelése kötöttágyas reaktorok alkalmazásával, VIII. Országos MASZESZ Konferencia, Lajosmizse, 2007. május 21-22.

Bakos, V., Jobbágy, A. (2006): Vegyipari szennyvíz biológiai nitrogén-eltávolítása eleveniszapos-biofilm rendszerben, III. Szennyvízágazati Konferencia (MAVÍZ, FCsM Zrt.) – A ma tudománya a holnap gyakorlata, Budapest, 2006. november 30. – december 1.



