

## A Debreceni Szennyvíztisztító Telep hatékonyságának értékelése

KACZUR DÁVID – TÓTH BRIGITTA

Debreceni Egyetem Élelmiszertudományi Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

A szennyvizek megfelelő összegyűjtése és kezelése a környezeti értékek és a vízi ökoszisztémák védelme érdekében napjainkban kiemelt fontosságú. Ennek a megvalósítása közben keletkezik a szennyvíziszap, ami a tisztítási folyamatok egyik folyamatosan keletkező mellékterméke. Az iszap megfelelő kezeléséről, ártalmatlanításáról és elhelyezéséről mindenféleképpen gondoskodni kell. A szennyvíztisztítás számos módszer egyidejű alkalmazásával, több lépcsőn keresztül valósul meg.

Az adatok alapján megállapítható, hogy mindkét vizsgált évben a kibocsátott tisztított szennyvíz BOI<sub>5</sub>, KOI összes nitrogén és összes foszfor határértéke megfelel a 28/2004. (XII. 25.) K<sup>v</sup>VM rendeletben foglaltaknak, így a befogadóban nem okozhatnak környezeti károkat.

A szennyvíztisztító telepen keletkező szennyvíziszap a beltartalmi értékei alapján alkalmas lehet a makro- és mikroelem-tartalmú műtrágyák helyettesítésére. Kedvező tulajdonságai miatt lehetővé tehet egy hosszútávon fenntartható és gazdaságos mezőgazdasági hasznosítást.

A Debreceni Szennyvíztisztító Telep teljesítménye a vizsgált paraméterek vonatkozásában megfelel az előírásoknak. Arra lehet következtetni, hogyha nem változnak a telepre érkező nyers szennyvíz minőségi és mennyiségi értékei, illetve nem történik technológiai változtatás, akkor a tisztítás hatásfoka sem fog változni.

**Kulcsszavak:** BOI<sub>5</sub>, KOI, összes foszfor, összes nitrogén, szennyvíziszap, szennyvíztisztítás

## Evaluation of the efficiency of the Debrecen Wastewater Treatment Plant

D. KACZUR – B. TÓTH

Institute of Food Science, University of Debrecen, Debrecen

### Summary

Proper collection and treatment of wastewater is a priority today to protect environmental values and aquatic ecosystems. In the process of doing so, sewage sludge is produced, which is a by-product of the treatment process. Proper treatment, disposal and disposal of sludge must be ensured in all cases. Wastewater treatment is carried out in several stages, using several methods simultaneously.

The data show that in both years under review, the treated effluent discharged complies with the limits for BOI<sub>5</sub>, COD, total nitrogen and total phosphorus set in *Decree 28/2004 (25. 12. 2004) of the Ministry of Public Works and Water Management*, and therefore does not cause any environmental damage at the receiving site.

The sewage sludge produced by the treatment plant may be suitable as a substitute for macro- and micro-nutrient fertilisers on the basis of its content. Due to its favourable properties, it could allow a sustainable and economical agricultural use in the long term.

The performance of the Debrecen Wastewater Treatment Plant meets the requirements in terms of the parameters examined. It can be concluded that, if the quality and quantity of raw sewage arriving at the plant are not changed, and no technological changes are made, the treatment efficiency will not change.

**Keywords:** BOI<sub>5</sub>, COD, total phosphorus, total nitrogen, sewage sludge, wastewater treatment

### Bevezetés

A kommunális szennyvizek különféle vízhasználatok során keletkeznek. A szennyvíztisztítás elsődleges célja, hogy megfelelő minőségű tisztított

szennyvíz kerüljön a befogadóba. Ez azért fontos, hogy ott ne okozhasson káros oxigénhiányt, illetve olyan szennyeződések se kerüljenek az élő környezetbe, amit az egyes szervezetek akkumulálhatnak. A szennyvíz összetételét tekintve heterogénnek mondható. Benne szerves és szervetlen anyagok vannak, oldott vagy kolloid formában. A szennyezőanyagok jelentős része szerves. Ezek különböző mértékben bonthatók biológiai úton. Vannak könnyen bonthatók mint a zsírok, a szénhidrátok, a fehérjék és az alkoholok (Narkis *et al.* 1980, Zhang *et al.* 2008, Damascenco *et al.* 2018, Sá *et al.* 2022). A nehezen bontható szerves szennyezőanyagok kisebb mennyiségben vannak jelen (Bylinski *et al.* 2019). Mivel nincs lehetőség az összes szerves szennyezőanyag minőségi és mennyiségi vizsgálatára, így a szervesanyag-tartalmat úgynevezett összeg-paraméterekkel jellemzik. A mikroorganizmusok számára hozzáférhető szerves anyagok mennyiségét a biológiai oxigénigény jelzi (BOI<sub>5</sub>). A mikroorganizmusok a szerves anyagokat aerob módon oxidálják. A módszer meghatározott körülmények között, általában ötnapos oxigénfogyasztást mér. Az oldott oxigén mennyiségét mg/l mértékegységben fejezi ki (Kárpáti 2014). Ez a módszer információkat ad a vízben található szerves anyagok bonthatóságáról és annak időbeli lefolyásáról. A biológiailag nehezen bontható vegyületeket tartalmazó szennyvizek mérésakor a kapott értékek nagymértékben eltérhetnek a tényleges szervesanyag-tartalomtól. Ennek korrigálása érdekében alkalmazzák a kémiai oxigénigény mérését (KOI). A szervesanyag-tartalmat a mérés során használt oxidálószer fogyasztásával egyenértékű oxigén fejezi ki. A módszer hátránya, hogy nem ad pontos eredményt, mivel a szervetlen anyagok is reagálnak az oxidálószerre (Hu és Grasso 2005).

A kommunális szennyvizekben szerves és szervetlen szennyezőanyagok vannak (Rédey *et al.* 2011). A szerves vegyületek a leggyakoribbak. Ezek között számos lipofil szennyező található, melyek funkciós csoportjai nem fordulnak elő a környezetben, perzisztensek és erősen toxikusak (Dzikowitzky és Schwarzbauer 2013). Ezek súlyos környezeti károkat okozhatnak és karcinogén tulajdonsággal is rendelkeznek (Zhou *et al.* 2008). A szennyvízben peszticidek is előfordulhatnak (Bunzel *et al.* 2013, Jesus *et al.* 2023). Az egyik jelentős szennyezőanyag csoport a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH). Ezek elsősorban nem megfelelő égés során keletkeznek. Ezek leggyakoribb forrása a közlekedés, hulladékégetés, ipari

termelés. Ezen anyagok biodegradációja alacsony, így a szennyvíziszapban felhalmozódhatnak (Włodarczyk-Makula 2005). A másik jelentős szennyezőanyag csoport a poliklórozott bifenilek (PCB). Ezek forrása lehet, a tökéletlen égés, illetve a közlekedés. A poliklórozott bifenilek szintén felhalmozódhatnak a szennyvíziszapban (Kaya et al. 2015).

A szennyvizek tisztítása mechanikai módszerekkel kezdődik. Ezt rácsokkal, zsírfogó medencékkel, előülepítővel valósítják meg, annak érdekében, hogy a nagyobb szilárd lebegő anyagokat eltávolítsák. Ezt követi a kémiai és biológiai tisztítás. A kémiai tisztítás során többek között a 4-6 gyűrűt tartalmazó hidrofób PAH-vegyületek eltávolítása történik. Míg a biológiai tisztítás során a lipofil 2-3 gyűrűs PAH-vegyületek, közepes- és hosszúláncú nonilfenol etoxilát és dietil-ftalát eltávolítás valósul meg (Vogelsang et al. 2006). Hazánkban az eleveniszapos rendszerek terjedtek el. Ezzel a technológiával biztosítani lehet, hogy a kibocsátott szennyvíz határértékei az érvényben lévő rendelkezéseknek megfeleljenek. Könnyen kiépíthető, és megbízható a szerves anyag eltávolító képessége (Szentgyörgyi 2007). Elnevezése onnan ered, hogy az iszap jelentős része olyan élő szervezeteket tartalmaz, amelyek képesek a szerves anyagok bontására (Czakó és Miháltz 1993). Az iszap jelentős része baktérium, de található benne gombák, kerekesszervek és protozoák is. A szennyvízben található kisméretű lebegő részek ülepítéssel nem távolíthatók el. Először mikrobiológiai módszerrel lebegő biomasszává alakítjuk őket, és így távolítjuk el a vízből. A szerves anyagok eltávolítását a mikroorganizmusok végzik, úgy, hogy azokat oxidálják, és növelik a saját sejtanyagukat. Emellett kedvező környezeti feltételek mellett szaporodni kezdenek, és laza szerkezetű iszappelyheket képeznek. Ehhez oxigénre és tápanyagra van szükség. Ezek határozzák meg a lebontás sebességét. A tápanyag a tisztítandó szennyvízben nagy mennyiségben rendelkezésre áll, az oxigénellátásról pedig levegőztető rendszerek segítségével gondoskodni kell. Ha az oldott oxigén mennyisége 1,5-2,0 mg/dm<sup>3</sup> között van, a rendszer energiatakarékosan és hatékonyan tud működni (Ligetvári 1999). Ezt a rendszert úgy alakították ki, hogy az ülepítőben átvezetett szennyvíz elválik az iszaptól. Az iszap egy részét visszajuttatják a levegőztetőbe, hogy biztosítsák a megfelelő mennyiséget.

A vízi ökoszisztéma védelme érdekében fontos feladat a kommunális szennyvizek nitrogéntartalmának csökkentése. A nitrogén eltávolítása két folyamaton keresztül valósítható meg. Ezek a nitrifikáció és a denitrifikáció.

A nitrifikáció során autotróf baktériumok a szennyvízben található ammónium-ionokat alakítják át nitráttá. A mikroorganizmusok ebből az oxidációs folyamatból származó energiát használják fel saját szervezetük felépítésére. Az oxidáció két részből áll. Először az ammónium-ion alakul át nitritté:  $\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{ O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{ H}^+$ , majd ezt követően a nitrit alakul át nitráttá:  $\text{NO}_2^- + 0,5 \text{ O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ .

Ez a folyamat a levegőztető medencében játszódik le, ezért fontos, hogy tartsuk a megfelelő oxigénszintet. A megfelelő mértékű ammónium oxidáció érdekében a szennyvíznek elegendő tartózkodási időt kell biztosítani. A nitrifikációt több tényező is meghatározza, ilyen a baktériumok szaporodási sebessége, ami összefügg a szennyvízben található tápanyagok mennyiségével, továbbá befolyásoló tényező még a hőmérséklet, a kémhatás és a mérgező anyagok jelenléte. A tápanyagok jelenléte után a legjelentősebb befolyásoló tényező a hőmérséklet. A téli időszakban, amikor alacsonyabb a hőmérséklet lelassul a baktériumok szaporodási sebessége. Ekkor érdemes minimum 12 °C-ot biztosítani (Kárpáti 2007). A nitrifikációhoz megfelelő pH érték 8,0–8,5 között van. A nitrifikáció során keletkező savak miatt a szennyvíz kémhatása csökken, ami gátolja a mikroorganizmusok szaporodását. Ennek korrigálására mészhidrát alkalmazható.

A denitrifikáció anaerob körülmények között lejátszódó folyamat, amelyet heterotróf baktériumok végeznek. Oxigénhiányos közegben a nitrát oxigénjét használják, és közben oxidálják a szerves anyagokat, így távolítva el a szennyvízből a nitrátot.

A nitrát átalakulása nitrogénné több lépésen keresztül történik:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ .

Fontos, hogy megfelelő mennyiségű szerves tápanyagot biztosítsunk a folyamat zavartalan működése érdekében, illetve az is lényeges, hogy teljesen oxigénhiányos feltételeket biztosítsunk, mert csak ekkor megy végbe a folyamat zavartalanul. A heterotróf mikroorganizmusok kisebb mértékben érzékenyek a hőmérséklet csökkenésére.

A szennyvízben a nitrogén jelentős része ammónium-ionként található meg (Gupta et al. 2015). Az ammónia már 0,2 mg/l koncentrációban toxikus

a vízi élőlényekre (*Randall és Tsui 2002*), a kommunális és az ipari szennyvizekből éppen ezért nagyon fontos az eltávolítása. Megkötésére többféle módszer is létezik. A leggyakoribb módszer az ion-kicserélődés mechanizmus, ami gyorsan lejátszódó és alacsony költségű módszer (*Kang et al. 2004*).

A kommunális szennyvizekben található foszfor nem toxikus anyag, de az élő vizekben túlzott mennyiségben az algák túlzott növekedéséhez, eutrofizációhoz vezet. Az eutrofizáció csökkentéséhez nélkülözhetetlen a szennyvízben található foszfor mennyiségének csökkentése (*Bunce et al. 2018*). A szennyvíziszap foszfortartalmának eltávolítására fizikai-kémiai, biológia módszerek, vagy ezek kombinációi alkalmazhatók (*Bunce et al. 2018*). A foszfor nagy része oldott orto-foszfátként és szerves kötésben van a szennyvízben, melynek az eltávolítása csak szilárd formában lehetséges. A leggyakoribb kémiai foszforeltávolítási módszer, amikor fémsókat használnak (*Oleszkiewicz et al. 2015*), és a foszfor a fémionokkal oldhatatlan vegyületet képez. A módszer során a szennyvízből a foszforral együtt nagy mennyiségű szerves anyag is eltávozik (*Kárpáti 2014*). A hozzáadott sók kicsapják a szennyvíziszapban található foszfort és egy szilárd anyag keletkezik. Ez gravitációs úton leülepszik, vagy pedig szűréssel távolítják el.

A biológiai foszforeltávolítás költséghatékony és környezetileg fenntartható módszer (*Nguyen et al. 2013*). A biológiai foszforeltávolítás lényege, hogy az eleveniszapban található mikroorganizmusok a foszfort a környezetükből beépítik a sejtjeikbe. Ezeket foszforakkumuláló szervezeteknek nevezik. Bizonyos foszforakkumuláló baktériumok egyidejűen képesek a foszforakkumulációra és denitrifikációra változó aerob-anaerob körülmények között (*López-Vázquez et al. 2008, Lei et al. 2019*). Ezeknek a szervezeteknek a pozitív hatása a foszfor és nitrogén eltávolítása mellett az, hogy energiát takarítanak meg (*Oehmen et al. 2007*), továbbá a foszforeltávolítási hatékonyságuk hasonló, mint a csak foszforakkumulálóké. A biológiai eltávolítás hatékonysága nem túl magas. Csak ezzel a módszerrel nem lehet biztosítani azokat a határértékeket, amelyek a befogadóba való engedéshez szükségesek, ezért ennek megvalósítása érdekében kémiai módszereket is szükséges alkalmazni.

A szennyvíztisztítás egyik fontos feladata az iszapkezelés. Nélküle nagy mennyiségű hulladék keletkezne. Az iszap a szennyvíztisztítás mellékterméke. Ami

az eltávolított úszó és lebegő szilárd anyagokból, és a biológiai tisztításkor keletkező élő és elhalt baktériumpelyhekből áll (Vermes 1997). Elengedhetetlen az iszap térfogatának csökkentése, valamint a benne található patogén baktériumok ártalmatlanítása. Ötféle iszapot különböztetünk meg: nyersiszap, eleveniszap, fölősiszap, recirkulációs iszap és friss iszap. A nyersiszap az előülepítés eredményeképp jön létre. Az eleveniszap a biológiai szennyvíztisztítást végző aerob mikroorganizmusok szuszpenziója. A fölősiszap az eleveniszapos rendszerből eltávolított iszap. A recirkulációs iszap a biológiai szennyvíztisztítás hatékonyságának elősegítése érdekében visszaforgatott iszap. A friss iszap pedig a szennyvíztisztítási folyamatok végén melléktermékként keletkező anyag. Először sűrítik az iszapot majd stabilizálják. A víztelenített és szárított iszap könnyebben kezelhető. A szennyvíziszap minőségét a tisztítási technológia és az adott település adottságai határozzák meg. Ez befolyásolhatja a további felhasználhatóságot. Az iszap kémiai összetételét meg kell határozni. Körülbelül a 70-80%-a szerves, a többi része szervetlen anyag. A szennyvíziszapban a totál foszfor mennyisége 1,5%-ot, a teljes nitrogén mennyiség 3%-ot tesz ki (Xu 2014). Az iszapban azonban lehetnek még más növényi tápanyagok is, többek között kálium, kén, magnézium, kalcium (Kauthale et al. 2005). Tartalmazhatnak még nehézfémeket is (Shamuyarira és Gumbo 2014). Toxikus anyagok is előfordulhatnak benne, például PAH vegyületek, PCP-k, dioxinok (Smith 2009). A toxikus anyagok mennyiségét az iszapban a szennyvíz keletkezésének módja határozza meg (Kárpáti 2006). A technológiák fejlődésével megnőtt a keletkezett szennyvíziszap mennyisége. A nagyobb szennyvíztisztító telepek az iszapot rothasztó tornyokban hasznosítják. A folyamat anaerob környezetben játszódik le, ahol a szerves anyagok biogázzá alakulnak. A folyamat eredménye egy stabil iszap. Ezt a rothasztott iszapot komposztálással a mezőgazdaság hasznosítani tudja (Kárpáti 2014). A szennyvíziszapok és a szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági felhasználhatóságát az 50/2001 (IV. 3.) Korm. rendelet szabályozza. A komposztálás előnyös tulajdonsága, hogy a szennyvíziszap komposzt kevesebb nehézfémet és szennyezőanyagot tartalmaz, mint a szennyvíziszap (Vaca et al. 2011). A szennyvíziszap komposzt a szennyvíziszaphoz hasonló kedvező tulajdonságokkal rendelkezik. A komposzt a humuszhoz hasonló, szagmentes, talajjavító anyag. A szennyvíziszappal szemben könnyebben kezelhető, tárolható és kijuttatható (Parr et al. 1978). A

kommunális szennyvíztisztításból származó iszapot a mezőgazdaság szerves trágyaként talajjavításra tudja használni. Kedvező a talajra, mert növeli a humuszképződés mértékét. Ha megfelelő módon kezelik az iszapot, akkor a mezőgazdaság számára egy jól hasznosítható, nagy tápanyagtartalmú anyagot állíthatunk előállítani. Az iszapban a hasznos tápanyagokon kívül vannak még nehézfémek és a tápanyagok felvételét gátló anyagok is. Nagy kockázatot a nehézfémek jelentenek, mert a növényekbe beépülve, közvetve vagy közvetlenül, veszélyeztethetik az emberi egészséget is, megfelelő talajadottságok mellett közel semleges kémhatásnál azonban ezeknek az anyagoknak a felvétele nem számottevő. Az iszapok nehézfém-tartalmát a vonatkozó kormányrendelet szabályozza, így használni is csak akkor lehet ezeket, ha megfelelnek az előírásoknak. A szennyvíziszap mezőgazdasági újrahasznosítása gazdaságilag indokolt, mert az előírásoknak megfelelő szennyvíziszap-használattal csökkenthetjük a kijutatott műtrágyák mennyiségét, sok egyéb pozitív hatás mellett (Tóth és Fodor 2015).

A célkitűzésünk az volt, hogy megállapítsuk, hogy a Debreceni Szennyvíztisztító Telep hatékonysága milyen mértékű, illetve hogy az ilyen hatékonyság mellett melléktermékként keletkező szennyvíziszap a mezőgazdaság számára egy alternatív tápanyagforrás lehet.

### **Anyag és módszer**

#### *A szennyvíztisztító telep bemutatása*

A vizsgált szennyvíztisztító telep 1913-ban kezdte meg működését. Szinte folyamatosan fejlődött a város vízvezeték hálózata, amit a növekvő népesség tett indokolttá. Ehhez kapcsolódóan gondoskodni kellett a szennyvíz-elvezetésről is. A telep Debrecen városának dél-nyugati részén található. A környező 24 településről megközelítőleg napi 45 000 m<sup>3</sup> szennyvíz kerül befogadásra. A nyers szennyvíz körülbelül egy napot tölt az üzemben. Ezalatt egy háromlépcsős tisztítási folyamaton megy keresztül, melynek végén a tisztított szennyvíz a Tóció-csatornába kerül bevezetésre.

A telepre kerülő nyers szennyvizek első lépésben mechanikai tisztításon mennek keresztül. Ennek része egy 15 mm pálcaközű síkrács, ahonnan a szemét egy présbe kerül. Szivattyúk segítségével emelik olyan magasra a vizet, hogy a tisztítási folyamatokon gravitációs úton mehessen végig. A tisztítási

technológia további tehermentesítését segíti elő két darab 6000 m<sup>3</sup>/óra kapacitású, 3 mm-es finomrács. A telep több pontján is található mérőállomás, amely folyamatosan ellenőrzi a megadott paramétereket. A finom rács után található állomás méri a kémiai oxigénigényt, a pH-t, a lebegőanyag mennyiségét, a szennyvíz hőmérsékletét, a NH<sub>4</sub>-N- és PO<sub>4</sub>-P-tartalmat. A következő tisztítási lépés a homokfogás. A telepen folyamatos levegőztetés mellett történik a nyers szennyvíz homok- és zsírtartalmának leválasztása. Szélsőséges esetben – ha a beérkező nyers szennyvíz mennyisége meghaladja a telep tisztítókapacitását – akkor egy 15 000 m<sup>3</sup>-es záportározó használata segíti a technológia zavartalan működését. Ezután a nyers szennyvíz két darab 40 m átmérőjű Dorr típusú előülepítőbe kerül. Itt történik a nyers szennyvíz iszap és víz fázisainak szétválasztása.

A biológiai tisztítás során a szennyvíz először két darab 500 m<sup>3</sup>-es, majd két darab 1000 m<sup>3</sup>-es anaerob medencébe kerül. A cél az iszaprecirkuláció nitráttartalmának csökkentése, és a szennyvíz foszfortartalom-csökkentés hatékonyságának növelése.

Ezt követően a szennyvíz gravitációs úton kerül az anoxikus medencékbe, melyek bécsi jelleggel kialakított, eleveniszapos terek. Innen a szuszpenzió egy 4000 m<sup>3</sup>-es oxikus, levegőztető medencébe folyik, ahol recirkulációs szivattyúk találhatóak. A levegőztető medencében az oldott oxigén koncentrációja 1,8–2,0 g/m<sup>3</sup> között változik. Az eleveniszap négy darab 40 m átmérőjű és két darab 55 m átmérőjű Dorr típusú utóülepítőben kerül leválasztásra. Ezt recirkulációs szivattyúk segítségével juttatják vissza az előszelektálóba. A fölösiszap az iszapkezelő gépházba kerül átszivattyúzásra.

A keletkezett szennyvíziszap szárazanyag-tartalmát centrifugálással történő sűrítéssel növelik. Az elősűrített szennyvíziszap szárazanyag-tartalma 4–5%. A sűrített iszap egy 50 m<sup>3</sup> medencébe kerül, ahol a keverése állandó jelleggel biztosított. Innen a rothasztókba szárazaknás szivattyúk juttatják. A szennyvíziszapot 35 °C-on biológiailag stabilizálják az iszaprothasztókban. A három rothasztó torony együttes térfogata 15 000 m<sup>3</sup>. A napi átlagos 4–600 m<sup>3</sup> 2–3%-os szárazanyag-tartalmú stabilizált iszap polielektrolit hozzáadásával kerül a víztelenítő centrifugákba. A víztelenítő centrifugák segítségével a szárazanyag-tartalom minimum 23%-ra növekszik. A víztelenített iszapot összegyűjtik és a komposztáló telepre szállítják. Az anaerob fermentáció

mellékterméke a biogáz, ez főleg metánt (58–62%) és szén-dioxidot tartalmaz, illetve más egyéb gázokat is körülbelül 1%-ban (*Net1*).

A kibocsátott tisztított szennyvíz BOI<sub>5</sub> értéke rendelet alapján van meghatározva (28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet).

#### *Az adatok, eredmények és az értékelés*

Az elemzéshez felhasznált nyers és tisztított szennyvíz beltartalmi értékeire vonatkozó (BOI<sub>5</sub>, KOI, összes nitrogén, összes noszfor, pH, szennyvíz-hőmérséklet) adatokat a Debreceni Vízmű Zrt. bocsátotta a rendelkezésünkre. A mintavétel automata mintavevő készülékek segítségével történik. A minták szabványos eljárással megvett, úgynevezett 24 órás átlagminták. Az eredmények kiértékelését Microsoft Excel programmal végeztük.

### **Eredmények**

A BOI<sub>5</sub> értékek tekintetében elmondható, hogy a 2019-es és a 2023-as években a leggyakoribb kibocsátási érték a 4 mg/l volt. Az *1. ábra* alapján a szervesanyag-lebontás stabil, mindkét évben csak kisebb mértékű kiugrások voltak tapasztalhatók.

Jelenleg a kibocsátott tisztított szennyvíz megengedett BOI<sub>5</sub> határértéke 25 mg/l. Az üzem a megengedett határérték alatt teljesített (*2. ábra*). A biológiailag bontható szerves anyagok eltávolítási határfokának átlaga mind a két évben 99% felett volt.

A szerves anyagok csak egy része távolítható el biológiai lebontással. A nehezebben bomló szerves anyagok meghatározására a kémiai oxigénigényt használják. Mivel az eljárás során alkalmazott oxidálószer a szerves anyagokkal is reakcióba lép, a módszer túlbecsüli a szerves anyagok mennyiségét. A megengedett kibocsátási határérték 75 mg/l (28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet). Mindkét év vonatkozásában elmondható, hogy az év teljes egészében megfelelt a kibocsátott tisztított szennyvíz minősége az előírásoknak (*3. ábra*). A 2019-es évben kibocsátott tisztított szennyvíz KOI átlagértéke 45,0 mg/l, míg a 2023-as évben ez az érték csupán 32,15 mg/l volt.

1. ábra. A Debreceni Szennyvíztisztító Telep által kibocsátott tisztított szennyvíz  $BOI_5$  értéke a 2019-es és a 2023-as évben

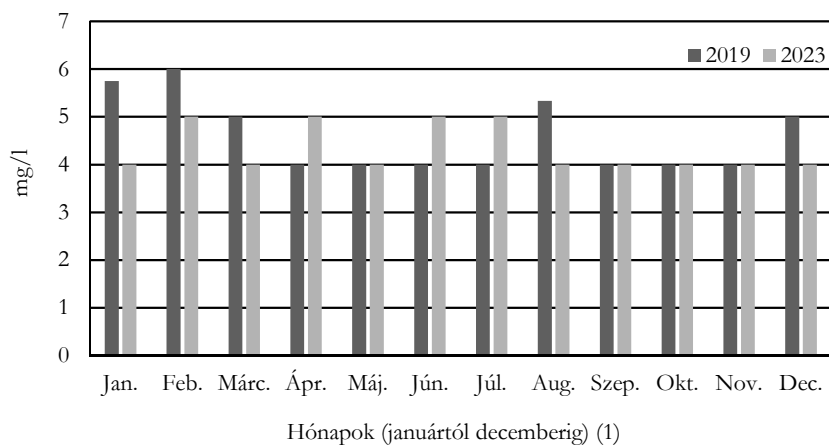


Figure 1. The  $BOI_5$  value of treated wastewater discharged by the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019 and 2023. (1) Months (from January to December)

2. ábra. A Debreceni Szennyvíztisztító Telep  $BOI_5$  átlagos eltávolítási hatásfoka a 2019-es és a 2023-as évben

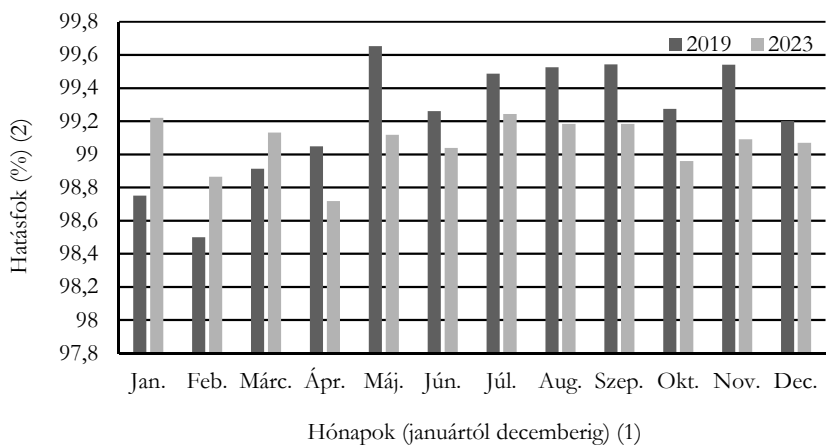


Figure 2. Average removal efficiency of the Debrecen Wastewater Treatment Plant  $BOI_5$  in 2019 and 2023. (1) Months (from January to December), (2) Efficiency (%)

3. ábra: A Debreceni Szennyvíztisztító Telep által kibocsátott tisztított szennyvíz KOI értéke a 2019-es és a 2023-as évben.

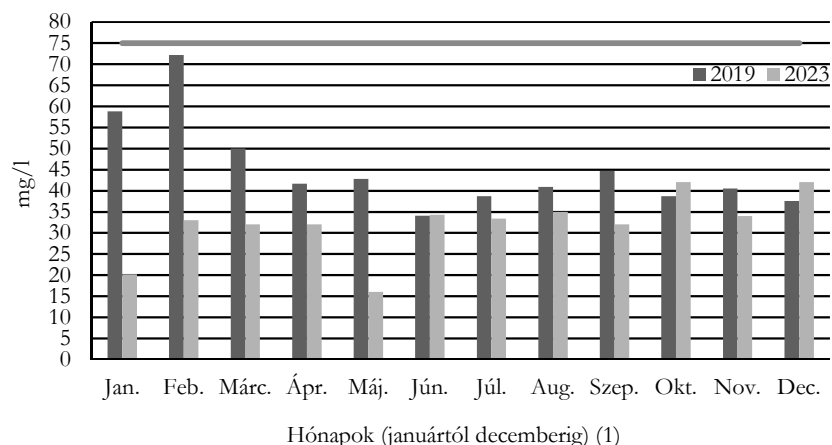


Figure 3. The COD value of treated wastewater discharged by the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019 and 2023. (1) Months (from January to December)

Az eltávolítás határfokát is meghatározza a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet. A KOI vonatkozásában ez 75%. A KOI eltávolítási határfokának átlaga a 2019-es évben 95,8%, a 2023-as évben 96,9% volt. Mind a két év vonatkozásában elmondható, hogy az eltávolítás határfoka megfelelt az előírásoknak. Azonban az is látható, hogy a 2023-as évben eredményesebb volt az eltávolítás határfoka a 2019-es év adataihoz képest (4. ábra).

A vízi ökoszisztémák védelme érdekében a nitrogénvegyületek eltávolítása kiemelten fontos. A túl nagy mennyiségben előforduló nitrogénvegyületek ugyanis oxigénhiányos állapotot idézhetnek elő. Erre vonatkozóan is meghatároz a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet, megengedett kibocsátási határértékeket. Két időszak van meghatározva. Az egyik a május 1. és november 15. közötti időszakra, a másik a november 16. és április 30. közötti időszakra vonatkozik. A nyári hónapokra vonatkozó előírások szigorúbbak, aminek az az oka, hogy ebben az intervallumban a vizek sérülékenyebbek. A vonatkozó rendelet szerint a kibocsátási határértékeket a nitrátérzékeny területeken kell betartani. Az adatok alapján elmondható, hogy mindkét évben megfelelt az eltávolítás határfoka az előírásoknak. A 2019-es évben a nitrogénvegyületek eltávolítási határfoka 82,5%, míg a 2023-as évben 89,5%-

volt. A 2023-as évben eredményesebb volt az eltávolítás hatásfoka a 2019-es év adataihoz képest (5. ábra).

A foszfor vegyületek eltávolítása is kiemelten fontos. Ezeknek az anyagoknak a megengedett kibocsátási határérték 1 mg/l (28/2004. (XII. 25.) KVM rendelet). Ezt az értéket csak a 2019-es évben egy alkalommal haladta meg a kibocsátott tisztított szennyvíz. Azonban a téli időszakra való tekintettel, ekkor nem okozhatott környezeti károkat. A foszfor vegyületek előírt eltávolítási hatásfoka 80%. A 2019-es évben a legalacsonyabb érték 80,1%, a 2023-as évben pedig 89,2% volt. 2019-ben az eltávolítás hatásfokának átlaga 94%, 2023-ban 95% volt. Összességében mindkét évre vonatkoztatva elmondható, hogy az eltávolítási hatásfok megfelelt az előírásoknak (6. ábra). Megállapítható, hogy a vizsgált paraméterek kibocsátási értéke és az eltávolításuk hatásfoka megfelelt az előírásoknak. A két évet összehasonlítva csak kisebb eltérések voltak tapasztalhatók.

4. ábra. A Debreceni Szennyvíztisztító Telep KOI eltávolítási hatásfoka a 2019-es és a 2023-as évben

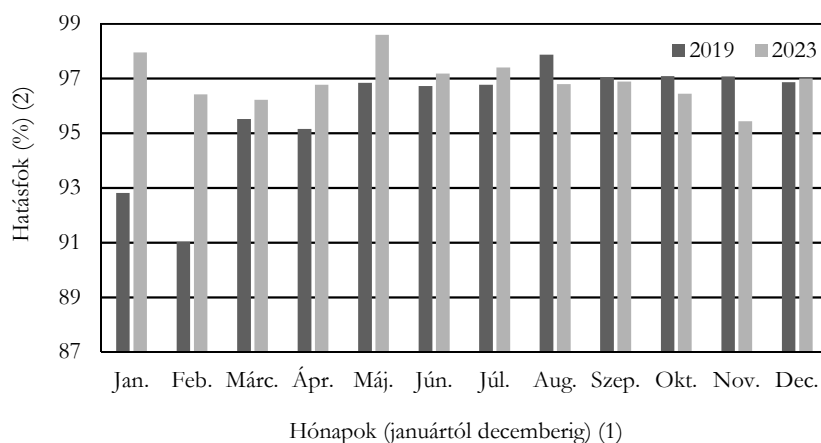


Figure 4. The COD removal efficiency of the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019 and 2023. (1) Months (from January to December), (2) Efficiency (%)

5. ábra. A Debreceni Szennyvíztisztító Telep által kibocsátott tisztított szennyvíz nitrogéntartalma a 2019-es és a 2023-as évben

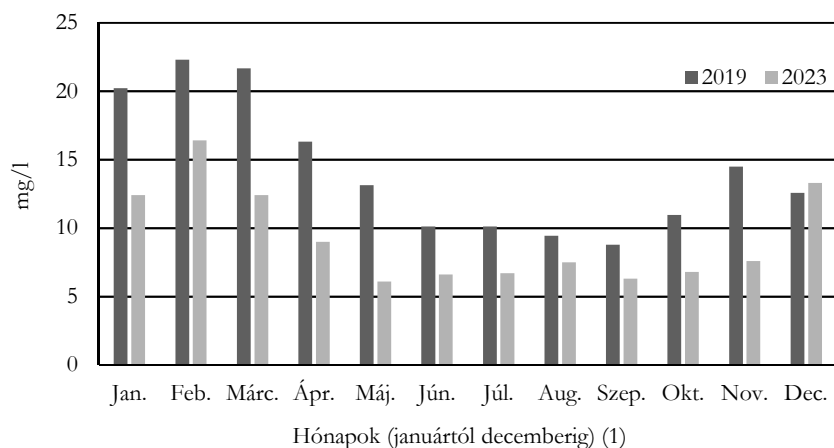


Figure 5. Nitrogen content of treated wastewater discharged by the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019 and 2023. (1) Months (from January to December)

6. ábra. A Debreceni Szennyvíztisztító Telep által kibocsátott tisztított szennyvíz foszfortartalma a 2019-es és a 2023-as évben

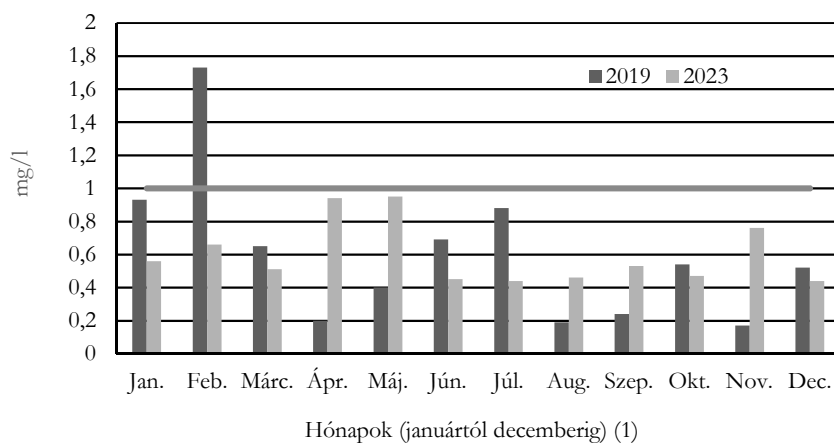


Figure 6. Phosphorus content of the treated wastewater discharged by the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019 and 2023. (1) Months (from January to December)

A biológiai lebontás szempontjából az egyik meghatározó tényező a kémhatás. A mikroorganizmusok számára a közel semleges kémhatás az optimális. Ezek között a feltételek között képesek a legnagyobb mértékben elszaporodni, így minél több szerves anyagot lebontani. A 2019-es évben a kémhatás 7,0–7,7; a 2023-as évben 7,0–8,0 között változott. Ebben a tartományban sem a szaporodást, sem a szerves anyag lebontást nem befolyásolta negatívan. Az eltávolítási hatások 98–99% közötti volt mind a két évben.

7. ábra. A kémhatás és a szervesanyag-eltávolítás hatásfokának összefüggése a 2019-es és a 2023-as évben

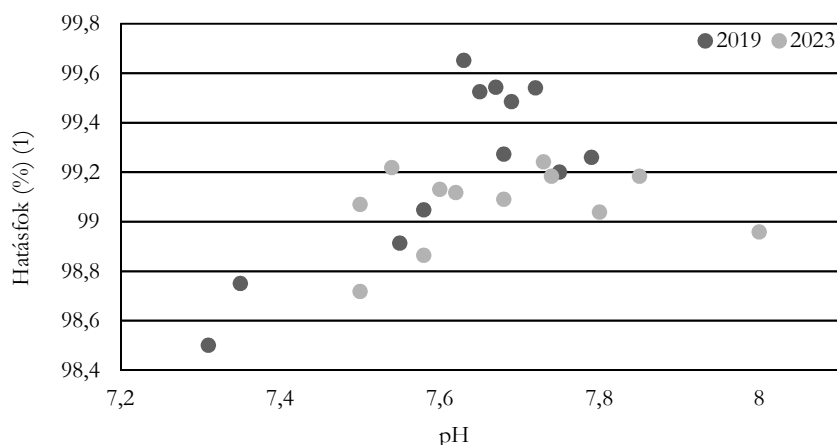


Figure 7. Relationship between pH and organic matter removal efficiency in 2019 and 2023. (1) Efficiency (%)

A másik meghatározó tényező a hőmérséklet. Magyarország éghajlati adottságai mellett a vizsgált szennyvíztisztító telepen viszonylag tág a szennyvíz hőmérsékleti intervalluma. A 15–30 °C közötti tartományban a hőmérséklet változásaira a mikroorganizmusok kevésbé érzékenyek. A szélsőséges szennyvízhőmérséklet korlátozhatja a mikroorganizmusok szaporodását, ezáltal a szervesanyag-lebontás mértékét. Ezt általában a tartózkodási idő növelésével szokták kiküszöbölni. Az adatok alapján elmondható, hogy a 2019-es évben a hőmérséklet változásai csak kis

mértékben befolyásolták a szerves anyagok eltávolítási hatásfokát, míg a 2023-as évben nem befolyásolta negatívan azt.

8. ábra. A hőmérséklet és a szervesanyag-eltávolítás hatásfokának összefüggése a 2019-es és a 2023-as évben

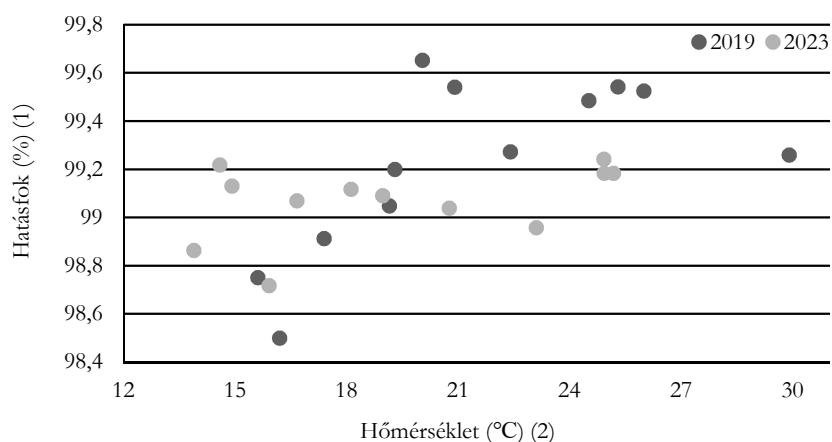


Figure 8. Correlation between temperature and organic matter removal efficiency in 2019 and 2023. (1) Efficiency (%), (2) Temperature (°C)

Az adott környezeti és technológiai feltételek mellett a kémhatás és a hőmérséklet sem külön-külön, sem együttesen nem befolyásolták negatívan a szerves anyag eltávolítását a vizsgált év vonatkozásában.

Hazánkban a szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok felhasználását és kezelését kormányrendelet szabályozza. Jelenleg az 50/2001. (IV.3.) jogszabály van hatályban. A szabályozásnak az a célja, hogy a szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági területeken való szakszerű felhasználásával elkerüljük a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint a növényekre és állatokra továbbá az emberek egészségére gyakorolt káros hatásokat. A mezőgazdasági felhasználás elkezdéséhez meghatározott komponenseket szükséges vizsgálni a talaj és víz vonatkozásában is. A rendelet 5. számú melléklete leírja a szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékeit mezőgazdasági felhasználás esetén. A Debreceni

Szennyvíztisztító Telepen a jogszabálynak megfelelően vizsgálják a szennyvíziszapban az egyes paraméterek mennyiségét (1. táblázat).

1. táblázat. A szennyvíziszapok megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékei, és a Debreceni Szennyvíztisztító Telepről 2019-ben kikerülő szennyvíziszap elemtartalma

Paraméter (1)	Szennyvíziszap határérték (mg/kg sza.) (2)	Szennyvíziszap elemtartalom (mg/kg sza.) (3)
Arzén (As)	75	29,62
Kadmium (Cd)	10	0,85
Kobalt (Co)	50	4,44
Σ Króm (Cr)	1000	50,43
Réz (Cu)	1000	181,04
Higany (Hg)	10	0,63
Molibdén (Mo)	20	6,30
Nikkel (Ni)	200	22,14
Ólom (Pb)	750	19,20
Szelén (Se)	100	1,50
Cink (Zn)	2500	1500,60

Table 1. Limit values for toxic elements and harmful substances in sewage sludge and element content of the effluent sludge from the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019. (1) Parameters, (2) Sewage sludge limit values (mg per kg dry matter), (3) Sewage sludge element content (mg per kg dry matter)

Elmondható, hogy a szennyvíztisztító telep működése megfelel az előírásoknak. A 2019-es évben a legtöbb vizsgált paraméter esetében a határértékek nem érték el a megengedett érték 10%-át.

A szennyvíziszapokban és szennyvíziszap komposztokban találhatóak a növények számára hasznos elemek is (Tóth *et al.* 2012, 2021; Tóth 2015, Tóth és Molo *et al.* 2019). Ezek alkalmazása esetében csökkenteni lehetne a műtrágyák használatát. A szennyvíziszapok kedvező hatásai, hogy fokozzák a talaj szervesanyag-termelését és a talajéletet. Ezen felül makro- és mikroelemeket is tartalmaz, ami a természetes eredményességét javíthatja (2. táblázat).

2. táblázat. A Debreceni Szennyvíztisztító Telepről 2019-ben kikerülő szennyvíziszap növények számára hasznosítható elemtartalma

Paraméter (1)	Szennyvíziszap elemtartalom (mg/kg sza.) (2)
Kálium (K)	2614,63
Nátrium (Na)	1157,40
Vas (Fe)	27694,35
Mangán (Mn)	913,87
Réz (Cu)	181,04
Cink (Zn)	1500,60
Molibdén (Mo)	6,30

Table 2. Elemental content of sewage sludge from the Debrecen Wastewater Treatment Plant in 2019 that can be used for plants. (1) Parameters, (2) Sewage sludge element content (mg per kg dry matter)

Ezek az elemek számos növényélettani folyamatban vesznek részt (*Kumar et al. 2021*). A káliumra a növényeknek nagyobb mennyiségben van szüksége. Fontos szerepet tölt be a vízvisszatartásban, ezáltal az aszálytűrést javíthatja. Ezen felül megközelítőleg 40 féle enzimet aktivál és növeli az ellenálló képességet (*Sardans és Peñuelas 2021*).

A mikroelemek – igaz igen kis mennyiségben, de – nélkülözhetetlenek a növények életfolyamatainak zavartalan működése érdekében. Ezen elemek mennyisége a talajokban az egyoldalú műtrágyahasználat és az intenzív termesztés miatt nem megfelelő, valamint egyes mikroelem-hiányok, például vashiány esetén is a szennyvíziszap pozitív hatását mutatták ki (*Tóth és Moloi 2019*). Jó minőségű szennyvíziszap alkalmazásával ezen javítani lehetne (*Tóth et al. 2012*).

Összességében egy hosszútávon fenntartható gazdálkodást tehet lehetővé, ami mindkét fél számára kedvező, mert a szennyvíztisztító telepeknek nem okoz gondot az iszapok elhelyezése, a mezőgazdaságban pedig eredményesen hasznosítható (*Hunyadi et al. 2008, Tóth 2015*).

### **Következtetések**

A vizsgált paraméterek tekintetében megállapítható, hogy a szennyvíztisztító telep jóval a megengedett kibocsátási határértékek alatt teljesít. Így sem a befogadóban (Tóció-csatorna), sem annak környezetében nem okozhat kárt. Jelen környezeti feltételek mellett elmondható, hogy a telepre beérkező nyers szennyvíz kémhatása és hőmérséklete sem együttesen, sem külön nem voltak hatással a  $BOI_5$  eltávolítási határfokra.

Továbbá az eredmények alapján jól látszik, hogy az egyes paraméterek eltávolítási határfoka, és a kibocsátott tisztított szennyvíz határértékei megfelelnek az előírásoknak, illetve a határfok tekintetében a rendszer konzisztens.

A Debreceni Szennyvíztisztító Telepen keletkezett szennyvíziszap beltartalmi értékei alkalmassá tehetik a mezőgazdasági hasznosításra. Kedvező hatást gyakorolhat a talajra, a talajéletre, a makro- és mikroelem-tartalma fokozhatja a természet hatékonyságát. A szennyvíziszap-kihelyezés javíthatja a talaj fizikai tulajdonságait (porozitás, szerkezet, így a légjárhatóság), a fizikai talajtulajdonságok pedig meghatározzák a talajban végbemenő kémiai és biológiai folyamatokat (adszorpció, oxidáció és redukció, anyagtranszport, biológiai aktivitás, elemforgalom), továbbá javítja a talaj vízháztartását is.

Ezen túl mentesítené a szennyvíztisztító telepet az iszap elhelyezésétől, így egy fenntartható gazdálkodási módszert teremtve, aminek számos pozitív hatása lehetne.

### **Köszönetnyilvánítás**

Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni a Debreceni Vízmű Zrt.-nek, hogy az adatokat a rendelkezésünkre bocsátotta.

### **IRODALOM**

28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet: a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól.

- 40/2008. (II. 26.) Korm. rendelet: a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet módosításáról szóló kormányrendelet.
- Bunce, J. T.-Ndam, E.-Ofiteru, I. D.-Moore, A.-Graham, D. W.: 2018. A review of phosphorous removal technologies and their applicability to small-scale domestic wastewater treatment system. *Frontiers in Env. Sci.* 6: 8. doi: 10.3389/fenvs.2018.00008
- Bunzel, K.-Kattwinkel, M.-Liess, M.: 2013. Effects of organic pollutants from wastewater treatment plants on aquatic invertebrate communities. *Water Research*. 47. 2: 597-606.
- Bylinski, H.-Gebicki, J.-Namiesnik, J.: 2019. Evaluation of health hazard due to emission of volatile organic compounds from various processing units of wastewater treatment plant. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 16: 1712.
- Czakó L.-Miháltz P.: 1993. Trendek és szemléletváltás a szennyvíztisztításban. *Magyar Kémikusok Lapja*. 48. 10-11: 453-462.
- Damascenco, F. R. C.-Cavalcanti-Oliveira, E. D.-Kookos, I. A.-Koutinas, A. A.-Cammarota, M. C.-Freire, D. M. G.: 2018. Treatment of wastewater with high fat content employing an enzyme pool and biosurfactant: technical and economic feasibility. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 35. 2: 531-542.
- Dsikowitzky, L.-Schwarzbauer, J.: 2013. Organic contaminants from industrial wastewaters: identification, toxicity and fate in the environment. Pollutant diseases, remediation and recycling. [In: Lichtfouse E. (ed.) *Environmental chemistry for a sustainable world*. 4th edition.] Springer. Dordrecht. 45-101.
- Gupta, V. K.-Sadegh, H.-Yari, M.-Ghoshekandis, S.-Maazinejad, B.-Chahardori, M.: 2015. Removal of ammonium ions from wastewater: A short review in development of efficient method. *Global J. Environ. Sci. Magane*. 1. 2: 149-158.
- Hu, Z.-Grasso, D.: 2005. Water Analysis - Chemical Oxygen Demand in *Encyclopedia of Analytical Science* (2nd edition). 325-330.
- Hunyadi, G.-Bíró, T.-Mézes, L.-Csatári, G.-Burai, P.: 2008. Establishing the conditions of agricultural utilization of rotted sewage sludge. *Cereal Res. Commun*. 36: 807-810
- Jesus, R. A.-Barros, G. P.-Bharagava, R. M.-Liu, J.-Mulla, S. I.-Azevedo, L. C. B.-Ferreira, L. F. R.: 2023. Chapter Two - Occurrence of pesticides in wastewater: Bioremediation approach for environmental safety and its toxicity. [Ferreira et al. (eds.) *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*.] Elsevier. 9: 17-33.
- Kang, S. Y.-Lee, J. U.-Moon, S. H.-Kim, K. W.: 2004. Competitive adsorption characteristics of Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, and Cr<sup>3+</sup> by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere*. 56. 2: 141-147.

- Kárpáti Á.*: 2006. Szennyvíziszap komposzt készítése és felhasználhatósága. Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológiai Tanszék. 17-21., 44., 58-60., 67-71.
- Kárpáti Á.*: 2007. A szennyvíztisztítás alapjai. Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet. 30-37., 46-52., 96.
- Kárpáti Á.*: 2014. Szennyvíztisztítás korszerű módszerei. Pannon Egyetem. <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/anyagok/32-szennyvizisztitas-2014.pdf>
- Kauthale, V. K.-Takawale, P. S.-Kulkarni, P. K.-Daniel, L. N.*: 2005. Influence of fly ash and sewage sludge application on growth and yield of annual crops. International Journal of Tropical Agriculture. 23: 49-54.
- Kaya, D.-Filiz Karakas, F.-Sanin, F. D.-Imamoglu, I.*: 2015. PCBs in sludge: development of a practical extraction procedure and its application in an urban water resource recovery facility. Water Environ. Res. 87. 2: 145-151.
- Kumar, S.-Kumar, S.-Mohapatra, T.*: 2021. Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. Front. Plant Sci. 12: 665583. doi: 10.3389/fpls.2021.665583
- Lei, Y.-Du, M.-Kuntke, P.-Saakes, M.-van der Weijden, R.-Buisman, C. J. N.*: 2019. Energy Efficient Phosphorus Recovery by Microbial Electrolysis Cell Induced Calcium Phosphate Precipitation. ACS Sustainable Chem. Eng. 7. 9: 8860-8867.
- Ligetvári F.*: 1999. Környezetünk és védelme. 1. kötet. Szarvas. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány. 181-183.
- López-Vázquez, C. M.-Hooijmans, C. M.-Brdjanovic, D.-Gijzen, H. J.-Van Loosdrecht, M. C. M.*: 2008. Factors affecting the microbial populations at full-scale enhanced biological phosphorus removal (EBPR) wastewater treatment plants in The Netherlands. Water Res. 42: 2349-2360.
- Narkis, H.-Henefeld-Fourrier, S.-Rebhun, M.*: 1980. Volatile organic acids in raw wastewater and in physico-chemical treatment. Water Research. 14. 9: 1215-1223.
- Net1*: <http://www.debreceni-vizmu.hu/szolgalatasok/szennyvizszolgalatas>
- Nguyen, T. T., Ngo, H. H., Guo, W.*: 2013. Pilot scale study on a new membrane bioreactor hybrid system in municipal wastewater treatment. Bioresour. Technol. 141, 8-12.
- Oehmen, A.-Lemos, P. C.-Carvalho, G.-Yuan, Z.-Keller, J.-Blackall, L. L.*: 2007. Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale. Water Res. 41: 2271-2300.
- Oleszkiewicz, J.-Kruk, D. J.-Devlin, T.-Lashkarizadeh, M.-Yuan, Q.*: 2015. Options for Improved Nutrient Removal and Recovery from Municipal Wastewater in the Canadian Context. Winnipeg. MN. Canadian Water Network.
- Parr, J. F.-Epstein, E.-Wilson, G. B.*: 1978. Composting sewage sludge for land application. Agriculture and Environment. 4. 2: 123-137.

- Randall, D. J.–Tsui, T. K. N.: 2002. Ammonia toxicity in fish. *Mar. Pollut. Bull.* 45. 1: 17–23.
- Rédey, Á.–Somogyi, V.–Ányos, J.–Domokos, E.–Thury, P.–Yuzhakova, T.: 2011. Simulation of the influence of industrial wastewater on a municipal sewage treatment plant—a case study. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 18. 2: 192–198. doi: 10.1007/s11356-010-0362-7.
- Sá, M. F. T.–Castro, V.–Gomes, A. I.–Morais, D. F. S.–Silva Braga, R. V. P. S.–Saraiva, I.–Souza-Chaves, B. M.–Park, M.–Fernández-Fernández, V.: 2022. Tracking pollutants in a municipal sewage network impairing the operation of a wastewater treatment plant. *Science of The Total Environment*. 817. 152518.
- Sardans, J.–Peñuelas, J.: 2021. Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. *PLANTS MDPI.* 10: 419. doi: 10.3390/plants10020419
- Shamuyarira, K. K.–Gumbo, J. R.: 2014. Assessment of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge: A Case Study of Limpopo Province, South Africa. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 11: 2569–2579.
- Smith, S. R.: 2009. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. *Phil. Trans. R. Soc. A.* 367: 4005–4041.
- Szentgyörgyi E.: 2007. Biofilmes rendszerek alkalmazási lehetőségei a lakossági szennyvíztisztításban. Diplomadolgozat. Pannon Egyetem. Veszprém. 28–29.
- Tóth, B.: 2015. Making agriculture greener. *J. Environ. Biol.* 36. 1: 27–31.
- Tóth, B.–Bóka, K.–Rothmann, L.–Moloi, M.: 2021. The Effect of Four Industrial By-Products on the Photosynthetic Pigments, Dry Weight and Ultrastructure of *Zea mays* L. *Biol. Bull.* 48. 3: 296–305.
- Tóth, B.–Fodor, F.: 2015. Alternative ways of utilization of wastes. [In: Efe et al. (eds.) *Environment and Ecology at the Beginning of 21st Century.*] St. Kliment Ohridski University Press. Sofia. 11–27.
- Tóth, B.–Moloi, M. J.: 2019. The use of industrial waste materials for alleviation of iron deficiency in sunflower and maize. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.* 8: 145–151.
- Tóth, B.–Veres, S.–Bákonnyi, N.–Gajdos, É.–Marozsán, M.–Lévai, L.: 2012. Industrial by-products as possible soil-amendments. *J. Environ. Biol.* 33. 2: 425–429
- Vaca, R.–Lugo, J.–Matínez, R.–Esteller, M. V.–Zavaleta, H.: 2011. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and *Zea mays* L. plants (heavy metals, quality and productivity). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27. 4: 303–311.
- Vermes L.: 1997. *Vízgazdálkodás. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest.* 395.
- Vogelsang, C.–Grung, M.–Jantsch, T. G.–Tollefsen, K. E.–Liltved, H.: 2006. Occurrence and removal of selected organic micropollutants at mechanical, chemical and advanced wastewater treatment plants in Norway. *Water Research.* 40. 19: 3559–3570.

- Włodarczyk-Makula, M.:* 2005. The loads of pahs in wastewater and sewage sludge of municipal treatment plant. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 25. 2: 183–194.
- Xu, G.:* 2014. Biogas from sewage sludge-Safe disposal of sewage sludge in the People's Republic of China. University of Rostock. Justus-von-Liebig-Weg. 6. D 18051 Rostock.
- Zhang, M. L.-Sheng, G. P.-Yu, H. Q.:* 2008. Determination of proteins and carbohydrates in th effluents from wastewater treatment bioreactors using resonance light-scattering method. *Water Research*. 42. 13: 3464–3472.
- Zhou, Y. B.-Tnag, X. Y.-Hu, X. M.-Fritschi, S.-Lu, J.:* 2008. Emulsified oily wastewater treatment using a hybride-modified resin and activated carbon system. *Sep. Prif. Technol*. 63: 400–406.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Kaczur Dávid – \*Dr. Tóth Brigitta  
Debreceni Egyetem  
Élelmiszertudományi Intézet  
Debrecen  
Egyetem tér 1.  
H-4032  
\*btoth@agr.unideb.hu

