

# A BUDAPESTI KÖZPONTI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEP MELLÉKÁRAMÚ NITROGÉNELTÁVOLÍTÁSA

**Szlávik Orsolya – Dr. Lemaire Bernadett**  
üzemeltetési mérnök – üzemeltetési mérnök

Fővárosi Vízművek Zrt.

## **Kivonat**

A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep ammónia terhelésének 15-20%-ka a szennyvíztisztítás melléktermékeként keletkező szennyvíziszap termofil anaerob rothasztása során felszabaduló ammónia tartalomból származik. Az Európai Unió települési szennyvizek tisztítására vonatkozó 91/271/EGK irányelvének tápanyag eltávolítást szabályozó előírásait követve, a telepen 2013-ban a rothasztott iszap víztelenítéséből származó centrálvíz kezelésére anammox technológiájú mellékáramú nitrogén eltávolító egység létesült. Az azóta eltelt hét év üzemeltetési tapasztalatai azt mutatják, hogy a deammonifikáló egység hatásfoka elsősorban a biológiai folyamat nem megfelelően nagy aktivitása, a bioreaktorok tervezettnél kisebb kapacitása miatt elmarad a tervezett 85%-os ammónia eltávolítási értéktől. Az alacsony mikrobiális aktivitás elsődleges oka a keletkezett centrálvíz alacsony alkalinitása, amit részben a víztelenítés hatásfokának növelésére, ill. az esetleges struvit kiválás okozta gépészeti problémák elkerülése végett adagolt vas(III)-klorid okoz. Ennek ellenére, a főáramban működő hagyományos nitrifikációs/denitrifikációs eljárásnál fajlagosan kevesebb energia felhasználással működő mellékáramú anammox technológia implementálásával, a BKSZTT telepen éves viszonylatban sikerült elérni a megcélzott 70-80% összes nitrogén eltávolítási hatékonyságot.

## **Kulcsszavak**

biológiai szennyvíztisztítás, nitrogén eltávolítás, anammox technológia, nagyüzemi tapasztalatok

## **ELŐZMÉNYEK, AZ ANAMMOX TISZTÍTÓ EGYSÉG LÉTESÍTÉSÉNEK OKAI**

A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep (BKSZTT) Magyarország és a közép-kelet európai régió legnagyobb teljesítményű eleveniszapos technológiát alkalmazó szennyvíztisztító telepe. A Telep átlagos biológiai tisztító kapacitása 350 000 m<sup>3</sup>/nap, de csúcsüzemben 600 000 m<sup>3</sup>/nap szennyvíz kezelésére is képes, ami megfelel a Budapesten átlagosan keletkező napi összes szennyvíz mennyiségnek. A BKSZTT telep 2009-ben a Duna vízminőségének javítását célzó, Európai Unió által támogatott Élő Duna (Living Danube) elnevezésű projekt részeként, az akkori elérhető legjobb technológiák beépítésével (Best Available Technology, BAT) épült. A meglévő csatornahálózat kibővítését és a szennyvízátemelők felújítását is magában foglaló projekt, 65%-ban az EU finanszírozásból valósult meg. A Telep a napi átlag 100 MWh energia szükségletét 60%-ban fedezni tudja a szennyvíztisztítás melléktermékeként keletkező szennyvíziszap biogázosításával, amivel a víztelenített hulladék iszap mennyisége is csökken.

A BKSZTT telep 2010-es évi próbaüzemének befejezésével közel egy időben, egy Bizottsági Határozat előírta, hogy az Európai Unió társfinanszírozásával megvalósított telepen biztosítani kell az EU települési szennyvizek tisztítására vonatkozó 91/271/EGK irányelvben a 100 000 lakosegyenérték (LEÉ) fölötti kibocsátásokra vonatkozó tápanyag eltávolítási előírásokat is. Ezáltal a BKSZTT biológiai tisztító fokozatának elfolyójából a Dunába kerülő víz maradék összes nitrogén (TN) tartalmának tekintetében a korábbinál hatékonyabb tisztítási hatásfokot írtak elő, mely szerint az összes nitrogén eltávolítási hatásfoka minimum 70-80%, vagy az elfolyó összes nitrogén tartalma maximum 10 g/m<sup>3</sup> kell legyen.

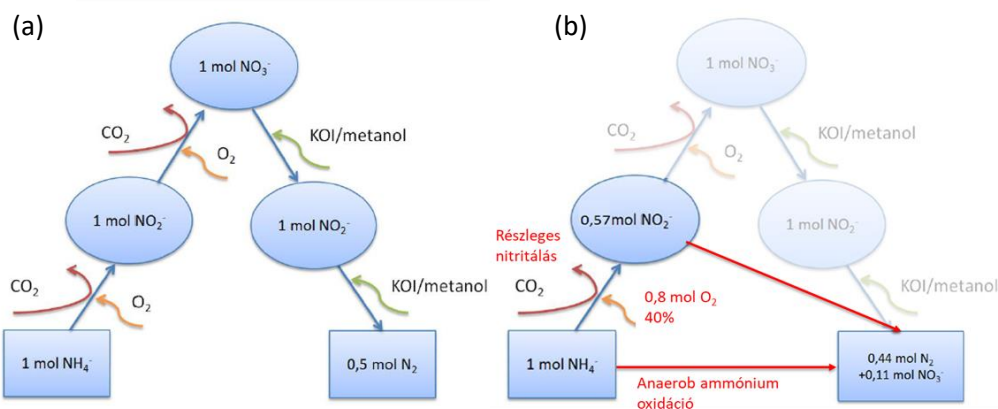
A biológiai tisztító rendszerben a TN eltávolítás nitrifikálásból és denitrifikálásból álló folyamatai közül a közel 100 %-os hatásfokú nitrifikálás teljesíthetőségét a próbaüzem bizonyította. A biológiai tisztító rendszer elő- és szimultán denitrifikálási kapacitása jelentette a TN eltávolítás

szűk keresztmetszetét. Mivel az eredetileg  $30 \text{ g/m}^3$  TN kibocsátási határértékre tervezett technológiával az üzemeltető nem tudta elérni, hogy a tisztított víz TN tartalma tartósan  $10 \text{ g/m}^3$  alá csökkenjen.

A kívánt tisztítási hatékonyság elérése érdekében, az energiahatékonyság szem előtt tartásával, 2013-ban megépült és a főáramú biológiai tisztító technológiájától eltérő elven működő mellékáramú nitrogén eltávolító egység. A megvalósított deammonifikációs technológia az anaerob termofil rothasztást követő iszapvíztelenítésből származó centrátvíz magas ammónia tartalmát kezeli. Az eljárás alapvető feladata, hogy a fővonalai tisztítás ammónia terhelését a szennyvíztisztító telepre érkező összes nitrogénterhelés 13-14 %-ának megfelelő ammóniaterheléssel csökkentse.

## A KIVÁLASZTOTT DEAMMONIFIKÁCIÓS TECHNOLÓGIA ISMERTETÉSE

A BKSZTT telepen megvalósított DEMON® technológia lerövidíti a szennyvíztisztításban hagyományosan alkalmazott nitrifikációs/denitrifikációs nitrogén eltávolítási folyamatot. Ahol a jelenlévő ammónia az ammónium-oxidáló (AOB) ill. a nitrit-oxidáló baktériumok (NOB) jelentős mennyiségű oxigén fogyasztása mellett nitritté, majd nitráttá alakul; ezután könnyen lebontható szerves szénvegyületek felhasználásával elemi nitrogénné redukálódik (ld. 1.a ábra).



1. ábra. Fővonalai (a) és mellékáramú (b) nitrogén eltávolítás folyamatának összehasonlítása

Ennek alternatívájaként a DEMON® technológiában lerövidítik a nitrogén eltávolítás folyamatát, olyan módon, hogy a nitrit-oxidáló baktériumok visszaszorításával gátolják a nitritből nitráttá vezető második oxidációs lépést. Ennek megfelelően a deammonifikációs folyamat két lépésből áll: először az ammónia közel 50%-ka az ammónium-oxidáló baktériumok metabolizise nyomán nitritté oxidálódik (nitrálás), majd a maradék ammónia az így képződött nitrittel anaerob úton nitrogén gázzá alakul (anaerob ammónium oxidáció, ld. 1.b ábra). A részleges nitrálás csak 40%-nyi sztöchiometrikus oxigént igényel szemben a teljes nitrifikációval, e mellett a deammonifikáció nem használ fel szerves szénforrást a folyamatban résztvevő mikroorganizmusok autotróf természetének köszönhetően, ami hozzájárul a fővonalbeli relatív szénforrás hiány elkerüléséhez.

A DEMON® technológia speciális, kevert kultúrájú eleveniszappal működő ammóniaeltávolítást megvalósító SBR (Sequencing Batch Reactor) reaktoros tisztítást jelent. A részleges nitrálás/anammox folyamatok váltakozó aerob és anoxikus körülmények megteremtésével valósulhatnak meg ugyanabban a reaktorban. Ennek megfelelően az alkalmazott SBR medencék biológiailag aktív lebontási fázisa anoxikus/aerob mikrociklusok sokaságából áll össze. A

folyamat során a nitrogén eltávolítás igen alacsony (0-0,4 g/m<sup>3</sup>) oldott oxigénszint mellett valósul meg.

A deammonifikációs folyamatok a reaktor üzemének (hőmérséklet, pH, iszapkor, szubsztrát koncentráció, oldott oxigén szint, ciklusok) pontos szabályozását igénylik. A BKSZTT telepen alkalmazott szakaszos betáplálású eleveniszapos reaktoros (SBR) technológia alapvetően a pH alapján szabályozza a nitritációs/anaerob ammónium oxidációs folyamatot.

Az ammónium-oxidáló baktériumok magasabb pH-n gyorsabban szaporodnak, mint nitrit-oxidálók, viszont ha a pH 8 fölé nő, akkor a megnövekedett szabad ammónia inhibeálja a deammonifikációs folyamatokat. Viszont az ammónia oxidálása során a közeg savasodik, tehát a reaktor pH-ja a levegőztetett szakaszban lefele csúszik, ami a NOB-ok szaporodásának kedvez. Az AOB sejtek növekedésének optimális pH-ja 7,2 és 8,0 között van. Ugyanez az anammox baktériumok esetén 6,7–8,3. A pH kontrollja ezért alapvető fontosságú a deammonifikálás során.

Az oldott oxigén (DO) koncentráció szabályozásával is megakadályozható a keletkezett nitrit oxidációja. Mivel az ammónia-oxidálóknak nagyobb az affinitásuk az oxigénhez, mint a nitrit oxidálóknak, kis DO koncentrációnál (<0,4 g/m<sup>3</sup>) a nitrit oxidációja visszaszorul. Azonban elkerülendő a nitrit túlzott mértékű felhalmozódása, mert ez – akár csak az oxigén jelenléte - az anammox baktériumokra gátlólag hat. Már 2 μmol/l oxigén és 5- 10 mmol/l nitrit koncentráció teljesen, de reverzibilisen gátolják az anammox aktivitást (Kárpáti et al., 2014).

A DEMON<sup>®</sup> reaktorokban a hőmérsékletet 28-36°C közötti tartományban kell tartani, mivel az anammoxok optimális hőmérséklet intervalluma 20-43°C között van, a nitritálók aktivitása viszont 35°C felett rohamosan csökken. Valamint 28-36°C közötti hőmérsékleten, a nitrit-oxidálók szaporodási sebessége jelenősen alacsonyabb (körülbelül fele) az ammónium-oxidálók sebességének. Ilyenkor az iszapkor csökkentésével a nitrit oxidálók kiszoríthatók a rendszerből. Fontos megjegyezni azonban, hogy az anammox baktériumok szaporodás sebessége is igen lassú, ezek rendszerben maradása pedig alapvető fontosságú a tisztítás sikeressége érdekében. Erre a DEMON<sup>®</sup> technológiában alkalmazott hidrociklonos iszapszétválasztás, ill. iszapelvételel jelenti a megoldást. Ennek segítségével nyílik lehetőség két jelentősen különböző iszapkor tartására ugyanazon reaktorban (nitritálók esetén az iszapkor 2-5 nap, az anammox granulomok esetén pedig 70-100 nap).

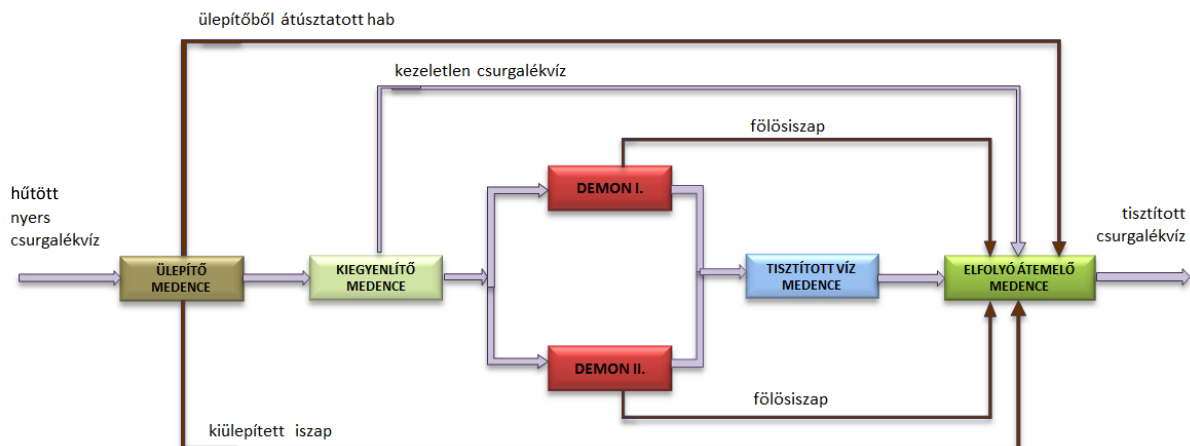
## **A DEAMMONIFIKÁLÓ RENDSZER FELÉPÍTÉSE A BKSZTT TELEPEN**

Az alaptechnológiából származó, termofil hőmérsékleten rothasztott kevert iszap víztelenítése során keletkező nagy ammóniatartalmú centrátvíz, egy erre a célra beépített tartályban gyűlik össze, innen szivattyúk segítségével kerül bevezetésre – egy előülepítési lépés után - az anammox technológiát alkalmazó, szakaszos betáplálású SBR reaktorokba.

Mivel a termofil anaerob rothasztókról lejövvő iszap centrifugálásából származó csurgalékvizének hőmérséklete túl magas (34-43°C) a deammonifikációban résztvevő mikroorganizmusok optimális növekedéséhez és szaporodásához, ezért a képződő centrátvizet egy lemezes hőcserélőn vezetik át és hűtik le. A hőcserélő biztosítja, hogy az ülepítő medencébe befolyó nyers centrátvíz hőmérséklete a kívánt hőmérséklet tartományban maradjon.

A hőcserélő hűtőközege a biológiai fölösiszap sűrítő csurgalékvize, illetve ha ezzel nem érhető el a megfelelő hűtés, akkor lehetőség van a biológiailag tisztított elfolyó vizet használni hűtőközegként.

Az ülepítő medence felszínén összegyűlő lebegőanyag, valamint az alján kiülepedett iszap az elfolyó átemelő medencébe kerül. A centrátvíz az ülepítő medencéből gravitációsan egy vízszint alá vezetett csövön keresztül jut a kiegyenlítő medencébe, ahonnan 1-1 beépített szivattyú adja fel a szennyvizet a két párhuzamos kialakítású DEMON® medencébe. A kiegyenlítő medence a víztelenítés időtartama alatt keletkező centrátvizet tárolja, amikor a DEMON® medencékbe nincsen feladás (ld. 2. ábra).



2. ábra. A DEMON® technológia felépítése a BKSZTT telepen

A két párhuzamosan kötött DEMON® medencében megtörténik a biológiai nitrogénmentesítés. A medencébe beépített fölösiszap szivattyúk az iszapot a DEMON® medencék felett elhelyezett 3-3 hidrociklonba vezetik, ahol szétválasztásra kerül az elvételre kerülő fölösiszap és a DEMON® technológiában kulcs fontosságú visszatartott anammox granulomokat tartalmazó iszap. Az elvett fölösiszap az elfolyó átemelő medencébe kerül. A tisztított, ülepített szennyvíz elvétele a DEMON® medence felszínén úszó dekanterrel történik.

A dekanterrel elvezetett tisztított centrátvíz előbb a tisztítottvíz medencébe jut gravitációsan, majd innen két szivattyú továbbítja azt az elfolyó átemelő medencébe. Innen három telepített szivattyúval történik az uszadékkal és az iszapokkal kevert tisztított centrátvíz továbbítása a fő szennyvíztisztítási technológia elejére (a finomrácsok mögé).

## ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK, KIHÍVÁSOK

A DEMON® rendszerben az energia hatékony szennyezőanyag eltávolítás kulcsa a tisztítást végző eltérő környezeti igényű mikroorganizmus csoportok egyensúlyban tartása. Azonban az egyes mikroorganizmusok fajlagos aktivitásának mérése egyelőre csak laboratóriumi körülmények között lehetséges, valamint közvetve az üzemi on-line mérők mért paramétereiből lehet rá következtetni. A BKSZTT telepen üzemelő deammonifikáló egység terhelhetősége elsősorban a biológiai folyamat nem megfelelően nagy aktivitása, a bioreaktorok tervezettnél kisebb kapacitása miatt elmarad a névleges értéktől.

Az anammox tisztító egység 2014-ben lezárult próbaüzeme óta összegyűjtött üzemeltetési tapasztalatok alapján két fő működést nehezítő tényezőről számolhatunk be, aminek következtében a DEMON® reaktorok nem terhelhetők fel a névleges terhelési értékükig. Az egyik a gépészeti problémákat okozó struvit kiválás, a másik a centrát víz nem megfelelő minősége.

## Struvit kiválás

A DEMON® technológiát kiszolgáló gépészet meghibásodásának leggyakoribb okozója az iszapkezelési folyamat során termelődő MAP (magnézium-ammónium-foszfát), vagy ásványi nevén struvit kiválása, ami a szivattyúk leállítását, ill. a vezetékek és a hőcserélő eldugulását okozza.

Az eleveniszapos szennyvíztisztításnál keletkező iszapban a foszfor mindig kötött állapotban van. Részben többértékű fémekkel alkotott nehezen oldható foszfát formájában, részben a sejtekben tárolt szerves foszfátként (Mg és K vegyület – polifoszfát), részben a sejten kívül keletkező magnézium-ammónium-foszfátként, részben a sejt szerves anyagaként (szerves foszfát) van jelen. A kötött formák egy része az anaerob termofil rothasztás során oldatba kerül. Ami a környezetben jelen levő ammónia és magnézium hatására struvitként immobilizálódik. A struvit ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) a semleges, savasabb pH-nál jól oldódik, de 8-as körüli pH-n kikristályosodik és a tisztítóegységek különböző elemeiben kirakódik.

Mindezek miatt a deammonifikációs folyamat stabilitása érdekében külön figyelmet kell fordítani a centrátvíz DEMON® műtárgyba történő áttápláláskor tapasztalt struvit képződésre. A struvit jellemzően a hőcserélő előtti átadó szivattyúban és a hőcserélő lemezeinek felületén kristályosodik ki, de a hőcserélő előtti és utáni vezeték szakaszban is megtalálható. A struvit képződés ellenőrzése érdekében három-négy havi rendszerességgel szét kell szedni a centrátvíz áttápláló szivattyú szívó és nyomóoldali csatlakozásait és szemrevételezéssel meg kell állapítani a struvit lerakódás mértékét, illetve szükség esetén el kell távolítani a struvit kristályokat. Ugyanígy a struvit kiválásra különösen érzékenyen reagáló lemezes hőcserélő és a kapcsolódó vezetékek minimum kéthavi rendszerességű szétszedéses tisztítása szükséges. A karbantartások miatt szükséges leállások és a hőcserélő lemezein kiváló struvit leakadás miatt lecsökkent hőlépcső is szerepet játszanak abban, hogy a keletkezett centrátvíz összes mennyiségét nem tudjuk feladni a DEMON® reaktorokba.

A BKSZTT telepen a struvit kirakódási problémák megelőzésének érdekében a rothasztás során oldatba került foszfátot vas(III)-kloriddal csapják ki.

## Alkalinitás hiánya

A lúgosság (alkalinitás, puffer kapacitás) a szennyvíznek az a tulajdonsága, hogy mennyire képes kompenzálni a lejátszódó biológiai folyamatok során bekövetkező pH ingadozásokat. A DEMON® eljárás alapvetően olyan szennyvizek kezelésére a legmegfelelőbb, amelyekben az ammónia hidrokarbonát só ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) formájában van jelen. Hidrokarbonátos sók esetén, az ammónia egy részének nitritálása során keletkező sav a hidrokarbonátból szénsavat, majd ebből a levegőbe kerülő széndioxidot eredményez, vagyis a nitrifikálás pH csökkentő hatása nem túl jelentős. A BKSZTT centrátvizében mindez csak részben jön létre, mert az iszapsűrítés során, a rothasztókba és a víztelenítést megelőző rothasztott iszap tároló tartályba egyaránt bizonyos mennyiségű, erős savként viselkedő vas(III)-kloridot adagolnak.

A rothasztókból származó centrátvizek esetén lúgosság/ammónia arány értéke általában egy, vagy kicsit több mint egy. Ezzel szemben a BKSZTT centrátvizében az arány jellemzően 0,8 és 0,9 között változik, ami arra utal, hogy a hidrokarbonát lúgosság egy jelentős része a vasadagolás következtében eltűnik. A hiányzó hidrokarbonát lúgosság helyett 600 - 900 g/m<sup>3</sup> klorid ion van a centrátvízben, ami a nitritálás pH csökkentő hatását már nem képes kompenzálni. Emiatt a deammonifikálás ammónia oxidációs szakaszában, amint a pH eléri 6,7-es értéket, jelentőssé válik a komplex lebontási metabolizmusok pH inhibíciója, vagyis ilyenkor egyrészt

csökken a folyamat sebessége, másrészt további ammónia oxidáció, annak további pH csökkentő hatása miatt, egyszerűen nem lehetséges. Mindez azt jelenti, hogy a levegőzetett szakaszban a pH túl gyorsan lecsökken, ezért nem lehet a névleges terheléssel terhelni a rendszert, aminek eredményeképpen a tisztított vízben a szükségesnél magasabb marad az ammónia koncentrációja.

A centrátvíz alkalinitás hiányának kompenzálására kiépült egy lúgosító szer (nátrium-hidrogénkarbonát) adagoló rendszer. Az ammónia eltávolítási kapacitás hiány egy része bizonyosan visszavezethető a kezelendő iszapvíz relatív lúgosság hiányához, mivel a lúgosító szer adagolásával a medencék aktivitását sikerült növelni, azonban a tervezési hatékonyságot, még 500 kg/nap szilárd  $\text{NaHCO}_3$  mennyiség beadagolásával sem sikerült elérni. Így, az üzemeltetés költségeinek racionalizálása miatt, a vegyszeradagolás jelenleg nem a sztöchiometrikusan szükséges mennyiségben történik. Az adagolt mennyiség a telepről elfolyó tisztított szennyvíz összes nitrogénre vonatkozó minőség céljának megfelelően van beállítva.

### **Centrátvíz lebegőanyag tartalma**

Az iszaprohasztásból származó centrátvízben elkerülhetetlen bizonyos mennyiségű oldott, vagy lebegő, illetve biológiailag bontható, vagy bonthatatlan szerves anyag jelenléte. A nem toxikus szerves anyagok önmagukban nem jelentenek közvetlen veszélyt a DEMON® technológiára, de közvetve, a tervezett biológiai folyamatok szempontjából inertnek vehető iszapkoncentráció növelő hatásuk miatt, a jelentős szerves anyag terhelés nem kívánatos. Mindez azt jelenti, hogy a centrátvíz magas lebegőanyag tartalma esetén (centrifuga indítás vagy üzemzavar) gyorsan megnövekedhet a reaktorokban az iszapkoncentráció. Ami miatt a hidrociklonos fölösizap elvétel túlterhelődhet, ezáltal veszélybe kerülhet az anammox baktérium granulátumok hatékony visszatartása.

A centrátvízben, a lebegőanyagok mellett, oldott szerves anyag szennyezések is lehetnek. Ezek mennyisége alapvetően a rohasztás hatékonyságától, a centrátvízben maradó biológiailag jól bontható illósavak koncentrációjától, esetleg a biológiailag bonthatatlan maradékoktól függ. A biológiailag bontható szerves anyagok a DEMON® reaktorokban gyorsan oxidálódnak, maguk is a fölösizap képződés forrásává válnak, vagyis az így képződő lebegőanyag is terheli a hidrociklonos iszap szeparátort.

A biológiailag bontható szervesanyag tápanyagul szolgál a heterotróf baktériumok számára és ezáltal heterotróf réteg nőhet az anammox granulátumok köré, ami csökkenti azok fajlagos felületét, így aktivitását is. Illetve a deammonifikációs reaktor anoxikus működési szakaszában a heterotróf baktériumok nitritet és nitrátot fogyasztanak. Ha a heterotróf baktériumok többségbe kerülnek, akkor az általuk az anoxikus szakaszban elfogyasztott nitrit hiányozni fog az anammox baktériumok számára.

Mindezek miatt az üzemeltetés során kiemelt figyelmet fordítanak a DEMON® medencékbe feladott centrátvíz lebegőanyag tartalmára. Amennyiben az nem felel meg a kívánalmaknak lehetőség van egy megkerülő ágon közvetlenül a főáramú technológia elé vezetésére.

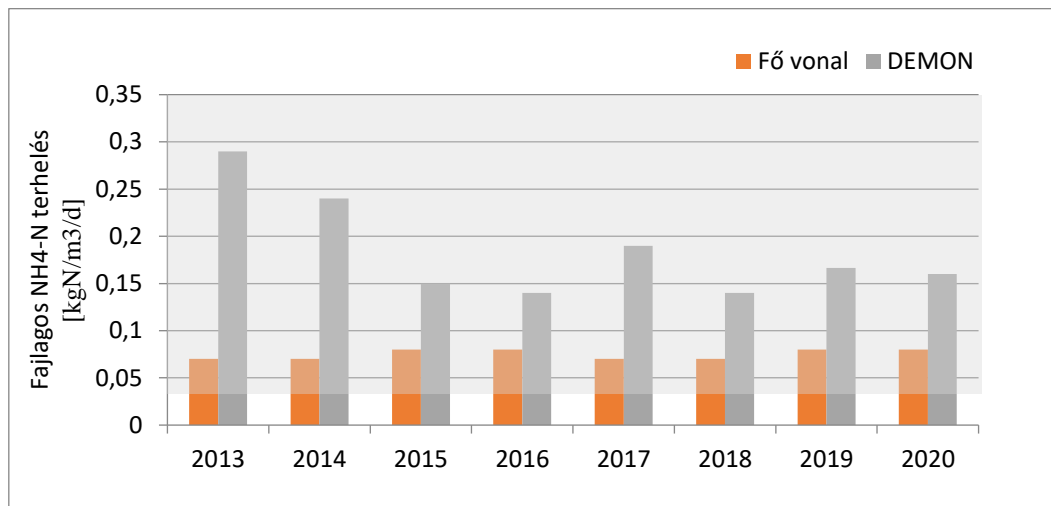
## **ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK, MUTATÓ SZÁMOK**

### **Terhelés**

A Budapesti Központi Szennyvíztisztító telepen üzemelő mellékáramú nitrogén eltávolító egység térfogati terhelése az üzemeltetés évei során 0,14-0,23 kg N/m<sup>3</sup>/d között változott (ld. 3. ábra), ami a szakirodalomban szereplő 0,04-től 0,65 kgN/m<sup>3</sup>/d tartomány alsó határán van

(Lackner et al. 2014). Azonban, a fővonalis eleveniszapos nitrifikációs/denitrifikációs technológiát tekintve, ami átlagosan  $0,07-0,08 \text{ kg N/m}^3/\text{d}$ -ra tehető, megállapítható, hogy a mellékáramú tisztító térfogati terhelhetősége kétszer nagyobb.

A keletkezett centrátvíznek csak egy bizonyos, a mellékáramú biológiai tisztító állapotától függő, változó mennyiségű részét lehet a DEMON® reaktorokra feladni. Amennyiben az összes keletkezett centrátvíz feladásra kerülne a DEMON® medencékbe, annak térfogati terhelés értéke  $0,38-0,44 \text{ N/m}^3/\text{d}$  között változna, ami még így sem számítana magasnak az irodalom által említett jellemző tartományhoz képest.

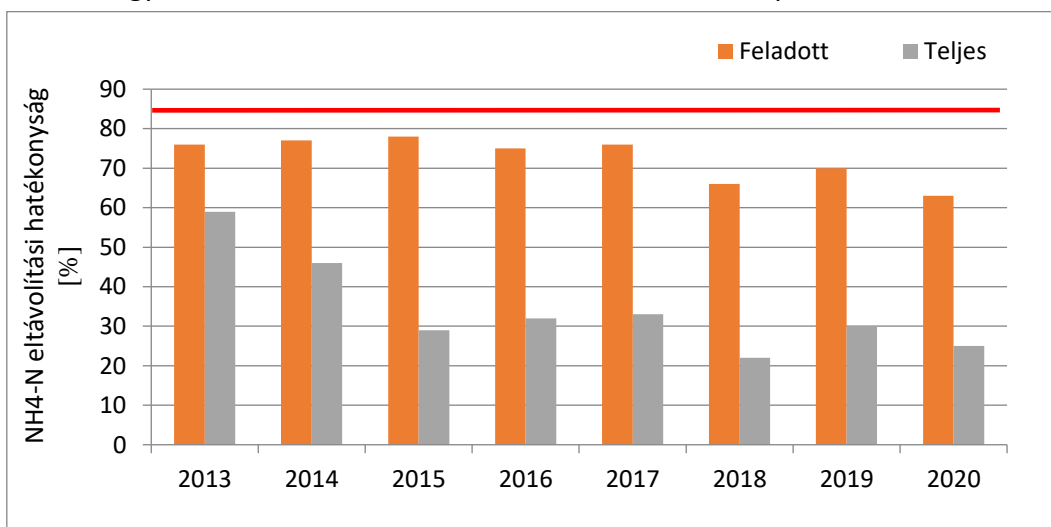


3. ábra. A DEMON® tisztító egység fajlagos terhelése

Az üzemeltetés során megvalósuló alacsony térfogati terhelés oka, hogy a reaktorok terhelését nemcsak a rendelkezésre álló centrátvíz mennyisége, hanem a centrátvíz áttáplálás műszaki problémái (struvitosodás miatti leállások) és a bioreaktorok gyorsan változó tényleges kapacitása viszonyai is befolyásolják.

#### Hatásfok

A DEMON® technológia eredetileg megcélzott 85 %-os általános, minden reális folyamatot figyelembe vevő hatásfokát tartósan eddig még, sem a próbaüzem alatt, sem a próbaüzem óta eltelt időszakban, nem sikerült teljesíteni (ld. 4. ábra). Ezért leginkább a biológiai folyamat nem megfelelően nagy aktivitása, a bioreaktorok tervezettnél kisebb kapacitása tehető felelőssé.



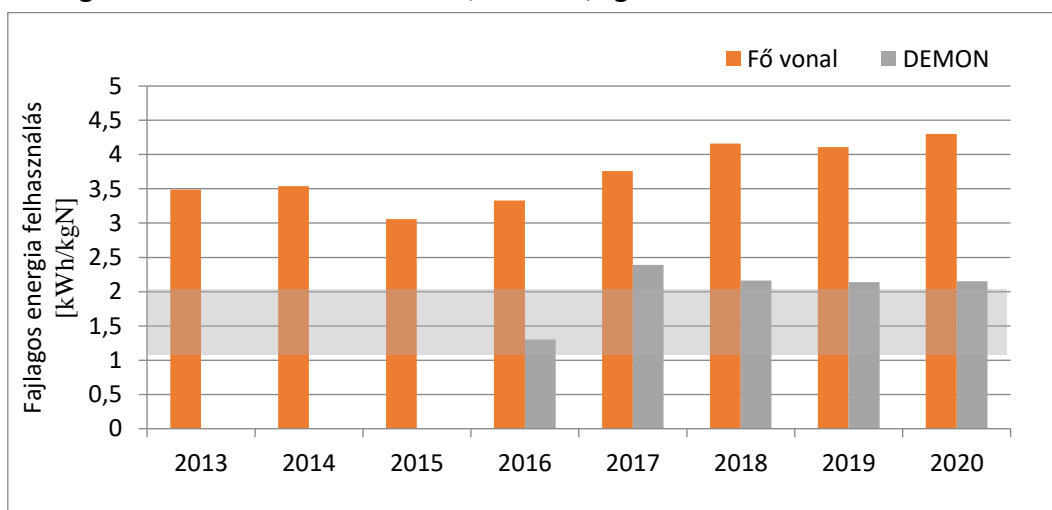
4. ábra. A DEMON® tisztító egység ammónia eltávolítási hatékonysága

A 4. ábrán a szürkével jelzett teljes eltávolítási hatékonyság azt mutatja, hogy a BKSZTT telepen keletkezett centrátvíz ammónia tartalmának hány százalékát távolította el a mellékáramú tisztító. Narancs színnel pedig, a medencére feladott ammónia terhelés eltávolítási hatásfoka látható. A kétféle hatékonyságot összevetve megállapítható, hogy a keletkezett szennyvíz kevesebb, mint felét tisztítják meg anammox technológiával és még a feladott terhelés tisztítási hatásfoka sem éri el éves átlagban a tervezett értéket.

Ahogy az már korábban részletezve lett a DEMON® reaktorok korlátozott, 70 és 80 % közötti hatásfoka a nyers centrátvíz szükségesnél kisebb lúgosságával (a savanyító hatással szembeni ellenálló-képesség mértékével) hozható kapcsolatba. A reaktorok vezérlése úgy lett paraméterezve, hogy ne engedje a pH-t 7 alá csökkenni ezért kisebb az ammónia eltávolítás hatásfoka, de a lehetőségekhez mérten nagyobb a reaktorokba feladható centrátvíz mennyisége, együttesen az eltávolított ammónia összes mennyisége.

### Energia felhasználás

Az egységnyi tömegű nitrogén eltávolítására eső energia felhasználás értéket a DEMON® rendszer esetében csak 2016 óta követik nyomon (az 5. ábrán szereplő átlagos érték erre az évre nem teljes éves adatsorból származik). Általánosságban elmondható, hogy az anammox rendszer fajlagos energia szükséglete 2,1-2,4 kWh/kgN között van, ami az irodalmi értéket (0,8-2 kWh/kgN) felülről súrolja. Viszont az elvárásoknak megfelelően jelentősen kedvezőbb a fővonalbeli levegőztetett medencében mért 3,5-4 kWh/kgN értéknél.



5. ábra. A DEMON® tisztító egység fajlagos energia felhasználása

Amellett, hogy az anammox tisztító segítségével a levegőztetésre fordított energia szükséglet mintegy 5%-át meg lehetett spórolni, a folyamatnak nincs szerves szénforrás igénye, ami előnyös a fővonalbiológiai tisztító időszakosan a szénforrás hiány határán mozgó terhelése szempontjából (BOI<sub>5</sub>:TN= 100:25).

### ÜZEMELTETÉSI TAPASZTALATOK, FEJLESZTÉSEK

#### Hőcserélő

A termofil anaerob rothasztás során 55°C-ra felmelegedő iszap a kilevegőztetés és centrifugálás során sem hűl le olyan mértékben, hogy a keletkező centrátvíznek optimális legyen a hőmérséklete (~30°C) a deammonifikációban résztvevő mikroorganizmusok számára. Az üleptető



medencébe befolyó nyers centrátvíz kívánt hőmérsékletének eléréséhez ezért egy lemezes hőcserélőt alkalmazunk.

Mivel a hőcserélőn átfolyó centrátvíz, valamint a hűtőközegül szolgáló, biológiai fölösizap súrító csurgalékvize sem ivóvíz tisztaságú, így olyan nagyobb szennyeződések maradhatnak (és maradnak is) a vízben, melyek a szűk lyukátmérőjű lemezes hőcserélőt könnyen eldugíthatják.

Az így eldugult hőcserélő rendszerint visszamosatással érdemben már nem tisztítható, teljes körű takarítása összetett folyamat, a hőcserélő szétszerelését igényli. A gyakori szétszerelés azonban a hőcserélő idő előtti meghibásodásához vezethet. A karbantartási nehézségek miatt az üzemeltetés a lemezes hőcserélő cseréjét javasolta egy másik kialakítású, csőkiyós változatra. A csőkiyós hőcserélő megfelelő hűtést biztosított volna a centrifugákról távozó centrátvíznek az eltömődés kisebb kockázatával.

Az iszapvonalai hőcserélő fejlesztéseknek köszönhetően – melytől a rothasztóból távozó iszap, így a centrátvíz hőmérsékletcsökkenését várjuk - végül a csőkiyós megoldás helyett egy másik lemezes hőcserélőre lett cserélve a régi berendezés. Ez a régihez hasonló elven működik, azonban a lemezek közötti széles hézagok által biztosítja a szálak és részecskék könnyed áthaladását és ennek köszönhetően a hosszú, folyamatos üzemű működést. Az új berendezés heti kétszeres, szétszerelés nélküli átmosásával biztosítható a hőcserélő megfelelő működése.

### **Szódaadagoló berendezés**

A centrátvíz puffer kapacitásának javítására kiépült nátrium-hidrogénkarbonát (szóda-bikarbóna, nátriumbikarbonát) adagoló rendszer a szilárd, por állagú szóda-bikarbónát 500 kg-os ún. „big bag” nagy kiserelésű zsákokból adagolta. A fent említettek szerint, mivel a vegyszer-adagolás nem sztöchiometrikusan történt, előfordult, hogy a nagy kiserelésben lévő nátrium-hidrogénkarbonát - higroszkópos jellege miatt - a környezet nedvességét felszívta, összecsomósodott, így a berendezés nem volt képes megfelelően adagolni és a nagyobb darabok a berendezés meghibásodását (pl. dugulást, adagoló csiga törését) okozták.

Részben a vegyszer csomósodása, részben az oldat nem megfelelő hőmérséklete miatt, a nátrium-hidrogénkarbonát nem oldódott megfelelően a vízben, így számos problémát okozott a vegszerszállító csővezetékrendszerben, valamint az adagoló szivattyúban. A csövekben kirakódott vegyszer az áramlás keresztmetszetét nagymértékben leszűkíti, könnyökidomoknál el is dugítja, amely a nátrium-hidrogénkarbonát oldat kiegyenlítő medencébe szállítását ellehetetleníti. A dugulások miatt a vegyszeradagoló szivattyú időszakos leállítását kellett eszközölni, mely az egyébként is hideg, nagy koncentrációjú oldat áramlásának megszűnését jelentette, lehetőséget adva a vegyszer még nagyobb mértékű kirakódására.

Az említett problémák orvosolására az üzemeltetés egy szódatörő berendezést telepített, mely az adagolt szódat a keverő tartályba kerülése előtt összetöri. Valamint a csomósodás elkerülése érdekében a nagy kiserelés helyett 25 kg-os zsákokban rendeli a vegszert, mely alkalmazása csökkenti a víz megkötésének kockázatát, így a vegyszer összeállítását. Az optimális oldódás érdekében továbbá két darab átfolyásos vízmelegítő beszerzését kezdeményezte az üzemeltetés, mely a vegyszeroldó tartályba érkező vizet fogja a kívánt ~ 25°C-os hőmérsékletre melegíteni, így kerülve el a felesleges kirakódást és az ebből adódó problémákat. Az adagolás folyamatához ezen kívül elengedhetetlen a kifogástalan működésű adagolószivattyú, ezért a meglévő két szivattyú is cseréire kerül.

Az említett fejlesztésekkel remélhetőleg, a kezdetben tervezett, napi 500 kg nátrium-hidrogénkarbonát adagolással nagyobb hatásfokú ammónia eltávolítás lesz elérhető a mellékáramú nitrogéneltávolító egységen.

## **Anammox kultúra**

Az elmúlt évben mindkét, jelenleg is üzemelő DEMON® medence karbantartás miatt leürítésre került. A folyamat során egyszerre csak egy medence lett leürítve, így a feltöltésnél a le nem ürített medencéből történő oltással lehetett a leürített medence mikroorganizmus kultúrájának visszatelepítését biztosítani. Bár a mikroorganizmusok az átoltást viszonylag „jól viselték” és szerencsésen elszaporodtak a feltöltés után, rendkívül érzékeny szervezetek. A technológia alkalmazásának kezdetén az országban csupán egy helyen volt hasonló, (Zalaegerszeg) azóta azonban egyedülállóvá vált. A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep az egyetlen DEMON® technológiát alkalmazó szennyvíztisztító a régióban. Anammox baktériumokat azonban közép-és kelet Európában máshol is alkalmaznak más gyártók által granulált formában; a pH alapú betáplálás és a hidrociklonnal szabályozott SRT azonban egyedi a DEMON technológiában. A mikroorganizmusok jobb megismerése, ezáltal a zavartalanabb, stabilabb működés érdekében érdemes lenne tapasztalatokat cserélni más üzemeltetőkkel.

## **ÖSSZEFOGLALÁS**

A BKSZTT telepen a 2013-ban megépült két SBR reaktort tartalmazó mellékáramú nitrogén eltávolító egység lehetővé tette, hogy - a főáramú, hagyományos nitrogén eltávolítási technológiát kiegészítve, - az EU irányelvének megfelelően a telep elérje a 70-80%-os nitrogén eltávolítási hatékonyságot. A több, mint nyolc éves üzemeltetési tapasztalat szerint a BKSZTT telepen üzemeltetett anammox rendszer rendkívül érzékeny, ezért a lejátszódó mikrobiológiai reakciók folyamatos monitorozása és a mért adatok alapján a szabályozása, kulcs fontosságú. Az alkalmazott DEMON® technológiát hátrányosan befolyásoló legfontosabb tényező a szennyvíz alacsony lúgossága, amit részben az iszapkezelés során adagolt vas(III)-klorid okoz. Aminek ellensúlyozására lúgosító szer adagolása lett bevezetve. A gépészeti problémákat okozó struvit kiválás mértéke, pedig a tervezési fázisban levő struvit kinyerési technológiával várhatóan csökkenni fog. Azonban az mindenképpen kiemelendő, hogy az anammox technológia jelen körülmények között is éves szinten a levegőztetésre fordított energia szükséglet mintegy 5%-ának megspórolásával járul hozzá az üzemeltetési költségek csökkentéséhez.

## **Irodalomjegyzék**

*Kárpáti Árpád, Kovács Zsófia, Fazekas Bence (2014) Szennyvíztisztítás korszerű módszerei. Környezetmérnöki Tudástár c. sorozat XXXII. kötet., 114-121. Veszprém, Pannon Egyetem, ISBN: 978-615-5044-99-1*

*Susanne Lackner, Eva M. Gilbert, Siegfried E. Vlaeminck, Adriano Joss, Harald Horn, Mark C.M. van Loosdrecht (2014) Full-scale partial nitrification/anammox experiences – An application survey. Water Research, Vol. 55, 292-303.*