

VÁGÓHÍDI SZENNYVIZEK OPTIMÁLIS TÁPANYAG ARÁNYÁNAK MEGKÖZELÍTÉSE AZ ELŐKEZELÉS SORÁN

DR. SOMOGYI VIOLA, HARASZTINÉ HARGITAI RÉKA, PITÁS VIKTÓRIA, DR. KÁRPÁTI ÁRPÁD

PANNON EGYETEM, BIO-, KÖRNYEZET- ÉS VEGYÉSZMÉRNÖKI KUTATÓ FEJLESZTŐ KÖZPONT, FENN-TARTHATÓSÁGI MEGOLDÁSOK KUTATÓLABOR

HORVÁTH DÁNIEL

VESZPRÉMI TERVEZŐ KFT.

TÁPANYAGARÁNYOK A SZENNYVÍZBEN ÉS A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

Az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás különböző környezeti feltételek között élő és szaporodó mikroorganizmusok csoportjának együttes munkája a szennyezett víz megtisztítása érdekében. A pelyhekké összeálló mikroorganizmusok a szerves szennyező anyagból oxigén segítségével részben szén-dioxidot, részben saját sejtanyagot (szennyvíziszap) állítanak elő. A mikroorganizmusok szaporodása és elhalása folyamatos, a relatív biológiai terheléstől függő értékre áll be. Ugyanez igaz az iszap nitrogén- és foszfortartalmára is. A maximális sebességgel szaporodó sejt mintegy 11,5 % nitrogént tartalmaz [1], míg a megfelelő nitrifikációt is biztosító, kisebb iszapterhelésű rendszereknél az iszap nitrogéntartalma mindössze 5-6 %. A foszfortartalom az iszapban hasonló körülmények között 1,5 % körüli. Ez az átlagos iszapösszetétel határozza meg, hogy a keletkező iszapparamadék a szennyvízzel érkező nitrogén és foszfor terhelés mekkora részét képes eltávolítani.

Az adott szennyvíztisztító telepen kialakuló mikroorganizmus közösséget a szennyvíz összetétele és az alkalmazott tisztítástechnológia együttesen határozza meg. Mivel azonban a sejtek alapvető elemi összetétele a mikrobák típusától, fajtájától kevéssé függ, meghatározható az eleveniszap átlagos elemösszetétele [2]. A szennyvíz tisztítását jellemzően végző mikroorganizmus közösség szárazanyagának 93%-a adódik szerves anyagnak, 7% pedig szervesetlen anyagnak a szakirodalom szerint [3]. A szerves anyagnak 50%-a szén, 22%-a oxigén, 12%-a nitrogén, 9%-a pedig hidrogén. A szervesetlen anyagok között a foszfor 2%-kal szerepel a kén, kálium, nátrium, kalcium, magnézium, klorid, vas és egyéb nyomelemek mellett. Az elemösszetétel így közelítőleg $C_5H_7O_2NP_{1/12}$ formában [3] adható meg.

Részletesebben nézve az iszap szerves anyaga (VSS) az alábbi csoportokra bontható, melyek mindegyike tartalmaz nitrogént és foszfort: aktív biomassa (X_{BH}), endogén sejtmaradék

(X_{EH}), biológiailag nem bontható (inert) szerves anyag (X_I). A nitrogén tartalom $f_n = 0,09 - 0,12$, átlagosan $0,1 \text{ mg N/mg VSS}$ [3]. A foszfor tartalom aerob és anoxikus rendszerekben $f_p = 0,01 - 0,03$ közötti, átlagosan $0,025 \text{ mg P/mg VSS}$. Az X_{BH} , X_{EH} és X_I egymáshoz viszonyított arányát az iszapkor határozza meg, azonban mind az f_n , mind az f_p értékét viszonylag állandónak mérték ($0,1 \text{ mg N/mg VSS}$, $0,025 \text{ mg P/mg VSS}$), így feltételezhető, hogy a biomasszát alkotó három frakció mindegyike hasonló mértékben tartalmaz nitrogént és foszfort [3]. A tápanyag szükséglet valójában a sejt reprodukciójának tápanyag szükséglete, így az iszaphozammal szorosan összefügg. Az iszapkor növekedésével pedig csökken a biomassza tápanyag szükséglete, mivel az iszapkor növekedése a fölösiszap hozam csökkenését eredményezi [3]. Így bár valójában egészen pontosan nem adható meg egy általános tápanyagszükséglet, mivel az iszapkortól függ a fölösiszap hozam, ami pedig a szükséges tápanyag mennyiség szempontjából meghatározó, 10 nap feletti iszapkor esetén kis tartományban változik az érték [3]. A C:N:P arány szakirodalomban leggyakrabban fellelhető, optimálisnak tartott értéke 100:5:1 [4]. A $C_5H_7O_2NP_{1/12}$ formulát alapul véve 12% N és 2% P tartalmat kapunk a teljes moláris tömeghez viszonyítva. Ebből kiindulva 100:12:2 a létrejövő, optimálisnak tekinthető arány. Egy nemrégiben íródott hazai szakcikk [5] a 100:5:1 értéket BOI_5 :TN:TP formában kifejezve tartja megfelelőnek, feltételezve a biomassza hozam $0,5 \text{ g VSS/g } BOI_5$ értékét, 10%-os N és 2%-os P-tartalom mellett, biomassza-VSS-re nézve. Emellett fellelhető ugyanígy BOI_5 :TN:TP formában megadva 100:5:1 és 100:10:1 közötti értéket optimálisnak tekintő forrás is [6]. Az igen gyakori ökölszámként emlegetett, a külső szerves tápanyag adagolás nélküli elődenitrifikációhoz szükséges, 10 feletti KOI/TKN arány pedig

a KOI-hoz viszonyítja a TKN értékét. A C:N:P arány KOI:TN:TP arányként való értelmezése egybevágna azzal, hogy 10-20 között optimális a KOI/TKN értéke. Ezen felül mind a TN, mind a TP értékben szerepel lebegőanyaghoz kötött és a biológia számára közvetlenül fel nem vehető rész, így elfogadhatónak tekintjük mindezt a homogén KOI értékéhez viszonyítani. Amennyiben a 100:5:1 arányt BOI_5 :TN:TP-ként fogadjuk csak el, úgy a később részletesen bemutatásra kerülő szennyvízben mért 0,7-es BOI_5 /KOI aránnyal átszámítva a számunkra optimális tápanyagarány KOI:TN:TP=100:3,5:0,7-nek adódik. Ennek az anyagnak a kísérleti részében a C:N:P arány helyett minden esetben a KOI:TN:TP arányt használjuk, külön fel is tüntetve ezt. A különféle szakirodalmi tápanyag arány értelmezéseket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A KOI/TKN ARÁNY FONTOSSÁGA A TELJES NITROGÉNELTÁVOLÍTÁS ÉRDEKÉBEN

Hagyományosan a teljes nitrogéneltávolításhoz a szennyvíz nitrogén tartalmának nitrifikációja, majd denitrifikációja szükséges. A denitrifikáció szervesanyag igénye mintegy $4,3 \text{ g KOI/g } NO_3\text{-N}$. Elődenitrifikációs technológiai kialakítás során teljes denitrifikációról 10 – 11 fölötti KOI/TKN arány esetén beszélhetünk. Amennyiben a szennyvíz KOI/TKN aránya ennél alacsonyabb, külső szerves tápanyag adagolására van szükség a teljes nitrogéneltávolításhoz. A gyakorlatban 4 - 5 mg/l tisztított víz $NO_3\text{-N}$ koncentráció alá csak külső szubsztráttal lehet lemenni, kivéve, ha nagyon híg a szennyvíz, és nagy a KOI/TKN aránya [4]. Befolyásoló tényező természetesen a rendelkezésre álló szerves anyag biológiai bonthatósága is.

A denitrifikáció szempontjából legkedvezőbb a könnyen felvehető, elsősorban oldott szerves anyag. A nagyobb szerves molekulák, melyeket

Forrás	Optimális C:N:P arány	Megjegyzés
Szakirodalom általánosságban, Fazekas et al. (2014) [4]	100:5:1	
$C_5H_7O_2NP_{1/12}$ iszap elemösszetétel alapján számítva	100:12:2	
	100:12,4:2,1	97% szerves hányadot alapul véve $C_5H_7O_2N$ formában, átszámítva szerves + szervesetlen anyagra
Metcalf & Eddy (1991) [7]	100:12,4:2,48	$C_5H_7O_2N$ alapján, a P szükségletet a N szükséglet ötödének véve
Gordon et al. (1968) [8]	150:5:1 - 90:5:1 között	$BOI_5:TN:TP$ formában
Bakos V. (2020) [5]	100:5:1	$BOI_5:TN:TP$ formában
Winkler M. (2013) [6]	100:5:1 és 100:10:1 között	$BOI_5:TN:TP$ formában
Bakos V. alapján KOI-ra átszámítva a bemutatásra kerülő szennyvízben	100:3,5:0,7	KOI:TN:TP ($BOI_5/KOI=0,7$)
Általunk jelen anyagban optimálisnak tekintett arány	100:5:1 - 100:3,5:0,7	KOI:TN:TP

1. táblázat C:N:P arány különféle értelmezési lehetőségei

előbb a sejtek által termelt exoenzimekkel hidrolizálni, feldarabolni kell, sokkal lassúbb nitrát-redukciót biztosítanak (a hidrolízis limitált sebessége miatt). Az oldott, de hidrolizálандó tápanyag mintegy ötször lassúbb denitrifikációs sebességet biztosít, mint a közvetlenül felvehető acetát. Ha csak a sejtek hidrolízisével keletkező (endogén) tápanyag áll rendelkezésre, az acetáttal mérhetőnek csak mintegy huszonötöde a denitrifikáció sebessége. Amennyiben ezek mellett a recirkuláltatott nitráttal még sok oxigén is visszakerül az anoxikus reaktortérbe, úgy a denitrifikáció – az oxigén arra gyakorolt gátló hatása miatt – tovább lassul [9].9

A FOSZFOR TÁPANYAG FONTOSÁGA, A FOSZFORHIÁNY PROBLÉMÁJA

A szennyvíz túlzott lebegőanyag, kolloid vagy zsír tartalma esetén szükség van annak előkezelésére a biológiai tisztítási fokozatot megelőzően.

Az előkezelés során alkalmazott vegyszerek megegyeznek a foszfor kémiai eltávolítására használt fémsókkal. Ennek következtében a túlzott vegyszerhasználat akár a teljes oldott foszfortartalmat is eltávolíthatja, jelentős mennyiségű szervesanyaggal együtt. Amennyiben a megfelelő C:N:P tápanyagarány nem áll rendelkezésre, annak mesterséges beállítása szükséges a biológiai tisztítás előtt.

Az optimálisnál kisebb nitrogén és foszfor ellátottság mellett (ipari vagy vegyszeresen előtisztított szennyvizek) a mikroorganizmusok szaporodási sebessége csökken, és morfológiájuk is kedvezőtlenül alakul, ami a keletkező iszap ülepedését ronthatja. Nagyobb N és P aránynál viszont ezen tápanyagok fennmaradó hányadát az iszap nem veszi fel, tehát más mikroorganizmusok elszaporítása vagy kiegészítő vegyszeres kezelés lehet szükséges a megfelelő tisztítási hatékonyság eléréséhez [4].

Tápanyag adagolásra van szükség jellemzően a bor-, sör-, szeszipar, üdítő, gyümölcskoncentrátum (almalé) és édességgyártás szennyvizei esetén, melyek biológiailag könnyen hasznosítható szénhidrátokban igen gazdagok, fehérje (nitrogén tartalom) ugyanakkor kevés van bennük. Ezeknél így a heterotróf biomaszra kiépítéséhez szükséges C:N:P arány nincs megfelelően biztosítva [4]. Bizonyos jól biodegradálható szénforrások esetén a megszokottnál nagyobb (akár 0,7 g biomasz KOI / g szubsztát KOI) biomasz hozam állhat elő. Ez pedig a jól bontható KOI:N arány 100:5-ről 100:7,2 értékre való tolódását okozhatja, azaz a vártnál jóval nagyobb nitrogénigény is mutatkozhat. Így tápanyaghiányos élelmiszeripari szennyvizek tisztításakor a minimális vegyszerfelhasználásra törekedő tápanyagadagolási stratégia szűkös tápanyag-elérhetőséghez, továbbá a biomasz nemkívánatos szerkezetéhez, ülepedési problémákhoz is vezethet [5].

Az előkezelt vágóhídi szennyvizeknél ezzel szemben a rendelkezésre álló szerves anyag mennyisége nem biztosít olyan mértékű iszaphozamot, ami a szennyvízben lévő nitrogén megfelelő hatékonyságú eltávolítását lehetővé tenné [4]. Az előkezelés során történő túlzott szervesanyag eltávolítás megelőzése érdekében célszerű a vegyszerdózisok csökkentése, azonban túl kevés vegyszer használata a foszfor határértékének túllépését és a reaktor túlterhelését okozhatja. A fizikai-kémiai előkezelést annak figyelembevételével kell tervezni, hogy a biológiai fokozat terhelését csökkentse, mindamelllett a mikroorganizmusok számára szükséges tápanyagokat (leginkább a foszfort) ne kelljen a későbbiekben pótolni.

Amennyiben a szennyvízben nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű foszfor tápanyag, úgy a biomasz megfelelő szaporodása gátolt, mivel az új sejtekbe nem tud beépülni a kellő

arányban a tápanyag. Ez nem csak a nitrifikáció, hanem akár a szerves anyag oxidáció hatékonyságának elégtelenségét is okozhatja, melynek következtében határérték túllépés következhet be. Általánosítható megfigyelés, hogy ahogy a tisztítandó szennyvíz C:N:P aránya romlik, úgy a teljes nitrogén- és foszforeltávolítás lehetőségei is fokozatosan csökkennek. A kommunális szennyvizek esetében éppen ezért bevált gyakorlat a tápanyagarány valamilyen, döntően szénhidrát hulladékkal történő javítása. Erre a jól bontható ipari hulladékok a legolcsóbb segédanyagok. Metanol, ecetsav adagolása - nagyobb költsége miatt - célirányosan az anaerob, vagy anoxikus tér tápanyagellátásának javítására jöhet szóba [10].

VÁGÓHÍDI SZENNYVIZEK JELLEMZŐI ÁLTALÁNOSÁGBAN

A hús- és baromfiipar által igényelt víz mennyisége a feldolgozási technológiától, az üzem méretétől, a technológiai vonalak műszaki színvonalától, valamint az üzemi vízgazdálkodástól függ. A vizsgált technológiában felhasznált víz mennyisége saját kitermelésű kutakból és ivóvíz hálózatról is biztosítható, melynek közel 80 %-a szennyvízként jelentkezik. 1 000 db. csirke feldolgozását követően 17,1 - 26,5 m³ szennyvízhozamról beszélhetünk [11], melynek előkezelését a telephelyen biztosítani kell - általában a közcsatorna határértékeknek megfelelően.

A technológiai kialakítás az ipari szennyezők esetében kiemelt vizsgálati szempont, különösen a vágóhidak szennyvizének jellemzésénél. A feldolgozási folyamatoknak eltérő a szennyező hatása: a legszennyezőbb a zsírolvasztás, ezt követi az állatpihentetés, a vágás, a bél és gyomormosás, legvégül a feldolgozás folyamatai [12]. A baromfifeldolgozó iparban a ketrecmosás a legszennyezőbb folyamat, melyet a kövéráru

és soványáru vágás, majd a feldolgozás követ. Fontos figyelembe venni, hogy az általános technológiai kialakítás sokat változott az elmúlt években, elsősorban a fogyasztás növekedése, az új brojler típusok és az őket feldolgozó berendezések megjelenése, valamint a víztakarékossági intézkedések következtében. A feldolgozási lépések sorrendisége és hatékonysága jelentősen befolyásolja a szennyvízminőséget. A kémiai összetevők többnyire a tisztítási és fertőtlenítési szakaszból származnak, mivel számos patogén kórokozó kerülhet be a technológiai sorra az élő állatok fogadásából. A higiéniai feltételek biztosítása mellett változó mennyiségben jut állati melléktermék a szennyvíz vonalra. A szalag mellett keletkeznek emberi fogyasztásra alkalmatlan állati testrészek (állati melléktermékek), melyeket kötelesek elszállítani és ártalmatlanítani [13]. Szennyvízminőség szempontjából a vér elkülönítése különösen fontos, mivel szerves anyag és nitrogén tartalma kiemelkedően magas [14]. Többlet sószenyezés a pácolási folyamatok következtében kerülhet a szennyvízbe.

Egy baromfi feldolgozása során átlagosan 26 liter vizet használnak fel [15], a keletkező szennyvíz minősége pedig széles határok között mozog. A minőséget a korábban említett technológiai kialakítás és a baromfi jellege befolyásolja. A 2. táblázatban a szakirodalomban megtalálható értékeket mutatjuk be. A szakirodalmi tartomány a részletesebben vizsgált ipari eseteket tartalmazza, azonban ettől eltérő tulajdonságú baromfi vágóhídi szennyvízre is találunk adatot. Az egyes szennyezők esetében látható igen széles tartomány egyik oka lehet, hogy a vér elkülönítése nélkül jóval koncentráltabb minőségű a keletkező szennyvíz, továbbá a magas lebegőanyag tartalom nagymértékben növelheti a KOI értékét. KOI vonatkozásában 2 224 - 12

490 mg/l közötti értékek fordulnak elő, TN esetében 62 - 313 mg/l közötti adatokat találunk az irodalomban. Összes foszfor tekintetében kevésbé széles a tartomány, 5,8 - 12,74 mg/l között mozognak az értékek.

A VIZSGÁLT ÜZEMI TECHNOLÓGIA ÉS SZENNYVÍZ JELLEMZŐ SAJÁTOSSÁGAI

Az általunk vizsgált üzem baromfiipari üzem. A feldolgozásból származó technológiai szennyvíz előkezelése a telephelyen kiépített szennyvíz előtisztítóban történik. A technológiai szennyvízáramba a brojlerek vágásakor keletkező vér nem kerül, legfeljebb a takarítási folyamatok során juthat be. A véreztető padozata és oldalfalai úgy vannak kialakítva, hogy a műszak alatt keletkező összes vért biztonsággal tárolni tudják, amit a műszak végén egy összefolyón és egy vezetéken keresztül egy vérszállító tartálykocsi ürít le és szállít el az előírásoknak megfelelően [22]. Az üzem úgynevezett szennyes övezeti (élőállat fogadás, állati melléktermék gyűjtők, szennyvíz előkezelő területe) burkolatainak a vize a technológiai szennyvízzel együtt szintén a szennyvíz előkezelőre kerül [22]. A kommunális szennyvíz külön ágon távozik a telephelyről, az előkezelést kikerülve a végátemelő aknában keveredik az előtisztított technológiai vízzel. A telephelyen felhasznált vízmennyiségnek 80%-a távozik szennyvíz formájában [23]. A maradék 20% elsősorban a magas hőfok okozta párolgásból, valamint a húsok áztatása során felvett vízmennyiségből adódik.

A telephelyen keletkező szennyvíz minőség feltérképezése érdekében hosszú távú mintavételt végeztünk mind a nyers, mind a telephelyi előkezelt (flotált) szennyvízből két hónapon keresztül 2018 augusztusa és októbere között. A mintákból a 3. és 4. táblázatban szereplő paraméterek mérése történt meg. Az átlagosan 5

Szerző	pH [-]	KOI [mg/l]	BOI [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	TN [mg/l]	TP [mg/l]	TSS [g/l]
Chávez et al., 2005 [16]	6,1 - 7,1	5 800 - 11 600	4 524 - 8 700	6 - 94	74,9	7,17 - 12,74	762 - 1 462
Del Nery et al., 2007 [17]	6,9 ± 1,3	6 880 ± 1 400	-	335 ± 140	-	8,95 ± 3,15	2 800 ± 950
Del Nery et al., 2015 [18]	6,8 - 7,8	2 790 - 5 520 (4 060 ± 687)	1 558 - 2 988 (2,133 ± 373)	16 - 95 (57 ± 29)	62 - 313 (169 ± 71)	-	-
Rajab et al., 2017 [19]	6,8 ± 0,2	2 711 ± 487	930	85 ± 32	153 ± 32	-	835 ± 162
Besitire et al., 2019 [20]	6,1 - 7,2	2 517 - 12 490 (5 216 ± 2,534)	925 - 5 000 (2 477 ± 1 347)	134 - 477 (216 ± 56)	-	*	313 - 8 200 (1 654 ± 1 695)
Rinquest et al., 2019 [21]	5,6	4 317	2 875	25,2	-	**	1 580
Szakirodalmi tartomány	5,6 - 7,8	2 224 - 12 490	930 - 8 700	6 - 475	62 - 313	5,8 - 12,74	673 - 8 200

* nem vizsgálták az összes foszfort, foszfát tartalom: 29-54 (38±6) mg/l

** foszfát tartalom: 24,3 mg/l

2. táblázat: Szakirodalomban megtalálható baromfi ipari szennyvíz jellemzők

500 mg/l körüli KOI nagy részét lebegőanyag adja a nyers szennyvízben, az oldott KOI 1 500 mg/l körüli. A KOI:TKN arány a nyers vízben jellemzően 30 körüli, a flotálást követően 11. Ez utóbbi még elegendő lehet a teljes nitrogén eltávolításhoz, mivel meghaladja a 10-et. A flotálást követően maradó 7 mg/l körüli TP viszont már alacsonyabb, mint a biológia számára optimálisnak tartott C:N:P arány alapján számított, mivel ez 10 - 15 mg/l körüli koncentrációt jelentene. Az egyes szennyezők mért értékei jól illeszkednek a szakirodalomban fellelhető tartományokba is, egyedül foszfor szempontjából magasabbak jelentősen az általunk mért értékek, mint az irodalmi adatok. A helyszíni előkezelő technológiában (oldott levegős flotálás) ebben az időszakban a következő vegyszereket és

vegyszer mennyiségeket alkalmazták: koagulálószerként vas-szulfátot 0,23 l/m³ mennyiségben, majd a pH visszaállítására nátrium-hidroxidot (0,15 l/m³), végül a pelyhesítés anionos polielektrolittal történt.

2020 - 2021 folyamán komplett szennyvíztisztító telep épült meg a telephelyen, mely tartalmazza az oldott levegős flotálást, mint előkezelést, továbbá ezt követő biológiai fokozattal is rendelkezik, melynek köszönhetően a felszíni befogadóba bocsátás határértékeit is képes elérni a technológia.

ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK - ELŐKEZELÉS

Laboratóriumi méretben végeztünk kísérleteket azzal a céllal, hogy megtaláljuk azt

a vegyszerdózist és vegyszerkombinációt, amellyel az előkezelt szennyvízben a biológiai tisztítás számára optimális C:N:P arány jön létre. Ennek köszönhetően egyrészt nem szükséges foszfor adagolás a biológiai fokozat foszforigényének biztosításához, másrészt az előkezelést követően a vízben maradó foszfor biztonsággal a határérték alatti szintre csökkenthető a biológiai fokozattal. Nem szükséges továbbá külső szerves tápanyag adagolás sem a megfelelő hatékonyságú denitrifikáció érdekében.

Az előkezelési kísérletek során az adatszolgáltatás szerint a helyszínen alkalmazott vegyszereket hasonlítottuk össze különböző vegyszerdózisok és helyettesítő vegyszerek hatásával (5. táblázat). Az alkalmazott vassó az eredeti adagolással megegyező mennyiségben, továbbá fele, kétszeres és háromszoros mennyiségben került hozzáadásra (1 - 4. minták). A pH visszaállítására a NaOH mellett AquAl is kipróbálásra került (5 - 6. minták). Flokkulálószerként minden esetben a telephelyen is alkalmazott anionos polielektrolit ezrelékes oldatát használtuk. A kezelések eredményeként elért szennyvíz minőséget a 6. táblázat mutatja.

Az ideálisnak tekinthető C:N:P (KOI:TN:TP=100:5:1 - 100:3,5:0,7) arányhoz a kezelt minták közül az 5. minta áll a legközelebb (0,23 l vas-szulfát/m³ és 0,15 l AquAl/m³), mivel arányaiban a szerves anyaghoz képest itt a legkevesebb a nitrogén és ezzel egyidőben a legtöbb a foszfor. Azonban így is távol áll az ideálistól KOI:TN arány szempontjából (100:14,2:0,9). A helyszínen nagyüzemben végzett flotálással is hasonló arányokat sikerült elérni (100:13,5:0,8) ugyanebben az időszakban.

Az 5. mintánál használt előkezelést egy laboratóriumi biológiai reaktorra történő feladás érdekében összesen 28 alkalommal, 18 hónap alatt végeztük el rendszeresen, adagonként

5 literes mintatérfogatban (7. táblázat). A hosszú időszaknak köszönhetően megállapítható, hogy a viszonylag széles tartományban (KOI 1 454 - 6 710 mg/l) mozgó nyers szennyvízminőség ellenére is 1 000 mg/l körüli KOI értékre tisztítható a szennyvíz vegyszeres előkezeléssel. Ez átlagosan is 100:13:0,5 körüli KOI:TN:TP arányt biztosít az eredetileg ~100:3:1 körüli arányokkal rendelkező nyers szennyvízből.

2021 év végén 5 napon át mintáztuk, majd mértük az időközben megépült és üzembe helyezett szennyvíztisztító telep nyers és előkezelt vízminőségét. Az előkezelést megelőzően a csőfokkulátor belépési pontján történt a nyers víz mintavétel, a kezelt minták megvétele pedig a hidraulikai tartózkodási idő lejártával, a flotáló berendezés kilépési pontján történt. A vegyszeradagolás a technológiában nem folyamatos, a szakaszos üzemű biológiai reaktorok feladásához igazodva időszakosan történik. A vassó adagolás 21,4 l/h-val (0,43 l/m³), míg az AquAl adagolás 22,95 l/h-val (0,46 l/m³) történt a flotáló üzemelési időszakában, mely átlagosan 49,9 m³/h-val működött. A pH 7,08 - 7,70 között mozgott, átlagértéke 7,31 volt. A nyers és az előkezelt vízminőségek a 8 - 9. táblázatban kerülnek bemutatásra.

Az üzemi méretben felhasznált vegyszerek fajlagos értékei a laboratóriumi 6. minta fajlagosaihoz vannak legközelebb, ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy a koagulálószer a kampánymérés idején és a teljes próbaüzemi időszakot nézve is annak duplája. A 10. táblázatban a legnagyobb alkalmazott kombinált vegyszerdózis mellett feltüntettük a másfél éves időszakban 28 alkalommal elvégzett laboratóriumi előkezelések átlagát és a kampánymérés időszakának átlagos értékeit is, kiegészítve a telep tervezőjétől kapott, a teljes próbaüzemi időszakra számított fajlagos értékekkel.

	pH [-]	KOI _{hom} [mg/l]	KOI _{szűrt} [mg/l]	NH ⁴ -N [mg/l]	TN [mg/l]	TP [mg/l]	OP [mg/l]	TSS [g/l]	KOI:TN:TP
ÁTLAG	6,8	5 555	1 565	45,8	188	38,9	25,4	3,21	100:3,4:0,7
MINIMUM	6,3	3 240	1 064	23,1	136	18,7	17,0	1,53	100:4,2:0,6
MAXIMUM	7,7	9 800	1 980	101,0	228	50,8	38,0	5,56	100:2,3:0,5
SZÓRÁS	0,3	1 613	248	20,75	23	8,10	4,82	1,48	

3. táblázat: Telephelyen keletkező nyers szennyvíz jellemzői (2018 augusztus - október)

	pH [-]	KOI _{hom} [mg/l]	KOI _{szűrt} [mg/l]	NH ⁴ -N [mg/l]	TN [mg/l]	TP [mg/l]	OP [mg/l]	TSS [g/l]	KOI:TN:TP
ÁTLAG	6,7	1 340	876	33,2	119	7,2	3,5	0,27	100:8,9:0,5
MINIMUM	6,4	213	195	5,9	26	0,5	0,3	0,12	100:12,2:0,2
MAXIMUM	7,3	2 024	1 208	58,1	160	16,4	13,7	0,41	100:7,9:0,8
SZÓRÁS	0,2	445	232	12,27	29	4,24	2,85	0,14	

4. táblázat: Telephelyi előkezelt szennyvíz jellemzői (2018 augusztus - október)

	pH0 [-]	FeSO4 [l/m ³]	pH1 [-]	NaOH [l/m ³]	AquaAl [l/m ³]	pH2 [-]	PE 1%o [l/m ³]
1.	6,6	0,23	6,4	0,15	-	6,9	3
2.	6,6	0,15	6,7	0,1	-	7,0	3,5
3.	6,6	0,5	6,0	0,4	-	7,2	2
4.	6,6	0,75	5,6	0,5	-	6,9	1,5
5.	6,6	0,23	6,4	-	0,15	6,9	2
6.	6,6	0,2	6,5	-	0,25	7,3	1,5

5. táblázat: Alkalmazott vegyszerdózisok

	KOI [mg KOI/l]	TN [mg N/l]	TP [mg P/l]	KOI:TN:TP
Nyers	4 600	159	46	100:3,5:1
1.	1 140	140	18,45	100:12,3:1,6
2.	1 102	154	14,55	100:14:1,3
3.	952	138	7,01	100:14,5:0,7
4.	860	132	0,95	100:15,3:0,1
5.	1 058	150	9,45	100:14,2:0,9
6.	1 188	154	3,56	100:13:0,3
Flotált	950	128	7,88	100:13,5:0,8

6. táblázat: Előkezelést követően mérhető paraméterek, és ezek összehasonlítása a nyers és az üzemi flotált szennyvíz minőségével

		pH [-]	KOI _{hom} [mg/l]	KOI _{szűrt} [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	TN [mg/l]	TP [mg/l]	OP [mg/l]	KOI:TN:TP
Nyers	ÁTLAG	6,8	4 778	1 118	36,11	146	30,52	18,81	100:3,1:0,6
	MINIMUM	6,2	1 454	480	14,40	64	22,61	5,35	100:4,4:1,6
	MAXIMUM	7,3	6 710	1 932	54,03	228	36,80	27,16	100:3,4:0,5
	SZÓRÁS	0,4	1410	397	15,20	37	5,26	7,69	
Flotált	ÁTLAG	7,0	959	698	56,91	122	3,88	0,57	100:12,7:0,4
	MINIMUM	7,0	315	261	20,00	39	2,24	0,00	100:12,4:0,7
	MAXIMUM	7,1	1 478	1 384	141,00*	190	8,74	1,63	100:12,9:0,6
	SZÓRÁS	0,02	321	304	41,72	35	1,94	0,67	

* Hosszabb idejű hűtött tárolás esetén is végbe megy a szerves nitrogén hidrolízise, így változatlan TN mellett egyre nagyobb ammónium koncentráció mérhető.

7. táblázat: Átlagos szennyvíz minőség előkezelés előtt és után (laboratóriumi előkezelés, időszak: 2019.02.25-2020.08.06)

A fajlagos vegyszerdózisok összehasonlítása alapján levonható az a következtetés, hogy üzemi méretben a laboratóriumi vegyszerdózis duplájával sikerült közel azonos hatékonyságú szerves anyag eltávolítást elérni az előkezelés során. A nyers szennyvíz KOI:TN:TP aránya mindhárom esetben igen hasonló volt (~100:3:1), melyből a laboratóriumi kezelése során ~100:13:0,5 körüli arányt sikerült kihozni. Ehhez képest az üzemi, nagyobb vegyszermennyiséggel történő előkezelés az ideálshoz (KOI:TN:TP=100:5:1 - 100:3,5:0,7) jóval közelebb álló tápanyag arányt produkált a kampánymérés során 100:10,8:0,8 értékkel.

KÖVETKEZTETÉSEK

A bemutatott irodalmi és mérési adatok alapján látható, hogy a vágóhídi szennyvíz minősége a feldolgozási folyamatától függően erősen változhat. A vágást követően keletkező koncentráltabb szennyvízre használt vegyszeres kezelések a feldolgozási időszakban vegyszertúladagolást jelenthetnek. A beérkező szennyvíz megfelelően megválasztott térfogatban történő kiegyenlítése azonban megoldja ezt a problémát.

Üzemi méretben a laboratóriumi fajlagos vegyszerdózisok duplája szükséges az előkezelés során ugyanahhoz a szerves anyag eltávolítási hatékonysághoz. Fontos megjegyezni, hogy a tervezési értéként is szereplő 40 mg/l TP teljes mennyiségének eltávolításához a biztonsági faktort is tartalmazó 1,5 mól Fe/mól P fajlagossal számítva 0,62 liter 40 m/m%-os vas-szulfát/m³ szennyvíz lenne szükséges. Ez 108 g Fe/m³ szennyvíz mennyiséget jelent. Annak érdekében, hogy a mintegy 1 000 mg/l körüli kezelt KOI-hoz arányaiban megfelelő foszfor álljon rendelkezésre a későbbi biológiai fokozat számára, 7-10 mg/l körüli értéknek maradnia kellene a kezelést követően, azaz körülbelül 30 mg/l TP eltávolítása lenne szükséges. Ez 0,47 l/m³ vassó dózist (81 g Fe/m³ szennyvíz) jelentene, ami jól egybevágh a teljes üzemi méretben tapasztalt 0,43 és 0,46 l/m³ koagulálószer felhasználással. Érdekes módon laboratóriumi méretben fele ekkora mennyiséggel sikerült hatékonyabb foszforeltávolítást elérnünk, kis poharas (~200 ml) és nagyobb térfogatban történő (~5 liter) kezelése során is. A különbség a térfogatok nagyságrendjén túl természetesen

	pH [-]	KOI _{hom} [mg/l]	KOI _{szűrt} [mg/l]	NH ⁴ -N [mg/l]	TN [mg/l]	TP [mg/l]	OP [mg/l]	KOI:TN:TP
ÁTLAG	6,58	5 342	1 605	159,1	180	43,81	21,77	100:3,4:0,8
MINIMUM	6,45	3 810	1 430	95,9	133	36,92	20,37	100:3,5:1
MAXIMUM	6,68	8 150	1 780	187,8	210	51,49	22,57	100:2,6:0,6
SZÓRÁS	0,08	1 606	140	36,3	30	5,06	0,97	

8. táblázat: Telephelyen keletkező nyers szennyvíz jellemzői (2021.11.18-22. között)

	pH [-]	KOI _{hom} [mg/l]	KOI _{szűrt} [mg/l]	NH ⁴ -N [mg/l]	TN [mg/l]	TP [mg/l]	OP [mg/l]	KOI:TN:TP
ÁTLAG	6,76	1 355	898	121,0	147	11,35	7,50	100:10,8:0,8
MINIMUM	6,69	1 151	423	83,9	105	8,89	5,49	100:9,1:0,8
MAXIMUM	6,84	1 626	1 218	146,1	161	13,71	9,83	100:9,9:0,8
SZÓRÁS	0,07	144	308	29,1	22	1,83	1,60	

9. táblázat: Telephelyi előkezelt szennyvíz jellemzői (2021.11.18-22. között)

	Laboratóriumi előkezelés a 6. vegyszerdózissal	Laboratóriumi hosszú távúelőke- zelések átlaga	Üzemi méretű flotálás átlag ampánymérés	Üzemi méretű flotálás átlag teljes próbaüzem
Vas-szulfát fajlagos mennyisége (l/m ³)	0,2	0,23	0,43	0,46
Adagolt g Fe/m ³ szennyvíz	35	40	75	80
Aqual fajlagos men- nyisége (l/m ³)	0,25	~0,15 (pH 7 célérték)	0,46	0,23
Adagolt g Al/m ³ szennyvíz	25	15	46	23
pH a kezelést követően	7,3	6,8	7,31	7,1
TP kiindulási (mg/l)	46	31	43	30
TP maradó (mg/l)	3,56	3,88	11,35	n.a.*
Kiindulási KOI (mg/l)	4 600	4 778	5 342	3 659
Szerves anyag eltávo- lítási hatékonyság (%)	77	80	75	73
Előkezelést követő KOI (mg/l)	1 058	959	1 355	1 032
KOI:TN:TP arány a nyers szennyvízben	100:3,5:1	100:3,1:0,6	100:3,6:0,8	100:5:0,8
KOI:TN:TP arány az előkezelt szennyvízben	100:13:0,3	100:12,7:0,4	100:10,8:0,8	n.a.*

* nem történt folyamatos TN és TP mérés az előkezelést követően

10. táblázat: Laboratóriumi és üzemi méretű előkezelés összehasonlítása

a kezelés módjában is tetten érhető, mivel a laboratóriumi méretű előkezeléseknél mágneses keverővel történt a vegyszerek bekeverése és a pehelyképzés, majd ülepítést követően történt a fázisszétválasztás - a nagyüzemi csőflokulátoros vegyszerbekeveréshez és oldott levegős flotáláshoz képest.

Nagyüzemben a nyers szennyvíz 100:3,5:1 körüli KOI:TN:TP arányáról az ideálisához (KOI:TN:TP=100:5:1 - 100:3,5:0,7) közelebb álló, 100:10,8:0,8as KOI:TN:TP arányt sikerült elérni a vizsgált időszakban átlagosan, szemben a laboratóriumi előkezeléssel elért ~100:13:0,5 körüli aránnyal. Így üzemi méretben megvalósítható a szennyvíz saját szerves anyagával történő elődenitrifikáció, mivel a 10-es KOI/TKN arány biztosított. Ez azt jelenti, hogy külső szerves tápanyag hozzáadására valószínűleg hosszútávon sem lesz szükség a felszíni befogadóra érvényes határértékek eléréséhez sem. Azonban a hosszú távú üzemelés során derül majd fény arra, hogy az optimálisnál alacsonyabb mennyiségű foszfor okoz-e bármilyen iszapszerkezeti vagy tápanyag eltávolítási problémát.

Amennyiben hosszú távon problémát okozna a biológiai tisztítási fokozat számára a foszforhiány a nitrogén mennyiségéhez képest, úgy megfontolandó a telephelyen keletkező kommunális szennyvíz biológiai reaktorokra történő rávezetése. Üzemeltetési költséghatékonyság szempontjából ez a megoldás jóval kedvezőbb, mint a foszfor tápanyag adagolása, mivel ez utóbbi igen költséges vegyszerekkel lehetséges csak (pl. foszforsav).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánk a GINOP-2.2.1-15-2016-00096 "Magas nitrogéntartalmú élelmiszeripari szennyvíz szenzorhálózat alapú vezérlésének fejlesztése SBR környezetben" című projekt keretében, az Európai Regionális Fejlesztési Alap támogatásával valósulhatott meg.

► IRODALOMJEGYZÉK

JELMAGYARÁZAT

BOI	Biológiai oxigénigény [mg/l]
KOI _{hom}	Homogén mintában mért KOI [mg/l]
KOI _{szűrt}	0,45 µm membránszűrést követően mért KOI [mg/l]
KOI:TN:TP	KOI, TN és TP tartalom alapján meghatározott C:N:P tápanyagarány
NH ₄ -N	Ammónium-nitrogén [mg/l]
PE 1%	1%-os anionos polielektrolit [l/m ³]
TN	Összes nitrogén [mg/l]
TP	Összes foszfor [mg/l]
OP	Ortofoszfát-foszfor [mg/l]
TSS	Összes lebegőanyag [g/l]

SZERZŐ:



Harasztiné Hargitai Réka: környezetmérnök, a Pannon Egyetem Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratóriumának tagja és PhD hallgatója. Fő szakterülete a szennyvíztisztítási technológiák. PhD hallgatóként kutatási témájában a körforgásos (víz)gazdaság kialakításának lehetőségeit vizsgálja.



Somogyi Viola PhD.: egyetemi docens a Pannon Egyetem Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki Kutató Fejlesztő Központ szennyvízkezeléssel foglalkozó kutatásait vezeti. 2006 óta foglalkozik települési szennyvíztisztítók biológiai folyamatainak vizsgálatával és optimalizálásával. Kutatási területe a körforgásos gazdálkodási modell szennyvíztisztítókra történő adaptálása. A Magyar Szabványügyi Testület Munkavédelmi Munkabizottság és a Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség (MASZESZ) tagja. Kitüntetés: Környezetünkért emlékplakett 2021.



Horváth Dániel: Szakmai tanulmányait a Pannon Egyetem Mérnöki Karán kezdte, mint Környezetmérnöki alapszakos hallgató, 2019-ben végzett alapszakon, majd 2022-ben okleveles környezetmérnök végzettséget szerzett. Alapszakon technológia szakirányon végzett, szakdolgozatát szennyvíztisztítás témakörében írta, amelynek kutató munkája része a megjelent cikknek. Jelenleg a Veszprémi Tervező Kft.-nél dolgozik.



Pitás Viktória: okleveles környezetmérnök, a Pannon Egyetem Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratóriumának munkatársa. 2008-ban végzett a Pannon Egyetemen, azóta foglalkozik szennyvíztisztítási technológiákkal. Fő érdeklődési és kutatási területe az ipari szennyvizek eleveniszapos tisztítása, mely témakörben doktori fokozatának megszerzését tervezi. Néhány éves piaci kitérőt követően (2011-2018) tért vissza alma materébe.