



A Magyar
Víziközmű
Szövetség
lapja

XXIX.
évfolyam

Fókuszban a szennyvízágazat

20
21

VÍZ MŰ

PANORÁMA
ONLINE

ANALITIKA

- **Thermo Scientific:** AA, ICP-OES, kvadrupol és hármaskvadrupol ICP-MS
UV/látható spektrométerek
Automata diszkrét fotometriás analizátorok
FT-IR, FT-NIR és Raman spektrométerek, mikroszkópok
GC, kvadrupol és hármaskvadrupol GC/MS
HPLC, UHPLC, nano-HPLC
Kvadrupol és hármaskvadrupol LC/MS
Orbitrap hibrid és tribrid LC/MS és GC/MS rendszerek
Ionkromatográfok
Kromatográfiai oszlopok, fogyóanyagok
Automatizált SPE és ASE mintaelőkészítők
C, H, N, S, O elemvizsgálók
Asztali NMR spektrométerek
Asztali és hordozható ED-XRF spektrométerek
Hordozható ED-XRF és LIBS spektrométerek
- **Trace Elemental Instruments:** TOC, TN, TS, TX, AOX meghatározók
Égetéses ionkromatográfia (CIC)
- **PS Analytical:** Atomfluoreszcenciás Hg, As, Se meghatározók
- **Hunterlab:** Hordozható és asztali színmérő készülékek
- **CDS Analytical:** Pirolizátor
Gőztéranalízis
Termikus deszorpció
„Purge and Trap”
- **FMS:** Dioxin és PCB mintaelőkészítés
Automatizált folyadék extrakció
Szilárdfázisú extrakció
Automatikus bepárló rendszerek
- **Markes International:** Termikus deszorpció
- **Peak Scientific:** N₂, H₂, „zero air” gázgenerátorok

KÉPALKOTÁS

- **Olympus élettudományi mikroszkópok és képképzők:** Élettudományi egyenes állású és inverz kutatómikroszkópok
Élettudományi és ipari rutin egyenes állású és inverz mikroszkópok
Élettudományi és ipari konfokális lézerpasztázó rendszerek
Metszet digitalizálás
Mesterséges megtermékenyítés IVF-ICSI
Lightsheet mikroszkóp
Élettudományi nagysebességű szuperfelbontású rendszerek
Kamerák és szoftverek
- **Abberior Instruments:** Élettudományi szuperfelbontású optikai mikroszkóp rendszerek
STED
- **Olympus ipari mikroszkópok és anyagvizsgáló rendszerek:** Egyenes állású és inverz kutatómikroszkópok
Opto-digitális mikroszkópok
Tisztaságvizsgáló rendszerek
Ipari endoszkópok
Ultrahangos falvastagságmérők
Ultrahangos és örvényáramos hibakeresők
- **iX Cameras:** Nagysebességű videokamerák
- **Applied Spectral Imaging (ASI):** Citogenetikai és patológiai rendszerek
Digitális kariotipizálás
FISH, CISH
- **Hitachi:** Pasztázó és transzmissziós elektronmikroszkópok
Elektronmikroszkópos mintaelőkészítők
- **Oxford Instruments/ Asylum Research:** EDX detektorok
Atomerő mikroszkópok és kiegészítők
- **Safematic:** Elektronmikroszkópos vákuumgőzölők
- **Micro to Nano:** Elektronmikroszkópos kiegészítők, fogyóanyagok

Tartalomjegyzék

04

VÍZ ÉS TUDOMÁNY

Gyógyszermaradványok a szennyvízben
– Csak a holnap kihívása?

13

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

Szakaszos üzemű szennyvíztisztító telepek hatékonyságának biokinetika szerinti üzemeltetői ellenőrzése

19

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

Bionyersanyag-terméskála kialakítása lokális technológiai sor figyelembe vételével – Hasznosíthatósági vizsgálatok az üzemi körülmények optimalizálásával a DRV Zrt. területén

25

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

Technológiai szűk keresztmetszetek leküzdése és az áramszámla csökkentése vízhőmérséklet-alapon irányított iszapvonallal

29

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

Egy szennyvíz-agglomerációs projekt megvalósításának tanulságai – avagy mit csinálnánk legközelebb másképpen?

34

PORTRÉ

Gorján Ferenc – Debreceni Vízmű Zrt.

37

SZAKMÁNK MEGALAPOZÓI

BORDA, Jean-Charles (1733–1799)

BEKÖSZÖNTŐ

Tisztelt Olvasó!



MÁRIALIGETI BENCE

főszerkesztő

Újfélt eltelt egy év. Eltelt egy különleges év, melyet úgy kezdtünk, hogy a járvány miatt kijárási korlátozás mellett kellett évet zárni, karácsonyt ünnepelni. Ezt a különleges évet szintén a covid árnyékában zárjuk, de hálásan azért, hogy nagyobb a szabadságunk.

A szabadságra, a szabadság fontosságára azonban nemcsak a járvány tanít meg minket, hanem az ágazatban végbemenő változások, pontosabban a változatlanóságok is. Amikor az elért eredmény nem vagy csak kis részben a befektetett munka mennyiségétől és minőségétől függ, az óhatatlanul egy lelki, szellemi távolságot hoz személy és munka között. Talán van (rejtett) összefüggés ezen szabadság és a szakmai munka között?! Akár van, akár nincs, ennek a számnak a cikkei bizonyítják, hogy a szolgáltatóknál továbbra is folyik érdemi szakmai munka!

Ezen számunk szerzői mind valamelyik üzemeltető társaságnál dolgoznak és kamatoztatják tudásukat! Ez a lapszám „szennyvizes” lapszám lett.

Az első cikk a gyógyszermaradványok kommunális szennyvíztisztító telepeken történő eltávolíthatóságáról értekezik üzemi mérések alapján. Bemutatja, hogy eleveniszapos rendszer is szignifikáns mikro-szennyező eltávolításra lehet alkalmas megfelelő körülmények között

A második írás egy SBR telep hatékonyságának ellenőrzéséről, az optimális üzemállapotok számítással történő meghatározásának tapasztalatairól számol be.

A következő cikk bionyersanyag-terméskála kialakításáról, hasznosíthatósági vizsgálatokról szól. A K+F projekt mellett a hasznosítási eljárások bemutatására is sor kerül.

A negyedik írás túlterhelt telepek megfelelő kezeléséről szól, arról, hogy tudatos iszapvonal irányítással hogyan lehet a kockázatokat csökkenteni.

Ötödik „szennyvizes” cikk egy szennyvíz-agglomerációs projekt megvalósításának tapasztalatait mutatja be, kendőzetlenül.

Végül a portré rovatban a Debreceni Vízmű Zrt. vezérigazgatóját ismerhetik meg.

Örömmel adjuk tudtul, hogy a MaVíz Év Cikke Díjra januártól újra lehet szavazni. Keressük 2021. év legjobb cikkét Víz és Tudomány, Szolgáltatók Szemével és Ipari Újdonság kategóriában. További részletek a honlapon,

szavazás január 15-től! A maviz.org/vizmupanorama oldalon nemcsak az aktuális szám, hanem 2013-tól minden szám megtalálható, olvasható! Az on-line számokat közel ezren olvassák, ami megtisztelő érdeklődés. Segítenek a folyóirat terjesztésében azzal, hogy az elérhetőségét megosztják kollégáikkal! Köszönjük egész éves támogatásukat, a cikkek írásában való közreműködést, a terjesztést!

Reméljük, hogy sikerült szakmailag megfelelő, Önöknek tetsző folyóiratot készítenünk. Ha mégsem, vagy észrevételeik lennének, kérem írjanak a szerkesztőség e-mail címére. Jó olvasást!

Békés, Boldog Karácsonyt kívánunk Önöknek, szeretteik körében!

A következő évre pedig jó egészséget, sok erőt, üzleti és magánéleti sikereket!





BEZSENYI ANIKÓ^{1,2}

GYARMATI IMRE¹

MAKÓ MAGDOLNA¹

DR. TAKÁCS ERZSÉBET³

bezenyia@fcsm.hu, gyarmatii@fcsm.hu

¹ Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.,
1087 Budapest, Asztalos Sándor út 4.

² Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola, Budapest

³ MTA Energiatudományi Kutatóközpont (MTA EK),
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

KIVONAT A környezeti és egészségügyi kockázatot hordozó gyógyszermaradványok kiemelkedő jelentőséggel bírnak a szerves mikroszennyezők között. A szennyvizekben ng, illetve $\mu\text{g}^*\text{L}^{-1}$ koncentrációban megjelenő antibiotikumok mennyisége ahhoz kevés, hogy a baktériumokat elpusztítsák, vagy szaporodásukat gátolják, de az antibiotikum-rezisztencia kialakulásához kedvező környezetet biztosítanak. A kórházak mellett a szennyvíztisztító telepek is forró pontjai az ún. multirezisztens baktériumtörzsek kialakulásának, amely a jövő egyik nagy kihívását jelenti az emberiség számára. A nyers szennyvízben milliliterenként jelen levő 10^6 - 10^8 CFU (telepképző egység) baktériumtömeg egy másik fontos forrása a problémának, ugyanis ún. horizontális génátadással képesek egymással megosztani az antibiotikumrezisztencia-géneket. Az elmúlt évtizedekben számos technológiai újítás jelent meg a mikroszennyezők eltávolítására, amik egy negyedik tisztítási fokozat kiépítésével alkalmazhatók. A beruházási és üzemeltetési költségük nemcsak a szolgáltató terheit növelné meg, hanem végső soron a fogyasztókat sújtaná. A szennyvíztisztító telepek többségében eleveniszapos rendszer üzemel, azonban az számos mikroszennyező szignifikáns eltávolítására is képes lehet megfelelő körülmények között. A legnagyobb biodegradációs hatékonyság elérése alapvető célkitűzés minden üzemeltetőnek. A baktériumok enzimjei véletlenszerűen képesek megváltoztatni a bonyolult szerkezetű molekulák (pl. gyógyszerek) szerkezetét az ún. kometabolikus folyamatokban. Ezt a természetes folyamatot kihasználva segíthetjük a gyógyszer-molekulák biológiai átalakulását a szennyvíztisztítás során.

VÍZ ÉS TUDOMÁNY

Gyógyszermaradványok a szennyvízben – Csak a holnap kihívása?

A MIKROSZENNYEZŐK DIÓHÉJBAN

A különböző vízformákban literenként mikrogramm, illetve nanogram koncentrációban megtalálható mikroszennyezők az életfolyamatok feltételeit és a víznek az ember számára való felhasználhatóságát csökkenthetik, rosszabb esetben megakadályozhatják. Biológiaiilag nem vagy nehezen bonthatók, így a szennyezőforrástól időben és térben is távol kerülhetnek. A hagyományos szennyvíztisztítási eljárások nem alkalmasak minden, a tisztítótelepre kerülő szennyezőanyag eltávolítására. A mikroszennyezők gyakran változatlan formában jutnak keresztül a szennyvíztisztító rendszereken, és a felszíni vizek közvetítésével eljuthatnak a későbbi vízhasználókhoz. Szerves és szervetlen vegyületek alkotják ezt a rendkívül komplex csoportot. Mi ebben a tanulmányban a szerves formákra, illetve azon belül a gyógyszerekre koncentrálnak.

MIÉRT A GYÓGYSZEREK?

A felszíni vizekben megjelenő mikroszennyezők közül a gyógyszerek kiemelkedő jelentőséggel bírnak, hiszen igen elterjedten és nagy mennyiségben alkalmazza az emberiség ezeket a vegyületeket. Becslések szerint évente több száz ezer tonna farmakológiailag aktív anyagot használunk világszerte ember- és állatgyógyászati célokra. [1] Jelentőségük nemcsak a felhasznált mennyiség miatt nagy, hanem komoly népegészségügyi kockázatot is hordozhatnak bizonyos gyógyszertípusok. Ma még nem tudjuk pontosan, hogy a különböző gyógyszermaradványoknak, illetve ezek bomlástermékeinek mekkora az ökotoxicitási értéke. Kockázatelemzéssel próbáljuk becsülni ezeket. Koncentrációtól függően eltérő hatást fejthetnek ki az élőlényekre, és ezt még számos egyéb olyan faktor befolyásolhatja, mint az adaptáció (alkalmazkodás

biológiai értelemben) vagy a kockéltetés (gyógyszerek együttes hatása). Azonban az antibiotikumok hatása, illetve jelenlétük kockázata sajnos vitathatatlan. A literenkénti mikro-, illetve nanomennyiségük ellenére is kiemelt jelentőségűek az antibiotikum-rezisztencia fokozott terjedése miatt.

Az antibiotikum-rezisztencia és következményei

Antibiotikum-rezisztencia akkor alakul ki, ha egy kórokozó ellenállóvá válik egy olyan antimikrobiális gyógyszerrel szemben, melynek hatására korábban elpusztult volna. Ugyanaz a baktérium több antibiotikummal szemben is ellenállóvá válhat, így ún. multirezisztens törzsek is megjelennek. Ezeket gyakran „szuperbaktériumoknak” nevezik, és nincs vagy alig akad gyógyszer, amely bevethető ellenük. Ennek szélsőséges megjelenése az ún. panrezisztens baktérium, amely jóformán minden antibiotikummal szemben érzéketlen. Szerencsére panrezisztencia még csak nagyon kevés baktérium esetében alakult ki. A szuperbaktérium-fertőzések kétharmada kórházi eredetű. [2]

2014-ben látott napvilágot az O'Neill-jelentés, amelyet David Cameron akkori brit miniszterelnök kérésére állított össze egy szakértői csapat Jim O'Neill közgazdász vezetésével. Az elemzők többek között az antibiotikumoknak ellenálló bakteriális fertőzések társadalmi és gazdasági hatásait igyekeztek felmérni. A jelentés szerint az antibiotikum-rezisztencia következtében évente 10 millió ember halhat meg 2050-től. Ez azt jelenti, hogy minden harmadik másodpercben ez okozza egy ember halálát, illetve többen halnak meg antibiotikum-rezisztencia következtében, mint rákban és közúti balesetekben együtt. De nem csupán a jövő problémájáról van szó, hiszen ma a világon évente 700 ezer ember halálát okozza az antibiotikum-rezisztencia, ebből 50 ezren Európában és az Egyesült Államokban hunynak el. [3] A rezisztens

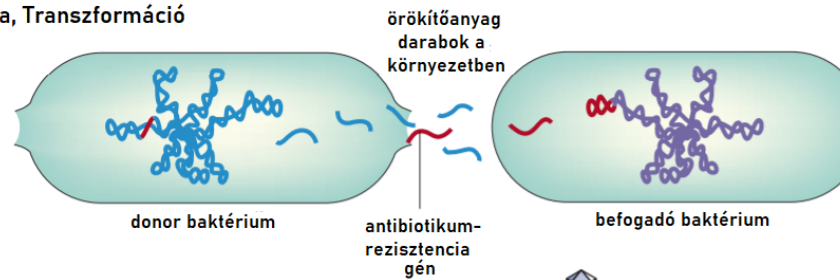
kórokozók egyre gyakoribb megjelenése mellett a gyógyszercégek csökkent érdeklődése az újabb fejlesztések iránt is komoly gondot jelent. Az újonnan törzskönyvezett antibiotikumok száma 90%-kal csökkent az elmúlt 30 évben. [4]

Az antibiotikum az emberi, illetve állati szervezetben megtelepedett baktériumokat elpusztítja (baktericid), vagy csak a szaporodásukat gátolja (bakteriosztatikus). Az antibiotikumok alapvetően természetes vegyületek, amelyeket baktériumok vagy gombák állítanak elő, hogy elpusztítsák a versenytársaikat. A baktériumok olyan részeit támadják (sejtfal), amelyek az emberi sejtekben nem találhatóak, vagy olyan folyamatokat (enzimeket) gátolnak, amelyek csak a baktériumokra jellemzőek (folsavsintézis). A rezisztencia hátterében az áll, hogy a baktériumok különböző stratégiákat fejlesztenek az antibiotikus hatás elkerülésére. Például a sejtfal áteresztőképességét változtatják meg, vagy a sejtbe bekerülő gyógyszert kipumpálják a sejten kívülre. [5] Az antibiotikum(ok)nak való kitétség stressztényező a baktériumok számára, amihez alkalmazkodniuk kell, ha életben akarnak maradni. [2]

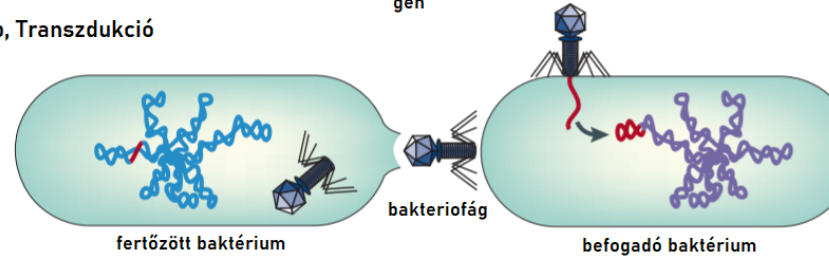
Nemcsak természetes antibiotikum (penicillin), de természetes antibiotikum-rezisztencia is létezik. Például a baktériumot olyan védőburok (sejtfal) veszi körül, amely bizonyos antibiotikumok számára áthatolhatatlan. Ha eredendően nem rendelkeznek rezisztenciával, akkor meg tudják szerezni (szerzett rezisztencia). Örökítőanyag-szinten történik olyan változás, amely ellenállóvá teszi az adott antibiotikummal szemben. Egyrészt mutáció léphet fel magában a sejtben, másrészt más baktériumoktól is átvehet rezisztenciagéneket. Ez utóbbit horizontális géncserének (géntranszfer) nevezzük, és különböző baktériumfajok között is megtörténhet, így ez az egyik fő útvonala a rezisztencia terjedésének. A horizontális géncserére is többféleképpen zajlik. [2] Egyrészt képesek a külvilágból hosszabb DNS- vagy RNS-molekulákat felvenni, és azokat beépíteni a saját örökítőanyagukba (transzformáció, 1. ábra/a). Ezek a felvett DNS/RNS-darabok tartalmazhatnak antibiotikumrezisztenciagéneket. Másrészt egy baktériumot megfertőző vírus (bakteriofág) is átszállíthat DNS-t egy másik baktériumba (transzdukción, 1. ábra/b). Harmadrészt az egyik baktérium összekapcsolódhat egy társával (konjugáción, 1. ábra/c), amit sokszor a baktériumok szexuális szaporodásának neveznek, és átadhatja neki a lemásolt örökítőanyag egy példányát. [6]

A természetes antibiotikumok és a rezisztencia jelensége már évmilliók óta jelen van a természetben, de mi, emberek, felgyorsítottuk a

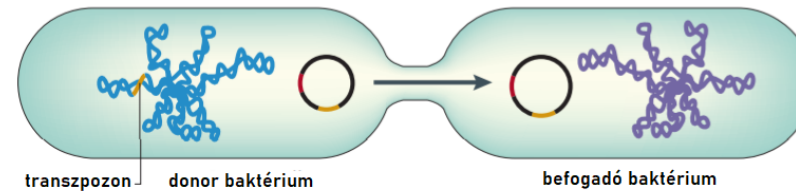
a, Transzformáció



b, Transzdukción



c, Konjugáción



1. ábra: A horizontális génátvitel formái. [6] A transzpozonok (ún. ugráló gének) olyan DNS-szakaszok, amelyek képesek megváltoztatni helyüket az örökítőanyagban. A baktériumok transzpozonjai sok esetben tartalmaznak antibiotikumrezisztenciagéneket

folyamatokat. Az ún. szelektív nyomást növeltük meg az antibiotikumok mesterséges előállításával és fejlesztésével, hiszen napjainkban a baktériumok sokkal több antibiotikumnak vannak kitéve. A túlélésért rezisztenssé kell válniuk. Súlyosította a helyzetet a helytelen, mértéktelen antibiotikum-használat (az állattenyésztésben is), az állati eredetű termékek nemzetközi kereskedelme, a turizmus világméretűvé válása. Az antibiotikumok túlnyomó részét az állattenyésztésben használják fel (az Amerikai Egyesült Államokban az antibiotikumok 80%-át). Ráadásul nem betegségek kezelésére vagy megelőzésére, hanem hozamfokozóként. Az Európai Unió országaiban 2016-tól jogszabály tiltja az antibiotikumok hozamfokozásra való használatát, azonban ez a világnak csak egy kis részét érinti. [2]

A SZENNYVÍZ SZEREPE AZ ANTIBIOTIKUM-REZISTENCIA TERJEDÉSÉBEN

A gyógyszerek az elfogyasztásukat követően különböző mértékben átalakulva (anyagcsere-reakciók) ürülnek ki az emberi szervezetből, majd a csatornahálózaton keresztül a szennyvíztisztító üzemekbe jutnak. Ugyancsak ez a sorsa nagyrészt a lejárt szavatosságú gyógyszereknek, amelyekből a lakosság nem szabályos útvonalon szabadul meg, azaz a lefolyóba dobja. Ezzel azonban csak a probléma egyik oldalát világítjuk meg, ugyanis a gyógyszereken kívül a rezisztens baktériumok, illetve a rezisztenciagének transzportja is zajlik. A rezisztenciagén valamilyen „sikeres ellenállási mechanizmusra” vonatkozó információkat kódol. Például egy olyan pumpa receptjét, ami az antibiotikumot kinyomja a sejtől.

Az emberi test baktériumok, gombák és más mikroorganizmusok billióinak (10^{12}) ad otthont, amik természetes módon együtt tenyésznek a bőrön, az emésztőrendszerben és a szervezet más pontjain. Több mint tízszer annyi mikrobiális

sejtet tartalmazunk, mint emberi sejtet, és csak a teljes bélmikrobióta (a baktériumok összessége) akár 2 kg-ot is nyomhat. A széklet egyetlen grammjával több feleslegessé vált, elhullott baktérium távozik a szervezetből, mint amennyi ember él a Földön. [7] Sokan a betegség tüneteinek enyhülésekor önkényesen abbahagyják az antibiotikum szedését, így a gyógyszerre kevésbé érzékeny kórokozók nem pusztulnak el, és ez fokozza a gyógyszerre rezisztens törzsek kialakulásának esélyét. [5] Ezek a rezisztens baktériumok is kiürülnek egyszer a széklettel.

Az antibiotikumok a szennyvízben $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$, illetve $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ koncentrációban jelennek meg, így mennyiségük ahhoz kevés, hogy a szennyvíz baktériumait elpusztítsák, vagy szaporodásukat gátolják. Ugyanakkor a rezisztencia kialakulásához ez a közeg kedvező. A kórházak mellett a szennyvíztisztító telepek is forró pontjai az ún. multirezisztens törzsek kialakulásának. A másik fontos faktor az, hogy rengeteg baktérium van egy helyen, és egymásnak képesek átadni a rezisztenciagéneket (horizontális génátadás). [2][8][9] Így nem kell közvetlenül találkozni az

antibiotikumnak és a baktériumnak. A génátadásnak annál nagyobb a valószínűsége, minél több baktérium halmozódik fel egy helyen. Ha van ilyen közeg, akkor az a nyers szennyvíz, amelyben milliliterenként 10^6 - 10^8 CFU baktérium tenyészik. [10] [11]

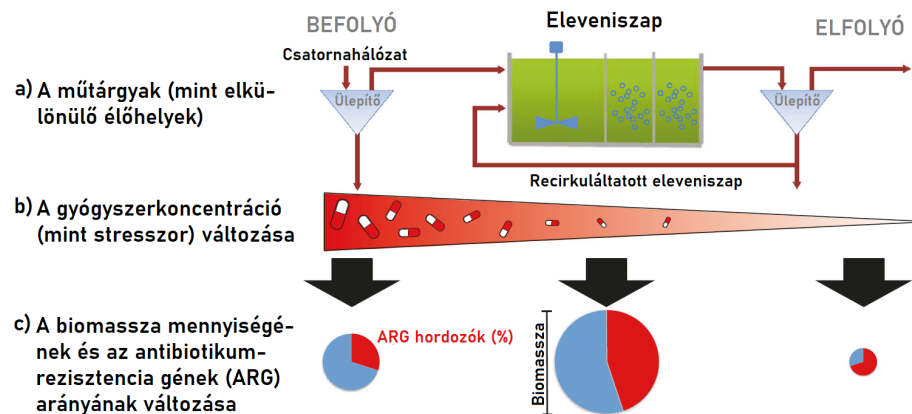
A szennyvíztisztító telepek nem tudnak kellő figyelmet fordítani a mikroszennyezők eltávolítására, hiszen nem áll rendelkezésükre megfelelő technológia. Mindemellett jelenleg határértékek sincsenek. A mikroszennyezők az adott vegyület fizikai-kémiai sajátosságaitól függően különböző mértékben távolíthatók el a szennyvízből a tisztítóművekben. Eltávolításuk hatásfoka 0 és 100% között változhat, és a két szélsőérték között bármilyen értéket felvehet. A gyógyszerekkel sincs ez másként. Az Acetaminophen közel 100%-os eltávolítási hatásfoka mellett az Eritromicin közel 30%-os eltávolítása jellemző. Azonban az eltávolítás hatékonysága a szennyvíztisztítási technológiától függ leginkább, így létezhet olyan technológia, amelynél az Eritromicin egyáltalán nem vonható ki a rendszerből. [12]

A szennyvíz rezisztómájának nevezzük a szennyvízminták teljes örökítőanyag-készletében előforduló antibiotikumrezisztencia-gének összességét, vagyis a szennyvíz antibiotikumrezisztenciagén-gyűjteményét. Az átfogó rezisztóma vizsgálatok kimutatták, hogy a szennyvízben megjelenő antibiotikumok és azok hatását blokkoló antibiotikumrezisztencia-gének megjelenése a közegben szorosan összefügg. Ez szinte az összes vizsgált rezisztenciagénre igaznak bizonyult. Kivéteklént az ún. bla géneket említhetjük. A β -laktám antibiotikumok az osztódó baktériumokra hatnak, a sejtfaluk alakját torzítják el. A baktériumok védekező mechanizmusának egyik módja a β -laktamáz enzim előállítás, mely hatástalanítja a gyógyszert. Ezt az enzimtípust kódolják a bla gének, amelyek gyakran előfordultak a szennyvízben, annak ellenére, hogy a β -laktám antibiotikumokat ritkán sikerült kimutatni a vizsgált mintákból. Az elméleti összefüggéseket a gyógyszer-koncentráció, a mikrobiális biomasza és az antibiotikumrezisztencia-gének (ARG) arányának változása között a 2. ábrán mutatjuk.

HATÁRÉRTÉK NINCS, DE MEGFIGYELÉSI LISTA VAN

Az Európai Unió vízpolitikáját a 2000/60/EK irányelv, hétköznapi nevén a Víz Keretirányelv (VKI) határozza meg. A Víz Keretirányelv előírásai szerint mérni kell a klasszikus paraméterek mellett (pl. vízben oldott oxigén) bizonyos gyógyszermaradványok koncentrációját is. Az Európai Parlament és Tanács 2455/2001/EU sz. határozatában rögzítették a vízügyi területre vonatkozó elsőbbségi anyagok jegyzékét. Ebben harminchárom vegyületet, illetve vegyületcsoportot neveztek meg, amelyek perzisztens (hosszú távon fennmaradó), bioakkumulatív (élőszövetben felgyűlő) és toxikus sajátosságokkal bírnak. Az irányelv 2013. augusztusi módosítása során határozat született egy megfigyelési lista létrehozásáról, majd az Európai Bizottság 2015-ben adta ki az első Megfigyelési listát (Watch List), amelyre akkor három gyógyszerhatóanyag került fel (diklofenák, 17- β -ösztadiol és 17- α -etinil-ösztadiol). A listát 2018-ban és 2020-ban frissítették. A Megfigyelési lista gyógyszer-

2. ábra: A gyógyszer-koncentráció, a mikrobiális biomasza és az antibiotikumrezisztencia-gének (ARG) arányának elméleti változása a szennyvíztisztítás során [8]



rekre vonatkozó változásait az 1. táblázatban foglaltuk össze. Egy illetékes európai szakbizottság dönti el, hogy mely gyógyszerhatóanyagokat veszik fel a Megfigyelési listára. A listán szereplő mikroszennyezők koncentrációváltozását a tagországok vízügyi hatóságainak rendszeresen monitorozniuk (követniük) kell a felszíni vizekben. Az adatgyűjtés hát-

VEGYÜLET	CSOPORT	KIEMELT DÁTUMOK
17 α -etinil-ösztadiol (EE2)	Szintetikus ösztrogén	Watch list 1 (2015), és törölve 2019-ben
17 β -ösztadiol (E2, ösztadiol)	Ösztrogének	
Ösztron (E1)		
Diclofenac	Nemszteroid gyulladáscsökkentő	Watch list 1 (2015), és törölve 2017-ben
Eritromicin	Makrolid antibiotikumok (csoportként volt jegyezve)	Watch list 1 (2015), és törölve 2019-ben
Klaritromicin		
Azítromicin		
Amoxicillin	Antibiotikum	Watch list 2 (2018)
Ciprofloxacín	Antibiotikum	Watch list 2 (2018)
Trimethoprim	Antibiotikum	Watch list 3 (2020)
Venlafaxin	Antidepresszáns	Watch list 3 (2020)
Dezvenlafaxin	Antidepresszáns	Watch list 3 (2020)
Klotrimazol	Fungicid gyógyszer	Watch list 3 (2020)
Flukonazol	Fungicid gyógyszer	Watch list 3 (2020)
Mikonazol	Fungicid gyógyszer	Watch list 3 (2020)

1. táblázat: A Megfigyelési lista gyógyszerekre vonatkozó változásai

térként szolgál ezen anyagok által jelentett veszélyek kezelését, illetve elhárítását célzó intézkedések meghozatalához. [13]

Határértékek még nem születtek a szennyvíztisztítást érintően. Ha lesznek is a jövőben, nem biztos, hogy egységesen vonatkoznak majd minden szennyvíztisztító telepre. A mikroszennyezők esetleges eltávolítása jelentős beruházási terhet ró a kibocsátókra, így valószínűleg az eltávolításra csak akkor lesz szükség, ha a mikroszennyezők jelentős terhelést jelentenek a befogadóra. Például ha a befogadó már eleve terhelt ezekre a komponensekre nézve, ha kicsi a vízhozama, vagy ha nagy a kibocsátott mikroszennyező tömegárama. [14]

A NEGYEDIK FOKOZAT LEHETŐSÉGEI

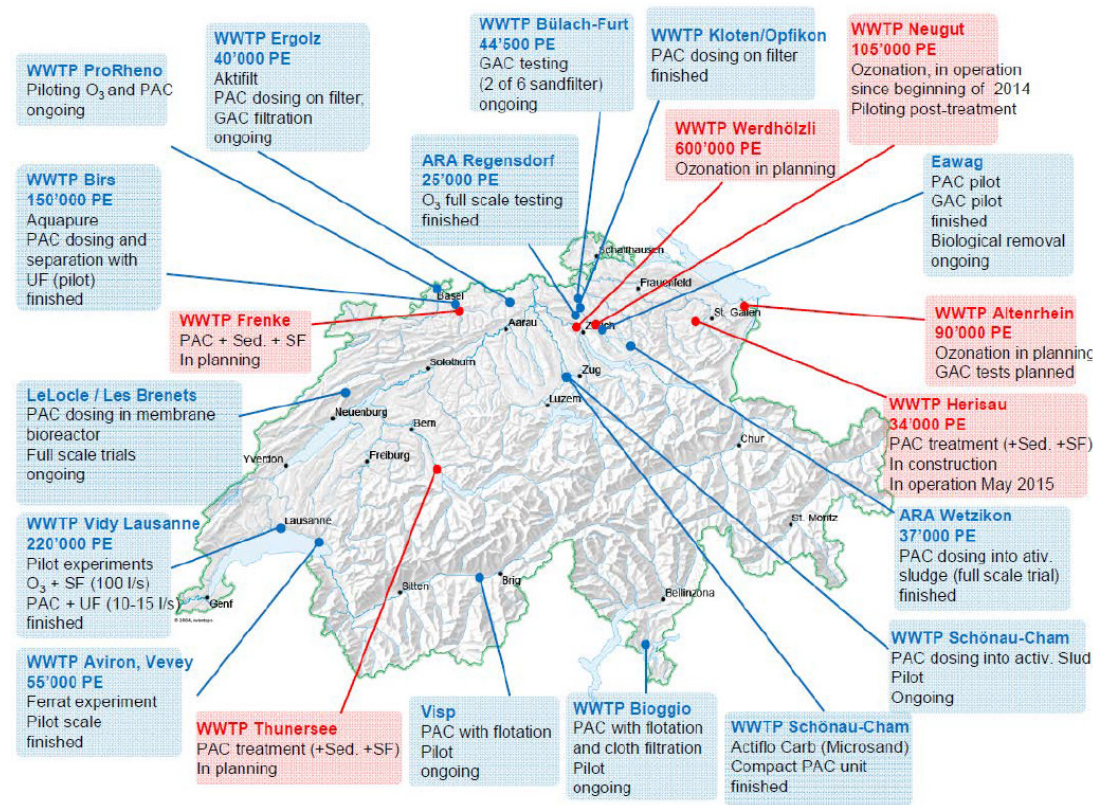
Az antibiotikum-rezisztens baktériumok kialakulásához alapvetően a túlzott és a helytelen antibiotikum-használat vezet, amely ellen a lakosság és az orvosok is sokat tehetnek. Indokolatlan az antibiotikum szedése vírusos fertőzések esetében (pl. megfázás, nátha, influenza), mert az antibiotikumok a vírusokra nem hatnak. [15] Mindemellert a páciensek gyakran nem követik az antibiotikum szedése során az orvos utasításait, vagy nem szedik végig az antibiotikum-kúrát, ami növeli a rezisztencia kialakulásának esélyét. Tehát a felhasználás oldalán is sokat tehetünk.

Az eltávolítás oldalán is sok új lehetőség nyílt meg technológiai újítások formájában az elmúlt egy-két évtizedben. A szerves mikroszennyező anyagok hatékony eltávolítása szennyvízből negyedik tisztítási fokozat kiépítésével érhető el. Ebben Svájc jár élen, ahol a hagyományos biológiai szennyvíztisztítási technológiát követően, azt kiegészítve első alkalommal 2014-ben, illetve 2015-ben helyeztek üzembe negyedik tisztítási fokozatot. Az első üzemi méretű ózonos oxidáció a dübendorfi Neugut szennyvíztisztítóban (2014, 105.000 LEÉ), az első aktív szén adszorpcióval kiegészített technológia a herisai Bachwis szennyvíztisztító telepen (2015, 45.000 LEÉ) indult.

A számításba vehető technológiák közül a tisztítási hatások, a beruházási és az üzemeltetési költségek, valamint az energiaigény figyelembevételével, az ózonnal történő oxidáció és az aktív szénen történő adszorpció (PAC: powdered activated carbon, GAC: Granular activated carbon) tekinthető nagyüzemi méretekben is megvalósítható megoldásnak. [16] Az utóbbi pár évben felzárkózni látszik az ózonnal történő oxidáció mellé egy másik nagyhatékonyságú oxidációs eljárás is (Advanced Oxidation Processes, AOPs), amelynél az ionizáló sugárzást elektrongyorsító segítségével állítják elő.

A 2016-ban elkészült új vízügyi szabályozásnak megfelelően Svájcban 2040-ig 650-ből 120-130 szennyvíztisztító esetén építik ki a mikroszennyezők eltávolítási fokozatát. A beruházás teljes költsége mintegy 1,2 milliárd CHF, amelynek 75%-a állami finanszírozású, és a 25%-át, valamint az üzemeltetési költséget az önkormányzatok fedezik. Elsődleges cél az érzékeny víztestek és az ivóvízbázisok megóvása a mikroszennyezőktől. Várható növekmény a szennyvíztisztítás költségeiben kisebb szennyvíztisztítók esetén 10-20%, nagyobbaknál 20-50%. A fejlesztésre kerülő szennyvíztisztítók kiválasztásánál elsődleges szempontként szerepelt az érzékeny víztestek védelme. Olyan telepeket vá-

lasztanak, amelyek 8000 lakosegyenérték feletti, amelyek esetén a hígulás mértéke a befogadóba vezetéskor alacsony (<10-szeres). A másik szempont az ivóvízbázisok védelme. Ezek 24.000 lakosegyenérték feletti szennyvíztisztítók esetében kiemelten kezeltek, melyeknek tisztított vize állóvízbe kerül bevezetésre. A harmadik szempont a terhelés csökkentése, amelynek a 80.000 lakosegyenérték feletti szennyvíztisztítóknál van kiemelt jelentősége. [17][18][19][20][21]



3. ábra: Mikroszennyező-eltávolítási technológiák telepítésének állapota Svájcban 2015-ben [18]

Természetesen a mikroszennyezők eltávolítására irányuló technológiák fejlesztése és üzembe helyezése nem korlátozódik kizárólag Svájcra és Németországra. Negyedik fokozat épült a következő helyeken:

- Franciaország: ózonos oxidáció az alábbi tisztítóművekben
- a 15.000 lakos-egyenértékű (LEÉ) Saint-Pourçain-sur-Sioule
- a 26.000 LEÉ Sophia Antopolis, Valbonne

- Hollandia: aktív szén adszorpció a Horstemeer szennyvíztisztítóban
- Japán: ózonos kezelés több mint 60 szennyvíztisztítóban
- Kanada: a világ legnagyobb ózonos oxidációval üzemelő tisztítóműve a montreali 2.500.000 LEÉ Jean-R. Marcotte [22]

Az ózonozás mellett az elektrongyorsító a másik nagyhatékonyságú oxidációs eljárás, amit a gyakorlatban is alkalmaznak. Jelenleg még nagy

beruházási, de viszonylag alacsony üzemeltetési költséggel működnek elektrongyorsítók elsősorban Ázsiában. Dél-Koreában, Daeguban (Korea EB-Tech Co.) 2005 decemberében helyeztek üzembe egy 10.000 m³/nap kapacitással működő sugárzásos (Electron Beam, EB) kezeléssel kombinált szennyvíztisztítót. Textilszínezék-tartalmú szennyvíz visszaforgatására telepítették, és 1,06 USD/m³ teljes költséggel (1 MeV-400 kW gyorsító, évi 365 napi működéssel számolva) üzemel. Az ionizáló sugárzás keltésére elektrongyorsítót használnak. Az elektronsugár alatt vezetik el a szennyvizet filmrétegszerűen. A gyorsított elektronok behatolási mélysége az energiájuktól függ. 1–2 MeV-nál nagyobb gyorsítóenergiát általában nem alkalmaznak, így nem hatolnak nagyon mélyen a vízbe a gyorsított elektronok (néhány milliméter). Folyamatos üzemben kezelik a vizet. [23][24] A dél-kínai Jiangmen városban a Guanhua Knitting Factory napi 30 ezer m³ textilipari szennyvizének tisztítására alkalmas szennyvízkezelő rendszert hozott létre. Ehhez a kapacitáshoz 7 elektrongyorsító egységet szükséges telepíteni. [25]

A BIOLÓGIAI SZENNYVÍZTISZÍTÁSBAN REJLŐ LEHETŐSÉGEK

A szennyvíztisztító telepek többségében eleveniszapos technológia áll az üzemeltetők rendelkezésére jelenleg. A negyedik fokozat beruházási költségeit valószínűleg csak funkcionáló határértékek esetén teremti meg az ellátásért felelős. Ezért érdemes megvizsgálni, hogy a biológiai szennyvíztisztítás mennyi mikroszennyezőt képes eltávolítani, illetve a teljesítményt és az eltávolítási hatásfokot milyen technológiai változtatásokkal tudjuk növelni.

A biológiai tisztítást végző óriási, pelyhekbe rendeződött baktériumtömeg az eleveniszap. A baktériumok életben maradásukhoz, növekedésükhöz és szaporodásukhoz szükséges tápanyagokat csak korlátozott mérettartományban képesek felvenni a sejtjeikbe. Ezért a nagyobb szerves molekulákat enzimek segítségével kell feldarabolniuk, hogy a képződő kisebb molekulák bejuthassanak a sejtbe, ahol bekapcsolódhatnak a baktérium anyagcseréjébe.

Az enzimek az anyagcsere csomópontjai. Olyan fehérjék, amelyek molekulákat alakítanak át, segítve azok valamilyen irányú hasznosulását. A cél érdekében a baktériumok a sejten belülre és kívülre is termelnek enzimeket. Bármilyen enzimről legyen is szó, természetes úton kialakult kémiai vegyületekhez idomult az evolúció során. A mesterségesen előállított szerves mikroszennyezőket a mikroorganizmusok nem tudják közvetlenül lebontani, anyagcsereútjaiknak idegenek ezek a vegyületek (xenobiotikumok). Az anyagcsere folyamatai, útvonalai az evolúció során változnak. Ez fontos a mikroorganizmusok szempontjából, mert a változó körülményekhez hosszú távon csak így tudnak alkalmazkodni. Azonban a szintetikus gyógyszermolekulák nagyrészt az utóbbi évtizedekben jelentek meg, így a mikroorganizmusok korábban nem találkoztak ezekkel.

Elvértve akadnak olyan baktériumtörzsek is, amelyek az anyagcseréjükbe képesek bevonni bizonyos

gyógyszereket. Ez nagyon ritka jelenség, ráadásul ezek alkalmazása a szennyvíztisztítási technológiában nehézkes és költséges lenne.

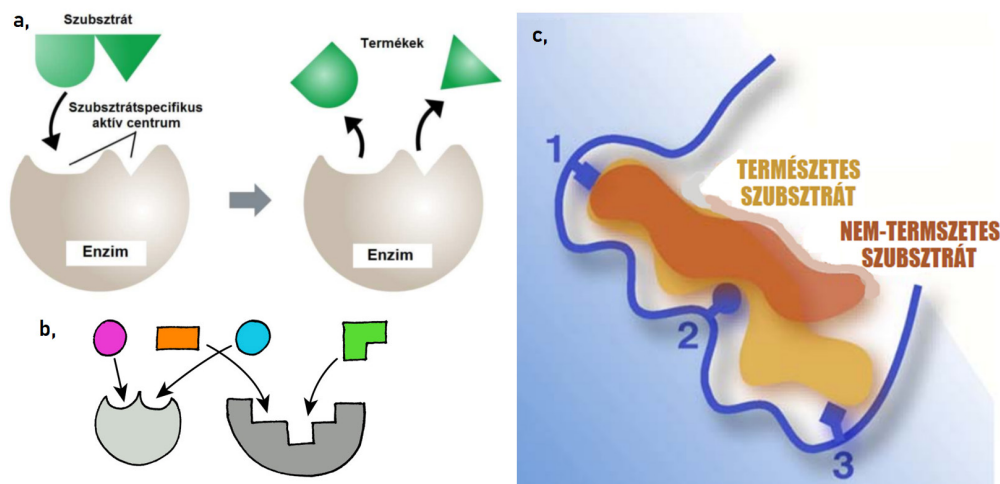
Az anyagcsere-folyamatok rugalmassága, képlékenysége bizonyos szempontból az enzimek hiányosságaihoz köthető. Az enzimek ugyanis néha hibáznak. Az enzim által irányított biokémiai átalakulás kiindulási vegyületét szubsztrátnak nevezzük. Ennek a molekulának változik meg a szerkezete, ezen fejt ki az enzim a hatását. A szubsztrát térben jól illeszkedik az enzim egy bizonyos részébe, mint kulcs a zárba. Az enzim így ismeri fel a szubsztrátját. Nagyon eltérő szerkezetű molekulát nem tudna átalakítani. Az enzimek egy része összetéveszti a szubsztrátját egy másik, hasonló szerkezetű molekulával. Ez akkor valósulhat meg, ha az enzimbe a szubsztrátja nem szorosan illeszkedik, azaz az enzim „lötyög”. Mintha a zár már kopott lenne, és a kulcs nem passzolna pontosan bele. Ez tulajdonképpen működési hibának tekinthető, de fontos evolúciós szempontból, mert az enzim későbbi repertoárja kiszélesedhet. Ez esetleg az enzim tulajdonosának, a baktériumnak az életét mentheti meg. A mikroszennyezők esetében is működhet ez a véletlenszerű átalakítás. Ezt a jelenséget kometabolizmusnak nevezzük.

A kometabolizmus során a baktérium képes megbontani egy bonyolult szerkezetű molekulát (pl. gyógyszervegyületet), ha egy egyszerű, könnyen bontható szubsztrát is a rendelkezésre áll. Ez utóbbiként sokféle molekula szóba jöhet, de legtöbbször egyszerű alkoholok (me-

tanol, etanol) vagy szerves savak (ecetsav, hangyasav), esetleg szervesen vegyületek (ammónia). A szubsztrát megdolgoztatja az enzimet, amely néha hibázik, és a bonyolult molekulát alakítja át. Az enzim csak egy kis változtatást hajt végre a molekulán, nem bontja le teljesen. Abban az esetben, ha az enzim a saját szubsztrátját bontja, a szubsztrát az anyagcserébe bekapcsolva szén- és/vagy energiaforrásként hasznosul. Ezzel szemben a kometabolizmus, a véletlenszerű átalakítás nem jár energiatermeléssel vagy egyéb hasznosítással. Ettől függetlenül a bonyolult molekula elindul a biokémiai átalakulás útján. Mint amikor az ember éppen a vasárnapi húslevesét fogyasztja, és ráharap egy borszszemre. Nem fogyasztja el, hanem visszafojt egy kis szitkozódást, és udvariasan a szalvétába törli, de ettől még a borsszem szétroppant.

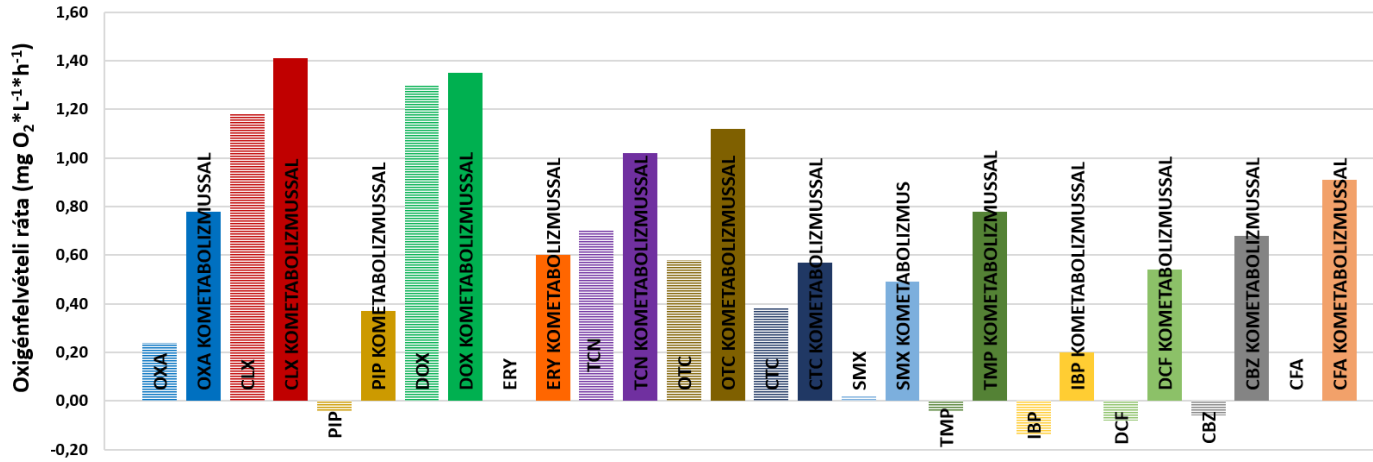
Mivel sokféle enzim képes vagy inkább hajlamos erre a véletlenszerű folyamatra, így nemcsak szerves anyagot fogyasztó (heterotróf/organotróf) szervezetek, hanem ún. autotrófok is művelik, melyeknek nem szerves anyag a szén/energiaforrásuk. A nitrogéneltávolítási ciklusból jól ismert nitrifikálók is ilyenek. [26][27]

A Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. kutatás-fejlesztési munkában foglalkozik a heterotróf mikroorganizmusok kometabolizmusával, és vizsgálja a szennyvíztisztításban betöltött szerepüket. A korábban részletezett közegészségügyi kockázatok miatt kifejezetten gyógyszermaradványokra koncentrálnak.



4. ábra: Az enzim és a szubsztrát találkozási. a, A szubsztrát kapcsolódik az enzimhez, és az enzim segíti az átalakulását. b, Az enzim-szubsztrát kapcsolódás specifikus, az enzim csak olyan szubsztrátot képes magához kapcsolni, amely illeszkedik a térbeli szerkezetébe. c, „Löttyög” enzimek: a saját szubsztrátja helyett elfogad egy hasonló szerkezetű, de nem pontosan azonos molekulát (például egy gyógyszermolekulát). Az eredmény véletlenszerű reakció (kometabolizmus)

KOMETABOLIZMUS (BIOMASSZA = ELEVENISZAP; SZUBSZTRÁT = ELŐÜLEPÍTETT SZENNYVÍZ DESZTILLÁTUM)



A gyógyszerek biológiai bonthatóságát a legegyszerűbben légzésintenzitás-vizsgálatokkal követhetjük nyomon. A légzésintenzitást az oxigénfelvételi rátával (Oxygen Uptake Rate, OUR) számszerűsíthetjük, amely a biomassza (eleveniszap vagy biofilm) metabolikus aktivitását tükrözi. A vizsgálatot oxigénelektóddal végeztük el, és az eredményeket mg O₂*L⁻¹*h⁻¹ formában adtuk meg. Minél nagyobb a légzésintenzitás, annál nagyobb az anyagcsere-aktivitás. Ezen keresztül következtethetünk a vizsgált szerves anyag biológiai bonthatóságára. A kometabolizmus úgy vizsgálható, hogy megmérjük a gyógyszer és a szubsztrát által okozott légzésintenzitást külön-külön és egyben is. Ha az együttes adagolás során nagyobb légzésintenzitási értéket kapunk, mint a külön mérték összesítésével, akkor a kometabolizmus működik:

$$OUR_{\text{gyógyszer}} + OUR_{\text{szubsztrát}} < OUR_{\text{gyógyszer+szubsztrát}}$$

Ha az együtt mért érték és az összesített között nincs különbség, akkor kometabolizmus nem jellemző az adott gyógyszer esetében:

$$OUR_{\text{gyógyszer}} + OUR_{\text{szubsztrát}} = OUR_{\text{gyógyszer+szubsztrát}}$$

14 gyógyszervegyületet esetében vizsgáltuk a jelenséget: eritromicin (ERY), oxacillin (OXA), trimethoprim (TMP), piperacillin (PIP), kloxa-

5. ábra: Különböző gyógyszerek kometabolizmus eleve-niszap-oltóanyaggal, előülepitett szennyvíz-desztillátum adagolása mellett (vak értékkel korrigált)

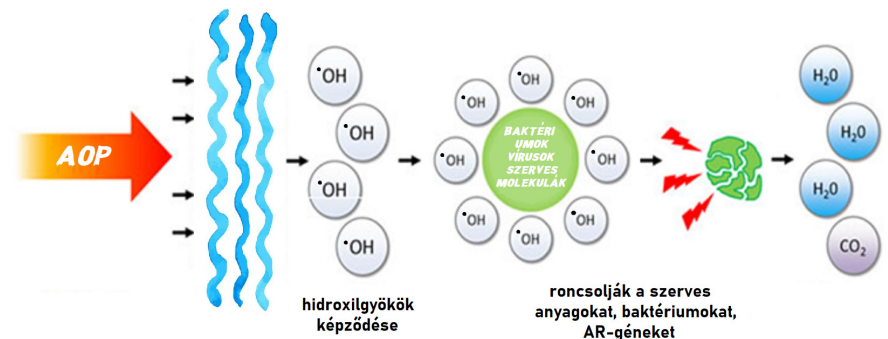
cillin (CLX), tetraciklin (TCN), oxitetraciklin (OTC), klórtetraciklin (CTC), doxiciklin (DOX), szulfametoxazol (SMX), diclofenák (DCF), ibuprofen (IBP), klofibrinsav (CFA), karbamezepin (CBZ). Szubsztrátként az előüle-pített szennyvíz desztillátumát használtuk. Az előülepitett szennyvízben az anaerob (oxigénmentes) bomlás során egyszerű szerves savak és al-koholok képződnek, főként ecetsav. A desztillátum a szennyvíz illósav-tartalma, amelyben a szubsztrátot dúsítjuk fel a kometabolizmushoz a desztillációval. Az oltóanyag, vagyis a vizsgált baktériumkultúra az eleve-niszap volt. Az 5. ábrán látható a légzéstesztek eredménye. Egy szín egy gyógyszert jelöl. Minden vegyülethez két oszlop tartozik azonos színnel, de eltérő mintázattal. A sávozott oszlop a gyógyszer és a szubsztrát kü-lön-külön mért légzésintenzitásának az összege. A telített oszlop az együttes adagolás során mért légzésintenzitás. Minden gyógyszervegyület ese-tében nagyobb a légzésintenzitása az együttes adagolásnak, azaz a telített oszlop mindig na-gyobb a sávozottnál, a kettő közötti különbség változó. Tehát a kometabolizmus változó intenzi-tású. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a kometabolizmus az összes tesztelt gyógyszer-vegyület esetében működő jelenség. Egy másik kísérlet során nagyhatékonyágú folyadékkro-

matográfia (HPLC) vizsgálatokkal számszerűsítettük is a kometabolizmus hatékonyságát, vagyis a gyógyszer-koncentráció változását. Ebben az esetben egy speciális denitrifikáló biofilmkultúrát tápláltunk metanollal, és a közegben jelenlévő diclofenák (DCF, nemszteroid gyulladáscsökkentő, fájdalomcsillapító) koncentrációváltozását mértük a légzésintenzitás mellett. A biomassza metanolhoz szokott, mivel a napi gyakorlatban ez szolgál szervesanyag-forrásként a denitrifikációhoz (a nitrogéneltávolítás utolsó lépcsője) a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepen. A mért 0,59 mg O₂/ mg DCF oxigénfogyasztás és a gyógyszerfogyás arányából kiol-vasható, hogy az oxidáció nem teljes. A teljes oxidációhoz 2,32 mg O₂/ mg DCF-arány szükséges elméleti számítások alapján. Ez nem meglepő, mert a kometabolizmus valóban csak részleges bontást jelent. Félüzemi kísérletek alapján a kometabolizmus hatékonysága ennél a kultúránál 420±100 µg DCF*g⁻¹ biomassza*nap⁻¹. Ez a jelenség nemcsak ülepitett nyers szennyvízzel, hanem csurgalékvizekkel is működik.

A NAGYHATÉKONYSÁGÚ OXIDÁCIÓS ELJÁRÁSOK HASZNOSÁGÁRÓL

A nagyhatékonyágú oxidációs eljárások közös sajátossága, hogy ag-resszív gyökök, főként hidroxilgyökök (·OH) indítják el az átalakuláso-kat. A legismertebb eljárások: ózonozás, ózon és ultraibolya sugárzás (UV) kombinációja, hidrogén-peroxid és UV, fentonreakció, foto-fenton reakció, ultrahang alkalmazásán alapuló reakciók (szonokémia), ionizá-ló sugárzás (gamma-sugarak, elektrongyorsító).

6. ábra: A nagyhatékonyágú oxidációs technológiák (Advanced Oxidation Processes, AOPs) le-egyszerűsített működési elve (AR-gének: antibiotikumrezisztencia-gének). A folyamat végén, az ábra jobb oldalán feltüntetett szén-dioxid- és vízmolekulák a teljes mineralizáció (ásványosodás) lehetőségét mutatják. Ez nem feltétlenül magának az AOP-nak a közvetlen eredménye, inkább azt jelenti, hogy a roncsolt szerkezetű molekulák már biológiai úton lebomlanak a környezetben



A gyökök gyakran olyan oxigén-, nitrogén-, kén- vagy szénköz-pontú molekulák, molekulárszettek, amelyek elektronszerzés céljából nagyon gyorsan lépnek kémiai reakcióba más vegyületekkel. Tulajdonképpen megtámadnak más molekulákat. A biológiailag nem vagy nehezen bontható szerves molekulák szerkezetét képesek megbontani, roncsolni, így közvetve sejtrongáló, örökítőanyag-károsító hatásuk is van. Tehát az antibiotikum-rezisztencia elleni küzdelemben két fronton vívhatunk csatát e technológiák segítségével. Egyrészt a gyógyszer-molekulák szerkezetét megbontva azok nemcsak élettani aktivitásukat veszítik el, hanem megszűnik a rezisztencia kialakulásához szükséges modellszerepük. Nem tudnak a baktériumok hozzászokni a jelenlétükhöz. Másrészt az antibiotikumrezisztencia-géneket (AR-gének) is tönkreteszik, illetve a rezisztens baktériumokat elpusztítják (6. ábra).

A szerves molekulákat az alkalmazott dózistól függő mértékben roncsolják az AOP-k. Megfelelően nagy dózisonál nagyon egyszerű szerkezetű szerves molekulák (pl. szerves savak) és szervesetlen molekulák (pl. ammónia, nitrát, szulfát) képződnek. Ezek az egyszerű molekulák már fogyaszthatók a baktériumok számára, az anyagcsereutakon szén- és energiaforrásként hasznosulhatnak. Mindemellett a kometabolizmust is segítik, mert az egyszerű szerves savak hajtómotorként szolgálnak olyan enzimek működéséhez, melyek véletlenszerűen megváltoztathatják a gyógyszer-molekulák szerkezetét.

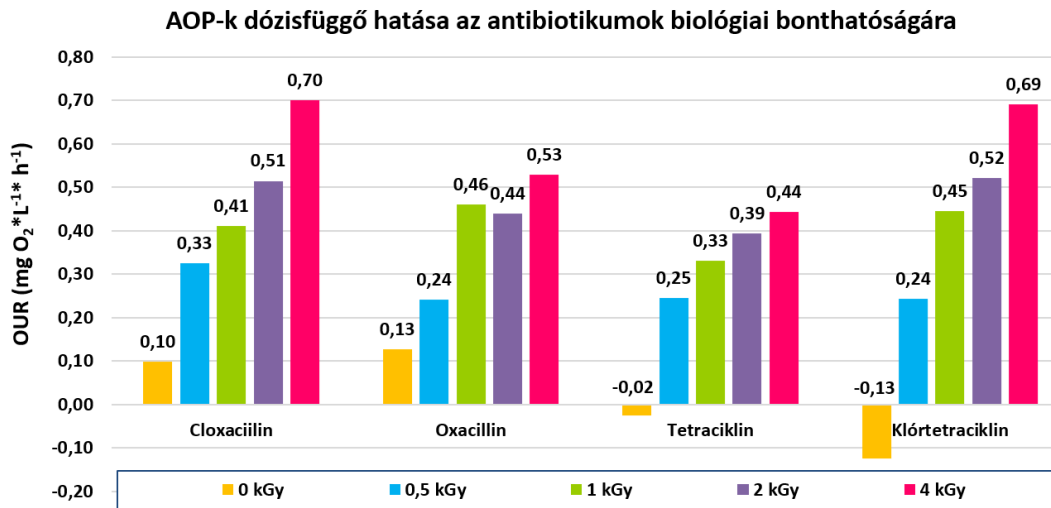
Az AOP-k biológiai bonthatóságra és kometabolizmusra gyakorolt hatását is vizsgáltuk. A modellezésére használt γ -radiolízis-kísérleteket az Izotóp Intézet Kft. tulajdonában lévő SLL-01 típusjelzésű, panoráma típusú Co^{60} γ -sugárforrással végeztük, 0,5-1-2-4 kGy dózist alkalmazva.

Négy gyógyszer (OXA, CLX, TCN, CTC) desztillált vizes oldata biológiai bonthatóságának változását, vagyis szubsztrát-

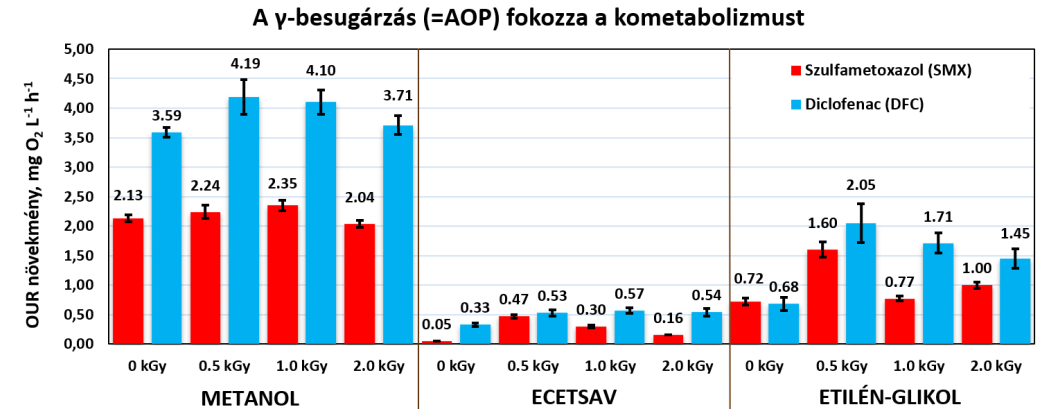
ként való hasznosulását követhetjük nyomon légzéstartezekkel. A 7. ábrán jól látható, hogy jelentős légzésintenzitás-növekedést mértünk minden alkalmazott dózisonál, és a bonthatóság az alkalmazott dózissal nőtt. A kezeletlen minták közül (0 kGy) a klórtetraciklin kifejezetten gátolta az eleveniszap normál aktivitását ($-0,13 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$), de ez a gátlás már a legkisebb alkalmazott dózisonál (0,5 kGy) eltűnt, és légzésintenzitás-növekedést mértünk ($0,24 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

A besugárzás (0; 0,5; 1; 2; 4 kGy) hatását a kometabolizmusra SMX és DCF esetén vizsgáltuk. Az eredmények a 8. ábrán láthatók, ahol az oszlopok a növekményt jelenítik meg, vagyis azt a változást, amelyet a kezeletlen/kezelt gyógyszer adagolása eredményez a szubsztrát önálló adagolásánál mérthez képest (szubsztrátlégzés). Szubsztrátként az enzimek megdolgoztatására metanolt, ecetsavat és etilén-glikolt használ-

8. ábra: A légzésintenzitás változása besugárzás hatására szulfametoxazol és diklofenák esetén, metanol, ecetsav, illetve etilén-glikol adagolása mellett. Az oszlopok a szubsztrátlégzéshez viszonyított növekményt jelenítik meg. Kezeletlen (0 kGy) DCF esetében a gyógyszer hatására működő kometabolizmus $3,59 \text{ mg O}_2^{-1} \text{ h}^{-1}$ légzésintenzitás-növekedést eredményez a metanol önálló adagolásánál mérthez képest (= szubsztrátlégzés) [28]



7. ábra: A γ -radiolízissel (0; 0,5; 1; 2; 4 kGy) kezelt gyógyszerek biológiai bonthatóságának változása. Vakkal (a biomassa önálló légzése) korrigált értékek



tunk. A vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a kezeletlen mintákat önmagában a baktériumkultúra nem volt képes bontani ($0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, azaz nem volt anyagcsere-aktivitás; ez nem szerepel az ábrán), míg szubsztrát jelenlétében (rendre ecetsav, etilén-glikol, metanol) a légzésintenzitás növekedett (SMX: $0,05 - 0,72 - 2,13 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$; DCF: $0,33 - 0,68 - 3,59 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Mindkét gyógyszervegyület lebontásánál a metanol bizonyult a leghatékonyabbnak.

Besugárzás hatására is javult a biológiai hozzáférhetőség mindkét gyógyszernél, a dózis növelésének függvényében. 0,5; 1,0 és 2,0 kGy elnyelt dózisonál az SMX esetében $0,16; 0,27$ és $0,35 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, míg a DCF esetében $0,01; 0,14$ és $0,31 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ oxigénfogyasztás-növekedést mértünk.

A két módszer kombinálása során azt tapasztaltuk, hogy a kooxidáció hatékonyságát a besugárzás képes fokozni 0,5 kGy dóziséig (ecetsav, etilén-glikol, metanol sorrendben; SMX: $0,47 - 1,60 - 2,24 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$; DCF: $0,53 - 2,05 - 4,19 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$), nagyobb dózisonál már nem tapasztaltunk javulást. A kezelés azonban nem metanol esetében hozta a legnagyobb javulást. A szulfametoxazolhoz adagolt ecetsav közel tízszeres, a diklofenákhoz kevert etilén-glikol háromszoros légzésintenzitást eredményezett az önálló kometabolikus hatáshoz viszonyítva.

Metanollal a kezelés hatása alig kimutatható (SMX: 2,13-ról 2,24 mg O₂ L⁻¹ h⁻¹-re; DCF 3,59-ről 4,19 mg O₂ L⁻¹ h⁻¹-re). (8. ábra)

A kísérletek során bebizonyosodott, hogy ugyan a γ-sugárzással végzett kezelés önmagában is képes biológiailag hozzáférhetővé tenni a gyógyszervegyületeket, a kometabolizmussal azonban a biológiai átalakulás jelentősen fokozható. Az eredmények alapján a AOP-k alkalmazása a – természetes folyamatok intenzifikálásán alapuló – kometabolizmussal sikeres fejlesztési útvonal lehet a szerves mikroszennyezők eltávolításában. [28]

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerves mikroszennyezők eltávolítására sok új technológiai lehetőség nyílt meg az elmúlt egy-két évtizedben. A hatékony eltávolításuk a szennyvízből negyedik tisztítási fokozat kiépítésével érhető el. Ebben Svájc és Németország járt élen, ahol a hagyományos biológiai szennyvíztisztítási technológiák kiegészítőjeként első alkalommal 2014-ben, illetve 2015-ben helyeztek üzembe negyedik tisztítási fokozatot. A tisztítási hatások, a beruházási és üzemeltetési költségek, valamint az energiaigény figyelembevételével az ózonozás és az aktív szénen történő adszorpció tekinthető nagyüzemi méretekben is megvalósítható megoldásnak jelenleg, de biztatók az első gyakorlati eredmények az ionizáló sugárzás keltésére használt elektrongyorsítókkal.

A negyedik fokozat kiépítése és üzemeltetése mindenképpen költségnövekedést jelent egy szennyvíztisztító üzem számára. Jelenleg nincs létjogosultsága a BAT (Best Available Techniques; legjobb elérhető technológia) szerinti technológiáknak. Valószínűleg nem a bevetendő technológiák hiánya okoz problémát a jövőben, hiszen hatékonyan működtethetők például a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások, hanem az általuk megnövelt szolgáltatási díjak. Effektíve bármit el lehet távolítani a szennyvízből, de a fogyasztóknak meg kell fizetni az árát.

A mikroszennyezők közül kiemelt jelentőséggel bírnak a gyógyszermaradványok. Jelentőségük nemcsak a felhasznált mennyiségük miatt nagy, hanem komoly népegészségügyi kockázatot is hordozhatnak bizonyos gyógyszerfajták. Az antibiotikumok mennyisége ahhoz kevés a szennyvízben (ng, ill. µg*L⁻¹), hogy a szennyvíz baktériumait elpusztítsák, vagy szaporodásukat gátolják. Ugyanakkor a rezisztencia kialakulásához ez a közeg kedvező, így a kórházak mellett a szennyvíztisztító telepek is forró pontjai az ún. multirezisztens törzsek kialakulásának.

A másik fontos faktor az, hogy ún. horizontális génátadással képesek egymással megosztani az antibiotikumrezisztencia-géneket. A génátadásnak annál nagyobb a valószínűsége, minél több baktérium található egy helyen, így a nyers szennyvíz milliliterenkénti 10⁶-10⁸ CFU baktériumtömege megfelelő közegnek tekinthető.

Biológiailag csupán néhány mikroszennyező, illetve gyógyszermolekula bontható csak metabolikusan, azaz oly módon, hogy az anyagcserében valóban felhasználható (energia formájában, vagy szénként beépül). Ez ritka jelenség, nem jellemző a szennyvíztisztító rendszerek mikroorganizmus-közösségére. Azonban a gyógyszerek többségének molekulaszervezete valószínűleg véletlenszerű enzimreakciók (kometabolizmus) segítségével hozzáférhető. Ez ugyan csak részleges oxidációt jelent, és nem a molekula teljes lebontását, mégis elindulhat ezeknek a bonyolult szerkezetű molekuláknak a biológiai átalakulása. Így komoly beruházások nélkül is tudunk a mikroszennyezők eltávolításáért, ha a kometabolizmusban közreműködő baktériumcsoportokat (pl. nitrifikálók, metilotrófok) képesek vagyunk megdolgoztatni. Minél inkább dolgozik egy enzim, annál nagyobb a véletlenszerű reakciók (kometabolizmus) valószínűsége. A nitrifikáló baktériumokat hosszú tartózkodási idővel, a denitrifikációban is jeleskedő metilotróf baktériumokat pedig metanoladagolással vehetjük rá a kometabolizmusra. Azonban az eleveniszap általánosságban is képes erre egyszerű szerves savakban gazdag vizek (előülepitett szennyvíz, csurgalékvizek) hasznosításával.

A nagyhatékonyságú oxidációs eljárások bevezetése több szempontból kedvező lehet a megemelkedett költségek ellenére is. A biológiailag nem vagy nehezen bontható szerves molekulák szerkezetét képesek megbontani, roncsolni az alkalmazott dózistól függő mértékben. A képződő egyszerű szerves és szeretlen molekulák már hasznosíthatók a baktériumok számára, mindemellett a kometabolizmust is segítik, mert hajtómotorként szolgálnak olyan enzimek működéséhez, amelyek véletlenszerűen megváltoztathatják a gyógyszermolekulák szerkezetét. Mivel az eljárások során képződő reaktív gyökök a komplex szerves molekulákat hasítják, így közvetve sejtrongáló, örökítőanyag-károsító hatásuk is van. Tehát az antibiotikum-rezisztencia elleni küzdelemhez valószínűleg nélkülözhetetlenek lesznek, mivel megbontják a gyógyszermolekulákat, az antibiotikumrezisztencia-géneket (AR-géneket) is tönkreteszik, illetve a rezisztens baktériumokat elpusztítják.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Zenker A., Cicero M.R., Prestinaci, F., Bottoni, P., Carere, M. (2014): Bioaccumulation and biomagnification potential of pharmaceuticals with a focus to the aquatic environment. *Journal of Environmental Management* 133, 378–387.
- Méhi, O. (2019): Már egy generáción belül katasztrofális következményei lehetnek az antibiotikum-rezisztenciának. Forrás: tudomany.hu/cikkek/mar-egy-generacion-belul-katasztrofalis-kovetkezmenyei-lehetnek-az-antibiotikum-rezisztencianak-109742
- Lord Jim O'Neill's independent antimicrobial resistance (AMR) review: amr-review.org
- Gajdács, M. (2019): Pánrezisztens kórokozók által okozott többlethalalozás: mi áll valójában a szakirodalomban? *Egészségfejlesztés*, 60 (2). pp. 29–35. ISSN 1786-2434
- Faigl, F. (szerk.), Szeghy, L., Kovács, E., Mátravölgyi, B. (2011): *Gyógyszerek. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Typotex Kiadó.* pp. 207–210.
- Furuya, E. Y., & Lowy, F. D. (2006): Antimicrobial-resistant bacteria in the community setting. *Nature Reviews Microbiology*, 4(1), 36–45.
- Enders, G. (2017): *Bélügyek – A belek csodálatos világa és a jó emésztés. Park Könyvkiadó.* pp. 149–155.
- Ju, F., Beck, K., Yin, X., Maccagnan, A., McArdell, C. S., Singer, H. P., Johnson, D. R., Zhang, T., Bürgmann, H. (2018): Wastewater treatment plant resistomes are shaped by bacterial composition, genetic exchange, and upregulated expression in the effluent microbiomes. *The ISME Journal*. doi: 10.1038/s41396-018-0277-8
- Wang, J., Chu, L., Wojnárovits, L., & Takács, E. (2020): Occurrence and fate of antibiotics, antibiotic resistant genes (ARGs) and antibiotic resistant bacteria (ARB) in municipal wastewater treatment plant: An overview. *Science of the Total Environment*, 140997.
- Sorgen, A., Johnson, J., Lambirth, K., Clinton, S. M., Redmond, M., Fodor, A., & Gibas, C. (2021): Characterization of environmental and cultivable antibiotic-resistant microbial communities associated with wastewater treatment. *Antibiotics*, 10(4), 352.
- Heß, S., Lüddecke, F., & Gallert, C. (2016): Concentration of facultative pathogenic bacteria and antibiotic resistance genes during sewage treatment and in receiving rivers. *Water Science and Technology*, 74(8), 1753–1763.
- Xu, Y., Yuan, Z., Ni, B.J. (2016): Biotransformation of pharmaceuticals by ammonia oxidizing bacteria in wastewater treatment processes. *Science of the Total Environment* 2016 566-567, 796–805.
- Záray, Gy. (2018): *Gyógyszermaradványok a felszíni vizekben. Magyar Tudomány*, 2018/9.
- BM-közlemény Magyarország felülvizsgált, 2015. évi vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről. A 2015. december 22-én közzétett „A Duna-vízgyűjtő magyarországi része VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV – 2015” dokumentumának összefoglaló rövidített változata. Forrás: net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A16K0142.BM&xtreferer=00000001.TXT
- ÁNTSZ (2016): *Módszertani levél a multirezisztens kórokozók által okozott fertőzések megelőzéséről.* Forrás: www.antsz.hu
- Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., Alencastro, L. F., Abegglen, C., Thonney, D., Chèvre, N., Schärer, M., Barry, D. A. (2013): Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? *Science of the Total Environment* 461–462. (2013), 480–498.
- Joss, A., Scharer, M., Abegglen, C. (2015): *Micropollutants: the Swiss strategy*. 2nd GF Water Technology Summit. www.water2020.eu
- Wunderlin, P. (2017): *Micropollutants in municipal wastewater: removal strategy in Switzerland.* www.unep.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/WAT/05May_04-05_Protocol_SDG_and_9th_TFTSR/presentations/11.Switzerland_Wunderlin.pdf
- Eawag: *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (2016): Swiss strategies and results from advanced wastewater treatment. ESAMUR XII Technical Conferences, Murcia, 9–10 Nov 2016*

20. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (2019): The Swiss approach in reducing micropollutants in wastewater. STOWA Workshop: Beating micropollutants in WWTPs, Nov. 5 2019, Aquatech Expo RAI, Amsterdam, NL
21. www.aquastrategy.com/article/switzerlands-progress-micropollutants-sewage
22. Cimbritz, M. (2016): International "state of the art" of eliminating pharmaceutical residues by wastewater treatment. Water and Pharmaceuticals – insights and perspectives for health and environment – 12–13. April, 2016 in Uppsala

23. nkfih.gov.hu/hivatalrol/otka-kiadvanyok/gyogyszermaradvanyok
24. atdi.uni-obuda.hu/sites/default/files/takacs-erzsebet-a-nagyenergiaju-sugarzas-gyakorlati-alkalmazasai-az-anyagtudomany-teruleten-2014-04-23.pdf
25. CGN Dasheng (2020): World's Largest Industrial Wastewater Treatment Project. Forrás: www.cgndea.com/worlds-largest-industrial-wastewater-treatment-project
26. Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., Wang, X. C. (2014): A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Science of the Total Environment, 473–474., 619–641.

27. Bezesenyi, A., Sági, Gy., Bodáné Kendrovics, R., Bakosné Diószegi, M., Makó, M., Palkó, Gy., Wojnárovits, L., Takács, E. (2019): Kometabolizmus: Mikrobiológiai segítség a gyógyszermaradványok szennyvízből való eltávolításához. MASZESZ HÍRCSATORNA, 4 pp. 11–37. (2019)
28. Bezesenyi, A., Sági, G., Makó, M., Palkó, G., Tóth, T., Wojnárovits, L., Takács, E. (2019): The effect of combined cometabolism and gamma irradiation treatment on the biodegradability of diclofenac and sulfamethoxazole. Radiation Physics and Chemistry, 108642.

Komplett megoldások

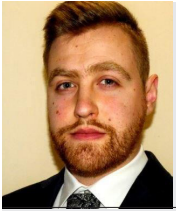
- ▶ Vegyszeradagolás
- ▶ Mérés - és szabályozás technika
- ▶ Vízkezelés



További információkért kérjük, látogassa meg weboldalunkat:
www.prominent.hu vagy hívjon minket az alábbi telefonszámon: +36 96 /511-400



ProMinent®



**BÁBA
BARNABÁS**
Technológus
ALFÖLDVÍZ Zrt.

baba.barnabas@alfoldviz.hu

KIVONAT A szennyvíztisztító telepek üzemeltetése legtöbbször gyakorlati, tapasztalati úton történik. Bevált módszerek kibővítésére lehet segítség a szennyvíztisztítás folyamatának biokinetikai összefüggéseken alapuló leírása Metcalf és Eddy „Wastewater engineering” című könyve alapján. A hatékony üzemállapot elérése manapság hosszadalmas folyamat, melynek segítségével a szennyvíztisztítási technológiák biokinetikai ellenőrzése egy gyors, jó közelítő megoldást jelentene, gondolva itt a hatékony iszapkoncentrációk, a naponta képződő iszapmennyiség vagy éppen az optimális fázisidők kiszámítására. Az előadásomban részletes számításokat mutatok be különböző hőmérsékletek függvényében, majd ezek gyakorlati hasznának alátámasztására egy kiegyenlítő medencével rendelkező technológiát is ismertetek példaként. A példaként felhozott telepen az ülepedés folyamatát is vizsgáltam. A kapott eredmények alapján olyan következtetésekre lehetett jutni, melyek csak költséges laboratóriumi vizsgálatok sorozatával lettek volna utolérhetőek. Meggyőződésem, hogy a biokinetika más hasonló szakaszos üzemű, de akár folyamatos üzemű telepek esetén is megbízható segítséget nyújtana az üzemeltetés, de akár a vízjogi létesítési engedélyes tervek véleményezése során, a kivitelezés megkezdése előtt egyaránt.

KULCSSZAVAK SBR, biokinetika, hatékony iszapkoncentrációk, naponta képződő iszapmennyiség, optimális fázisidők, ülepedés vizsgálat, üleptítettiszap-koncentrációk

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

Szakaszos üzemű szennyvíztisztító telepek hatékonyságának biokinetika szerinti üzemeltetési ellenőrzése

1. BIOLÓGIAI SZENNYVÍZTISZTÍTÁS SZAKASZOS ÜZEMŰ TELEPEKEN

Manapság egy mérnök számos jól kidolgozott megoldást alkalmazhat szakaszos üzemű szennyvíztisztító telepek esetén, mind tervezési, mind pedig ellenőrzési oldalról. A két meghatározó oldal viszont rendelkezik közös metszettel és az abba tartozó szempontokkal. Kiindulásként mindenképpen szükség van a laborvizsgálatok szerinti monitoringozásra, mely alapján megkapjuk a befolyó szennyvíz mennyiségét és minőségét. Ezt követően szükség van a biológiai lebontáshoz nélkülözhetetlen biológiareaktor-térfogatokra, a bennük lévő, szennyvíztisztításért felelős eleveiszap-tömegre, a szervesanyag-lebontás és a nitrifikáció folyamatot meghatározó oldottoxigén-koncentrációra, valamint a lebontási folyamatokért felelős fázisidők felvételére. Ezen összetevőket követően az elfolyó szennyvízminőségi értékekre lehet következtetni, melyeknek az előírt jogszabályokban foglalt paraméterértékeknek kell megfelelniük.

2. ESETANULMÁNY SZENNYVÍZ TISZTÍTÓ TELEP VIZSGÁLATÁNAK BEMUTATÁSÁRA

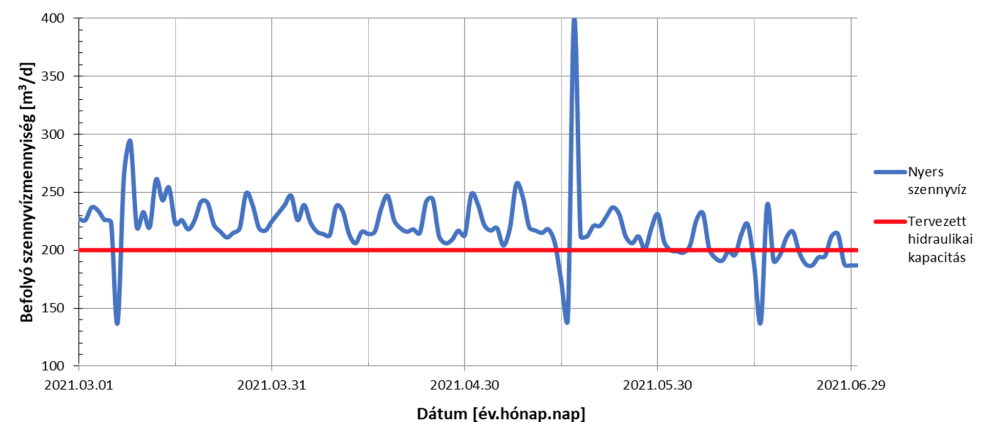
A szennyvíztisztító telep Békéscsámsón község területén keletkező, zömmel kommunális eredetű szennyvíz elvezetésére és tisztítására épült technológia próbaüzeme 2014-ben indult el. Az SBR-technológia az átfolyósos eleveiszapos technológiát szakaszos



1. ábra: Békéscsámsóni szennyvíztisztító telep

üzemben valósítja meg. Minden technológiai folyamat egy műtárgyban zajlik le. A technológiához egy gépi rács, kiegyenlítő, iszapsűrítő és iszapvíztelenítő gép, valamint egy fertőtlenítő műtárgy tartozik. A telep mértékadó kapacitása 200 m³/d.

A telepre beérkező nyers szennyvíz mennyisége az idő függvényében



2. ábra: A telepre beérkező nyers szennyvíz mennyisége az idő függvényében

3. VIZSGÁLANDÓ PROBLÉMÁK

A telepre beérkező nyers szennyvíz 2021. március elejétől egészen június végéig meghaladta a tervezett 200 m³/d mennyiséget.

A jelentős mennyiségű többletszennyvíz miatt a telepen található kiegyenlítő medence „vész-max” szintjének elérésekor a folyamatirányítás átváltott záporciklusra. A záporciklus rövidített fázisidőinek mint a ciklusidőn belüli egyes fázisok hosszának köszönhetően a befolyó szennyvízminőség határértékre történő lebontása nem minden esetben történt meg, a labormérések több alkalommal is határérték-túllépést mutattak elfolyó ammóniumion-koncentráció tekintetében, melynek határértéke a telepre vonatkozóan 10 mg/l.

A fennálló problémák kiküszöbölése az optimális szárazidei fázisidők és a naponta képződő iszapmennyiség kiszámítására volt szükség, melyet fölösiszap formájában veszünk el a reaktorokból. Így elengedhetetlen volt az iszapülepedés üzemeltetői gyakorlatnál részletesebb vizsgálata, melyből a besűrűsödött reaktor alján lévő ülepitettiszap-koncentrációt lehetett meghatározni. A hatékony lebontások érdekében pedig a hőmérséklet függvényében kellett meghatározni az optimális iszap-koncentrációk értékét.

4. REAKCIÓIDŐK (FÁZISIDŐK) KISZÁMÍTÁSA SZERVESANYAG-LEBONTÁS FOLYAMATA LEVEGŐZTETÉS HATÁSÁRA

A reakcióidő alatt a szakaszos kinetika érvényes. A szubsztrátum koncentrációja kezdetben sokkal magasabb, mint egy hagyományos folyamatos üzemű telep esetén, így a tápanyag fokozatosan csökken, mivel a biomasza elfogyasztja azt. A tápanyag koncentrációjának időbeli változása a tápanyagmérték kiindulásával határozható meg.

$$\frac{ds}{dt}V = QS_0 - QS + r_{su}V$$

Mivel a befolyó szennyvíz mennyisége nulla a reakcióidő alatt, a szubsztrátumkoncentráció:

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)}$$

Az egyenlet integrálását követően megkapjuk az idő szerinti hozamok- ra való összefüggést:

Dátum [év.hónap.nap]	NH ₄ -N [mg/l]
2021.03.10	18
2021.03.23	32
2021.04.12	61
2021.04.27	81
2021.05.10	57
2021.05.25	57
2021.06.09	42
2021.06.18	40
2021.06.22	29

3. ábra: Elfolyó tisztított szennyvíz ammóniumion értékei

ahol

DO = oldottoxigén-koncentráció, [g/m³]

K₀ = oxigén feltelítési állandója heterotróf baktériumok esetén, [g/m³]

AMMÓNIUMÁTALAKÍTÁS FOLYAMATA

Ugyanez az egyenlet vonatkozik a nitrifikációra, ahol az iszapkoncentráció (X) helyébe a nitrifikáló biomasza iszapkoncentrációja (X_n) lép, a szerves tápanyag helyére ammónium-nitrogén (NH₄-N).

$$K_n \ln \frac{N_0}{N_t} + (N_0 - N_t) = X_n \frac{\mu_{nm}}{Y_{nm}} t$$

ahol

N₀ = a kezdeti ammónium-nitrogén-koncentráció t = 0 pillanatban, [g/m³]

N_t = ammónium-nitrogén-koncentráció egy adott időpillanatban, [g/m³]

X_t = nitrifikáló biomasza-koncentráció, [g/m³]

$$K_s \ln \frac{S_0}{S_t} + (S_0 - S_t) = X \frac{\mu_m}{Y_m} t$$

ahol

S₀ = a kezdeti szerves tápanyag-koncentráció t = 0 pillanatban, [g/m³]

t = idő, d

S_t = szerves tápanyag-koncentráció egy adott időpillanatban [g/m³]

A heterotróf baktériumok maximális fajlagos szaporodási sebességét befolyásolja az oldott oxigén-koncentráció, tehát ezeket az összefüggéseket mutatják az alábbi egyenletek:

$$K_s \ln \frac{S_0}{S_t} + (S_0 - S_t) = X \frac{\mu_m}{Y_m} \frac{DO}{K_0 + DO} t$$

A nitrifikáló és heterotróf baktériumok maximális fajlagos szaporodási sebességét befolyásolja az oldott oxigén-koncentráció, tehát ezeket az összefüggéseket mutatja az alábbi képlet:

$$K_n \ln \frac{N_0}{N_t} + (N_0 - N_t) = X_n \frac{\mu_{nm}}{Y_{nm}} \frac{DO}{K_0 + DO} t$$

ahol

DO = oldott oxigén-koncentráció, [g/m³]

K₀ = oxigén feltelítési állandója nitrifikáló baktériumok esetén, [g/m³]

A fenti szakaszos kinetikai egyenletek felhasználhatóak annak a meghatározására, hogy a szakaszos üzemű telepek fázisidejét meghatározzuk az elegendő lebontás érdekében. Először az általános tömegmérleget lehet felállítani, feltételezve, hogy egy bizonyos mennyiségű tápanyag eltávolítására kerül sor, és abból meghatározásra kerül az egyenletekben felhasználható biomasza-koncentráció. Az oldott szerves anyag eltávolításához szükséges idő viszonylag rövid, kevesebb mint 1 óra alatt végbemegy. Viszont ahhoz, hogy a teljes nitrifikáció végbemehessen, ami közelíti a 0,5 mg/l-es értéket, az aerob levegőztetési időt 1 és 3 óra közé kell állítani (WEF,1998). A folyamatos üzemű telepekkel szemben ugyanaz az alkalmazott iszapkor a szakaszos üzemű rendszerek esetében várhatóan hatékonyabb lesz a kinetikájának köszönhetően.

NITRÁTLEBONTÁS FOLYAMATA

Hasonló összefüggés vonatkozik a nitrátlebontás folyamataira, ahol az iszapkoncentráció (X), viszont a szerves tápanyag helyére a nitrát-nitrogén lép. (NO₃-N)

$$K_s \ln \frac{N_0}{N_t} + (N_0 - N_t) = X \frac{\mu_m}{Y_m} t$$

ahol

N₀ = a kezdeti nitrát-nitrogén-koncentráció t = 0 pillanatban, [g/m³]

N_t = nitrát-nitrogén-koncentráció egy adott időpillanatban, [g/m³]

X = heterotróf biomasza-koncentráció, [g/m³]

A heterotróf baktériumok nitrátlebontási sebességét is befolyásolja az oldott oxigén-koncentráció, tehát ezeket az összefüggéseket mutatja az alábbi képlet:

$$K_n \ln \frac{N_0}{N_t} + (N_0 - N_t) = X \frac{\mu_m}{Y_m} \frac{K_o}{K_o + DO} t$$

ahol

DO = oldottoxigén-koncentráció, [g/m³]

K₀ = oxigén féltelítési állandója heterotróf baktériumok esetén, [g/m³]

Annak érdekében, hogy a biológiai szennyvíztisztítás szakaszos üzemű szennyvíztisztító telepek esetén a leghatékonyabb legyen, elengedhetetlen a jól felvett és beállított fázisidők meghatározása szárazidei időszakokra. Kezdetben az optimális ciklusszámot kellett meghatározni, mely mindkét üzemelő reaktorra érvényes, tehát el kellett dönteni, naponta mennyi ciklus induljon. Mivel a korábbiakban bemutatott problémák álltak fent a telepen, így a feladások számát mindenképpen növelni kellett, valamint figyelembe kellett venni, hogy ne jelentkezzen naponta „holtidő” további problémaként. Végül a naponta 5 ciklus elérése volt a cél reaktoroként. A cikluson belül a 70 perces ülepedés és a hozzá tartozó tisztítottszennyvíz- és fölösiszap-élvétel mellett szükség volt az anoxikus és aerob fázisidők kiszámítására. A 4. fejezet egyenleteit felhasználva és a téli hőmérsékletet (12 °C) alapul véve az optimális iszapkoncentráció (4,3 kg/m³) alapján 70 perces anoxikus, valamint 160 perces aerob idők adódtak a számítások során. Ez követően a kapott fázisidőkhöz kellett megtalálni a hatékony iszapkoncentrációt eltérő hőmérsékletek esetén.

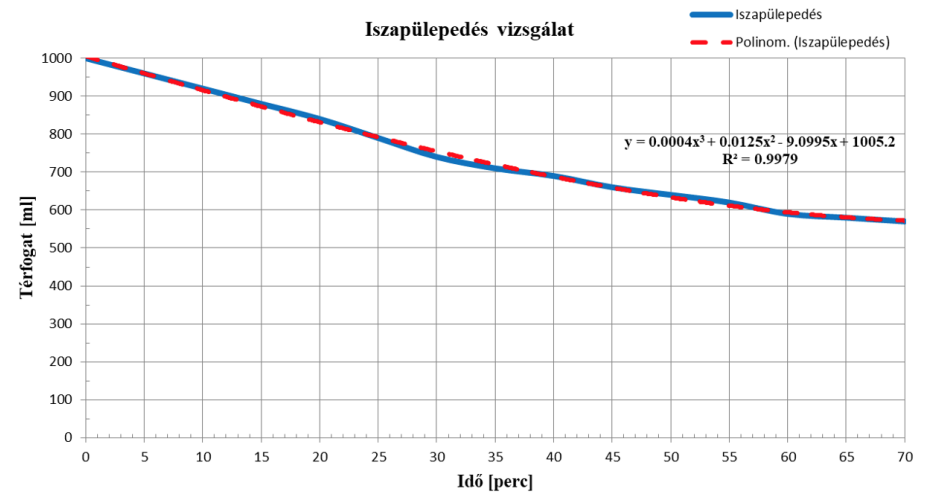
Így adódott, hogy a nyári, melegebb időszakban ajánlott kisebb, akár 3 kg/m³ iszapkoncentrációt tartani, míg a tavaszi és az őszi időszakban a nyári és a téli számított értékek között kell tartani az iszapkoncentrációt.

A fejezetben felsorolt összefüggéseket felhasználva a telep mindkét reaktora esetén meghatározhatók a megfelelő lebontás érdekében szükséges fázisidők, illetve a hozzájuk tartozó hatékony iszapkoncentrációk, melyeket az alábbi ábra mutat.

5. ÜLEPEDÉSVIZSGÁLAT

A szakaszos üzemű eleveniszapos rendszerekben az ülepedési fázisban a levegőztetés és a keverés kikapcsol, így a háttéráramlás és a sűrűlódás következtében 1-2 percen belül megszűnik, és a pelyhek gravitációsan ülepedhetnek. Méréseket végeztem annak meghatározására, hogy ülepedett iszapkoncentrációkat tudjak meghatározni a reaktor alján. Ahhoz, hogy a méréseket homogén mintával végezzem, a mintákat a levegőztetési fázis alatt vettem az üzemelő szakaszos üzemű biológiai reaktorból. A vett mintát a mérőhengerbe öntöttem, majd az ülepedést 70 percen keresztül vizsgáltam, mint ahogyan a folyamatirányításban az ülepedés idejének az értéke van beállítva.

Az ülepedési idő alatt az iszap-térfogat-értékeket ötpercenként jegeztem fel. A mérést még kétszer elvégeztem, és a kapott térfogati értékek átlagát ábrázoltam diagramon. Az ábrából látható, hogy az ülepedési szakasz végére, ami 70 perc, mintegy a felére tömörödött

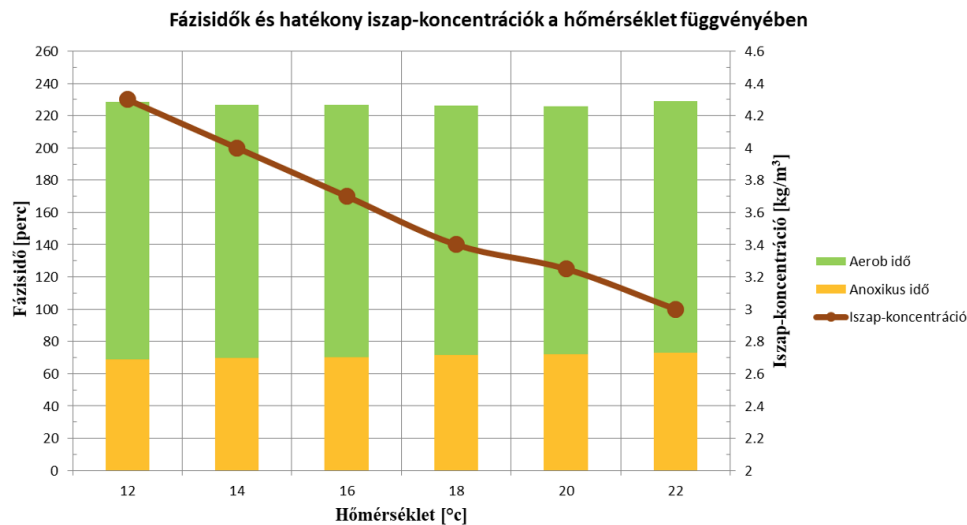


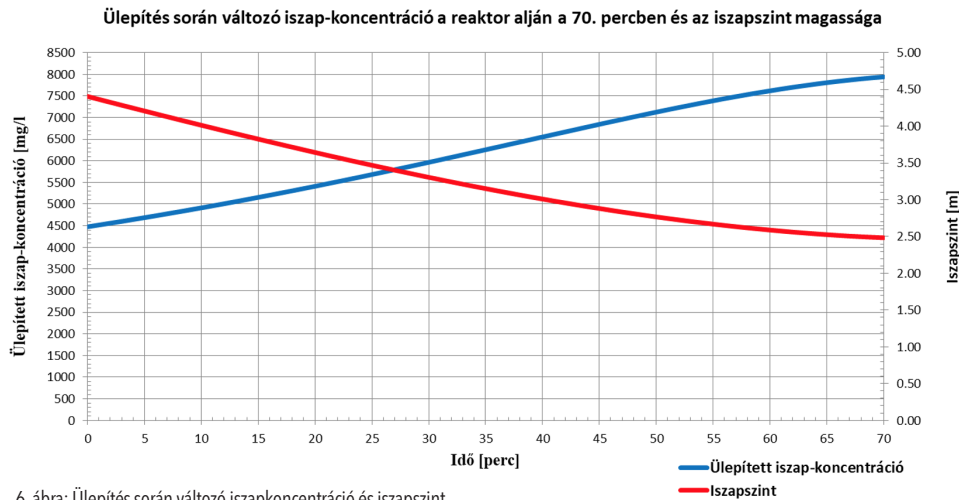
5. ábra: Iszapülepedés-vizsgálat

az iszapunk. A kapott egyenesre polinomvonalat illesztettem, melynek trendegyenletéből megkapható időhöz rendelve, hogy a kezdeti iszapkoncentrációhoz viszonyítva az ülepedés hatására a reaktor alján milyen koncentrációs értékben sűrűsödne össze az iszap. Az iszapfázison belül különböző koncentrációjú rétegek különíthetők el, hiszen az ülepedési sebesség a mindenkor szárazanyag-koncentráció függvénye (Takács, 2008).

Kezdetben a szárazanyag-koncentráció megegyezik az iszapkoncentráció értékével (4500 mg/l), majd az ülepedés-tömörödés hatására kialakul egy jól definiálható iszapfelszín, amelytől magasabban a szárazanyag-koncentráció kisebb, az iszapfelszín alatt nagyobb. A reaktor alján 70 perc elteltével feltételezhetően közel 8000 mg/l-re sűrűsödne össze az iszap, mely koncentrációjának fontos jelentősége van az iszap-élvétel során. Elmondható továbbá, hogy eltérő iszapkoncentrációk eltérő koncentrációs értékre sűrűsödnek össze a reaktor alján.

4. ábra: Fázisidők és hatékony iszapkoncentrációk az idő függvényében





6. ábra: Ülepítés során változó iszapkoncentráció és iszapszint

6. BOKINETIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEK ALKALMAZÁSA

A szennyvíztisztítás célja, hogy a szennyezőanyagot eltávolítsuk, és a szennyezőanyagot a mikroorganizmusok tápanyagként (szubsztrátum) használják fel. A tápanyag-felhasználhatóság mértéke a biológiai tisztítást végző reaktorokban a következő összefüggéssel modellezhető. Mivel a szubsztrátum az időben fokozatosan felhasználásra kerül, tehát függ, ezért negatív előjellel kell ellátni.

$$r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + S}$$

ahol

r_{su} = a szubsztrátum koncentrációjának változása a felhasználás alapján [g/m³d]

k = maximális fajlagos szubsztrátum felhasználási aránya

[g szubsztrátum/g]

X = biomassa-koncentráció [g/m³]

S = növekedést befolyásoló szubsztrátum koncentrációja [g/m³]

K_s = maximális szubsztrátum féltelítési állandója [g/m³]

Ha a tápanyag maximális arányban van felhasználva, akkor maguk a mikroorganizmusok is maximális arányban kezdenek el szaporodni, ezáltal a maximális fajlagos szaporodási sebesség (μ_m) a következőképpen alakul:

$$\mu = kY \text{ és } k = \frac{\mu}{Y}$$

ahol

μ = maximum fajlagos szaporodási sebesség [g új sejt/g sejt · d]

k = maximum fajlagos szubsztrátum felhasználási aránya [g/g · d]

Y = hozamkonstans [g/g]

A tényleges tápanyag-felhasználás egyenlete az alábbiak szerint módosul:

$$r_{su} = -\frac{\mu XS}{Y(K_s + S)}$$

Ha feltételezzük, hogy a biomassa szaporodása arányos a szubsztrátum-felhasználás mértékével, tehát a felhasznált tápanyagon kialakult mikroorganizmus-tömeggel, akkor a biomassa-növekedés a hozamkonstans és a tápanyag-felhasználás szorzatával egyenlő, illetve a biomassa pusztulása arányos a meglévő eleveniszappal (biomassza).

$$r_g = -Yr_{su} - k_d X = -Y \frac{kXS}{K_s + S} - k_d X$$

ahol

r_g = kialakuló biomassa mennyisége [g VSS/m³·d]

Y = hozamkonstans [g VSS/g bskOI]

k_d = endogén bomlási együttható [g VSS/g VSS·d]

A tápanyag-felhasználás mértéke a biomassa tömegmértékre a befolyó szubsztrátum (S_0) és az elfolyó szubsztrátum (S_e) koncentrációjának figyelembevételével a következő:

$$\frac{dS}{dt}V = QS_0 - QS_e + r_{su}V$$

Állandósult állapotot feltételezve, tehát időben állandó folyamatot és a szubsztrátum-felhasználás mértékébe (r_{su}) behelyettesítve megkapjuk az alábbi alakot tápanyagmértékre:

$$S_0 - S_e = \frac{V}{Q} \frac{kXS}{K_s + S}$$

Későbbiekben az elfolyószubsztrátum-koncentráció elhanyagolható, az

$$\frac{1}{SRT} = \frac{YkS}{K_s + S} - k_d$$

egyenlet megoldása $S/(K_s+S)$ -re, és behelyettesítve a tápanyagmérték összefüggésébe a biomassa-koncentráció (X) alakja megkapható.

$$X = \frac{SRT}{\tau} \frac{YS}{1 + (k_d)SRT}$$

ahol

τ (V/Q) = hidraulikus tartózkodási idő, h

A naponta képződő biomassa mennyiségének a meghatározásához a következő egyenletet vesszük figyelembe:

$$P = \frac{XV}{SRT}$$

A reaktorokban lévő szerves lebegőanyag (MLVSS: Mixed liquid volatile suspended solids) koncentrációba a biológiailag nem bontható szervesanyag (nbVSS)-koncentráció is beletartozik, melynek a meghatározása tömegmérték segítségével történik.

$$(dX_i/dt)V = QX_{0,i} - X_iV/SRT + r_{X,i}V$$

ahol

$X_{0,i}$ = befolyó, biológiailag nem bontható szerves lebegőanyag [g/m³]

X_i = biológiailag nem bontható szerves lebegőanyag a reaktorban [g/m³]

$r_{x,i}$ = biológiailag nem bontható szerves lebegőanyag kialakulása sejt-törmelékekből [g/m³-d]

Állandósult állapotot figyelembe véve a (dXi/dt=0), és behelyettesítve a sejt-törmelék felhalmozódásának mértékét a $r_{Xd} = f_d(k_d)X$ egyenletet az $r_{x,i}$ -be:

$$0 = QX_{0,i} - X_i V / SRT + (f_d)(k_d)XV$$

$$X_i = X_{0,i}(SRT) / \tau + (f_d)(k_d)X(SRT)$$

A biomassza-koncentráció egyenletébe behelyettesítve megkapjuk a szerveslebegőanyag-koncentráció összefüggését.

$$X_t = \left(\frac{SRT}{\tau} \right) \left[\frac{Y(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} \right] + (f_d)(k_d)X(SRT) + \frac{(X_{0,i})SRT}{\tau}$$

A teljes szervesanyag-koncentráció értékét (X_t) behelyettesítve a naponta a rendszerből elvett biomassza mennyiségének (P) összefüggésébe, és a hidraulikus tartózkodási idő (τ) helyére a V/Q hányadost megkapjuk a szerves anyag mennyiségét (P,VSS).

$$P_{VSS} = \left[\frac{QY(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} \right] + (f_d)(k_d)X(V) + QX_{0,i}$$

A biomassza-koncentráció (X) egyenlete a szerves anyag mennyiségének (P,VSS) egyenletébe helyettesítve a végső összefüggést kapjuk.

$$P_{VSS} = \left[\frac{QY(S_0 - S)}{1 + (k_d)SRT} \right] + \left[\frac{(f_d)(k_d)YQ(S_0 - S)SRT}{1 + (k_d)SRT} \right] + QX_{0,i}$$

ahol

P_{VSS} = naponta képződő szerves anyag mennyisége, [kg/d]

A szerves anyag mennyisége tovább bővül a nitrifikáló baktériumok tömegével, tehát az egyenlet kiegészül egy további összefüggéssel:

$$P_{VSS} = \left[\frac{QY(S)}{1 + (k_d)SRT} \right] + \left[\frac{(f_d)(k_d)YQ(S)SRT}{1 + (k_d)SRT} \right] + QX_{0,i} + \left[\frac{QY_n NO_x}{1 + (k_{dn})SRT} \right]$$

ahol

Y_n = nitrifikáló mikroorganizmusok hozamkonstansa,

[g NH₄-N/ gVSS-d]

NO_x = eltávolítandó nitrogénkoncentráció, [g/m³]

k_{dn} = nitrifikáló mikroorganizmusok endogén bomlási együtthatója [g VSS/g VSS-d]

Az összes naponta képződő szerves és szervesetlen anyag mennyisége adja az összes szilárd anyag mennyiségét. A befolyó szerves anyag feltételezzük, hogy nem oldott, viszont hozzájárul a naponta képződő eleveniszap mennyiségéhez, és iszapelvétellel távolítjuk el a rendszerből. A korábbi fejezetben meghatározott VSS/TSS arány felhasználásával a tényleges naponta képződő eleveniszap egyenlete az alábbiak szerint alakul.

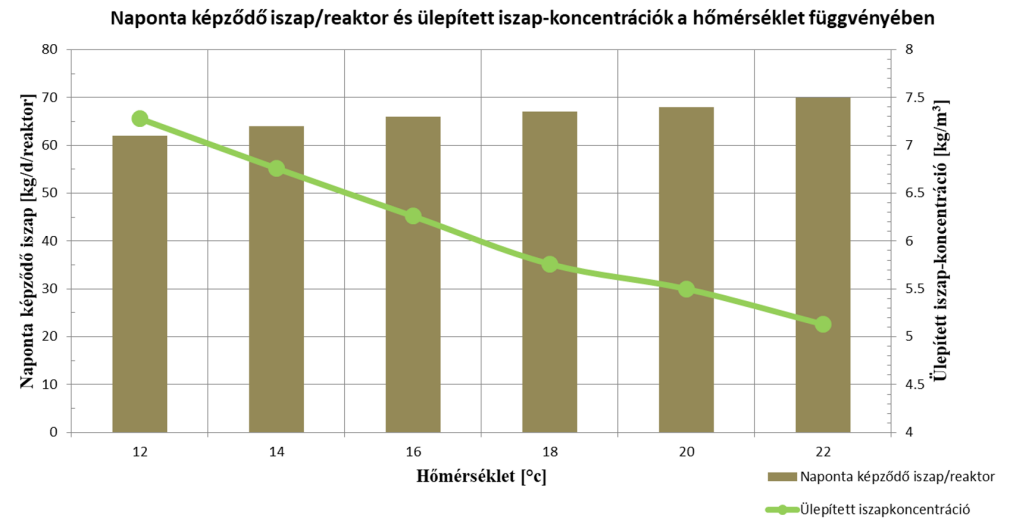
$$P_{TSS} = \left[\frac{QY(S)}{1 + (k_d)SRT} / (VSS/TSS) \right] + \left[\frac{(f_d)(k_d)YQ(S)SRT}{1 + (k_d)SRT} / (VSS/TSS) \right] + QX_{0,i} + \left[\frac{QY_n NO_x}{1 + (k_{dn})SRT} / (VSS/TSS) \right] + Q(TSS_0 - VSS_0)$$

A bemutatott egyenletet felhasználva, és a hozzá tartozó kinetikai együtthatók, valamint a befolyó nyers szennyvíz mennyiségét és minőségét alapul véve különböző hőmérsékletek esetén kiszámítható a naponta képződő iszap mennyisége, valamint a 4. fejezetben kiszámolt hatékony iszapkoncentrációk függvényében ábrázolható. Az ülepítettiszap-koncentrációk az üledésvizsgálat polinom egyenletét felhasználva kerültek meghatározásra a hatékony iszapkoncentrációk függvényében, az 5. fejezetben taglaltakat alapul véve.

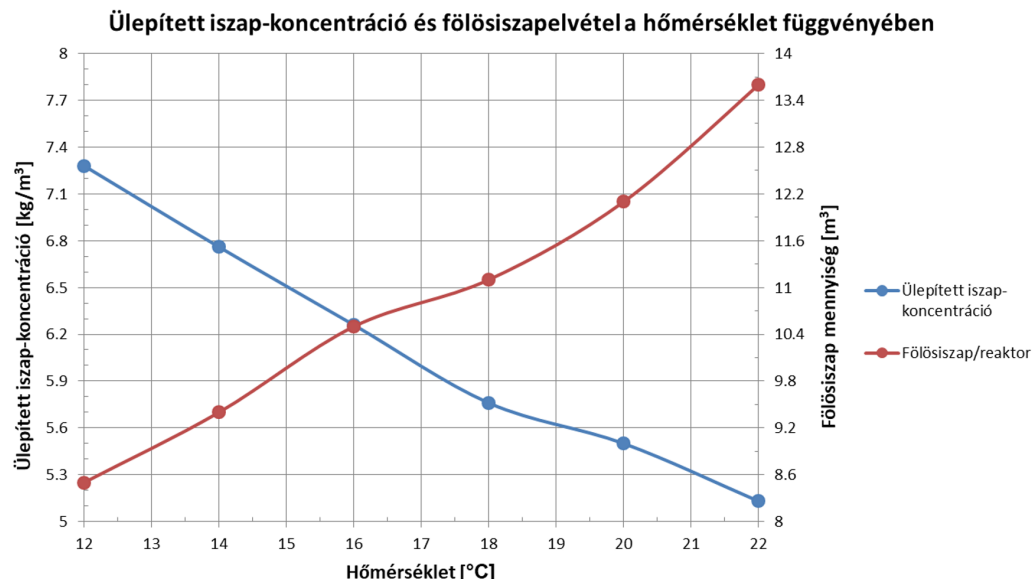
Különböző hőmérsékletek esetén a naponta képződő iszap mennyisége is eltér. Ha ugyanazon iszapkoncentrációt veszünk figyelembe, akkor alacsonyabb hőmérsékleten kevesebb, magasabb hőmérsékleten több iszap képződik a mikroorganizmusok kisebb, illetve nagyobb aktivitása révén. Változó hatékony iszapkoncentrációk esetén viszont az iszapmennyiségek nem mutatnak jelentős eltérést. Az ábra továbbá szemlélteti a

hatékony iszapkoncentrációkhoz tartozó ülepítettiszap-koncentrációk értékét.

Az ábra szerint a naponta képződő iszap- és az ülepítettiszap-koncentrációk hányadosaként különböző hőmérsékletek esetén megkapható a hatékony iszapkoncentráció értéke. Tehát a naponta elvett fölösiszap mennyisége igen meghatározó a telep megfelelő üzemképességének szempontjából. Magas hőmérsékleten (nyáron) jóval több iszapot kell elvenni a rendszerből az aktívabb biológiai folyamatok révén, így másodszőről elengedhetetlen a jól méretezett iszapvíztelenítő gép kapacitása is, hiszen egy alulméretezett gép esetén az elégtelen mértékű iszapvíztelenítés miatt tarthatatlan lenne a számolt hatékony iszapkoncentráció.



7. ábra: Naponta képződő iszap/reaktor és ülepítettiszap-koncentrációk az idő függvényében



8. ábra: Ülepítettiszap-koncentrációk és fölösiszap-eltávolítás a hőmérséklet függvényében

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az SBR típusú szennyvízkezelési rendszerek üzemeltetésének alapvető kérdése az egyes lebontó folyamatokat elősegítő környezeti állapotok éppen megfelelő ideig való létrehozása, melyek ciklikusan változnak. Ilyen állapot a szennyvíz műtárgyra való rá- és elvezetése, a biológiai bontás, a fázisszétválasztás és az iszapeltávolítás. A jól behangolt fázisidő a szennyvíztisztítási hatékonyságot növeli, így a vizsgálataim középpontjában is ez állt. A kutatási módszertanomat analitikus anyagforgalmi modellek alkalmazására terjedt ki. A számítások során kapott fázisidők a megfelelő tisztítási hatások érdekében jó közelítési értékekkel rendelkeznek. Az üledék mérésénél kapott eredmények alapján elmondható, hogy a reaktorban is megközelítőleg hasonló folyamatok játszódnak le a feltüntetett koncentrációs értékek mellett, így a számítások nagy segítséget nyújthatnak az optimális üzemállapotok kialakításában.

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. Metcalf and Eddy (2003): *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw-Hill Higher Education: New York. 4th Ed.
2. Takács I. (2008): *Experiments in Activated Sludge Modelling*. PhD Thesis, Ghent University, Belgium, pp. 267.
3. WEF. (1998): *Design of Wastewater Treatment Plants*. 4th ed., Manual of Practice no. 8, Water Environment Federation, Alexandria, VA.



Energiatakarékos, garantáltan olajmentes és megbízható fúvók

Nem légfólia csapágyazású berendezés. Állandó mágneses motorral szerelt, csapágy nélküli gép. Így elkerülhetők a súrlódásból eredő veszteségek. ISO 8573-1 Class 0 minősítésük garantálja, hogy nem kerül olajszenyezés a levegőbe. A VSD (változtatható fordulatszámú) motor pontosan a levegőigényhez igazítja a fúvó teljesítményét. A munkakörnyezet kímélése érdekében alacsony vibráció és zajszint jellemzi. A beszerelt Elektronikon® kijelző figyelmeztet a szükséges szervizre és nyilvántartja a működési paramétereket.

- Térfogatáram: 2.000 – 12.000 m³/h
- Nyomástartomány: 0,3 – 1,4 bar
- Motor teljesítmény: 120 – 250 kW

www.atlascopco.hu



**RAAB
GÁBOR**

Dunántúli Regionális
Vízű Zrt.

raab.gabor@drv.hu

KIVONAT A projekt keretén belül arra törekedtünk, hogy a folyamatok monitoringozása által megtaláljuk és rögzítsük a legjobb gyakorlatot, az előzetesen kiválasztott három szennyvíziszap-hasznosítási (komposztálás, hőhasznosítás, szennyvíziszapmix-készítés) megoldás során. Elemezve a DRV Zrt. üzemi tapasztalatain keresztül az egyes hasznosítási megoldások gazdaságosságát, megvalósíthatóságát a telepi sajátosságok figyelembevételével.

KULCSSZAVAK szennyvíziszap-hasznosítás, komposztálás, energetikai hasznosítás, szennyvíziszap égetése kazánban, áramlástechnikai berendezés, kavitáció, fajlagos felület, szennyvíziszap-adszorpció

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

Bionyersanyag-termékskála kialakítása lokális technológiai sor figyelembe vételével – Hasznosíthatósági vizsgálatok az üzemi körülmények optimalizálásával a DRV Zrt. területén

A GINOP-2.2.1-15-2017-00069 számú projekt megvalósításának bemutatása

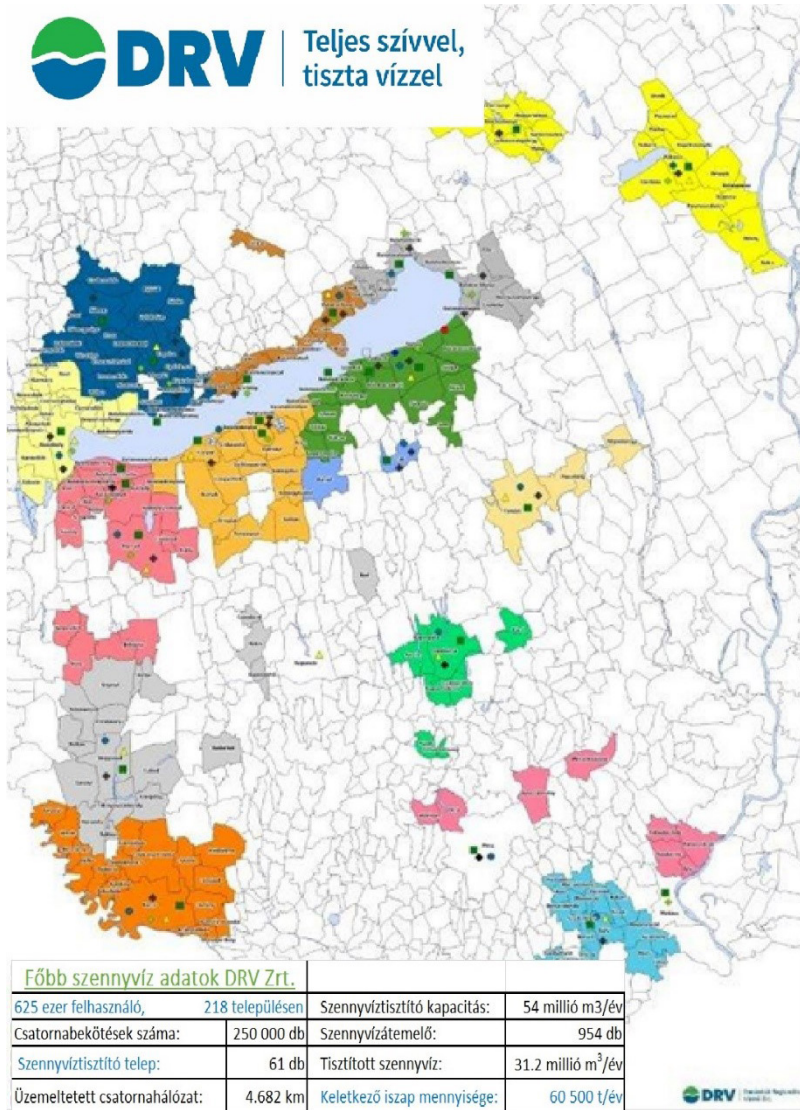
1. A DRV ZRT. HETEROGÉN SZOLGÁLTATÁSI TERÜLETE, FÖLDRAJZI VISZONYAI, EBBŐL ADÓDÓ SAJÁTÓSÁGOK – ELSZÓRTAN KIS ÉS KÖZEPES MÉRETŰ TELEPEK

A DRV Zrt. működési területe hat megyét érint (Somogy, Tolna, Baranya, Zala, Veszprém és Fejér megyék), és ahogy az 1. ábra (DRV Zrt. vezetékesszennyvízszolgáltatás lefedettsége) is mutatja, a szolgáltatási terület nem összefüggő, a települések többsége viszonylag nagy távolságra található egymástól. Nincs a szolgáltatási területen egy nagyobb lélekszámú nagyváros sem, ráadásul a domborzati viszonyok sem kedveznek nagyobb szennyvízrendszerek és több százezer fős lakos egyenértékűt lefedő szennyvíztelepi kapacitás megjelenéséhez. Ez magyarázza, hogy jobbra kis és közepes méretű szennyvízrendszereket üzemeltetünk, amelyek nem teszik lehetővé olyan költséghatékony szennyvíziszap-kezelési megoldások gazdaságos megépítését, mint a rothasztótornyok (biogáz-előállítás és -felhasználás), sem a szolárszártási technológia, sem nagyobb központi komposzttelepek. Viszonylag magas fajlagos költségek mellett, a működési területünkre az elszórtan található telepek és a lakosegyenértékhez képest aránytalanul hosszú szennyvízvezeték-hálózat a jellemző, amihez párosul még közel ezer

darab közüzemi szennyvízátelő üzemeltetése és ezek költségei. A fenti kihívásokat tetézi még a főként a Balaton és a Velencei-tó térségére jellemző szezonális, amely a késő tavaszi hónapoktól a nyár végéig kiemelkedő terhelést jelent (közel megháromszorozódik a beérkező szennyvíz mennyisége), illetve a tavaszi és az őszi hétvégéken szintén pontszerűen kiemelkedő terhelés jelenik meg a két kiemelt üdülőkörzet térségében.

2. A KELETKEZŐ SZENNYVÍZISZAPOK JELENLEGI KEZELÉSI GYAKORLATA A DRV ZRT.-NÉL

A víziközmű-ágazatot az elmúlt években számos olyan törvényi előírás és gazdasági hatás érte, amely hátrányosan befolyásolta a vállalatok gazdálkodását (közmuóadó, rezsicsökkentés, energia- és anyagárak emelkedése, munkabér piaci emelkedése). Ebből adódóan mindent el kell, hogy kövessenek a mind költséghatékonyabb működés érdekében. Társaságunknál a szennyvízkezelés terén a bér- és az energia-költséget követően az egyik legnagyobb költségelem a szennyvíziszap kezeléséhez, elhelyezéséhez köthető. Társaságunknál ez éves szinten közel 500 millió forintos nettó költséget jelent. Jelenleg a szennyvíziszapot mint hulladékot tartjuk nyilván, és elhelyezésére – a keletkezés földrajzi helyétől függően – többfajta megoldást is alkalmazunk.



1. ábra: A DRV Zrt. vezetékes szennyvízszolgáltatásának lefedettsége

Ilyen például a

- biogáz-előállítás (Keszthely, ill. Siófok telephelyeken);
- víztelenítést követő szalmával történő keverés, amelyet a szántóföldi kihelyezés követ;
- víztelenítést követően lerakóba történő elszállítás, elhelyezés;
- a szolárszártást követő mezőgazdasági kihelyezés (Siófok és Balatonfűzfő telepeken).

A fenti eljárások során mindegyik esetében a szennyvíziszapot mint hulladékstátuszú anyagot kezeljük, és mindegyik módszer jelentős anyagi ráfordítást kíván a Társaságtól. Jelen gazdasági környezetben rendkívül fontos volna a szennyvíziszap-kezelés és -elhelyezés költségeit csökkenteni; ha ez elérhetővé válik, akkor az abból realizálódó megtakarítást, esetlegesen hasznot a társaság más területein tudjuk felhasználni, ezzel is javítva a Társaság gazdálkodását. A fentiekből kifolyólag indult meg 2015 évtől olyan pályázati lehetőség keresése, felkutatása, aminek segítségével üzemi körülmények között tudjuk vizsgálni a szennyvíziszap hasznosításának lehetőségeit, módszereit és azok költségeit.

3. A K+F-PROJEKT ÉS A KONZORCIUM

Társaságunknak lehetősége nyílt egy K+F-pályázaton történő indulásra (GINOP-2.2.1-15), amiről közel két év előkészítést követően, 2017-ben kaptuk meg a pozitív támogatói döntést.

A projekt a Bionyersanyag-termékskála kialakítása lokális technológiai sor figyelembevételével – Hasznosíthatósági vizsgálatok az üzemi körülmények optimalizálásával a DRV Zrt. területén megnevezést kapta, ennek megvalósítása és már az előkészítése is a Miskolci Egyetemmel mint konzorciumi partnerrel közösen indult meg.

Konzorciumi partner szükségessége a pályázati kiírásban is nevesítésre került, ekkor már megtörtént a Miskolci Egyetemmel a kapcsolatfelvétel, mivel az egyetem hasonló K+F jellegű pályázatok megvalósításában, illetve szennyvíziszappal és annak hasznosításával kapcsolatos kutatásokban már számos tapasztalattal rendelkezett.

4. KONCEPCIÓ ÉS CÉLOK

Közösen kerültek megfogalmazásra a feladatok és a célok is, így három kutatási irányt meghatároztunk meg:

1. Komposztálás
2. Hőhasznosítás
3. Áramlástechnikai berendezésben történő kezelés (szennyvíziszap és adalékanyag mixelése)

Fontos szempont volt még, hogy folyamatosan vizsgáljuk a fenti módszerekkel járó költségek alakulását, hogy a lehető legköltséghatékonyabb módon állítsunk elő szennyvíziszapból és esetleg hozzá adagolt anyagokból (ha az szükséges a termék minősítéshez) olyan biológiailag stabil terméket, amely kilép a hulladékstátuszából, és így akár értékesíthetővé is válik.

Az optimális megoldást az jelentette volna, hogyha a szennyvíziszapból adalékanyag nélkül tudunk létrehozni egy olyan minősített terméket (Nébih, ÉMI), amely mind a mezőgazdaságban, esetleg tüzelőanyagként egyaránt felhasználható, hasznosítható és gazdaságosabban előállítható, mint a mostani, szennyvíziszap-hulladék kezelésére irányuló gyakorlataink.

Technológiai értelemben részletesen vizsgáltuk az egyes eljárásokat, fő célként megjelölve az adott körülmények között megtalálni a legjobb gyakorlatot. Ehhez a DRV gyakorlata és az innovációs projektben vizsgált eljárások összevetése kínálta a lehetőséget.

5. A MEGVALÓSÍTÁS LÉPÉSEI

A kísérletek és a mérések elvégzéséhez szükség volt egy kísérleti térre. Gyakorlati szempontokból a siófoki szennyvíztisztító telepre esett a választás, mert nyers iszap és rothasztott iszap is rendelkezésre áll, illetve már rendelkezésre állt szolárszártó is.



2. ábra: Siófoki szennyvíztisztító telepen megvalósított kísérleti terület

Nem utolsósorban rendelkezésre állt egy viszonylag nagy terület a kísérleti tevékenységnek helyet adó 1200 m²-es sáturnak és az előkészített szolgáló betonfelületeknek.

A hőhasznosítási kísérletekhez is rendelkezésre áll megfelelő hely is, a keletkezett hőt is sikerült felhasználni egy hőcserélőn keresztül a szolárszártó fűtésére.

A sátor 1200 m²-e pedig elegendő helyet biztosított az áramlástechnikai berendezéssel végrehajtott (kavitációs) kísérleteknek és a komposztálási kísérleteknek.

A projekt keretén belül beszerzésre kerültek a megvalósításhoz szükséges gépek és berendezések. A Miskolci Egyetem részére mérőműszerek és egy egyedi gyártmányú áramlástechnikai berendezés, a helyszíni kísérletekhez pedig egy komposztforgató, egy kalapácsos aprító, dobroszta, zsákoló berendezés. A hőhasznosítási kísérletekhez pedig egy 100 kW-os, szennyvíziszap-égetésre alkalmas kísérleti kazán, a hozzá kapcsolódó adagolósabályozó és hamukihordó berendezéssel, hőcserélővel.

5.1 KOMPOSZTÁLÁS

A kísérleti tevékenység, illetve a kutatási terv elkészítése során 24 fajta komposztprizma került megfogalmazásra, összeállításra (3. ábra) abból a célból, hogy a kísérletekkel meghatározzuk a számunkra legjobb komposztálási gyakorlat módszerét, folyamatosan mérve a komposztok főbb fizikai és kémiai jellemzőit (például hőmérséklet, pH, nedvességtartalom, redoxpotenciál, TPH stb.). A prizmaösszetételeknél jelentős időt és energiát fordítottunk arra, hogy meghatározzuk, hogy mennyi az a legkevesebb adalékanyag és legrövidebb érlelési idő (költséghatékonyság), amely alatt a Nébihnek megfelelő minőségű komposzt készíthető.

Extra célként fogalmazódott meg a Siófokon rendelkezésre álló és szintén hulladékstátuszú két lokális specialitás, a vízkezelőművi iszap, illetve a balatoni (lepelkotrásból származó) iszap mint adalékanyag hatásának vizsgálata a komposztálási folyamatra.

A komposztálási kísérletek során a költséghatékonyság jegyében agítált ágyas technológiát alkalmaztunk, az alkotóelemeket kalapácsos aprítást követően kevertük össze a víztelenített (kb. 22 m/m%-os) iszappal, majd komposztforgatóval homogenizáltuk. Az érést 2-3 naponként monitoroztuk, hogy meghatározhatjuk a keverések és esetleges víz adagolásának szükségességét. A folyamat végeztével a prizmákat kirostáltuk, a visszamaradt struktúraanyagot a következő prizmákhoz használtuk fel, a kirostált komposztot pedig betároltuk, egy részét csomagolási céllal, más részét további mérésekre, illetve tüzeléstechnikai kísérletekhez.

A szalmával történő komposztálást mint referenciaértéket vettük számításba (lásd 3. ábra, 5. csop.), ehhez hasonlítottuk a többi kom-

Csop.	Ssz.	Iszapfajta	Cellulóz tartalmú biohulladék	pótszubsztrát	Keverési arány	Időtartam
1	Ko1.	Rothasztott iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:3	két hónap
	Ko2.	Rothasztott iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:4	két hónap
	Ko3.	Rothasztott iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:5	két hónap
2	Ko4.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:3	két hónap
	Ko5.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:4	két hónap
	Ko6.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:5	két hónap
	Ko7.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:3	három hónap
	Ko8.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:4	három hónap
	Ko9.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék		1:5	három hónap
3	Ko10.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	balatoni iszap	1:4:0,1	két hónap
	Ko11.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	balatoni iszap	1:4:0,15	két hónap
	Ko12.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	balatoni iszap	1:4:0,2	két hónap
	Ko13.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	balatoni iszap	1:4:0,1	három hónap
	Ko14.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	balatoni iszap	1:4:0,15	három hónap
	Ko15.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	balatoni iszap	1:4:0,2	három hónap
4	Ko16.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	vízkezelőművi iszap	1:4:0,1	két hónap
	Ko17.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	vízkezelőművi iszap	1:4:0,15	két hónap
	Ko18.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	vízkezelőművi iszap	1:4:0,2	két hónap
	Ko19.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	vízkezelőművi iszap	1:4:0,15	három hónap
	Ko20.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	vízkezelőművi iszap	1:5:0,2	három hónap
	Ko21.	Kevert iszap	cellulóz tartalmú biohulladék	vízkezelőművi iszap	1:6:0,2	három hónap
5	Ko22.	Kevert iszap	szalma		1:3	két hónap
	Ko23.	Kevert iszap	szalma		1:4	két hónap
	Ko24.	Kevert iszap	szalma		1:5	két hónap

3. ábra: Kísérleti komposztprizmák összetételük

poszt idő- és minőségparamétereinek a változását. A legjobb gyakorlat megtalálása jegyében az első prizmák esetében térfogatarány szerint kerültek a mennyiségek a 10 m³-es prizmákba. Majd a klasszikus C/N arányú összeállítást vizsgáltuk, a gyakorlati tapasztalataink alapján a második bizonyult célravezetőbbnek, gyorsabb érést és homogénebb prizmát eredményezett.

A kísérleti prizmáinkhoz a szalmánál olcsóbban beszerezhető faaprítékot használtunk, amelyhez száraz falevelet, esetleg szénát is kevertünk szintén aprított formában. (Mivel ezek az adalékanyagok minden településen változó mennyiségben, de megtalálhatók, és a településnek is gondot, költséget jelent a kezelése, elhelyezése, ezért az eddig tömegével használt, de megdrágult szalma jó alternatívája lehet.) Megállapítható volt, hogy mindegyik kísérleti prizmánk esetében lezajlott a komposztálódás, és a balatoni iszap (lásd 3. ábra, 3. csop.), illetve a vízkezelőművi iszap (lásd 3. ábra, 4. csop.) sem jelentett problémát a komposztálás folyamata során az adagolt mennyiségben.

A Nébih-termékminősítés megszerzéséhez először a pH jelentkező problémaként – savasodtak a prizmáink –, ami idővel saját magától visszaállt a normális tartományba, de méshidráttal hozzáadagolásával viszonylag gyorsan, könnyen és olcsón kontrollálhatóvá vált a probléma. A nagyobb gondot a TPH okozta, itt összesen 4 fajta adalékanyaggal próbálkoztunk, amelyből csak a BioMass Kappa nevű oltóanyag használata hozott eredményt. A komposztáláshoz használt kevert iszapjaink egy részének a TPH-értéke eleve magas volt. A mérési értékek 300–3000 mg/kg tartományban szórnak, amit a komposztálás során a 100 mg/kg határérték alá kell csökkenteni. A komposztunk Nébih-termékké minősítéséhez ez az érték bizonyult a legfontosabb, egyben legkritikusabb premfeltételnek. Heti szinten monitoroztuk a TPH

változását a prizmáinkban. A TPH a szennyvíziszapban koncentráltan van jelen, ennek forrását mérésekkel próbáltuk meghatározni, vizsgáltuk a tisztítási technológia során használt szerek, azokból



4. ábra: Siófoki szennyvíztisztító telepi kísérleti tér és a komposztprizmáink

számottevő TPH nem került az iszapba, a hálózatról sem tudtuk adott mérés időpillanatában kimérni a TPH jelenlétét a nyers szennyvízben, de kizárásos alapon csak a hálózathoz (pontosan bebecsült) kerülhet a szennyvíz-technológiára, ahol az (elvett) iszapban koncentrálnak.

A komposztálás (időjárástól függően) 2,5-3 hónap alatt lezajlott, megállapítható, hogy a homogenitás is nagyban befolyásolja a komposztálás sebességét (inhomogén prizma közel egy hónap extra időt eredményezett), tehát mért fizikai paramétereken kívül a komposzt-adalékanyagok homogenizálásával (aprításával) jelentős idő nyerhető.

További eredményként nevesíthető, hogy a megfelelően aprított adalékanyagokkal készült komposzt esetében a dobrostálás is elhanyagolható, így egy nagy értékű eszközzel rövidebb technológiai soron is megvalósítható a komposztálási folyamat.

5.2 HŐHASZNOSÍTÁS

Három hőhasznosítási lehetőség realizálódott a pályázat előkészítése alatt:

- Hőhasznosítás a szolárszárító téli működésének javítására (megépült)
- Égőhő hasznosítása a szennyvíztelepi létesítmények fűtésére
- Esetleges szomszédos melegházak fűtési igényeinek kiszolgálására



5. ábra: Kísérleti kazán és a szolárszárító

A siófoki szennyvíztelepen adott volt a szolárszárított szennyvíziszap, ez tette kézenfekvővé, hogy kísérleti körülmények között vizsgáljuk az energetikai hasznosíthatóságát a kazánban történő égetéssel és a hő hasznosításával (napjainkban a víziközmű-szolgáltatók második legnagyobb költsége az energiaköltség). Adott volt még a keletkező komposzt, amelyet előzetes értékelés alapján szintén energetikailag hasznosíthatónak tekintettünk.

A projekt részeként beszerzésre került egy mobil kísérleti kazán (lásd 6. ábra), a hozzá tartozó tüzelőanyag-adagoló berendezéssel, va-



6. ábra: Kísérleti kazán

7. ábra: Szennyvíziszap égése

lamin az égésből visszamaradó hamu kihordására szolgáló csigás kihordó- és tárolóberendezéssel.

A szennyvíziszap égethető, labormérésünk alapján 11.138 kJ/kg (sz.a.) a fűtőértéke, míg a szennyvíziszapból előállított komposztunk fűtőértéke 11.468 kJ/kg (sz.a.). A kazánban történő elégetésükhöz legalább 80 m³/m³ feletti szárazanyag-tartalomra van szükség, ami jelentős probléma, mert a szolárszárítóban nyáron elérhető a kívánt szárazanyag-tartalom, de jellemzően a kazán által előállított hőre nem a nyári időszakban van szükség, viszont mindkét anyagunk visszanedvesedik

kicsivel 80% alatti szárazanyag-tartalomra. Tehát meg kell oldani a tüzelés előtt a szárítás kérdését.

A szolárszártított iszap égetési próbái során kikísérletezésre került egy speciális égőfej, amelyhez hozzáprogramozásra került az adagolóberendezés és a levegőbefúvás mértéke. Ez jelentette a kiinduló állapotot a komposztal történő égetési kísérletekhez, amelyek eredményei alapján elmondható, hogy az égés lezajlik, de a megfelelő hatások eléréséhez át kell alakítani az égőfej keresztmetszetét, és hozzá kell igazítani az adagolóberendezést és a légbefúvást is, illetve szükségessé vált egy szikraleválasztó beépítése is a porszerű frakció égése során fellépő szikrák kéményből kijutásának a megakadályozására.

Kazánunk kísérleti kazán, csak pontszerű szennyezőforrások minőségű, ezért a füstgáz kibocsátása jelen formában nem jelent környezetvédelmi problémát, de egy állandó berendezés mérettől és kapacitástól függően egy költséges füstgáztisztító és esetleg porleválasztó berendezés integrálását vonná maga után.

Továbbá megoldást kell keresni a keletkező hamura és annak további sorsára (jelenleg bevizsgálás alatt van az összetétele), mert ez határozza meg a hamu mint hulladék besorolását, valamint végül az ártalmatlanításának lehetőségeit és költségét. (Veszélyes hulladék vagy hulladék.) Ha hulladék, akkor esetleg komposztba mint adalékanyag felhasználható, és ha igen, akkor meg kell határozni a komposztáláshoz ideális mennyiséget, aminek terméké minősítéséhez újfent Nébih-engedélyezés lefuttatása szükséges. Ha viszont veszélyes hulladék, akkor annak az ártalmatlanítása mint jelentősebb költségtényező jelentkezik fog.

Az energetikai hasznosításhoz a tüzelőanyagot minősíteni kell, SRF-minősítés elérése volna a kívánatos, hogy tüzelőanyagként felhasználni vagy értékesíteni lehessen a szennyvíziszapot vagy a komposztot.

5.3 ÁRAMLÁSTECHNIKAI BERENDEZÉSBEN (ÁTB) TÖRTÉNŐ KEZELÉS

A cél az volt, hogy a kavitációt mint hasznos jelenséget felhasználjuk, és a segítségével állítsunk elő olyan biológiailag stabil szennyvíziszap-alapú anyagot vagy anyagokat, amely(ek) mezőgazdaságilag vagy energetikailag gazdaságosan hasznosítható(k).

Két irányból közelítettük meg az áramlástechnikai berendezéssel végzett kísérleteket:

A kavitációt hasznosítva a folyadék áramoltatása során a járókerék

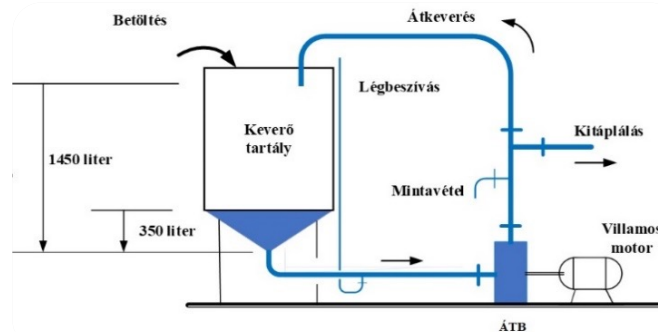
tüskéin keletkező gőzbuborékok hirtelen összeroskadásának hatását vizsgáltuk a szennyvíziszapra három kísérletsorozat keretében a 8. ábrán látható keverékek esetekben.

Vizsgáltuk, hogy a kavitációs jelenség hatására hogyan aprózódik (növekszik) a szennyvíziszapmix (szv. iszap és adalékanyag) fajlagos felülete, továbbá vizsgáltuk, hogy hogyan adszorbeálódik a szennyvíziszap a hozzá kevert adalékanyagokon (szén/zeolit). Ez az adszorpció megkötés vezet az iszap stabilizálódásához.

Ssz.	A termék összetétele	Arány	Technológiai folyamat
Kev1.	Kevrt szennyvíziszap, dudari szénpor	5, 8, 10 m% ill. számítva	Intenzív aerob kezelés áramlástechnikai berendezéssel + szárítás
Kev2.	Kevrt szennyvíziszap, mészkőpor	5, 8, 10 m% ill. számítva	Intenzív aerob kezelés áramlástechnikai berendezéssel + szárítás
Kev3.	Kevrt szennyvíziszap, zeolitpor	5, 8, 10 m% ill. számítva	Intenzív aerob kezelés áramlástechnikai berendezéssel + szárítás
Kev4.	Rothasztott szennyvíziszap, dudari szénpor	5, 8, 10 m% ill. számítva	Intenzív aerob kezelés áramlástechnikai berendezéssel + szárítás
Kev5.	Rothasztott szennyvíziszap, zeolitpor	5, 8, 10 m% ill. számítva	Intenzív aerob kezelés áramlástechnikai berendezéssel + szárítás

8. ábra: Szennyvíziszap-keverékek (mixek)

Az első fázisban az áramlástechnikai (9. ábra) berendezés eredeti járókerékével végeztünk kísérleteket, folyamatosan mintáztuk a szennyvíziszapmix és a benne lévő mikroorganizmusok számának az alakulását. A kísérletek végeztével a későbbiekre előremutató eredményeink keletkeztek, kismértékben csökkent a szennyvíziszapmixünkben a mikroorganizmusok száma.



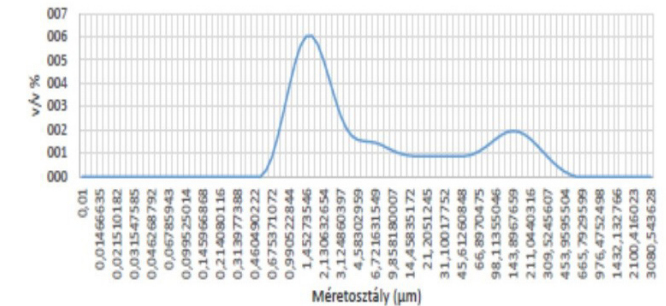
9. ábra: A kísérleti berendezés (ÁTB) elvi vázlata

A második számú kísérlet során a szennyvíziszapmixet fajlagosfelület-növekedés-vizsgálatnak vetettük alá, amely során elmondható, hogy a kavitáció hatására a szennyvíziszap és a hozzá adagolt adalékanyag részecskéi 1-2 nagyságrenddel aprózódtak, tehát a kezelés hatására megnövekedett a mix fajlagos felülete (10. ábra), és elmondható, hogy egy stabil, szagmentes anyagot kaptunk.

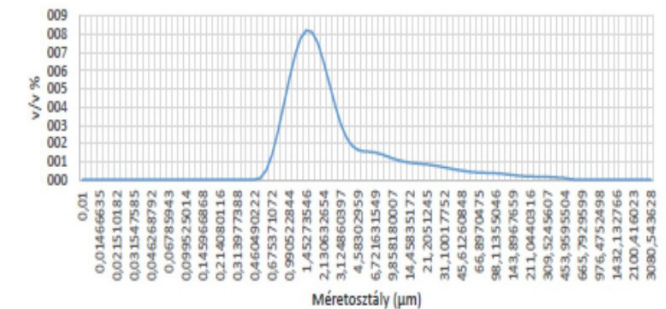
A legjobb gyakorlat megtalálása érdekében a Miskolci Egyetem számítógépes modellezés segítségével új járókereket tervezett, amely

a kavitációs jelenség felerősödése mellett a szállítási kapacitását, azaz a szivattyúzási határfokát is növeli az eszköznek, ezzel is hatékonyabbá téve a szennyvíziszapmixek kavitációs téren egységnyi időn belül történő átáramoltatását. Az új járókeres kísérleteket várhatóan még ez évben el tudjuk végezni.

10. ábra: Szennyvíziszapmix aprózódása a kavitációs kezelés előtt és után



Szemcse eloszlás a kezelés előtt



Szemcse eloszlás a kezelés után

6. ÖSSZEGZÉS

Tekintettel arra, hogy a keletkezett tetemes mennyiségű adat feldolgozása és egy-két helyen még az előállítás is folyamatban van, ezért szeretnénk a közeljövőben részletesebben is bemutatni külön-külön a komposztálás, a hőhasznosítás és az áramlástechnikai berendezés használata során keletkezett tapasztalatainkat, mérési eredményeinket, gazdaságossági számításainkat.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is szeretnénk köszönetet mondani a konzorciumi partnerünknek, a Miskolci Egyetemnek, dr. Bokányi Ljudmilla tanárnőnek és csapatának mind a projekt megtervezésében, mind az ÁTB-kísérletek megvalósítása során vállalt munkájukért. Illetve a DRV Zrt. GINOP-csapatának, mert egy emberként dolgozva hétről hétre derekasan helytálltak az érkező problémák megoldásában, de legfőképp Tolnai Béla külsős partnerünknek, Márványiné Károlyi Andreának, Cziráki Józsefnek, Mogyorós Árpádnak és természetesen a projektben részt vevő minden, itt külön nem nevesített projekttagnak, illetve a projekt menedzserének, Krizsán György fejlesztési főmérnöknek, aki összefogja a két csapatot, irányította és irányítja a munkát.

8. IRODALOMJEGYZÉK, HIVATKOZÁSOK

Kocsis I.: Komposztálás, Biogáztermelés. Egyetemi jegyzet. Szent István Egyetem, Gödöllő, 2014.

Dr. Bokányi Ljudmilla: Biológiai eljárások, Aerob lebontás komposztálással. Miskolci Egyetem, Hulladékgazdálkodás online tankönyv hulladekonline.hu/Hullad%C3%A9kgazd%C3%A1llkod%C3%A1s

Kocsis I.: Szennyvízkezelés. Egyetemi jegyzet. Szent István Egyetem, Gödöllő, 2014.
Takács János: Szennyvíziszap és hígtrágya stabilizálása kavitációs dezintegrálással.

GVOP – 3.1.1. – 2004 – 15 – 027 / 3.0. projekt-összefoglaló jelentés

OVF: Szennyvíziszap-kezelési és -hasznosítási stratégia 2014–2023.

1403_2017. (VI. 28.) korm.-határozat

AZ ÉV CIKKE

„Év cikke” díjat 2022-ben második alkalommal ítéli oda a MaVíz és a Vízmű Panoráma!

2022-ben három kategóriában is:
"Víz és tudomány", "Szolgáltatók szemével"
és „Ipari újdonság” kategóriákban

A cikkekre a MaVíz honlapján lehet majd szavazni

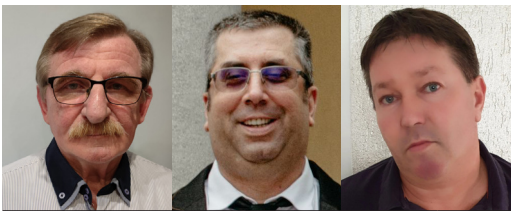
A díjak átadására a
Víziközmű Konferencián kerül majd sor

Információ és szavazás:

http://www.maviz.org/fogyasztoi_hir/az_ev_cikke_dij



Technológiai szűk keresztmetszetek leküzdése és az áramszámla csökkentése vízhőmérséklet-alapon irányított iszapvonallal



**ISZKEITZ
ANDRÁS**

BWA Lab Kft.

**SOMOGYI
TAMÁS**

DAKÖV Dabasi
és Környéke
Vízügyi Kft.

**VIDRA
PÉTER**

Ferrum-Inox
Aqua-Build
Kft.

andras.iszkeitz@bwalab.com,
somogyi.tamas@dakov.hu
csipevi@t-online.hu

KIVONAT A szennyvíztisztító telep jó működésének fogalmát is átalakítja a költségsökkentési kényszer. Egy bizonytalan környezetbe bizonyosságot a számok és az adatok hozhatnak. A nyertes pályázatok kifizetése egyre inkább eredményalapúvá válik. A megbízható, aktuális és releváns információ hozzáadott értéke egyre nagyobb hozzáadott értékkel bír a napi üzemeltetés és a felső vezetői tervezés döntéshozatala során is. Mindeközben nem szabad elfelejteni, hogy a szennyvíztisztítás egy biológiai folyamat, mely a saját törvényszerűségeit követi. Bonyolult és összetett világnak tűnik rengeteg fizikával és kémiával, azonban a smart technológiák itt is a segítségünkre lehetnek az aktuális és jelentős erőforrásokat felemésztő kihívások megoldásához.

KULCSSZAVAK telepi iszapmenedzsment, szennyvíztisztító telep, energiafelhasználás, pályázati fejlesztés, erőforrás tervezés, erőforrás felhasználás, vezetői döntéshozatal, pályázati eredmények dokumentálása, hidraulikai túlterhelés, Pest-megye, eleven iszap, pehelyszerkezet, oxigénhasznosítás, iszapterhelés, iszapkor, szén-dioxid kibocsátás

Míg néhány éve ha egy szennyvíztisztító telepre a hatóság nem szabott ki bírságot, akkor azt mondhattuk, hogy jól működik, mára a jó működés fogalma átalakulóban van. A költségsökkentési kényszer miatt, valamint azért, mert egyszerűen csak 2021-et írunk, olyan elvárások merülnek fel egyre inkább, mint

- előre számolható mennyiségű és minőségű víztelenített iszap előállítása és elszállítása;
- tervezhető mennyiségű, magas hozzáadott értéket teremtő emberi erőforrás felhasználása;
- a terhelés alapján indokoltnál nem magasabb áramigény;
- a szennyvíztisztító telep szolgáljon a víziközmű-szolgáltatási területen kívül eső, adóbevételt és munkahelyeket teremtő beruházások kiindulási pontjával.

Technológiai szempontból a tisztítás akkor lehet sikeres, ha a fázisszétválasztás, azaz a tisztított víz leválasztása az eleveniszaptól a szükséges mennyiségben megtörténik. Ennek többnyire az utóülepítő ad helyszínt. Az utóülepítő kialakítása és a kiszolgáló gépészete kihatással van a teljes technológia működésére, és ilyen módon az üzemeltetés költségeire. Előszűri a fölösiszapot, a recirkuláción keresztül növelheti vagy csökkentheti a biológiai medencék tartózkodási idejét, közvetve befolyással van a fűvók teljesítményigényére is, és behatárolja a technológus iszapkor-beállítási lehetőségeit. Konkrétan kifejezve: szignifikánsan befolyásolja egy kg szárazanyag-tartalom víztelenítési és elhelyezési költségét, a víztelenítéssel töltött munkaórák számát, a telep teljes áramigényét, a vegyszerfelhasználást és a tisztított vízzel kapcsolatos hatósági díjak alakulását.

Pest megyében a fővárost kivéve egészen sajátos helyzet alakult ki az elmúlt öt évben. Jól érzékelhetően növekszik a vízfogyasztás és ezzel együtt a tisztítandó szennyvíz mennyisége is. Ez örömteli a bevételi oldalán, azonban költségoldalon a méretgazdaságosság nem mindig tud érvényesülni. A tisztítóművek terhelése növekszik tápanyag- és hidraulikai szempontból is, ami sok esetben túlterheléshez is vezet. A technológiai döntéshozónak egyre több szűk keresztmetszettel és a fajlagos költségek növekedésével kell számolnia. A felső vezetésnek pedig a korábbi fejlesztési irányokat szükséges újragondolnia.

Gyömrő és kistérsége (Maglód és Ecsér települések) a Budapestet övező körgyűrű agglomerációjában helyezkednek el, amelyet a 4-es, a 31-es főút és a 0-s megkerülő körgyűrű határol le. Jellemzően a lakosság 65-70%-a ingázik a főváros irányába – ami a megszokottnál is több, akár hetente változó szennyvízminőséget és -mennyiséget képez le.

Az agglomerációban az elmúlt ~30 évben nagymértékű változások mentek végbe, amelyek legfőképp a lakosság növekedését okozták az infrastrukturális fejlődéssel együtt. Ezek a következőkből adódtak: a 0-s körgyűrű kiépítettségével további fejlesztési területeket vont be a kistérségen belül, ami áruházlánckokat hozott és további fejlesztéseket generált a településeken is. A közlekedés fejlődésével a fővárosi, kevésbé komfortos ingatlanokból vonzóvá vált a közelben lévő kertvárosi környezet, ami kivándorlást eredményezett a települések felé a fővárosból.

Az önkormányzatok fejlesztései is tovább erősítették a folyamatokat, amelyek a fővároson kívül más településekről is vonzottak lakosokat a kistérségbe (aszfaltozás, kisvárosi központok kiépítése, Gyömrő adottóságából a tófürdő rendbetétele stb.). Az elmúlt 8-10 év során legfőképp

Gyömrőn a kertvárosi környezet kibővül társasházak környezettel, ami több szinten is strukturális változásokat generál az állami otthonteremtés kibővítésével, illetve növelt összegével, így az elmúlt öt évben tovább gyorsultak a folyamatok.

A gyors beavatkozáshoz felmerült esetleges műszaki lehetőségek a teljesség igénye nélkül:

- a műtárgy átalakítása, bővítése, esetleg részleges gépészeti átalakítással;
- ipari aprító beépítése (átemelő műtárgy vagy csővezeték vége);
- keverő vagy levegőztetés kiépítése;
- irányítástechnikai átalakítás, vezérlésoptimalizálás (frekvenciaváltó, illetve átemelő szinkronizálása; SCADA-módosítás).

A fent említett beavatkozások sokszor költségigényesek. Az ellátásért felelős tulajdonos önkormányzatok bevonására lenne szükség, de alacsony a használati díj. A beruházás elszámolása hosszadalmas, és további források bevonására lenne szükség. Engedélyek módosítása szükséges, ami akár 6-9 hónapot is igénybe vehet.

A fenti érvek felsorolása után a gyors technológiai beavatkozás a nyilvánvaló, ami azonnali költséget generál ugyan, de a folyamatok egyszerűbben a kezünkben tarthatóak.

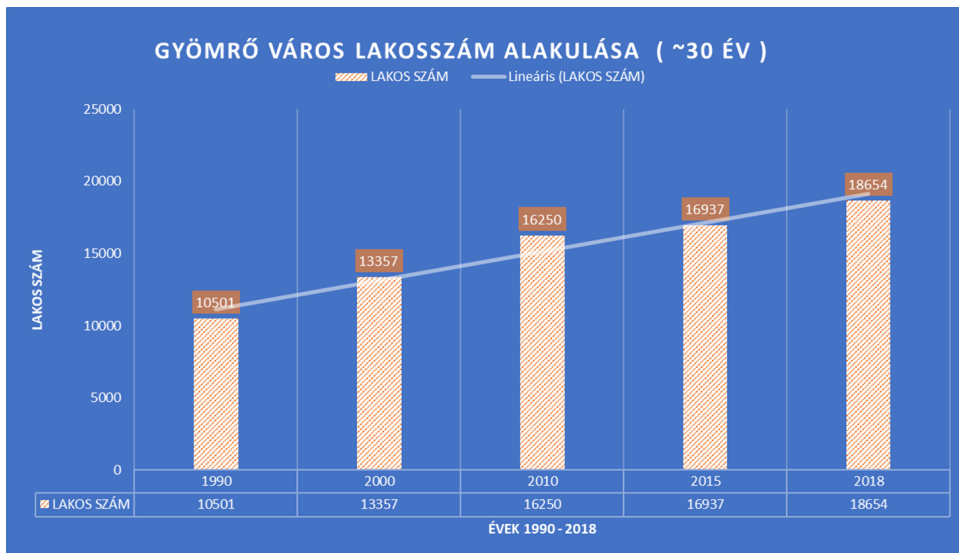
A terhelés sohasem állandó. Az átlag növekedésével és különösen a csúcsok hatásának változásával kell számolni. A nagyobb iszapszaporulat több iszap elvételét és víztelenítést követeli. Ez ellen hat, hogy az utóülepítő és a sűrítő terhelésének növekedése csökkenti a sűrítési hatásfokot és az egységnyi idő alatt feladható iszap szárazanyag-mennyiségét. Rosszabb esetben a sűrített iszap koncentrációja nem éri el a víztelenítő gép által megkövetelt minimális értéket sem.

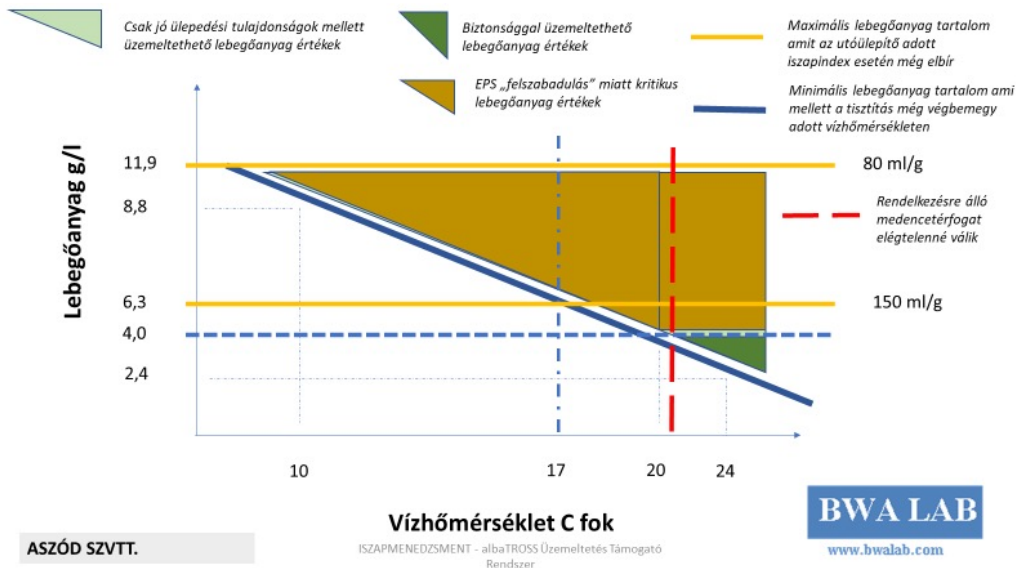
A nagyobb terhelés különösen a csúcsoknál nagy fokú levegőbevitelt igényel, gyakran magasabbnak tekinthető oldott oxigénkoncentráció (>2,5 mg/l) mellett, ugyanakkor a napon belüli hullámvölgyeknél a fúvók teljesítménye feleslegesen magas szinten maradhat, ha csak nincsen egészen kifinomult vezérlés a

telepen. Még ha az ammónium-nitrogén értéket sikerül is tartani, az összes nitrogénérték tartása valódi kihívásnak bizonyulhat. A nagy körös recirkulációs szivattyú többnyire a bejövő szennyvíz mennyiségétől függetlenül, fix teljesítményen üzemel, ezért a csúcsterhelések idején a biológiai medencében csökken, az utóülepítőben pedig megnövekszik az iszapkoncentráció. Hozva magával a plusz levegőigényt és az iszapelúszás kockázatát.

Ezek a szennyvíztisztító telepeken, ha fejlesztésben gondolkodunk, akkor egy 0–24 működő csigaprés megoldást hozhat a sűrítési deficitre, illetve érdemes elgondolkozni a fúvók ammónium-nitrogén alapú vezérlésén. Az utóbbi hozzáadott értéke ott lehet a legkedvezőbb, ahol a terhelés és ebből adódóan az egységnyi ammónium eltávolításának áramigénye magasnak számít. Mindkettő fejlesztés energiamegtakarítást eredményezhet, tehát jelenleg pályázhatóak is. Azonban a most megjelenő pályázatok új elvárásokkal készülnek. A kifizetés egyre inkább az eredményhez kötődik. Bizonyítani és dokumentálni kell a fejlesztés által elért eredményeket. Egy biológiai szennyvíztisztító telepen ez nem mindig egyszerű. A kockázatot valahogy mérsékelni kell, és a döntéshozó a saját maga védelmére is minél inkább konkrét és megbízható számokra kell támaszkodjon.

A biológiai szennyvíztisztítás lényege, hogy olyan feltételeket teremtsünk a rendelkezésre álló eszközökkel a minket körülvevő körülmények között, amik lehetővé teszik, hogy a baktériumok a tisztítási cél érdekében végezzék tevékenységüket. Nem elég ugyanakkor a baktériumok igényeit szem előtt tartani, mivel az eleveniszapnak jellemzően 60-70%-át az ún. sejten kívüli anyag (EPS) teszi ki. Egy magas oxigénhasznosítási képességgel rendelkező iszappehely két rétegből tevődik össze, kémiai és fizikailag jól elkülöníthető tulajdonságokkal rendelkező magból és külső rétegből áll. A tisztítási képességet, az iszapindexet, a süllyedési sebességet és a víztelenítésnél használt polielektrolitot szükséges töltésszerkezetet a két réteg állapota határozza meg. A külső réteg vízben oldható poliszacharidokban gazdag, hidrofíll jellegével biztosítja a tisztítás során képződő gázbuborékok távozását a pehely felszínéről. A mag fehérjékben és lipidformákban bővelkedik, amelyek biztosítják a megfelelő diverzitást és ezáltal a magas oxigénhasznosítási képességet. Ugyanakkor hidrofób jellege miatt a külső réteg nélkül habzást, magas iszapindexet és rossz víztelenítési hatásfok kialakulását okozhatja. A technológusnak tehát meg kell őriznie a külső





réteget, ha dokumentálni és bizonyítani akar bármiféle fejlesztési eredményt, és nem utolsósorban nyugodtan szeretne aludni.

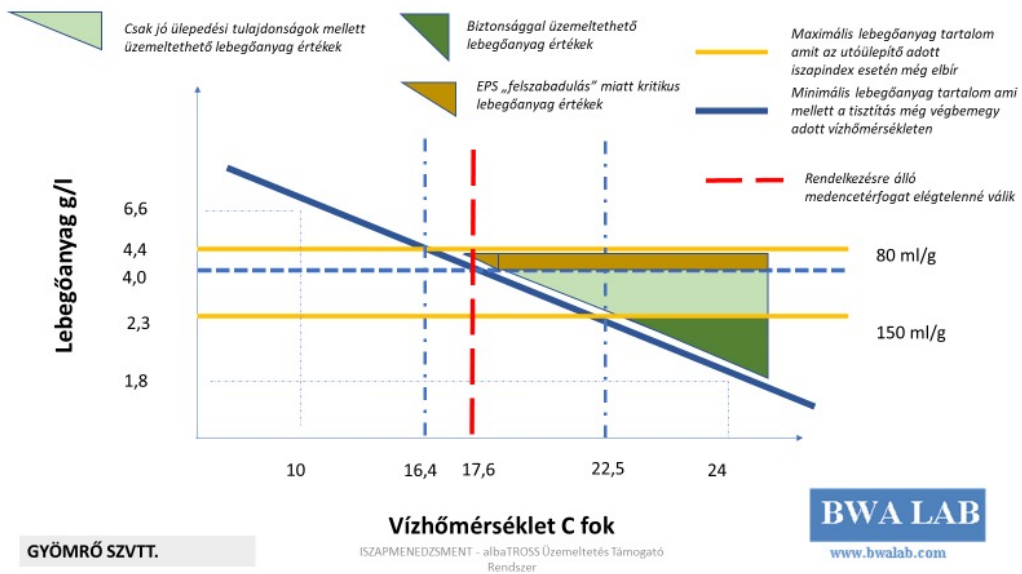
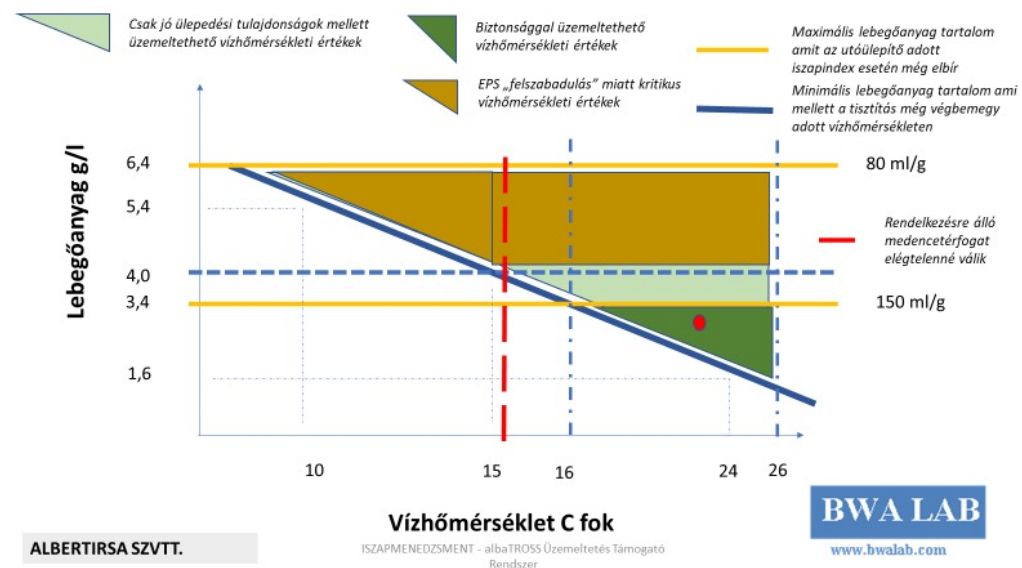
A vízben oldható külső réteget az üzemeltetés módja is jelentősen befolyásolja, különösen a biológiai medence lebegőanyag-tartalma. Aszód, Gyömrő és Albertirsa szennyvíztisztító telepek tekintetében készítettünk egy-egy ábrát, amely alkalmas érzékeltetni a két réteg megéléte szempontjából releváns feltételeket.

Aszódon 20 Celsius-fok körüli vízhőmérsékletnél a medencetér fogat elégtelenné válik. Ekkor 4 g/l lebegőanyag-tartalom a minimumkövetelmény a biológiai medencékben. A vízhőmérséklet csökkenésével ennél magasabb lebegőanyag tartására kényszerül a technológus, ahol azonban az EPS „felszabadulásával”, azaz a pelyhek külső rétegének sérülésével kell számolni. Az ábrán látható, hogy 17 Celsius-fokos vízhőmérsékletnél már 6,3 g/l koncentrációt kell tartani, viszont az utóülepítőék felszínéből adódóan csúcsterhelés esetén csak akkor nem várható iszapelúszás, ha az iszapindex 150 ml/g alatt tud maradni. 10 Celsius-fokos vízhőmérsékletnél egészen 8,8 g/l értékig kell növelni a szárazanyag-tartalmat. Minél kevésbé távolodik el a lebegőanyag-tartalom a kék egyenestől év közben, annál jobban fog viselkedni az eleveniszap a víz- és iszapvonalon. Az iszapvonal működőképességének fenntartása a jó ülepedés feltétele, mivel sűrítő a telepen nincsen. A szalagprésre közvetlenül az utóülepítő aljáról kerül a fölősiszap.

Albertirsán lényegesen kedvezőbb a technológus helyzete. A téli és a nyári üzem között itt is háromszoros lebegőanyag-tartalom ajánlott, de a medencetér fogat 15 Celsius-fokos vízhőmérsékletig elegendő. A 4 g/l lebegőanyag-tartalomnál csak ennél kisebb hőmérséklet esetén kell magasabbat tartani. A 16 Celsius-fokos vízhőmérsékletnél minimálisan szükséges 3,4 g/l koncentráció 150 ml/g iszapindex esetén sem okoz problémát még a csúcsterheléses időszakokban sem. 15 Celsius-fok alatt

és 4 g/l felett azonban a fajlagos üzemeltetési költségek megnövekedésének és az iszapelúszásnak a kockázata magas.

Gyömrőn 17,6 Celsius-fokos vízhőmérsékletnél válik elégtelenné a medencetér fogat. Ilyenkor minimálisan 4 g/l lebegőanyag-tartalom tartandó a medencékben. Az utóülepítő felszínének adottságai miatt azonban ez a koncentráció is csak kedvező iszapindex esetén tartható meg.



16,4 Celsius-fok alatti vízhőmérsékleten pedig csúcsterhelés idején szinte állandóan iszapelúszásra kell számítani, ami nem megfelelő pehelyszerkezet és fúvókacapacitás esetén az ammóniaeltávolításra is kedvezőtlen hatással lehet már. Az iszapelvétele hatékonyságát és ezzel együtt a telep stabilitását a hőmérséklet szerinti lebegőanyag-tartalom tartásával lehet megpróbálni fenntartani, ami a 2021-es évben ki is lett próbálva.

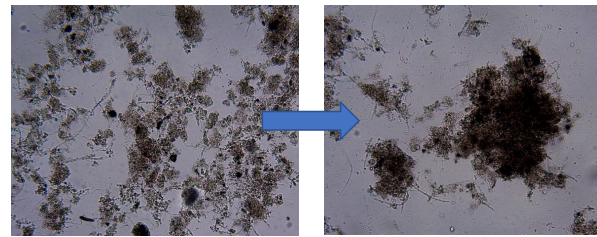
Az áramigény változásának objektív megítéléséhez a felhasznált energiamentiséget össze kell vetni a bejövő szennyvízzel, illetve megfelelő mutató lehet az egy kg ammónium-nitrogén eltávolításához felhasznált energia is.

A grafikonon 2020 és 2021 azonos hónapjait vetettük össze. Az áramfogyasztás minden hónapban alacsonyabb volt az előző évinél.

Míg a szennyvíz mennyisége átlagosan 4%-kal növekedett, addig az áramfogyasztás ez előző évihez képest 19%-kal lett kevesebb.

A következtetést az egy kg ammónium-nitrogén eltávolításához felhasznált energia mennyisége is alátámasztja. A jobb tisztítottvíz-értékek és az alacsonyabb áramfogyasztás a fajlagos értéket több mint harmadával csökkentette, ugyanakkor a kiegyensúlyozott, stabil technológiai működés miatt az értékek ingadozása is megszűnt. Ezáltal kedvező feltételek jöttek létre pályázatokon történő részvételhez és fejlesztésekhez.

A változások hátterében az eleveniszap megváltozott szerkezete áll. A fenti képeken jól látszik a különbség,



ami az utóülepítő felszínén és a tisztított víz minőségén is visszaköszön.

TELEPI ISZAPMENEDZSMENT

A vízhőmérséklethez igazodó értékek év közben ún. te-



lepi iszapmenedzsment szolgáltatás keretén belül lettek meghatározva. Az iszapmenedzsment feladata, hogy a szennyvíztisztító telepen mindig – egy okos applikáció segítségével akár az utóülepítő hídján állva – rendelkezésre álljanak a megbízható forrásból származó ún. tervezőaszti elméleti számok. Ezek tájékoztató pontként szolgálnak a technológiai döntéshozónak, hogy az

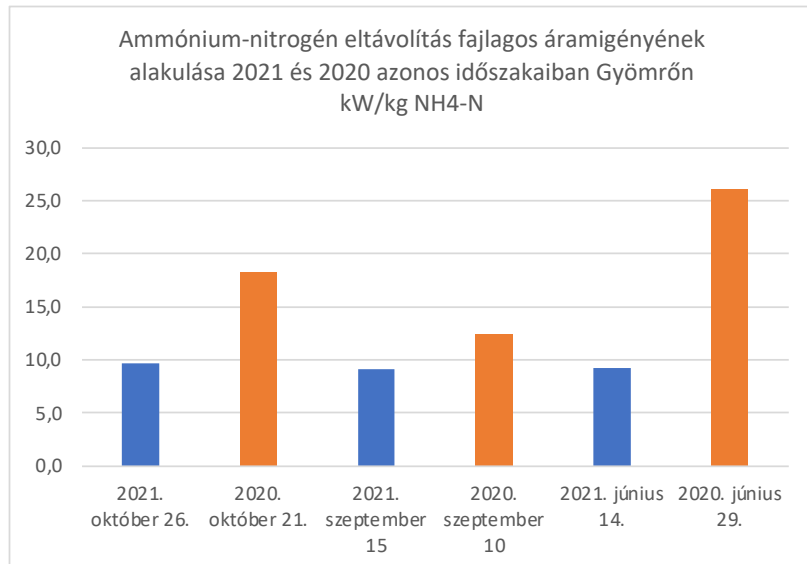
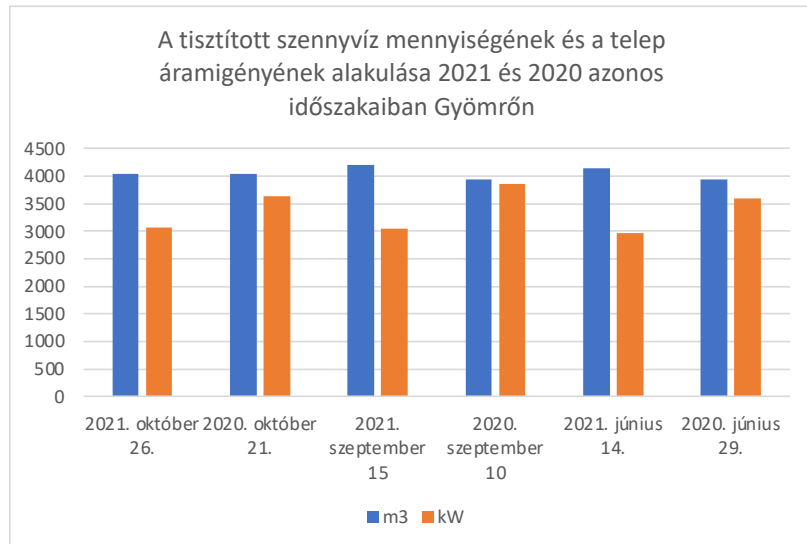
eleveniszap dupla réteges szerkezetét az év egészében megőrizhesse, illetve a szűk keresztmetszeteket azonosítva adatot szolgáltatson a sikeres fejlesztésekhez, a megalapozott költségcsökkentési döntésekhez.

Lehetővé válik a szennyvíztelep meglévő műszaki feltételrendszerének leghatékonyabb kihasználása minimális üzemeltetési költségek mellett, a szükséges tisztítási határértékek fenntartásával.

Az iszapmenedzsment szolgáltatás lehetséges (telepfüggő) előnyei:

- alacsonyabb üzemeltetési költség (a fűvók energiafelhasználása 15-25%-kal csökken, a csurgalék- és dekantvíz minősége javul, az iszapvíztelenítő gépek fajlagos üzemideje és energiafelhasználása csökken, a víztelenített iszap szárazanyag-tartalma nő, az elszállított iszap mennyisége 10-20%-kal csökken; a vegyszerfelhasználás hatékonyabbá válik és mennyiségileg csökken stb.);
- telepi kezelői erőforrások hatékonyabban oszthatóak ki;
- a szennyvíztelepi szűk technológiai keresztmetszetek kezelhetővé válnak.

Az iszapmenedzsment a vállalatvezetés számára átfogó technológiai kontrollt tesz lehetővé egy regionális üzemeltető vállalatnál, ami lehetővé teszi célok meghatározását és az alapos tervezést, amely nem tapasztalati értékekből indul ki. A kiugró értékek ismeretét és az elvárható hatékonyság értékének megállapítását.





FENYVESI NÓRA

közműfejlesztési mérnök,
Soproni Vízmű Zrt.

fenyvesi.nora@sopronivizmu.hu

KIVONAT 2021 májusában zárult le az a csaknem 3 évet felölelő szennyvíz-agglomerációs projekt, mely során három, addig csatornázatlan településünkön kiépült a közműves szennyvízelvezetés, valamint jelentős fejlesztés történt a büki szennyvíztisztító telepünkön is. A cikkben a projekt megvalósítása során szerzett tapasztalataimat szeretném összefoglalni (előkészítés, tervezés – kivitelezés – projekt lezárása hármass tagolásban), illetve levonni azon következtetéseket, hogy legközelebb mit csinálnánk ugyanígy, és min kellene változtatnunk – a megszerzett tapasztalatok alapján – egy hasonló beruházás megvalósítása közben.

KULCSSZAVAK szennyvíz-agglomerációs projekt tapasztalatai, szennyvíztisztító telep és települési szennyvízcsatorna-hálózatok fejlesztése, projekt szereplőinek együttműködése, kommunikációja, feladatmegosztása, projekt sikeressége

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

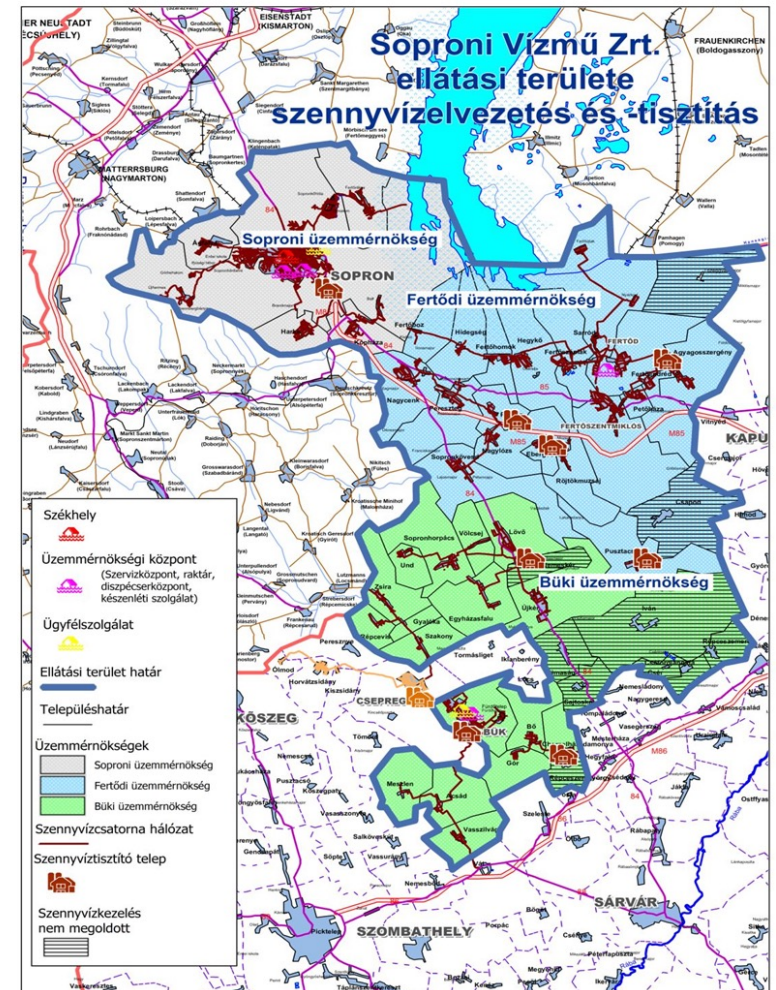
Egy szennyvíz-agglomerációs projekt megvalósításának tanulságai – avagy mit csinálnánk legközelebb másképpen?

ELLÁTÁSI TERÜLETÜNKRŐL ÉS A PROJEKT SORÁN KIÉPÜLT VÍZIKÖZMŰVEKRŐL

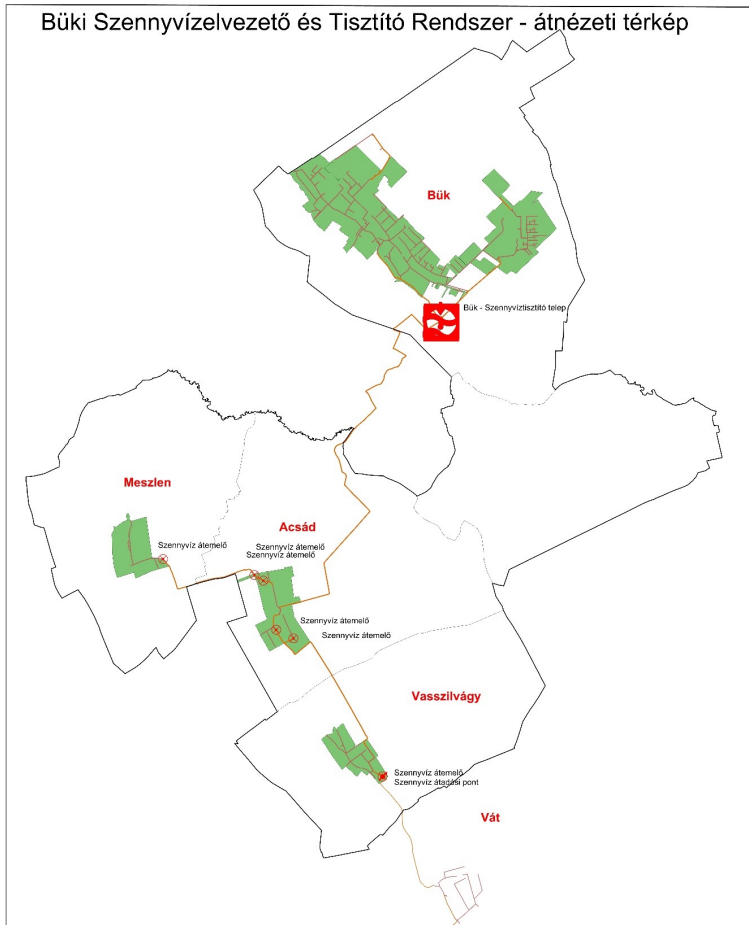
A Soproni Vízmű Zrt. ellátási területe 50 települési önkormányzat közigazgatási területére terjed ki. Működési engedélyünk alapján 23 db víziközműrendszert – 14 db ivóvízrendszert és 9 db szennyvízrendszert – üzemeltetünk. Ellátási területünket és a víziközműrendszereket az alábbi ábra szemlélteti.

A szennyvíz-agglomerációs projekt a Büki Üzemlétségi területét érintette, ahol az addig szigetüzemben működő Büki Szennyvízelvezető és Tisztító Rendszerhez csatlakozott további négy település: Acsád, Meszlen, Vasszilvág és Vát. A csatlakozó települések közül Vát a Vasív ZRT. ellátási területén található, tehát a Váton keletkezett szennyvizet a társszolgáltató átadási ponton keresztül adja át megtisztításra a büki rendszerre. Így a projekt keretében két víziközműrendszer jött létre (Acsád, Meszlen, Vasszilvág és Bük szennyvízelvezető és tisztító rendszere, valamint Vát szennyvízelvezető rendszere).

A MEKH felé a működési engedély módosításához benyújtott ábrán látható az érintett települések elhelyezkedése.



Büki Szennyvízelvezető és Tisztító Rendszer - átnézetű térkép



A szennyvíztisztító telep a projekt megvalósulásáig csak a Bük város (beleértve Bükfürdőt is) területén keletkező szociális és előtisztított ipari szennyvizet fogadta. A szennyvíztisztító telep fejlesztés előtti kapacitásadatai: 3.000 m³/d és 12.000 LE.

A korábbi tisztítási technológia hibája volt annak egyvonalas jellege (a sorba kapcsolt anaerob, anoxikus és oxikus medencék megkeverhetetlensége, illetve az 1 db utóülepítő kialakítás). Emiatt szinte bármilyen meghibásodás kijavítása, egyes elemek cseréje a teljes tisztítómű leállítását feltételezte.

A szennyvíztisztító telep agglomerációs fejlesztés előtti tényleges szennyezőanyag-terhelése meghaladta a kiépített és engedélyezett

értéket, így a négy település csatlakozása elősegítette a szennyvíztisztító telep korszerűsítését és kapacitásának növelését.

A büki telepen a beruházás célja az volt, hogy a bővítés mellett lehetővé váljon a meglévő szennyvíztisztító telep hatásfokának növelése, a párhuzamos üzemeltethetőség kialakítása és az iszap korszerűbb kezelése.

A büki szennyvíztisztító telep regionális szennyvíztisztító teleppé fejlesztése a telep hidraulikai és szennyezőanyag-terhelésének a növekedésével járt. A fejlesztés során egy, a teljes kapacitást kiszolgáló új mechanikai tisztítóegység és egy új biológiai tisztítósor építésével, a fertőtlenítő kapacitás növelésével és az iszapkezelés korszerűsítésével vált a telep működése biztonságosabbá, gazdaságosabbá és rugalmasabbá.

A fejlesztést követően a telekapacitás adatai a következőképpen alakultak: 3300 m³/nap és 17 708 LE.

A projekt keretében ellátási területünkön kiépült Acsád, Meszlen és Vasszilvagy települések szennyvízcsatorna-hálózata:

- 6 db szennyvízáttemelő;
- 15 500 m nyomóvezeték;
- 7500 m gravitációs szennyvízcsatorna;
- 470 db bekötés.

A PROJEKT SORÁN SZERZETT TAPASZTALATOK ÖSSZEFOGLALÁSA ELŐKÉSZÍTÉS, TERVEZÉS

Valószínűleg az ellátási területünket bemutató ábra is szemlélteti azt, hogy az agglomerációk lehatárolásakor alapvetően térségi rendszerek létrehozására törekszünk, mivel valljuk, hogy az egyre nehezedő gazdasági és műszaki körülmények mellett – beruházási és üzemeltetési szempontból – fenntarthatóbb rendszerek kialakítása a közmútulajdonosok és a víziközmű-szolgáltatók alapvető érdeke.

A gazdaságosság elvének érvényesüléséhez szükségszerű az egyes szolgáltatók ellátási területén átnyúló fejlesztések megvalósítása, ahogy azt az itt bemutatott szennyvíz-agglomerációs projekt is szemlélteti.

A büki szennyvíz-agglomeráció jövőbeli bővítése további 13 db települést érint, amelyek között vannak a mi jelenlegi ellátási területünkön lévők és a Vasivíz Zrt. üzemeltetésében lévők is. Sőt, egy másik projektünkben, a Csáfordjánosfa központú szennyvíz-agglomeráció

kialakításában már három víziközmű-szolgáltató együttműködése szükséges, mivel a Vasivíz Zrt.-n és a Soproni Vízmű Zrt.-n kívül még a Pannon-Víz Zrt. is érintett benne több településével.

A projektek sikeres megvalósítása érdekében természetesen szükség van a társszolgáltatók együttműködésére. Úgy gondolom, okkal lehetünk büszkék arra, hogy az itt említett agglomerációk lehatárolásakor minden más szempont előtt a szakmai, hosszú távú üzemeltethetőségi érvek érvényesültek.

A projekt tapasztalatai alapján a rendszer egyik legnagyobb hibája a pályázatok elhúzódnása. Az előkészítés, a pályázat, a költségkeret meghatározása után sokszor évek telnek el a projekt megvalósításáig, így az eredetileg meghatározott költségek jelentősen megnövekednek addig, amíg a projekt eljut a tényleges megvalósításig.

Vannak olyan projektjeink, amelyeknél már a vízjogi létesítési engedélyezési tervek is rendelkezésre állnak, tehát teljesen előkészítettek a projektek, jóváhagyott az agglomerációs lehatárolás, mégis évek óta húzódik a pályázat előkészítése, miközben néhány havonta érdeklődő levélben fordulunk a projektet koordináló szervek felé. Inkább kevesebb, mint több sikerrel.

1,5 éve egy szintén jól előkészített, vízjogi létesítési engedéllyel bíró, egytelepülései kis projekt kapcsán jártunk a Nemzeti Fejlesztési Programirodánál (a továbbiakban: NFP) egyeztetni. A pályázati elbírálás elhúzódnásának fő okaként az eredeti költségek időközbeni megsokszorozódását hozta fel indokként az NFP.

Tapasztalataim alapján az előkészítés fázisában a másik legfőbb hátrány az engedélyezési tervek és a kivitelezés együttes pályáztatása (sárga FIDIC hátránya). Ez eleve halálra ítéli a rendszert, hiszen a kivitelező (fővállalkozó) nem tudja, nem látja pontosan, mire ad ajánlatot. Ez nagyon sok bizonytalansági tényezőt, kérdést generál a rendszerben, ami szintén a pályázat elhúzódnásához vezet. A nyertes vállalkozó tulajdonképpen azt tervez(tet), ami neki a legelőnyösebb, tehát nem feltétlenül a megrendelő (önkormányzatok) és a jövőbeli üzemeltető érdekei érvényesülnek a tervezés során.

Szintén az engedélyezési tervek és a kivitelezés együttes pályáztatásából eredő probléma, hogy nem marad elegendő idő a tervdokumentáció jóváhagyására, egy idő után szinte teljesen „átláthatatlanná” válnak az engedélyezési tervek. A büki projektben, annak érdekében, hogy haladni tudjon a folyamat, az egyes szakági terveket önállóan

hagytuk jóvá, aminek az lett a következménye, hogy a legnagyobb odafigyelés és gondosság ellenére sem voltak a végleges, jóváhagyott szakági tervek teljes mértékben összhangban egymással. Továbbá az is előfordult, hogy fizikálisan már épültek olyan művek, amelyeknek a terve még jóváhagyás alatt volt.

A projekt sikeressége érdekében arra egyértelműen törekedni kell, hogy az ajánlatadók már az ajánlatadási fázisban ismerjék meg és tartásukba a helyi szolgáltató műszaki követelményeit. Saját tapasztalataink alapján idekapcsolódó fontos momentumok lehetnek például az elfogadott csőanyagok, a bekötések, a kamerázás díjai, vagy az út alatti átfúrás kontra nyílt árkos fektetés kérdése. A büki projektben például az egyik legnagyobb induló nehézséget az jelentette, hogy a nyertes vállalkozó a gravitációs szennyvízcsatornát nem az általunk elfogadott SN10 PP anyagból árazta be, hanem KG-PVC anyagból. Nyilván a projekt sikerességének e feltétele nagyrészt az ajánlatadó vállalkozó hozzáállásán, körülményén múlik.

Az előkészítés fázisának egy másik nagy tanulsága volt, hogy érdemes lenne bevonni helyi tervezőket a tervezés folyamatába, hiszen ők ismerik legjobban a helyi műszaki követelményeket, elvárásokat, és sokkal könnyebb a kommunikáció is az egyeztetések során a helyi üzemeltetővel, önkormányzatokkal. Ez a feltétel a büki projektben részben meg is valósult, és tapasztalataink alapján valóban sokkal gyorsabban és a szolgáltató előírásainak betartása mellett készültek a tervek azokon a településeken, amelyek csatornahálózatának tervezését helyi tervezőkre bízták.

Nagy tanulság, hogy a tervezésre és a kivitelezésre együtt történő közbeszerzési eljárás kiírása esetében (is) a közbeszerzési műszaki dokumentáció nagyon alapos előkészítése sok problémát kiküszöbölne, a kivitelezés során is sokkal kevesebb kérdés, bizonytalanság merülne fel. Sajnos ez időigényes folyamat, ami a pályázati gyakorlatban nehezen valósul meg.

KIVITELEZÉS

A kivitelezés folyamatát nagymértékben meghatározta az, hogy a fővállalkozó alapvetően műtárgyépítési tapasztalattal rendelkezett. Ez a gyakorlatban azt is jelentette, hogy a büki szennyvíztisztító telep műtárgyait kezdte el építeni, és a telep jóval korábban elkészült, mint a települési szennyvízcsatorna-hálózatok.

A fővállalkozónak saját dolgozója a területen alig volt (csupán két építésvezető), a kivitelezést teljes egészében alvállalkozók végezték. Az alvállalkozó csapatok munkájának időbeli és térbeli koordinálására szükség lett volna egy megbízható, kompetens, folyamatosan az építési területen tartózkodó építésvezetőre, ez sajnos nem így történt.

A büki telep fejlesztése nem zöldmezős beruházásként történt, hanem egy működő szennyvíztisztító telepen kellett a kivitelezési munkákat végezni, közben folyamatosan fenntartva és semmivel nem veszélyeztetve a telep működését. Ilyen esetben különösen fontos a telepen dolgozó alvállalkozók és a telepet üzemeltetők napi szintű együttműködése.

Az alvállalkozók átláthatatlansága Mészlen település esetében vált a legkritikusabbá, ahol a szennyvízcsatorna-hálózat egy rövid szakaszát még a fővállalkozóval leszerződő alvállalkozó építette, azonban, mint később kiderült, időközben ezt a csapatot átvezényelték egy másik projektre, így a kivitelezés további részét az alvállalkozó alvállalkozója végezte. Ezekon a munkaterületeken a csatornahálózat olyan rossz műszaki minőségben épült meg, hogy a település nagy részén újra kellett fektetni a csatornát. Hosszú egyeztetések sorát követően született meg a végleges döntés, ez pedig idővesztést generált, illetve nagyon nagy mértékű költségtöbbletet a fővállalkozó számára. Nem utolsósorban műszaki szempontból is nehézséget jelentett a már megbolygatott talajban való megfelelő kivitelezés, ágyazatkészítés.

A kivitelezés fázisának egyik legnagyobb nehézsége volt az, hogy az irányító, támogató szervezetek (FIDIC-mérnök, műszaki ellenőr) érdemben alig vettek részt a folyamatban. A helyzet visszasságát jól mutatja, hogy az NFP részéről a projektnek négy mérnöke volt, akik közül kettővel én személyesen nem is találkoztam sem a helyszínen, sem a kooperációs egyeztetéseken.

A projekt előrehaladásával egyre jobban érződött az NFP és a műszaki ellenőr szervezet konfliktusa, szerepkörük tisztázatlansága, ami az egész projektre hatással volt.

Hasonlóan az előkészítési-tervezési fázishoz, a kivitelezési szakasz esetében is hasznosnak tartanánk a helyi kivitelezők, alvállalkozók bevonását. A helyi kivitelezők – a tervezőkhöz hasonlóan – ismerik a műszaki követelményeket, rendelkeznek helyismerettel, kapcsolattal a helyi önkormányzatok felé, tehát sokkal könnyebben, hatékonyabban „mozognak” a saját területükön.

A büki projekt esetében mindhárom településnél sor került helyi kivitelezők bevonására, aminek a fentiek következtében egyértelműen pozitív hatása volt a projekt sikerességére. Bár a fővállalkozó és az alvállalkozóként bevont helyi kivitelezők közötti kapcsolatfelvétel, szerződéskötés elhúzódott, így hasznos lehetne a fővállalkozó részéről a helyi műszaki követelmények megismerésén túl a helyi tervezők, kivitelezők körének korai feltérképezése is az ajánlatadás fázisában.

A tapasztalatok összefoglalásánál ki kell térnem arra, hogy a teljes projekt alatt és elsősorban a kivitelezési fázis során a projekt sikerességének szempontjából kulcsfontosságú tényező a partneri viszony és a megfelelő kommunikáció az egyes szereplők – koordináló szervezetek, önkormányzatok, fővállalkozó és a későbbi üzemeltető – között. Ezzel kapcsolatban kettős tapasztalataim voltak a büki agglomeráció bővítése alatt.

Azt gondolom, különösen többévtényi MEKH-es tapasztalat, a helyszíni ellenőrzések során országszerte látottak, tapasztaltak alapján, hogy szerencsés helyzetben voltunk a büki projektet illetően, mivel a kezdetektől fogva bevont bennünket, jövőbeli üzemeltetőt a fővállalkozó. A helyi önkormányzatokkal szintén jó kapcsolatot ápolunk, ápolunk, a velük való kommunikáció – különösen egy-egy vitás helyzetben – kulcsfontosságú egy ilyen volumenű projekt esetében.

Az egymás iránti partneri viszonyt nem minden esetben éreztem az összes szereplő között. Hiszen bár alapvetően közös a célunk, azért tulajdonképpen másik oldalon állunk.

Amit mindenképpen fontosnak tartok még kiemelni, az a folyamatos üzemeltetői jelenlét mind a tervezési, mind a kivitelezési fázisban. Ehhez elengedhetetlen a munkahelyen belüli fontossági sorrend felállítás – a napi munkák mellett egy ekkora projekt elsőbbséget kell hogy élvezzen. Ha az általános napi feladatokon túl „pluszban” kapják meg a kollégák egy ilyen projektben való részvételt, akkor elegendő idő, energia, figyelem biztosan nem fog jutni rá.

Véleményem szerint szükség van házon belül egy kijelölt projekt-koordinátorra, aki összefogja és átlátja a projektet, kommunikál a kollégákkal, a tervezővel, a kivitelezővel – a több szálon futó levelezések, információk mindig félreértést szülhetnek. Egyértelműen szükségesek továbbá a rendszeres egyeztetések a projekt különböző fázisaiban érintett műszaki, gazdasági, jogi területen dolgozó kollégák részvételével.

A PROJEKT LEZÁRÁSA

Amikor már a művek nagy része elkészült, és látszott a fény az alagút végén, még mindig nagyon sok feladat állt előttünk, és napi szinten merültek fel kérdések a projekt lezárásával, a szükséges engedélyek megszerzésével kapcsolatban.

Az egyik legnagyobb fejtörést a próbaüzem kérdése jelentette. A vízügyi hatóság egy ideje már csak a telep tekintetében ír elő próbaüzemet, az elkészült szennyvízcsatorna-hálózatra nem, még abban az esetben sem, ha szagkezelési rendszer is üzembe helyezésre kerül a hálózaton.

Ugyanakkor ellentmondás mutatkozott a szennyvíztisztító telep vízgazdálkodási engedélyében előírtak miatt: „Telepen a szennyvíz-gyűjtőhálózat létesítését követően – téli üzemidőszakra is kiterjedő – 6 hónap próbaüzemet kell végezni.” Mi jövőbeli üzemeltettként egyértelműen szerettünk volna a hálózaton is próbaüzemet tartani.

Az ellentmondás feloldására a fővállalkozó állásfoglalást kért a vízügyi hatóságtól. A hatóság megállapította, hogy a csatlakozó négy településen keletkező szennyvíz a szennyvíztisztító telep kapacitásához viszonyítva olyan kismértékű terhelést jelent, amely a telepi próbaüzem lefolytatását nem befolyásolja. Így a hatóság hozzájárult, hogy a szennyvíztisztító telepen a hat hónapos próbaüzemet a csatlakozó településeken keletkező szennyvíz terhelése nélkül folytassuk le.

További állandó kérdésként merült fel a kooperációkon a rész műszaki átadás-átvétel kérdése – lehetséges-e, amennyiben igen, a próbaüzem lezárulása utáni költségek kit terhelnek? Sajnos a kérdésre hónapokon át teljesen ellentmondásos választ kaptunk, az irányító, támogató szervezetek nem foglaltak állást e tekintetben.

Az ellentmondás a gyakorlatban azt jelentette, hogy bár vízgazdálkodási engedély és MEKH működési engedély hiányában az elkészült víziközműveket hivatalosan nem üzemeltethettük, a lakosság már kötött volna rá az évtizedek óta várt és elkészült szennyvízcsatornára. Ahhoz pedig, hogy a telepi próbaüzem során reális(abb) képet kapjunk az új, kibővített telep működéséről, szükség lett volna az újonnan bekapcsolt településeken képződő szennyvízre is.

Végül az a megoldás született, hogy kötöttünk egy külön megállapodást a fővállalkozóval, amiben rögzítettük a telepi és a hálózati próbaüzem lefolytatásának feltételeit, feladatait, elősegítve ezzel a lakosság mielőbbi rákötését az új szennyvízcsatorna-hálózatra.

Külön problémát jelentett a MEKH működésiengedély-módosítása, mellyel kapcsolatban ezek az alapvető kérdések merültek fel:

- Szükséges-e vagyoneértékelést benyújtani; ha igen, a vagyoneértékelést ki és milyen forrásból végezze el?
- Mikor nyújtjuk be a működési engedély módosítása iránti kérelmünket?
- A szolgáltatási díj, használati díj miért nem növelhető egy jóval fejlettebb, nagyobb rendszeren?

A fenti kérdések egy részére előzetesen állásfoglalást is kértünk a MEKH-től. Vagyoneértékelést végül nem nyújtottunk be, hiszen ennek elvégzése az NFP és szerződött partnerének feladata. Vezetői döntés alapján a működési engedély módosítási kérelmét időben elkezdtük összeállítani, és bár néhány dokumentum (pl. vagyoneértékelés, műszaki átadás-átvételi jegyzőkönyv, vízgazdálkodási engedély) még nem áll rendelkezésünkre, azt még a műszaki átadás-átvétel előtt benyújtottuk a MEKH felé. A szolgáltatási díj pedig maradt a korábbi, szilíciumüzemben működő büki rendszerre megállapított díj.

Érdekes momentum a történetben, hogy a teljesen új víziközmű-rendszerként felálló váti szennyvízelvezető rendszerre magasabb szolgáltatási díjat állapított meg a hatóság, mint azon a büki szennyvízelvezető és -tisztító rendszeren, ahova Vát átadja szennyvizeit tisztításra, és ahol a jogszabályi előírások alapján a korábbi díjat kell a jövőben is alkalmazni. Véleményem szerint a használati díj ellentmondásaival kapcsolatos tapasztalatok sem maradhatnak ki az összefoglalásból. Néhány számadat, amely magáért beszél.

Jelenleg ugyanakkora használati díjból kell egy jóval nagyobb és fejlettebb rendszert üzemeltetni. A projekt keretében kiépült új víziközművek bekerülési költsége (Vát nélkül) kb. 1,3 Mrd Ft volt – amennyiben csak a hálózat 50 éves amortizációjával számolunk, kb. 26 M Ft/év a három csatlakozó település új szennyvízcsatorna-hálózatának értékcsökkenése, amelynek meg kellene képződni a használati díjban. Ehhez képest a teljes kibővült Büki Szennyvízelvezető és Tisztító Rendszeren 2022. évben kb. 7,8 M Ft a rendelkezésre álló használati díj.

A fenti számok is jól mutatják, hogy a fenntartás és az üzemeltetés kérdéseivel, nehézségeivel szembe kell nézni, és azokra nagyon rövid időn belül megoldást kell találni. További felmerülő feladatként jelentkezett az, hogy több víziközmű-szolgáltató érintettsége esetén az

engedélyezési eljárásokban a hatóságok különbözőképpen kezelik az elkészült rendszert. Mivel a MEKH víziközműrendszer-alapon gondolkodik, a büki agglomerációbővítés esetében két önálló kérelmet kellett benyújtani: egyet nekünk a büki rendszer működési engedélyének módosítására, egyet pedig a Vasivíz ZRT.-nek a teljesen új váti rendszer működési engedélyének kiadására. Ugyanakkor a vízügyi hatóság a vízgazdálkodási engedélyezési eljárásban az elkészült műveket műszakilag egybefüggő rendszerként kezelte, tehát itt a társszolgáltatóval közös kérelmet kellett benyújtani.

ÖSSZEFOGLALÁS

Személy szerint nagyon hálás vagyok érte, hogy ennyire szívesen részt vehettem a projekt lebonyolításában, mert nagyon sok gyakorlati és szakmai tapasztalattal lettem gazdagabb.

Jó szívvel írhatom, hogy amit lehetett, kihoztuk a projektből. Műszakilag jó színvonalú, fenntartható víziközművek születtek. Személy szerint és víziközmű-szolgáltatóként is nagyon sokat tanultunk a büki szennyvíz-agglomeráció fejlesztéséből, amit biztosan kamatoztatni tudunk egy következő beruházás során.

Vízmu Panorama / A Magyar Víziközmű Szövetség lapja

Kiadja a Magyar Víziközmű Szövetség
Felelős kiadó Nagy Edit / Főszerkesztő Mária Igéti Bence
A főszerkesztő munkatársai Várszegi Csaba, Tary Dávid,
Kasperkiewicz Kinga, Kreitner Krisztina

Szerkesztőség 1051 Budapest, Sas utca 25., IV. em.
Telefon +36 30 315 2472 E-mail vizmu.panorama@maviz.org
Honlap www.maviz.org/vizmupanorama
Hirdetésszerzés Tary Dávid / E-mail tary.david@maviz.org

Lapterv BrandAvenue / Korrektor BrandAvenue
Nyilvántartási szám B/SZI/1925/1993 302-5066
ISSN 2732-0340 / Minden jog fenntartva

Lapunkat
rendszeresen szemlézi a
megújult www.observer.hu

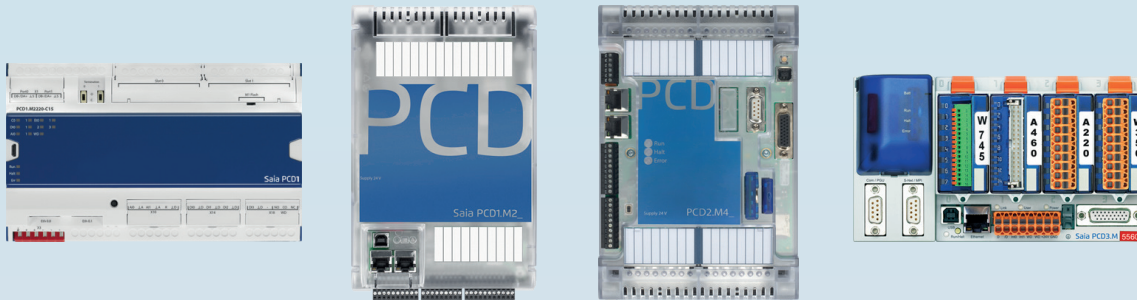
OBSERVER

Több mint 25 év a vízmű-automatizálás szolgálatában

sb - controls
értékesítés – oktatás – tanácsadás

Európai termékek
2+3 év garanciával!

Teljes Saia PLC választék



Kibertámadások ellen védett PLC



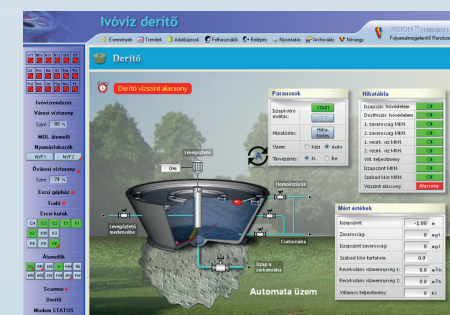
4G modemek, routerek



LoRa WAN távjelzők, távadók



VisionX szoftverek



T.: +36-23-501-170;

office@sb-controls.hu;

www.sb-controls.hu

Gorján Ferenc

- Debreceni Vízmű Zrt.

KREITNER KRISZTINA
a MaViz PR- és
marketingmenedzsere

kreitner.krisztina@maviz.org

Kedves Olvasók, kedves Vízművesek!

Újra jelentkezem, és bár volt egy kis kihagyás a portrékat illetően, szerencsére beindultak a rendezvények, és végre megint lehetőségünk adódott arra, hogy személyesen is találkozzunk egymással. Azt

hiszem, ez úgy kellett mindannyiunknak, mint egy falat kenyér. Éreztem minden rendezvényen a jó energiákat, tényleg láttam az arcokon és a szemekben az őszinte örömet, hogy VÉGRE újra együtt lehetünk!

A mostani portré vendégére mondhatnám, hogy új arc, azonban ez nem igaz. Lehet, hogy a mostani pozíciójában új, de amúgy igazi vérbeli vízműves. Gorján Ferenc, a Debreceni Vízmű Zrt. vezérigazgatója 2020. július 1-jétől lett kinevezve, és nem kertelek, próbáltam már hónapokkal ezelőtt is megkérni, hogy beszéljünk, de nem állt kötélnek. Most azonban azt mondta, hogy jó, legyen, úgyhogy örömmel vágtam bele a felkészülésbe és a beszélgetésbe. Szerintem egy igazán lendületes és szerethető beszélgetés született, bízom benne, hogy önök is örömmel fogják majd olvasni. Kellemes időöltést kívánok hozzá!

KREITNER KRISZTINA: Kedves Ferenc! Először is tényleg, őszintén köszönöm, hogy elfogadtad a felkérést, nagyon örülök, hogy végre így beszélgethetünk. Remélem, többen meg fognak ismerni az interjúm keresztül, hiszen valahol ez neked egy bemutatkozó beszélgetés is. Ahogy már jeleztem, 2020. 07. 01-től vagy vezérigazgató. Szívből gratulálok, és hát – mosolyogva mondom – te vagy a legfiatalabb vezérigazgató az ágazatban. Milyen érzés ez neked?

GORJÁN FERENC: Kedves Kriszta, kedves Olvasók! Köszönöm a lehetőséget! Akkor sorban haladnék az érintett kérdésekkel. Nem álltam kötélnek, mert úgy éreztem, hogy

előbb le kell tegyek valamit az asztalra, megismernem az új szerepkört és ami ezzel jár, azóta azonban eltelt másfél év. Köszönöm a gratulációt! Hogy milyen érzés a legfiatalabb vezérnek lenni? Őszintén szólva a legfiatalabb jelző sok beosztásnál végigkísért már. Nem társul hozzá sem pozitív, sem negatív érzés. Az viszont nagyon megtisztelő, hogy erre a feladatra engem választottak.

Ha végignézem az életutad, akkor korán kezdődött az elköteleződés, 15 évesen vízügyi szakközépiskola, ott egy elég sikeres tanulmányi verseny, ahonnan egyenes út vezetett a DRV-hez. Ez nagyon menő szerintem... Valójában ez a véletlen műve.

Erre szoktam én mondani, hogy valójában véletlenek nincsenek.

A Dráva-parton nőtem fel, és imádtam, imádom a vizet, de katonai gimnáziumba szerettem volna menni, majd pedig erdésznek. Harmadik helyen is meg kellett jelölni valamit, az volt a barcsi Dráva Völgye Középiskola (DVK) vízgazdálkodási tagozata. Azt sem tudtam, mi ez. Édesapámat kérdeztem, és ő bölcsen azt mondta: „Én sem tudom teljesen, de két dolog biztos: egyik, hogy a vízre mindig szükség lesz, hiszen ha sok van, az a baj, ha kevés, akkor az, és emiatt mindig kell majd olyan



ember, aki ezt érti; a második dolog pedig az iskola. Akiket ismerek és oda jártak, azok mind rendes, tisztességes emberek.” Az élet pedig úgy hozta, hogy oda nyertem felvételt.

Aztán megszerettem, elkezdett érdekelni, de ott is inkább először a területi vízgazdálkodás érdekelt, aztán minden, ami víz. Ehhez kellett az iskola és az általa képviselt értékrend. Mai napig vallom, hogy hivatást kaptunk, nem csak szakmát. Érdekes, hogy generációktól függetlenül minden volt DVK-s diákban van egy szoros értékrendi kapcsolat. Sokat köszönhetek az ottaniaknak.

Aztán még az érettségi évében jelentkeztem egyetemre is, építőmérnöknek. Fel is vettek, de a teljesség és a biztonság miatt ott maradtam ötödéven megszerezni a technikai képesítést, ezért rögtön kértem is egy év halasztást.

Minden évben az ötödéveseknek megrendezik az Országos Szakmai Tanulmányi Versenyt, ahol a barcsiak általában nyernek. Nekem is

sikerült a döntőbe jutnom, ahol első és harmadik helyezést értem el. Az eredményhirdetésekor lépett hozzám egy DRV-s, hogy gratuláljon, és közölte, hogy ilyen embereket keresnek, csak mérnökben, és ösztöndíjat ajánlott, amelyet elfogadtam.

Azta! Picit azért olyan mesébe illő ez az egész, de nyilván semmi sem így lett volna, ha nem teszel bele energiát. De aztán ha megyünk sorban, 2008-ban, az egyetem után indult a DRV-s karriered, ahol végigjártad a ranglétrát. Ahogy elnézem, nincs sok olyan beosztás, amihez ne lett volna közd...

A szabály az volt, hogy államvizgát követően 30 napon belül munkára kellett jelentkezni. Azt gondoltam, hogy majd az otthonom környékén leszek valami, például művezető, de Siófok volt az ajánlat, és mint később kiderült, ez egy hosszú, kemény tanulással járó vándorlás kezdete volt.

Itt sokat tudnék anekdotázni. A lényeg, hogy másfél évig 3 hét és 3 hónap közötti időszakokban körbe kellett járnom a DRV-t. Szó szerint vízművekben és szennyvíztisztítóban laktam. Akkor ez nehéz volt, de óriási iskola is, hiszen megismertem minden vízellátó és szennyvízelvezető rendszert, fel kellett mérnem, meg kellett tanulnom, hogy miként működnek, szinte mindenkit megismertem személyesen a vízműnél. Rengeteget tanultam. A munkaköröm egyébként itt diszpécser volt, és fizikai állomány. Ezt követően neveztek ki az üzemirányító központ élére, ahol az üzemirányítás mellett más érdekes dolgokkal is foglalkozhattam. Nagy kedvencem a vízellátó rendszerek matematikai modellezése, a hidraulikai feladatok és a vízvesztés-csökkentés, mely azóta is kísér, bárhová megyek. Ebben az időszakban szereztem meg a BME vízellátás-csatornázás szakmérnöki diplomáját, aminek a vége egybeesett egy szervezetfejlesztéssel, így kaptam megbízást 2014-ben a Keszthelyi Üzemzetőségi üzemzetőségi munkakörének betöltésére. Így a változatosság kedvéért Keszthelyre kellett költözni. Nagyon szerettem. 56 település vízellátása, 3 regionális vízműrendszer, a DRV legnagyobb vízbázisa tartozott hozzám nagyon változatos kihívásokkal. Itt ismét iskolapadba ültem, mert láttam, hogy ha hatékony és eredményes akarok lenni, akkor megkerülhetetlen a gazdasági diploma. Aztán 2016-ban egy újabb átszervezés volt, és máris Siófokon találtam magam, a Műszaki Üzemviteli Osztályon, ahol előbb műszaki szolgáltatási vezető, majd osztályvezető lettem. Ez rendkívül komplex feladatkör, hiszen ezen az egy osztályon összpontosult a termelési főmérnök műsza-

ki törzskara (műszaki előkészítések és elemzések, tervvéleményezések, diszpécserközpont, energetika, térinformatika stb.).

Hát... ilyenkor azért automatikusan felmerül a kérdés, hogy ki segített? Ki volt melletted? Mentorod, mentoraidd voltak? Vannak?

Az alapokat, a hozzáállást és az értékrendet természetesen én is otthonról hoztam, a szüleimtől. Mentorom így kinevezve nem volt. Viszont a teljes DRV-s pályám során ott volt Csértán Gábor főmérnök úr. Tudatosan vagy tudat alatt, de kiképzett. Mindig olyan feladatokat kaptam, olyan helyzetekben találtam magam, amelyekben két opció volt: vagy megoldom, vagy belebukok. Ezek között rengeteg olyan akadt, amelyik stratégiai fontosságú, tehát mind a szakmai, mind a vezetői képességeimet fejlesztette. Ő alkotta meg azt a kemény, stabil vázát, amelyre lehet építeni. Erre a vázra épített Éri László, aki Keszthelyen volt a felettesem, tőle a nagyon kemény valóságot és annak kezelését lehetett megtanulni, hogy a diplomácia nagyon fontos dolog. Krizsán György hosszú, „C” típusú beszélgetéseken tanította meg, hogy emberekkel dolgozunk, hogy előbb csapat legyen, és hogy „nagyon észnél kell lenni”.

Ha már felmerült, akkor igazából annyi mindenkit megemlíthetnék még az üzemvezetőktől (összes) kezdve szinte minden kollégáig. És igen, rengeteget tanultam a mellérendelt és a beosztott kollégáimtól is, sőt. Néhány kolléga jó barátom is. Hálával és szeretettel gondolok mindegyikükre. Egyébként mindig a legjobbakról tanulhattam a DRV-nél és az iskolákban, Debrecenben is ezt érzem, viszont a legnagyobb tanárom egy barcsi üzemzetőségi dolgozó vízhálózat-szerelő, karbantartó és kőműves szakmunkás: az édesapám.

Aztán jött Debrecen. Gondoltad volna? Érezted? Hittél benne, hogy egyszer majd eljön ez a pillanat?

Abszolút nem. Magamban (reálisan, önkritikát és önfegyelmet gyakorolva) mindig hiszek, pontosan tudom, mit akarok, de elsődlegesen mérnöknek tarom magam. Így bár tudatosan fejlesztettem magam, de a vezérigazgató nem szerepelt a konkrét célok között. Persze ma már látom, hogy így még inkább alkothatok, szolgálhatok és rengeteget fejlődhetek. Mindig az mozdított előre minden téren, ha kimozdultam a komfortzónámból. Amikor megkeresett a fejedvadász, akkor gyanakodva fogadtam, és meg voltam győződve, hogy ez akkora pozíció, hogy biztos megvan az ember, de kellene jelöltek a „futottak még” kategóriába,

így gondoltam, megnézem, mit érek. Aztán egy ötkörös, három hónapig tartó kiválasztási folyamat eredményeként, jobb híján én vagyok itt. Debrecen és térsége hazánk legdinamikusabban fejlődő régiója, felismerték, hogy ehhez az egyik legfontosabb háttér a víziközmű-infrastruktúra, ehhez kellett a megfelelő ember. Ez egy akkora és olyan szép kihívás, amire nem mondhattam nemet.

De jó! Tényleg jó, hogy nem mondtál, nem mondhattál nemet. Melyek voltak a főbb célkitűzések, amikor belevágtál az egészbe? Vannak nagyobb tervek, elképzelések?

A legfontosabb, hogy alkalmassá tegyem a szervezetet a megváltozott körülmények közötti működésre. Egy statikus szervezet nem tudja teljesíteni azokat a kihívásokat, amelyeket az jelent, hogy adott 39 település, és 40.-nek a második legnagyobb város, amely folyamatosan fejlődik, ahova sorban települnek cégek, iparok, nő a lakosság, és a teljes régió ugrásszerűen fejlődik. Ehhez egy olyan szervezet kell, amelynek fő jellemzője az alkalmazkodóképesség és a rugalmasság. Ennek legfontosabb és legégetőbb eleme a műszaki terület átszervezése volt, amely nemrég fejeződött be. De aztán jön a többi.

Fontos cél, hogy emellett a vízmű „élhető” legyen. Azaz a kollégákat jó érzéssel töltsse el, hogy itt dolgoznak, és jó „szájjal” töltsék a mindennapokat. Ezt azonban úgy kell megvalósítani, hogy ez egy szolgálat, a vízmű pedig akkor jó, ha olyan, mint egy félkatonai szervezet. Hiszek ebben az egyensúlyban.

Emellett kiemelten fontosnak gondolom a technikai, az IT-fejlettség magasabb szintre emelését minden szakterületen.

Mindez nem egyszerű, de ahogy a DRV-nél, úgy itt is nagyon sok elkötelezett, magasan képzett, tapasztalt munkatárs vesz körül, akik (egyre jobban megismerve őket) nagyszerű emberek is. Bár még csak másfél év telt el, de büszke vagyok, hogy velük szolgálhatok, és itt is köszönöm rendkívüli erőfeszítésüket és türelmüket. Remélem, még soha nem maradhatok jelen pozícióban.

Természetesen azzal is tisztában vagyok, hogy nekem is tovább kell fejlődöm. Vezérigazgató nem attól leszek, hogy kineveztek, hanem azzá kell válnom. Ez egy folyamat. Szoktam mondani, hogy sohasem veszítek. Vagy nyerek, vagy tanulok. Szóval sok tanulnivaló van még, de nehezen adom fel, és a visszajelzések alapján jó az irány és a módszer is.

Aztán eltelt kicsit több mint egy év, és jött a MaVíz elnökségi pozíciója. Miért vágtál bele, miért vállaltad el? Vannak olyan célok, amelyek motiválnak? Vagyis pontosan: milyen célok motiválnak?

Egy általam nagyra értékelt személlyel az ágazatról és a MaVízről is beszélgetve kaptam a felkérést, hogy számítsam rám az elnökségi munkában. Néhány elvi (önazonossági) kérdést megbeszélve, és letisztázva azt, hogy ez jelen feladataimmal nem összeférhetetlen, elvállaltam. A szakmám a hivatásom és a hobbi is. Nagyon megtisztelő, hogy alkalmasnak gondolnak arra, hogy részt vehetek a szakma előremozdításában olyan tiszteletre méltó kollégákkal, mint az Elnökség jelenlegi tagjai. Tenni szeretnék, és aktívan alakítani, remélve, hogy hozadéka, és nem deficitje leszek a szervezetnek.

Ezt az utolsó mondatot vagy a végét meg sem hallottam, maradjunk ennyiben! Te hogy látod most az ágazat helyzetét? Mit érzel, mi lesz az új elnökség feladata, és milyen célokkal vágnak bele a munkába?

Álláspontom kissé nyersnek és radikálisnak tűnhet. Azt gondolom, hogy az ágazat mélyponton van, de ebből igenis ki lehet lábalni. Ehhez azonban ki kell mozdulni a komfortzónából, félre kell tenni az ellentéteket, és menni. Konkrétan: egységes ágazati stratégia akciótervekre lebontva és azokat igenis végrehajtva. A MaVíz ilyen értelemben egy cég, amelynek szervezeti egységeit, folyamatait ehhez kell igazítani. Szeretném, ha fentiek szellemében lennének végrehajtott egységek, akiknek feladatot, határidőt kell világosan meghatározni, az elnökség pedig kvázi igazgatóságként ezeket értékeli, határozatba foglalja, és aztán egy emberként vinné tovább ahhoz a szervhez, amelyikhez kell. Így lesz a már meglévő és fenntartandó értékközösségből valódi érdek-közösség is. De ez egy nézőpont, az elnökség céljairól, terveiről Elnök Úr kompetens nyilatkozni, a függelemsértés távol áll tőlem.

Rendben, köszönöm. Nem is feszegetem tovább ezt a témát, úgy érzem, hogy amit tudnunk kell, megtudtuk. Kedvelt téma ma a digitális vízgazdálkodás, a digitális átalakulás. Hogyan látod ezt a kérdést, hol áll ebben a Debreceni Vízmű? Te hogy állsz ehhez a témához?

Mint feljebb is említettem, ez az egyik legfontosabb témakör, amellyel mindenképp foglalkozni kell. Már csak azért is, mert Debrecen önmagában, ahogy fejlődik, rendkívüli erőfeszítéseket tesz a digitalizáció irányába, amihez értelemszerűen a vízműnek is fel kell nőnie. Debrecenben arról beszélnek például, hogy hogyan lehetne összekapcsolni azt, hogy ha van egy közterületi csőtörés, akkor a forgalomirányítási lámpák kapcsolási rendje miként változzon a dugók minimalizálására. Vízműoldalról azonban még sok a tennivaló. Alapvetően az üzemirányítást szeretném egységesíteni, felfejleszteni, ez az elsődleges, ez az alapja mindennek. Mellette kiemelten fontos a megfelelő műszaki információrendszer, amely integrált; azaz nemcsak objektum-nyilvánítás, hanem munkairányítási, termelési, energetikai és egyéb alrendszerekből áll; nagyon hiányzik, és nem csupán a Debreceni Vízműnél egy egységes, jól használható, beruházási feladatokat támogató komplex rendszer. És persze fontos az értékesítési, a gazdasági folyamatok IT-támogatása is. Mindezeknél két dolgot tartok fontosnak úgy helyi, mint országos szinten: az egységesítést és a komplexitást. Mindkettő azért elsődleges szempont, mert a valós képhez és a jobb döntésekhez járul hozzá. Komplexitásra példának hoznám, hogy alapvető kellene, hogy legyenek vízellátó rendszerek modellezve, ezek legyenek összekapcsolva a folyamatirányítással; vagy hogy szennyvízoldalon ne csak a hálózat legyen modellezve, hanem a komplex vízgyűjtő is, ahol a hidraulika mellett a hidrológiai elemek is figyelembevételre kerülnek.

Melyek a legfontosabb célok, projektek a következő egy-két évben? Megosztod velem és az olvasókkal azokat, amelyeket lehet?

A szervezetfejlesztést folytatni kell a többi szakterületen is. A mindennapos szolgáltatás biztosítása és feltételeinek megtartása a legfontosabb operatív cél. Mellette pedig az, amiért itt vagyok. Debrecen egy közép-kelet-európai gazdasági régióközpont hivatalosan is. Folyamatosan fejlődik a város és a régió. A vízművet még inkább alkalmassá kell tenni arra, hogy ennek a régióközpontnak egy stabil, üzembiztos és együttműködő alap- és háttér-infrastruktúrája legyen műszakilag, gazdaságilag és szervezetenként egyaránt. Ugyanakkor szeretném azt is, hogy „élhető” munkahely legyen minden egyes jelenlegi és jövőbeli munkatársam számára. Mindezekre a stratégia folyamatosan készül vagy már kész van, a megvalósítás pedig folyamatos.

Melyek a legfontosabb célok, projektek a következő egy-két évben? Megosztod velem és az olvasókkal azokat, amelyeket lehet?

A szervezetfejlesztést folytatni kell a többi szakterületen is. A mindennapos szolgáltatás biztosítása és feltételeinek megtartása a legfontosabb operatív cél. Mellette pedig az, amiért itt vagyok. Debrecen egy közép-kelet-európai gazdasági régióközpont hivatalosan is. Folyamatosan fejlődik a város és a régió. A vízművet még inkább alkalmassá kell tenni arra, hogy ennek a régióközpontnak egy stabil, üzembiztos és együttműködő alap- és háttér-infrastruktúrája legyen műszakilag, gazdaságilag és szervezetenként egyaránt. Ugyanakkor szeretném azt is, hogy „élhető” munkahely legyen minden egyes jelenlegi és jövőbeli munkatársam számára. Mindezekre a stratégia folyamatosan készül vagy már kész van, a megvalósítás pedig folyamatos.

A beszélgetésünk végére már csak néhány személyes kérdés maradt, de így lesz kerek a sztori, ha még kapunk belőled, a magánemberből is picit. Mit tudhatunk Gorján Ferencről? Hol éltek most a családdal? Siófok–Debrecen?

Az állandó lakcím Siófok. Életvitelszerűen azonban Debrecenben élünk a feleségemmel és a hároméves kislányommal. Debrecenben minden van, zöld és családbarát, de nekem a Balaton, a Dunántúl és Siófok hiányzik, gyakran van honvágyam. Ettől függetlenül nagyon szeretjük, jó itt élni, van egy sajátos varázsa, amely hamar rabul ejti az embert. Jó a városért dolgozni is.

De jól hangzik ez így! Miként menedzseled mindezt? Van szabadidőd? Hogyan tudsz töltődni, mivel kapcsolódsz ki?

A feleségemmel az egyetem óta együtt vagyunk. Hihetetlenül fontos háttér, sosem fogom tudni meghálálni neki azt a sok lemondást, amit miattam vállalt. A menedzselésben segít még a sport, a harci művészetek és a vallás. Így lesz egyensúly, így lehet működni csak. Egyébként az is fontos, hogy nem kell annyit aludni, és akkor hatékonyabb a napkihasználtság. Aki sokat alszik, az keveset él. Erről egyébként a kislányom, Lídia gondoskodik is.

Hm... azt hiszem, ez jó végszó lehet, és biztosan sokan egyet is tudnak veled érteni ebben.

Nagyon köszönöm a beszélgetést, engem megerősített abban, amit gondoltam rólad. És még valami biztos: ez az ágazat csak így tud életben maradni. Ha ilyen körülmények között, ilyen elkötelezett emberek dolgoznak benne. Köszönöm szépen!

BORDA, Jean-Charles (1733–1799)

francia mérnök és műszaki tiszt

A francia gyakorló hajóhad 73 éven keresztül Jean-Charles Borda nevét viselte, aki nemcsak a haditengerészet területén volt kiváló, hanem a tudomány jeles képviselője is volt. Neve a tudományos, a műszaki és a hadi érdemek jelképe lett.

Jean-Charles Borda 1733. május 4-én Daxban (Franciaország) született. Tizenhatan voltak testvérek. Szülei katonai pályára adták. Először műszaki tiszt volt a hadseregnél, majd a könnyűlovasságnál szolgált. Később a haditengerészethez került át, itt a capitaine de vaisseau (sorhajókapitány) rendfokozatot érte el. Több tudományos utazáson vett részt, és szerepet játszott az amerikai függetlenségi háborúban. Felfelé ívelő pályája csúcaként a Tengerészeti Főiskola igazgatójává nevezték ki. A főiskolának már 20 éves korától fogva volt levelező tagja.

Borda több műszert fejlesztett ki és használt a hosszúsági körök (délkörök) íveinek mérésére, támogatta a méterrendszer franciaországi bevezetését. A folyadékok áramlásával és ellenállásával kapcsolatos eredményeit a tüzérségi fegyverek, a hajók és a hidraulikus szivattyúk fejlesztésében alkalmazta. Földmérés eljárásaival kapcsolatban trigonometriai táblázatsorozatot is kidolgozott. Távolságok meghatározására kifejlesztett kronométere nemzetközi hírnevet szerzett neki. Saját költségén adatta ki azt a hétjegyű 10-es alapú logaritmustáblát, amelyet maga számított ki.

1756-tól kezdődően komolyan érdeklődött a folyadékok és a gázok mechanikája iránt, mint az irodalmi munkásságából kitűnik. Egyik dolgozatában az ágyukból kilőtt lövedékek légellenállásával foglalkozott. Azonban érdeklődése mindinkább a hidrodinamika felé fordult. Így elsősorban mozgó hajók ellenállását vizsgálta, és különböző kísérleteket



TOLNAI BÉLA
okl. gépészmérnök

tolnaibela51@gmail.com

végzett nyílásokon való átáramlás, csövekből történő kiömlés területén. Foglalkozott a jelenségek megértésével kapcsolatban az áramvonalak meghatározásával is. Érdeklődését különösen felkeltette az a nyomásvesztés, amely a keresztmetszet hirtelen bővülésekor lép fel. Az ilyen veszteségeket azóta Borda-féle veszteségeknek hívják, kiszámításukra a Borda-Carnot-féle képletet használjuk, azaz

$$h' = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

Borda volt az első áramlástechnikus mérnök, aki a $2g$ tényezőt (súlyegységre vonatkoztatott fajlagos munka) folyadékegyenletekben explicite használta.

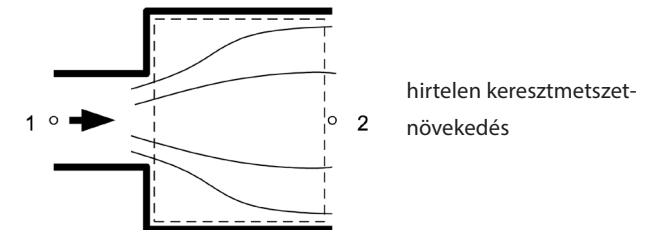
Egy, a Tudományos Akadémiának 1767-ben benyújtott dolgozatában definiálta azokat a feltételeket, amelyek mellett a hidraulikus rendszerekbe történő beáramlás kielégítő hatásfokú. Így fogalmazott: „A víznek ütközésmentesen kell beáramolnia, és sebesség nélkül távoznia.”

Munkája során körvonalazta egy későbbi vízturbinatípus, a Fourneyron-turbina (a Francis-turbina legfigyelemreméltóbb előfutárának) járókerekének elméletét.

1782-ben egy hat hajóból álló raj parancsnokaként brit fogságba esett, de feltételelesen azonnal szabadon bocsátották.

Nagylelkűsége, tökéletes elfogulatlansága és szerénysége jellemének legkiválóbb tulajdonságai voltak. Azt mondták róla kortársai, hogy az emberiség méltó példája. Életének ars poeticájával a következőket vallotta: „Ismerjük meg a jelenségeket, hogy az emberiséget szolgálhassuk.” 1799. február 19-én hunyt el Párizsban.

NEVÉT VISELI BORDA-CARNOT-ÁTMENET



BORDA-CARNOT-VEZTESÉG

$$\Delta p_{BC} = \frac{\rho}{2} (v_1 - v_2)^2$$

a veszteséget az áramlás súrlódásos volta okozza

FORRÁS

La Houille Blanche, Grenoble, 1959.

<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Borda/>